การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีนด้วยพืชวงศ์หญ้าร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

อำนาจ เพ็ชรสุวรรณ

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีนด้วยพืชวงศ์หญ้าร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

อำนาจ เพ็ชรสุวรรณ

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีนด้วยพืชวงศ์หญ้าร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช"
ของ อำนาจ เพ็ชรสุวรรณ
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชลดา เดชาเกียรติไกร ธีรการุณวงศ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนริสา คุณประทุม)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ ฉุยฉาย)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.มารุตพงศ์ ภู่อ่ำ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ดร.อนันต์ เคนท้าว)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีนด้วยพืชวงศ์หญ้าร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

ผู้วิจัย อำนาจ เพ็ชรสุวรรณ

ประธานที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนริสา คุณประทุม

กรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ ฉุยฉาย

ดร.มารุตพงศ์ ภู่อ่ำ

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. วิทยาศาสตร์ชีวภาพ, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2566

คำสำคัญ หญ้าหวานอิสราเอล, หญ้าเนเปียร์ปากช่อง, หญ้าแฝกหอม, กรดจิบเบอเรลลิน กรดซาลิไซลิก แอนทราซีน, ไพรีน, น้ำมันเครื่องยนต์

บทคัดย่อ

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชเป็นแนวทางที่เป็นไปได้ แต่จำเป็นต้องศึกษาชนิดและกรรมวิธีการใช้ให้เหมาะสมกับพืชและสารมลพิษแต่ละชนิด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมกับการเพิ่มศักยภาพของการใช้พืชวงศ์หญ้าฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และโดยทดสอบกับพืชวงศ์หญ้า 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าหวานอิสราเอล หญ้าเนเปียร์สายพันธุ์ปากช่อง 1 และหญ้าแฝกหอม โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่ใช้คือ แอนทราซีนและไพรีน สารควบคุมการเจริญเติบโตที่ใช้คือกรดซาลิไซลิกและกรดจิบเบอเรลลิก การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการคัดเลือกชนิดความเข้มข้น และกรรมวิธีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้าในดินที่ไม่ปนเปื้อน ผลปรากฏว่า การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะคือ สำหรับหญ้าหวานอิสราเอล การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นสูงสุด หญ้าเนเปียร์ปากช่อง คือ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความยาวลำต้น และความยาวรากเพิ่มขึ้นสูงสุด และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นสูงสุด และหญ้าแฝกหอม คือ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนัก

สดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นสูงสุด ส่วนที่สอง เป็นการนำชนิด ความเข้มข้น และกรรมวิธีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมไปใช้ในการกระตุ้นหญ้าหวานอิสราเอลที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน และดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง โดยเลือกใช้หญ้าหวานอิสราเอลเพราะสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วและทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม พบว่า การปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเพื่อศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการลดความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่ปนเปื้อนต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล พบว่า หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ ของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้าในดินที่ปนเปื้อนโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

Title PHYTOREMEDIATION OF ANTHRACNE AND PYRENE-CONTAMINATED SOIL WITH GRAMINEAE PLANTS AND PLANT GROWTH REGULATORS

Author Amnat Phetsuwan

Advisor Assistant Professor Narisa Kunpratum, Ph.D.

Co-Advisor Associate Professor Waraporn Chouychai, Ph.D.

Marootpong Pooam, Ph.D.

Academic Paper M.S. Thesis in Biological Sciences, Naresuan University, 2023

Keywords Sweet grass Napier grass Vetiver grass Gibberellic acid (GA3) Salicylic acid (SA) Anthracene Pyrene Engine oil.

ABSTRACT

The use of plant growth regulators to enhance phytoremediation capacity is possible method but the appropriate type and application method to each plant and pollutant should be studied. The purpose of this study is to assess the appropriate plant growth regulator for increase the efficacy of three grass species, *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*, *Pennisetum purpureum* cv. Mahasarakham and *Chrysopogon zizanioides*. The polycyclic aromatic hydrocarbons used in this study were anthracene and pyrene. The plant growth regulators used in this study were salicylic acid and gibberellic acid. There were 2 parts of this study. The first is the selection of type, concentration and application method for grass in non-contaminated soil. The results showed that the plant growth regulator that appropriate for *Pennisetum purpureum* cv. Mahasarakham is soaking in salicylic acid (100 mg/L) alone that increase shoot fresh weight, shoot dry weight, root fresh weight, and root dry weight. For *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*, soaking in gibberellic acid (0.01 mg/L) followed by gibberellic acid treatment (0.01 mg/L) increase shoot length and root length. For vetiver grass, soaking in gibberellic acid (0.01 mg/L) followed by salicylic acid treatment (100 mg/L) increase shoot length, shoot fresh weight, shoot dry weight, root fresh weight, root dry weight, and

pigment content in leaves,. The second part is stimulation of type, concentration and application method of plant growth regulators to *Pennisetum purpureum* cv. Mahasarakham growing in anthracene and pyrene-contaminated soil and engine oil-contaminated soil. *Pennisetum purpureum* cv. Mahasarakham was selected because can grow and tolerate inappropriate environmental conditions. The results showed that planting the cutting-soaked in water in anthracene and pyrene-contaminated soil decrease their shoot length, shoot fresh weight, shoot dry weight, root length, root fresh weight, root dry weight and pigment content in leaves when compared with plant growing in non-contaminated soil. The cutting soaking and watering with salicylic acid and growing in anthracene and pyrene-contaminated soil increase their shoot length, shoot fresh weight, shoot dry weight, root length, root fresh weight, root dry weight and pigment content in leaves. For engine oil contaminated soil, the cutting-soaked in water decrease their shoot length, shoot fresh weight, shoot dry weight, root length, root fresh weight, root dry weight and pigment content in leaves when compared with plant growing in non-contaminated soil. The cutting soaking and watering with salicylic acid increase their shoot length, shoot fresh weight, shoot dry weight, root length, root fresh weight, root dry weight and pigment content in leaves. With these results, the appropriate plant growth regulator for stimulation the growth of grass in polycyclic aromatic hydrocarbon contaminated soil was soaking with 100 mg/L salicylic acids and watering with 100 mg/L salicylic acid.

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนร่วมทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ในความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนริสา คุณประทุม ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ ฉุยฉาย กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.มารุตพงศ์ ภู่อ่ำ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้มอบความรู้ คำปรึกษาที่ดี รวมถึงคำแนะนำ ในการทำวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งคำปรึกษาในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ รวมทั้งปลูกฝังและให้ข้อคิดแก่ผู้วิจัยให้มีความอดทน มีความขยัน เพียรพยายาม ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ และยังสนับสนุนให้มีกำลังใจและเป็นแบบอย่างที่ดีมาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ดร.อนันต์ เคนท้าว ที่กรุณาตรวจแก้ไข ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชลดา เดชาเกียรติไกร ธีรการุณวงศ์ ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานในการพิจารณาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาชีววิทยา ที่ให้คำปรึกษาที่ดี ช่วยแนะนำและแก้ไขปัญหาให้การทำวิจัยผ่านพ้นไปได้ด้วยดี อีกทั้งขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา สมตระกูล ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในด้านของเครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย รวมถึงให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด รวมทั้งรุ่นพี่ เพื่อนร่วมรุ่นนิสิตปริญญาโท และปริญญาเอก ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจเสมอมา

เหนือสิ่งอื่นใดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นายเรวัตร เพ็ชรสุวรรณ (บิดา) นางสุกัญญา เพ็ชรสุวรรณ (มารดา) นายเกรียงไกร เพ็ชรสุวรรณ นายวิทชภณ พวงแก้ว และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมในด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด คอยให้ความรักและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด รวมถึงครอบครัว อันเป็นที่รักยิ่งและเป็นกำลังใจเสมอมา

อำนาจ เพ็ชรสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

ประกาศคุณูปการ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 สถานที่ดำเนินการวิจัย 4

บทที่ 2 5

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช 5

2.2 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 6

2.3 ความเป็นพิษของสารประกอบพีเอเอช 10

2.4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม 13

2.5 คุณสมบัติและการย่อยสลายของสารประกอบพีเอเอชและการเปลี่ยนแปลงในสิ่งแวดล้อม....15
2.6 รายงานการปนเปื้อนของสารประกอบพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน....17
2.7 สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช....23
2.8 บทบาทที่สำคัญของสารควบคุมการเจริญเติบโของพืช....26
2.9 จิบเบอเรลลิน....26
2.10 บทบาทของจิบเบอเรลิกต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช....31
2.11 กรดซาลิไซลิก....32
บทที่ 3....35
วิธีการดำเนินการวิจัย....35
3.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า....39
3.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า....42
3.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล....44
3.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล....46
บทที่ 4....53
ผลการวิจัย....53
4.1 ผลการทดลองที่ 1 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า....53

4.2 ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า....78

4.3 ผลการทดลองที่ 3 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล.... 111

4.4 ผลการทดลองที่ 4 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล.... 130

บทที่ 5.... 139

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย.... 139

บรรณานุกรม.... 145

ประวัติผู้วิจัย.... 153

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบพีเอเอช 16 ชนิด 7

ตาราง 2 การจำแนกของสารประกอบพีเอเอชต่อการก่อมะเร็งในมนุษย์ 11

ตาราง 3 พืชที่มีศักยภาพสูงในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช 13

ตาราง 4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบกลุ่มพีเอเอชที่สำคัญ.....14

ตาราง 5 โครงสร้างทางเคมีของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช.....25

ตาราง 6 โครงสร้างทางเคมีของจิบเบอเรลลิน.....27

ตาราง 7 ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของดิน 35

ตาราง 8 การทดสอบความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลินต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า.....40

ตาราง 9 การทดสอบความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า41

ตาราง 10 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม.....43

ตาราง 11 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง.....43

ตาราง 12 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 15 และ 30 วัน 45

ตาราง 13 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน.....47

ตาราง 14 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดจิบเบอเรลลินหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน.....57

ตาราง 15 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดซาลิไซลิกหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน 61

ตาราง 16 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดจิบเบอเรลลินหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน 65

ตาราง 17 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดซาลิไซลิกหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน.....69

ตาราง 18 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าแฝกหอมสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดจิบเบอเรลลินหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน 73

ตาราง 19 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าแฝกหอมสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดซาลิไซลิกหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน.....77

ตาราง 20 ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล 88

ตาราง 21 ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนปียร์ปากช่อง.....99

ตาราง 22 ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม..... 110

ตาราง 23 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และเจริญในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีน และไพรีน เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 118

ตาราง 24 ปริมาณรงควัตถุ โพรลีน และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ 119

ตาราง 25 การวิเคราะห์ปริมาณแอนทราซีนและปริมาณไพรีนที่เหลืออยู่ในดินหลังจากปลูกหญ้าหวานอิสราเอลเป็นระยะเวลา 30 วัน..... 127

ตาราง 26 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และเจริญในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีน และไพรีน เป็นระยะเวลา 30 วัน 128

ตาราง 27 ปริมาณรงควัตถุ โพรลีน และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ 129

ตาราง 28 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และเจริญในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ใช้แล้ว เป็นระยะเวลา 30 วัน 137

ตาราง 29 ปริมาณรงควัตถุ โพรลีน และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ 138

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 โครงสร้างทางเคมีของกรดซาลิไซลิก 32

ภาพ 2 วิถีการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิก.....33

ภาพ 3 ท่อนพันธุ์ของพืชที่ใช้ในการวิจัย (ก) ท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์ปากช่อง (ข) ท่อนพันธุ์หญ้าอิสราเอล และ (ค) ท่อนพันธุ์หญ้าแฝกหอม.....39

ภาพ 4 การวัดความยาวต้นและความยาวรากของพืช.....48

ภาพ 5 ลักษณะการวางใบในการหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ 50

ภาพ 6 การแช่ใบในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$).....51

ภาพ 7 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน.....56

ภาพ 8 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน 60

ภาพ 9 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน.....64

ภาพ 10 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก (ก) ความยาวลำต้นและความยาวราก

ของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน....68

ภาพ 11 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน....72

ภาพ 12 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน....76

ภาพ 13 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ การรดด้วยน้ำ (ก) การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) และการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ค) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน....87

ภาพ 14 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ การรดด้วยน้ำ (ก) การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) และการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ค) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน....98

ภาพ 15 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ การรดด้วยน้ำ (ก) การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) และการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ค) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน.... 109

ภาพ 16 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล อายุ 15 วัน ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ก) ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ข) ในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ค) และในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ง).... 117

ภาพ 17 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล อายุ 30 วัน ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ก) ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ข) ในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ค) และในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ง).... 126

ภาพ 18 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล อายุ 30 วัน ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ก) ในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ข) ในดินที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ค) และในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ง) 136

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนหรือพีเอเอช (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) จัดเป็นสารมลพิษประเภทสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนตั้งแต่สองวงขึ้นไป โดยเป็นปัญหาสำคัญของระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ซึ่งแหล่งกำเนินของพีเอเอชในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ถ่านหิน การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ น้ำมันและปิโตรเลียม และการปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม (ขนิษฐา และคณะ, 2562) พีเอเอชมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ พืช และจุลินทรีย์ ซึ่งมนุษย์สามารถรับพีเอเอชและสะสมไว้ภายในร่างกายได้ เช่น การสัมผัสโดยตรงบริเวณผิวหนัง การสูดดม และการกลืนกิน โดยสามารถก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น การก่อสารมะเร็งในมนุษย์ ส่งผลกระทบต่อระบบพันธุกรรม ส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ส่งผลกระทบต่อระบบต่อมไร้ท่อ และส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน (Sun et al., 2021) นอกจากนี้มีรายงานจากการศึกษาในประเทศไทย พบว่า เมื่อมนุษย์ได้รับและสัมผัสกับพีเอเอชในสภาพแวดล้อม โดยกิจกรรมการประกอบพิธีกรรมทางศาสนาในจังหวัดปทุมธานี พบว่า การสัมผัสควันธูปที่ปนเปื้อนกับพีเอเอช ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างความเข้มข้นของพีเอเอชและปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (สุนิสา และคณะ, 2564) นอกจากนี้พีเอเอชยังสามารถสะสมอยู่ในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การสะสมภายในดิน การสะสมภายในน้ำ และการสะสมภายในอากาศ เมื่อเกิดการปนเปื้อนในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม พีเอเอชเหล่านี้สามารถสะสมได้ระยะเป็นเวลานาน และสะสมภายในตะกอนของแหล่งน้ำแล้วเคลื่อนย้ายลงสู่แม่น้ำ และแหล่งการเกษตรกรรม (ขนิษฐา และคณะ, 2556) ดังนั้น การปนเปื้อนพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม จึงเป็นปัญหาที่สำคัญในสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต้องบำบัดอย่างเร่งด่วน

การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการบำบัดสารมลพิษโดยการปลูกพืชเป็นหลัก และนำมาใช้เพื่อการบำบัดพีเอเอชในดินที่ปนเปื้อน (Cristaldi et al., 2017) การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชทำให้สารมลพิษที่มีการปนเปื้อนในดินให้ลดน้อยลง และรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีความคงที่ เป็นวิธีที่สามารถนำไปใช้ได้ในพื้นที่บริเวณที่มีการปนเปื้อนเป็นบริเวณกว้าง มีงบประมาณและค่าใช้จ่ายน้อย เป็นเทคโนโลยีที่มีความสะอาดและปลอดภัย กล่าวได้ว่าเป็นการบำบัดที่มีความเสี่ยงต่ำที่สุด และก่อให้เกิดผลกระทบน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ (Yan et al., 2020) ลักษณะของพืชที่เหมาะสมต่อการบำบัดสารมลพิษ ต้องสามารถเจริญเติบโตได้

รวดเร็ว ทนทานต่อการปนเปื้อนของสารมลพิษในระดับความเข้มข้นสูง และทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเป็นกรด-ด่าง สภาวะการปนเปื้อนสารเคมีความเข้มข้นที่สูง สภาวะดินเค็ม และสภาวะแห้งแล้ง นอกจากนี้พืชที่นำมาใช้ในการบำบัดควรมีชีวมวลและการเจริญเติบโตได้รวดเร็วในบริเวณดินที่มีการปนเปื้อน (Wang et al., 2017) ทั้งนี้พืชวงศ์หญ้ามีความเหมาะสมกับการนำมาใช้บำบัดพีเอเอชเนื่องจากมีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ทนแล้ง ทนเค็ม และสามารถใช้ประโยชน์ในการรักษาสภาพแวดล้อม โดยการนำมาปลูกเพื่อบำบัดในดินที่ปนเปื้อน และแหล่งน้ำที่มีการปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลองและแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (Wilber et al., 2018)

การใช้พืชวงศ์หญ้าเพื่อบำบัดสารมลพิษ เนื่องจากมีลักษณะการเจริญเติบโตของพืชที่รวดเร็ว มีระบบรากเป็นรากฝอย ทำให้สามารถสะสมสารมลพิษไว้ภายในลำต้นและชีวมวลของพืชได้ดี นอกจากนี้พืชวงศ์หญ้ามีความสามารถทนต่อสภาวะเครียด ทนต่อสภาวะแล้ง และทนต่อสภาวะดินที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ดินเค็ม เป็นต้น (Chen et al., 2019) การใช้พืชวงศ์หญ้าในการบำบัดพีเอเอช เช่น แอนทราซีน ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนทรีน และไพรีนในดินที่ปนเปื้อน ซึ่งพืชวงศ์หญ้ามีความสามารถทนทานต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อมได้สูง และเป็นที่นิยมในการบำบัดสารมลพิษในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช (Dominguez et al., 2019) นอกจากนี้มีรายงานจากการศึกษา พบว่า การใช้หญ้าเนเปียร์ปากช่อง (*Pennisetum purpureum* L.) ร่วมกับแบคทีเรียกลุ่มสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช สามารถเพิ่มการบำบัดสารมลพิษในกลุ่มพีเอเอชได้ เช่น แอนทราซีน แนฟทาลีน ฟลูออรีน เบนโซ(เอ)แอนทราซีน ไพรีน และไครซีน ทำให้สารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินลดลง (Shehu et al., 2022)

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth regulators; PGRs) เป็นทางเลือกที่ช่วยส่งเสริมการกระตุ้นและการเจริญเติบโตของพืช ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (Chen et al., 2017) นอกจากนี้มีรายงานจากการศึกษา พบว่า การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น กรดจิบเบอเรลลินสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของดาวเรืองฝรั่งเศส (*Tagetes patula* L.) ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเบนโซ(เอ)ไพรีน และแคดเมียม ช่วยเพิ่มความยาวลำต้นของดาวเรืองฝรั่งเศสในระหว่างการปลูกในดินที่ปนเปื้อนเบนโซ(เอ)ไพรีน และแคดเมียม เพิ่มการสะสมสารมลพิษไว้ภายในลำต้นของดาวเรืองฝรั่งเศส และนอกจากนี้ยังเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพของเบนโซ(เอ)ไพรีนและแคดเมียมอีกด้วย (Sun et al., 2013) นอกจากนี้การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น กรดอินโดล-3-แอซีติก (Indole-3-acetic acid; IAA) ร่วมกับการบำบัดในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช สามารถช่วยเพิ่มการดูดซึมฟลูออรีนในข้าวไรย์ (*Secale cereale* L.) โดยการฉีดพ่นกรดอินโดล-3-แอซีติกบริเวณทางปากใบของข้าวไรย์ ซึ่งกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้ ในดินที่ปนเปื้อนฟลูออรีนความเข้มข้น 200

มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพิ่มชีวมวลของลำต้นและรากของข้าวไรย์ เพิ่มการสะสมฟลูออรีนในลำต้นและราก เมื่อเปรียบเทียบกับพืชปลูกในดินไม่ปนเปื้อน (Li et al., 2016)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ กรดจิบเบอเรลลิน และกรดซาลิไซลิก และเพื่อการศึกษากรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยมี 2 กรรมวิธี ได้แก่ การแช่ (Soaking; S) และการรด (Watering; W) ต่อการคัดเลือกพืชและวิธีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมกับการบำบัดดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช โดยทดสอบกับพืช 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าหวานอิสราเอล หญ้าเนเปียร์ปากช่อง และหญ้าแฝกหอม และเพื่อการศึกษาการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล โดยการเปรียบเทียบระหว่างการปลูกในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับไพรีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และการปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน และการศึกษาสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อลดความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ปนเปื้อนในดินต่อหญ้าหวานอิสราเอล โดยเปรียบเทียบระหว่างการปลูกในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ และการปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนร่วมกับการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยเก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของพืช เช่น การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ของพืช) เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ กรดจิบเบอเรลลิน และกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล หญ้าเนเปียร์ปากช่อง และหญ้าแฝกหอม
2. เพื่อศึกษากรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ การแช่ และการรดต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล หญ้าเนเปียร์ปากช่อง และหญ้าแฝกหอม
3. เพื่อศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนในดินที่ปนเปื้อนต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล
4. เพื่อศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการลดความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่ปนเปื้อนต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การเก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของพืช การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก

และน้ำหนักแห้งราก เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของพืช การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ของพืช) ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ปริมาณโพรลีนในใบ และการวิเคราะห์หาปริมาณแอนทราซีนและไพรีนในดินที่ปนเปื้อน เป็นต้น พืชที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ หญ้าหวานอิสราเอล หญ้าเนเปียร์ปากช่อง จากตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี และหญ้าแฝกหอม จากตำบลขมิ้น อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ ดินที่ใช้ในการวิจัย จากตำบลหนองกลับ อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กรดจิบเบอเรลลินความบริสุทธิ์ 99.9 เปอร์เซ็นต์ และกรดซาลิไซลิกความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แอนทราซีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับไพรีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และน้ำมันเครื่องรถยนต์ใช้แล้วความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

1.4 สถานที่ดำเนินการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. ห้องปฏิบัติการทางเคมีวิเคราะห์ ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
3. ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา สาขาวิชาชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
4. เรือนเพาะชำ สาขาวิชาชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช

การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษากรีกในคำว่า “Phyto” มีความหมายว่า พืช รวมกับภาษาลาตินคำว่า “Remedium” มีความหมายว่า การคืนความสมดุลกลับมา โดยความหมายของสองคำผสมกัน หมายถึง การใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อเป็นแนวทางโดยใช้พืชเป็นหลักในการบำบัดสารเคมีออกจากสิ่งแวดล้อม (Raskin et al., 1997) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้พืชเพื่อลดและกำจัดสารมลพิษในดิน น้ำ และอากาศ โดยกระบวนการทำงานของพืชจะเคลื่อนย้าย ดูดซับ เก็บ หรือทำให้สารมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตลดลง ซึ่งสามารถบำบัดสารมลพิษทั้งที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ เช่น แอนทราซีน ไพรีน ฟลูออแรนทีน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นวงแหวนหรือเป็นเส้นตรง เป็นต้น และสารอนินทรีย์ เช่น ปรอท ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม โคเมียม นิกเกิล เป็นต้น โดยพืชสามารถดูดซับสารประกอบไอออนิกในดินได้ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำผ่านระบบรากของพืช พืชจะขยายระบบรากเข้าไปในชั้นเมทริกซ์ของดิน และการย่อยสลายภายในชั้นไรโซสเฟียร์ของดิน เพื่อสะสมโลหะหนักและสารเคมีต่าง ๆ และดูดซึมสารเคมีผ่านทางระบบรากและเก็บสะสมไว้ในลำต้นของพืช ดังนั้นจึงนำดินที่มีปนเปื้อนกลับมาบำบัดเพื่อทำให้สารเคมี มีการปนเปื้อนในดินให้น้อยลง และรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีความคงที่ เป็นวิธีที่สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนเป็นบริเวณกว้าง มีงบประมาณและค่าใช้จ่ายน้อย เป็นเทคโนโลยีที่สะอาดปลอดภัย กล่าวได้ว่าเป็นการบำบัดที่มีความเสี่ยงต่ำ และก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ (Yan et al., 2020)

ในปัจจุบันมีการศึกษาและการวิจัยในการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมโดยใช้พืช จึงสามารถแบ่งประเภทของการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช มีหลายประเภท โดยใช้ได้กับการฟื้นฟูสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามกลไกของพืชที่ใช้ในการกำจัดสารพิษต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม วิธีการฟื้นฟูสารมลพิษที่ปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งได้ออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

1. การสกัดสารมลพิษด้วยพืช (Phytoextraction) หมายถึง การใช้พืชเพื่อดูดซับ โดยพืชมีการเคลื่อนย้ายสารมลพิษ และกักเก็บสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมไว้ในบริเวณเนื้อเยื่อของพืช เช่น ราก ลำต้น และใบ เมื่อมีการเจริญเติบโตของพืชที่เต็มที่แล้ว จะตัดส่วนของลำต้น ราก และใบที่มีการสะสมสารมลพิษเพื่อนำไปทำลาย (เก่ง และคณะ, 2558)

2. การย่อยสลายสารมลพิษด้วยพืช (Phytodegradation) หมายถึง การใช้พืชในการย่อยสลายสารมลพิษ โดยการดูดซับและการกักเก็บสารมลพิษที่ปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เนื้อเยื่อของพืชทำลายสารมลพิษนั้นออกไป โดยการดูดดึงสารมลพิษเข้าในพืช และย่อยสลายด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึมจากเอนไซม์ต่าง ๆ ของพืช (เก่ง และคณะ, 2558) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า มีการใช้พืชและจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกันกับพืชโดยมีการย่อยสลายสารมลพิษของสารอินทรีย์ (วราภรณ์, 2559)

3. การกระตุ้นด้วยพืช (Phytostimulation or Rhizodegradation) หมายถึง การใช้จุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกันบริเวณรากพืชในการกระตุ้นพืช เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารมลพิษของสารอินทรีย์ออกจากสิ่งแวดล้อม (เก่ง และคณะ, 2558)

4. การกรองด้วยรากของพืช (Rhizofiltration) หมายถึง การใช้พืชบริเวณรากพืชดูด หรือกรองสารมลพิษออกจากสิ่งแวดล้อม ในกรณีที่สารมลพิษอยู่ในรูปของสารละลายที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ซึ่งพืชจะสะสมสารมลพิษไว้ในบริเวณรากเท่านั้น เมื่อทำการเก็บเกี่ยวพืชหลังจากทำการบำบัดสารมลพิษแล้ว จึงสามารถนำส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของพืชไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับส่วนรากนั้นจำเป็นจะต้องนำไปบำบัดด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสม (นัยนันทน์, 2561)

5. การตรึงด้วยพืช (Phytostabilization) หมายถึง การใช้พืชในตำแหน่งบริเวณรากในการตรึงหรือจับกับสารมลพิษไม่ให้เกิดการกระจายออกไปปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากกว่าเดิม โดยจากการถูกชะล้างบนบริเวณหน้าดินลงสู่บริเวณแหล่งน้ำ หรือบริเวณน้ำบาดาน (เก่ง และคณะ, 2558)

6. การทำให้ระเหยด้วยพืช (Phytovotilization) หมายถึง การใช้พืชที่มีความสามารถในการดูดซับสารมลพิษเข้าสู่บริเวณเนื้อเยื่อของพืช และสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารมลพิษโดยให้กลายเป็นในรูปของสารละเหยออกสู่ชั้นบรรยากาศได้ (เก่ง และคณะ, 2558)

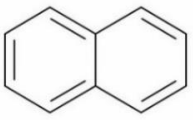
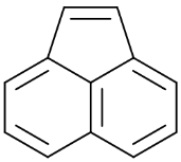
2.2 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนหรือพีเอเอช (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) จัดเป็นสารมลพิษประเภทสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่สองวงขึ้นไป โดยเป็นปัญหาที่สำคัญของระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม แหล่งสำคัญที่พบในการปนเปื้อนพีเอเอชในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ถ่านหิน การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ น้ำมันและปิโตรเลียม และการปลดปล่อยของโรงงานอุตสาหกรรม (ขนิษฐา และคณะ, 2562) นอกจากนี้ความเป็นพิษของพีเอเอช พบว่า เป็นสารก่อกลายพันธุ์ และเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์และมนุษย์ อีกทั้งมีความเป็นพิษต่อพืชหลายชนิดและส่งผลกระทบให้แก่พืช ได้แก่ การยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชในส่วนของลำต้นและราก น้ำหนักสดลำต้นและราก และน้ำหนักแห้งของลำ

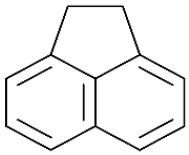
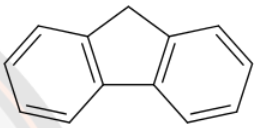
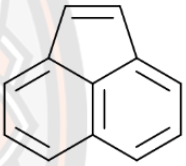
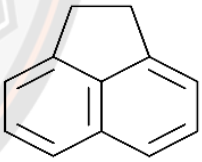
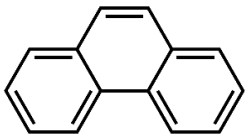
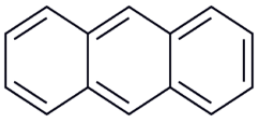
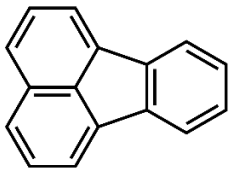
ต้นและราก มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การสร้างปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และมีความเป็นพิษต่อระบบทางพันธุ์กรรม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความเครียดให้แก่พืช เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การสะสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2) ซึ่งส่งผลต่อการลดการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวผนังเซลล์ของพืช ดังนั้นพีเอเอชที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยแสงจะเป็นพิษมากขึ้น โดยความเป็นพิษของพีเอเอชต่อพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและปัจจัยของสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น pH ของดิน และชนิดของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในดิน (วราภรณ์, 2554)

ในปัจจุบันมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายซึ่งคุณสมบัติของพีเอเอช มีมวลโมเลกุลสูง จุดเดือดสูง และความดันไอต่ำ ดังนั้นการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มนี้อาจเป็นไปได้ยาก จึงทำให้เกิดการสะสมในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมได้เป็นระยะเวลายาวนาน (อนุช, 2561) ปัจจุบันสามารถพบพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมได้ 16 ชนิด ได้แก่ แนฟทาลีน, อะซีแนปทิลลีน, อะซีแนปทีน, ฟลูออรีน, ฟีแนนทรีน, แอนทราซีน, ฟลูออแรนทีน, ไพรีน, ไครซีน, เบนโซ(เอ)แอนทราซีน, เบนโซ(เอ)ฟลูออแรนทรีน, เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทรีน, เบนโซ(เอ)ไพรีน, อินดีโน(1,2,3-ซีดี)ไพรีน, ไดเบน(เอ,เอช)แอนทราซีน, และเบนโซ(จี,เอช,ไอ)ไพรีน ซึ่งพีเอเอชมีสูตรโครงสร้างทางเคมี น้ำหนักโมเลกุล และจุดเดือดที่แตกต่างกัน (ดังตาราง 1)

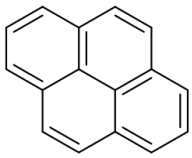
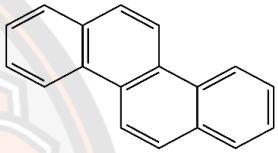
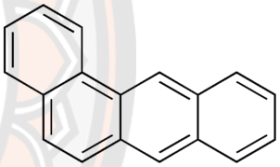
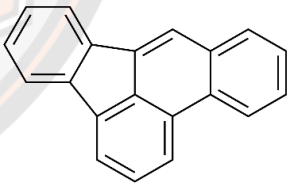
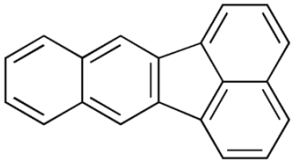
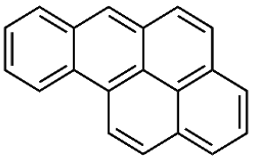
ตาราง 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบพีเอเอช 16 ชนิด

พีเอเอช (PAHs)	**น้ำหนักโมเลกุล (g/mol^{-1})**	**จุดเดือด (°C)**	**โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)**
แนฟทาลีน (Naphthalene; Nap) $C_{10}H_8$	128.17	218	
อะซีแนปทิลลีน (Acenaphthylene; Acy) $C_{12}H_8$	152.19	280	

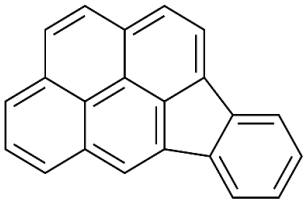
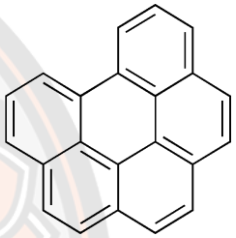
ตาราง 1 (ต่อ)

พีเอเอช (PAHs)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol^{-1})	จุดเดือด (°C)	โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)
อะซีแนปทีน (Acenaphthene; Ace) $C_{12}H_{10}$	154.21	279	
ฟลูออรีน (Fluorene; Fl) $C_{13}H_{10}$	166.22	295	
อะซีแนปทิลลีน (Acenaphthylene; Acy) $C_{12}H_8$	152.19	280	
อะซีแนปทีน (Acenaphthene; Ace) $C_{12}H_{10}$	154.21	279	
ฟีแนนทรีน (Phenanthrene; Phe) $C_{14}H_{10}$	178.23	340	
แอนทราซีน (Anthracene; Ant) $C_{14}H_{10}$	178.23	340	
ฟลูออแรนทีน (fluoranthene; Fluo) $C_{16}H_{10}$	202.26	375	

ตาราง 1 (ต่อ)

พีเอเอช (PAHs)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol^{-1})	จุดเดือด (°C)	โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)
ไพรีน (Pyrene; Pyr) $C_{16}H_{10}$	202.25	404	
ไครซีน (Chrysene; Chry) $C_{18}H_{12}$	228.28	448	
เบนโซ(เอ)แอนทราซีน (Benzo(a)Anthracene; B(a)A) $C_{18}H_{12}$	252.31	495	
เบนโซ(บี)ฟลูออแรนทรีน (Benzo(b)fluoranthene; B(b)F) $C_{20}H_{12}$	252.30	495	
เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทรีน (Benzo(k)fluoranthene; B(k)F) $C_{20}H_{12}$	252.31	495	
เบนโซ(เอ)ไพรีน (Benzo(a)pyrene; B(a)P) $C_{20}H_{12}$	252.31	495	

ตาราง 1 (ต่อ)

พีเอเอช (PAHs)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol^{-1})	จุดเดือด (°C)	โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)
อินดีโน(1,2,3-ซีดี)ไพรีน Indeno(1,2,3-cd)pyrene; Ind) $C_{22}H_{12}$	276.33	536	
เบนโซ(จี,เอช,ไอ)ไพรีน (Benzo(g,h,i)perylene; B(g,h,i)P) $C_{22}H_{12}$	276.33	247.2	

2.3 ความเป็นพิษของสารประกอบพีเอเอช

สารประกอบพีเอเอชจัดเป็นสารมลพิษที่ค่อนข้างร้ายแรงมาก มีความเป็นพิษด้านการเป็นสารก่อมะเร็ง (Pre-mutagen) และเป็นสารเริ่มต้นของสารก่อมะเร็ง (Pro-carcinogen) ในสัตว์และมนุษย์ โดยพีเอเอชสามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ จากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ และเกิดจากการรั่วของน้ำมันและการขนส่งระหว่างการเดินทาง การกำจัดของเสียจากปิโตรเลียมทางเคมีและการรั่วไหลโดยไม่ได้เจตนาของมนุษย์ รวมทั้งควันจากท่อไอเสียรถยนต์และควันบุหรี่ (พิมพา และคณะ, 2562) นอกจากมีความเป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์ ยังมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น พืช และจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยวิธีการควบคุมสารมลพิษและบำบัดในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนพีเอเอช เช่น การบำบัดและฟื้นฟูทางกายภาพ การบำบัดและฟื้นฟูทางเคมี และการบำบัดและฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช ซึ่งมีการมุ่งเน้นด้านเทคโนโลยี Phytoremediation มากขึ้น โดยมีต้นทุนต่ำและประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูง สามารถฟื้นฟูสภาพแวดล้อมได้ และมีการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการบำบัดและฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนอย่างมีศักยภาพสูงสุด (Allamin et al., 2021)

1. ความเป็นพิษต่อมนุษย์

พีเอเอชสามารเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้หลายช่องทาง เช่น การสูดดมและการหายใจ การสัมผัสทางผิวหนังโดยตรง การกลืนอาหารและการดื่มน้ำที่ปนเปื้อนอนุภาคพีเอเอช ซึ่งจะสะสมไว้ภายในร่างกายแล้วจะก่อให้เกิดโรค อัตราการเข้าสู่ร่างกายของพีเอเอชจะสูงขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำมัน โดยจะเข้าสู่ชั้นไขมันและมีการสะสมอยู่ภายในเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ เช่น ตับ ไต และไขมันเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนถูกสะสมไว้บริเวณม้าม ต่อมหมวกไต และรังไข่ (จิตรา, 2556) นอกจากนี้พีเอเอชมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากข้อมูลของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental protection agency; EPA) พีเอเอชที่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (อนุช, 2561) (ดังตาราง 2)

ตาราง 2 การจำแนกของสารประกอบพีเอเอชต่อการก่อมะเร็งในมนุษย์

พีเอเอชกลุ่มก่อมะเร็ง	พีเอเอชกลุ่มไม่ก่อมะเร็ง
เบนโซ(เอ)แอนทราซีน	อะซีแนปทีน
เบนโซ(เอ)ไพรีน	แนฟทาลีน
เบนโซ(บี)ฟลูออแรนทรีน	ไพรีน
เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทรีน	ฟลูออแรนทีน
ไดเบน(เอ,เอช)แอนทราซีน	ฟลูออรีน
อินดีโน(1,2,3-ซีดี)ไพรีน	ฟีแนนทรีน
ไครซีน	แอนทราซีนเบนโซ(จี,เอช,ไอ)ไพรีน

2. ความเป็นพิษต่อสัตว์

สารประกอบกลุ่มพีเอเอช เช่น แอนทราซีนเมื่อถูกกระตุ้นโดยแสงแดดจะก่อให้เกิดความเป็นพิษ (Photo-induced toxicity) ในสัตว์น้ำ โดยพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ที่มีโมเลกุลของแอนทราซีนจะถูกดูดกลืนไว้และถ่ายทอดต่อไปยังออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนอยู่ในสภาวะเร้า (Activated) แล้วทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ เช่น กรดอะมิโนทำให้เกิดความผิดปกติภายในเซลล์ ซึ่งทำให้เกิดการตายของเซลล์ในสัตว์และมนุษย์ แอนทราซีนที่ดูดซึมผ่านทางผิวหนังสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ทั้งในแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง เช่น ทำให้เกิดอาการแพ้แสงแดดบริเวณผิวหนังและระคายเคืองบริเวณผิวหนัง (จิตรา, 2556) นอกจากนี้ผลกระทบของแอนทราซีน ยังส่งผลต่อเอนไซม์และค่าโลหิตของปลานิล (*Oreochromis niloticus* L.) พบว่า ค่าฮีมาโตคริต (Hematocrit) และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ลดลงในกลุ่มทดลองในทุกระยะการทดลองแสดง

ให้เห็นว่า แอนทราซีนสามารถทำลายเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือดแดง ส่วนการเพิ่มจำนวนของไมโครนิวเคลียส (Micronucleus) ของเม็ดเลือดแดงในทุกระยะการทดลองแสดงให้เห็นว่า แอนทราซีนสามารถชักนำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ และการเปลี่ยนแปลงของระดับเอนไซม์ในซีรัม เนื้อเยื่อ และค่าชีวเคมี ในระยะกึ่งเฉียบพลันและระยะกึ่งเรื้อรังแสดงให้เห็นว่า เมื่อปลานินได้รับแอนทราซีนเป็นระยะเวลานานจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของตับลดลง ทั้งในด้านเมแทบอลิซึมและการกำจัดสารมลพิษต่อร่างกาย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ สามารถบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพและการตายของเซลล์ (คณิศรา, 2547) นอกจากนี้มีรายงานจาการศึกษา พบว่า การรั่วไหลของน้ำมันโดยไม่เจตนา สามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำหลายชนิด ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ และมีความเป็นพิษในเนื้อเยื่อของสัตว์ทำให้เกิดการตายของเซลล์ (Honda et al., 2020) และเมื่อสัตว์ได้รับพีเอเอชโดยตรงสามารถนำไปสู่ผลเสียหลายประการรวมถึงการก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น ส่งผลกระทบต่อความผิดปกติทางพันธุกรรม ส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์และต่อมไร้ท่อ ส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน และส่งผลกระทบต่อระบบระบบประสาท (Sun et al., 2021)

3. ความเป็นพิษต่อพืช

สารประกอบกลุ่มพีเอเอช เช่น ฟีแนนทรีน และแอนทราซีนส่งต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis* L.) ถั่วเขียว (*Vigna radiate* L.) และถั่วฝักยาวเนื้อนวล (*Vigna sesquipedalis* L.) พบว่า แอนทราซีนและฟีแนนทรีน ไม่มีผลต่อการงอกของถั่วทุกชนิด แต่มีผลต่อการเจริญเติบโตทำให้ความยาวยอดและความยาวรากของถั่วลดลง ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอชความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ฟีแนนทรีนทำให้น้ำหนักสดของถั่วพุ่มและถั่วฝักยาวเนื้อนวลลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสดของถั่วเขียว และทำให้น้ำหนักแห้งของถั่วพุ่มลดลง แอนทราซีนส่งผลให้น้ำหนักแห้งของถั่วทุกชนิดลดลง แต่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักสดของถั่วพุ่มเท่านั้น ถั่วพุ่มเป็นถั่วที่มีความไวต่อการปนเปื้อนฟีแนนทรีนและแอนทราซีนในดินมากที่สุด ส่วนถั่วฝักยาวเนื้อนวลมีแนวโน้มทนทานต่อพีเอเอชทั้ง 2 ชนิด ทั้งฟีแนนทรีนและแอนทราซีนแสดงความเป็นพิษต่อความยาวยอดและความยาวรากเหมือนกัน แต่แสดงความเป็นพิษต่อน้ำหนักต่างกัน โดยฟีแนนทรีนแสดงความเป็นพิษต่อน้ำหนักสดของพืช ส่วนแอนทราซีนแสดงความเป็นพิษต่อน้ำหนักแห้ง (ขนิษฐา และคณะ, 2555) ในดินที่มีการปนเปื้อนพีเอเอชระดับความเข้มข้นสูง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การปนเปื้อนไพรีนในดินความเข้มข้น 80 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่งผลให้ความยาวรากของถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) ลดลง (Chouychai et al., 2008) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของพืชระยะต้นกล้า ได้แก่ ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L.) ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis* L.) และฟักทอง (*Cucurbita moschata* L.) พบว่า ในดินที่มีการปนเปื้อนพีเอเอช เช่น ฟลูออรีน ฟลูออแรนทีน และแอนทราซีน ส่งผลกระทบต่อความยาวลำต้นและความยาวรากของข้าวโพดหวานใน

ระยะต้นกล้าลดลง ส่วนถั่วพุ่มและฟักทองในระยะต้นกล้ามีความทนทานต่อการปนเปื้อนพีเอเอชมากที่สุด (ขนิษฐา และคณะ, 2556) จากรายงานการวิจัยพืชที่มีศักยภาพสูงในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ดังตาราง 3)

ตาราง 3 พืชที่มีศักยภาพสูงในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช

พีเอเอช (PAHs)	**ชื่อพืช/ชื่อวิทยาศาสตร์ (Name/Scientific name)**	**อ้างอิง (Ref.)**
แอนทราซีน	ปอเทือง (*Crotalaria juncea* L.)	(Somtrakoon et al., 2021a)
ไพรีน และฟีแนนทรีน	บวบเหลี่ยม (*Luffa acutangula* L. Roxb.)	(Somtrakoon et al., 2021b)
ไพรีน และฟีแนนทรีน	สาบเสือ (*Chromolaena odorata* L.)	(Somtrakoon et al., 2019)
ฟลูออรีน และไพรีน	ถั่วพู (*Psophocarpus tetragonolobus* L.)	(Chouychai et al., 2018)
แอนทราซีน และไพรีน	อัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) มันแกว (*Pachyrhizus erosus* L.)	(Somtrakoon et al., 2018)
แอนทราซีน ไพรีน และฟีแนนทรีน	หญ้าอัลฟัลฟ่า (*Medicago sativa* L.)	(Wilber et al., 2018)
ฟีแนนทรีน และไพรีน	ว่านน้ำ (*Acorus calamus* L.)	(Jeelani et al., 2017)
ฟีแนนทรีน และไพรีน	โสน (*Sesbania cannabina* L.)	(Ren et al., 2017)

2.4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันพบแหล่งกำเนิดของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม เช่น ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ และควันบุหรี่ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมันดิบ อุตสาหกรรมไม้ซึ่งใช้สารเคลือบทาเนื้อไม้เพื่อป้องกันแมลงที่มีพีเอเอชเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำมันรักษาเนื้อไม้ (Creosote) และน้ำยาเคลือบเนื้อไม้ (Anthracene oil) ซึ่งพีเอเอชพบได้ในน้ำ ดิน ดินตะกอน อากาศ ชั้นหินอุ้มน้ำ และบริเวณริมถนน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และแหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดจากปิโตรเลียม นอกจากนี้สามารถพบแหล่งกำเนิดของสารประกอบกลุ่มพีเอเอชที่สำคัญ (ดังตาราง 4)

1. แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural source)

เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น การเกิดไฟไหม้ป่า การระเบิดของภูเขาไฟ ที่เกิดขึ้นจะเกิดการสะสม และถูกชะล้างด้วยน้ำฝน จึงเกิดการสะสมอยู่ในดิน น้ำ อากาศ และอาจส่งผลต่อคุณภาพน้ำ พืช สัตว์ มนุษย์ และสิ่งแวดล้อม (อนุช, 2561)

2. แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source)

เกิดจากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรม การเผาขยะ การเกิดควันจากท่อไอเสียของรถยนต์และรถจักยานยนต์ทุกชนิดที่ใช้เชื้อเพลิง การกลั่นน้ำมันดิบ และการเผาฟางข้าว ซังอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทำให้เกิดสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม และความเข้มข้นของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมซึ่งจะเกิดขึ้นระยะห่างระหว่างบริเวณที่ปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดสารมพิษ และการเคลื่อนย้ายของพีเอเอชจากแหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (อนุช, 2561)

3. แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดจาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Pyrogenic source)

พีเอเอชซึ่งมีจำนวนวงแหวนเบนซีน 4-6 วง มีมวลโมเลกุลสูง โดยมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์และเชื้อเพลิงจากฟอสฟอรัส ได้แก่ เนื้อไม้ ถ่านหิน และน้ำมัน นอกจากนี้มีการชะล้างจากทางการเกษตร ไฟไหม้ป่า การเผาไหม้จากบ้านเรือน เช่น การประกอบอาหาร เช่น ปิ้ง ย่าง เป็นต้น (อนุช, 2561)

4. แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เกิดจากปิโตเลียม (Petrogenic source)

พีเอเอชที่อยู่ในน้ำมันปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ที่กลั่นน้ำมันดิบ โมเลกุลของสารกลุ่มนี้ มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 2-3 วง ส่วนใหม่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียม การรั่วไหลของน้ำมัน ถนน ยางมะตอย การรั่วไหลของน้ำมัน การรั่วไหลของน้ำมันจากยานพาหนะ และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (อนุช, 2561)

ตาราง 4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบกลุ่มพีเอเอชที่สำคัญ

แหล่งที่มา (Source)	พีเอเอช (PAHs)
เตาเผาขยะ	Pyr, Phe และ Fluo
กระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน	Pyr, Phe และ Fluo
การใช้น้ำมันเบนซีน และดีเซลใช้เติมในยานพาหนะ	Fluo, Pyr, B(b)F และ B(k)F
เชื้อเพลิงน้ำมัน การกลั่นน้ำมัน จากโรงงานอุตสาหกรรม	Fluo, Chry, และ Pyr

ตาราง 4 (ต่อ)

แหล่งที่มา (Source)	พีเอเอช (PAHs)
การเผาไหม้ฟางข้าว ซังอ้อย และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	Ind, B(a)P และ D(a,h)A
กระบวนการเผาไหม้ จากบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม	B(a)P และ Fluo

2.5 คุณสมบัติและการย่อยสลายของสารประกอบพีเอเอชและการเปลี่ยนแปลงในสิ่งแวดล้อม

คุณสมบัติของพีเอเอชเป็นสารที่มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวสูง มีความดันไอต่ำ และละลายน้ำได้น้อยมาก โดยความดันไอและความสามารถในการละลายน้ำซึ่งมีแนวโน้มลดลง เมื่อน้ำหนักของโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่พีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันเพิ่มมากขึ้น โดยปกติแล้วความสามารถในการละลายน้ำของพีเอเอชจะลดลงเมื่อมีจำนวนวงแหวนอะโรมาติกตั้งแต่ 3 วงขึ้นไปจะละลายน้ำได้ต่ำมาก ระเหยได้น้อย และละลายในไขมันได้มากกว่าพีเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติกน้อยกว่า 3 วง สารกลุ่ม พีเอเอชที่พบในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติมักพบร่วมกันมากกว่าหนึ่งชนิด ส่วนพีเอเอชที่สังเคราะห์ขึ้นมักเป็นพีเอเอชบริสุทธิ์ไม่มีสี ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในสถานะผลึกของแข็ง คุณสมบัติอื่น ๆ ของพีเอเอช ได้แก่ ไวต่อแสง ทนต่อความร้อน นำไฟฟ้า ทนต่อการกัดร่อน และเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) นอกจากนี้พีเอเอชยังสามารถดูดกลืนรังสียูวีและเรืองแสงได้ โดยพีเอเอชแต่ละไอโซเมอร์ (Isomer) จะดูดกลืนรังสียูวีได้ต่างกัน และใช้ในการระบุชนิดของพีเอเอชได้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของพีเอเอช พีเอเอชมักไม่ปรากฏในสิ่งแวดล้อมในรูปของสารตั้งต้น (Parent-compound) โดยปรากฏในรูปของอนุพันธ์ของพีเอเอชที่อยู่ในหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxyl), ไนโตร (Nitro) และออกซิเจนปรากฏในโมเลกุล อนุพันธ์ของพีเอเอชสามารถถูกผลิตขึ้นได้จากกระบวนการเผาไหม้ การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต การย่อยสลายพีเอเอชที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation), การย่อยสลายด้วยแสง (Photo-oxidation) และการย่อยสลายทางเคมี (Chemical-oxidation) กระบวนการย่อยสลายของพีเอเอชเหล่านี้ เป็นกระบวนการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพีเอเอชที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน โดยสามารถแบ่งกลุ่มการการย่อยพีเอเอชได้ดังนี้ (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

1. การย่อยสลายทางชีวภาพของพีเอเอช

การย่อยสลายทางชีวภาพของพีเอเอชเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน การย่อยสลายของพีเอเอชที่ถูกซับอยู่ในดิน เกิดขึ้นได้อย่างจำกัดเนื่องจากเอนไซม์จากแบคทีเรียเข้าถึงพีเอเอชได้ยาก ความสามารถในการละลายน้ำของพีเอเอชส่งผลโดยตรงต่อการย่อยสลายพีเอเอชที่มี

บริเวณเปิด (Bay-regions) เกิดขึ้นระหว่างวงแหวนอะโรมาติก จะเป็นบริเวณที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยเอนไซม์ ดังนั้นพีเอเอชที่มีโครงสร้างเป็นเหลี่ยมหรือมุมจึงถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าพีเอเอชที่มีโครงสร้างเป็นระนาบเดี่ยวหรือเป็นกลุ่ม การย่อยสลายพีเอเอชในสภาพแวดล้อมยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ระดับธาตุอาหารอนินทรีย์ สารอาหารอินทรีย์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส การสัมผัสสารเคมีชนิดอื่น ๆ ปริมาณออกซิเจน และการปรับตัวของจุลินทรีย์ โดยพีเอเอชหลายชนิดปนเปื้อนร่วมกันก็ส่งผลต่อการย่อยสลายพีเอเอชต่างชนิดกันได้ (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

2. กระบวนการแยกสลายของสารประกอบโดยอาศัยการกระตุ้นจากการดูดกลืนพลังงานแสง

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเมื่อพีเอเอชดูดกลืนพลังงานแสงแล้วกระตุ้นอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล สภาวะกระตุ้นนี้ทำให้การจัดเรียงตัวภายในโครงสร้างไม่เสถียรทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีจากกระบวนการทางกายภาพและกระบวนการทางเคมีอื่น ๆ ในสิ่งแวดล้อม ปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีกับพีเอเอชที่อยู่ในรูปแบบของไอหรือของเหลว เมื่อพีเอเอชถูกซับอยู่ในอนุภาคในอากาศหรืออนุภาคในดิน จะเป็นปัจจัยจำกัดจะเกิดปฏิกิริยาโฟโตไลซิส (Photolysis) และปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของอนุภาคการแตกตัวด้วยแสงของพีเอเอชที่ผิวดินเมื่อได้รับรังสียูวีเป็นที่สนใจศึกษาเพื่อบำบัดพีเอเอชที่ปนเปื้อนในดิน การกระตุ้นการย่อยสลายสารพีเอเอชด้วยพลังงานแสงขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของพีเอเอช โดยพีเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติกเรียงตัวเป็นเส้นตรง จัดตัวเป็นกลุ่มหรือพีเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติกเพียง 2 วงบางชนิดถูกกระตุ้นด้วยแสงได้ดีเมื่อได้รับแสงโดยตรง ในขณะที่พีเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติกจัดเป็นเหลี่ยมเป็นมุม เช่น ฟีแนนทรีนและไดเบนโซ(เอ)แอนทราซีน จะถูกกระตุ้นด้วยการย่อยสลายพลังงานแสงอย่างช้า ๆ พีเอเอชที่ซับอยู่ภายในช่องของเถ้าปลิวจะถูกกระตุ้นในการย่อยสลายด้วยพลังงานแสงได้ลดลงเพราะแสงเข้าไม่ถึง การย่อยสลายพีเอเอชด้วยแสงเกิดขึ้นในน้ำได้โดยตรง หรืออาจเกิดโดยอ้อมด้วยกระบวนการโฟโตเซนซิทิเซชัน (Photosensitization) ซึ่งอาศัยอนุพันธ์ของโมเลกุลที่ว่องไว เช่น Singlet oxygen ($1O_2$) ไฮดรอกซิลเรดิคอล (OH) และอนุพันธ์ที่ว่องไวที่ผลิตขึ้นในแหล่งน้ำที่มีแสงส่องถึงพีเอเอชหลายชนิด เช่น อะซีแนฟทาลีน แอนทราซีน ฟลูออรีน และแนฟทาลีน จะถูกย่อยสลายด้วยแสงได้ดีในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้รับแสงจากหลอดไฟหรือแสงอาทิตย์ ส่วนฟีแนนทรีนที่ละลายด้วยน้ำได้น้อยกว่าจะถูกย่อยสลายด้วยแสงได้ดีในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้รับจากรังสียูวี (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

3. การย่อยสลายพีเอเอชด้วยกระบวนการทางเคมี

การย่อยสลายพีเอเอชด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันทางเคมีเป็นกลไกที่เกิดขึ้นได้น้อยในธรรมชาติ อัตราการเกิดการออกซิเดชันขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างของพีเอเอช สถานะทางกายภาพของพีเอเอชอุณหภูมิ และความรุนแรงของสารออกซิไดซ์ (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

2.6 รายงานการปนเปื้อนของสารประกอบพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

การปนเปื้อนของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมมีแหล่งกำเนินจากการกระทำทางธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเป็นแหล่งปลดปล่อยพีเอเอชที่สำคัญทั้งการใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินที่มีองค์ประกอบเป็นถ่านโค้ก ถ่านหินเลน ถ่านไม้ และน้ำมันดิบ เป็นแหล่งปลดปล่อยพีเอเอชที่สำคัญ ตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ผลิตพีเอเอชแล้วปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เช่น โรงงานผลิตอลูมิเนียมจากสินแร่โรงงานผลิตถ่านโค้ก โรงงานปิโตรเคมี โรงงานผลิตยางยนต์ โรงงานผลิตปูซีเมนต์ โรงงานผลิตกระดาษ โรงงานผลิตน้ำยารักษาเนื้อไม้ และโรงงานผลิตไฟฟ้าพลังงานถ่านหิน ชนิดของพีเอเอชที่พบมากที่สุดในน้ำเสียโรงงานกระดาษ เช่น ไพรีน ฟีแนนทรีน และฟลูออแรนทีน เป็นต้น ตามปกติมักไม่สังเคราะห์พีเอเอชขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม พีเอเอชบางชนิดเท่านั้นที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้เป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเภสัชกรรม ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับภาพถ่าย เทอร์โมเซตติงพลาสติกวัสดุเพื่อการหล่อลื่น อุตสาหกรรมเคมีอื่น ๆ เช่น สีและสารเคมีที่ใช้เป็นวัสดุเคลือบอุปกรณ์ประเภทไฮดรอลิก ท่อ และเสาเข็ม เป็นต้น ตัวอย่างชนิดของพีเอเอชที่ถูกใช้ในงานอุสาหกรรม เช่น แอนทราซีน ใช้เป็นสารเจือจางในผลิตภัณฑ์รักษาเนื้อไม้ สารสีและสีย้อม ฟลูออแรนทรีนใช้ในอุตสาหกรรมสารเคมีทางการเกษตร สีย้อมและเภสัชกรรม ฟลูออรีนใช้ในงานเภสัชกรรม สารสี สีย้อม สารกำจัดศัตรูพืช และเทอร์โมพลาสติก และฟีแนนทรีนใช้ในอุตสาหกรรมเรซินและสารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น นอกจากนี้พีเอเอชยังปนเปื้อนในสินค้าบ้างชนิด เช่น รองเท้ากีฬาและอุปกรณ์การกีฬา ซึ่งเกิดจากการใช้น้ำมันดินเป็นสารทดแทนน้ำมัน (Extender oil) ในการผลิตพลาสติกเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของพลาสติก นอกจากนั้นยังพบการปนเปื้อนของพีเอเอชจากภาคเกษตรกรรมที่มีสาเหตุจากการใช้งานสารกำจัดศัตรูพืชที่มีพีเอเอชเป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้พีเอเอชอาจเกิดจากการเผาไหม้วัสดุทางการเกษตร ในระบบเปิด เช่น กิ่งไม้ ฟางข้าว ทุ่งหญ้า และตอซังข้าว การเผาวัสดุการเกษตรในภาคเกษตรกรรมมักเป็นการเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงเกิดทำให้เกิดพีเอเอชได้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อชนิดของพีเอเอชที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ ชนิดของวัสดุทางการเกษตร ชนิดของเตาเผา และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา เป็นต้น โดยการเผาตอซังข้าวปลดปล่อยพีเอเอชสู่สิ่งแวดล้อมในประเทศเกษตรกรรมในทวีปเอเชียหลายประเทศ เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ และอินเดีย เป็นต้น (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

1. การปนเปื้อนของพีเอเอชในชั้นบรรยากาศ

พีเอเอชมีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์กึ่งระเหยได้ เมื่อถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจึงเคลื่อนย้ายสู่บรรยากาศได้โดยบรรยากาศจัดเป็นแหล่งรองรับ และเป็นตัวกลางที่แพร่กระจายพีเอเอชให้เกิดการปนเปื้อนในระยะไกลจากแหล่งกำเนิดได้ดี การเคลื่อนย้ายพีเอเอชไปกับมวลอากาศทำให้เกิดการปนเปื้อนข้ามทวีปได้ อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของพีเอเอชในบรรยากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ฤดูกาลที่แตกต่างกันจะปลดปล่อยพีเอเอชในปริมาณที่ต่างกันด้วย สภาวะ

ทาง อุตุนิยมวิทยา (ความชื้น อุณหภูมิ ความเร็วลม) และระดับความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์ในบรรยากาศ โอโซน (Ozone), ไฮดรอกซิลแรดิคอล (Hydroxyl-radical), ไนเตรตแรดิคอล (Nitrate-radical) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen-oxide) เนื่องจากสารออกซิไดซ์ที่พบในบรรยากาศ ทำปฏิกิริยากับพีเอเอชแล้วเปลี่ยนโครงสร้างของพีเอเอชได้ ส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่ปนเปื้อนในบรรยากาศมักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟและไฟไหม้ป่า ควันจากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิง และในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น การปนเปื้อนของพีเอเอชพบได้มากในเมืองใหญ่มากกว่าชนบท เนื่องจากในเมืองใหญ่มักมีชุมชนและการจราจรที่หนาแน่น รวมทั้งมีโรงงานอุตสาหกรรมมาก ควันบุหรี่และควันจากยาสูบเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญในอากาศเช่นกัน โดยการสูบบุหรี่เพียงหนึ่งมวนทำให้ผู้ที่สูบบุหรี่ได้รับเบนโซ(เอ)ไพรีน เข้าสู่ร่างกายถึง 20-40 นาโนกรัม การสูบบุหรี่ชนิดที่ไม่มีก้นกรองหนึ่งกล่อง ทำให้ผู้สูบสัมผัสกับเบนโซ(เอ)ไพรีนถึง 0.7 ไมโครกรัม/วัน การสูบบุหรี่ก้นกรองทำให้ผู้สูบสัมผัสกับเบนโซเอไพรีนถึง 0.4 ไมโครกรัม/วัน พีเอเอชในบรรยากาศปรากฏใน 2 รูปแบบ ได้แก่ พีเอเอชที่อยู่ในรูปของแก๊ส และของแข็ง ซึ่งหมายถึงพีเอเอชที่ดูดซับอยู่กับอนุภาคที่แขวนลอยในบรรยากาศ พีเอเอชที่ละลายน้ำได้ถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคในบรรยากาศได้มากกว่าสารเคมี ที่มีความดันไอสูงกว่าพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีจำนวนวงแหวนอะโรมาติก 2-3 วง จะมีความดันไอสูง และพบมากในสถานะแก๊ส เช่น แนฟทาลีน ส่วนพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งมีจำนวนวงแหวนอะโรมาติก 5-6 วง จะมีความดันไอต่ำ มักพบยึดเกาะกับอนุภาคในบรรยากาศ ในขณะที่พีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางซึ่งมีจำนวนวงแหวนอะโรมาติก 4 วง แพร่กระจายอยู่ได้ทั้งสถานะแก๊ส และยึดเกาะอยู่กับอนุภาคที่แขวนลอยในบรรยากาศ พีเอเอชที่ยึดเกาะอยู่กับอนุภาคที่แขวนลอยในบรรยากาศ เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์มากกว่าสถานะแก๊ส เพราะมีพีเอเอชชนิดที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งความคงทนของพีเอเอชในบรรยากาศขึ้นอยู่กับจำนวนวงแหวนอะโรมาติก จากการวิเคราะห์แบบจำลอง พบว่า พีเอเอชที่มีจำนวนวงแหวนอะโรมาติก 3-5 วง จะมีค่าครึ่งชีวิตในระดับหลายชั่วโมงจนถึงหลายวัน (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

2. การปนเปื้อนของพีเอเอชในดินชั้นบน

ปริมาณของพีเอเอชที่พบในดินชั้นบนเกิดจากการตกสะสมของพีเอเอชบรรยากาศลงสู่พื้นดินเป็นหลัก โดยอาจมาจากบรรยากาศที่อยู่ใกล้เคียงหรือมาจากบริเวณที่อยู่ไกลตามการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ดินจึงเป็นแหล่งรองรับพีเอเอชที่สำคัญและเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการระเหย การทับถม และการย่อยสลายพีเอเอช ซึ่งพีเอเอชเมื่อปนเปื้อนในดินมักยึดเกาะอยู่กับอนุภาคของดิน แต่ก็เคลื่อนย้ายภายในดิน และออกจากดินไปปนเปื้อนยังบริเวณอื่น หรือสะสมในสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเคลื่อนย้ายของพีเอเอชที่ยึดเกาะอยู่กับอนุภาคในดินชั้นบน ได้แก่ ขนาดของอนุภาคที่พีเอเอชยึดเกาะและช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยพีเอเอชยึดเกาะอยู่

กับอนุภาคที่เคลื่อนย้ายไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินไม่ได้ถือเป็นการจำกัดการเคลื่อนย้ายของพีเอเอชในดิน แนวโน้มในการยึดเกาะกับอนุภาคของดินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพีเอเอชและดิน เช่น ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในดิน และค่าการนำไฟฟ้าของดิน เป็นต้น ความสามารถของพีเอเอชในการยึดเกาะกับอนุภาคของดินพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ การกระจายตัวของสารในชั้นน้ำและชั้นออกทานอล (Octanol-water partitioning coefficient; Kow) โดยหากมีค่าสูงหมายถึงสารชนิดนั้นมีความสามารถในการละลายน้ำ และมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคของดินได้ดี ระดับการปนเปื้อนของพีเอเอชในดินชั้นบนมีความสัมพันธ์กับระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ความหนาแน่นของประชากร การขยายตัวของเมืองและอุตสาหกรรม ระดับการปนเปื้อนของพีเอเอชในดินแบ่งได้เป็น 4 ระดับตามมาตรฐาน การจัดจำแนกดินที่ปนเปื้อนของทวีปยุโรป (European classification system of soil contamination) ได้แก่ ระดับของดินที่ไม่ปนเปื้อน ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง ซึ่งหมายถึงดินที่ตรวจพบพีเอเอชทั้ง 16 ชนิด ตามรายการขององค์กรปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาในปริมาณที่ต่ำกว่าระดับความเข้มข้น 200, 600, 1000 และมากกว่า 1,000 ไมโครกรัม/กิโลกรัม การปนเปื้อนพีเอเอชในดินพบได้ในประเทศไทยพบบริเวณที่หลากหลาย เช่น การสำรวจที่เขาหลัก จังหวัดพังงา ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิในปี พ.ศ. 2547 เมื่อเดือนกรกฎาคม 2552 พบผลรวมของพีเอเอช 12 ชนิด 132.31 ไมโครกรัม/กิโลกรัม การสำรวจบริเวณอ่าวต่าง ๆ ในประเทศไทยโดยรอบเกาะเสม็ดจำนวน 69 สถานี ระหว่าง 14-18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนคราบน้ำมันเมื่อ 27-31 ตุลาคม พ.ศ. 2556 พบผลรวมของพีเอเอช 11 ชนิด ปริมาณความเข้มข้น 32.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และมีรายงานจากต่างประเทศโดยการสำรวจสนามเด็กเล่นใน จังหวัดกวางจูระหว่างฤดูร้อนปี พ.ศ. 2556 พบพีเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติก 4-5 วง พบพีเอเอชปริมาณความเข้มข้น 13.2-145.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม โดยพบพีเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติก 2 วง น้อย พบพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็งได้ 7 ชนิด สูงถึงร้อยละ 55 ของปริมาณพีเอเอชที่พบทั้งหมดในดินซึ่งหากเทียบกับมาตรฐานของยุโรปแล้ว การปนเปื้อนในพื้นที่ที่ยกตัวอย่างมา ยังไม่เกินมาตรฐานแต่อย่างใด (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

3. การปนเปื้อนของพีเอเอชในตะกอน

การสะสมของพีเอเอชในตะกอนอาศัยกลไกเดียวกับการสะสมในดิน ที่ซับอยู่กับอนุภาคในอากาศจะตกลงสู่พื้นผิวทะเลสาบ กระแสน้ำและมหาสมุทร พีเอเอชที่ตกลงสู่ผิวน้ำแพร่กระจายโดยกระแสน้ำและจมลงสู่ตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลก การปนเปื้อนของพีเอเอชในตะกอนบริเวณเมืองขนาดใหญ่ได้รับอิทธิพลจากพีเอเอชที่สะสมในบรรยากาศจำนวนมาก รวมทั้งตะกอนในเมืองใหญ่ยังเป็นแหล่งรองรับพีเอเอชที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด และพีเอเอชที่ถูกชะมาจากพื้นถนนด้วย พีเอเอชเหล่านี้จะซับเข้ากับอนุภาคในแหล่งน้ำ และตกตะกอนลงในพื้นท้องน้ำบางครั้งพีเอเอชที่สะสมในตะกอนไม่เคลื่อนย้ายไปสู่บริเวณอื่นหรือเปลี่ยนรูปไม่ได้ เนื่องจากพีเอเอชละลายน้ำได้

จึงเป็นปัจจัยจำกัดการเคลื่อนย้ายของพีเอเอชส่วนพีเอเอชชนิดที่ละลายน้ำได้บ้างจะถูกเปลี่ยนจากปัจจัยทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ในการเคลื่อนย้ายไปสู่ระบบนิเวศได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพีเอเอชที่ละลายน้ำได้จะยึดเกาะกับอนุภาคของคอลลอยด์ (Colloid) ในกลุ่มของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ซึ่งถือเป็นกลไกเพิ่มการเคลื่อนย้ายของพีเอเอชที่สะสมในตะกอน การจำแนกแหล่งกำเนิดของพีเอเอชในตะกอน พิจารณาจากการวิเคราะห์สัดส่วนของผลรวมของเมทิลฟีแนนทรีน และผลรวมของฟีแนนทรีนหากสัดส่วนมากกว่า 2 แสดงว่าพีเอเอชมาจากแหล่งกำเนิดปิโตรเจนิก และหากสัดส่วนต่ำกว่า 0.5 แสดงว่าพีเอเอชที่ปนเปื้อนนั้นมาจากแหล่งกำเนิดไพโรเจนิก ในประเทศไทยพบว่ามีการศึกษาตะกอนที่เก็บจากคลองในกรุงเทพ เมื่อปี พ.ศ. 2546 พบพีเอเอชที่มีโอกาสมาจากแหล่งกำเนิดปิโตรเจนิก เพราะค่าสัดส่วนระหว่างผลรวมของเมทิลฟีแนนทรีน และผลรวมของฟีแนนทรีนมีค่าเท่ากับ 0.98-1.84 และฝุ่นจากถนนที่มาจากการตกสะสมเป็นสาเหตุหลักของการปนเปื้อนพีเอเอชในตะกอนที่พบในเมืองใหญ่ นอกจากนี้พีเอเอชยังเป็นสารมลพิษที่ก่อให้เกิดความกังวลเมื่อเกิดการรั่วไหลของคราบน้ำมันดิบ เนื่องจากน้ำมันดิบจากบ่อน้ำมันที่มีพีเอเอชเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 3.9 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นการปนเปื้อนของพีเอเอชในดินตะกอนที่สำรวจ พบมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ อาทิ เช่น การสำรวจชายฝั่งทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ระหว่างฤดูฝนเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2553 และฤดูร้อนเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 พบ พีเอเอชทั้งหมด 167.7-2,467.6 ไมโครกรัม/กิโลกรัม โดยพีเอเอชที่พบมาก ได้แก่ ฟลูออแรนทีน ไพรีน ไครซีน เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทีน และเบนโซเอไพริน โดยฤดูกาลไม่ส่งผลต่อปริมาณของพีเอเอชในการปนเปื้อนในตะกอน และการสำรวจตะกอนพื้นผิวจากคลองในกรุงเทพฯ แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และชายฝั่งอ่าวไทย ระหว่าง พ.ศ. 2546 พบผลรวมของพีเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติก 3-7 วง จำนวน 17 ชนิด 6-8,399 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และมีรายงานจากต่างประเทศการสำรวจตะกอนบริเวณชายฝั่งใน เมืองการาจี รัฐสินธ์ ประเทศปากีสถาน ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ 2557 ซึ่งชายฝั่งนี้ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนคราบน้ำมันเมื่อ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2546 ประมาณ 31,000 ตัน พบการปนเปื้อนของพีเอเอชในตะกอน ระดับที่สูงที่บริเวณปากแม่น้ำและท่าเรือ พบพีเอเอชในรูปสารตั้งต้น 121.9-735.4 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

4. การปนเปื้อนของพีเอเอชในแหล่งน้ำ น้ำเสีย และกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

น้ำที่ใช้ในการบริโภคไม่ควรปนเปื้อนพีเอเอชโดยองค์กรปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาได้ กำหนดไว้ว่า น้ำดื่มสะอาดได้มาตรฐานไม่ควรตรวจพบเบนโซ(เอ)ไพรีนเกิน 0.2 ส่วนในพันล้านส่วน อย่างไรก็ตาม แหล่งน้ำตามธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากทั้งชุมชน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมพบการ ปนเปื้อนของพีเอเอชได้ ส่วนใหญ่แล้วพีเอเอชในแหล่งน้ำมักมาจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม และการรั่วไหลของสารในกลุ่มปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน จาก

อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระหว่างการขนส่งและการรั่วไหลของแท่นขุดเจาะในทะเลในปี พ.ศ. 2545 พบว่ามีการปล่อยพีเอเอชลงสู่แหล่งน้ำทั่วโลกมากกว่า 80,000 ตัน/ปี การปนเปื้อนของพีเอเอชในแหล่งน้ำที่ระบุได้มาจากท่อน้ำทิ้งของโรงงานบำบัดน้ำเสียของชุมชน และจุดระบายน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนที่ระบุแหล่งที่มาไม่ได้มักเกิดจากน้ำจากผิวดินและอากาศ ซึ่งน้ำอาจถูกพัดพามาจากแผ่นดิน มีการทำกิจกรรมหลายประเภท พีเอเอชที่ปนเปื้อนในดินจะดูดซับอยู่กับส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ของดินอย่างแน่นหนา พีเอเอชจึงไม่แพร่กระจายสู่ดินที่อยู่ลึกลงไป การชะล้างพีเอเอชลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินจึงเกิดขึ้นได้จำกัดด้วยพีเอเอชที่ดูดซับอยู่กับดินบางชนิดมีคุณสมบัติถึงระเหยได้ แต่มักไม่ระเหยออกไปเพราะถูกดูดซับอยู่กับสารอินทรีย์ของดิน พีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วเมื่อปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เมื่อพีเอเอชเข้าสู่แหล่งน้ำแล้ว พีเอเอชจะถูกดูดซึมเข้าสู่อนุภาคที่แขวนลอยในและจะสะสมอยู่ใน ตะกอนของแหล่งน้ำ พบเพียงเล็กน้อยที่ผิวน้ำ ตัวอย่างการปนเปื้อนของพีเอเอชในแหล่งน้ำ เช่น การสำรวจน้ำทะเลรอบเกาะลังกาวี ประเทศมาเลเซีย พบพีเอเอช 18 ชนิด มีค่าระหว่าง 6.1±0.43 ถึง 46±0.42 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งมากกว่าระดับพีเอเอชที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของสหภาพยุโรป (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

5. การปนเปื้อนของพีเอเอชในอาหาร

บุคคลที่ไม่ได้สัมผัสกับพีเอเอชในการประกอบอาชีพนั้นจะได้รับพีเอเอชจากอาหาร เช่น ร้อยละ 70 ของคนที่ไม่สูบบุหรี่ได้รับพีเอเอชเข้าสู่ร่างกายทางอาหาร ตัวอย่างพีเอเอชที่มักพบปนเปื้อนในอาหาร เช่น แนฟทาลีน ฟลูออรีน แอนทราซีน ฟีแนนทรีน ฟลูออแรนทีน ไพรีน ไครซีน และเบนโซ(เอ)ไพรีน เป็นต้น ปริมาณของพีเอเอชที่พบในเนื้อที่ไหม้เกรียมอาจสูงถึง 10-20 ไมโครกรัม/กิโลกรัม พีเอเอชที่พบในผักและผลไม้มักมีที่มาจากดินหรืออากาศ เช่น พืชผลทางการเกษตรที่ปลูกอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น การปนเปื้อนของพีเอเอชในแหล่งน้ำทำให้มนุษย์ สัตว์บก และสัตว์น้ำ รับพีเอเอชเข้าสู่ร่างกายโดยตรงจากการบริโภค นอกจากนั้นอาหารที่ผ่านการปรุงให้สุกโดยใช้อุณหภูมิสูง เช่น ทอด รมควัน อบ ปิ้ง ย่าง ทำให้พีเอเอชปนเปื้อนในอาหารได้ การผลิตอาหารในระดับอุตสาหกรรม โดยชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้แหล่งพลังงานความร้อน ระยะห่างจากความร้อนรวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบอาหาร มีผลต่อการเกิดพีเอเอชในผลิตภัณฑ์อาหารด้วย อาหารที่ยังไม่ผ่านการปรุง พบว่าการปนเปื้อนพีเอเอชในระดับต่ำ ระดับของพีเอเอชที่พบในอาหารที่ยังไม่ผ่านการปรุงจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับการปนเปื้อนพื้นหลังในเมืองที่ตั้งอยู่ไกลจากเมืองใหญ่ และเมืองอุตสาหกรรม โดยพีเอเอชที่ปนเปื้อนอยู่ในเมืองมาจากการเคลื่อนย้ายพีเอเอชกับมวลอากาศจากบรรยากาศที่อยู่ไกลออกไป หรือการปลดปล่อยของพีเอเอชออกมาจากกิจกรรมตามธรรมชาติ เช่น การระเบิดของ ภูเขาไฟ หรือไฟไหม้ป่า พืชที่เจริญอยู่ในเมืองอุตสาหกรรม หรือใกล้กับบริเวณทางหลวงที่มีการจราจรหนาแน่น จะมีระดับของพีเอเอชสูงกว่าในเมืองเล็กถึง 10 เท่า พีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักยึดเกาะกับอนุภาคในอากาศแล้วตกลงสู่พื้นดินรวมทั้งดินที่ปนเปื้อน ซึ่งเป็น

ช่องทางที่ทำให้พีเอเอชปนเปื้อนในพืชผักและส่งต่อไปยังสัตว์กินพืชได้ พบพีเอเอชปริมาณมากบริเวณพื้นผิวของพืช เช่น เปลือก และใบพืช ส่วนนอกมากกว่าจากพื้นผิวได้ง่าย การทำความสะอาดเพื่อกำจัดพีเอเอชได้ มากกว่าร้อยละ 50 ใบที่เคลือบผิวใบพืชและผลไม้สะสม พีเอเอชได้จากการที่พีเอเอชดูดซึมบนไขซึ่งกำจัดออกได้ยาก ในขณะที่สัตว์ที่อาศัยบริเวณตะกอนมักไม่สะสมพีเอเอชและไม่ถ่ายทอด พีเอเอชผ่านห่วงโซ่อาหารเพราะเมตาบอไลท์ (Metabolite) พีเอเอชได้ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าหอยสองฝาบางชนิด เช่น หอยแมลงภู่ และหอยนางรม ซึ่งกินอาหารแบบการกรองหอยกลุ่มนี้เมตาบอไลท์ พีเอเอชได้จึงสะสมพีเอเอชได้มากกว่าสัตว์ชนิดอื่น แต่ใช้เป็นสัตว์ดัชนีตรวจสอบการปนเปื้อนของพีเอเอชได้ เช่น หอยแมลงภู่สีน้ำตาล โดยพบพีเอเอชทั้ง 16 ชนิด ในหอยแมลงภู่สีน้ำตาลที่ความเข้มข้นระหว่าง 38.96-63.47 และ 62.92-94.24 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้งในหอยที่เก็บจากแหล่งเกษตรกรรมที่เกาะซานตาคาตารินาในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 และอ่าวกัวนาบารา ริโอเดจาเนโรในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ตามลาดับ (ขนิษฐา และคณะ, 2565)

6. ผลกระทบจากน้ำมันรั่วและการปนเปื้อนคราบน้ำมันดิบในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

ในประเทศไทยมีการศึกษาสารประกอบกลุ่มพีเอเอช และลักษณะทางธรรมชาติของตะกอนในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ประเทศไทย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2553 ถึง พฤษภาคม 2554 โดยการเก็บตัวอย่างของดิน 20 แห่ง พบว่าความเข้มข้นทั้งหมดของพีเอเอชอยู่ในช่วง 167.73±467.61 นาโนกรัม/กรัม โดยมีความเข้มข้นของพีเอเอชเฉลี่ย 1,527.07±100.26 นาโนกรัม/กรัม พีเอเอชพบมากที่สุด 5 ชนิด ได้แก่ ฟลูออแรนทีน ไพรีน ไครซีน เบนโซ(เค)ฟลูออเรนทรีน และเบนโซ(เอ)ไพรีน ซึ่งบ่งชี้ว่าข้อมูลพีเอเอชโดยพื้นที่มาบตาพุดส่วนใหญ่มาจากแหล่งกำเนิดไพโรเจนิก (Peyrogenic) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและสารอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ (Chunharat et al., 2015) นอกจากนี้ปัจจุบันมีรายงานว่าเกิดผลกระทบจากน้ำมันรั่วและการปนเปื้อนคราบน้ำมันดิบในวันที่ 25 มกราคม 2565 พบว่า ในประเทศไทย เกิดท่อน้ำมันดิบใต้ทะเลบริเวณอ่าวมาบตาพุด จังหวัดระยอง เกิดการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณทุ่นผูกเรือน้ำลึกแบบทุ่นเดี่ยวกลางทะเล หรือจุดขนถ่ายน้ำมันในทะเลของบริษัทสตาร์ปิโตรเลียมรีไฟน์นิ่ง (จำกัด) (มหาชน) (Star petroleum refining public company limited) ซึ่งอยู่ห่างจากชายฝั่งท่าเรือมาบตาพุดไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 20 กิโลเมตร ส่งผลให้มีคราบน้ำมันกระจายทั่วกลางบริเวณอ่าวไทย การวิเคราะห์คาบน้ำมันโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (Geo-informatics and space technology development agency; GISTDA) ใช้ภาพจากดาวเทียม Sentinel-2 ของวันที่ 26 มกราคม 2565 พบว่าคราบน้ำมันครอบคลุมพื้นที่ถึง 11.65 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,280 ไร่ โดยลอยตัวอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลของอำเภอเมืองระยองราวประมาณ 16.5 กิโลเมตร การเกิดน้ำมันรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและระบบนิเวศ โดยเฉพาะแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำต่าง ๆ เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จน

อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ หากมีการปนเปื้อนของน้ำมันในน้ำในระดับความเข้มข้น 1-3 มิลลิกรัม/ลิตร รวมถึงพฤติกรรมการกินอาหารและการอยู่รอดของสัตว์น้ำ การปนเปื้อนของคราบน้ำมันในแหล่งน้ำยังส่งผลต่อแสงสว่างไม่ให้ส่องผ่านลงไปในน้ำ เกิดผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอน สาหร่าย และพืชน้ำในท้องทะเล ซึ่งเป็นแหล่งผลิตอาหารขั้นพื้นฐานในห่วงโซ่อาหาร นอกจากสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศทางท้องทะเล การปนเปื้อนของคราบน้ำมันบนหาดทรายซึ่งเกิดขึ้น ณ หาดแม่รำพึงในขณะนี้ก่อให้เกิดความสกปรก ส่งกลิ่นเหม็น สูญเสียสุนทรียภาพและความงามของแหล่งท่องเที่ยว การปนเปื้อนคราบน้ำมันยังเสียหายต่อการประมง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากการปนเปื้อนน้ำมันในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำ (ธารา, 2565) ปริมาณน้ำมันรั่วที่ไหลลงท้องทะเลไปแล้ว มีปริมาณมหาศาลและส่งผลกระทบอย่างแน่นอนกับระบบนิเวศในทะเลอ่าวไทย และต้องใช้เวลานานมากในการฟื้นฟูในเหตุการณ์น้ำมันรั่วจะมีการปนเปื้อนของสารก่อมะเร็งหรือพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยพีเอเอชเป็นกลุ่มสารอินทรีย์ประกอบด้วยวงแหวนเบนซินหลายวงมารวมตัวกัน โดยระดับความเป็นพิษจะรุนแรงขึ้นตามจำนวนวงแหวนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น รูปแบบของโครงสร้างทางเคมี ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อฤทธิ์การก่อมะเร็งของพีเอเอช ซึ่งมีมากกว่าร้อยชนิด ปัจจุบันทางสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United states environmental protection agency; US-EPA) ได้กำหนดพีเอเอชที่เป็นอันตรายทั้งหมด 16 ชนิด โดยสารที่มีฤทธิ์ในการก่อมะเร็งมากที่สุดคือ เบนโซ(เอ)ไพรีน ดังนั้น จงสันนิษฐานได้ว่าในระยะยาวสารก่อมะเร็ง พีเอเอชอาจกลายเป็นปัญหาสำคัญที่บั่นทอนความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยของธุรกิจอาหารทะเลไทยในอนาคตซึ่งทางภาครัฐควรมีการเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด (ประอรพิต, 2565)

2.7 สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช หมายถึง เป็นสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนพืช (Plant hormones) โดยทั่วไปแล้วมักจะเรียกสารกลุ่มนี้ว่า “ฮอร์โมนพืช” ซึ่งหน้าที่ของฮอร์โมนพืช คือ ช่วยส่งแสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น การงอก การพัฒนาของพืช การออกดอกและการติดผล การสุก จนกระทั่งต้นตาย โดยฮอร์โมนพืชจัดเป็นสารกลุ่มอินทรีย์ พืชสร้างขึ้นในปริมาณที่น้อยมาก โดยพืชจะสร้างฮอร์โมนบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหนึ่งแล้วเคลื่อนย้ายไปอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชเป็นสิ่งที่จำเพาะเจาะจงภายในพืช หรือเป็นสารที่พืชสารขึ้นโดยอวัยวะหรือเนื้อเยื่อของพืช และมีผลโดยตรงหรืออวัยวะหรือเนื้อเยื่อนั้น ๆ ในปัจจุบันมีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชมาเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืช ทั้งด้านการยับยั้งและส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจะเปลี่ยนแปลงระดับความสมดุลภายใน ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและมีลักษณะต่าง ๆ ออกมาโดยเหนือการควบคุมทางธรรมชาติ และให้ผลเป็นไปตามที่ต้องการ (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

นอกจากนี้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเป็นสารเคมีสังเคราะห์ตามธรรมชาติในพืชที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา สารสังเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันทำให้เกิดกระบวนการทางชีวเคมี และสรีรวิทยามากมายที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช ในปัจจุบัน เนื่องจากสถานการณ์ภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง และสิ่งมีชีวิตจำนวนมากเน้นที่การงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของกล้าไม้ และการพัฒนาพืชทำให้ผลผลิตทางชีววิทยาและเศรษฐกิจลดลง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช อาจมีบทบาทพื้นฐานในการควบคุมการตอบสนองของพืชต่อความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ออกซิน (Auxins) ไซโตไคนิน (Cytokinins) และจิบเบอเรลลิน (Gibberellins) ซึ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดมีความสามารถในการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา ซึ่งสามารถสังเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน และกรดอินโดลแอซีติก (Indole-3-acetic acid; IAA) เป็นต้น (Pidlisnyuk et. al., 2022)

ฮอร์โมนพืช (Plant hormones หรือ Phytohormones) หมายถึง สารที่พืชสร้างขึ้นในปริมาณน้อยโดยกระบวนการทางชีววิทยา ในส่วนหนึ่งส่วนใดของพืช แล้วเคลื่อนย้ายไปยังอีกส่วนหนึ่งและมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ที่มีความจำเพาะเจาะจงภายในพืช หรือเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นโดยอวัยวะหรือเนื้อเยื่อนั้น และมีผลโดยตรงต่ออวัยวะหรือเนื้อเยื่อต่อการเจริญเติบโตของพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth regulators; PGRs) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. สารกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic compound) หมายถึง มีสูตรโครสร้างประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นสารที่พืชสร้าง และการสกัดจากพืช หรือเป็นสารสังเคราะห์ขึ้น และเมื่อใช้ในปริมาณน้อยจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งในด้านส่งเสริมสนับสนุนพืช ยับยั้ง หรือ การชะลอการเจริญเติบโตของพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

2. สารในปริมาณที่น้อยหรือความเข้มข้นต่ำ (Low concentration) หมายถึง การใช้สารในกลุ่มฮอร์โมนพืชในปริมาณที่น้อย มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภายในทางสรีรวิทยาของพืช ส่วนสารอินทรีย์อื่น ๆ เช่น น้ำตาล พืชจะสร้างในปริมาณมาก จึงไม่จัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

3. มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช (Physiological response) หมายถึง การเจริญเติบโตของพืช การออกดอก การติดผล และการพัฒนาการของผล การแก่ชรา การสุกของผล การพักตัวของตาและเมล็ด เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

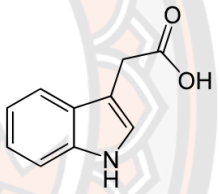
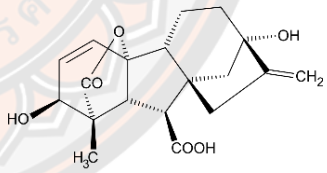
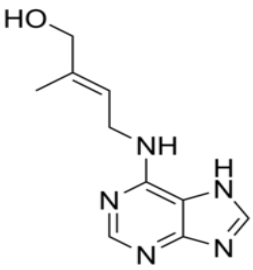
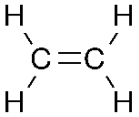
4. ไม่จัดเป็นธาตุอาหารของพืช (Non-plant nutrients หรือ Organic materials) หมายถึง ธาตุอาหารที่ให้แก่พืช หรือธาตุอาหารในรูปแบบต่าง ๆ ที่พืชสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ

สังเคราะห์ด้วยแสง และเก็บสะสมอยู่ในรูปของ แป้ง น้ำตาล และกรดอะมิโน ไม่จัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

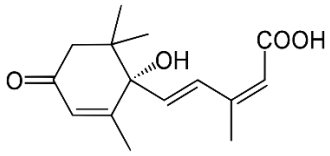
5. ชนิดและคุณสมบัติของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชสามารถแบ่งได้ออกเป็น 5 กลุ่ม คือ ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน เอทิลิน และสารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (ดังตาราง 5) ในขณะที่สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช หมายความรวมถึงสารที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมาด้วย แบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม โดยกลุ่มที่เพิ่มเติม คือ สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช

ตาราง 5 โครงสร้างทางเคมีของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth regulators; PGRs)	**โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)**
ออกซิน (Auxin)	
จิบเบอเรลลิน (Gibberellin)	
ไซโตไคนิน (Cytokinin)	
เอทิลิน (Ethylene)	

ตาราง 5 (ต่อ)

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth regulators; PGRs)	โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)
กรดแอบไซซิก (Abscisic acid)	

2.8 บทบาทที่สำคัญของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

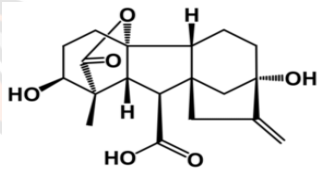
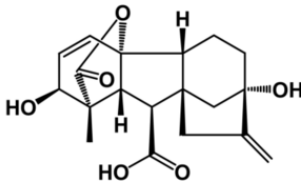
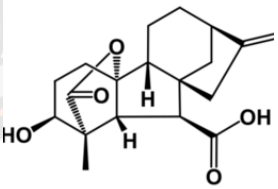
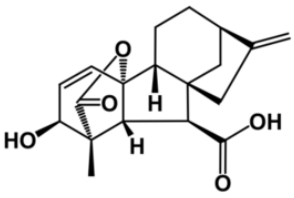
สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีบทบาทสำคัญต่อพืชอย่างมาก โดยเกี่ยงข้องกับการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น สภาพแวดล้อม มีผลในการกระตุ้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้มากน้อยแตกต่างกัน อีกทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ในทุกระยะการพัฒนาของพืช ทั้งในการกระตุ้น การส่งเสริม หรือการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (พัชรียา, 2560)

2.9 จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลินจัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ค้นพบครั้งแรกจากต้นข้าว สาเหตุของการเกิดโรคถอดฝักดาบ (Bakanae disease) เกิดจากเชื้อราสายพันธุ์ *Gibberella fujikuroi* ซึ่งปลดปล่อยสารเคมีออกมา ทำให้ต้นข้าวมีความสูงผิดปกติ จึงเรียกสารกลุ่มนี้ว่า จิบเบอเรลลิน ซึ่งเป็นชื่อของเชื้อราสายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดโรค ปัจจุบันค้นพบมากว่า 125 ชนิด เช่น Gibberellin A_1 (GA_1), Gibberellin A_2 (GA_2), Gibberellin A_3 (GA_3) และ Gibberellin A_4 (GA_4) เป็นต้น ซึ่ง Gibberellin A_3 (GA_3) เรียกว่า กรดจิบเบอเรลลิน (Gibberellin acid) เป็นที่นิยมใช้ทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย จิบเบอเรลลินทุกชนิดมีโครงสร้างหลักเป็น ent-gibberellane นอกจากนี้โครงสร้างของ GA_1 กับ GA_4 และ GA_3 กับ GA_7 ซึ่งมีความคล้ายคลึงของโครงสร้างทางเคมี (ดังตาราง 6) แตกต่างกันเพียงหมู่ (R) ที่เป็น (H) หรือ (OH) เป็นสารที่พบในพืชและเชื้อรา สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติทำให้เกิดการยืดยาวของเซลล์ (Cell elongation) เร่งการเจริญเติบโตของพืช และกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชด้านความสูง ซึ่งจิบเบอเรลลินมีคุณสมบัติเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เช่นเดียวกับกลุ่มของออกซิน (Auxin) และไซโตไคนิน (Cytokinin) ในปัจจุบัน นอกจากนี้จิบเบอเรลลินถูกนำมาใช้ทางการเกษตรโดยกระบวนการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน เพื่อใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมของพืชส่วน เช่น

องุ่น ลองกอง ทุเรียน เป็นต้น ซึ่งการกระตุ้นของจิบเบอเรลลินเพื่อยืดช่อผลของพืชให้ยาวขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต (พัชรียา, 2560)

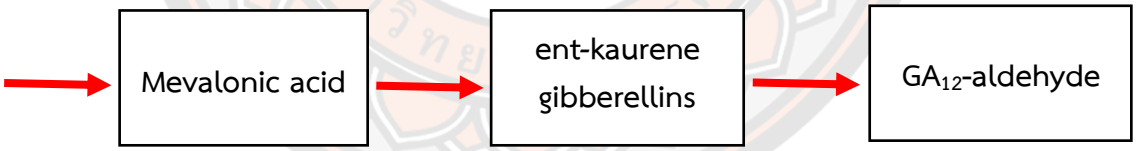
ตาราง 6 โครงสร้างทางเคมีของจิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลิน (Gibberellin)	**โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)**
Gibberellin A_1 (GA_1)	
Gibberellin A_3 (GA_3)	
Gibberellin A_4 (GA_4)	
Gibberellin A_7 (GA_7)	

1. วิถีการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลินจัดเป็นสารกลุ่มไดเทอร์พีนอยด์ (Diterprenoid) มีโครงสร้างของคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ และมีลักษณะโครงสร้างแบบ ent-gibberellane ซึ่งจิบเบอเรลลินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันเพียงจำนวนและตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) แหล่งสังเคราะห์จิบเบอเรลลินที่สำคัญในพืชชั้นสูง คือ บริเวณที่กำลังยืดตัวของปลายยอด ปลายราก และเมล็ดที่กำลังงอก นอกจากนี้อาจพบในใบแก่ ดอก ผลอ่อน แต่มีในปริมาณน้อย จิบเบอเรลลินถูกสังเคราะห์มาจากกรดเมวาโลนิก (Mevalonic acid) ซึ่งได้จากการรวมตัวของ Acetyl CO-A จำนวน 2 โมเลกุล ผ่าน Isoprenoid pathway เกิดสารตัวกลางหลายชนิดจนได้ Keurene และเปลี่ยนโครงสร้างไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดเปลี่ยนโครงสร้างเป็น GA_{12} และ GA_4 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็น GA รูปอื่น ๆ รวมทั้ง GA_3 ด้วย (พัชรียา, 2560)

การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินนั้นควรแบ่งได้ออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 การสร้างเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) จากกระบวนการ Mevalonic acid pathway ซึ่งเป็นสาร Isopentenyl pyrophosphate; IPP ที่ประกอบด้วย Isoprenoid unit ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม จะถูกสร้างขึ้นจากแอซีทิลโคเอนไซม์เอ (Acetyl coenzyme A) จากนั้น IPP จะถูกนำสารไปสร้างสาร C-20 (Geranylgeranyl-pyrophosphate; GGPP) ระยะที่ 2 การสร้างจิบเบอเรลลินโดยสังเคราะห์จาก ent-kaurene จาก GGPP จากนั้น ent-kaurene จะถูกเปลี่ยนเป็น GA_{12}-aldehyde สามารถเขียนเป็นไดอะแกรมดังนี้ (พัชรียา, 2560)



คุณสมบัติทางสรีรวิทยาเหมือนกับจิบเบอเรลลิน แต่ไม่ได้มีโครงสร้างเป็น ent-gibberellane จึงไม่ถูกจัดว่าเป็นสารกลุ่มจิบเบอเรลลิน เช่น Helminthosporal ซึ่งเป็นสารที่ได้จากเชื้อราสายพันธุ์ *Helminthosporium sativum* สามารถชักนำให้เกิดการยืดตัวของต้นกล้าข้าวและชักนำการสร้างเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ในเอนโดสเปิร์มของข้าวบาร์เลย์และสารอื่น ๆ เช่น Kaurene, Steviol glycoside, และ Phaseolic acid เป็นต้น (พัชรียา, 2560)

2. การเคลื่อนย้ายของจิบเบอเรลลินในพืช

การเคลื่อนย้ายของกรดจิบเบอเรลลินในพืชเป็นแบบไม่มีทิศทาง (Non-polar transport) โดยสามารถเคลื่อนที่จากส่วนข้อของใบเลี้ยงไปสู่ส่วนยอดและส่วนรากได้ในเวลาเดียวกัน จิบเบอเรลลินสามารถเคลื่อนที่ได้ดีทั้งผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ และท่อลำเลียงอาหาร รวมทั้งเคลื่อนที่

กลับไปมาระหว่างท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหารได้ด้วย ดังนั้นจึงสามารถสรุปการเคลื่อนย้ายของจิบเบอเรลลินได้ออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 1 สามารถเคลื่อนย้ายผ่านได้ทั้งทางท่อลำเลียงอาหารและท่อลำเลียงน้ำ ลักษณะที่ 2 การเคลื่อนย้ายของจิบเบอเรลลินโดยทั่วไปจะเคลื่อนย้ายไปส่วนของเนื้อเยื่อเจริญ เช่น ส่วนปลายยอด ปลายราก และใบอ่อน เป็นต้น ลักษณะที่ 3 จิบเบอเรลลินไม่แสดงคุณสมบัติในการเคลื่อนย้ายที่มีทิศทาง (Polarity) ซึ่งต่างชนิดจากออกซิน (พัชรียา, 2560)

3. จิบเบอเรลลินที่พบในธรรมชาติ

จิบเบอเรลลินที่พบในปัจจุบันมีประมาณ 125 ชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติทางชีวเคมีเหมือนกัน ดังนั้นจึงใช้ชื่อรวมว่า จิบเบอเรลลิน แต่ถ้าต้องการแยกชนิดของจิบเบอเรลลินแต่ละชนิดก็จะมีชื่อเรียกและลักษณะเฉพาะของตัวที่แตกต่างกันออกไป เช่น GA_1 GA_2 GA_3 ...GA_{125} เป็นต้น โดยตัวเลขจะบ่งบอกถึงลำดับก่อนหลังในการค้นพบ สำหรับสารที่สกัดจากเชื้อรา *Gibberella fujikuroi* คือ กรดจิบเบอเรลลิน จะใช้ชื่อว่า GA_3 ซึ่งเป็นสารกรดจิบเบอเรลิกชนิดแรกที่สามารถจำแนกโครงสร้างของสารได้ ส่วนจิบเบอเรลลินที่พบมากที่สุดในพืชชั้นสูง ได้แก่ GA_1 และ GA_4 ชนิดที่พบมากที่สุดในเชื้อรา คือ GA_3 เป็นต้น โครงสร้างของจิบเบอเรลลิน นั้นแตกต่างกันออกไปตามตำแหน่งของคาร์บอนและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เช่น การปฏิกิริยาออกซิเดชันของ C-20 มีตำแหน่งเป็นกลุ่ม เมททิล (Methyl group), กลุ่มไฮดรอกซีเมทิล (Hydroxymethyl group) และกลุ่มแอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เป็นต้น หรืออาจแตกต่างกันที่ตำแหน่งของพันธะคู่ เช่น พันธะคู่อยู่ระหว่าง C-1 และ C-2 และ C-3 หรือ C-1 และ C-10 เป็นต้น หรือแตกต่างกันที่จำนวนของหมู่คาร์บอกซิลิก Carboxyl เป็น Mono, Di หรือ Tri-carboxylic ก็ได้ โดยโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้จะมีผลต่อบทบาทสำคัญทางสรีรวิทยาของพืชด้วย จะเห็นได้ว่าจิบเบอเรลลินนั้นจะถูกจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะของโครงสร้างซึ่งแตกต่างจากออกซินที่ถูกจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามหน้าที่ของสาร (พัชรียา, 2560)

4. กลไกการทำงานของจิบเบอเรลลิน

กลไกการทำงานของจิบเบอเรลลินมีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ในพืช เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น การยืดตัวและการขยายขนาดของเซลล์ โดยกระบวนการต่าง ๆ เกิดจากกลไกการทำงานของจิบเบอเรลลิน ดังต่อไปนี้

4.1 จิบเบอเรลลินส่งเสริมการแบ่งเซลล์ที่บริเวณยอดของพืช

การแบ่งเซลล์ (Cell division cycle) ซึ่งจะมีการแบ่งเซลล์จาก 1 เป็น 2 เซลล์นั้น ในแต่ละวงจรจะใช้เวลาอยู่ในช่วงระหว่าง 16-24 ชั่งโมง แต่เซลล์ที่ได้รับจิบเบอเรลลินสามารถร่นระยะเวลาของวงจรการแบ่งเซลล์ให้เร็วขึ้นได้ โดยจิบเบอเรลลินจะเข้าไปมีอิทธิพลในวงจรการแบ่ง

เซลล์ ในระยะ G_1 (G_1-phase) ไปสู่ระยะ S (S-phase) มีผลทำให้ใช้เวลาในระยะของ S สั้นลง จึงมีผลทำให้เกิดการแบ่งเซลล์เป็นไปได้อย่ารวดเร็ว (พัชรียา, 2560)

4.2 จิบเบอเรลลินส่งเสริมการยืดตัวของผนังเซลล์ของลำต้น

จิบเบอเรลลินส่งเสริมการยืดตัวของผนังเซลล์ของลำต้น จะเห็นได้ชัดเจนบริเวณปล้องของพืชวงศ์หญ้าหรือการยืดตัวของลำต้นใต้ใบเลี้ยงของกะหล่ำปลีและแตงกวา กลไกและกระบวนการที่ทำให้ผนังเซลล์ยืดตัวนั้น เกิดจากการทำงานของจิบเบอเรลลิน โดยมีข้อสมมติฐานอธิบายผลของจิบเบอเรลลินที่มีต่อการยืดตัวของเซลล์ (Cell extensibility) เหมือนกับทฤษฎี Acid growth theory ในออกซินนั้นคือการชักนำให้เกิด H^+ (Proton) ขึ้น โดยจิบเบอเรลลินทำให้เกิดการสลายตัวของพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่เชื่อมระหว่างเซลล์ของพอลิแซกคาไรด์ (Polysaccharide) ในผนังเซลล์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทิน โดยจิบเบอเรลลินมีอิทธิพลในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไฮโดรเลส (Hydrolase) เป็นผลทำให้สารพอลิแซกคาไรด์ที่เดิมเกาะกันอย่างเหนียวแน่นเกิดการคลายตัวลง ทำให้เซลล์ดังกล่าวดูดน้ำเข้าไปในเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เซลล์ยืดตัวได้มากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีผลช่วยให้มีการสังเคราะห์ส่วนของผนังเซลล์ เมื่อนำมาเชื่อมกันจะช่วยให้เพิ่มที่ของผนังเซลล์ จึงทำให้เซลล์มีการยืดตัวมากขึ้น (พัชรียา, 2560)

4.3 กลไกของจิบเบอเรลลินที่เกี่ยวข้องกับศักย์ออสโมติก (Osmotic potential)

กลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเซลล์และเนื้อเยื่อ กลไกนี้เกิดขึ้นเนื่องจากจิบเบอเรลลิน มีผลในการลดศักย์ออสโมติกของเซลล์ จากกระบวนการไฮโดรเลสของแป้งและน้ำตาลซูโคสเปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลของกลูโคสและฟรุกโตส จึงเป็นผลให้เซลล์มีค่าศักย์ออสโมติกลดลงหรือทำให้ไซโทพลาสซึมเข้มข้นมากขึ้น น้ำจึงเคลื่อนที่จากภายนอกเข้าสู่เซลล์ได้อย่างรวดเร็วทำให้เซลล์เกิดการขยายตัวได้อย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เซลล์มีค่าแรงดันเต่ง (Turgor pressure) เพิ่มสูงขึ้น จึงเกิดแรงดันภายในเซลล์ที่กระทำต่อผนังเซลล์ในทุกทิศทาง เมื่อประกอบกับผลของจิบเบอเรลลินในการทำให้เกิดการยืดตัวของเซลล์ตาม Acid growth theory ดังได้กล่าวในส่วนข้อ 4.2 จึงทำให้เซลล์บริเวณเนื้อเยื่อมีการยืดตัวออกมา ซึ่งมีผลต่อการยืดตัวของลำต้นและการขยายตัวของนาดใบเป็นผลให้ใบมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (พัชรียา, 2560)

4.4 จิบเบอเรลิกมีผลต่อการสังเคราะห์ mRNA ของยีน

จิบเบอเรลลินมีผลเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (Alpha-amylase) โดยจิบเบอเรลลินจะมีอิทธิพลในการกระตุ้นการแสดงออกของยีน และการสารเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในชั้นอลูโรน (Aleurne layer) นอกจากนั้นยังมีรายงาน พบว่า จิบเบอเรลลินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ mRNA และการแสดงออกของโปรตีนทั้งในส่วนของผลและเมล็ด (พัชรียา, 2560)

2.10 บทบาทของจิบเบอเรลิกต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช

1. การขยายขนาดของเซลล์และการยืดยาวของลำต้นของพืช

จิบเบอเรลลินมีผลทำให้เซลล์ขยายขนาดและยืดยาว ทำให้ส่วนของลำต้นยืดยาว พืชหลายชนิดเมื่อได้รับจิบเบอเรลลินจะมีความยาวของปล้องเพิ่มขึ้นอย่างมากและลำต้นมีความสูงมากขึ้น จากผลการศึกษา พบว่า ในระยะแรกจิบเบอเรลลินจะสามารถกระตุ้นการยืดยาวของลำต้นมากกว่าการยืดของเนื้อเยื่อโดยเฉพาะการยืดยาวของพืชที่มีพันธุ์กรรมแคระ (Dwarf plants) (พัชรียา , 2560)

2. การกระตุ้นการออกดอกของพืช

พืชส่วนใหญ่เมื่อได้รับจิบเบอเรลลินแล้วจะไม่ออกดอก ยกเว้นพืชบางกลุ่มโดยเฉพาะพืชวันยาวที่มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบพุ่ม ใบเป็นกระจุก (Rosette) เช่น กะหล่ำปลี ผักกาดขาว ผักกาดหอม โดยจิบเบอเรลลินมีผลในการกระตุ้นให้ลำต้นยืดยาวสูงขึ้น ก่อนที่พืชจะสร้างตาดอกขึ้น ดังนั้นการให้จิบเบอเรลลินเพื่อกระตุ้นการยืดยาวของลำต้นจึงเป็นการเร่งการออกดอกได้ นอกจากนี้ในไม้ดอกบางชนิด ซึ่งต้องการอุณหภูมิต่ำในการออกดอก การใช้จิบเบอเรลลินสามารถทดแทนสภาพวันยาวและความต้องการอุณหภูมิต่ำก่อนการออกดอกได้ (พัชรียา, 2560)

3. การแสดงออกของเพศดอกของพืช

พืชหลายชนิดเมื่อได้รับจิบเบอเรลลินทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเพศดอก เช่น พืชวงศ์แตง พบว่า การใช้จิบเบอเรลลินสามารถชักนำให้เกิดการสร้างดอกเพศผู้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่มะละกอ พบว่า เพศผู้มีปริมาณของจิบเบอเรลลินมาก ต้นดอกสมบูรณ์เพศมีปริมาณจิบเบอเรลลินปานกลาง ส่วนต้นเพศเมียจะมีปริมาณจิบเบอเรลลินต่ำที่สุด เมื่อจิบเบอเรลลินมีผลในการกระตุ้นการเกิดดอกเพศผู้ ดังนั้นสารชะลอการเจริญเติบโตของพืชที่มีผลในการยับยั้งการสร้างและการทำงานของจิบเบอเรลลิน ก็น่าจะมีผลในการกระตุ้นการเกิดดอกเพศเมียเช่นกัน (พัชรียา, 2560)

4. การติดผลของพืช

จิบเบอเรลลินสามารถเพิ่มการติดผลในพืชบางชนิด เช่น องุ่น ส้ม มะนาว และฝรั่ง เป็นต้น และสามารถช่วยให้เกิดการติดผลแบบไม่มีเมล็ดในองุ่นและฝรั่งได้ นอกจากนี้ยังทำให้ช่อผลขององุ่นยืดยาวและช่อโปร่งมากขึ้น จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารคล้ายจิบเบอเรลลิน (GA-like substances) กับการเจริญเติบโตของผลมะม่วงเขียวเสวย พบว่า ผลของมะม่วงที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณของสารคล้ายจิบเบอเรลลินสูงกว่าผลที่มีขนาดเล็ก และผลที่มีขนาดเล็กนี้จะร่วงก่อนการเก็บเกี่ยวโดยสารคล้ายจิบเบอเรลลินส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนินอยู่ในเมล็ด (พัชรียา, 2560)

5. พันธุ์กรรมแคระของพืช

ในพืชชนิดกลายพันธุ์แบบยีนเดียว (Single gene mutant) ซึ่งมีขนาดประมาณ 1/5 ของต้นปกติและมีข้อปล้องสั้น เมื่อได้รับจิบเบอเรลลินจะทำให้เกิดการเพิ่มขนาดเท่ากับต้นปกติ ใน

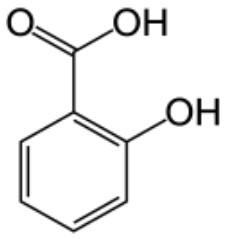
ข้าวโพดที่เกิดการกลายพันธุ์และมีลักษณะเป็นพืชแคระ เมื่อให้จิบเบอเรลลินจากภายนอกกับพืชจะมียีนกลายพันธุ์อย่างน้อย 5 ยีน ได้แก่ d_1, d_2, d_3, d_5 และ an_1 สามารถแสดงลักษณะปกติออกมาได้ แต่ยีนเหล่านี้จะไม่ตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม พบว่าพืชกลายพันธุ์บางชนิดไม่ตอบสนองต่อการให้จิบเบอเรลลิน จากภายนอกอาจเป็นไปได้ว่าพืชเหล่านี้ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับจิบเบอเรลลิน และในพืชบางชนิด พบว่า มีระดับของจิบเบอเรลลินเท่ากับต้นปกติแต่ก็ยังคงลักษณะต้นเตี้ย ซึ่งอาจเกิดจากการที่พืชมีสารยังยังการเจริญเติบโตตามธรรมชาติ (Natural inhibitors) มากเกินไปหรืออาจมีลักษณะเป็น Receptor mutant ซึ่งจะป้องกันการเจริญเติบโตของตัวพืชเองในการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน (พัชรียา, 2560)

6. การงอกของเมล็ดของพืช

การพักตัวของเมล็ดและตาข้างในพืชบางชนิด สามารถพ้นจากระยะการพักตัวได้เมื่อได้รับจิบเบอเรลลิน โดยเฉพาะพืชที่มีถิ่นกำเนินในเขตหนาว นอกจากนี้ จิบเบอเรลลินยังมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายอาหารสะสมภายในเมล็ด โดยการกระตุ้นให้เซลล์ในชั้นอลูโรน (Aleurone layer) สังเคราะห์เอนไซม์กลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic) ประกอบด้วยแอลฟาอะไมเลส (Alpha-amylase) และไฮโดรเลส (Hydrolase) เพื่อย่อยสลายอาหารสะสมภายในเมล็ดให้ได้น้ำตาลและกรดอะมิโนเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการงอกต่อไป (พัชรียา, 2560)

2.11 กรดซาลิไซลิก

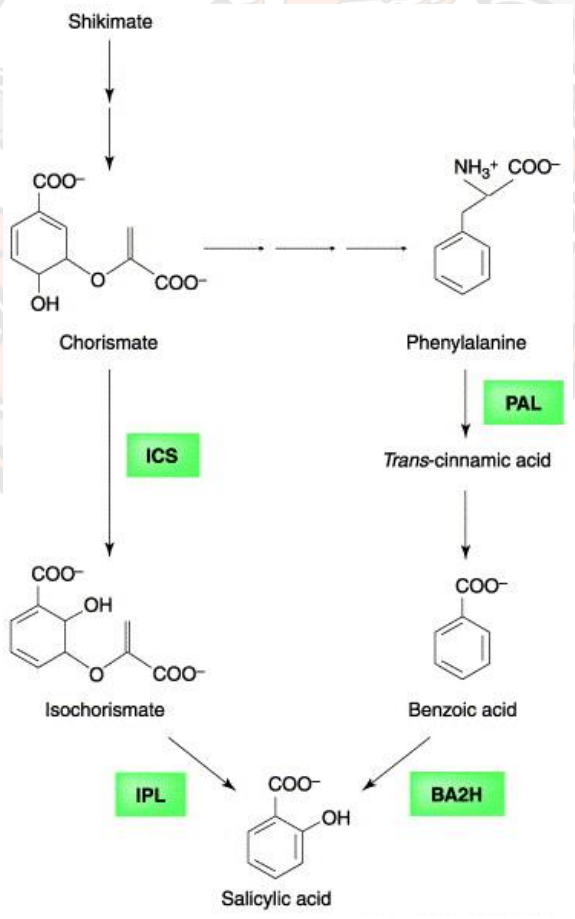
กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) จัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช มีคุณสมบัติเป็นสารกลุ่มสเตียรอยด์ในพืช (Plant steroids) สารกลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช มีผลในการกระตุ้นการยืดยาวของเซลล์ การแบ่งเซลล์ การโค้งของใบ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลต่อการยังยั้งการงอกของเมล็ด ส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของราก ส่งผลต่อการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่งผลต่อกระตุ้นการชราภาพและการหลุดร่วงของใบ และเร่งการสุกของผล โดยโครงสร้างของกรดซาลิไซลิก (ดังภาพ 1) (พัชรียา, 2560)



ภาพ 1 โครงสร้างทางเคมีของกรดซาลิไซลิก

วิถีการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิก

กรดซาลิไซลิกจัดเป็นสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic) ที่มีหมู่ Hydroxyl SA ในพืชวิถีการสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) โดยเอนไซม์ (Phenylalalnine ammonia lyase; PAL) โดยพืชสามารถสังเคราะห์กรดซาลิไซลิกโดยใช้สารตั้งต้น คือ คลอริมิค (Chorismate) โดยเอนไซม์ (Isochorismate synthase; ICS) และ (Isochorismate pyruvate lyase; IPL) (ยุรฉัตร, 2554) กรดซาลิไซลิกมีความสำคัญในการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช โดยสังเคราะห์มาจากฟีนิลอะลานีน ซึ่งฟีนิลอะลานีนจะเปลี่ยนเป็นกรดทรานส์-ซินนามิก (Trancinamic acid) จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) และเป็นกรดซาลิไซลิกในที่สุด กรดซาลิไซลิกเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และทำหน้าที่เป็นสัญญาณไปกระตุ้นการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสร้างโปรตีนต่าง ๆ ที่ช่วยในการต้านทานต่อเชื้อโรค (รังสิมา และคณะ, 2555) (ดังภาพ 2)



ภาพ 2 วิถีการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิก

ที่มา: (Shah, 2003)

กรดซาลิไซลิกเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชชนิดหนึ่งที่มีบทบทเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการหายใจของพืช และกระบวนการขนส่งและการนำไอออนต่าง ๆ มาใช้ในพืช รวมทั้งยังมีบทบาทในการส่งสัญญาณของโมเลกุลภายในเซลล์ เพื่อให้เกิดกระบวนการป้องกันตนเองในพืช และเป็นโมเลกุลที่ชักนำให้พืชผลิต (Polygenic risk score; PRS) ดังนั้นกรดซาลิไซลิกจึงมีบทบาทสำคัญในการต้านโรค ทนต่อสภาวะแห้งแล้ง และทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของพืชหลายชนิด ทั้งใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่ เช่น ยาสูบ ข้าวสาลี มะเขือเทศ และฟักทอง เป็นต้น (ยุรฉัตร, 2554)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

พืชที่ใช้ในการวิจัย

หญ้าหวานอิสราเอล (*Pennisetum purpureum* cv. Mahasarakham) จากตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

หญ้าเนเปียร์ปากช่อง (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*) จากตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

หญ้าแฝกหอม (*Chrysopogon zizanioides*) จากตำบลขมิ้น อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์

ดินที่ใช้ในการวิจัย

ดินจากตำบลหนองกลับ อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ โดยตากดินให้แห้งด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 28-31 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินมีน้ำหนักคงที่และส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด (Central Laboratory (Thailand) Co. Ltd.) สาขาจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย โดยเนื้อดินมีลักษณะเป็นดินทราย ลักษณะคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินแสดงใน (ดังตาราง 7)

ตาราง 7 ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของดิน

ลักษณะเฉพาะ (Characteristics)	ค่า (Values)	วิธีการ (Methods)
pH	5.67	A handbook of soil analysis APSDO; DOA 1/2553.
Available phosphorus (P)	13.65 mg/kg^{-1} soil	A handbook of soil analysis (Chemical and physical method) 1/2553.
Total nitrogen (N)	0.61%	A handbook of soil analysis (Chemical and physical method) 1/2553.
Total potassium (K)	19.66 mg/kg^{-1} soil	Manual of organic fertilizer analysis APSRDO; DOA 4/2551.

ตาราง 7 (ต่อ)

ลักษณะเฉพาะ (Characteristics)	ค่า (Values)	วิธีการ (Methods)
Organic matter	1.51%	A handbook of soil analysis (Chemical and physical method) 1/2553.
Soil texture	Sand	Mechanical analysis; Pipette method
Sand	87.79%	
Silt	9.39%	
Clay	2.82%	

วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. **วัสดุอุปกรณ์**
   1. กระดาษกรอง (Filter paper)
   2. กระดาษทิชชู่ (Tissue paper)
   3. กระดาษเลเบล (Label paper)
   4. กระบอกตวง (Glass measuring cylinder)
   5. กล่องเก็บหลอดทดลอง (Storage boxes)
   6. โกร่งบดยาเซรามิค (Pestle & Mortar)
   7. ขวดก้นกลม (Round-bottom flask)
   8. ขวดเก็บสารเคมีสีชา (Reagent bottle)
   9. ขวดแก้วเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue culture bottle)
   10. ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)
   11. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
   12. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
   13. ขวดแลปดูแรน (Laboratory bottle)
   14. ขวดไวแอลสีชา (Vial)
   15. เข็มฉีดยา (Syringe)
   16. คิวเวท (Cuvette)
   17. ช้อนตักสารเคมี (Spatula)

18. ตะแกรงพลาสติก (Rack vial)
19. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Test tube rack)
20. ถ้วยน้ำพร้อมฝาปิด (Plastic cup with lid)
21. ถ้วยพลาสติก (Plastic cup)
22. ถุงซิปล็อก (Zip lock bag)
23. ถุงมือยาง (Latex gloves)
24. ทิป (Tip)
25. แท่งแก้วคนสาร (Stirring glass rod)
26. บีกเกอร์ (Beaker)
27. ปากคีบสแตนเลส (Forceps)
28. ปิเปตต์แก้ว (Pipette)
29. แผงอัดพรรณไม้ (Plant press)
30. ฟอยล์ (Foil)
31. ไมโครปิเปตต์ (Micropipettes)
32. ไม้บรรทัด (Ruler)
33. ลูกยางปิเปตต์ (Rubber bulb)
34. หลอดเซนติฟิวก์ (Centrifuge tube)
35. หลอดทดลอง (Tube)

2. เครื่องมือ

1. เครื่องกลั่นระเหยระบบสุญญากาศ (Rotary-evaporator), (รุ่น RE-2000B HB-BIOTECH)
2. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography; GC-FID), (บริษัท SHIMADZU รุ่น GC-FID 2014-AFSC)
3. เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer), (รุ่น VM-300)
4. เครื่องเขย่าสารละลาย (Magnetic Stirrers), (รุ่น HI310N)
5. เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 (Analytical balance), (รุ่น PIONEER-SERIES)
6. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer), (รุ่น V-5100 METASH)
7. เครื่องสกัดซอกห์เลต (Soxhlet extractor), (รุ่น EAM-SERIES)
8. เครื่องอบลมร้อน (Hot air oven), (รุ่น MEMMERT BE-200)
9. เครื่องอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath), (รุ่น WNE-SERIES)

10. ตู้แช่แข็ง (Fresher), (รุ่น SNH-0605)

3. สารเคมี

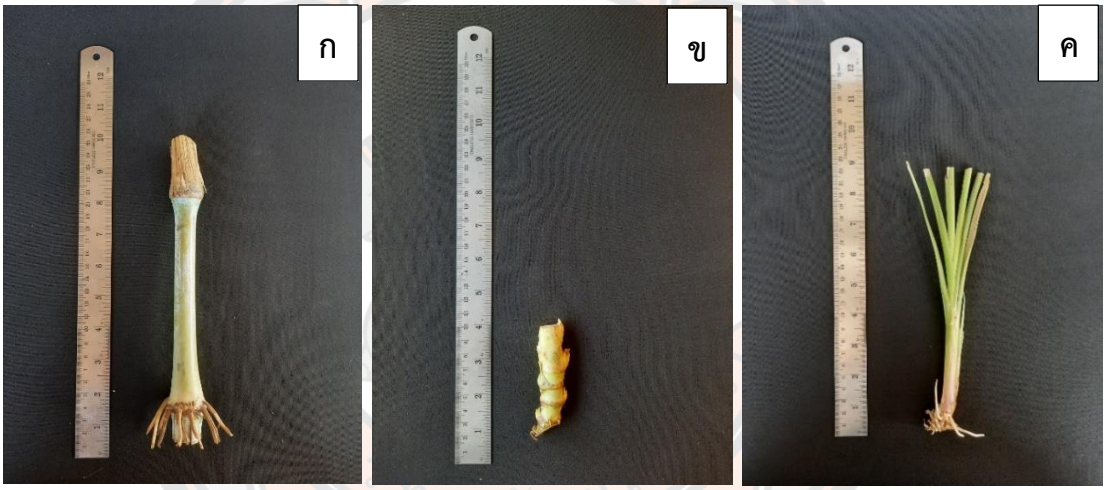
1. กรดแกลเซียลแอซีติก (Glacial acetic acid)
2. กรดจิบเบอเรลลิน (Gibberellic acid)
3. กรดซัลโฟซาลิไซลิก (Sulphosalicylic acid)
4. กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid)
5. กรดนินไฮดริน (Ninhydrin acid)
6. กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)
7. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride)
8. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate)
9. ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)
10. โทลูอีน (Toluene)
11. น้ำกลั่น (Distilled water)
12. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
13. น้ำมันเครื่องรถยนต์ (Engine oil)
14. โพรลีน (L-Proline)
15. ไพรีน (Pyrene)
16. ฟลูออรีน (Fluorine)
17. อะซิโตน (Acetone)
18. แอนทราซีน (Anthracene)
19. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)

ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

3.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

1. การเตรียมพืชที่ใช้ในการวิจัย

เลือกตัวอย่างท่อนพันธุ์ของหญ้าแฝกหอม จากตำบลขมิ้น อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง จากตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยคัดเลือกท่อนพันธุ์ที่มีลักษณะสมบูรณ์แข็งแรงอายุ 5 เดือน และมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำท่อนพันธุ์ที่คัดแยกแล้วแช่ในน้ำสะอาดเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้แตกกิ่ง ใบ และราก ก่อนนำลงปลูกในดินของแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งลักษณะของท่อนพันธุ์พืชที่ทำการวิจัย (ดังภาพ 3)



ภาพ 3 ท่อนพันธุ์ของพืชที่ใช้ในการวิจัย (ก) ท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์ปากช่อง (ข) ท่อนพันธุ์หญ้าอิสราเอล และ (ค) ท่อนพันธุ์หญ้าแฝกหอม

2. การเตรียมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการวิจัย

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ชนิด คือ กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) และกรดจิบเบอเรลลิน (Gibberellin acid; GA_3) การเตรียมสารละลายกรดซาลิไซลิกมี 4 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร และกรดจิบเบอเรลลินมี 4 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 0.01 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยการทดสอบมี 2 กรรมวิธี ดังนี้

2.1 การแช่ (Soaking; S)

การแช่ด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด กับหญ้าแฝกหอม หญ้าเนเปียร์ปากช่อง และหญ้าหวานอิสราเอล โดยหญ้าแฝกหอมและหญ้าหวานอิสราเอล ใช้สารควบคุมการ

เจริญเติบโตของพืชในการแช่ปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการแช่ปริมาตรเท่ากับ 150 มิลลิลิตร เพื่อให้ท่วมบริเวณรากและความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิด โดยแช่ด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งทำต่อจาก (ข้อ 1.) การเตรียมพืชที่ใช้ในการวิจัย การแช่ด้วยน้ำสะอาดเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้แตกกิ่ง ใบ และราก ก่อนนำลงปลูกในดินของแต่ละชุดการทดลอง

2.2 การรด (Watering; W)

การรดด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด กับหญ้าแฝกหอม หญ้าเนเปียร์ปากช่อง และหญ้าหวานอิสราเอล โดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการรดปริมาตรเท่ากับ 20 มิลลิลิตร/กระถาง โดยรดด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในวันที่ปลูกพืชบริเวณดินที่ปลูกพืช

3. การเตรียมดินและการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

นำดินใส่ถ้วยพลาสติกขนาด 30 ออนซ์ มีความกว้างขนาด 4.5 นิ้ว ปริมาณดินที่ใช้ 1 กิโลกรัม/กระถาง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างการให้กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0, 0.01, 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (2X4) (ดังตาราง 8) และกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 0, 10, 50, และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (2X4) (ดังตาราง 9) และทดสอบกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 2 กรรมวิธี ได้แก่ การแช่ และการรด ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก เป็นต้น

ตาราง 8 การทดสอบความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลินต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

ลำดับ (No)	ชุดการทดลอง (Treatments)	การแช่ (Soaking; S)	การรด (Watering; W)
1	ชุดควบคุม (Control) (การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ)	Water	Water
2	กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 mg/l	GA_3 0.01 mg/l	Water

ตาราง 8 (ต่อ)

ลำดับ (No)	ชุดการทดลอง (Treatments)	การแช่ (Soaking; S)	การรด (Watering; W)
3	กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 mg/l	GA_3 0.1 mg/l	Water
4	กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 mg/l	GA_3 1.0 mg/l	Water
5	กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 mg/l	Water	GA_3 0.01 mg/l
6	กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 mg/l	Water	GA_3 0.1 mg/l
7	กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 mg/l	Water	GA_3 1.0 mg/l

ตาราง 9 การทดสอบความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

ลำดับ (No)	ชุดการทดลอง (Treatments)	การแช่ (Soaking; S)	การรด (Watering; W)
1	ชุดควบคุม (Control) (การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ)	Water	Water
2	กรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 mg/l	SA 10 mg/l	Water
3	กรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 mg/l	SA 50 mg/l	Water
4	กรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 mg/l	SA 100 mg/l	Water
5	กรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 mg/l	Water	SA 10 mg/l
6	กรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 mg/l	Water	SA 50 mg/l
7	กรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 mg/l	Water	SA 100 mg/l

3.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

1. การเตรียมพืชที่ใช้ในการวิจัย

เลือกตัวอย่างท่อนพันธุ์ของหญ้าแฝกหอม จากตำบลขมิ้น อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง จากตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยคัดเลือกท่อนพันธุ์ที่มีลักษณะสมบูรณ์แข็งแรงอายุ 5 เดือน และมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำท่อนพันธุ์ที่คัดแยกแล้วแช่ในน้ำสะอาดเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้แตกกิ่ง ใบ และราก ก่อนนำลงปลูกในดินของแต่ละชุดการทดลอง

2. การเตรียมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการวิจัย

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 2 กรรมวิธี ได้แก่ การแช่ และการรด โดยเลือกความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากค่าทางสถิติทางชีวภาพ หรือชีวมวลของพืชจากการทดลองที่ 1 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก

เลือกสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง คือ การแช่ และการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

เลือกสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าแฝกหอม คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร และการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร

3. การเตรียมดินและการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

นำดินใส่ถ้วยพลาสติกขนาด 30 ออนซ์ มีความกว้างขนาด 4.5 นิ้ว ปริมาณดินที่ใช้ 1 กิโลกรัม/กระถาง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง โดยการเปรียบเทียบการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันระหว่างกรดจิบเบอเรลลิน และกรดซาลิไซลิก และการทดสอบกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 2 กรรมวิธี ได้แก่ การแช่ และการรด โดยเลือกความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากค่าทางสถิติทางชีวภาพ หรือชีวมวลของพืชจากการทดลองที่ 1 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำ

ต้นและราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ซึ่งความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าแฝกหอม คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร และการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (3X3) (ดังตาราง 10) และการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง คือ การแช่ และการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (3X3) (ดังตาราง 11) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก เป็นต้น

ตาราง 10 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม

รด (W) / แช่ (S)	น้ำ	กรดซาลิไซลิก SA	กรดจิบเบอเรลลิน GA_3
น้ำ	Control	(W) 50 mg/l	(W) 0.1 mg/l
SA	(S) 10 mg/l	(S) 10 mg/l : (W) 50 mg/l	(S) 10 mg/l : (W) 0.1 mg/l
GA_3	(S) 0.01 mg/l	(S) 0.01 mg/l : (W) 50 mg/l	(S) 0.01 mg/l : (W) 0.1 mg/l

ตาราง 11 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

รด (W) / แช่ (S)	น้ำ	กรดซาลิไซลิก SA	กรดจิบเบอเรลลิน GA_3
น้ำ	Control	(W) 100 mg/l	(W) 0.01 mg/l
SA	(S) 100 mg/l	(S) 100 mg/l : (W) 100 mg/l	(S) 100 mg/l : (W) 0.01 mg/l

ตาราง 11 (ต่อ)

แช่ (S) \ รด (W)	น้ำ	กรดซาลิไซลิก SA	กรดจิบเบอเรลลิน GA_3
GA_3	(S) 0.01 mg/l	(S) 0.01 mg/l : (W) 100 mg/l	(S) 0.01 mg/l : (W) 0.01 mg/l

3.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล

1. การเตรียมพืชที่ใช้ในการวิจัย

เลือกตัวอย่างท่อนพันธุ์ของหญ้าหวานอิสราเอล จากตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยคัดเลือกหญ้าหวานอิสราเอล ที่มีลักษณะสมบูรณ์แข็งแรงอายุ 5 เดือน และมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำท่อนพันธุ์ที่คัดแยกแล้วแช่ในน้ำสะอาดเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้แตกกิ่งใบ และราก ก่อนนำลงปลูกในดินของแต่ละชุดการทดลอง

2. การเตรียมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการวิจัย

การเตรียมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากค่าทางสถิติทางชีวภาพหรือชีวมวลของพืชจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก

เลือกสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

3. การเตรียมดินและการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล

นำดินใส่ถ้วยพลาสติกขนาด 30 ออนซ์ มีความกว้างขนาด 4.5 นิ้ว ปริมาณดินที่ใช้ 1 กิโลกรัม/กระถาง เพื่อทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล โดยการเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับไพรีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากค่าทาง

สถิติทางชีวภาพ หรือชีวมวลของพืชจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ซึ่งความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (2X6) (ดังตาราง 12) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 15 และ 30 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ของพืช) ได้แก่ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์บี การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์ การหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ การวัดปริมาณโพรลีนในใบ และการวิเคราะห์ปริมาณแอนทราซีนและไพรีนในดินที่ปนเปื้อนเป็นระยะเวลา 30 วัน เป็นต้น

ตาราง 12 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 15 และ 30 วัน

ลำดับ (No)	**ชุดการทดลอง (Treatments)**	**การแช่ (Soaking; S)**	**การรด (Watering; W)**
1	ชุดควบคุม (Control) (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน)	Water	Water
2	การปลูกพืชในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	Water	Water
3	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	SA 100 mg/l	Water
4	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	SA 100 mg/l	SA 100 mg/l
5	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน	SA 100 mg/l	Water
6	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน	SA 100 mg/l	SA 100 mg/l

ตาราง 12 (ต่อ)

ลำดับ (No)	ชุดการทดลอง (Treatments)	การแช่ (Soaking; S)	การรด (Watering; W)
7	ไม่ปลูกพืช ดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	-	-
8	ไม่ปลูกพืช ดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน และการรดด้วยกรดซาลิไซลิก	-	SA 100 mg/l

3.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล

1. การเตรียมพืชที่ใช้ในการวิจัย

เลือกตัวอย่างท่อนพันธุ์ของหญ้าหวานอิสราเอล จากตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยคัดเลือกหญ้าหวานอิสราเอล ที่มีลักษณะสมบูรณ์แข็งแรงอายุ 5 เดือน และมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำท่อนพันธุ์ที่คัดแยกแล้วแช่ในน้ำสะอาดเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้แตกกิ่ง ใบ และราก ก่อนนำลงปลูกในดินของแต่ละชุดการทดลอง

2. การเตรียมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการวิจัย

การเตรียมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากค่าทางสถิติทางชีวภาพหรือชีวมวลของพืชจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก

การเลือกสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

3. การเตรียมดินและการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล

นำดินใส่ถ้วยพลาสติกขนาด 30 ออนซ์ มีความกว้างขนาด 4.5 นิ้ว ปริมาณดินที่ใช้ 1 กิโลกรัม/กระถาง เพื่อทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล โดยการเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนร่วมกับการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกความเข้มข้นของ

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากค่าทางสถิติทางชีวภาพ หรือชีวมวลของพืชจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ซึ่งความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (2X6) (ดังตาราง 13) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ของพืช) ได้แก่ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์บี การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์ การหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และการวัดปริมาณโพรลีนในใบ เป็นต้น

ตาราง 13 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน

ลำดับ (No)	ชุดการทดลอง (Treatments)	การแช่ (Soaking; S)	การรด (Watering; W)
1	ชุดควบคุม (Control) (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน)	Water	Water
2	การปลูกพืชในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์	Water	Water
3	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์	SA 100 mg/l	Water
4	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์	SA 100 mg/l	SA 100 mg/l
5	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน	SA 100 mg/l	Water
6	การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน	SA 100 mg/l	SA 100 mg/l

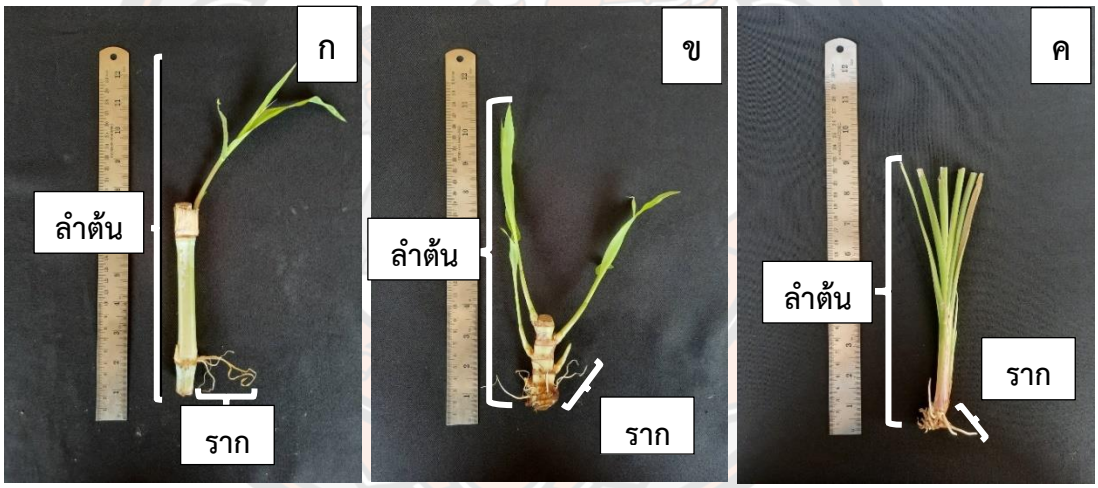
3.5 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ)

1. การวัดความยาวต้นและความยาวรากของพืช

การวัดความยาวต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าแฝกหอม นำออกจากดินโดยล้างด้วยน้ำจนสะอาด ก่อนนำไปวัดความยาวลำต้น โดยให้วัดจากโคนต้นถึงปลายใบอ่อนสุด และวัดความยาวรากของต้นกล้าโดยวัดจากโคนต้นถึงปลายราก (ดังภาพ 4)

2. การชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและรากของพืช

ภายหลังจากการวัดความยาวลำต้นและรากแล้วนำหญ้าเนเปียร์ปากช่อง หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าแฝกหอมมาตัดส่วนลำต้นและรากออกจากกัน นำไปชั่งน้ำหนักสดของลำต้นและราก ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก



ภาพ 4 การวัดความยาวต้นและความยาวรากของพืช

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาไทยในรูปภาพแสดงถึง การวัดความยาวลำต้นและความยาวรากของท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์ปากช่อง (ก) การวัดความยาวลำต้นและความยาวรากของท่อนพันธุ์ หญ้าหวานอิสราเอล (ข) และการวัดความยาวลำต้นและความยาวรากของท่อนพันธุ์หญ้าแฝกหอม (ค)

3.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ของพืช)

1. การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด โดยนำตัวอย่างใบพืช 0.2 กรัม มาตัดให้มีขนาดเล็ก แล้วแช่ในอะซิโตน (Acetone) ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 15 มิลลิลิตร จากนั้นแช่ในตู้เย็นที่มืดอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer วัดความเข้มข้นของแสงที่ความยาวคลื่น 663.3 นาโนเมตร (คลอโรฟิลล์เอ), ความยาวคลื่น 646.8 นาโนเมตร (คลอโรฟิลล์บี) และความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร (แคโรทีนอยด์) แล้วคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณแคโรทีนอยด์ แต่ละชนิดในหน่วย ไมโครกรัม/มิลลิกรัม จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ} = (12.25 \times A_{663.3}) - (2.79 \times A_{646.8})$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี} = (21.50 \times A_{646.8}) - (5.10 \times A_{663.3})$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = (A_{663.3}) + (A_{646.8})$$

$$\text{แคโรทีนอยด์} = (1000 \times A_{470}) - (1.82 \times A_{663.3}) - (85.02 \times A_{646.8}) / 198$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณโพรลีนในใบ

การวิเคราะห์หาปริมาณโพรลีนในใบพืชโดยเลือกตัวอย่างพืชตำแหน่งของใบที่ 3-4 นำตัวอย่างใบพืช 0.3 กรัม นำมาบดใน 30 เปอร์เซ็นต์ ของกรดซัลโฟซาลิไซลิก (Sulphosalicylic acid) (การเตรียมกรดซัลโฟซาลิไซลิกปริมาณ 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร) ใช้สารละลายกรดซัลโฟซาลิไซลิกปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และจากนั้นนำส่วนใส (Supernatant) ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ผสมกับกรดนินไฮดริน (Ninhydrin acid) (การเตรียมสารละลายกรดนินไฮดรินปริมาณ 1.5 กรัม ละลายในกรดแกลเซียลแอซีติกปริมาณ 30 มิลลิลิตร และละลายในกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) (6N H_3PO_4) ปริมาณ 20 มิลลิลิตร) โดยใช้สารละลายกรดนินไฮดรินปริมาณ 2 มิลลิลิตร ผสมกับส่วนใสปริมาณ 2 มิลลิลิตร และจากนั้นนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และแช่ในน้ำแข็ง เพื่อให้สิ้นสุดปฏิกิริยาในอ่างน้ำแข็งเป็นระยะเวลา 10 นาที และสกัดด้วยโทลูอีน (Toluene) ปริมาณ 4 มิลลิลิตร นำไปเขย่าสารเป็นระยะเวลา 20 วินาที โดยจะเกิดการแยกตัวระหว่างส่วนที่เป็นน้ำ และส่วนที่เป็นโทลูอีนซึ่งมีสี ดูดส่วนที่มีสีไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ความยาวคลื่นที่ 520 นาโนเมตร (ใช้โทลูอีนเป็น Blank) แล้วคำนวณปริมาณโพรลีนในใบ แต่ละชนิดในหน่วย มิลลิกรัม/กรัม จากสูตรดังต่อไปนี้

ปริมาณโพรลีนในใบ = (ความเข้มข้นจากกราฟ) x (ปริมาตรโทลูอีน) x (ปริมาตรกรดซัลโฟซาลิไซลิก)
(ปริมาณพืช) x (ปริมาตรสารละลายพืชที่ดูดไปทำปฏิกิริยากับกรดนินไฮดริน)

3. การหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Relative Water Content; RWC)

บันทึกอายุของพืชซึ่งควรมีอายุตั้งแต่ 4 สัปดาห์ขึ้นไป ติดเครื่องหมายที่ถุงซิปล็อกสำหรับตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักถุงซิปล็อกแต่ละใบบันทึกเป็นค่า BW (Bag Weight) เลือกใบพืชที่เจริญเติบที่ และเลือกช่วงเวลาของวันที่ใบพืชขยายเต็มที่แต่ไม่เกิน 12.00 นาฬิกา ใบที่มีก้านใบให้ใช้ใบมีดโกนตัดใบพืชโดยมีก้านใบติดไว้ประมาณ 1 เซนติเมตร ส่วนใบที่ไม่มีก้านใบ เช่น พืชวงศ์หญ้าให้ใช้มีดโกนใบพืชจากด้วนปลายใบให้มีความยาว 10 เซนติเมตร (ตัดใบให้มีขนาดเท่ากันทุกตัวอย่าง เช่น ความยาว 10 เซนติเมตร ทุกตัวอย่าง) ข้อควรระวังคือต้องตัดใบพืชจากแต่ละต้นให้มีขนาดของใบใกล้เคียงกัน และตำแหน่งของใบที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งกำหนดใบที่ถูกตัดคือใบตำแหน่งที่ 5 ของแต่ละต้น นับจากใบที่อยู่ด้วนในสุด (ทดลองจำนวน 5 ซ้ำ) วางใบพืชลงในถุงซิปล็อกให้ตรงกับชื่อของตัวอย่าง (ดังภาพ 5) ลำเลียงถุงที่ที่บรรจุพืชวางไว้ในกล่องทึบแสงที่ปิดสนิดและเคลื่อนย้ายทั้งกล่องไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นชั่งน้ำหนักใบพร้อมถุง โดยน้ำหนักถุงที่มีใบพืชด้านในให้บันทึกค่า TFW (Total Fresh Weight)

ภาพ 5 ลักษณะการวางใบในการหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ

จากนั้นเปิดปากถุงแล้วใช้ปิเปตเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ลงที่ก้นถุงแต่ละใบปริมาตร 3 มิลลิลิตร โดยต้องแน่ใจว่ามีเฉพาะก้านใบหรือด้านโคนใบเท่านั้นที่แช่อยู่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ดังภาพ 6) จากนั้นปิดปากถุงซิปล็อก

แล้วบรรจุถุงตัวอย่างแต่ละถุงลงในกล่องทึบแสงที่ปิดสนิดอีกครั้งตั้งทิ้งไว้ เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ภาพ 6 การแช่ใบในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

เมื่อครบเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง นำใบพืชออกมาวางบนกระดาษทิชชูเพื่อซับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ส่วนเกินที่ติดอยู่ที่ใบออกจากนั้นเคลื่อนย้ายใบพืชไปชั่ง (ชั่งเฉพาะใบพืช) บันทึกค่าเป็นน้ำหนักเต่ง TW (Turgid Weight) จากนั้นชั่งน้ำหนักแล้วนำใบพืชใส่ลงในถุงกระดาษ 1 ใบพืชต่อถุงกระดาษ 1 ถุง นำใบพืชไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำใบพืชมาชั่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักเป็นค่าของน้ำหนักแห้ง DW (Dry Weight) จากนั้นคำนวณค่าปริมาณน้ำหนักสัมพันธ์ของใบตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของใบ} = \frac{\text{(น้ำหนักใบพืชรวมน้ำหนักถุง - น้ำหนักถุง) - น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักเต่ง - น้ำหนักแห้ง}}$$

4. การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณแอนทราซีนและไพรีนในดิน

4.1 การสกัดแอนทราซีนและไพรีนในดินที่ปนเปื้อน

การสกัดแอนทราซีนและไพรีนในดินที่เหลือเป็นระยะเวลา 30 วัน ในการปลูกพืช โดยนำตัวอย่างดินแห้ง 1 กรัม บดผสมกับโซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate), (Na_2SO_4) ที่ปราศจากน้ำในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นละลายฟลูออรีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกาความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ในไดคลอโรมีเทนและเติมลงในดินตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร เพื่อใช้เป็น Internal standard แล้วจึงนำตัวอย่างดินมาสกัดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ด้วย

เครื่อง Soxhlet extraction เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง และปรับอุณหภูมิบนเตาให้ตัวทำละลายหมุนเวียนในหลอดบรรจุสารตัวอย่างให้ได้ 6 รอบ/ชั่วโมง ต่อมานำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ระเหยด้วยเครื่อง Rotary evaporator

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณแอนราซีนและไพรีน

การวิเคราะห์ปริมาณแอนราซีนและไพรีนโดยใช้เครื่อง GC-FID (บริษัท SHIMADZU รุ่น GC-2014AFSC) ในสภาวะการแยกสารใช้แคปิลลารีชนิด RTX®-5MS (บริษัท RESTEK) (30 เมตร x 25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร) โดยฉีดสารแบบ Split ใช้อัตราส่วนในการ Split เป็น 20 อัตรา การไหลของแก๊สฮีเลียม 1.21 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้น 150 องศาเซลเซียส โดยคงไว้ที่อุณหภูมิเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยอัตรา 12 องศาเซลเซียส/นาที จนอุณหภูมิคอลัมน์สูงถึง 280 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของดีเทคเตอร์เป็น 350 องศาเซลเซียส ปริมาตรในการฉีดสารเท่ากับ 1 ไมโครลิตร

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติ One-way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ด้วย LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับการทดลองที่ 1, 3 และ 4)

การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติ Two-way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ด้วย LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับการทดลองที่ 2)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองที่ 1 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างการให้กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0, 0.01, 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 0, 10, 50, และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร และทดสอบกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 2 กรรมวิธี ได้แก่ การแช่ และการรด ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบกรดจิบเบอเรลลินต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล

1. ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 25.30±0.40 และ 24.60±0.52 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 14 และดังภาพ 7)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 27.40±0.29 เซนติเมตร (ดังตาราง 14 และดังภาพ 7)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 13.70±0.23 และ 13.10±0.60 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 14)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 14.00±0.50 กรัม (ดังตาราง 14)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 6.60±0.40 กรัม (ดังตาราง 14)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 6.10±0.51, 5.70±0.38 และ 5.20±0.30 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 14)

4. ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มเข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 30.40±0.36 เซนติเมตร (ดังตาราง 14 และดังภาพ 7)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอ

เรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 31.70±0.51 เซนติเมตร (ดังตาราง 14 และดังภาพ 7)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอล

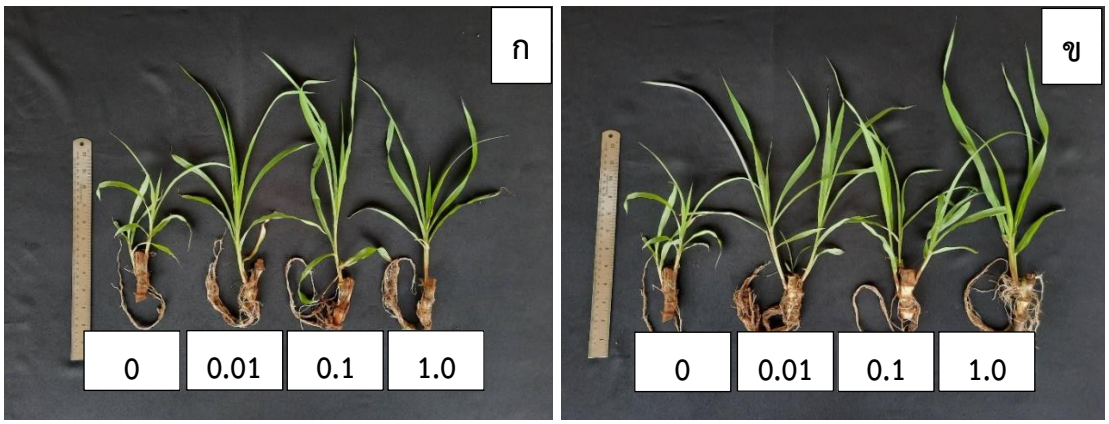
หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 4.70±0.21 กรัม (ดังตาราง 14)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 4.10±0.26 และ 3.70±0.20กรัม (ดังตาราง 14)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 2.60±0.16 กรัม (ดังตาราง 14)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 2.40±0.06 และ 2.20±0.10 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 14)



ภาพ 7 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน

ตาราง 14 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดจิบเบอเรลลินหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ราก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ราก (กรัม)
<u>การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน</u>						
1. ชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ)	20.80±0.26^{c}	8.30±0.37^{c}	3.90±0.35^{c}	28.20±0.30^{b}	2.00±0.12^{c}	0.20±0.07^{d}
2. ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร	24.60±0.52^{a}	13.70±0.23^{a}	6.60±0.40^{a}	30.40±0.36^{a}	4.70±0.21^{a}	2.60±0.16^{a}
.13. ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร	25.30±0.40^{a}	13.10±0.60^{a}	5.00±0.26^{b}	28.00±0.26^{b}	2.40±0.22^{c}	1.40±0.09^{c}
4. ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	22.40±0.56^{b}	10.30±0.42^{b}	4.90±0.31^{b}	28.20±0.51^{b}	3.40±0.13^{b}	2.10±0.08^{b}
<u>การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน</u>						
1. ชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ)	20.80±0.26^{d}	8.30±0.37^{d}	3.90±0.35^{b}	28.20±0.30^{b}	2.00±0.12^{c}	0.20±0.07^{b}
2. ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร	27.40±0.29^{a}	14.00±0.50^{a}	6.10±0.51^{a}	31.70±0.51^{a}	4.10±0.26^{a}	2.40±0.06^{a}
3. ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร	22.90±0.55^{c}	10.20±0.43^{c}	5.20±0.30^{a}	27.80±0.38^{b}	2.70±0.13^{b}	1.50±0.09^{b}
4. ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	24.90±0.28^{b}	12.80±0.36^{b}	5.70±0.38^{a}	28.90±0.29^{b}	3.70±0.20^{a}	2.20±0.10^{a}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้วิธีการเดียวกัน

ผลการทดสอบกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล

1. ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 37.50±20.13 และ 31.90±0.47เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 15 และดังภาพ 8)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 25.20±0.97 เซนติเมตร (ดังตาราง 15 และดังภาพ 8)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 11.70±0.50 และ 11.10±0.47 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 15)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 11.50±0.32 กรัม (ดังตาราง 15)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักแห้งลำต้น

มากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 5.40±0.14 กรัม (ดังตาราง 15)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิกระดับความเข้มข้น 50 และ 100 มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 5.20±0.34 กรัม (ดังตาราง 15)

4. ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวรากมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 36.60±0.38 เซนติเมตร (ดังตาราง 15 และดังภาพ 8)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวรากมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 38.70±0.48 เซนติเมตร (ดังตาราง 15 และดังภาพ 8)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดรากมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 4.50±0.18 กรัม (ดังตาราง 15)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดรากมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 5.10±0.28 และ 4.60±0.42 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 15)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.70±0.04 กรัม (ดังตาราง 15)

หญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าหวานอิสราเอลรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 2.10±0.16 กรัม (ดังตาราง 15)

ภาพ 8 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน

ตาราง 15 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดซาลิไซลิกหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก						
1. ชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ)	13.70±0.25^{c}	6.30±0.28^{c}	3.30±0.13^{c}	20.30±0.27^{d}	1.70±0.16^{c}	0.20±0.10^{c}
2. ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร	17.70±0.44^{b}	11.70±0.50^{a}	5.40±0.14^{a}	26.40±0.43^{c}	2.60±0.12^{b}	1.30±0.01^{b}
3. ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร	31.90±0.47^{a}	10.00±0.53^{b}	4.50±0.23^{b}	31.90±0.36^{b}	2.80±0.19^{b}	1.70±0.04^{a}
4. ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร	37.50±20.13^{a}	11.10±0.47^{a}	4.40±0.22^{b}	36.60±0.38^{a}	4.50±0.18^{a}	1.30±0.05^{b}
การรดด้วยกรดซาลิไซลิก						
1. ชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ)	13.70±0.25^{c}	6.30±0.28^{c}	3.30±0.13^{c}	20.30±0.27^{d}	1.70±0.16^{c}	0.20±0.10^{c}
2. ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร	20.60±0.21^{b}	7.60±0.50^{b}	3.50±0.24^{bc}	22.10±0.54^{c}	2.90±0.23^{b}	1.50±0.03^{b}
3. ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร	25.20±0.97^{a}	7.70±0.41^{b}	4.00±0.16^{b}	33.90±0.08^{b}	4.60±0.42^{a}	1.60±0.05^{b}
4. ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร	21.50±0.28^{b}	11.50±0.32^{a}	5.20±0.34^{a}	38.70±0.48^{a}	5.10±0.28^{a}	2.10±0.16^{a}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้วิธีการเดียวกัน

ผลการทดสอบกรดจิบเบอเรลลินต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

1. ความยาวลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 70.10±1.82 และ 66.60±1.50 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 16 และดังภาพ 9)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 16 และดังภาพ 9)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 29.50±0.79 และ 28.80±0.40 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 16)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 35.90±0.82 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 16)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ระดับความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 23.60±0.47 กรัม (ดังตาราง 16)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ทุกระดับความเข้มข้น มี

น้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 25.90±0.62 และ 25.10±0.44 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 16)

4. ความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การแช่กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 24.90±0.66 เซนติเมตร (ดังตาราง 16 และดังภาพ 9)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) มีความยาวรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 18.20±0.42 และ 17.70±0.17 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 16 และดังภาพ 9)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 2.49±0.09 กรัม (ดังตาราง 16)

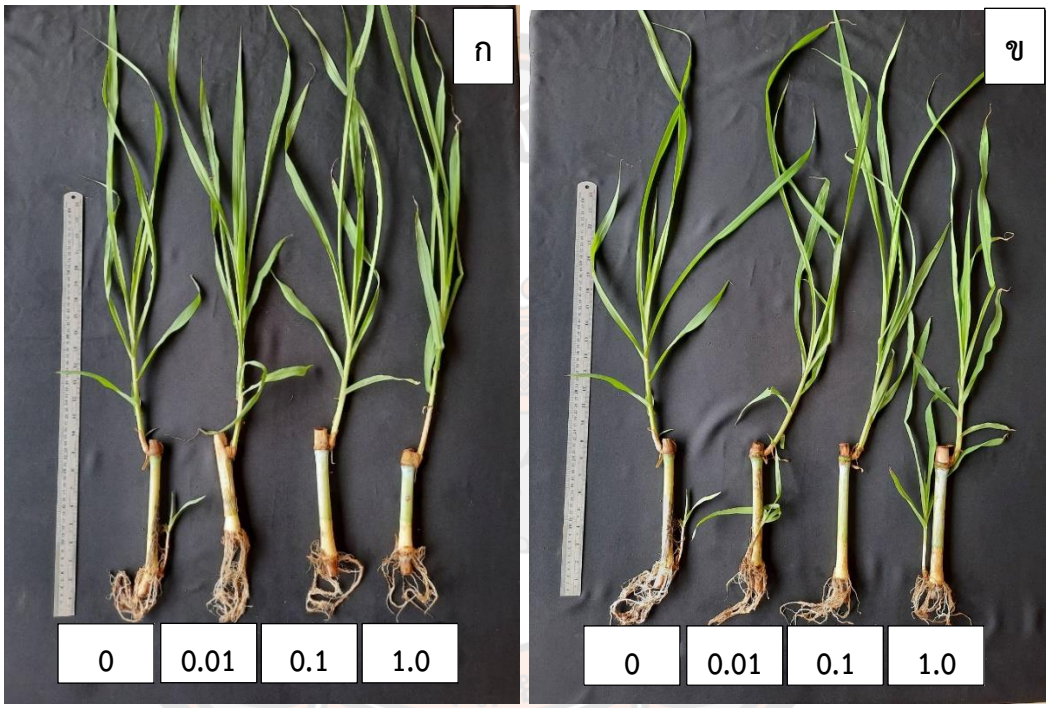
หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่รดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.78±0.03 และ 1.75±0.03 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 16)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ

หญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 0.96±0.02 กรัม (ดังตาราง 16)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 16)



ภาพ 9 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน

ตาราง 16 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดจิบเบอเรลลินหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ราก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ราก (กรัม)
<u>การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน</u>						
1. ชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ)	52.90±0.64^{b}	24.40±0.92^{b}	20.10±0.28^{c}	17.70±0.17^{b}	1.75±0.03^{b}	0.66±0.03^{b}
2. ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร	61.40±1.53^{b}	25.90±0.59^{b}	19.50±0.36^{c}	24.90±0.66^{a}	2.49±0.09^{a}	0.96±0.02^{a}
3. ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร	70.10±1.82^{a}	28.80±0.40^{a}	21.80±0.47^{b}	18.00±0.42^{b}	1.78±0.04^{b}	0.56±0.04^{c}
4. ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	66.60±1.50^{a}	29.50±0.79^{a}	23.60±0.47^{a}	17.10±0.26^{b}	1.68±0.03^{b}	0.48±0.02^{d}
<u>การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน</u>						
1. ชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ)	52.90±0.64^{a}	24.40±0.92^{c}	20.10±0.28^{c}	17.70±0.17^{a}	1.75±0.03^{a}	0.66±0.03^{a}
2. ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร	50.00±5.96^{a}	31.70±0.71^{b}	25.10±0.44^{a}	18.20±0.42^{a}	1.78±0.03^{a}	0.46±0.02^{b}
3. ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร	65.00±0.69^{a}	32.60±0.67^{b}	23.80±0.38^{b}	16.50±0.58^{b}	1.64±0.03^{b}	0.36±0.02^{c}
4. ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	56.10±1.76^{a}	35.90±0.82^{a}	25.90±0.62^{a}	15.70±0.38^{b}	1.65±0.04^{b}	0.38±0.02^{c}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้วิธีการเดียวกัน

ผลการทดสอบกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

1. ความยาวลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 60.40±1.29 เซนติเมตร (ดังตาราง 17 และดังภาพ 10)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 59.60±0.63 เซนติเมตร (ดังตาราง 17 และดังภาพ 10)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 17)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 29.00±0.95 กรัม (ดังตาราง 17)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 23.30±0.38 และ 22.20±0.44กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 17)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 17)

4. ความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความ

เข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 24.90±0.19 เซนติเมตร (ดังตาราง 17 และดังภาพ 10)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 22.30±0.51 เซนติเมตร (ดังตาราง 17 และดังภาพ 10)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 2.14±0.05 กรัม (ดังตาราง 17)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 2.48±0.06 กรัม (ดังตาราง 17)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าเนเปียร์ปากช่องในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.01±0.06 กรัม (ดังตาราง 17)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 17)

ภาพ 10 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน

ตาราง 17 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดซาลิไซลิกหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ราก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ราก (กรัม)
<u>การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก</u>						
1. ชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ)	50.00±0.71^{b}	25.00±0.44^{a}	18.00±0.49^{b}	17.70±0.30^{b}	1.73±0.03^{b}	0.60±0.02^{b}
2. ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร	53.40±0.51^{ab}	25.60±0.33^{a}	16.70±0.22^{c}	17.60±0.19^{b}	1.62±0.01^{c}	0.38±0.01^{c}
3. ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร	60.40±1.29^{a}	28.50±0.54^{a}	22.20±0.44^{a}	17.00±0.42^{b}	1.77±0.02^{b}	0.68±0.04^{b}
4. ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร	51.80±0.49^{ab}	27.50±1.91^{a}	23.30±0.38^{a}	24.90±0.19^{a}	2.14±0.05^{a}	1.01±0.06^{a}
<u>การรดด้วยกรดซาลิไซลิก</u>						
1. ชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ)	50.00±0.71^{b}	25.00±0.44^{b}	18.00±0.49^{a}	17.70±0.30^{bc}	1.73±0.03^{b}	0.60±0.02^{a}
2. ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร	53.60±0.24^{ab}	26.20±0.52^{b}	16.40±0.93^{a}	18.70±0.34^{b}	1.75±0.04^{b}	0.67±0.03^{a}
3. ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร	52.60±0.93^{ab}	27.20±0.63^{ab}	17.20±0.25^{a}	17.10±0.29^{c}	1.63±0.02^{b}	0.40±0.03^{a}
4. ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร	59.60±0.63^{a}	29.00±0.95^{a}	17.20±0.35^{a}	22.30±0.51^{a}	2.48±0.06^{a}	0.70±0.17^{a}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้วิธีการเดียวกัน

ผลการทดสอบกรดจิบเบอเรลลินต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม

1. ความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 27.90±2.45 เซนติเมตร (ดังตาราง 18 และดังภาพ 11)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 29.70±0.94 เซนติเมตร (ดังตาราง 18 และดังภาพ 11)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 8.80±0.17 และ 7.40±0.15 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 18)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 และ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 8.10±0.26 และ 6.80±0.28 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 18)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 1.70±0.02 กรัม (ดังตาราง 18)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุด

ควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 1.70±0.08 กรัม (ดังตาราง 18)

4. ความยาวรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 23.30±0.37 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 18 และดังภาพ 11)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 16.50±0.45 และ 16.10±0.46 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 18 และดังภาพ 11)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.13±0.01 กรัม (ดังตาราง 18)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 1.0 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.12±0.01 และ 0.08±0.01 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 18)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.03±0.01 กรัม (ดังตาราง 18)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.04±0.00 และ 0.04±0.00 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 18)

ภาพ 11 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน

ตาราง 18 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าแฝกหอมสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดจิบเบอเรลลินหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
<u>การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน</u>						
1. ชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ)	22.70±0.79^{b}	5.20±0.28^{c}	1.30±0.08^{b}	11.80±0.28^{b}	0.06±0.00^{b}	0.02±0.00^{b}
2. ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร	21.80±1.06^{b}	8.80±0.17^{a}	1.70±0.02^{a}	23.30±0.37^{a}	0.13±0.01^{a}	0.03±0.01^{a}
3. ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร	27.90±2.45^{a}	7.40±0.15^{b}	1.60±0.02^{ab}	9.00±0.35^{c}	0.04±0.01^{b}	0.02±0.00^{b}
4. ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	24.50±0.54^{b}	5.40±0.07^{c}	1.40±0.08^{b}	9.70±0.37^{c}	0.05±0.01^{b}	0.02±0.00^{b}
<u>การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน</u>						
1. ชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ)	22.70±0.79^{b}	5.20±0.28^{c}	1.30±0.08^{b}	11.80±0.28^{b}	0.06±0.00^{c}	0.02±0.00^{b}
2. ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร	24.50±0.50^{b}	5.10±0.09^{c}	1.40±0.12^{b}	8.60±0.18^{c}	0.04±0.00^{c}	0.01±0.00^{b}
3. ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร	24.10±0.90^{b}	6.80±0.28^{b}	1.60±0.03^{ab}	16.10±0.46^{a}	0.08±0.01^{b}	0.04±0.00^{a}
4. ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	29.70±0.94^{a}	8.10±0.26^{a}	1.70±0.08^{a}	16.50±0.45^{a}	0.12±0.01^{a}	0.04±0.00^{a}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้วิธีการเดียวกัน

ผลการทดสอบกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม

1. ความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 28.80±0.60 และ 24.80±0.29 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 19 และดังภาพ 12)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 27.70±1.39 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 19 และดังภาพ 12)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 12.70±0.38 และ 9.00±0.33 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 19)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิต เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 9.30±0.27 และ 7.40±0.24 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 19)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.20±0.02 และ 0.13±0.01 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 19)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การรดด้วยกรดกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.16±0.00 กรัม (ดังตาราง 19)

4. ความยาวรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 25.00±2.03 และ 22.50±0.35 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 19 และดังภาพ 12)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีความยาวรากมากกว่า หญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีความยาวรากมากกว่า หญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 31.30±1.25, 25.60±0.37 และ 12.30±0.54 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 19 และดังภาพ 12)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอม

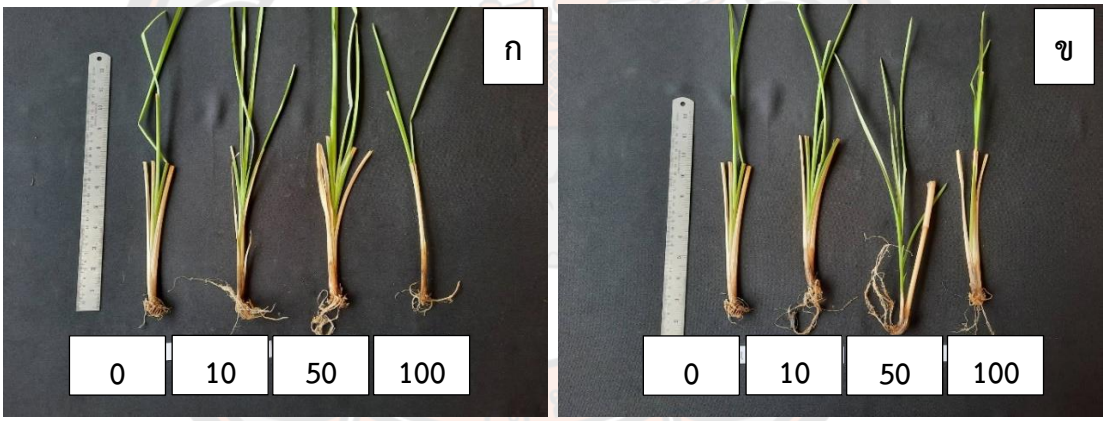
หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.14±0.01 และ 0.11±0.00 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 19)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักสดรากมากกว่า หญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักสดรากมากกว่า หญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.20±0.01, 0.16±0.00 และ 0.07±0.00 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 19)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร และหญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.05±0.01 กรัม (ดังตาราง 19)

หญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า หญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหญ้าแฝกหอมรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทุกระดับความเข้มข้น มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า หญ้าแฝกหอมในชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.08±0.00, 0.06±0.00 และ 0.03±0.00 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 19)



ภาพ 12 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก (ก) ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมโดยการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ข) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 20 วัน

ตาราง 19 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าแฝกหอมสภาวะที่กระตุ้นด้วยกรดซาลิไซลิกหลังจากปลูกในดินเป็นระยะเวลา 20 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
<u>การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก</u>						
1. ชุดควบคุม (การแช่ด้วยน้ำ)	22.30±0.41^{c}	6.40±0.19^{c}	0.06±0.00^{c}	9.60±0.43^{b}	0.05±0.00^{c}	0.01±0.00^{b}
2. ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร	24.80±0.29^{b}	9.00±0.33^{b}	0.13±0.01^{b}	25.00±2.03^{a}	0.14±0.01^{a}	0.05±0.01^{a}
3. ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร	28.80±0.60^{a}	12.70±0.38^{a}	0.20±0.02^{a}	22.50±0.35^{a}	0.11±0.00^{b}	0.03±0.00^{b}
4. ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร	21.60±0.33^{c}	5.80±0.45^{c}	0.05±0.01^{c}	9.00±0.20^{b}	0.04±0.01^{c}	0.01±0.00^{b}
<u>การรดด้วยกรดซาลิไซลิก</u>						
1. ชุดควบคุม (การรดด้วยน้ำ)	22.30±0.41^{b}	6.40±0.19^{c}	0.06±0.00^{b}	9.60±0.43^{d}	0.05±0.00^{d}	0.01±0.00^{d}
2. ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร	27.70±1.39^{a}	9.30±0.27^{a}	0.16±0.00^{a}	25.60±0.37^{b}	0.16±0.00^{b}	0.06±0.00^{b}
3. ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร	22.90±0.44^{b}	7.40±0.24^{b}	0.06±0.00^{b}	31.30±1.25^{a}	0.20±0.01^{a}	0.08±0.00^{a}
4. ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร	22.60±0.41^{b}	5.90±0.15^{c}	0.05±0.00^{b}	12.30±0.54^{c}	0.07±0.00^{c}	0.03±0.00^{c}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้วิธีการเดียวกัน

4.2 ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง โดยการเปรียบเทียบการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันระหว่างกรดจิบเบอเรลลิน และกรดซาลิไซลิก และการทดสอบกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 2 กรรมวิธี ได้แก่ การแช่ และการรด โดยเลือกความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากการเจริญเติบโตของพืช จากการทดลองที่ 1 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ การเจริญเติบโตของพืช ซึ่งความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าแฝกหอม คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร การรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร และการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง คือ การแช่ และการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม หญ้าหวานอิสราเอล และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์หญ้า

1. ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 51.50±0.79 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้า

หวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 48.80±0.41 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 45.50±0.39 และ 44.80±0.37 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 48.80±0.41 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 51.50±0.79 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอ

เรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 45.50±0.39 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 21.70±0.30 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 26.70±0.75 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 14.90±0.45 และ 14.70±0.42 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 26.70±0.75 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 24.60±0.34 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่น้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่น้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 21.70±0.30 กรัม (ดังตาราง 20)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 13.70±0.59 และ 12.64±0.68 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 21.50±0.94 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 21.50±0.94 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 18.90±0.52 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วย

กรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 13.70±0.59 กรัม (ดังตาราง 20)

4. ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 31.30±0.51 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 38.80±0.41 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 36.20±0.41 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่

ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 36.20±0.41 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 34.10±0.33 เซนติเมตร (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวรากมากกว่า หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 31.30±0.51 และ 30.80±0.47 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 20 และดังภาพ 13)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 3.40±0.29 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 2.60±0.19 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 20)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอล

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.33±0.10 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่

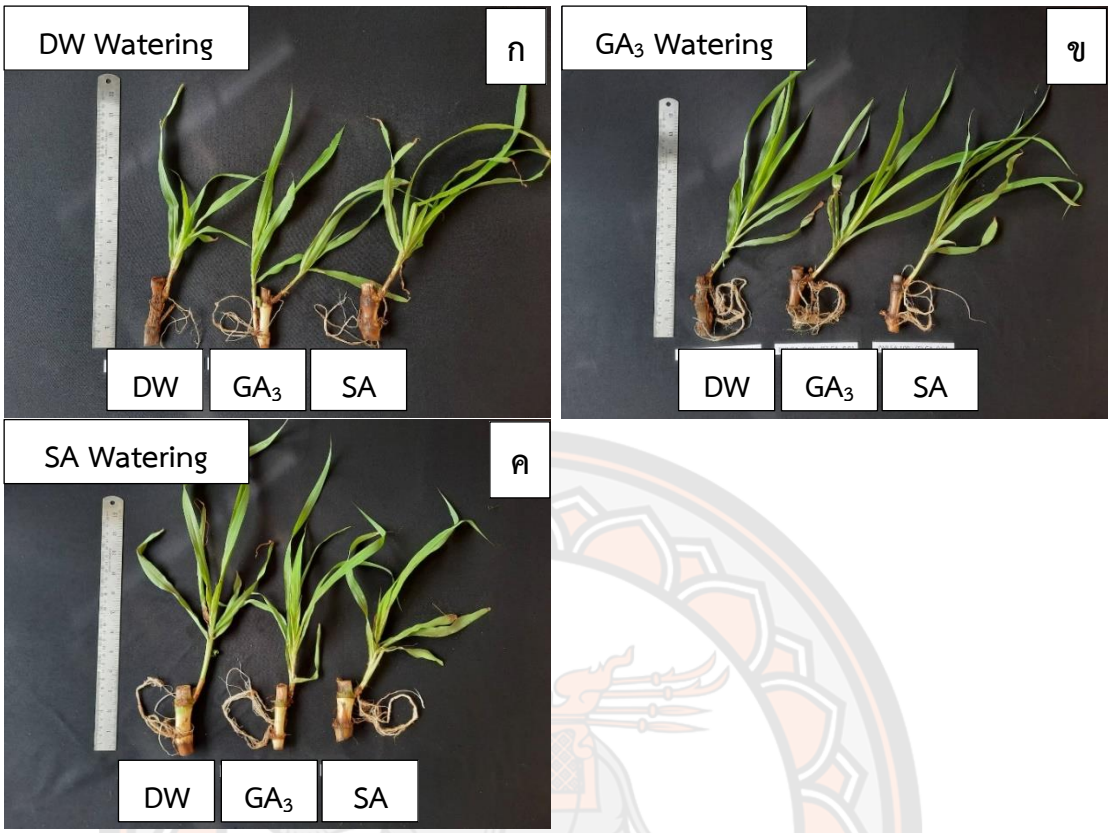
ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.85±0.04 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.28±0.06 และ 1.28±0.08 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.85±0.04 กรัม (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.52±0.08 และ 1.52±0.04 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 20)

หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 20)



ภาพ 13 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ การรดด้วยน้ำ (ก) การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) และการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ค) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน

หมายเหตุ: DW Watering คือ การรดด้วยน้ำ, GA_3 Watering คือ การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, SA Watering คือ การรดด้วยกรดซาลิไซลิก, DW คือ การแช่ด้วยน้ำ, GA_3 คือ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และ SA การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก เป็นต้น

ตาราง 20 ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
การแช่ด้วยน้ำ						
1. การรดด้วยน้ำ	32.20±0.73^{cC}	7.50±0.16^{cC}	3.52±0.26^{bC}	24.00±0.35^{cC}	1.29±0.13^{aC}	0.57±0.04^{cC}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	51.50±0.79^{aA}	19.90±0.43^{bB}	12.64±0.68^{aB}	26.20±0.46^{bC}	2.23±0.08^{aAB}	1.52±0.08^{aA}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	37.20±0.56^{bC}	21.70±0.30^{aA}	13.75±0.59^{aA}	31.30±0.51^{aA}	2.34±0.09^{aA}	1.33±0.10^{bA}
การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก						
1. การรดด้วยน้ำ	48.80±0.41^{aA}	26.70±0.75^{aA}	21.58±0.94^{aA}	33.80±0.41^{aB}	3.44±0.29^{aA}	1.85±0.04^{aA}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	46.00±0.42^{bB}	24.60±0.34^{bA}	18.94±0.52^{bA}	31.30±0.51^{bB}	2.68±0.19^{aA}	1.52±0.04^{bA}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	42.40±0.70^{cB}	15.00±0.56^{cB}	8.57±0.47^{cB}	30.80±0.70^{bA}	2.04±0.20^{aA}	1.20±0.04^{cA}
การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน						
1. การรดด้วยน้ำ	44.80±0.37^{aB}	14.70±0.42^{aB}	6.60±0.24^{aB}	36.20±0.41^{aA}	2.34±0.12^{aB}	1.28±0.06^{aB}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	39.50±1.14^{bC}	13.00±0.40^{bC}	6.46±0.49^{aC}	34.10±0.33^{bA}	1.81±0.25^{aB}	1.08±0.02^{bB}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	45.50±0.39^{aA}	14.90±0.45^{aB}	6.57±0.46^{aC}	23.90±0.48^{cB}	2.18±0.19^{aA}	1.28±0.08^{aA}
***F*-test การแช่ x การรด**	**	**	**	**	**	**

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างการแช่ด้วยวิธีเดียวกันและตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างการรดด้วยวิธีการเดียวกัน และเครื่องหมาย ** แสดงข้อมูลรูปแบบการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการแช่และการรดที่ระดับนัยสำคัญ ($P < 0.01$)

ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

1. ความยาวลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 66.40±0.60 และ 66.30±0.54 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 74.00±1.09 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 88.20±0.97 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 86.00±0.89 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 85.60±0.40 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 88.20±0.97 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 24.10±0.70 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตา

มด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 34.50±1.16 กรัม (ดังตาราง 24)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 42.90±0.83 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 35.10±0.99 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักลำต้นของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 42.90±0.83 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยนกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบ

เบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 37.30±0.52 กรัม (ดังตาราง 25)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 18.00±0.32 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 25.40±0.22 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 27.00±0.30 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตา

มด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 23.60±0.24 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 27.00±0.30 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินและการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 25.50±0.37 และ 25.40±0.22 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 21)

4. ความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากได้สูงสุดเท่ากับ 21.10±0.43 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนเปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วย

การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 21.50±0.27 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 23.10±0.24 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 17.10±0.29 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 23.10±0.24 เซนติเมตร (ดังตาราง 21 และดังภาพ 14)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าเนปียร์ปากช่อง

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์แช่ด้วยน้ำตาม

ด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.80±0.04 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.90±0.05 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.90±0.02 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.70±0.01 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วย

การรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.90±0.05 และ 1.90±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 1.80±0.04 และ 1.80±0.04 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 21)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนปียร์ปากช่อง

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 0.84±0.02 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 0.82±0.02 และ 0.76±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การ

แช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 0.85±0.06 และ 0.82±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าเนปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 0.70±0.02 และ 0.70±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากไม่แตกต่างกับการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลได้สูงสุดเท่ากับ 0.85±0.06 กรัม (ดังตาราง 21)

หญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าเนปียร์ปากช่องแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าเนปียร์ปากช่องการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากไม่แตกต่างกับการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้สูงสุดเท่ากับ 0.84±0.02 กรัม (ดังตาราง 21)

ภาพ 14 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าเนเปียร์ปากช่องที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ การรดด้วยน้ำ (ก) การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) และการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ค) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน

หมายเหตุ: DW Watering คือ การรดด้วยน้ำ, GA_3 Watering คือ การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, SA Watering คือ การรดด้วยกรดซาลิไซลิก, DW คือ การแช่ด้วยน้ำ, GA_3 คือ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และ SA การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก เป็นต้น

ตาราง 21 ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
การแช่ด้วยน้ำ						
1. การรดด้วยน้ำ	55.80±0.37^{bC}	18.60±0.36^{cC}	11.40±0.65^{cC}	13.20±0.94^{cC}	1.10±0.03^{cC}	0.54±0.03^{cB}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	66.30±0.54^{aC}	21.50±0.45^{bC}	14.70±0.36^{bC}	21.10±0.43^{aA}	1.50±0.04^{bB}	0.76±0.02^{bB}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	66.40±0.60^{aC}	24.10±0.70^{aC}	18.00±0.32^{aB}	17.10±0.48^{bB}	1.80±0.04^{aA}	0.84±0.02^{aA}
การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก						
1. การรดด้วยน้ำ	61.80±0.20^{cB}	20.90±0.36^{cB}	16.00±0.23^{cB}	17.10±0.29^{bA}	1.40±0.03^{cB}	0.70±0.02^{bA}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	71.20±0.58^{bB}	30.50±0.86^{bB}	24.20±0.35^{bB}	21.50±0.27^{aA}	1.90±0.05^{aA}	0.82±0.02^{aAB}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	74.00±1.09^{aB}	34.50±1.16^{aB}	25.40±0.22^{aA}	17.90±0.29^{bB}	1.70±0.04^{bB}	0.76±0.02^{abB}
การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน						
1. การรดด้วยน้ำ	86.00±0.89^{bA}	35.10±0.99^{cA}	23.60±0.24^{cA}	15.50±0.50^{cB}	1.70±0.01^{bA}	0.70±0.02^{bA}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	85.60±0.40^{bA}	42.90±0.83^{aA}	27.00±0.30^{aA}	20.80±0.46^{bA}	1.90±0.02^{aA}	0.85±0.06^{aA}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	88.20±0.97^{aA}	37.30±0.52^{bA}	25.50±0.37^{bA}	23.10±0.24^{aA}	1.80±0.04^{bA}	0.82±0.02^{aAB}
***F*-test การแช่ x การรด**	**	**	**	**	**	**

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างการแช่ด้วยวิธีเดียวกันและตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างการรดด้วยวิธีการเดียวกัน และเครื่องหมาย ** แสดงข้อมูลรูปแบบการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการแช่และการรดที่ระดับนัยสำคัญ ($P < 0.01$)

ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม

1. ความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 51.80±0.60 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 57.00±1.34 และ 56.20±1.24 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน แต่หญ้าแฝกหอมการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 81.40±1.03 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 56.20±1.24 และ 56.20±0.73 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 81.40±1.03 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 74.80±0.66 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 5.34±0.22 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 7.91±0.18 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 8.51±0.32 และ 7.88±0.22 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 6.23±0.21 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 8.51±0.32 และ 7.91±0.18 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 7.88±0.22 กรัม (ดังตาราง 22)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.51±0.01 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.72±0.02 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.82±0.02 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.61±0.02 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก

ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่าการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.82±0.02 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.71±0.03 และ 0.64±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 22)

4. ความยาวรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 21.80±0.58 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มี

ความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 21.30±0.44 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 21.80±0.58 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 21.30±0.44 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีความยาวรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มความยาวรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 18.30±0.50 เซนติเมตร (ดังตาราง 22 และดังภาพ 15)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดราก

มากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 1.65±0.03 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากมากกว่าแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 1.75±0.04 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 2.53±0.04 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยกการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักสดรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 1.65±0.03 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่าการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการ

รดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักรากของหญ้าแฝกหอมองได้สูงสุดเท่ากับ 2.53±0.04 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักสดรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 1.75±0.04 กรัม (ดังตาราง 22)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอม

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.14±0.01 และ0.12±0.01 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.17±0.01 กรัม (ดังตาราง 22)

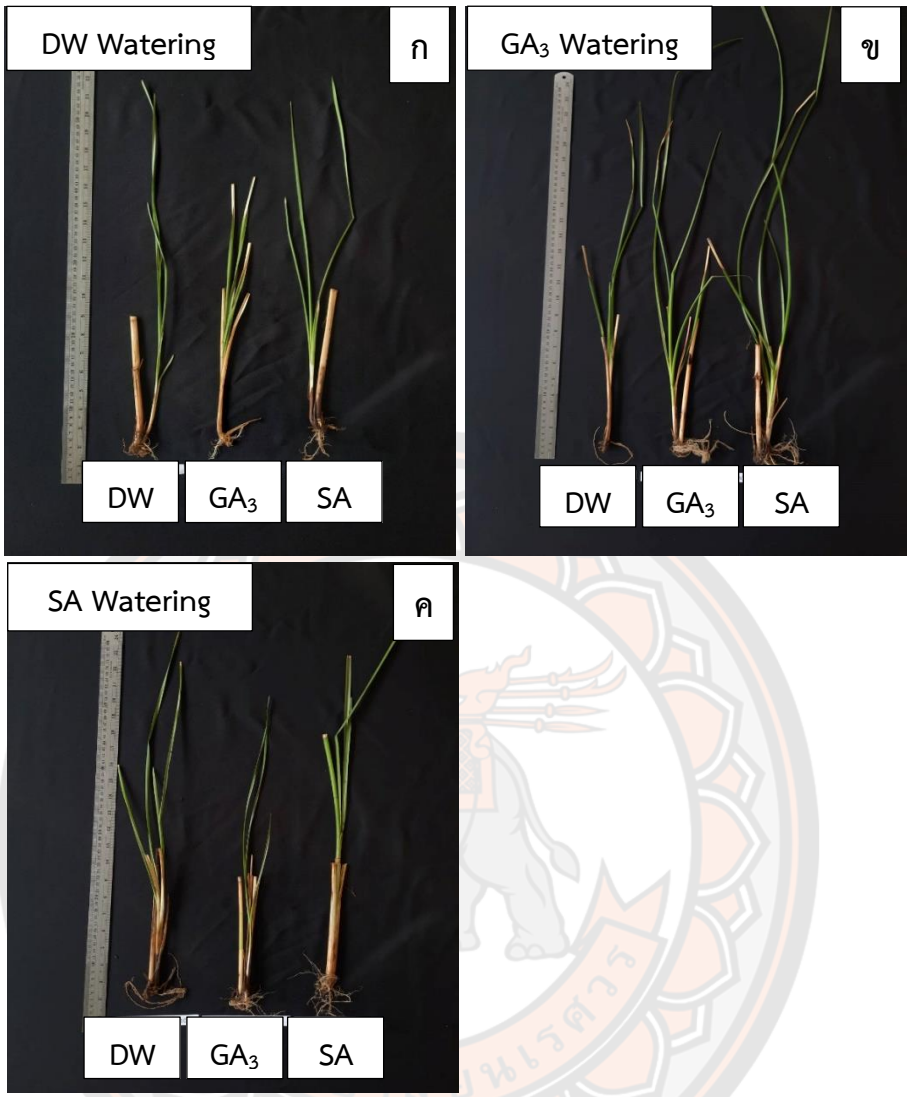
หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย

การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.21±0.00 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยน้ำ และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยน้ำ เพิ่มน้ำหนักแห้งรากของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.14±0.01 และ 0.14±0.00 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก, และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.21±0.00 กรัม (ดังตาราง 22)

หญ้าแฝกหอมแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งหญ้าแฝกหอมแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่า การแช่ด้วยน้ำตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน เพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าแฝกหอมได้สูงสุดเท่ากับ 0.17±0.01 และ 0.16±0.00 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 22)



ภาพ 15 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าแฝกหอมที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ การรดด้วยน้ำ (ก) การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน (ข) และการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ค) ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน

หมายเหตุ: DW Watering คือ การรดด้วยน้ำ, GA_3 Watering คือ การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน, SA Watering คือ การรดด้วยกรดซาลิไซลิก, DW คือ การแช่ด้วยน้ำ, GA_3 คือ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน และ SA การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก เป็นต้น

ตาราง 22 ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
การแช่ด้วยน้ำ						
1. การรดด้วยน้ำ	51.80±1.07^{aB}	5.34±0.22^{aB}	0.51±0.01^{aB}	5.20±0.25^{aC}	1.65±0.03^{aA}	0.14±0.01^{aA}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	42.40±2.71^{bC}	4.36±0.26^{bB}	0.43±0.02^{bC}	6.50±0.47^{aC}	1.50±0.03^{bB}	0.12±0.01^{aB}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	38.40±0.40^{bC}	2.90±0.10^{cC}	0.34±0.02^{cB}	5.40±0.51^{aC}	0.77±0.03^{cC}	0.09±0.01^{bB}
การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก						
1. การรดด้วยน้ำ	56.20±1.24^{aA}	6.23±0.21^{bA}	0.61±0.02^{bA}	21.80±0.58^{aA}	1.33±0.03^{bC}	0.14±0.00^{bA}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	57.00±1.34^{aB}	7.91±0.18^{aA}	0.72±0.02^{aB}	15.00±0.55^{bB}	1.22±0.02^{cC}	0.11±0.01^{cB}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	48.80±0.49^{bB}	6.59±0.30^{bB}	0.64±0.02^{bA}	13.80±0.37^{bB}	1.75±0.04^{aA}	0.17±0.01^{aA}
การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลิน						
1. การรดด้วยน้ำ	56.20±0.73^{cA}	4.89±0.19^{bB}	0.39±0.01^{cC}	15.80±0.37^{cB}	1.43±0.03^{cB}	0.12±0.00^{cA}
2. การรดด้วยกรดซาลิไซลิก	81.40±1.03^{aA}	8.51±0.32^{aA}	0.82±0.02^{aA}	21.30±0.44^{aA}	2.53±0.04^{aA}	0.21±0.00^{aA}
3. การรดด้วยกรดจิบเบอเรลลิน	74.80±0.66^{bA}	7.88±0.22^{aA}	0.71±0.03^{bA}	18.38±0.50^{bA}	1.61±0.02^{bB}	0.16±0.00^{bA}
***F*-test การแช่ x การรด**	**	**	**	**	**	**

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างการแช่ด้วยวิธีเดียวกันและตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างการรดด้วยวิธีการเดียวกัน และเครื่องหมาย ** แสดงข้อมูลรูปแบบการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการแช่และการรดที่ระดับนัยสำคัญ ($P < 0.01$)

4.3 ผลการทดลองที่ 3 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล

เพื่อทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล โดยเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับไพรีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก น้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ซึ่งความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 15 และ 30 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ของพืช) ได้แก่ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์บี การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์ การหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ การวัดปริมาณโพรลีนในใบ และการวิเคราะห์ปริมาณแอนทราซีนและไพรีนในดินที่ปนเปื้อน ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 15 วัน

1. ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 52.52±0.91 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความยาวลำต้นสูงสุดเท่ากับ 46.96±0.59 และ 42.00±1.10 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ความยาวลำต้นลดลงเท่ากับ 24.70±0.91 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาว

ลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวลำต้นสูงสุดเท่ากับ 44.30±0.74 และ 36.38±0.88 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 23 และดังภาพ 16)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักสดลำต้นสูงสุดเท่ากับ 31.14±0.42, 30.72±0.92 และ 29.65±0.54 กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักสดลำต้นลดลงเท่ากับ 17.14±0.87 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดลำต้นสูงสุดเท่ากับ 27.77±0.29 และ 23.43±0.69 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 23)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 9.16±0.26 และ 8.53±0.07 กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุดเท่ากับ 7.75±0.28 กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นลดลงเท่ากับ 4.76±0.22 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุดเท่ากับ 8.35±0.42 และ 8.26±0.17 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 23)

4. ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 31.38±0.72 และ 31.10±0.51 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 26.97±0.51 กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่

ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ความยาวรากลดลงเท่ากับ 20.30±0.58 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 27.46±0.53 และ 27.30±0.76 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 23 และดังภาพ 16)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.49±0.02 และ 0.48±0.04 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักสดรากสูงสุดเท่ากับ 0.37±0.03 กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักสดรากลดลงเท่ากับ 0.15±0.00 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดรากสูงสุดเท่ากับ 0.43±0.05 และ 0.43±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 23)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.06±0.00 และ 0.05±0.00 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งรากสูงสุดเท่ากับ 0.04±0.00 กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักแห้งรากลดลงเท่ากับ 0.03±0.00 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งรากสูงสุดเท่ากับ 0.05±0.00 และ 0.04±0.00 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 23)

7. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุด

เท่ากับ 1.54±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.48±0.02 และ 1.47±0.00 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 1.06±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.46±0.01 และ 1.41±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 24)

8. ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.64±0.02 และ 0.59±0.04 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.49±0.04 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 0.28±0.03 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.54±0.03 และ 0.40±0.03 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 24)

9. ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.18±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 2.07±0.02 และ 1.95±0.04 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 1.34±0.04 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญใน

ดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.00±0.03 และ 1.81±0.04 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 24)

10. ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

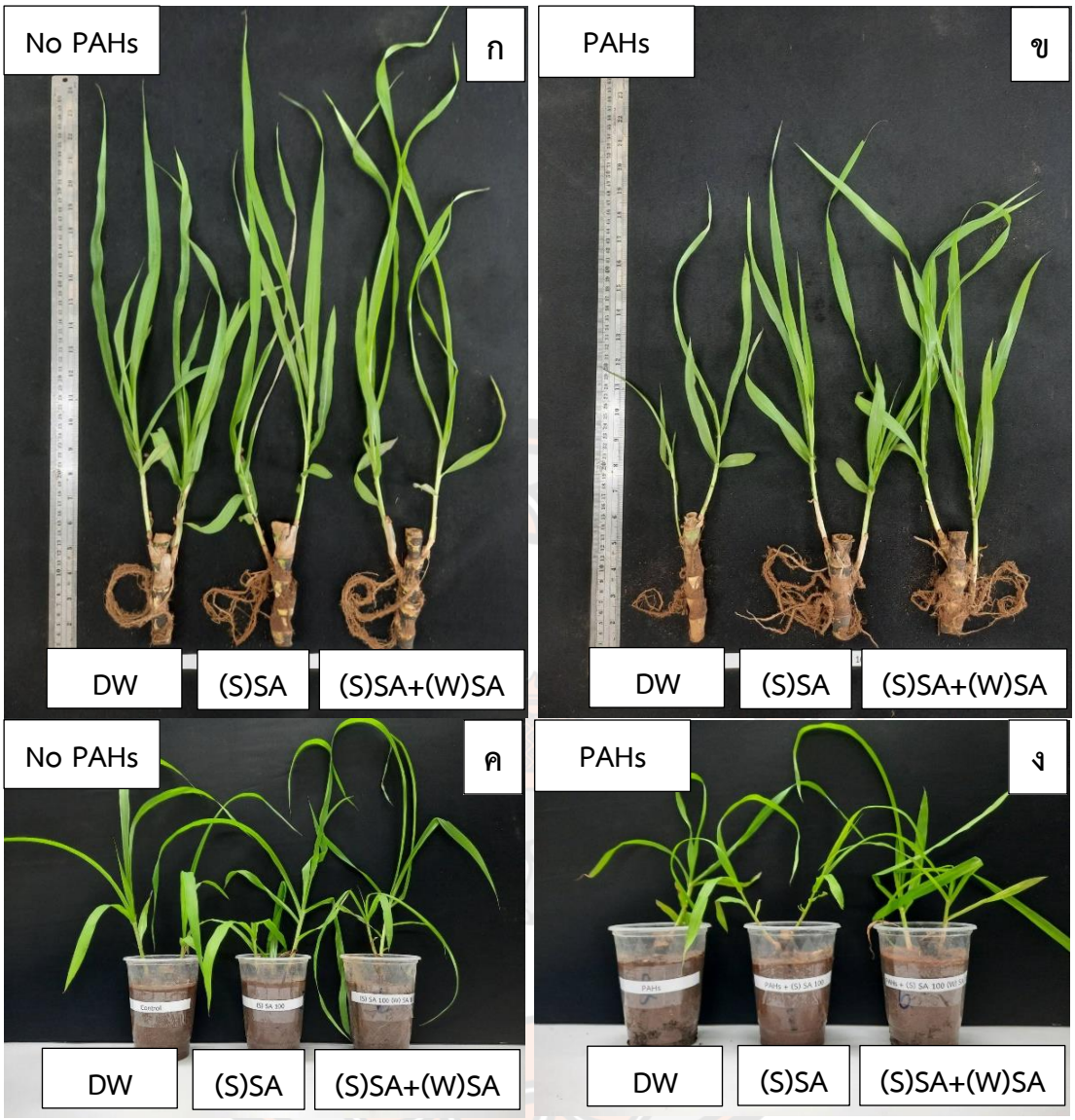
ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.66±0.01, 0.65±0.01 และ 0.63±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 0.34±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.50±0.03 และ 0.46±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 24)

11. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 91.11±3.77 และ 79.64±8.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสุดเท่ากับ 60.37±4.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 87.53±5.99, 76.58±5.96 และ 70.72±6.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังตาราง 24)

12. ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 2.26±0.05 และ 1.79±0.18 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 1.80±0.17 มิลลิกรัม/กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 3.91±0.14 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมากกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 2.51±0.12 และ 1.79±0.21 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 24)



ภาพ 16 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล อายุ 15 วัน ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ก) ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ข) ในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ค) และในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ง)

หมายเหตุ: No PAHs คือ ในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช, PAHs คือ ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช, DW คือ การรดด้วยน้ำ, (S)SA คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก และ (S)SA+(W)SA คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลไซลิก เป็นต้น

ตาราง 23 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และเจริญในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เป็นระยะเวลา 15 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
1. ไม่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	42.00±1.10^{c}	29.65±0.54^{a}	7.75±0.28^{b}	26.97±0.51^{bc}	0.37±0.03^{b}	0.04±0.00^{b}
2. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	46.96±0.59^{b}	30.72±0.92^{a}	9.16±0.26^{a}	31.10±0.51^{a}	0.48±0.04^{a}	0.06±0.00^{a}
3. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	52.52±0.91^{a}	31.14±0.42^{a}	8.53±0.07^{a}	31.38±0.72^{a}	0.49±0.02^{a}	0.05±0.00^{a}
4. การปลูกพืชในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	24.70±0.91^{e}	17.14±0.87^{d}	4.76±0.22^{c}	20.30±0.58^{d}	0.15±0.00^{c}	0.03±0.00^{c}
5. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	36.38±0.88^{d}	23.43±0.69^{c}	8.35±0.42^{ab}	27.30±0.76^{c}	0.43±0.02^{ab}	0.04±0.00^{b}
6. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	44.30±0.74^{c}	27.77±0.29^{b}	8.26±0.17^{ab}	27.46±0.53^{bc}	0.43±0.05^{ab}	0.05±0.00^{b}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง 24 ปริมาณรงควัตถุ โพรลีน และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ

	คลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	คลอโรฟิลล์ บี (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	แคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (เปอร์เซ็นต์)	โพรลีนในใบ (มิลลิกรัม/กรัม)
1. ไม่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.47 ± 0.00^{b}	0.49 ± 0.04^{bc}	1.95 ± 0.04^{e}	0.63 ± 0.01^{a}	91.11 ± 3.77^{a}	1.80 ± 0.17^{c}
2. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.48 ± 0.02^{b}	0.59 ± 0.04^{ab}	2.07 ± 0.02^{b}	0.66 ± 0.01^{a}	60.37 ± 4.40^{b}	1.79 ± 0.18^{c}
3. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.54 ± 0.02^{a}	0.64 ± 0.02^{a}	2.18 ± 0.02^{a}	0.65 ± 0.01^{a}	79.64 ± 8.67^{a}	2.26 ± 0.05^{b}
4. การปลูกพืชในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	1.06 ± 0.02^{d}	0.28 ± 0.03^{d}	1.34 ± 0.04^{d}	0.34 ± 0.02^{c}	87.53 ± 5.99^{a}	3.91 ± 0.14^{a}
5. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	1.41 ± 0.02^{c}	0.40 ± 0.03^{c}	1.81 ± 0.04^{c}	0.50 ± 0.03^{b}	70.72 ± 6.46^{ab}	2.51 ± 0.12^{b}
6. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	1.46 ± 0.01^{bc}	0.54 ± 0.03^{b}	2.00 ± 0.03^{be}	0.46 ± 0.02^{b}	76.58 ± 5.96^{ab}	1.79 ± 0.21^{c}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ผลการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน

1. ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 72.00±1.00 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความยาวลำต้นสูงสุดเท่ากับ 69.00±0.71 และ 66.00±0.71 เซนติเมตร ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ความยาวลำต้นลดลงเท่ากับ 57.80±0.73 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวลำต้นสูงสุดเท่ากับ 68.00±0.55 และ 64.80±0.58 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 26 และดังภาพ 17)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 47.74±0.87 กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักสดลำต้นสูงสุดเท่ากับ 47.74±0.78 และ 29.72±0.75 กรัม ตามลำดับ การปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักสดลำต้นลดลงเท่ากับ 23.80±0.63 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดลำต้นสูงสุดเท่ากับ 47.92±0.73 และ 35.86±0.49 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 26)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 8.14±0.10 กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุดเท่ากับ 7.13±0.30 และ 3.50±0.03 กรัม ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอ

นทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นลดลงเท่ากับ 2.69±0.03 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุดเท่ากับ 7.04±0.06 และ 5.19±0.16 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 26)

4. ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 35.00±0.48 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 32.40±0.40 และ 31.60±0.87 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ความยาวรากลดลงเท่ากับ 23.20±0.37 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 29.40±.1.21 และ 25.00±0.55 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 26 และดังภาพ 17)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.87±0.03 กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.16±0.02 และ 1.83±0.04 กรัม ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักสดรากลดลงเท่ากับ 1.15±0.01 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดรากสูงสุดเท่ากับ 1.84±0.03 และ 1.58±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 26)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.61±0.01 กรัม ซึ่ง

มากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งรากสูงสุดเท่ากับ 0.47±0.01 และ 0.28±0.01 กรัม ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้น้ำหนักแห้งรากลดลงเท่ากับ 0.16±0.01 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งรากสูงสุดเท่ากับ 0.45±0.02 และ 0.42±0.02 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 26)

7. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.73±0.06, 1.59±0.05 และ 1.59±0.08 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 1.05±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.70±0.05 และ 1.57±0.04 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 27)

8. ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวาน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.61±0.07, 0.58±0.04 และ 0.57±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 0.31±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวาน

อิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.64±0.03 และ 0.59±0.04 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 27)

9. ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.34±0.12, 2.17±0.12 และ 2.17±0.07 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 1.36±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.34±0.08 และ 2.16±0.07 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 27)

10. ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.67±0.02, 0.65±0.02 และ 0.63±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 0.43±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.66±0.02 และ 0.65±0.03 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 27)

11. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 62.66±3.56, 61.89±5.10 และ 59.02±2.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 72.88±10.93, 65.25±3.21 และ 56.84±3.21 เปอร์เซ็นต์ (ดังตาราง 27)

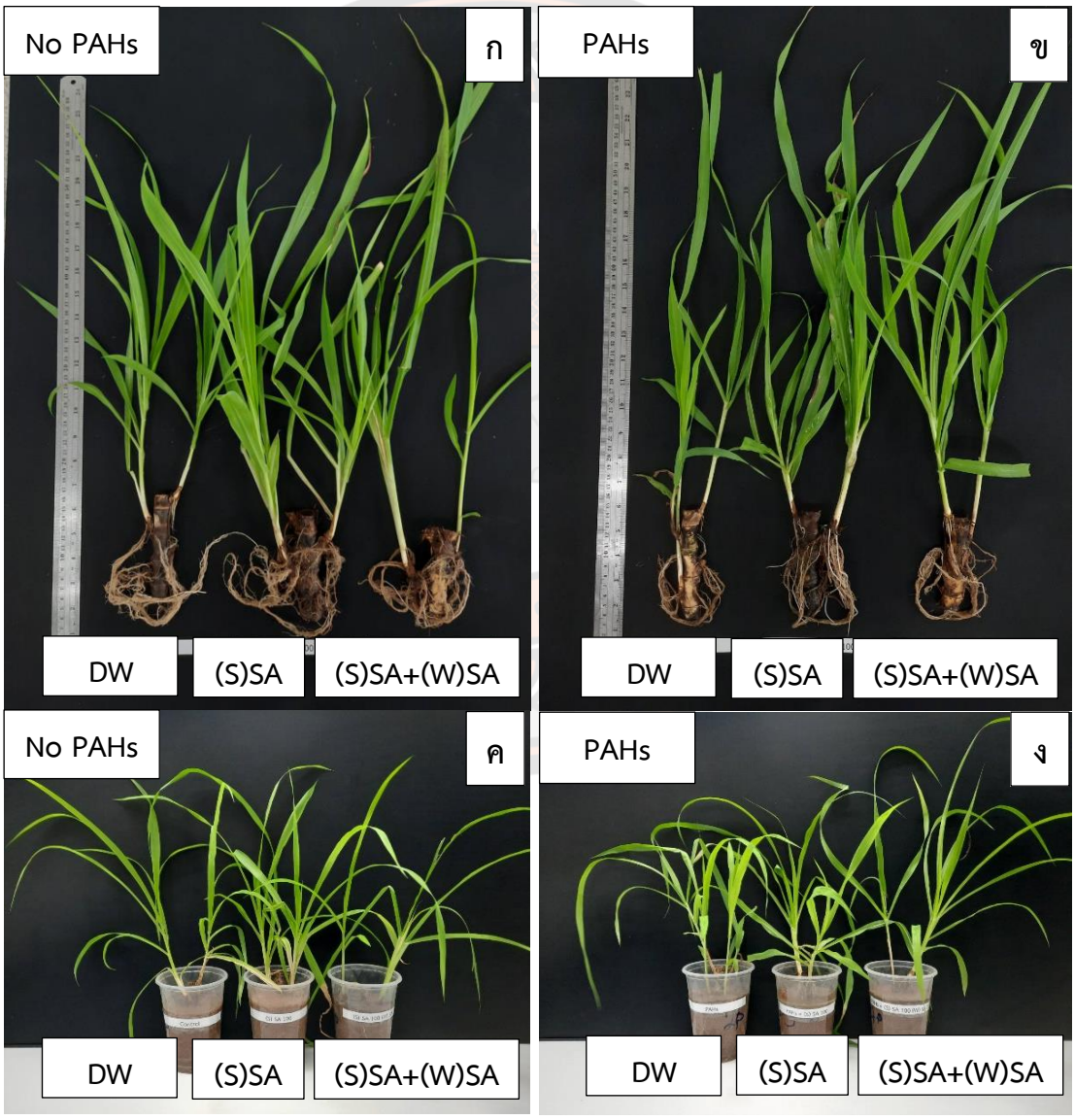
12. ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 6.84±0.20 และ 5.71±0.48 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 4.77±.0.14 มิลลิกรัม/กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 12.59±0.63 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมากกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 8.42±0.27 และ 7.79±0.23 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 27)

13. การวิเคราะห์ปริมาณแอนทราซีนและไพรีนในดินที่ปนเปื้อน

ปริมาณไพรีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล พบว่า การปลูกพืช (ดินปนเปื้อน), การปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ดินปนเปื้อน), การปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ดินปนเปื้อน), ไม่ปลูกพืช (ดินปนเปื้อน) และไม่ปลูกพืช (ดินปนเปื้อนรดด้วยกรดซาลิไซลิก) ทำให้ปริมาณไพรีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ปนเปื้อนในวันเริ่มต้น พบว่า มีปริมาณไพรีนสูงสุดเท่ากับ 145.85±25.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าปริมาณไพรีนที่

คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล เป็นระยะเวลา 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 25) และปริมาณแอนทราซีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล พบว่า การปลูกพืช (ดินปนเปื้อน) และการปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ดินปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณแอนทราซีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ปนเปื้อนในวันเริ่มต้น พบว่า มีปริมาณแอนทราซีนสูงสุดเท่ากับ 99.70±0.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าปริมาณแอนทราซีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล เป็นระยะเวลา 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 25)



ภาพ 17 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล อายุ 30 วัน ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ก) ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ข) ในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช (ค) และในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช (ง)

หมายเหตุ: No PAHs คือ ในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีเอเอช, PAHs คือ ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช, DW คือ การรดด้วยน้ำ, (S)SA คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก และ (S)SA+(W)SA คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลไซลิก เป็นต้น

ตาราง 25 การวิเคราะห์ปริมาณแอนทราซีนและปริมาณไพรีนที่เหลืออยู่ในดินหลังจากปลูกหญ้าหวานอิสราเอลเป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง (Treatment)	ปริมาณแอนทราซีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ปริมาณไพรีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
1. ดินปนเปื้อนวันที่ 0	99.70±0.00[a]	145.85±25.53[a]
2. ไม่ปลูกพืช (ดินปนเปื้อน)	3.61±0.00[c]	7.70±0.24[b]
3. ไม่ปลูกพืช (ดินปนเปื้อนรดด้วยกรดซาลิไซลิก)	2.35±0.00[c]	6.88±2.84[b]
4. ปลูกพืช (ดินปนเปื้อน)	22.27±0.00[b]	11.59±3.35[b]
5. ปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ดินปนเปื้อน)	22.49±0.00[b]	9.64±1.08[b]
6. ปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ดินปนเปื้อน)	6.36±1.43[c]	4.05±0.55[b]

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง 26 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และเจริญในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เป็นระยะเวลา 30 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
1. ไม่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	66.00±0.71^{c}	29.72±0.75^{d}	3.50±0.03^{d}	31.60±0.87^{bc}	1.83±0.04^{c}	0.28±0.01^{d}
2. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	69.00±0.71^{b}	47.74±0.78^{a}	8.14±0.10^{a}	35.00±0.84^{a}	2.87±0.03^{a}	0.61±0.01^{a}
3. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	72.00±1.00^{a}	42.02±0.46^{b}	7.13±0.30^{b}	32.40±0.40^{b}	2.16±0.02^{b}	0.47±0.01^{b}
4. การปลูกพืชในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	57.80±0.73^{d}	23.80±0.63^{e}	2.69±0.03^{e}	23.20±0.37^{d}	1.15±0.01^{e}	0.16±0.01^{e}
5. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	68.00±0.55^{b}	47.92±0.73^{a}	7.04±0.06^{b}	29.40±1.21^{c}	1.84±0.03^{c}	0.45±0.02^{bc}
6. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	64.80±0.58^{c}	35.86±0.49^{c}	5.19±0.16^{c}	25.00±0.55^{d}	1.58±0.02^{d}	0.42±0.02^{c}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง 27 ปริมาณรงควัตถุ โพรลีน และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ

	คลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	คลอโรฟิลล์ บี (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	แคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (เปอร์เซ็นต์)	โพรลีนในใบ (มิลลิกรัม/กรัม)
1. ไม่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.59±0.05^{a}	0.57±0.02^{a}	2.17±0.07^{a}	0.63±0.01^{a}	59.02±2.14^{a}	4.77±0.14^{d}
2. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.73±0.06^{a}	0.61±0.07^{a}	2.34±0.12^{a}	0.67±0.02^{a}	61.89±5.10^{a}	5.71±0.48^{bc}
3. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.59±0.08^{a}	0.58±0.04^{a}	2.17±0.12^{a}	0.65±0.02^{a}	62.66±3.56^{a}	6.48±0.20^{c}
4. การปลูกพืชในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	1.05±0.02^{b}	0.31±0.01^{b}	1.36±0.02^{b}	0.43±0.02^{b}	56.84±2.62^{a}	12.59±0.63^{a}
5. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	1.70±0.05^{a}	0.64±0.03^{a}	2.34±0.08^{a}	0.66±0.02^{a}	65.25±3.21^{a}	7.79±0.23^{b}
6. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน	1.57±0.04^{a}	0.59±0.04^{a}	2.16±0.07^{a}	0.65±0.03^{a}	72.88±10.93^{a}	8.42±0.27^{b}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.4 ผลการทดลองที่ 4 การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล

เพื่อทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล โดยเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อน ร่วมกับการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก น้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ซึ่งความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าหวานอิสราเอล การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (ทางชีวภาพ) ได้แก่ ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ของพืช) ได้แก่ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์บี การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์ การหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และการวัดปริมาณโพรลีนในใบ ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินด้วยหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน

1. ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 67.60±0.81 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 64.60±0.68 และ 57.40±0.51 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ความยาวลำต้นลดลงเท่ากับ 49.00±1.14 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยมีความยาวลำต้นสูงสุดเท่ากับ 66.80±0.49 และ 54.80±0.86 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 28 และดังภาพ 18)

2. น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 35.35±0.66 กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 31.67±0.42 และ 29.16±0.41 กรัม ตามลำดับ การปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้น้ำหนักสดลำต้นลดลงเท่ากับ 15.41±0.58 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดลำต้นสูงสุดเท่ากับ 36.74±0.40 และ 32.26±0.85 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 28)

3. น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) มีน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 6.02±0.08, 5.98±0.07 และ 5.59±0.21 กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นลดลงเท่ากับ 2.17±0.24 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุดเท่ากับ 5.26±0.16 และ 5.01±0.07 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 28)

4. ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 30.40±0.51 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 28.40±0.51 และ 27.20±0.66 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ความยาวรากลดลงเท่ากับ 14.20±0.86 เซนติเมตร ซึ่ง

น้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 29.20±.0.80 และ 22.20±0.58 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังตาราง 28 และดังภาพ 18)

5. น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.48±0.02 กรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 2.17±0.01 และ 2.15±0.01 กรัม ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้น้ำหนักสดรากลดลงเท่ากับ 0.86±0.04 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักสดรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดรากสูงสุดเท่ากับ 2.15±0.01 และ 1.89±0.03 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 28)

6. น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.61±0.01 และ 0.58±0.01 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.36±0.02 กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้น้ำหนักแห้งรากลดลงเท่ากับ 0.11±0.02 กรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกและการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งรากสูงสุดเท่ากับ 0.56±0.02 และ 0.33±0.01 กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 28)

7. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.38±0.05, 1.30±0.04 และ 1.29±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 0.88±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.27±0.05 และ 1.07±0.07 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 29)

8. ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.51±0.02 และ 0.46±0.03 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.43±0.03 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 0.19±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.51±0.02 และ 0.40±0.03 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 29)

9. ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.89±0.07, 1.75±0.02 และ 1.73±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 1.07±0.02 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวาน

อิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 1.78±0.07 และ 1.47±0.10 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 29)

10. ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.58±0.01 และ 0.56±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.52±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 0.21±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 0.55±0.02 และ 0.44±0.01 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 29)

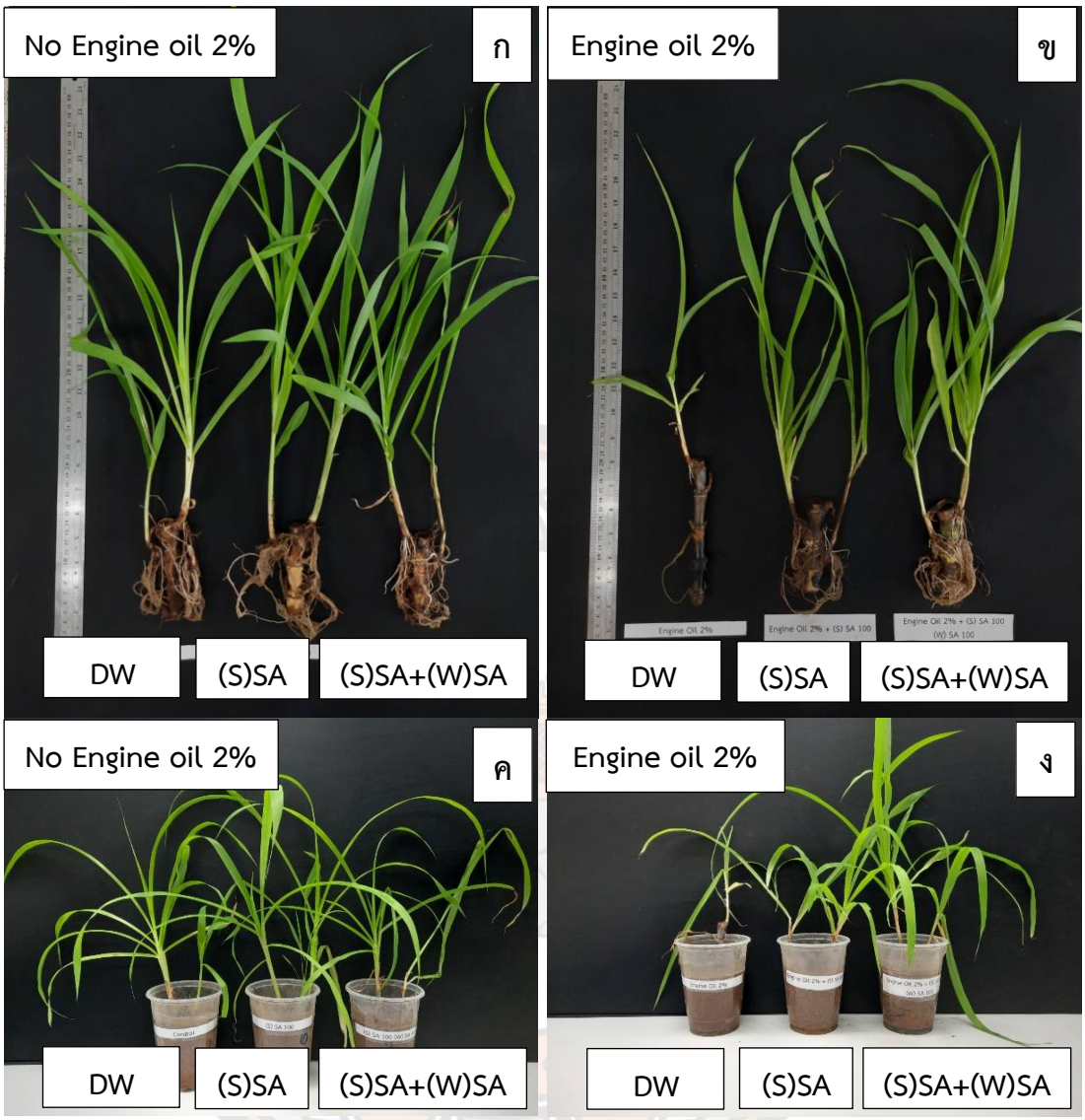
11. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 63.14±3.57, 60.75±1.73 และ 55.91±2.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว การแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 64.84±2.11, 62.17±3.62 และ 59.52±2.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังตาราง 29)

12. ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอล

ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ซึ่งมีปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 2.48±0.11, 2.46±0.09 และ 2.11±0.09 มิลลิกรัม/กรัม และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลสูงสุดเท่ากับ 4.74±0.25 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมากกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณโพรลีนในใบของหญ้าหวานอิสราเอลลดลงเท่ากับ 3.80±0.18 และ 2.91±0.13 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ (ดังตาราง 29)



ภาพ 18 ความยาวลำต้นและความยาวรากของหญ้าหวานอิสราเอล อายุ 30 วัน ที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ก) ในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ข) ในดินที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ค) และในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว (ง)

หมายเหตุ: No Engine oil 2% คือ ในดินที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว 2%, Engine oil 2% คือ ในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว 2%, DW คือ การรดด้วยน้ำ, (S)SA คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิก และ (S)SA+(W)SA คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลไซลิก เป็นต้น

ตาราง 28 การเจริญเติบโตของลำต้นและรากของหญ้าหวานอิสราเอลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และเจริญในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว เป็นระยะเวลา 30 วัน

	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
1. ไม่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	57.40±0.51^{e}	29.16±0.41^{d}	5.59±0.21^{ab}	27.20±0.66^{a}	2.15±0.01^{a}	0.36±0.02^{b}
2. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	67.60±0.81^{b}	35.35±0.66^{b}	6.02±0.08^{a}	30.40±0.51^{b}	2.48±0.02^{b}	0.61±0.01^{a}
3. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	64.60±0.68^{a}	31.67±0.42^{a}	5.98±0.07^{a}	28.40±0.51^{a}	2.17±0.01^{a}	0.58±0.01^{a}
4. การปลูกพืชในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว	49.00±1.14^{d}	15.41±0.58^{c}	2.17±0.24^{c}	14.20±0.86^{d}	0.86±0.04^{d}	0.11±0.02^{c}
5. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว	54.80±0.86^{c}	32.26±0.85^{a}	5.01±0.07^{b}	22.20±0.58^{c}	1.89±0.03^{c}	0.33±0.01^{b}
6. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว	66.80±0.49^{ab}	36.74±0.40^{b}	5.26±0.16^{b}	29.20±0.80^{ab}	2.15±0.01^{a}	0.56±0.02^{a}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง 29 ปริมาณรงควัตถุ โพรลีน และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ

	คลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	คลอโรฟิลล์ บี (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	แคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (เปอร์เซ็นต์)	โพรลีนในใบ (มิลลิกรัม/กรัม)
1. ไม่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.30±0.04^{a}	0.43±0.03^{b}	1.73±0.01^{a}	0.52±0.01^{d}	60.75±1.73^{a}	2.11±0.09^{c}
2. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.29±0.01^{a}	0.46±0.03^{ab}	1.75±0.02^{a}	0.56±0.01^{a}	63.14±3.57^{a}	2.46±0.09^{c}
3. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ปลูกในดินไม่ปนเปื้อน)	1.38±0.05^{a}	0.51±0.02^{a}	1.89±0.07^{a}	0.58±0.01^{a}	55.91±2.20^{a}	2.48±0.11^{c}
4. การปลูกพืชในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว	0.88±0.01^{c}	0.19±0.01^{c}	1.07±0.02^{c}	0.21±0.01^{c}	59.52±2.17^{a}	4.74±0.25^{a}
5. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ปลูกในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว	1.07±0.07^{b}	0.40±0.03^{b}	1.47±0.10^{b}	0.44±0.01^{bd}	64.84±2.11^{a}	3.80±0.18^{b}
6. การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ปลูกในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้ว	1.27±0.05^{a}	0.51±0.02^{a}	1.78±0.07^{a}	0.55±0.02^{a}	62.17±3.62^{a}	2.91±0.13^{c}

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชกำลังเป็นประเด็นที่สนใจเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นที่นิยม คือ กรดซาลิไซลิกซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่มีบทบาทในเชิงบวกทางสรีรวิทยาของพืช และส่งเสริมพัฒนาการของพืช โดยส่งเสริมการออกดอก การควบคุมสมดุลของการคายน้ำ การป้องกันสารต้านอนุมูลอิสระภายในพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง และเพิ่มความต้านทานของพืชภายใต้สะภาวะความเครียด (Emamverdian et al., 2020) นอกจากนี้กรดซาลิไซลิกสามารถช่วยส่งเสริมการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน การควบคุมการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการเจริญเติบโตของพืช (Li et al., 2022) และกลไกการตอบสนองของพืชต่อกรดซาลิไซลิก ช่วยในการป้องกันพืชจากเชื้อโรค และความต้านทานของพืชภายใต้สะภาวะความเครียดต่อสภาวะแวดล้อมและระบบนิเวศที่ไม่เหมาะสม เช่น ความแห้งแล้ง ดินเค็ม ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ เป็นต้น (Bagautdinova et al., 2022)

กรดจิบเบอเรลลินเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่มีบทบาทในเชิงบวกทางสรีรวิทยาของพืช และส่งเสริมการยืดตัวและการขยายตัวของเซลล์ ส่งเสริมกระบวนการเจริญเติบโตของพืช เช่น การพัฒนาของการงอก และการออกดอกของพืช (Muniandi et al., 2018) จึงเลือกมาทดสอบกับพืชวงศ์หญ้าในการศึกษาครั้งนี้

ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ กรดจิบเบอเรลลินและกรดซาลิไซลิก และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ การแช่ และการรดที่เหมาะสมกับพืชวงศ์หญ้าแต่ละชนิดต่างกัน การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากของหญ้าหวานอิสราเอลเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการใช้กรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยการฉีดพ่นทางใบของแฟลกซ์ (*Linum usitatissimum* L.) ปลูกในดินทรายสามารถเพิ่มรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณฟีนอลิก และผลผลิตของเมล็ด เป็นต้น (Dawood et al., 2019) นอกจากนี้กรดซาลิไซลิกสามารถช่วยส่งเสริมการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน การควบคุมการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการเจริญเติบโตของพืช (Li et al., 2022) ส่วนกรรมวิธีที่เหมาะสมกับหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์ปากช่อง 1 คือ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความยาวลำต้น และความยาวรากเพิ่มขึ้นสูงสุด

และการแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการแช่เมล็ดมะละกอด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้อัตราการงอกเพิ่มขึ้นสูงที่สุดถึง 72.2 เปอร์เซ็นต์ แต่การแช่เมล็ดมะละกอด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ลำต้นเพิ่มขึ้นสูงสุด (Deb et al., 2010) นอกจากนี้ความเข้มข้นของกรดจิบเบอเรลลินที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของท่อนพันธุ์สบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.) ได้แตกต่างกัน เช่น การใช้กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความยาวลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก จำนวนกิ่ง และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นเพิ่มขึ้น และการใช้กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้จำนวนใบเพิ่มขึ้น (Jan et al. 2022) และการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีที่เหมาะสมกับหญ้าแฝกหอม คือ การแช่ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการใช้กรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความยาวรากของฝ้ายสายพันธุ์ Z619 และฝ้ายสายพันธุ์ Z27 (*Gossypium herbaceum* L.) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Cao et al., 2022) และการแช่เมล็ดถั่วเขียว (*Vigna radiata* L.) ด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ส่งผลให้เพิ่มปริมาณเม็ดสีและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (El Karamany et al., 2019) ซึ่งความเข้มข้นและกรรมวิธีต่าง ๆ ในการให้สารควบคุมการเจริญเติบของพืช เช่น การแช่ การรด และการฉีดพ่นทางใบ เป็นปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อการเพิ่มชีวมวลต่าง ๆ ของพืช เช่น ส่งผลให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นสูงสุด ผลที่ได้นี้ นอกจากจะนำไปประยุกต์ใช้กับการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชแล้วยังเป็นประโยชน์สำหรับการเกษตรกรรมด้วย

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชและความสามารถในการฟื้นฟูพืชในดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษ (Somtrakoon et al. 2021b) ในการศึกษาครั้งนี้ เลือกใช้หญ้าหวานอิสราเอลเพียงชนิดเดียวในการทดสอบประสิทธิภาพของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนพีเอเอชเพราะสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีอัตราการรอดสูงและทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับไพรีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งพิจารณาจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยพิจารณาจากความเข้มข้นและกรรมวิธีที่กระตุ้น ความยาวของราก น้ำหนักสดของราก น้ำหนักแห้งของรากได้ดีที่สุด

ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ที่ระยะเวลา 15 วัน การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินต่อหญ้าหวานอิสราเอล ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของหญ้าหวานอิสราเอลเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว และหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้มีรายงานจากการศึกษา พบว่า การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น กรดจิบเบอเรลลินสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของดาวเรืองฝรั่งเศส (*Tagetes patula* L.) ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนเบนโซ(เอ)ไพรีน และแคดเมียม ช่วยเพิ่มความยาวลำต้นของดาวเรืองฝรั่งเศสในระหว่างการปลูกในดินที่ปนเปื้อนเบนโซ(เอ)ไพรีน และแคดเมียม เพิ่มการสะสมสารมลพิษไว้ภายในลำต้นของดาวเรืองฝรั่งเศส และนอกจากนี้ยังเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพของเบนโซ(เอ)ไพรีนและแคดเมียมอีกด้วย (Sun et al., 2013) ซึ่งความเข้มข้นและกรรมวิธีต่าง ๆ ในการให้สารควบคุมการเจริญเติบของพืช เช่น การแช่ การรด และการฉีดพ่นทางใบ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการบำบัดสารมลพิษ และมีผลต่อการเพิ่มชีวมวลต่าง ๆ ของพืช เช่น ส่งผลให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณน้ำหนักสัมพัทธ์ในใบ และปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มขึ้นสูงสุด

ส่วนที่ระยะเวลา 30 วันการทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดแอนทราซีนและไพรีนที่ปนเปื้อนในดินต่อหญ้าหวานอิสราเอล ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาว

ราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ของหญ้าหวานอิสราเอลเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก และหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณน้ำหนักสัมพัทธ์ในใบ ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนแอนทราซีนและไพรีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณแอนทราซีนและไพรีนที่เหลืออยู่ในดินระหว่างชุดการทดลองต่าง ๆ อยู่ระหว่าง 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งผลการทดลองมีปริมาณไพรีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล พบว่า การปลูกพืช (ดินปนเปื้อน), การปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ดินปนเปื้อน), การปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก (ดินปนเปื้อน), ไม่ปลูกพืช (ดินปนเปื้อน) และไม่ปลูกพืช (ดินปนเปื้อนรดด้วยกรดซาลิไซลิก) ทำให้ปริมาณไพรีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ปนเปื้อนในวันเริ่มต้น พบว่า มีปริมาณไพรีนสูงสุดเท่ากับ 145.85±25.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าปริมาณไพรีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล เป็นระยะเวลา 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณแอนทราซีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล พบว่า การปลูกพืช (ดินปนเปื้อน) และการปลูกพืชแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว (ดินปนเปื้อน) ทำให้ปริมาณแอนทราซีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ปนเปื้อนในวันเริ่มต้น พบว่า มีปริมาณแอนทราซีนสูงสุดเท่ากับ 99.70±0.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าปริมาณแอนทราซีนที่คงเหลือในดินหลังการปลูกหญ้าหวานอิสราเอล เป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการการศึกษาการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับการบำบัดสารกลุ่มพีเอเอช พบว่า ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของพีเอเอช พบว่า อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของฟีแนนทรีนและไพรีนในดินที่ไม่ได้ปลูกพืช มีการย่อยสลายทางชีวภาพในดินช้ากว่าดินที่ปลูกพืช ในขณะที่ 97.4 เปอร์เซ็นต์ ของฟีแนนทรีนและ 97.8-98.9 เปอร์เซ็นต์ ของไพรีนยังคงอยู่ในดินหลังการทดลอง 30 วัน และการใช้กรดจิบเบอเรลลินแช่เมล็ดความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และการรดด้วยกรดจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพของไพรีนที่เหลืออยู่ในดิน 3.8 เปอร์เซ็นต์

และ 3.4 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไพรีนที่เหลืออยู่ในดิน ชุดการทดลองปลูกพืชแต่ไม่ได้รับกรดจิบเบอรลลินสามารถย่อยสลายทางชีวภาพเท่ากับ 23.1 เปอร์เซ็นต์ (Somtrakoon et al., 2021b)

การปนเปื้อนร่วมกันของสารกลุ่มพีเอเอช โดยตรวจพบในน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วที่ปนเปื้อนในดินพบสารกลุ่มพีเอเอชหลายชนิด เช่น แนฟทาลีน ฟลูออรีน ฟีแนนทรีน แอนทราซีน ฟลูออแรนทีน ไพรีน เบนโซ(เอ)แอนทราซีน ไครซีน เบนโซ(เอ) ไพรีน และเบนโซ(จี,เอช,ไอ)ไพรีน เป็นต้น (Atagana et al., 2011) การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินต่อหญ้าหวานอิสราเอล โดยการเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อน ร่วมกับการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรรมวิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาจากค่าทางสถิติทางชีวภาพ หรือชีวมวลของพืชจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยปัจจัยในการพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่ดีสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจากค่าทางสถิติ ได้แก่ ความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดของลำต้นและราก น้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ซึ่งความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดสอบกับหญ้าหวานอิสราเอล คือ การแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เพียงอย่างเดียว และการแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การทดสอบสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ต่อความเป็นพิษของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในดินต่อหญ้าหวานอิสราเอล ปลูกพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ในสภาวะที่ไม่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก และหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ของหญ้าหวานอิสราเอลเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งมากกว่าหญ้าหวานอิสราเอลชุดควบคุม (ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการปลูกหญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยน้ำลงในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ ซึ่งน้อยกว่าต้นที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าหวานอิสราเอลแช่ด้วยกรดซาลิไซลิกตามด้วยการรดด้วยกรดซาลิไซลิก ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ ของหญ้าหวานอิสราเอลที่เจริญในดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยสารควบคุม

การเจริญเติบโตของพืชมีกลไกการตอบสนองของพืชต่อกรดซาลิไซลิก ช่วยในการป้องกันพืชจากเชื้อโรค และความต้านทานของพืชภายใต้สะภาวะความเครียดต่อสภาวะแวดล้อมและระบบนิเวศที่ไม่เหมาะสม เช่น ความแห้งแล้ง ดินเค็ม ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ เป็นต้น (Bagautdinova et al., 2022)

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. (2559). สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและแนวทางการใช้กับผลไม้. *เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 1*(1), 1-39.

เก่ง เจียมกิจวัฒนา และวสุ ปฐมอารีย์. (2558). การประยุกต์ใช้แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญของพืชร่วมกับเทคโนโลยีไฟโตเอกซ์แทรคชั่นเพื่อบำบัดสารโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 31*(1), 189-203.

ขนิษฐา สมตระกูล และวราภรณ์ ฉุยฉาย. (2565). การปนเปื้อนของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 30*(2), 82-95.

ขนิษฐา สมตระกูล, จำปี ไชยเมืองคูณ, ดวงอนงค์ ผลาผล และวราภรณ์ ฉุยฉาย. (2556). ผลความเป็นพิษร่วมต่อพืชของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L.) ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis* L.) และฟักทอง (*Cucurbita moschata* L.). *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 41*(2), 431-442.

ขนิษฐา สมตระกูล, ดวงอนงค์ ผลาผล และวราภรณ์ ฉุยฉาย. (2555). ความเป็นพิษของแอนทราซีนและฟีแนนทรีนที่ปนเปื้อนในดินต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญของต้นกล้าพืชตระกูลถั่วหลังงอก. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 4*(7), 1-12.

ขนิษฐา สมตระกูล, อภิเดช แสงดี และวราภรณ์ ฉุยฉาย. (2562). บทบาทของแบคทีเรียกลุ่มสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชของต้นกล้าไม้ประดับที่ปลูกในดินปนเปื้อนแอนทราซีน. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร, 36*(2), 11-21.

คณิศรา ชาวนา. (2547). *ผลของแอนทราซีนต่อเอนไซม์และค่าโลหิตวิทยาบางประการในปลานิล (Oreochromis niloticus L.).* วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

จิตรา พบสุวรรณ. (2556). *ผลของแบคทีเรียที่ผลิตกรดอินโดลอะซิติกต่อการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนด้วยถั่วเขียว.* วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์.

ธารา บัวคำศรี. (29 มกราคม 2065). *น้ำมันรั่ว CHEVRON SPRC หายนะทะเลไทยและคำถามสำคัญต่อภาระรับผิดของอุตสาหกรรมฟอสซิล.*

นัยนันทน์ อริยกานนท์. (2561). ผักตบชวากับการบำบัดสารมลพิษในน้ำ. *วารสารสิ่งแวดล้อม, 22*(3), 49-55.

ประอรพิต กัษฐ์วัฒนา. (28 มกราคม 2565). *อัปเดตวิกฤตน้ำมันรั่ว จ.ระยอง "นวัตกรรมและความร่วมมือ" คือ ทางรอดรับมือภัยพิบัติทางทะเลครั้งล่าสุด.*

พัชรียา บุญกอแก้ว. (2560). *สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชสวน: Plant growth regulators in horticulture.* กรุงเทพมหานคร: ทิศทางการพิมพ์ 1. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

พิมพา สร้อยสูงเนิน, สิริมนต์ ยกบัตร และพรสุดา นามบุญลือ. (2562). การวิเคราะห์โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในหมูปิ้งโดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ และการสกัดระดับจุลภาคร่วมกับโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 21*(1), 27-36.

ยุรฉัตร ยอดโยธี. (2554). *การชักนำการต้านทานโรคและการแสดงออกของยีน PR-1 ในยางพาราโดยใช้ตัวกระตุ้นชนิดต่าง ๆ* วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

รังสิมา วิเศษศรี และวัฒนา พัฒนากูล. (2555). อิทธิพลของกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตของข้าวโพดข้าวเหนียวในสภาวะขาดน้ำ. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13, 1*(1), 517-527

วราภรณ์ ฉุยฉาย. (2554). การแพร่กระจายและความเป็นพิษต่อพืชของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน. *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 5*(1), 140-152.

วราภรณ์ ฉุยฉาย. (2559). *การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช: Phytoremediation.* นครสวรรค์: ทิศทางการพิมพ์. 240 หน้า.

สุนิสา ชายเกลี้ยง และธวัชชัย ดาเชิงเขา. (2564). การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการสัมผัสสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนของพนักงานตามตำแหน่งการทำงานในร้านอาหาร กรณีศึกษาครัวธุรกิจสนามกอล์ฟและเขื่อนท่องเที่ยว. *วารสารพิษวิทยาไทย, 36*(1), 54-73

อนุชา เหนือคลอง. (2561). *การประเมินการปนเปื้อนและการจำแนกแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอ่าวไทยในฝั่งตะวันออก.* วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

Allamin, I. A. and Shukor, M. Y. (2021). Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated-soil. *Bioremediation Science and Technology Research, 9*(2), 1-6.

Bagautdinova, Z. Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A. V., Kovrizhnykh, V. V., Lavrekha, V. V. and Zemlyanskaya, E. V. (2022). Salicylic acid in root growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(10), 22-28.

Cao, Z., Wang, X. and Gao, Y. (2022). Effect of plant growth regulators on cotton seedling root growth parameters and enzyme activity. *Plants Sciences*, (2022*), 11*(21), 29-64.

Chen, B., Tan, S., Zeng, O., Wang, A. and Zheng, H. (2019). Soil nutrient heterogeneity affects the accumulation and transfer of cadmium in Bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.) pers.). *Chemosphere 221, (2019),* 342-348.

Chen, X., Liu, X., Zhang, X., Cao, L. and Hu, X. (2017). Phytoremediation effect of scirpus triqueter inoculated plant-growth-promoting bacteria (PGPB) on different fractions of pyrene and Ni in co-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials 325*, *(2017),* 319-326.

Chouychai, W., Swangying, T., Somtrakoon, K. and Lee, H. (2018). Growth and phytoremediation efficiency of Winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* L.) in fluorine and pyrene-contaminated soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 10*(6), 31–36.

Chouychai, W., Tongkukiatkul, A., Upatham, S., Lee, H., Pokethitiyook, P. and Kruatrachue, M. (2008). Phenanthrene and pyrene toxicity on shoot and root elongation of corn and groundnut growing in acidic soil. *9th National Graduate*

Research Conference, March 14 -15, (2008), Graduated School, Burapha University. 8 pages.

Chunharat, S., Wattayagorn, G., Suthanaruk, P. and Salaenoi, J. (2015). Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments in map ta phut industrial estate area, Rayong province, Thailand. *Kasetsart Journal Natural Science, 49*(5), 747-760.

Cristaldi, A., Conti, G. O., Jho, E. H., Zuccarello, P., Alfina, G. A., Copat, C. and Ferrante, A. (2017). Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. *Environmental Technology and Innovation, 8*(1), 309-326.

Dawood, M. G., Sadak, M. S., Bakry, B. A. and Karamany, M. F. E. (2019). Comparative studies on the role of benzoic, t-cinnamic, and salicylic acids on growth, some biochemical aspects, and yield of three flax cultivars grown under sandy soil conditions. *Bulletin of the National Research Centre, 1*(1), 43-112.

Dominguez, J. J. A., Bacosa, H. P., Chien, M. F. and Inoue, C. (2019). Enhanced degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the rhizosphere of Sudan grass (*Sorghum* x d*rummondii*). *Chemosphere 234*, *(2019),* 789-795.

El Karamany, M. F., Sadak, M. S. and Bakry, B. A. (2019). Improving quality and quantity of mungbean plant via foliar application of plant growth regulators in sandy soil conditions. *Bulletin of the National Research Centre, (2019), 1*(1), 43-61.

Emamverdian, A., Dinga, Y. and Mokhberdoran, F. (2020). The role of salicylic acid and gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress with an emphasis on heavy metals. *Plant Signaling & Behavior, 15*(7), 1-10.

Honda, M. and Suzuki, N. (2020). Toxicities of polycyclic aromatic hydrocarbons for aquatic animal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(1), 13-63.

Jan, R., Khan, M., Adnan, M., Asaf, S., Asif, S., Kim, K. M., and Murad, W. (2022). Exogenous phytohormones and fertilizers enhance *Jatropha curcas* L. growth through the regulation of physiological, morphological, and biochemical parameters. *Plants Science, (2022), 1*(11), 35-84.

Jeelani, N., Yang, W., Xu, L., Qiao, Y., An, S. and Leng, X. (2017). Phytoremediation potential of (*Acorus calamus* L.) in soil co-contaminated with cadmium and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal policies, 7*(10), 8-28.

Li, A., Sun, X. and Liu, L. (2022). Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science, 1*(13), 14-20.

Li, W., Xu, L., Wu, J., Ma, L., Liu, M., Jino, J., Li, H. and Hu, F. (2015). Effects of Indole-3-acetic acid (IAA), a plant hormone, on the Rye grass yield and the removal of fluoranthene from soil. *International Journal of Phytoremediation, 1*(17), 422-428.

Li, Z., Zhang, J., Liu, Y., Zhao, J., Fu, J., Ren, X., Wang, G. and Wang, J. (2016). Exogenous auxin regulates multi-metabolic network and development, controlling seed secondary dormancy and germination in (*Nicotiana tabacum* L.) *BMC Plant Biology, 325*, 319-326.

Muniandi, S .K. M., Hossain, A. M., Abdullah, M. P. and Shukor, N. A. A. (2018). Gibberellic acid (GA_3) affects growth and development of some selected kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) cultivar. *Industrial Crops & Products 118, (2018),* 180–187.

Pidlisnyuk, V., Stefanovska, T., Zhukov, O., Medkow, A., Shapoval, P., Stadnik, V. and Sozanskyi, M. (2022). Impact of plant growth regulators to development of the second generation energy crop *Miscanthus × giganteus* produced two years in marginal post-military soil. *Applied science journal, 12*(2), 8-81.

Raskin, I., Salt, D. E. and Smith, R. D. (1997). Phytoremediation of metals: Using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology, 8*(2), 221-226.

Ren, C. G., Kong, C. C., Bian, B., Liu, W., Li, Y., Luo, Y. M. and Xie, Z. H. (2017). Enhanced phytoremediation of soil-contaminated with PAHs by arbuscular mycorrhiza and rhizobium. *International Journal of Phytoremediation, 19*(9), 789-797.

Shah, J. (2003). The salicylic acid loop in plant defense. *Current Opinion in Plant Biology, 6*(1), 365-371

Shehu, M. L. R., Ismail, H. Y., Fardami, A. Y. and Ibrahim, U. B. (2022). *Pennisetum purpureum* improved polycyclic aromatic hydrocarbons removal in weathered-petroleum contaminated soil. *European Journal of Biology and Biotechnology, 3*(3), 7-13.

Somtrakoon, K. and Chouychai, W. (2019). Effect of Triton X-100 and Tween 80 on removal of polycyclic aromatic hydrocarbons and possibility of cadmium accumulation by Siam weed (*Chromolaena odorata* L.). *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 1*(14), 13–20.

Somtrakoon, K. and Chouychai, W. (2021b). Gibberellic acid treatment improved pyrene phytoremediation efficiency of Ridge gourd (*Luffa acutangula* L. Roxb.) in soil. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 31*(2), 253-263.

Somtrakoon, K., Chouychai, W. and Lee, H. (2018). Potential of Butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) and Yam bean (*Pachyrhizus erosus* L.) plants for phytoremediation of anthracene and pyrene-contaminated soil. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 40*(7), 25–31.

Somtrakoon, K., Sangdee, A. and Chouychai, W. (2021a). Effect of *Streptomyces* sp. St1 on growth of and potential to stimulate anthracene removal by Sunn

hemp (*Crotalaria juncea* L.) grown in anthracene-contaminated soil. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 43*(3), 615-622.

Sun, K., Song, Y., He, F., Jing, M., Tang, J. and Liu, R. (2021). A review of human and animal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects photo-induced toxicity and regulating effect of micro plastics. *Science of the Total Environment, 773, (2021),* 145-403.

Sun, Y., Xu, Y., Zhou, Q., Wang, L., Lin, D. and Liang, X. (2013). The potential of gibberellic acid (GA_3) and Tween-80 induced phytoremediation of co-contamination of Cd and Benzo(a)pyrene (B,(a),P) using (*Tagetes patula* L.) *Journal of Environmental Management, 114,* 202-208.

Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R. and Sun, W. (2017). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. *Chemosphere, 184,* 594-600.

Wilber, S. A., Evelin, A. M., Noemi, S. S., Rosane, O. N., Giselli, C. D. and Marcia, R. S. (2018). Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by cv. crioula, A Brazilian alfalfa cultivar. *International Journal of Phytoremediation, 20*(8), 747-775.

Yan, A., Wang, Y., Tan, N., Yusof, M. L. M., Ghosh, S. and Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Frontiers in Plant Science*, *1*(1), 11-359.