ผลของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดิน ต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก

Effect of nano-titanium dioxide contaminated in soil on growth of annual plants

นายนิรันดร์รัตน์ โมป้อ รหัส 50380348

นายปิยะพันธ์ เทพวงค์ รหัส 50382427

นายวัชรพงศ์ ใจจินา รหัส 50382816

วันที่รับ 28 ส.ค. 2554

เลขทะเบียน 155102 59

เลขเรียกหนังสือ ว.ส. ว 648 ป 2553

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ผลของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดิน ต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก

ผู้ดำเนินโครงงาน นาย นิรันดร์รัตน์ โมป้อ รหัสนิสิต 50380348
นาย ปิยะพันธ์ เทพวงค์ รหัสนิสิต 50382427
นาย วัชรพงค์ ใจจินา รหัสนิสิต 50382816

ที่ปรึกษาโครงงาน รศ. ดร. พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(รศ. ดร. พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ปาจรีย์ ทองสนิท)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ผลของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนิรันดร์รัตน์	โมป้อ	รหัส 50380348
	นายปิยะพันธ์	เทพวงค์	รหัส 50382427
	นายวัชรพงค์	ใจจินา	รหัส 50382816
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.พวงรัตน์	ขจิตวิชยานุกูล	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก 2 ตระกูล ได้แก่ ผักกาดเขียวกวางตุ้งและผักชี โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ผสมลงในดินที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นพืชในปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน คือ 100 , 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์ไม่มีผลต่อการงอกของรากผักกาดเขียวกวางตุ้ง ไททาเนียมไดออกไซด์ช่วยในการเจริญเติบโตที่ปริมาณสาร 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมโดยเฉพาะส่วนของลำต้นและใบ เมื่อความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ในดินเพิ่มขึ้นเป็น 300 , 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผักกาดเขียวกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตที่ลดลง ในส่วนการทดลองของชุดผักชี พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์จะช่วยในการเจริญเติบโตเมื่อมีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และพบว่าเมื่อมีสารไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นที่ปริมาณ 300 , 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผักชีมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ลดลง ในภาพรวมหากผักกาดเขียวกวางตุ้งและผักชีได้รับสารไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณมากเกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตในส่วนลำต้นและใบ ซึ่งจะทำให้เกิด ใบเหลือง ลำต้นเหลือง รากเน่า และตายในที่สุดภายใน 40 วัน

Project title	Effect of nano-titanium dioxide contaminated in soil on growth of annual plants		
Name	Mr.Niranrat	Mopor	ID. 50380348
	Mr. Piyapan	Thepwomk	ID. 50382427
	Mr.Watcharapong	Jaijina	ID. 50382816
Project advisor	Assoc.Prof.Dr.Puangrat Kajitvichyanukul		
Major	Environmental Engineering		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2010		

Abstract

Aim of this project was to investigate effect of nano-titanium dioxide contaminated in soil on growth of annual plants. Two annual plants included coriander (*Coriandrum sativum*) and Chinese cabbage or Bok Choy (*Brassica rapa chinensis*) were investigated. In this work, the applied dosages of nano-titanium dioxide were 100, 300, and 500 mg/kg. The lengths of root, cotyledon, leave, and stem were measured periodically. Results showed that nano-titanium dioxide exerted both positive and negative effect on growth of both annual plants. The concentration of nano-titanium dioxide at 100 mg/kg enhanced the growth of steam and leave of both Chinese cabbage and coriander. However, when the concentration was increased up to 300 mg/kg, the negative effect of titanium dioxide was seen. At a high concentration of nano-titanium dioxide in soil, growth of both plants was retarded. The leaves were slowly dried out, the roots were continually paled and rotten, and finally both plants died within 40 days.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจาก รศ. ดร. พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และ ดร. จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำชี้แนะ อธิบายขอบเขต รูปแบบและเอกสารที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงงาน ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะในการแก้ไขปรับปรุง และติดตามประมาณผลมาโดยตลอด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ทุกท่าน และบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่คณะผู้ดำเนินโครงงาน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม บุคลากร เจ้าหน้าที่กองอาคารสถานที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำโครงงานนี้ รวมทั้งขอบคุณเพื่อนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมชั้นปี 4 ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้ ขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่มิได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่มีส่วนร่วมช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้ดำเนินโครงงานทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อบกพร่องในโครงงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับนี้ คณะผู้ดำเนินโครงงานยินดีรับฟังคำชี้แนะและนำไปเป็นแนวทางในการจัดทำโครงงานครั้งต่อไป

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายนิรันดร์รัตน์ โมป้อ
นายปิยะพันธ์ เทพวงค์
นายวัชรพงค์ ใจจินา

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินโครงงาน	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น	4
2.1 วัสดุนาโน	4
2.2 นาโนเทคโนโลยี	6
2.3 ลำดับเหตุการณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี	8
2.4 โครงสร้างนาโน	9
2.5 การนำวัสดุนาโนมาใช้ประโยชน์	13
2.6 ผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี	14
2.7 วัสดุที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในสินค้า	15
2.8 ทฤษฎีของสารที่ใช้ในการทดลอง	16
2.9 พืชที่ใช้ในการทดลอง	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน	21
3.1 อุปกรณ์	21
3.2 ภาชนะเพาะปลูก	21
3.3 การเตรียมดิน	21
3.4 วิธีการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	25
4.1 ผลกระทบของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อผักกาดเขียวกวางตุ้ง	25
4.2 ผลกระทบของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อผักชี	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	40
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอะตอมทั้งหมดในกลุ่มและเปอร์เซ็นต์พื้นผิวอะตอม	9
3.1 แผนการดำเนินงานโครงงาน	24

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การจัดเรียงอะตอมของธาตุซีนอนจำนวน 35 อะตอมบนพื้นผิวของนิเกิลเป็นรูปตัวอักษร IBMโดย ดอนไอเกลอร์	5
2.2	Deoxyribonucleic acid	6
2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับจุดหลอมเหลวของอนุภาคทอง	9
2.4	(a) รูปทรงเรขาคณิตของผลึกนาโน cubooctahedral ที่อัตราการเติบโตต่างๆกัน	10
	(b) การพัฒนาการของรูปทรงเมื่อระนาบผลึกมีการเปลี่ยนแปลง	10
	(c) รูปทรงเรขาคณิตของอนุภาคนาโนเชิงซ้อน decahedral และ icosahedral	10
2.5	แสดงวัสดุผลึกนาโนทั้ง 4 ชนิด ซึ่งจำแนกตามมิติของผลึก	11
2.6	แสดงการแบ่งวัสดุผลึกนาโนเป็น 12 กลุ่มตามโครงสร้างทางเคมี	11
2.7	แสดงจำนวนสินค้าในแต่ละกลุ่ม	13
2.8	แสดงจำนวนสินค้าในกลุ่มสุขภาพ	14
2.9	แสดงจำนวนผลิตภัณฑ์โดยจำแนกตามชนิดของวัสดุนาโนที่ใช้	14
2.10	ผักกาดเขียวกวางตุ้ง	16
2.11	ผักชี	18
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันผสมในดิน	26
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	26
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันผสมในดิน	27
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน	29
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	29
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน	30
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	31
4.9	แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบผักกาดเขียวกวางตุ้ง	31
4.10	แสดงการเน่าและขาดของรากของผักกาดเขียวกวางตุ้ง	32
4.11	แสดงการเน่าของใบเลี้ยงและใบ ของผักกาดเขียวกวางตุ้ง	32
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน	33
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน และชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน	35
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน และชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	35
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน	36
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน และชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	37
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตโดย เปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน	38
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน และชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม	38
4.20 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบผักชี	39
4.21 แสดงการเน่าและขาดของรากของผักชี	39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันนั้นได้มีการนำเอานาโนเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลายมาก ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีมากขึ้น ซึ่งนาโนเทคโนโลยีได้เข้ามาเกี่ยวข้องในทุกอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรมด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ การสื่อสาร ยาและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ สิ่งทอ สีและเครื่องสำอาง จะเห็นได้ว่านาโนเทคโนโลยีได้เข้ามาอยู่รอบๆตัวเราและในอนาคตอาจจะมีการพัฒนาเทคโนโลยีนาโนเพิ่มมากขึ้น เพื่อนำมาซึ่งการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นต่อไปเรื่อยๆ และเมื่อวัสดุนาโนได้ถูนำมาเป็นองค์ประกอบของสินค้าต่างๆโดยไม่ได้ตะหนักถึงผลกระทบจากการปนเปื้อนของวัสดุนาโนสู่สิ่งแวดล้อม จึงอาจนำไปสู่ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์จากการใช้วัสดุนาโน อย่างไรก็ตามหากมีการใช้งานจากวัสดุนาโนเพิ่มมากขึ้นก็จะสามารถก่อให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคตข้างหน้า

การศึกษาเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีจึงมีความสำคัญมาก เพราะนาโนเทคโนโลยีอาจจะส่งผลกระทบต่อตัวของเราโดยไม่ทันรู้ตัว เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่มีความเข้าใจกับลักษณะของวัสดุนาโนน้อยมากและยังไม่ได้รับข้อมูลด้านความเป็นพิษของนาโนเทคโนโลยี โดยไม่นานมานี้ได้มีการศึกษาค้นพบเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีว่ามีสารปนเปื้อนและสะสมจากการใช้วัสดุนาโนเมื่อได้มีการทดลองกับสัตว์ และการทดลองของท่อคาร์บอนที่เกิดขึ้นในหนูทดลอง และพบว่าอนุภาคนาโนดังกล่าวทำให้เกิดมะเร็งปอด

ผลกระทบจากนาโนเทคโนโลยีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม จากความเป็นพิษของวัสดุนาโนบางประเภทยังไม่ได้รับการยืนยันว่าปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ และขาดมาตรฐานข้อบังคับในด้านการทดลองและวิจัยผลกระทบของวัสดุนาโน ในขณะที่สินค้าที่มีส่วนประกอบของวัสดุนาโนมีอัตราเพิ่มมากขึ้น เช่น การหลุดร่อนของอนุภาคนาโนผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องนุ่งห่ม ผลของการแพร่กระจายดังกล่าวทำให้มีความเป็นไปได้สูงในการปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม เช่น แหล่งน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ดีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

มักมีวัสดุนาโนเป็นส่วนประกอบ เช่น การใช้วัสดุนาโนในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่มีผลทำให้ผ้ามีคลิ่นไม่พึงประสงค์ จึงทำให้เกิดการหลุดร่อนของอนุภาคนาโนจากใยผ้าเมื่อนำมาทำการซัก และเนื่องจากวัสดุนาโนมีขนาดที่เล็กมากนั้น โดยวัสดุนาโนมีโอกาสซึมเข้าสู่ร่างกายของผู้ที่สัมผัสเข้าโดยไม่รู้ตัวหรือสัมผัสโดยตรง และเกิดจากการปราศจากความไม่ระมัดระวัง นอกจากนี้จากการที่พืชเป็นอาหารของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์นั้นอาจจะได้รับสารอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนในผลิตผลทางการเกษตร เนื่องมาจากพืชนั้นดูดน้ำที่มีอนุภาคนาโนที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเข้าไปเลี้ยงลำต้นและใบ โดยอนุภาคนาโนอาจเข้าสู่มนุษย์โดยการนำเอาพืชที่มีอนุภาคนาโนปนเปื้อนอยู่นั้นมารับประทานทำให้มีโอกาสที่วัสดุนาโนนั้นจะส่งผลกระทบต่อร่างกายและสุขภาพได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินโครงงาน

ศึกษาปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดิน ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลกระทบของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก
2. การเจริญเติบโตของพืชล้มลุกเมื่อได้รับไททาเนียมไดออกไซด์ ในปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดิน ที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน

• ศึกษาวัสดุนาโนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูล Cruciferae (ผักกาดเขียวกวางตุ้ง) และ พืชตระกูล Unbelliferae (ผักชี)

• ใช้วัสดุนาโน คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในการศึกษาเท่านั้น

• ศึกษาการปนเปื้อนของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีในดินเท่านั้น

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 วัสดุนาโน

วัสดุนาโน (Nanomaterials) เป็นวัสดุที่กำลังดึงดูดความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกในช่วงทศวรรษนี้อย่างมากมาย และเป็นไปด้วยความรวดเร็วอย่างที่วัสดุอื่นๆ ไม่เคยได้รับมาก่อน สาเหตุสำคัญอาจจะเนื่องมาจากศักยภาพของวัสดุนาโนที่สามารถทำการปฏิวัติงานด้านวัสดุศาสตร์ให้เกิดขึ้นและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมหาศาล โดยผ่านโครงสร้างในระดับอะตอมซึ่งเป็นตัวควบคุมสมบัติทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น สภาพแม่เหล็ก ตัวกระตุ้นปฏิกิริยา หรือพฤติกรรมทางแสง เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการพัฒนา เทคโนโลยีด้านต่างๆเช่น ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เซรามิกส์ ตัวเก็บข้อมูลแม่เหล็ก รวมทั้งพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุก่อรูปพลาสติกยิ่งยวด ตลอดจนวิทยาศาสตร์และวิทยาการด้านอื่นๆมากมาย การพัฒนาโครงสร้างนาโนของวัสดุก่อให้เกิดคำถามที่เพิ่มขึ้นอย่างมากมายว่าทำไมคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุจึงเปลี่ยนแปลงไปเมื่อลดสเกลโครงสร้างจากระดับไมโครสเกล(10-6 เมตร)ลงสู่ระดับนาโนสเกล (10-9 เมตร) เช่น มีค่าความเครียดเชิงกลสูงขึ้น การกระจายแสงเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้น และสภาพความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไป เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเดิมของตัวมันเอง

วัสดุนาโนสามารถจะจัดแบ่งได้เป็นผลึกนาโน และอนุภาคนาโน โดยที่ก้อนหรือปริมาตรของผลึกนาโนซึ่งประกอบด้วยเม็ดผลึก ที่มีขนาดช่วงสเกลการวัดอยู่ในระดับนาโน ถึงประมาณ 100 นาโนเมตร แต่ขณะที่อนุภาคนาโน มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 100 นาโนเมตร ดังนั้นก้อนหรือปริมาตรของวัสดุที่เป็นผลึกนาโนจึงประกอบขึ้นหรือเกิดจากการรวมกลุ่มกันของอนุภาคนาโนนั่นเอง การศึกษาค้นคว้าวิจัยทางด้านวัสดุนาโนต้องใช้ความพยายามสูง มีความเกี่ยวข้องกันในหลายๆสาขาวิชา รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ของนักวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น ฟิสิกส์ เคมี วิศวกรรมศาสตร์และวัสดุศาสตร์ หรือแม้กระทั่งชีววิทยา และการแพทย์งานวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานของวัสดุนาโนเป็นสิ่งสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจเช่นกัน มีความคิดเห็นหลายประเด็นที่จะกล่าวถึงศักยภาพของวัสดุนาโนที่มีประโยชน์อย่างมากมาย เช่นในทางอุตสาหกรรม การสังเคราะห์วัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูง การเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อม คุณลักษณะเฉพาะของโครงสร้างใหม่และคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุนาโน การเตรียมผลิตภัณฑ์จากอนุภาคนาโนที่มีความหนาแน่นสูงและมีสิ่ง เจือปนต่ำ และการเก็บรักษาสภาพรายละเอียดของเม็ดผลึกเพื่อดำรงไว้ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลที่มีความสัมพันธ์กับขนาดสเกลในระดับนาโน เทคโนโลยีสำหรับเตรียมอนุภาคนาโน

มีหลากหลายแนวทาง เช่น เตรียมจากกระบวนการไอระเหย เตรียมจากของเหลวหรือของแข็ง การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยเทคนิคไอระเหยมีหลายวิธี อาจเตรียมจากการเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางฟิสิกส์ (physical vapor deposition, PVD) การเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางเคมี (chemical vapor deposition, CVD)

กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของเหลว จะเกี่ยวข้องกับวิธีการโซลเจล และสารละลายเคมี กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของแข็งสามารถเตรียมจากการบด การขัดสี หรือการสังเคราะห์ทางเคมีเชิงกล(mechano chemical) แต่ละวิธีที่กล่าวถึงจะมีประโยชน์และข้อบกพร่องเป็นลักษณะเฉพาะของตนเอง สำหรับการเตรียมผงแป้งนาโนที่มีปริมาณมากๆ วิธีการที่นิยมใช้ทั่วไปคือ กระบวนการบดหรือการขัดสีเชิงกล และการฉีดพ่นละอองสาร (spraying) อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์จากหลายๆวิธีการอาจจะมีโครงสร้างภายในที่แตกต่างกันซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นของแข็งกระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนให้มีความหนาแน่นมาก เป็นก้อนขนาดใหญ่ หรือเคลือบให้มีความหนาของเม็ดผลึกอยู่ในระดับนาโนค่อนข้างลำบากและยุ่งยากมากในทางปฏิบัติ เนื่องจากอนุภาค นาโนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง และมีการเกาะกลุ่มกันอย่างแข็งแรงเหนียวแน่นนอกจากจากนั้นการสังเคราะห์ของอนุภาคนาโนมักจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิค่อนข้างสูง ดังนั้นการควบคุมปัจจัยต่างๆ ในระหว่างการสังเคราะห์และผลลัพธ์ของกระบวนการต่างๆ จึงเป็นสิ่งท้าทายที่ยิ่งใหญ่ของนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเตรียมโครงสร้างและคุณสมบัติต่างๆ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาวัสดุนาโนชนิดใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติโครงสร้าง และการใช้งานในด้านต่างๆ ตามคุณสมบัติอันหลากหลายตามธรรมชาติของวัสดุนาโนในแต่ละชนิดนั้นๆ

นาโน มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกโบราณที่แปลว่า แคระ ปัจจุบันใช้คำว่า นาโน ใช้ในหน่วยวัดที่มีขนาดเล็กถึงพันล้านส่วน เช่น 1 นาโนเมตร มีขนาดเท่ากับ หนึ่งในพันล้านส่วนของเมตร หรือมีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของคนเราหนึ่งแสนเท่า ดังนั้น นาโนจึงมีขนาดอยู่ในระดับอะตอมเท่านั้น จึงมองไม่สามารถเห็นด้วยตาเปล่า ขนาดของนาโนจึงเริ่มตั้งแต่ขนาดของอะตอมของธาตุไฮโดรเจน เป็นต้น

วัสดุนาโน คือวัสดุที่สามารถเป็นได้ทั้ง โลหะ เซรามิกส์ พอลิเมอร์ และคอมพอสิท ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อการจัดเรียงตัวของอะตอมและโมเลกุลที่มีขนาด 1-100 นาโนเมตร โดยเฉพาะให้มีคุณสมบัติพิเศษในด้านต่างๆ เป็นวัสดุขนาดจิ๋ว มีสมบัติการนำไฟฟ้า สมบัติเชิงกล สมบัติทางแม่เหล็ก ที่มีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน วัสดุนาโนสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการใช้งานและการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ดังนี้ หมุดควอนตัม,

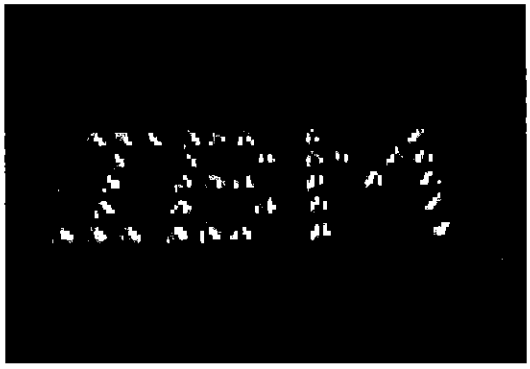
อนุภาคนาโน, ลวดนาโน, ท่อนาโนคาร์บอน, ฟิล์มบางนาโน, สารเคลือบนาโน, ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดนาโน, นาโนคอมพอสิท

2.2 นาโนเทคโนโลยี

นาโนเทคโนโลยี เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับหลากหลายสาขาวิชาต่างๆ เช่น เคมี-สังเคราะห์ วัสดุศาสตร์ อิเล็กทรอนิกส์ เคมี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์พื้นฐาน วิทยาศาสตร์ประยุกต์ แพทย์ศาสตร์ และวิศวกรรม เนื่องจากมีหลากหลายสาขาวิชาจึงยากต่อการระบุคำนิยามให้ครอบคลุมทั้งหมดได้ ในปัจจุบันจึงให้คำจำกัดความว่า นาโนเทคโนโลยี

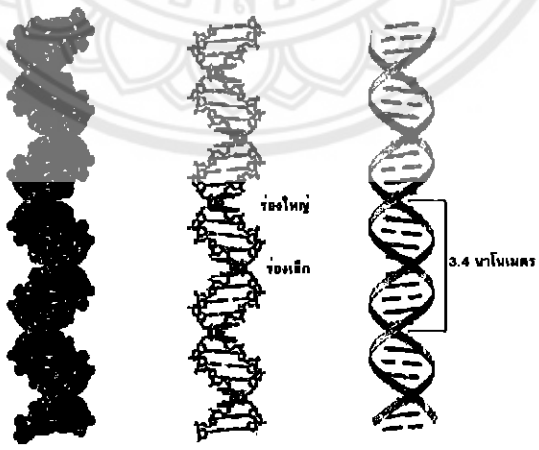
นาโนเทคโนโลยี หมายถึง การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักร ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีขนาดเล็กระดับนาโน หรือ 1-100 นาโนเมตร และการออกแบบเครื่องมือเครื่องใช้ ที่มีขนาดเล็ก เพื่อการนำไปจัดเรียงตัวของอะตอมและโมเลกุลลงในวัสดุ เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องและแม่นยำ เพื่อให้โครงสร้างของวัสดุนั้นๆ มีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นในทางของฟิสิกส์ เคมี ชีวภาพ สามารถนำไปใช้งานและเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้อย่างมาก ในด้านต่างๆได้

การที่วัสดุที่มีขนาดเล็กลงเท่าใดจะส่งผลให้เป็นสัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณหน้าผิว และผิวสัมผัส ของวัสดุนั้นๆเพิ่มมากขึ้นของจำนวนอะตอมที่บริเวณผิวสัมผัสของวัสดุ จะมีผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุโดยตรง ทำให้วัสดุที่มีขนาดนาโนมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติทางแสง และสมบัติทางกายภาพ แตกต่างไปจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่โดยสิ้นเชิง สามารถสร้างวัสดุที่มีความแปลกใหม่ตามต้องการได้อย่างมากมาย ที่ไม่เคยพบเห็นมาก่อนทั้งสิ้น



รูปที่ 2.1 การจัดเรียงอะตอมของธาตุซีนอนจำนวน 35 อะตอมบนพื้นผิวของนิเกิลเป็นรูปตัวอักษร IBMโดย ดอนไอเกลอร์ เป็นจุดเริ่มต้นของมนุษย์ที่สามารถเข้าไปจัดการในระบบอะตอมของสสาร

ในกระบวนการผลิตในระดับนาโนไม่ใช่ของใหม่ ซึ่งมีอยู่แล้วในธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นการสร้าง DNA ในตัวมนุษย์เราถือว่ามีขนาดเล็กถึงระดับนาโน ในการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุระหว่างเซลล์ การหมุนของชีวะมอเตอร์ที่หางของตัวอสุจิ หรือแบคทีเรีย การส่งสัญญาณในเซลล์ประสาท ร่วมถึงการซ่อมแซมตัวเองของอวัยวะต่างๆเมื่อเกิดบาดแผล เป็นโครงสร้างที่มีความสลับซับซ้อนของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นในพืชและสัตว์



รูปที่ 2.2 Deoxyribonucleic acid

2.3 ลำดับเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี

- **ค.ศ.1905** อัลเบิร์ต ไอสไตน์ ได้ค้นพบโมเลกุลของน้ำตาลมีขนาดประมาณ 1 นาโนเมตร และได้เสนอทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบราวเนียน หรือแบบสะเปะสะปะของอนุภาคคอลลอยด์ ถือว่าเป็นหลักการสำคัญต่อการอธิบายพฤติกรรมของอนุภาคนาโน
- **ค.ศ.1959** ริชาร์ด ฟายน์แมน ผู้เปรียบได้ว่าเป็นบิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี ได้ศึกษานาโนเป็นครั้งแรก ในเรื่องปาฐกถาเรื่อง ข้างล่างยังมีที่ว่างอีกเยอะ และได้นำไปสู่การวิจัยเกี่ยวกับการจัดเรียงตัวของอะตอมและโมเลกุล
- **ค.ศ.**1981 เกิร์ด บินนิ่ง และไฮน์ริช โรห์เฮอร์ สร้างกล้องที่สามารถมองเห็นการจัดเรียงตัวของอะตอมของสสารต่างๆได้อย่างชัดเจน ชื่อว่า Scanning Tunneling Microscope (STM)
- **ค.ศ.**1985 โรเบิร์ต เคิร์ล ริชาร์ด สมอลลี่ และฮาร์โรลด์ โครโต้ ได้ค้นพบโครงสร้างโมเลกุลคาร์บอนแบบใหม่ นอกจากเพชรและกราไฟต์ คือ ฟูลเลอรีนหรือบัคกี้บอล มีรูปร่างคล้ายลูกฟุตบอล เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นาโนเมตร ประกอบด้วยคาร์บอน 60 อะตอมเชื่อมต่อกัน
- **ค.ศ.1986** หนังสือที่แต่งโดย อีริค เดรกเลอร์ ที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีได้เริ่มมีการวางจำหน่าย มีชื่อว่า จักรกลแห่งการสร้างสรรค์
- **ค.ศ.**1989 ดอน ไอเกลอร์ ใช้กล้องส่องอะตอม (STM) ในการนำอะตอมของธาตุซีนอนไปจัดวางอะตอม ทีละอะตอม เป็นตัวอักษร IBM แสดงให้เห็นว่ามนุษย์เราสามารถเข้าไปจัดการเรียงตัวของอะตอมได้เป็นครั้งแรก
- **ค.ศ.**1991 ซูมิโอะ อีจิมา บริษัท NEC ของญี่ปุ่น ค้นพบท่อนาโนคาร์บอน ที่มีคุณสมบัติแข็งกว่าเหล็กกล้า 100 เท่า น้ำหนักเบากว่า 6 เท่า สามารถนำไฟฟ้ายิ่งยวดหรือสารกึ่งตัวนำ เป็นการประดิษฐ์นวัตกรรมทางด้านนาโนหลากหลายสาขาวิชา
- **ค.ศ.2000** ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยรัฐบาลของประธานาธิบดี บิล คลินตัน ได้ผลักดันให้เกิดโครงสร้างการริเริ่มทาง นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ให้การสนับสนุนทุนวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี ทำให้ ทั่วโลกเกิดการตื่นตัวและพัฒนานาโนเทคโนโลยีมากขึ้น

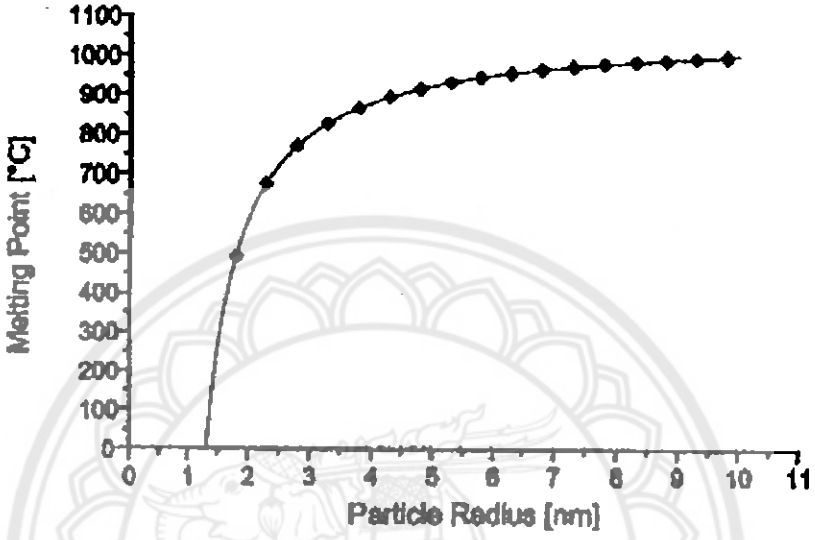
2.4 โครงสร้างนาโน (Nanostructure)

คุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของอนุภาคนาโนก็คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและปริมาตรค่อนข้างสูง สัดส่วนพื้นที่ผิวของอะตอมที่สูงมากดังกล่าวทำให้อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากก้อนปริมาตรของวัสดุขนาดใหญ่ การเตรียมอนุภาคนาโนจากสถานะไอระเหยและของเหลวมีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 ขั้นตอน คือ การก่อตัว (nuclcation) การเกาะกลุ่ม (coalescence) และการเติบโต (growth) อนุภาคนาโนจะเริ่มเกิดจากการก่อตัวจากแก่นกลางจากนั้นจึงค่อยๆ เกาะกลุ่ม และรวมตัวกันเกิดเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ขึ้น ด้วยเหตุนี้อนุภาคนาโนหลายๆอนุภาคจะถูกสร้างขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากกลุ่มอะตอมเรียงตัวกันเป็นรูปแบบกล่องลูกบาศก์หรือโครงสร้างรูปหกเหลี่ยมแบบปิดชนิดต่างๆ ซึ่งโครงสร้างหนึ่งๆ อาจจะเกิดจากการก่อตัวรอบๆอะตอมแก่นกลางอะตอมหนึ่ง โดยในชั้นแรกมี 12 อะตอม ชั้นที่สองมี 42 อะตอม และชั้นที่ 3 มี 92 อะตอมเป็นต้น จำนวนอะตอมในแต่ละชั้นจะถูกกำหนดโดยตัวเลข $10n^{2+2}$ สามารถแสดงให้เห็นได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอะตอมทั้งหมดในกลุ่มและเปอร์เซ็นต์พื้นผิวอะตอม

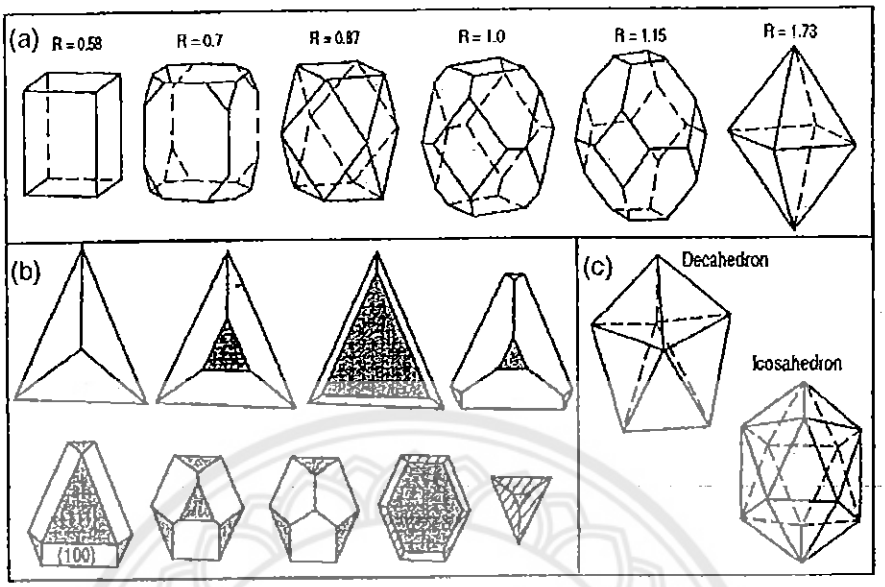
Full shell clusters	Total number of atoms	Surface atoms (%)
One shell	13	92
Two shells	55	76
Three shells	147	63
Four shells	309	52
Five shells	561	45
Seven shells	1415	35

การลดลงของขนาดอนุภาคนาโน จะทำให้เปอร์เซ็นต์พื้นที่ผิวของอะตอมเพิ่มขึ้น ขนาดที่ลดลงของอนุภาคนาโนจะมีผลกระทบกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของอนุภาค แสดงตัวอย่างดังกล่าวได้ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับจุดหลอมเหลวของอนุภาคทอง

โดยทั่วไปแล้วรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ จะถูกกำหนดโดยองค์ประกอบและคุณสมบัติหลายๆ อย่างของการสังเคราะห์วัสดุ หรือกลไกการก่อรูป การเกาะรวมตัวกันของอนุภาคนาโน สำหรับโลหะบางชนิด เช่นอนุภาคนาโนของโลหะทรานซิชั่น โครงสร้างต่างๆ สามารถเกิดขึ้นใหม่โดยแตกต่างไปจากลักษณะของโครงสร้างของก้อนผลึกเดิม โครงสร้างเหล่านี้ ได้แก่ cuboctahedron-icosahedron และ Decahedron ดังรูปที่ 2.4 โครงสร้าง หรือระนาบของพื้นผิวที่แตกต่างกันไม่เพียงแต่ทำให้ความหนาแน่นเชิงผิวของอะตอมต่างกัน แต่ยังทำให้โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์พันธะ และปฏิกิริยาทางเคมีแตกต่างกัน การควบคุมขนาด รูปทรงและโครงสร้างอนุภาคนาโนของโลหะเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญยิ่งเพราะมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมากระหว่างตัวแปรเหล่านี้กับคุณสมบัติเชิงแสง เชิงไฟฟ้า หรือตัวกระตุ้นปฏิกิริยา เป็นต้น



รูปที่ 2.4 (a) รูปทรงเรขาคณิตของผลึกนาโน cubooctahedral ที่อัตราการเติบโตต่างๆกัน
(b) การพัฒนาการของรูปทรงเมื่อระนาบผลึกมีการเปลี่ยนแปลง
(c) รูปทรงเรขาคณิตของอนุภาคนาโนเชิงซ้อน decahedral และ icosahedral

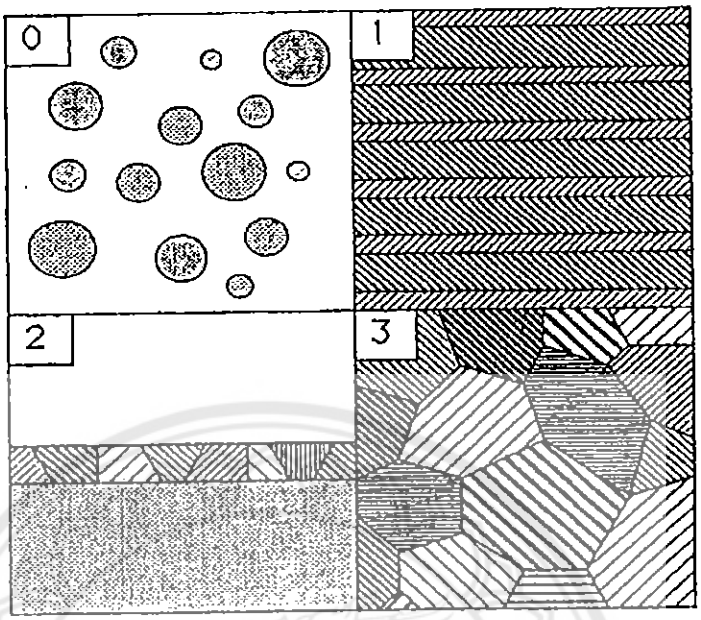
วัสดุผลึกนาโน สามารถจัดแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับทิศทาง หรือมิติของผลึก คือ

1. กลุ่มอะตอมมิติศูนย์ (zero-dimensional atom clusters)
2. โครงสร้างเนื้อเยื่อหลายชั้น 1 มิติ (onedimensional modulated multilayers)
3. โครงสร้างเนื้อเยื่อละเอียดหลายชั้น 2 มิติ (two-dimensional ultrafine-grained overlayers)
4. โครงสร้างผลึกนาโน 3 มิติ (three-dimensional nanocrystalline structure)

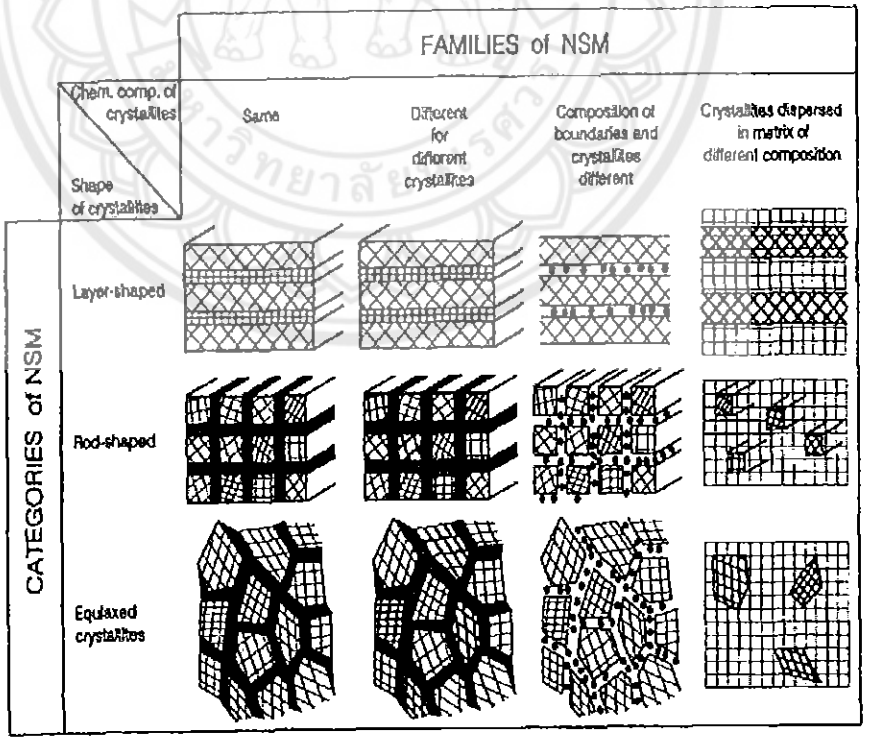
วัสดุผลึกนาโนยังสามารถแบ่งออกเป็น 12 กลุ่มตามรูปร่าง (มิติ) และองค์ประกอบทางเคมีของธาตุที่ประกอบเป็นโครงสร้าง แสดงได้ดังรูปที่ 2.6

นอกจากนี้รูปของผลึกยังสามารถจัดแบ่งได้เป็นรูปทรงแผ่นหรือผลึกแบบชั้น ผลึกรูปทรงแท่ง และผลึกรูปขวานสมมาตร หรืออาจจะจัดได้เป็น 4 กลุ่ม ตามองค์ประกอบทางเคมี คือ

1. กลุ่มที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน
2. กลุ่มที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน
3. กลุ่มที่มีองค์ประกอบทางเคมีระหว่างชั้นผลึกต่างกัน
4. กลุ่มที่มีการกระจายขององค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เช่นสารประกอบอัลลอย เป็นต้น



รูปที่ 2.5 แสดงวัสดุผลึกนาโนทั้ง 4 ชนิด ซึ่งจำแนกตามมิติของผลึก



รูปที่ 2.6 แสดงการแบ่งวัสดุผลึกนาโนเป็น 12 กลุ่มตามโครงสร้างทางเคมี

2.5 การนำวัสดุนาโนมาใช้ประโยชน์ (Applications in Nanomaterials)

การใช้ประโยชน์จากวัสดุนาโนที่นำมาเสนออาจจะมีรายละเอียดไม่ครอบคลุมทั้งหมด เนื่องจากวิทยาการทางด้านนาโนศาสตร์เป็นความรู้ใหม่เพิ่งมีการนำเสนองานวิจัยเมื่อปี ค.ศ. 1991 อีกทั้งศักยภาพของวัสดุนาโนมีคุณสมบัติครอบคลุมศาสตร์ต่างๆหลากหลายแขนง และการประยุกต์ใช้ประโยชน์ในภาพรวมดังนี้

2.5.1 ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ (integrated electronics and optoelectronics) เช่น หน่วยความจำที่มีขนาดประมาณ 90 นาโนเมตร และคาดว่าจะลดขนาดลงเหลือประมาณ 22 นาโนเมตร ในปี ค.ศ. 2016 วัสดุพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพ อุปกรณ์ตรวจวัดทางเคมี หรืออุปกรณ์แสดงผลโครงสร้างสุขภาพ เป็นต้น

2.5.2 ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพนาโนและการแพทย์นาโน (bionanotechnology and nanomedicine) เช่น การขนส่งยาไปยังที่หมายเฉพาะ การแสดงภาพโมเลกุล ตัวต่อต้านจุลชีพ เนื้อเยื่อและโครงนาโน หรือ เครื่องแสดงผลสุขภาพอัจฉริยะ เป็นต้น

2.5.3 ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ (engineering) เช่น วัสดุเชิงกลนาโน ระบบไฟฟ้าเชิงกลนาโน-วัสดุโครงสร้างอัจฉริยะ วัสดุและโครงสร้างป้องกันไฟ วัสดุประกอบ หรือพลาสติกยิ่งยวด เป็นต้น

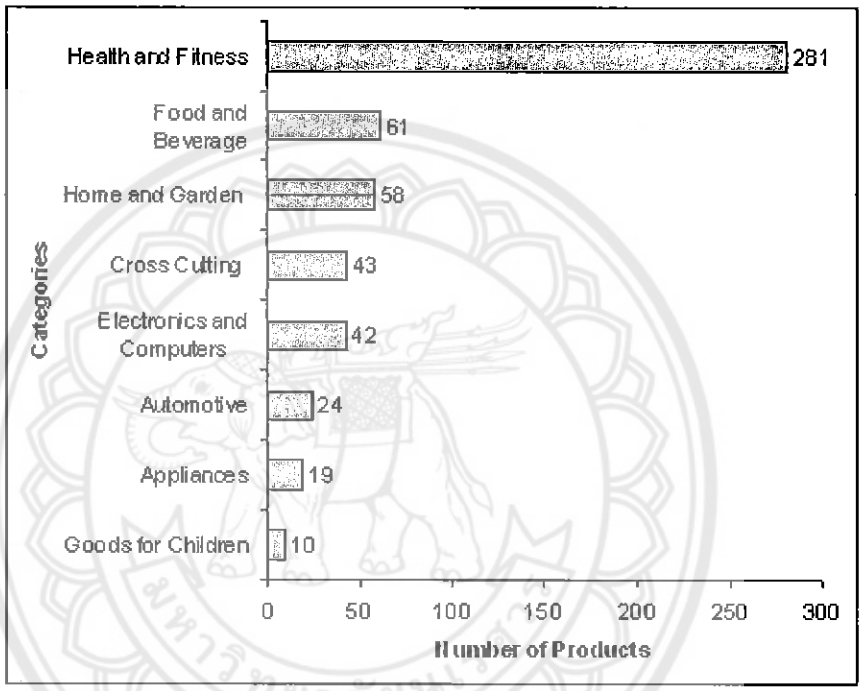
2.5.4 ทางด้านพลังงาน เช่น เป็นวัสดุกักเก็บเชื้อเพิงไฮโดรเจน ไฟฟ้าเคมี เซลล์สุริยะ หรือท่อคาร์บอนนาโนความหนาแน่นกระแสสูง เป็นต้น

2.5.5 การวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ งานวิจัยทางด้านนาโนศาสตร์ยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการอาศัยหลักการ ทฤษฎีและองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปทางฟิสิกส์ หรือ เคมีของวัสดุนาโนที่แตกต่างไปจากวัสดุเดิมในระดับไมโคร เป็นต้น

ศักยภาพของวัสดุนาโนแต่ละชนิด บางชนิดมีประโยชน์มากมาย บางชนิดอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย ซึ่งแต่ละชนิดอาจมีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับศาสตร์หลายๆแขนงด้วยกัน ในปัจจุบันนี้วัสดุนาโนหลายๆ ชนิดสามารถนำใช้ให้เกิดประโยชน์และมีคุณค่าอย่างยิ่ง เช่นการพัฒนาเป็นหัวอ่านนาโน ของเครื่อง Scanning electron microscope (SEM), Tunneling electron-microscope (TEM) หรือ Atomic force- microscope (AFM) บางชนิดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงการค้าได้แล้ว อย่างไรก็ตามงานวิจัยทางด้านนาโนศาสตร์ในขณะนี้ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งอาจต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งจึงจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงในอนาคตข้างหน้าต่อไป

2.6 ผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี

จากการรวบรวมข้อมูลล่าสุดโดย Project on Emerging Nanotechnologies ของสหรัฐอเมริกา พบว่าในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่วางขายอยู่ตามท้องตลาดในการจัดกลุ่มสินค้าตามลักษณะการนำไปใช้งานแสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางด้านสุขภาพมีจำนวนมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นจำนวนมากกว่าร้อยละ 50 ของผลสำรวจทั้งหมด

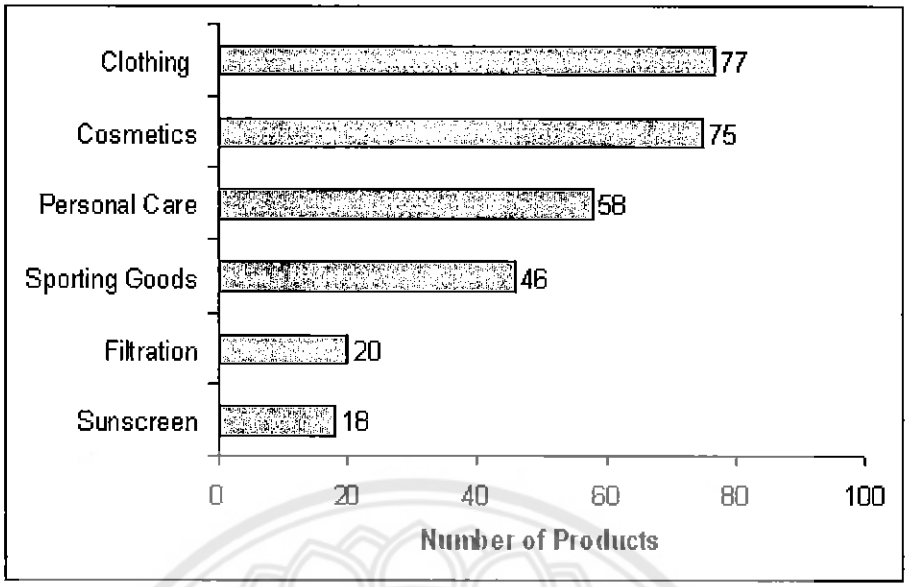


รูปที่ 2.8 แสดงจำนวนสินค้าในแต่ละกลุ่ม

ที่มา: Project on Engineering Nanotechnologies:http://www.nanotechproject.org

นอกเหนือจากสินค้าในกลุ่มสุขภาพแล้ว สินค้าที่มีจำนวนมากในอันดับรองลงมาได้แก่ สินค้าในกลุ่มอาหารและเครื่องดื่ม รวมทั้งเครื่องใช้ในบ้านและสวน และยังพบสินค้านาโนเทคโนโลยีในเครื่องใช้สำหรับเด็กอีกด้วย

สำหรับสินค้าในกลุ่มสุขภาพ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีมากได้แก่ เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม และเครื่องสำอาง ซึ่งมีจำนวนเป็นประมาณครึ่งหนึ่งของสินค้าทั้งหมดในกลุ่มนี้ ผลิตภัณฑ์อื่นๆได้แก่ ของใช้ส่วนตัว เครื่องกีฬา อุปกรณ์ในการกรอง และครีมกันแดด ดังแสดงในรูป

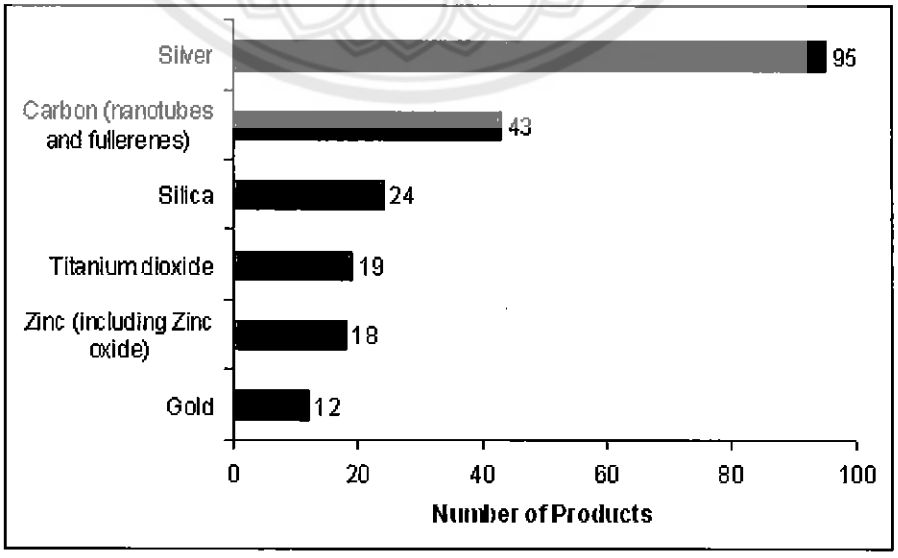


รูปที่ 2.9 แสดงจำนวนสินค้าในกลุ่มสุขภาพ

ที่มา: Project on Engineering Nanotechnologies:http://www.nanotechproject.org

2.7 วัสดุที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในสินค้า

พบว่ามีการใช้เงิน (Silver) มากที่สุด ตามด้วยคาร์บอนทั้งในรูปแบบที่เป็นฟลูเลอรีน(C60) และท่อนาโน (nanotubes) อีกกลุ่มของวัสดุที่มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีคือ สารประกอบ ออกไซด์ของโลหะ ซึ่งได้แก่ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือซิงค์ออกไซด์ (ZnO) นอกจากนี้ยังมีการนำอนุภาคนาโนของทองมาใช้อีกด้วย



รูปที่2.10 แสดงจำนวนผลิตภัณฑ์โดยจำแนกตามชนิดของวัสดุนาโนที่ใช้

ที่มา: Project on Engineering Nanotechnologies:http://www.nanotechproject.org

2.8 ทฤษฎีของสารที่ใช้ในการทดลอง

2.8.1 ไททาเนียมไดออกไซด์ Titanium dioxide (TiO_2)

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำแถบพลังงานกว้าง (Wide band gap) มี energy gap ประมาณ 3.2 eV ลักษณะโดยทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติทางแสงหลายประการ คือ เป็นสารที่มีสีขาว, สะท้อนแสงได้ดี, ทึบแสง, มีค่าดัชนีหักเหสูง นอกจากนี้รูปแบบผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้างผลึกและลักษณะบางประการที่ต่างกันดังนี้

1. Rutile มีโครงสร้างผลึกแบบ Tetragonal เป็นชนิดที่มีความเสถียรต่ออุณหภูมิสูงที่สุดจึงนิยมใช้มากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม

2. Anatase มีโครงสร้างผลึกแบบ Tetragonal มีความเสถียรต่ออุณหภูมิรองลงมา คือ ถ้าให้ความร้อนสูงกว่า 915°C โครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนเป็นแบบ Rutile โดยอัตโนมัติ

3. Brookite มีโครงสร้างผลึกแบบ orthorhombic มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำที่สุด เมื่อให้ความร้อนสูงกว่า 750°C โครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนเป็นแบบ Rutile ดังนั้นจึงไม่นิยมนำไปใช้เพราะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำ

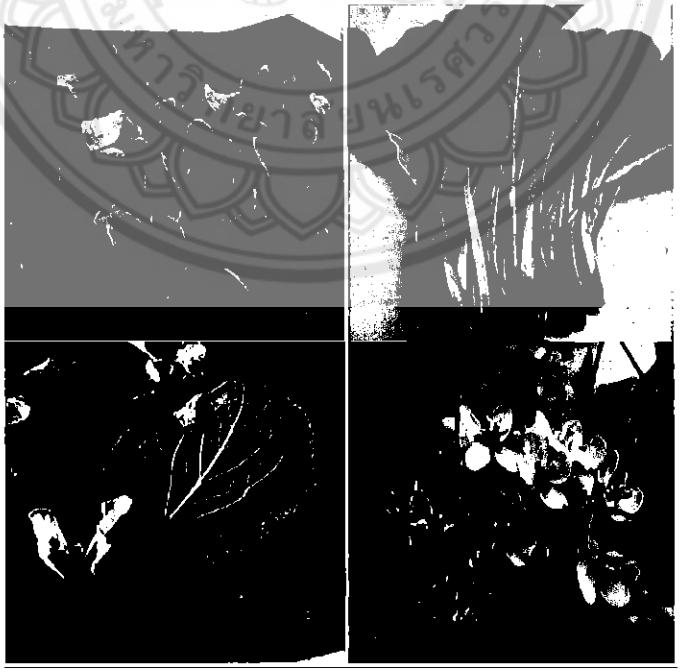
สารไททาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการที่เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ไม่มีอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จึงมักถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น อุตสาหกรรมเกี่ยวกับสีเนื่องจากเป็นสารที่ให้ความขาว สะท้อนแสงได้ดี แต่มีความทึบแสงที่ให้สีขาวและมีความสว่างกว่าปกติ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมในการทำกระดาษทำให้กระดาษมีความขาวสว่าง ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง ครีมกันแดด รวมไปถึงใช้ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ ทางอากาศ เป็นต้น เนื่องจากเป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยา Photocatalysis ทำให้สามารถกำจัดสารพิษ โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง รวมถึงเชื้อโรคได้

2.8.2 สมบัติกายภาพบางประการของสารไททาเนียมไดออกไซด์

สูตรทางเคมี	TiO_2
มวลโมเลกุล	79.866 g/mol
ความหนาแน่น	4.23 g/cm3
จุดหลอมเหลว	1870 °C
จุดเดือด	2972 °C
ค่าคงที่อิเล็กทริก	80-110
การนำความร้อน	6.531 W/m.K
Energy gap	~3.0 eV

2.9 พืชที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองผักที่ใช้ปลูกเป็นผักกาดเขียวกวางตุ้ง PAKCHOI,MUSTARD (Chinese) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica Chinensis Jusl var parachinensis (Bailey) Tsen & Lee*



รูปที่ 2.11 ผักกาดเขียวกวางตุ้ง

2.9.1 ผักกาดเขียวกวางตุ้ง

สำหรับพันธุ์ผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ใช้ในการทดลอง คือ พันธุ์น่าน 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร ลักษณะประจำพันธุ์เป็นผักกาดชนิดไม่ห่อปลี ส่วนกลางจองก้านใบค่อนข้างหนา ใบมีสีเขียวอ่อน ความยาวเฉลี่ย 19.5 เซนติเมตร(อายุ 40 วัน) ความหนาของก้านใบเฉลี่ย 0.9 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ย 1.3 เซนติเมตร ใบสีเขียว ลักษณะยาวรี ความยาวของใบเฉลี่ย 30 เซนติเมตร กว้าง 19 เซนติเมตร ความสูงเมื่ออายุ 40 วัน เฉลี่ย 57.26 เซนติเมตร น้ำหนักต้นเฉลี่ย 550 กรัม ออกดอกเมื่ออายุ 50 วัน

2.9.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของผักกาดเขียวกวางตุ้ง

<u>ราก</u> เป็นระบบรากแก้วที่อยู่ในระดับตื้น ส่วนที่ใหญ่ที่สุดของรากแก้วประมาณ 1.20 เซนติเมตร มีรากแขนงแตกออกจากรากแก้วมาก โดยรากแขนงแผ่อยู่ตามบริเวณผิวดิน รากแก้วอาจมีขนาดใหญ่ขึ้นถ้าดินมีสภาพชื้นและเย็น

<u>ลำต้น</u> ตั้งตรง มีสีเขียวขนาดโตเต็มที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.4-1.8 เซนติเมตร สูงประมาณ 43-54 เซนติเมตร ก่อนออกดอกและลำต้นจะสั้น มีข้อถี่มากจนดูเป็นกระจุกที่โคนต้น เมื่อออกดอกแล้วในระยะติดฝักต้นจะสูงขึ้นมาก โดยเฉลี่ยสูงประมาณ 85-144 เซนติเมตร

<u>ใบ</u> ใบเลี้ยงมี 2 ใบ มีสีเขียว ปลายใบตรงกลางจะเว้าเข้า ส่วนใบจริงจะแตกเป็นกระจุกที่บริเวณโคนต้นเป็นใบเดี่ยว ใบเรียบไม่ห่อหัวสีเขียว ใบอ่อนมีสีเขียวอ่อน ขอบใบเป็นรอยฟันเลื่อยเล็กมาก ใบแก่ผิวใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ไม่มีขนของใบเรียบหรืออาจมีรอยเว้าตื้นๆ ขนาดเล็กโคนใบหยักเป็นคลื่นเล็กน้อย ปลายใบมน ก้านใบที่ติดกับลำต้นมีสีเขียวอ่อนเป็นร่องและเรียวกลมขึ้นไปหาแผ่น ก้านใบหนาและมีขาวอมเขียว สำหรับใบที่ช่อดอกจะมีก้านใบยาว 2-3 เซนติเมตร รูปใบเรียวแหลมไปทางฐานใบและปลายใบขอบใบเรียบ

<u>ช่อและดอก</u> ผักกาดเขียวกวางตุ้งจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 55-75 วัน ช่อดอกยาว 50-90 เซนติเมตร ดอกดูมรวมกลุ่มอยู่บนยอดดอกช่อดอก ดอกบานจากด้านล่างไปหาด้านบน ดอกที่บานแล้วมีก้านดอกยาวกว่าดอกที่ตูม ดอกเป็นแบบสมบูรณ์เพศ ขนาดดอก 1-1.5 เซนติเมตร กลีบชั้นนอกสีเขียวอ่อน 4 อัน ขนาดเล็กกลีบกว้าง 0.1-0.2 เซนติเมตร ยาว 0.7-0.8 เซนติเมตร กลีบชั้นในสีเหลืองสด 4 อัน แยกเป็นกลีบๆขนาดกลีบกว้าง 0.5-0.6 เซนติเมตร ยาว 1.1-1.2 เซนติเมตร มีเกสรตัวผู้ 6 อัน อับเกสรสีเหลืองแก่ ก้านชูเกสรสีเหลือง รังไข่ยาว 0.5-0.6 เซนติเมตร ซึ่งอยู่เหนือ

กลีบดอกและเกสรตัวผู้ก้านเกสรตัวเมียสีเขียว ยาว 0.2-0.25 เซนติเมตร ยอดเกสรตัวเมียเป็นตุ่มสีเหลืองอ่อน ดอกบานในตอนเช้าประมาณเวลา 08.00 นาฬิกา

ผล ผลมีลักษณะเป็นฝัก รูปร่างเรียวยาวแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนปลายไม่มีเมล็ดยาวประมาณ 0.9-1.5 เซนติเมตร และส่วนที่มีเมล็ดยาวประมาณ 3-4.1 เซนติเมตร กว้าง 0.3-0.5 เซนติเมตร ก้านผลยาว 1.3-2.5 เซนติเมตร ผลตั้งขึ้น เมื่อผลแก่จะแตกตามยาวจากโคนไปหาปลายผลเมื่ออ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีน้ำตาล

เมล็ด ค่อนข้างกลม มีทั้งสีน้ำตาลและสีน้ำตาลเข้มเกือบดำผิวเมล็ดมีลายแบบร่างแหเห็นไม่ค่อยชัด น้ำหนัก 1,000 เมล็ดประมาณ 2.5 กรัม

2.9.2 ผักชี

รูปที่ 2.12 ผักชี

ผักชี *Coriandrum sativa Linn* ผักชี มีชื่อเรียกหลายชนิดแตกต่างกันไป เช่น ภาคเหนือเรียกว่า ผักหอมป้อมและผักหอมผอม ภาคอีสานเรียกว่า ผักหอมน้อย และที่นครพนมเรียกว่าผักหอม ผักชีเป็นผักที่อยู่ในตระกูล Unbelliferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coriandrum sativa Linn.* เป็นผักที่ใช้บริโภคส่วนของใบและก้านใบเป็นผักสด หรือใช้รับประทานกับสาคูไส้หมู ต้นและรากใช้เป็นส่วนประกอบอาหารได้หลายอย่าง ใช้ต้มเป็นน้ำซุปหรือน้ำก๋วยเตี๋ยวทำให้มีกลิ่นหอมและรสชาติดี เมล็ดใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องแกงของเครื่องแกงเผ็ด นำมาบดคลุกกับเนื้อวัวสดใช้ทำเนื้อสวรรค์ที่มีกลิ่นหอมน่ารับประทาน กลิ่นหอมของเมล็ด ราก ใบ และต้นของผักชีสามารถใช้ดับกลิ่นคาวของเนื้อสัตว์ได้

ผักชีเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้นคือ ประมาณ 40-60 วัน ลำต้น ราก ใบ ก้านใบ ดอก และเมล็ด มีกลิ่นหอม สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียว ดินร่วน ร่วนปนทราย แต่จะชอบดินร่วน มีการระบายน้ำดีสามารถปลูกได้ทั่วทุกภาค

2.9.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของผักชี

ต้น เป็นพรรณไม้ล้มลุก ที่มีลำต้นตั้งตรง ภายในจะกลวง และมีกิ่งก้านที่เล็ก ไม่มีขน มีรากแก้วสั้น แต่รากฝอยจะมีมาก ซึ่งลำต้นนี้จะสูงประมาณ 8-15 นิ้ว ลำต้นสีเขียวแต่ถ้าแก่จัดจะออกสีเขียวอมน้ำตาล

ใบ ลักษณะการออกใบจะเรียงใบคล้ายขนนก แต่อยู่ในรูปทรงพัด ซึ่งใบที่โคนต้นนั้นจะมีขนาดใหญ่ กว่าที่ปลายต้น เพราะส่วนมากที่ปลายต้นใบจะเป็นเส้นฝอย มีสีเขียวสด

ดอก ออกเป็นช่อ ตรงส่วนยอดของต้น ดอกนั้นมีขนาดเล็ก มีอยู่ 5 กลีบสีขาวหรือชมพูอ่อน ๆ

ผล จะติดผลในฤดูหนาว ลักษณะของผลเป็นรูปทรงกลมโตประมาณ 3-5 มิลลิเมตร สีน้ำตาล ตรงปลาย ผลแยกออกเป็น 2 แฉก ตามผิวจะมีเส้นคลื่นอยู่ 10 เส้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก โดยได้ทำการศึกษานาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีอยู่ในดินเพาะปลูกพืช ทำการศึกษากับพืช 2 ชนิด คือ กวางตุ้ง และผักชี โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการที่ห้องปฏิบัติการ อาคารวิศวกรรมโยธา และมีการควบคุมตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่ต้องการศึกษา โดยมีรายละเอียดการดำเนินโครงการดังนี้

3.1 อุปกรณ์

1. สารไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
2. ดินสำหรับปลูก
3. เมล็ดพืช (ผักชี,ผักกวางตุ้ง)
4. น้ำประปา
5. หลอดฉีดยา ขนาด 10 มิลลิลิตร
6. ถุงเพาะปลูกต้นไม้เบอร์ 3 จำนวน 400 ถุง
7. ไม้บรรทัดฟุต
8. กล้องถ่ายรูป
9. เครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. ถุงมือยาง

3.2 ภาชนะเพาะปลูก

ถุงเพาะปลูกต้นไม้ที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 400ถุงโดยแบ่งตามปริมาณของวัสดุนาโนที่ใช้ปริมาณละ 50 ถุงและชุดพืชควบคุมอีก 50 ถุง

3.3 การเตรียมดิน

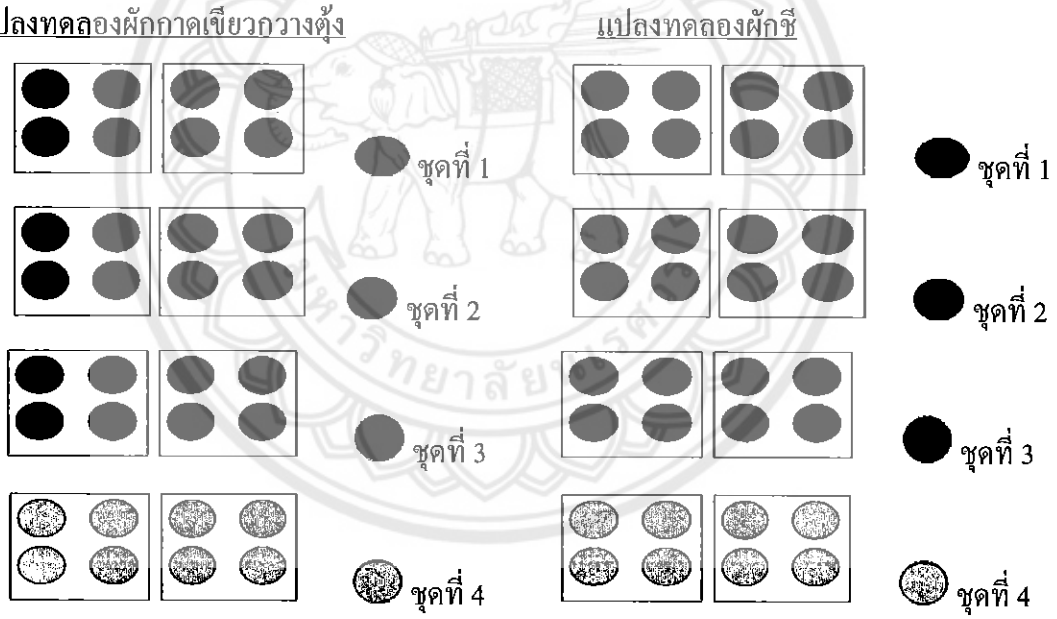
1. นำดินสำหรับเพาะปลูกมาใส่ถุงเพาะปลูกที่เตรียมไว้ โดยทำการชั่งใส่ถุงถุงละ 1.5 กิโลกรัม
2. แยกถุงดินที่ชั่งแล้วออกมา 100 ถุง เพื่อนำไปปลูกพืชกลุ่มควบคุม

3.นำดินที่เหลือมาผสมกับวัสดุนาโนในแต่ละปริมาณลงในถุงปลูกต้นไม้ซึ่งแต่ละถุงจะใส่ปริมาณของวัสดุนาโนที่ต่างกัน คือ 100 มิลลิกรัม, 300 มิลลิกรัม และ 500 มิลลิกรัม แล้วคลุกเคล้าดินกับวัสดุนาโนให้เข้ากันโดยใส่อย่างละ50ถุง

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การปลูกพืช

พืชที่ใช้ปลูกเป็นผักกาดเขียวกวางตุ้ง (*Brassica Chinensis Jusl var parachinensis (Bailey) Tsen & Lee*) และผักชี (*Coriandrum sativum Linn*) การเพาะปลูกใช้วิธีการปลูกแบบหยอดหลุม ปลูกในถุงเพาะปลูกต้นไม้ หยอดเมล็ดลงในถุงปลูกต้นไม้ถุงละ 1 หลุม หลุมละ 5 เมล็ด และรดน้ำตามทันที



ชุดที่ 1 สำหรับแปลงที่ผสมสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

ชุดที่ 2 สำหรับแปลงที่ผสมสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 300 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

ชุดที่ 3 สำหรับแปลงที่ผสมสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

ชุดที่ 4 สำหรับแปลงควบคุมที่ไม่ผสมสารไททาเนียมไอออกไซด์ในดิน

3.4.2 การดูแลรักษา

ทำการรดน้ำวันละ 1 ครั้ง โดยแต่ละถุงจะรดด้วยน้ำประปาธรรมดาในปริมาณ 20 มิลลิลิตร ทุกชุดการทดลอง โดยรดน้ำพืชในช่วงเย็น เวลา 17.00 น. ของทุกๆวัน นับตั้งแต่วันหยอดเมล็ด

3.4.3 เวลาในการทดลอง

การทดลองในแต่ละชุดจะใช้เวลาในการปลูกพืชประมาณ 60 วัน

3.4.4 วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงของพืช

-วัดระยะเวลาการงอกของเมล็ดพืช โดยวัดจากระยะเวลาที่ใบแรกงอกออกจากเมล็ดพืช

-วัดความยาวของรากและจำนวนของราก โดยการถอนต้นพืชออกมาวัด วัดตั้งแต่ปลายรากจนถึง โคนต้นและนับจำนวนของราก

-วัดความสูงของลำต้น โดยการวัดตั้งแต่โคนต้นถึงส่วนปลายของลำต้น

-วัดความยาวก้านและจำนวนก้าน โดยการวัดความยาวของก้านตั้งแต่โคนก้านที่ติดกับลำต้นจนถึง ปลายและนับจำนวนก้านที่งอกของต้นพืช

-วัดความยาวของใบและจำนวนใบ โดยการวัดความยาวของใบตั้งแต่ฐานใบจนถึงปลายใบและนับ จำนวนใบของต้นพืช

-วัดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะดอก โดยเปรียบเทียบสีของดอกและลักษณะของช่อดอก

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานโครงงาน

กิจกรรม	เดือนที่						หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	
1. ค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ศึกษาบทความ ผลงานวิจัยที่ผ่านมา	←	→					
2. ออกแบบวิธีการทดลอง	←	→					
3. เตรียมถุงปลูกและดินสำหรับปลูกพืช				←	→		
4. เตรียมเมล็ดพืชที่ใช้ในการทดลอง				←	→		
5. เตรียมสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง				←	→		
6. ปลูกพืชทั้ง 2 ตระกูลลงในถุงปลูกที่ดินไม่ได้ผสมสารไททาเนียมไดออกไซด์ไว้ รดน้ำประปาที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ผสมอยู่ให้กับพืชทุกวัน				←	→		
7. ปลูกพืชทั้ง 2 ตระกูลลงในถุงปลูกที่ผสมสารไททาเนียมไดออกไซด์ไว้ในดินในปริมาณที่แตกต่างกัน รดน้ำประปาที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ผสมอยู่ให้กับพืชทุกวัน				←	→		
8. สังเกตการเจริญเติบโตของพืช และทำการบันทึกผลทุกวัน				←	→		
9. รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง				←	→	→	
10. จัดทำรูปเล่มและนำเสนอโครงงาน						← →	

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

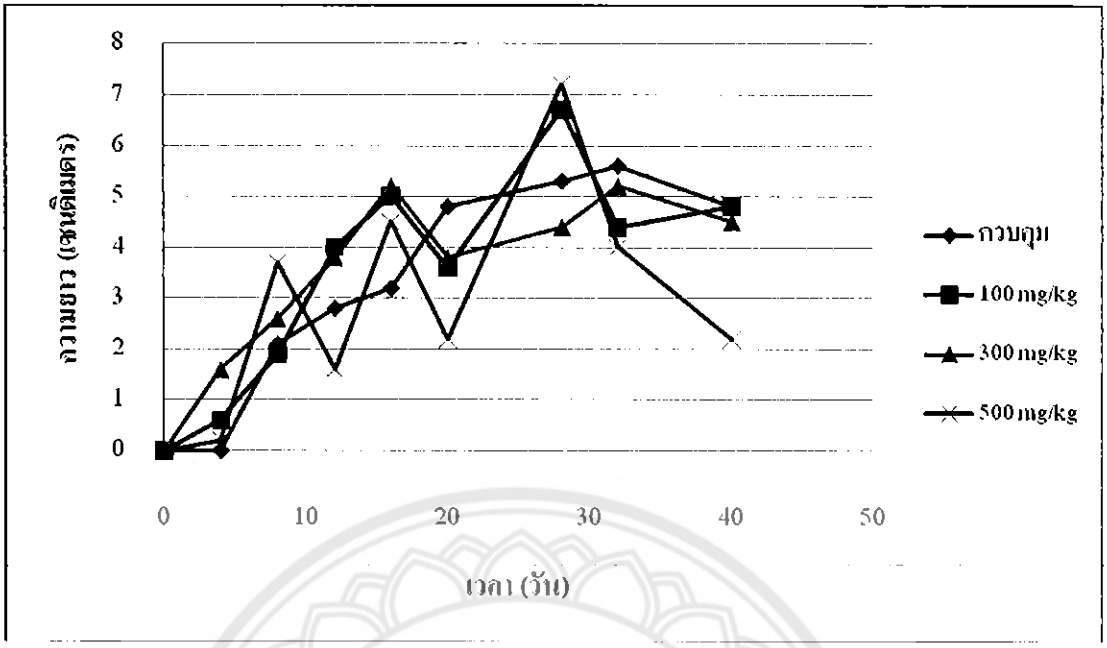
การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของไททาเนียมไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก 2 ตระกูล คือ ผักกาดเขียวกวางตุ้งและผักชี โดยทำการปลูกพืชซึ่งใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ผสมในดินที่ใช้ในการเพาะปลูกในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเก็บตัวอย่างพืชทุกๆ 4 วัน และทำการวัดความยาวตามส่วนต่างๆ จดบันทึกการเปลี่ยนแปลงทุกครั้ง ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อผักกาดเขียวกวางตุ้ง

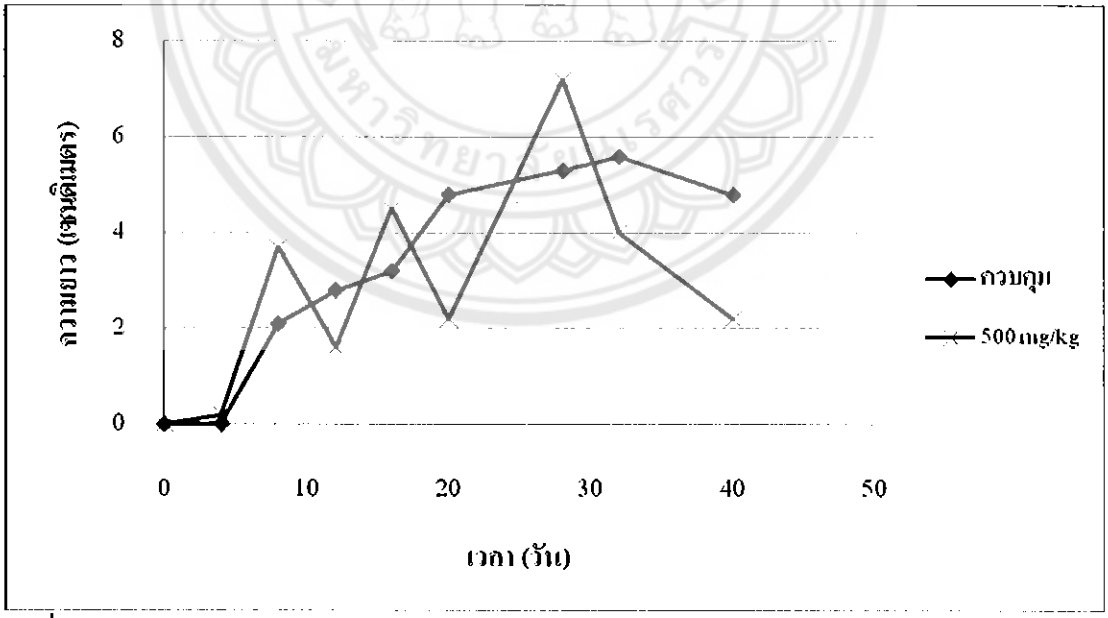
4.1.1 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อรากผักกาดเขียวกวางตุ้ง

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาการเจริญเติบโต จะเห็นได้ว่ารากของผักกาดเขียวกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นเมื่อระเวลาเพิ่มมากขึ้น ความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้งของชุดพืชควบคุมและชุดเพาะปลูกที่ 100, 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้ง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดพืชควบคุมและชุดเพาะปลูกที่ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้งไม่มีความแตกต่างกันซึ่งดูได้จากรูปภาพที่ 4.2 แสดงได้ว่าปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากไม่มีผลต่อความยาวรากของผักกาดเขียวกวางตุ้ง

1551025 9
ม.
ฆ6 48 ค
2553



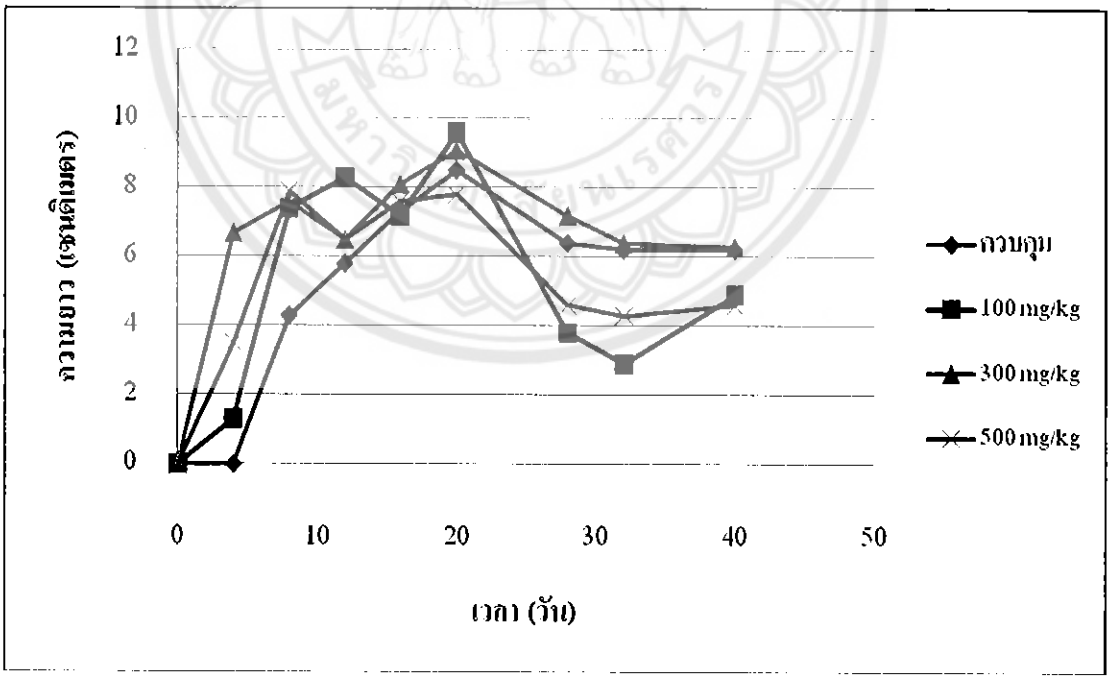
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตโดย เปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันผสมในดิน



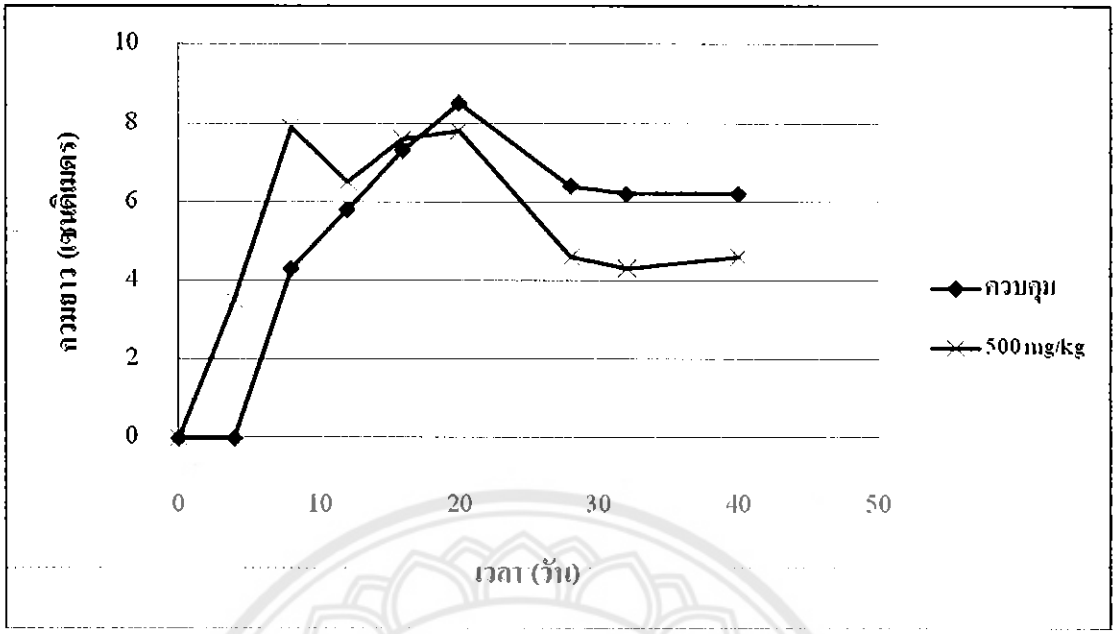
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

4.1.2 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้ง

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าความยาวของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งแต่ละชุด มีความแตกต่างกันไม่มากนัก และมีความยาวของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งเพิ่มขึ้นในช่วง 20 วันแรก หลังจากผ่าน 20 วันแรกชุดพืชเพาะปลูกที่ 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม มีความยาวของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งลดลงมากกว่าชุดพืชควบคุมและชุดพืชเพาะปลูก 300 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าความยาวของลำต้นมีการเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ในช่วง 8 วันแรกนับตั้งแต่เริ่มทำการปลูก แต่หลังจากวันที่ 20 ความยาวของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งชุดพืชควบคุมจะมีความยาวของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งมากกว่าชุดเพาะปลูกที่ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หลังจากนั้นความยาวของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตคงที่ แสดงให้เห็นว่าเมื่อลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งได้รับสารไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากจะมีผลเชิงลบต่อความยาวของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้ง



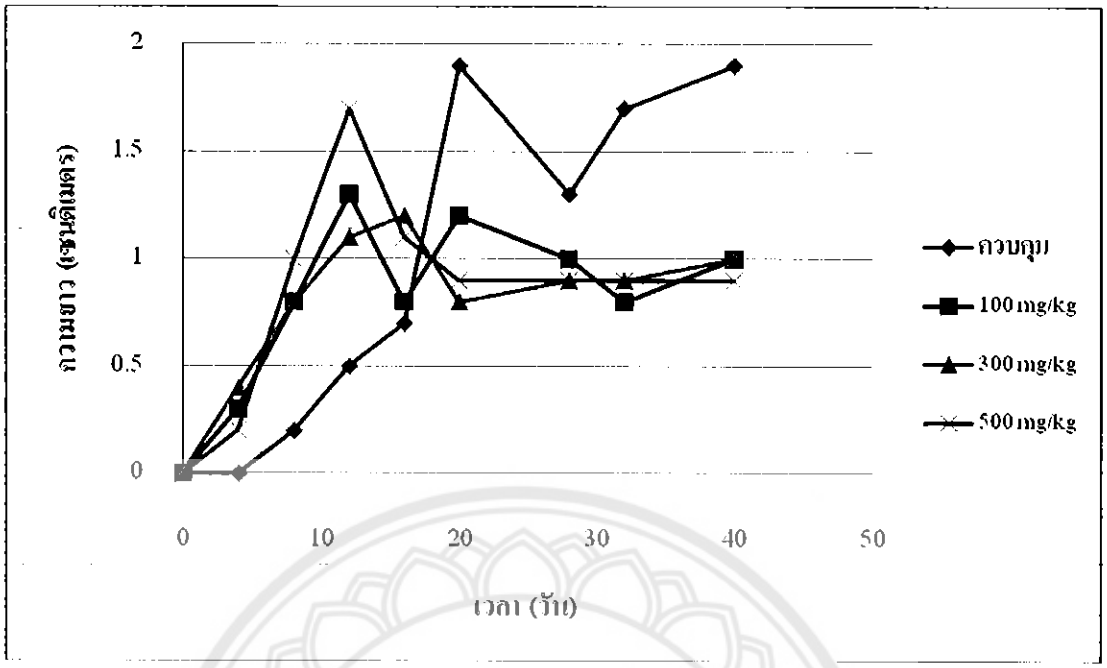
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลอง ที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันผสมในดิน



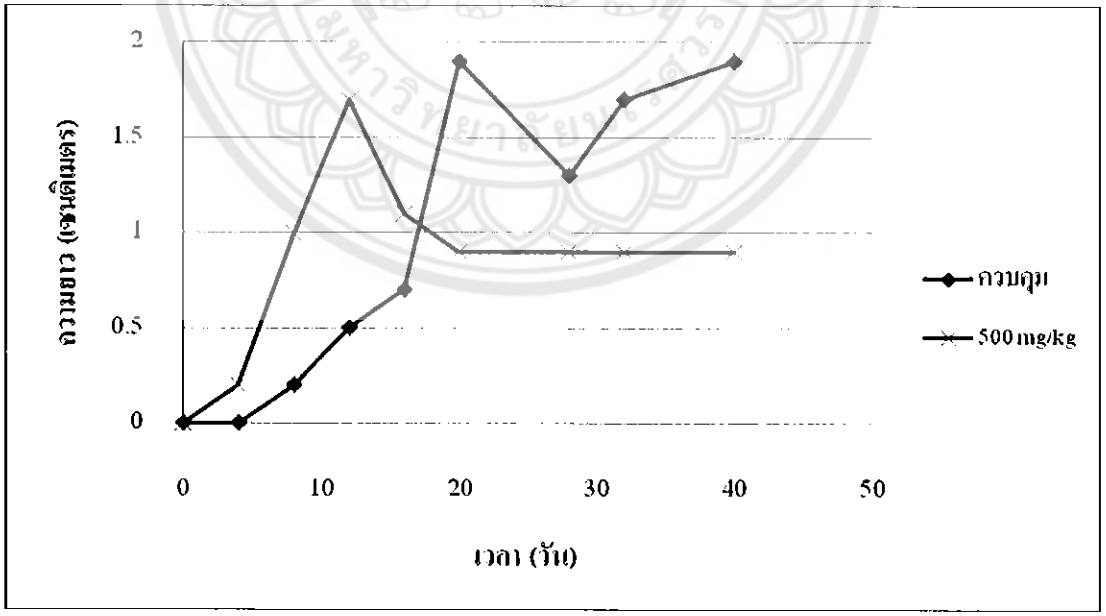
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

4.1.3 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้ง

จากรูปที่ 4.5 แสดงความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้ง ชุดพืชควบคุมมีความยาวของใบเลี้ยงเพิ่มขึ้นในช่วง 24 วันแรก และหลังจากนั้นความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งยังคงไม่แตกต่างจากเดิม ส่วนชุดเพาะปลูกที่ 100 , 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม มีความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งเพิ่มขึ้นในช่วง 12 วันแรก และหลังจากนั้นชุดเพาะปลูกดังกล่าวมีความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกัน และจากรูปที่ 4.6 เปรียบเทียบความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งชุดพืชควบคุมกับชุดเพาะปลูกที่ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าในช่วง 16 วันแรก ชุดเพาะปลูกที่ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม มีความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งมากกว่าชุดพืชควบคุมแต่หลังจากนั้นชุดพืชควบคุมจะมีความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งมากกว่าชุดเพาะปลูกที่ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม โดยพืชที่ได้รับสารไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากจะส่งผลเชิงลบต่อความยาวใบเลี้ยงของผักกาดเขียวกวางตุ้ง



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลอง ที่มีปริมาณสาร ไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน

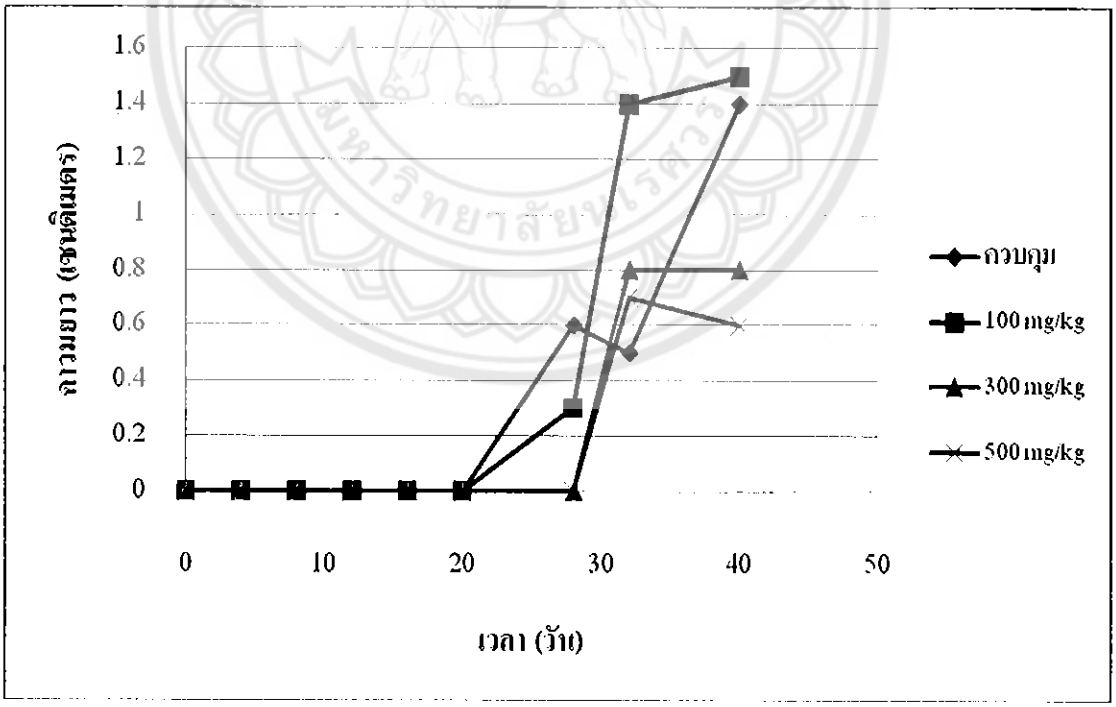


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสาร ไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

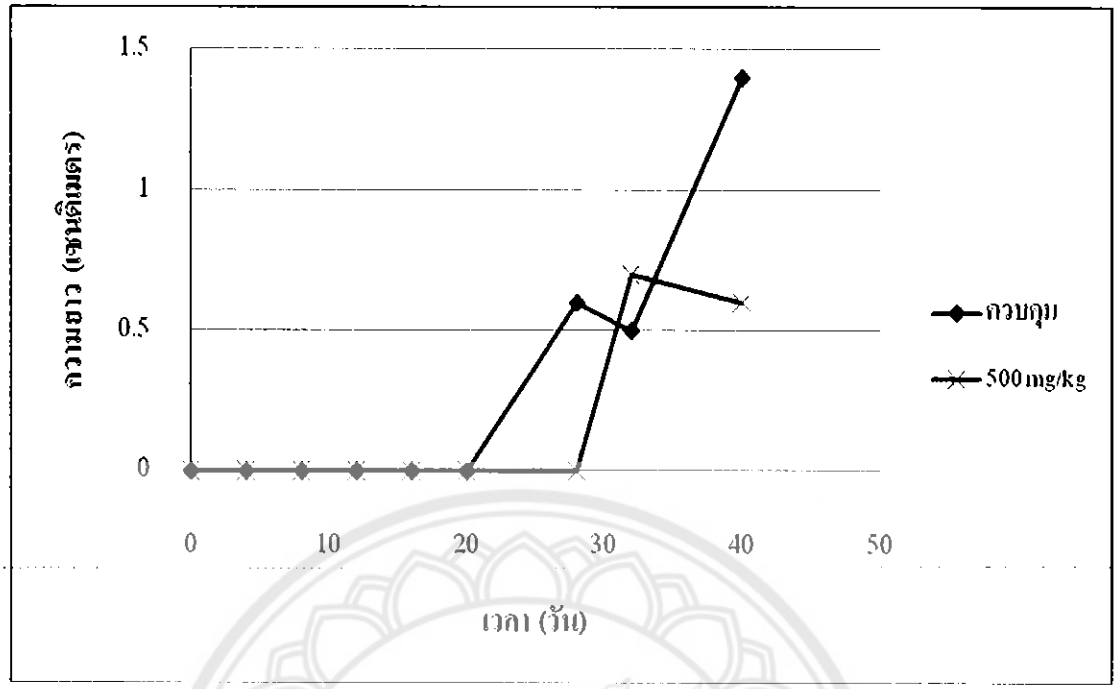
4.1.4 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อใบผักกาดเขียวกวางตุ้ง

จากรูปที่ 4.7 แสดงความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งทั้ง 4 ชุด ในระยะเวลา 20 วันแรกยังไม่มีการเจริญเติบโตของใบผักกาดเขียวกวางตุ้ง และหลังจากวันที่ 20 ชุดเพาะปลูกที่ 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และ ชุดพืชควบคุมเริ่มมีการเจริญเติบโตของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งเพิ่มขึ้น ส่วนชุดเพาะปลูกที่ 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เริ่มมีการเจริญเติบโตของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งหลังจากในวันที่ 30 ของการเจริญเติบโต

เมื่อเปรียบเทียบความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งระหว่างชุดพืชควบคุมกับชุดเพาะปลูกที่ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ในรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งของชุดพืชควบคุมนั้นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าชุดเพาะปลูกที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม อย่างเห็นได้ชัดเจน จึงแสดงให้เห็นว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์จะส่งผลเชิงลบต่อความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้ง



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันผสมในดิน



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบผักกาดเขียวกวางตุ้ง

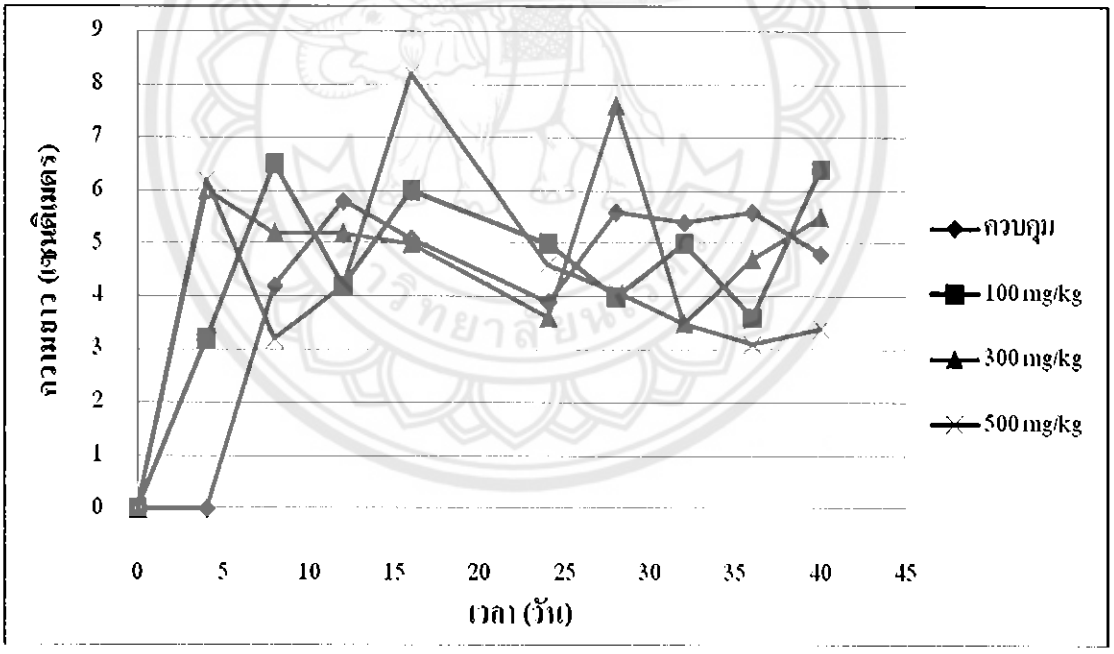
รูปที่ 4.10 แสดงการเน่าและขาดของรากของผักกาดเขียวกวางตุ้ง

รูปที่ 4.11 แสดงการเน่าของใบเลี้ยงและใบ ของผักกาดเขียวกวางตุ้ง

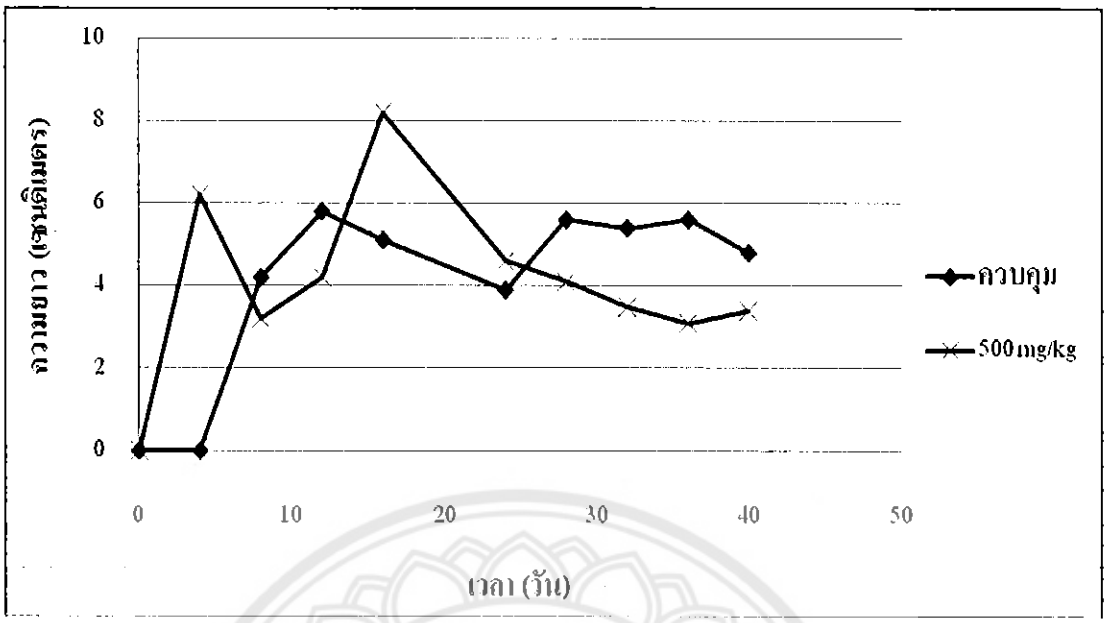
4.2 ผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อผักชี

4.2.1 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อรากผักชี

จากรูปที่ 4.12 แสดงความยาวของรากผักชีทั้ง 4 ชุด จะเห็นได้ว่าในช่วง 8 วันแรกของการเก็บตัวอย่าง ความยาวของรากผักชีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะมีความยาวของรากผักชีมากกว่าชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และชุดพืชควบคุมตามลำดับ หลังจากนั้นความยาวของรากผักชีทั้ง 4 ชุด มีความยาวของรากผักชีไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก และมีความยาวของรากผักชีที่ใกล้เคียงกัน จากรูปที่ 4.13 เปรียบเทียบความยาวของรากผักชีชุดพืชควบคุมกับชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 500 มิลลิกรัม จะเห็นได้ว่ามีความยาวของรากผักชีที่ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากขึ้นไม่มีผลต่อความยาวของรากผักชี



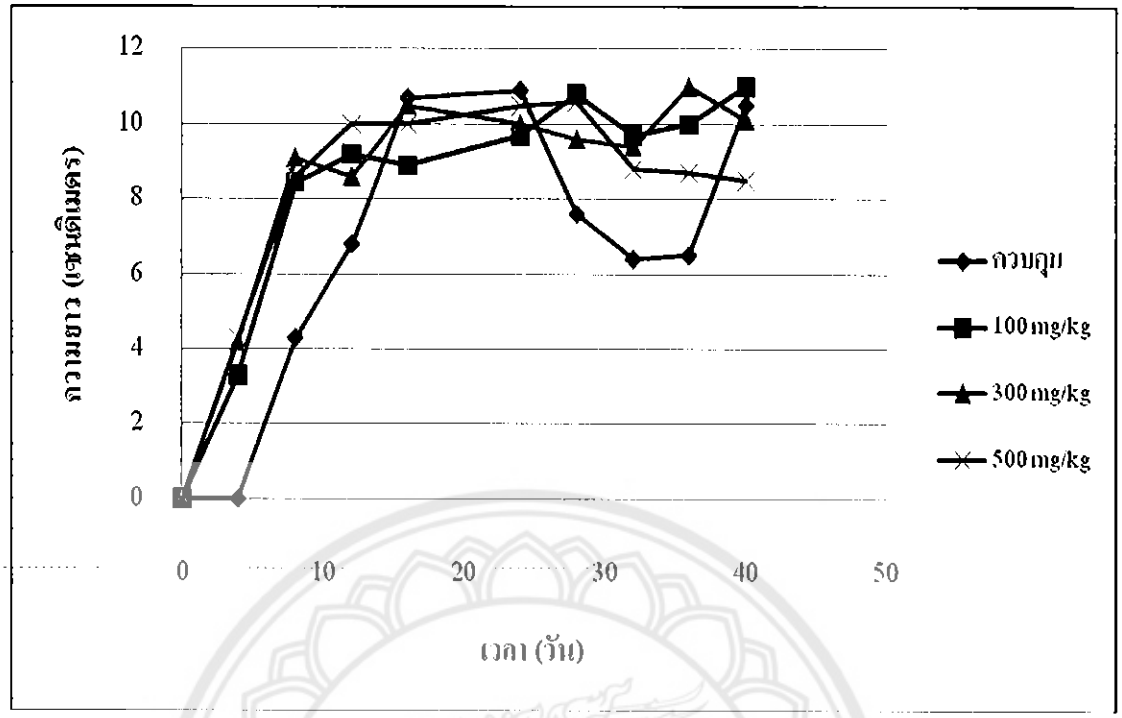
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน



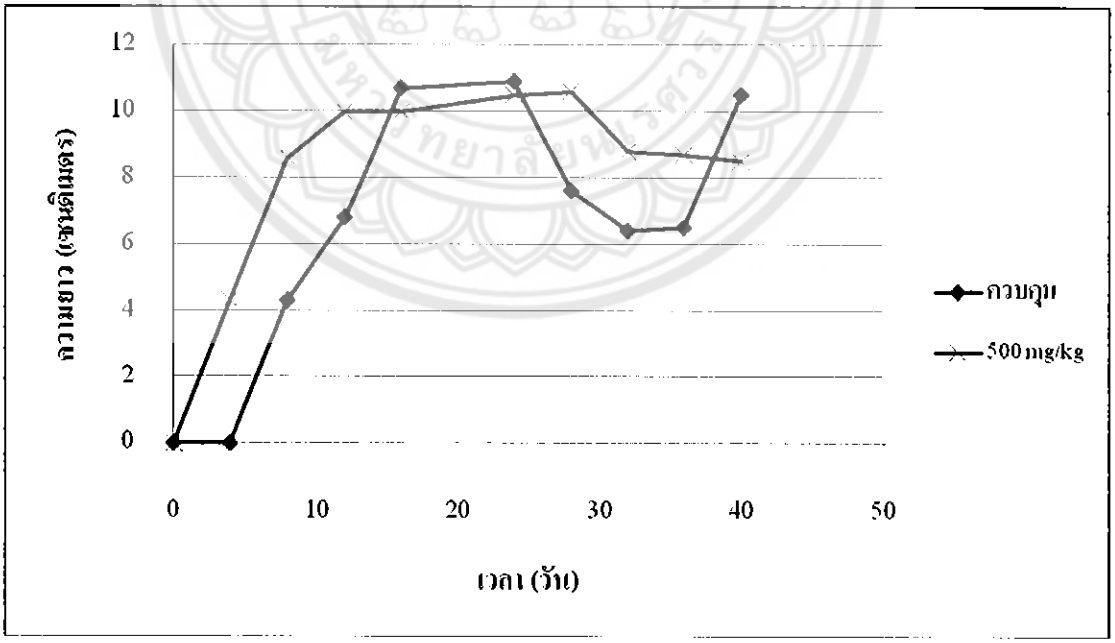
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

4.2.2 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อลำต้นผักชี

จากรูปที่ 4.14 แสดงความยาวของลำต้นผักชีทั้ง 4 ชุด จะเห็นได้ว่าในช่วง 10 วันแรกของการเก็บตัวอย่าง ความยาวของลำต้นผักชีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน โดยชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ทุกชุดเพาะปลูกจะมีความยาวของลำต้นผักชีมากกว่าชุดพืชควบคุม หลังจากนั้นความยาวของลำต้นผักชีทั้ง 4 ชุด จะมีความยาวของลำต้นผักชีที่เท่าๆกันในช่วงของวันที่ 16 เป็นต้นไป จนถึงในช่วงวันที่ 28 ความยาวของลำต้นผักชีควบคุมมีค่าลดลง เมื่อผ่านไป 36 วัน ความยาวของลำต้นของผักชีชุดพืชควบคุมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ในทุกชุดเพาะปลูก จากรูปที่ 4.15 เปรียบเทียบความยาวของลำต้นผักชีชุดพืชควบคุมกับชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าความยาวของลำต้นผักชีมีความแตกต่างกันในช่วง 12 วันแรกและหลังจากนั้นก็จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แสดงว่าปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากขึ้นมีผลเชิงบวกต่อความยาวของลำต้นผักชีเฉพาะช่วง 12 วันแรกเท่านั้น



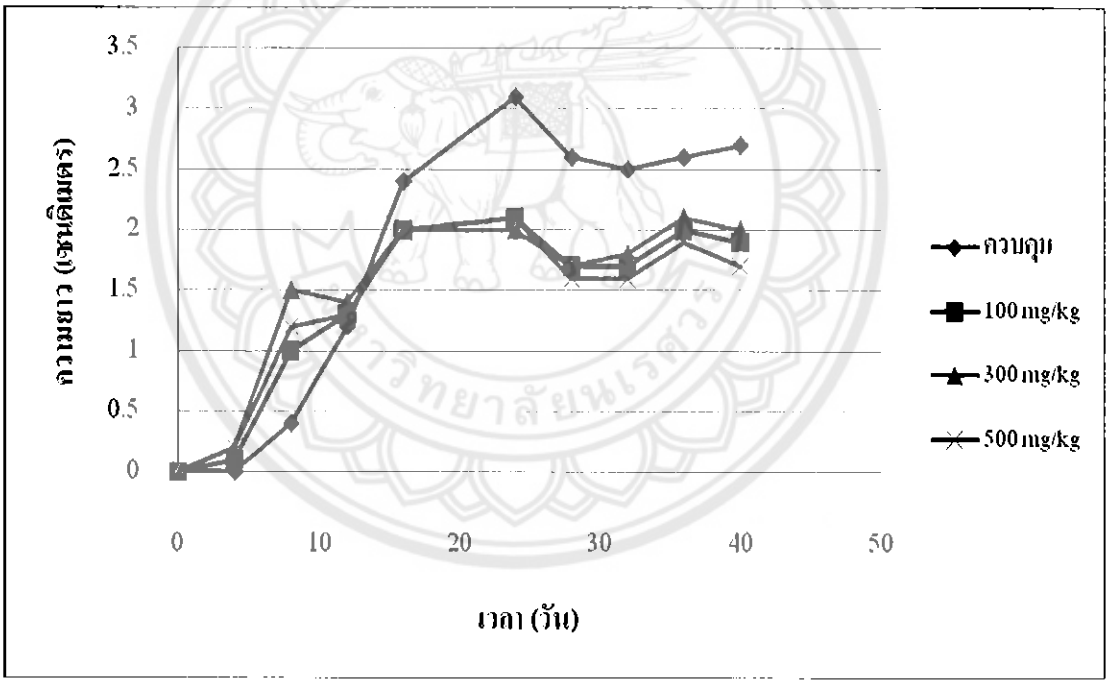
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตโดยเปรียบเทียบ การทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน



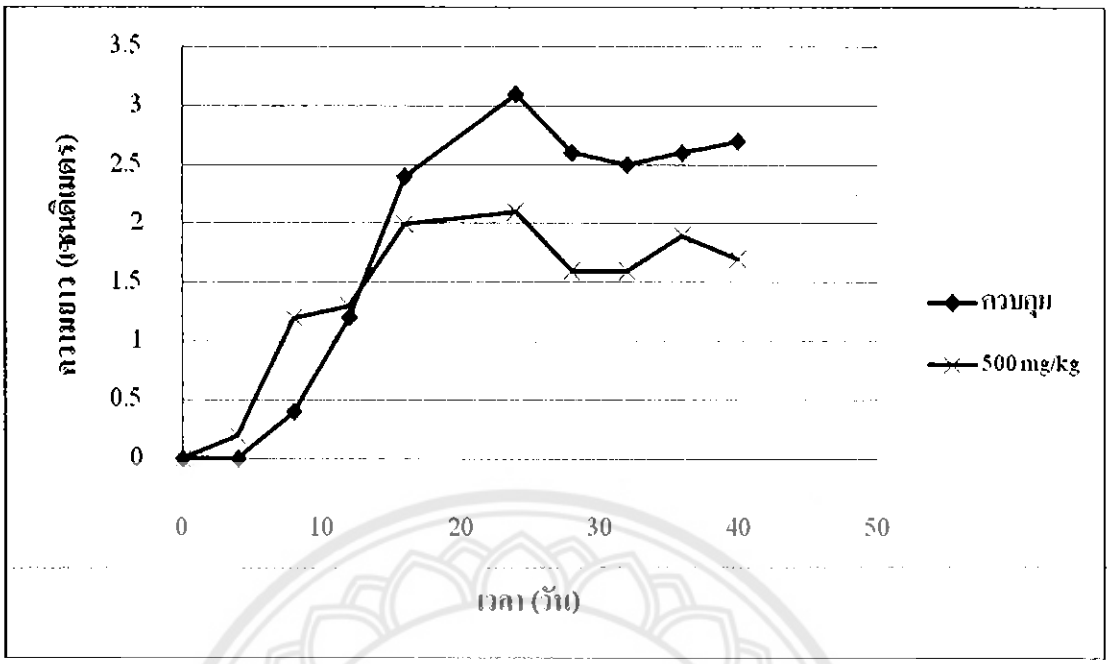
รูปที่ 4.15 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำต้นผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตโดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

4.2.3 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อใบเลี้ยงผักชี

รูปที่ 4.16 แสดงความยาวของใบเลี้ยงผักชีทั้ง 4 ชุด จะเห็นได้ว่าในช่วง 12 วันแรกของการเก็บตัวอย่างความยาวของใบเลี้ยงผักชีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่เท่าๆกัน และในช่วงตั้งแต่วันที่ 16 เป็นต้นไปชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งหมดจะมีความยาวของใบเลี้ยงผักชีน้อยกว่าชุดพืชควบคุม หลังจากนั้นความยาวของใบเลี้ยงผักชีทั้ง 4 ชุด มีแนวโน้มความยาวของใบเลี้ยงผักชีคงที่ จากรูปที่ 4.17 เปรียบเทียบความยาวของใบเลี้ยงผักชีชุดพืชควบคุมกับชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าความยาวของใบเลี้ยงผักชีชุดพืชควบคุมเริ่มมีความแตกต่างกับชุดที่ใส่สารไททาเนียมไดออกไซด์ตั้งแต่ในช่วงวันที่ 16 เป็นต้นไป แสดงว่าปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากขึ้นมีผลเชิงลบต่อความยาวของใบเลี้ยงผักชี



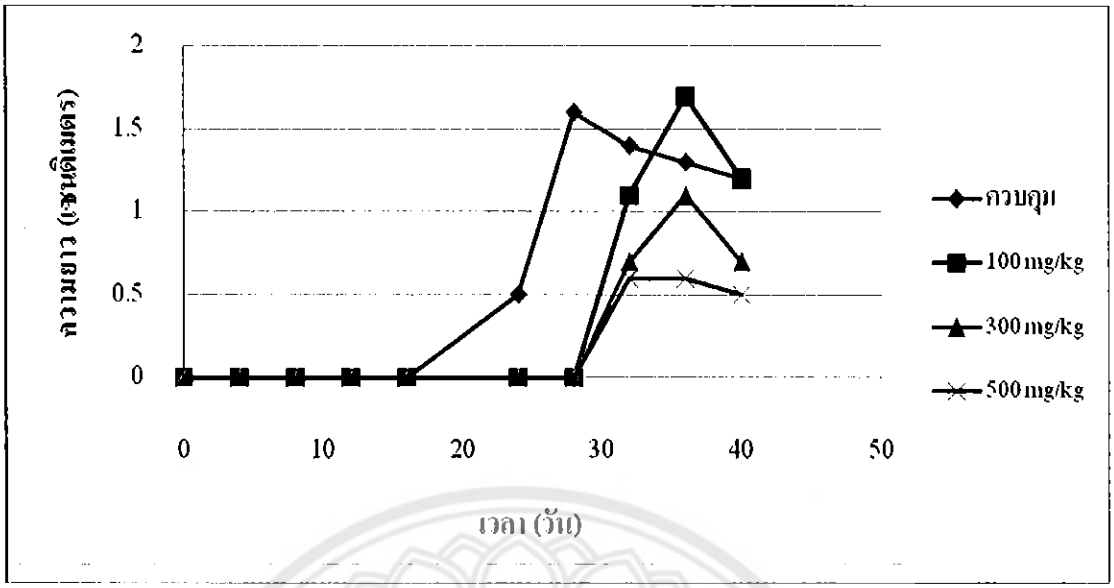
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน



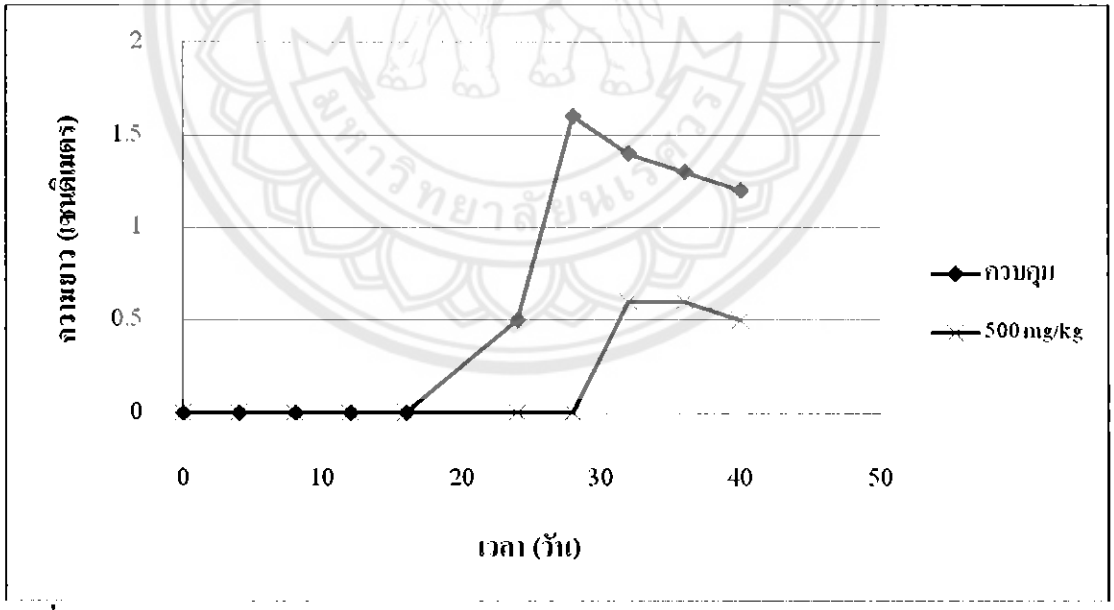
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบเลี้ยงผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

4.2.4 การวัดผลกระทบของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในดินมีต่อใบผักชี

จากรูปที่ 4.18 แสดงความยาวของใบผักชีทั้ง 4 ชุด จะเห็นได้ว่าชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 100 , 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะมีการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าชุดพืชควบคุม โดยจะเห็นได้ว่าในช่วง 16 วันแรกของการเก็บตัวอย่าง ใบผักชีของชุดพืชควบคุมยังไม่มีการเจริญเติบโตและจะเริ่มมีการเจริญเติบโตตั้งแต่ในช่วงวันที่ 24 เป็นต้นไป และในชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์จะเริ่มมีการเจริญเติบโตเมื่อผ่านไป 32 วันเป็นต้นไป และเมื่อเริ่มมีการเจริญเติบโตของใบผักชีแล้ว ชุดเพาะปลูกที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมจะมีความยาวของใบผักชีที่ใกล้เคียงกับชุดพืชควบคุม ในขณะที่ชุดเพาะปลูกที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมจะมีความยาวของใบผักชีที่น้อยกว่าชุดควบคุมลงมาตามลำดับ หลังจากนั้นความยาวของใบผักชีทั้ง 4 ชุด มีแนวโน้มลดลงจากเดิม จากรูปที่ 4.19 เปรียบเทียบความยาวของใบผักชีชุดควบคุมกับชุดที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าความยาวของใบผักชีชุดควบคุมมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าชุดที่ใส่สารไททาเนียมไดออกไซด์อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นในชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีผลเชิงลบต่อความยาวของของใบผักชี



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบการทดลองที่มีปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกันผสมในดิน



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใบผักชีกับระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยเปรียบเทียบ 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและชุดที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

รูปที่ 4.20 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบผักชี

รูปที่ 4.21 แสดงการเน่าและขาดของรากของผักชี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชล้มลุก 2 ตระกูล ได้แก่ พืชตระกูล Cruciferae (ผักกาดเขียวกวางตุ้ง) และ พืชตระกูล Unbelliferae (ผักชี) โดยใช้ตัวแปรต้นเป็นสารไททาเนียมไดออกไซด์ผสมลงในดินที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นพืช ในปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน คือ 100 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบระหว่างชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน โดยแต่ละชุดการเพาะปลูกมีตัวแปรควบคุมเหมือนกัน พบว่า

- สารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมอยู่ในดินเพื่อใช้ในการทดลองปลูกพืชนั้นปริมาณของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมลงในดิน ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของความยาวรากผักกาดเขียวกวางตุ้งแต่อย่างใด ที่ชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน 100 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมและชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน
- ขนาดลำต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งทุกชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียม ไดออกไซด์ในดิน อาจจะได้รับสารไททาเนียมไอออกไซด์ในปริมาณที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้พืชในชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีการเจริญเติบโตของลำต้นที่ดีกว่าชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน หากผักกาดเขียวกวางตุ้งได้รับปริมาณของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากเกินไป อาจจะส่งผลในเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของลำต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งหรืออาจทำให้ผักกาดเขียวกวางตุ้งตายได้
- ใบเลี้ยงของผักกาดเขียวกวางตุ้งในเฉพาะระยะแรกของชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน มีการเพิ่มความยาวของใบเลี้ยงได้ดีกว่าชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน ในขณะที่ระยะเวลาผ่านไปชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินมีการเพิ่มความยาวของใบเลี้ยงได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน จะเห็นได้ว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของใบเลี้ยงพืชในช่วงระยะแรกของการเพาะปลูกเท่านั้น

●ใบผักกาดเขียวกวางตุ้งของชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียม ไดออกไซด์ในดิน มีการงอกของใบออกมาก่อนและมีแนวโน้มการเพิ่มความยาวของใบที่สูงขึ้น ในขณะที่ชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินการงอกของใบช้ากว่าขณะเดียวกันการเพิ่มความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้งลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดให้เห็นว่าปริมารสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมลงในดินที่ใช้เพาะปลูกผักกาดเขียวกวางตุ้งมีผลเชิงลบต่อความยาวของใบผักกาดเขียวกวางตุ้ง

●รากผักชีของชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินและของชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน มีความยาวที่ใกล้เคียงกันในช่วงระยะเวลาที่เท่ากัน แสดงว่าปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมลงในดินเพาะปลูกในแต่ละปริมาณนั้นไม่มีผลการต่อการเจริญเติบโตของรากผักชี

●ลำต้นผักชีของชุดเพาะปลูกที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินมีความยาวมากว่าของชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินในช่วง 12 วันแรก และหลังจากนั้นก็จะมีแนวโน้มของการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นสารไททาเนียมไดออกไซด์ จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้นผักชีในช่วงระยะแรกเท่านั้น

●ใบเลี้ยงผักชีมีแนวโน้มเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นคล้ายกันในช่วงระยะเวลาแรก ในขณะที่ ชุดเพาะปลูกที่ใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินส่งผลในการเพิ่มความยาวของใบเลี้ยงผักชีลดลงในระยะเวลาต่อมา เมื่อเทียบกับชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ มีการเพิ่มความยาวของใบเลี้ยงมากกว่าชุดเพาะปลุกที่มีสาร ไททาเนียมไดออกไซด์ในดิน แสดงว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ใส่ในการเพาะปลูกมีผลเชิงลบต่อความยาวใบเลี้ยงผักชี

●ใบผักชีในชุดพืชควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินมีการงอกของใบผักชีออกมาก่อนชุดเพาะปลูกที่ใช้สารไททาเนียมไดออไซด์ในดิน เมื่อระยะเวลาผ่านไป การเพิ่มความยาวของใบผักชีจะเริ่มลดลงตามลำดับของปริมาณสารที่ใช้ใส่ในการเพาะปลูก แสดงว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินจะส่งผลเชิงลบต่อความยาวของใบผักชี ในปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ในดินที่ใช้เพาะปลูกที่มีปริมาณมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] Remya Nair, Saino Hanna Varghese, Baiju G. Nair, T. Maekawa, Y. Yoshida, D. Sakthi Kumar. (2009). **Plant Science. Nanoparticulate material delivery to plants.** Tokyo University.Japan

[2] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จาก http://www3.ipst.ac.th

[3] ดร. สุพิณ แสงสุข. นักวิจัยสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ และฐานการจัดการความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จาก http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=5&ID=3

[4] S.C. Tjong, H. Chen, Materials Science and Engineering R45.(2004). จาก www.lib.ubu.ac.th/jdb/jubon/.../jubon-2006-08-01.27-40.pdf

[5] สมบัติกายภาพบางประการของสารไททาเนียมไดออกไซด์ จาก http://th.wikipedia.org/wiki/ไททาเนียม

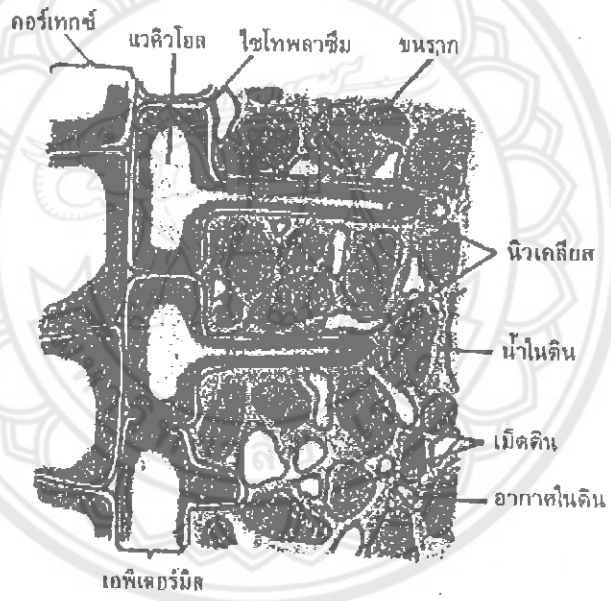
[6] บทความเกษตร พืชผัก ผักสวนครัว ฐานข้อมูลพืชผัก จาก http://www.vegetweb.com

[7] การลำเลียงน้ำของพืช จาก http://www.lks.ac.th/kanlayanee_fence/bio510_52/s1_7.htm

ภาคผนวก

การลำเลียงน้ำของพืช

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างยิ่งพืชที่กำลังเจริญเติบโตมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักทั้งหมดพืชบกขนาดเล็กที่ไม่มีท่อลำเลียงจะเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความชื้นสูงและมีร่มเงา ดังนั้นความชุ่มชื้นหรือปริมาณของน้ำจึงเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการจำกัดจำนวนประชากรของพืชในต้นไม้บางต้นที่มีความสูงมากกว่า 100 เมตร เซลล์ทุกเซลล์ยังสามารถได้รับน้ำและแร่ธาตุต่างๆ จากการดูดซึมของรากที่ลำเลียงผ่านมาตามท่อลำเลียงได้ และปริมาณของน้ำที่ลำเลียงเข้ามาในพืชนี้พืชนำไปใช้เกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอ-ลิซึมน้อยมาก น้ำส่วนใหญ่จึงสูบเสียออกทางปากใบสู่บรรยากาศ แล้วพืชก็จะลำเลียงน้ำขึ้นมาทดแทนใหม่อยู่เสมอ จึงเป็นที่น่าสงสัยว่า พืชมีกลไกในการลำเลียงน้ำซึ่งมีปริมาณมากๆเช่นนี้ขึ้นมาได้อย่างไร



การดูดน้ำของราก ระหว่างตัวเซลล์เอพิเดอร์มิสกับขนรากไม่มีผนังกั้น ดังนั้นจึงเป็นเซลล์เดียวกัน และที่เซลล์ขนรากจะมีแวคิวโอลอยู่เกือบเต็มเซลล์จำนวนแวคิวโอลขึ้นอยู่กับอายุของเซลล์ ในเซลล์ที่ยังอ่อนอยู่จะมีแวคิวโอลขนาดเล็กๆหลายอัน แต่เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้นแวคิวโอลที่มีขนาดเล็กจะมารวมกันเป็นแวคิวโอลขนาดใหญ่และมีจำนวนลดลง

ในภาวะปกติสารละลายที่อยู่ในดินรอบๆราก มักมีความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายที่อยู่ในเซลล์เอพิเดอร์มิส น้ำจากดินจึงเข้าสู่ราก จะเห็นได้ว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้น้ำจากดินเข้าสู่รากหรือออกจากรากสู่ดินได้แก่ ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายในดินกับในราก

โครงสร้างของพืชที่ทำหน้าที่ลำเลียง

พืชเป็นสิ่งที่มีชีวิตที่สร้างอาหารได้เอง โดยใช้อนินทรีย์สาร ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และเกลือแร่ที่จำเป็นบางชนิด คาร์บอนได้ออกไซด์ส่วนใหญ่จะเข้าสู่พืชโดยการแพร่ผ่านปากใบ และอีกบางส่วนละลายน้ำเข้าสู่ราก ส่วนน้ำและเกลือแร่ส่วนใหญ่จะนำเข้าสู่พืชโดยผ่านทางราก แต่มิได้หมายความว่าทุกส่วนของรากจะดูดน้ำ และเกลือแร่ได้เท่ากันหมด ทั้งนี้เพราะว่าโครงสร้างแต่ละส่วนของรากนั้นมีความแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าน้ำจะถูกดูดได้ดีที่สุดบริเวณขนราก (root hair) ส่วนเกลือแร่ถูกดูดได้ดีที่สุดในบริเวณที่เป็นเยื่อเจริญ

วิธีการดูดน้ำของพืช

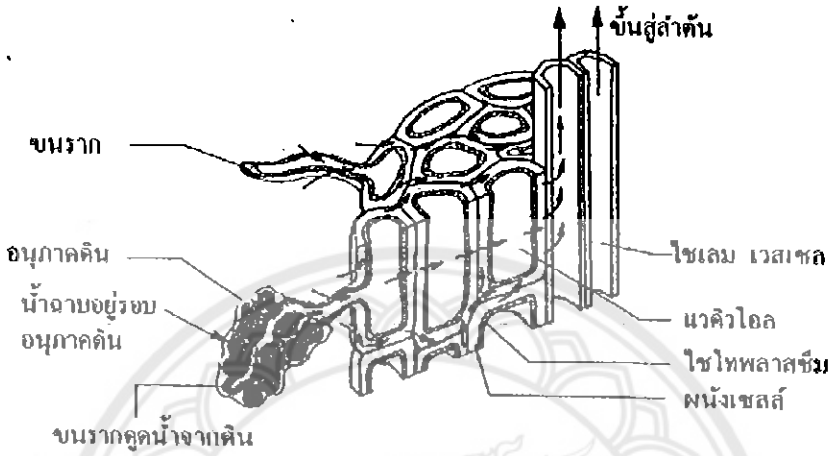
ในภาวะปกติ สารละลายที่อยู่ในดินรอบๆ รากมักมีความเข้มข้นน้อยกว่าและสารละลายที่อยู่ภายในเซลล์ที่บริเวณผิวราก ดังนั้นจึงมีความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของโมเลกุลของน้ำหรือความเข้มข้นของสารละลายที่อยู่ในดินกับสารละลายที่อยู่ภายในเซลล์ของราก จากความแตกต่างดังกล่าวจึงทำให้พืชสามารถดูดน้ำและแร่ธาตุที่ต้องการได้ กระบวนการดูดน้ำของรากนั้นเริ่มจากน้ำจากสารละลายในดินเข้าสู่ขนรากหรือเซลล์ของอิปิเดอร์มิส ผ่านชั้นต่างๆของรากจนกระทั่งถึงเซลล์ของท่อลำเลียงน้ำ (Xylem) ในรากซึ่งถือว่าเป็นการสิ้นสุดของกระบวนการดูดน้ำของราก วิธีการดูดน้ำของรากแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การดูดน้ำแบบแอกตีฟ (Active water absorption) หมายถึง การดูดน้ำที่เกิดจากกิจกรรมของเซลล์ที่บริเวณรากเองโดยตรง (ความหมายแตกต่างจากแอกตีฟ ทรานสปอร์ต) การดูดน้ำแบบนี้มีหลายวิธี เช่น

1.1 อิมบิชั่น เกิดจากการดูดน้ำของสารที่มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ดี คือ เพกติน (pectin) และเซลลูโลส (cellulose) ที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ การดูดน้ำวิธีนี้มีไม่มากนัก

1.2 ออสโมซิส การดูดน้ำวิธีนี้เกิดขึ้นตลอดเวลา เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายในดินและในราก โดยปกติความเข้มข้นของสารละลายในดินรอบๆราก จะมีความเข้มข้นน้อยกว่า (น้ำมาก) สารละลายที่อยู่ภายในเซลล์ที่บริเวณผิวราก (น้ำน้อย) เป็นผลให้มีการแพร่ของน้ำจากดินเข้าสู่รากได้ตลอดเวลา ในบางกรณีการใส่ปุ๋ยเคมีให้กับพืชแต่ละครั้งเป็นปริมาณมากๆ จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในดินสูงกว่าภายในราก ซึ่งมีผลเสียต่อการดูดน้ำของพืช เพราะว่ารากพืชจะมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ ซึ่งเรียกว่าเกิดพลาสโมไลซิส (plasmolysis) กรณีนี้อาจทำให้พืชขาดน้ำ และตายในที่สุด

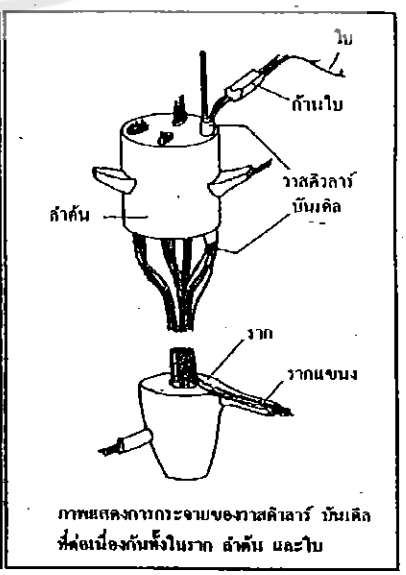
1.3 การดูดน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์ นักสรีรวิทยาพืชเชื่อว่ารากสามารถดูดน้ำได้โดยอาศัยพลังงานจากการหายใจของเซลล์ แต่วิธีนี้น้ำจะถูกดูดได้น้อยกว่าวิธีอื่น ในปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะใช้เป็นแนวทางในการอธิบายเกี่ยวกับการดูดน้ำวิธีนี้



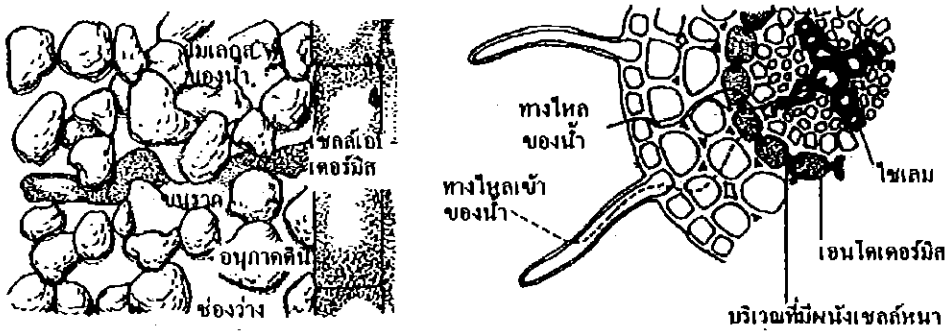
ภาพแสดงการดูดน้ำและทางลำเลียงน้ำภายในราก

2. การดูดน้ำแบบพาสซีฟ (Passive water absorption) หมายถึง การดูดน้ำของรากโดยการที่น้ำเคลื่อนที่เข้าสู่รากมิได้มาจากกิจกรรมของเซลล์ราก แต่เนื่องมาจากส่วนอื่นๆ ของพืชเซลล์ของรากเป็นเพียงทางผ่านและเป็นด่านกีดขวางทางเดินของน้ำเท่านั้น พืชดูดน้ำโดยวิธีนี้ได้อย่างรวดเร็วและเป็นปริมาณมากกว่าวิธีอื่นๆ ทั้งหมด

ภาพแสดงการดูดน้ำแบบพาสซีฟ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดที่เกิดจากการคายน้ำของพืช



ภาพแสดงการกระจายของวาสคิวลาร์ บันเดิล ที่ต่อเนื่องกันทั้งในราก ลำต้น และใบ



ภาพแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่ราก

ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการดูดน้ำของราก

1. ปริมาณน้ำในดิน ถ้าสารละลายในดินมีความเข้มข้นต่ำ คือ มีปริมาณน้ำมากรากพืชจะสามารถดูดน้ำได้สะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากวิธีการดูดน้ำแบบต่างๆ โดยเฉพาะออสโมซิส และการดูดน้ำแบบพาสซีฟ จะเกิดขึ้นได้มาก

2. อัตราการคายน้ำ ถ้าอัตราการคายน้ำสูง จะเกิดแรงดึงจากการคายน้ำสูง และน้ำจะถูกดูดจากดินเข้ามาในรากได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการดูดน้ำแบบพาสซีฟ

3. ความเข้มข้นของสารละลายในดิน ถ้าสารละลายในดินมีความเข้มข้นต่ำจะทำให้การแพร่ของน้ำเข้าสู่รากเป็นไปได้ด้วยความรวดเร็วกว่าในสภาวะที่สารละลายในดินมีความเข้มข้นสูง ดังเช่นในกรณีการใส่ปุ๋ยเคมีลงในดินครั้งละมากๆ จะทำให้สารละลายในดินสูงกว่า ความเข็มข้นของสารละลายภายในรากหรือในกรณีที่พืชเจริญอยู่ในดินเค็มมากๆ น้ำในรากจะแพร่ออกมาจากรากทำให้พืชขาดน้ำ และเหี่ยวแห้งดังที่นักเรียนเคยทราบมาแล้ว

4. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการดูดน้ำทั้งแบบแอกตีฟ และแบบพาสซีฟ โดยทั่วไปพืชจะดูดน้อได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง 20 –30 องศาเซลเซียส แต่อัตราการดูดน้ำจะหยุดไม่เกิน 35 องศาเซสเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ปากใบปิด ซึ่งทำให้การคายน้ำหยุด และการดูดน้ำแบบพาสซีฟก็จะหยุดด้วย

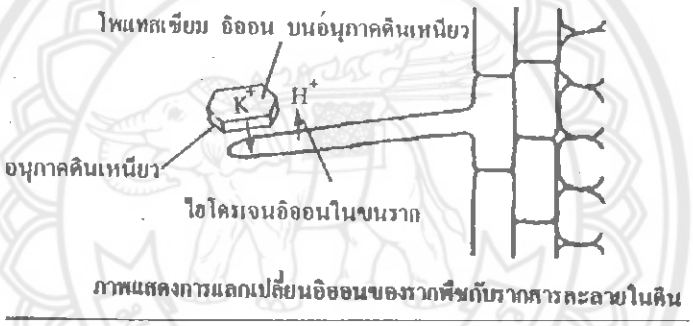
5. การถ่ายเทอากาศในดิน ถ้าดินมีการถ่ายเทอากาศได้ดี จะทำให้การดูดน้ำเกิดขึ้นได้มาก โดยเฉพาะการดูดน้ำวิธีที่ต้องใช้พลังงานจากเซลล์ เพราะเหตุว่าเซลล์จำเป็นต้องใช้ O_2 ในการผลิตพลังงานให้เกิดขึ้นในอัตราสูงๆ

การดูดเกลือแร่ของพืช

เกลือแร่ที่จะถูกดูดเข้าสู่รากพืชจะต้องอยู่ในรูปของอิออน (ion) ซึ่งอาจอยู่ในรูป อิออนอิสระในสารละลายดิน หรืออิออนที่ถูกดูดไว้ที่ผิวหนังของอนุภาคดินเหนียว วิธีการที่รากพืชดูดเกลือแร่และลำเลียงขึ้นสู่ลำต้นนั้นสลับซับซ้อนมาก รายละเอียดที่แท้จริงทราบน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม แนวความคิดทั่วไปเกี่ยวกับกรรมวิธีที่พืชดูด อิออน ของเกลือแร่ที่น่าจะเกิดขึ้นได้คือ

1. การดูดอิออนแบบพาสซีฟ หมายถึงการดูดอิออนเข้าสู่รากโดยกรรมวิธีบางอย่างที่ไม่ใช่การทำงานของราก กรรมวิธีการดูดอิออนแบบพาสซีฟ เช่น

1.1 การแพร่ (diffusion) เกิดขึ้นในบางส่วนของราก และการแพร่ของอิออนเข้าสู่ราก จะทำให้ได้อิออนไม่มากเกินกว่าระดับความเข้มข้นของอิออนชนิดนั้นๆ ในสารละลายภายนอกรากดังนั้นวิธีนี้จึงไม่ทำให้เกิดการสะสมอิออนในราก



ภาพแสดงการแลกเปลี่ยนอิออนของรากพืชกับรากสารละลายในดิน

1.2 การแลกเปลี่ยนอิออน (ion exchange) เป็นกรรมวิธีการดูดอิออน โดยการแลกเปลี่ยน ที่ของอิออนระหว่าง อิออนที่ถูกดูดอยู่ที่ผิวของราก กับอิออนในสารละลายในดิน ตัวอย่างเช่นการแลกเปลี่ยนอิออนระหว่าง H^+ ที่ผิวรากกับ K^+ ในสารละลายในดิน ดังภาพ

1.3 การไหลเวียนของมวลสาร (mass flow) เป็นการเคลื่อนที่ของอิออนโดยอาศัยแรงดึงจากการคายน้ำซึ่งจะดึงเอาเกลือแร่ที่ละลายปนอยู่ในน้ำให้เคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ และเยื่อหุ้มเซลล์ของรากซึ่งวิธีนี้ทำให้แร่ธาตุต่างๆ เคลื่อนที่ไปได้อย่างรวดเร็วกว่าการแพร่มาก

2. การดูดอิออนแบบแอกทีฟ เป็นการดูดอิออนโดยใช้พลังงานจากเซลล์ของรากและต้องอาศัยตัวพาเพื่อนำอิออนจากภายนอกเข้าไปภายในเซลล์ อัตราการดูดอิออนวิธีนี้จะช้ากว่าการดูดแบบพาสซีฟ แต่จะเกิดได้นานกว่า และจะทำให้เกิดภาวะการสะสมเกลือแร่ขึ้นภายในราก จึงน่าจะเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดในการที่รากใช้ดูดเกลือแร่ให้ได้มากที่สุด

ดินที่ใช้ในการทดลอง

• ดินมักจุลินทรีย์ EM ยี่ห้อ น้อยท่าทอง เกษตรชีวภาพ

ส่วนผสม – ดินร่วน,โบกาฉิ,มูลสัตว์,รำละเอียด,เปลือกถั่ว,ขุยไผ่,ขุยมะพร้าว,ใบจามจุรีย์, แกลบดิบ, แกลบดำ,จุรินทรีย์ EM,กากน้ำตาล,น้ำสะอาด

• ผู้ผลิต – เลขที่ 142/9 ซอยประชาอุทิศ 12/1 ถนนประชาอุทิศ ตำบล ในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง

เมล็ดผักชี

• เมล็ดผักชี ตราลูกโลก มีอัตราการงอก 80 %

เมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง

• เมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง ตราเรือบิน มีอัตราการงอก 70 - 80 %

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตาราง ผ.1 ผักชี แปลงควบคุมที่ไม่มีไททาเนียมไดออกไซด์ผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	0	0	0	0
29-ธ.ค.-10	4.2	4.3	0.4	0
2-ม.ค.-11	5.8	6.8	1.2	0
6-ม.ค.-11	5.1	10.7	2.4	0
10-ม.ค.-11	3.9	10.9	3.1	0.5
14-ม.ค.-11	5.6	7.6	2.6	1.6
18-ม.ค.-11	5.4	6.4	2.5	1.4
22-ม.ค.-11	5.6	6.5	2.6	1.3
26-ม.ค.-11	4.8	10.5	2.7	1.2
30-ม.ค.-11	4.3	6	2.4	1.6
3-ก.พ.-11	4	6.4	3	1.6
7-ก.พ.-11	4.5	5.6	2.1	1.6
11-ก.พ.-11	5.3	5.3	1.4	1.4
15-ก.พ.-11	6.4	6.1	1.6	1.6

ตาราง ผ.2 ผักชี ชุดเพาะปลูกที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	3.2	3.3	0.1	0
29-ธ.ค.-10	6.5	8.45	1	0
2-ม.ค.-11	4.2	9.2	1.3	0
6-ม.ค.-11	6	8.9	2	0
10-ม.ค.-11	5	9.7	2.1	0
14-ม.ค.-11	4	10.8	1.7	0
18-ม.ค.-11	5	9.7	1.7	1.1
22-ม.ค.-11	3.6	10	2	1.7
26-ม.ค.-11	6.4	11	1.9	1.2
30-ม.ค.-11	5	10.3	1.8	1.4
3-ก.พ.-11	3	9.9	1.9	1.3
7-ก.พ.-11	3.6	9	1.7	1.3
11-ก.พ.-11	5.7	9.2	1.3	1.5
15-ก.พ.-11	4.7	9.5	1.6	1.6

ตาราง ผ.3 ผักชี ชุดเพาะปลูกที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 300 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	6	4.2	0.2	0
29-ธ.ค.-10	5.2	9.1	1.5	0
2-ม.ค.-11	5.2	8.6	1.4	0
6-ม.ค.-11	5	10.5	2	0
10-ม.ค.-11	3.6	10	2	0
14-ม.ค.-11	7.6	9.6	1.7	0
18-ม.ค.-11	3.5	9.4	1.8	0.7
22-ม.ค.-11	4.7	11	2.1	1.1
26-ม.ค.-11	5.5	10.1	2	0.7
30-ม.ค.-11	4	8.2	1.9	1.2
3-ก.พ.-11	7	7.4	1.7	1.5
7-ก.พ.-11	5.1	7.8	1.6	1.6
11-ก.พ.-11	4.7	7.1	1.6	1.4
15-ก.พ.-11	6.4	7.6	2	2.1

ตาราง ผ.4 ผักชี ชุดเพาะปลูกที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	6.2	4.3	0.2	0
29-ธ.ค.-10	3.2	8.6	1.2	0
2-ม.ค.-11	4.2	10	1.3	0
6-ม.ค.-11	8.2	10	2	0
10-ม.ค.-11	4.6	10.5	2.1	0
14-ม.ค.-11	4.1	10.6	1.6	0
18-ม.ค.-11	3.5	8.8	1.6	0.6
22-ม.ค.-11	3.1	8.7	1.9	0.6
26-ม.ค.-11	3.4	8.5	1.7	0.5
30-ม.ค.-11	2.6	9	1.9	0.7
3-ก.พ.-11	3.4	9.4	1.8	1.3
7-ก.พ.-11	3.8	8.1	1.6	1.2
11-ก.พ.-11	4.6	7.3	1.7	1.3
15-ก.พ.-11	3.8	8.3	1.7	1.4

ตาราง ผ.5 ผักกาดเขียวกวางตุ้ง แปลงควบคุมที่ไม่มีไททาเนียมไดออกไซด์ผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	0	0	0	0
29-ธ.ค.-10	2.1	4.3	0.2	0
2-ม.ค.-11	2.8	5.8	0.5	0
6-ม.ค.-11	3.2	7.3	0.7	0
10-ม.ค.-11	4.8	8.5	1.9	0
14-ม.ค.-11	5.3	6.4	1.3	0.6
18-ม.ค.-11	5.6	6.2	1.7	0.5
22-ม.ค.-11	4.8	6.2	1.9	1.4
26-ม.ค.-11	3	4.3	1.2	1.6
30-ม.ค.-11	3.7	3.9	0.8	1.2
3-ก.พ.-11	3.4	5.5	1	1
7-ก.พ.-11	3.5	4.2	0.6	1.8
11-ก.พ.-11	3.3	3	0.4	1.8

ตาราง ผ.6 ผักกาดเขียวกวางตุ้ง ชุดเพาะปลูกที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	0.6	1.3	0.3	0
29-ธ.ค.-10	1.9	7.4	0.8	0
2-ม.ค.-11	4	8.3	1.3	0
6-ม.ค.-11	5	7.2	0.8	0
10-ม.ค.-11	3.6	9.6	1.2	0
14-ม.ค.-11	6.7	3.8	1	0.3
18-ม.ค.-11	4.4	2.9	0.8	1.4
22-ม.ค.-11	4.8	4.9	1	1.5
26-ม.ค.-11	5.2	4.5	0.8	1.3
30-ม.ค.-11	6.2	4.2	1	1.2
3-ก.พ.-11	5.4	5.3	1	1
7-ก.พ.-11	5.6	5	0.7	1
11-ก.พ.-11	6.4	5.9	1	1.6

ตาราง ผ.7 ผักกาดเขียวกวางตุ้ง ชุดเพาะปลูกที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 300 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	1.6	6.7	0.4	0
29-ธ.ค.-10	2.6	7.6	0.8	0
2-ม.ค.-11	3.8	6.5	1.1	0
6-ม.ค.-11	5.2	8.1	1.2	0
10-ม.ค.-11	3.8	9.1	0.8	0
14-ม.ค.-11	4.4	7.2	0.9	0
18-ม.ค.-11	5.2	6.4	0.9	0.8
22-ม.ค.-11	4.5	6.3	1	0.8
26-ม.ค.-11	5.4	6.5	1	1
30-ม.ค.-11	6.3	6.4	0.9	1.5
3-ก.พ.-11	5.5	5.4	1	1.1
7-ก.พ.-11	5.1	5.1	0.8	1.2
11-ก.พ.-11	4.4	5.6	1.2	2.3

ตาราง ผ.8 ผักกาดเขียวกวางตุ้ง ชุดเพาะปลูกที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมผสมในดิน

วัน/เดือน/ปี	ราก	ลำต้น	ใบเลี้ยง	ใบ
	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)	ยาว (cm)
21-ธ.ค.-10	0	0	0	0
25-ธ.ค.-10	0.2	3.5	0.2	0
29-ธ.ค.-10	3.7	7.9	1	0
2-ม.ค.-11	1.6	6.5	1.7	0
6-ม.ค.-11	4.5	7.6	1.1	0
10-ม.ค.-11	2.2	7.8	0.9	0
14-ม.ค.-11	7.2	4.6	0.9	0
18-ม.ค.-11	4	4.3	0.9	0.7
22-ม.ค.-11	2.2	4.6	0.9	0.6
26-ม.ค.-11	2.7	4.9	0.8	0.6
30-ม.ค.-11	3	5.3	0.9	0.9
3-ก.พ.-11	2.9	4.4	0.7	1
7-ก.พ.-11	3.2	5.6	0.7	0.9
11-ก.พ.-11	3.8	3.4	0.8	1.2

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายนิรันดร์รัตน์ โมป้อ
ภูมิลำเนา 254 หมู่ 10 ต.แม่เจดีย์ อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงราย
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแม่เจดีย์วิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: niranrat0125_@hotmail.com

ชื่อ นายปิยะพันธ์ เทพวงค์
ภูมิลำเนา 85 หมู่ 8 ต.เวียงห้าว อ.พาน จ.เชียงราย
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนดอยงามวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: chelsea_smile1905@hotmail.com

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน (ต่อ)

ชื่อ นายวัชรพงศ์ ใจจินา

ภูมิลำเนา 106/2 ถ.มนตรี ต.สบตุ๋ย อ.เมือง จ.ลำปาง

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลำปางกัลยาณี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: lonesome-today@hotmail.com