อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลกระทบจากการเพิ่มระดับโอโซนในบรรยากาศจากสภาวะโลกร้อนต่อคุณภาพของโปรตีนและไขมันชนิดสำคัญของถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทย

Effects of Enhanced Ozone by Global Warming Situation on Quality of Important Protein and Lipid of Thai Native Soybean (Glycine max (L.)Merrill)

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 19 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน 16324946
เลขเรียกหนังสือ ว QC 981 .2 .G56 ก1223 2555

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กณิตา ธนเจริญชณภาส

และ คณะ

เสนอ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ธันวาคม 2555

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) ผลกระทบจากการเพิ่มระดับโอโซนในบรรยากาศจากสภาวะโลกร้อนต่อคุณภาพของโปรตีนและไขมันชนิดสำคัญของถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทย

(ภาษาอังกฤษ) Effects of Enhanced Ozone by Global Warming Situation on Quality of Important Protein and Lipid of Thai Native Soybean (Glycine max (L.)Merrill)

2. รายชื่อคณะผู้วิจัย พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัด หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

2.1 หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กณิตา ธนเจริญชณภาส

ภาควิชา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร, จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทรศัพท์: 055-962751
โทรสาร : 055-962750
E-mail : kanitat@nu.ac.th

2.2 ผู้ร่วมโครงการวิจัย (1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โอรส รักชาติ

ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร , จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทรศัพท์: 055-962745
โทรสาร : 055-962750
Email: oroser@nu.ac.th

(2) นางสาว ศุภวรรณ ล่ำสัน
นิสิตปริญญาโทสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมภาควิชา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร , จังหวัดพิษณุโลก 65000

3. ได้รับอนุมัติจัดสรรงบประมาณประจำปี 2553 จำนวนเงิน 300,000 บาท
4. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสาขา สาขาเกษตรศาสตร์ และ ชีววิทยา
5. เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 14 ธันวาคม 2552 ถึง 15 ธันวาคม 2555

กิตติกรรมประกาศ

ดิฉันในฐานะหัวหน้าโครงการวิจัย เรื่อง ผลกระทบจากการเพิ่มระดับโอโซนในบรรยากาศจากสภาวะโลกร้อนต่อคุณภาพของโปรตีนและไขมันชนิดสำคัญของถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทย และ ทีมผู้ร่วมวิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นอย่างยิ่งสำหรับการอนุมัติและสนับสนุนทุนการวิจัย เป็นจำนวนเงิน 300,000 บาท ซึ่งเป็นงบประมาณสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณแผ่นดินปี 2553 และขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับการอนุมัติให้ขยายเวลาการดำเนินโครงการเป็นกรณีพิเศษจนครบ 3 ปี จนสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จได้เป็นอย่างดีตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ทุกประการ ขอขอบคุณสำหรับภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และ หน่วยวิจัย คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับการอนุเคราะห์ และ ให้ความสะดวกสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ และ ให้ความสะดวกในด้านเอกสารตามลำดับ และขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับนิสิตระดับปริญญาโทสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมคือ นางสาวศุภวรรณ ล่ำสัน ซึ่งได้ปฏิบัติงานตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ภาคสนามปฏิบัติงานภาคสนาม ซึ่งรวมทั้งการเก็บตัวอย่างและ เป็นผู้ช่วยในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 2 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2553 มาโดยตลอดจนเสร็จสิ้นการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับความสำเร็จของงานวิจัยในครั้งนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กณิตา ธนเจริญชณภาส
หัวหน้าโครงการวิจัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อให้ทราบว่าถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างไร ในการศึกษาได้ทำการ ปลูกถั่วเหลืองในตู้ทดลองระบบเปิดด้านบนในฤดูกาลปลูก 2 รอบการปลูก ตั้งแต่ เดือนธันวาคม 2553 – มีนาคม 2554 และ ธันวาคม 2554 – มีนาคม 2555 ในพื้นที่วิจัยคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้ตู้ทดลองระบบเปิดด้านบนครอบแปลงถั่วเหลืองตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ภายใต้ระดับโอโซนที่แตกต่างกัน คือ ชุดทดลอง CF ควบคุมให้ระดับโอโซนมีระดับต่ำกว่าธรรมชาติ (12 ±0.61 ppb) ชุดทดลอง NCF กำหนดให้เป็นชุดควบคุมเนื่องจากควบคุมให้มีระดับโอโซนเท่ากับระดับในธรรมชาติ (33 ± 1.6 ppb) และ ชุดทดลอง CF+O_3 ควบคุมให้มีระดับโอโซนสูงกว่าระดับปกติ (64 ± 3.2 ppb) ผลการทดลองตั้งแต่ ระยะการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ (R1, R3 และ R5) และสุดท้ายในระยะเก็บเกี่ยว (R8) ผลการวิจัยบ่งชี้ว่าผลกระทบของโอโซนที่เพิ่มขึ้นได้ส่งผลในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่เด่นชัดที่สุด ต่อรงควัตถุ ผลผลิตและสารอาหารบางชนิด ในการศึกษาพบว่ารงควัตถุชนิด คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี มีการตอบสนองในเชิงลบชัดเจนกว่า แคโรทีนอยด์ โดยแสดงออกในถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น คือ รุ่น 1 และรุ่นที่ 2 ผลกระทบเชิงลบที่มีต่อผลผลิตพบในพารามิเตอร์ จำนวนฝัก/ต้นเท่านั้น และพบในถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโปรตีน และ กลุ่ม เถ้า เยื่อใย ความชื้นในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าโปรตีนลดลงประมาณ 12 และ 17 % ในถั่วเหลืองรุ่น 1 และ รุ่น 2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบผลการศึกษาในทางตรงข้ามเมื่อผลการศึกษาระบุว่าโอโซนในระดับสูงกว่าธรรมชาติส่งผลทำให้สารอาหารสำคัญบางชนิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นั่นคือ ไขมันเพิ่มขึ้น 15 % (ทั้ง 2 รุ่น) กรดอะมิโนไลซีนเพิ่มขึ้น 5.4 % (พบเฉพาะรุ่นที่ 1) กรดไขมันไลโนเลอิกเพิ่มขึ้น 45.4 และ 28.4 % (ในรุ่น 1-2 ตามลำดับ) และกรดไขมันไลโนเลนิกเพิ่มขึ้น 13.2 และ 29.5 % (ในรุ่น 1-2 ตามลำดับ) จากผลการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้อย่างชัดเจนว่า ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับธรรมชาตินั้น สามารถยับยั้งผลผลิต และลดคุณภาพสารอาหารสำคัญในเมล็ดถั่วเหลืองคือโปรตีน แต่กลับส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมัน และกรดไขมันบางชนิดในเมล็ดถั่วเหลืองได้ และแสดงผลต่อเนื่องในการปลูก 2 รุ่น

ABSTRACT

The aim of the study was to find out how the response to ozone in different levels ozone concentrations of soybean (*Glycine max* (L.)Merrill) Chiang Mai 60 cultivar. Seeds of soybean were grown in Open –Top Chamber (OTC) over the course of the December 2010- March 2011 and December 2011- March 2012 for 2 crop cycles at Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment Research Field, Phitsanulok. In Experiment, The Open top Chambers were applied and soybean were planted under three conditions of ozone concentrations with Activated Charcoal filtered (CF; ozone was control at lower ambient level) (12 ±0.61 ppb) , Non – Activated Charcoal filtered (NCF; ozone was control at ambient level) (33 ± 1.6 ppb) and Activated Charcoal filtered air plus ozone (CF+O_3 ;ozone was control at higher ambient level) (64 ± 3.2 ppb); hence, there are three levels of ozone concentrations in experiment. Yield component, pigent content and some important nutrition value were observed at reproductive (R_1,R_3,R_6) growth phases and maturing stage (R8) . Results indicated that the obvious significant negative ($p<0.05$) impacts of high level of O_3 concentration were found in pigment, yield component and some nutrition value. Chlorophyll a and chlorophyll b showed the more negative responses under high level of O_3 concentration than carotenoid in both the 1st and the 2nd generations. We only found the significant decrease ($p<0.05$) in number of pod/plant (in yield components parameters) in both the 1st and the 2nd generations. In addition, effects of O_3 on soybean were found significantly ($p<0.05$) decreased in protein (12% and 17% in the 1st and the 2nd generations, respectively), ash, fiber and moisture.. In contrast, we found significantly($p<0.05$) increased in lipid (15% for both 2 generations), amino acid-lysine (5.4% in the 1st generation), fatty acid- linoleic (45.4% and 28.4 % in the 1st and the 2nd generations, respectively) and fatty acid- linolenic (13.2% and 29.5 % in the 1st and the 2nd generations, respectively). This study clearly indicated that the elevated ozone concentration for long term (2 crop cycles) could suppress pigments , yield and protein in soybean seed but this could induce the increase in quantity of lipid, amino acid-lysine and some fatty acids.

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

สรุปโครงการวิจัย

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผลกระทบของปัญหาสภาวะโลกร้อนอันเป็นผลต่อเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศของกลุ่มมลสารซึ่งเป็นกลุ่มก๊าซเรือนกระจก อาทิเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) มีเธน (CH_4) หรือ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) (IPCC, 2006) มีมากมายหลายประการทั้งผลกระทบทางตรงและทางอ้อม นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งซึ่งศึกษาปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 พบว่าผลกระทบที่น่าตระหนักประการหนึ่งคือ การเพิ่มระดับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศส่งผลต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปรสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์สัมผัสโดยตรง และจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบว่ามีแนวโน้มของการเพิ่มระดับความเข้มข้นต่อไปในอนาคตภายใต้สภาวะโลกร้อนซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน (Akimoto et al., 2007) และยิ่งกว่านั้นในทางกลับกันก็ยังพบว่า ก๊าซโอโซนในระดับโทรโปสเฟียร์เป็นปัจจัยเสริมที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนเช่นเดียวกัน (Mickley et al., 2004) ซึ่งแน่นอนว่าเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าทั้งระดับโทรโปรสเฟียริคโอโซนและสภาวะโลกร้อนต่างเป็นปัจจัยเสริมทั้งทางตรงและทางอ้อมซึ่งกันและกัน

ประเด็นที่น่าสนใจคือ โดยปกติระดับก๊าซโอโซนในชั้นโทรโปสเฟียร์ก็มีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มขึ้นโดยมลสารตั้งต้นในบรรยากาศ เช่น เกิดจากกลุ่มไฮโดรคาร์บอน (HC) รวมทั้งกลุ่มโฟโตเคมิคัลออกซิแดนซ์ เช่น กลุ่มออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx), PAN และ กลุ่ม VOC (Sillman et al., 1999; Kang et al., 2004) ซึ่งความสำคัญของประเด็นนี้นั่นคือ พบว่าระดับก๊าซโอโซนในปริมาณความเข้มข้นสูงนั้นก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ สิ่งก่อสร้างต่างๆ และที่สำคัญคือส่งผลกระทบในเชิงลบต่อ พืชพรรณต่างๆโดยเฉพาะพืชทางการเกษตรที่สำคัญของโลก เนื่องจากสภาวะทางเคมีของก๊าซโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิแดนที่รุนแรงมากสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชได้โดยตรงและส่งผลกระทบในกระบวนการสรีรวิทยาหลายประการที่ส่งผลต่อเนื่อง ต่อการลดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช ลดอัตราการสังเคราะห์แสง ลดอัตราผลผลิต เกิดสารออกซิแดนท์ และแอนตี้ออกซิแดนท์ การลดปริมาณคุณภาพสารอาหารในเมล็ด (Antonielli et al., 1997; Cataldo, 2000; Craker, 1971; Ariyaphanphitak, 2005; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ คณะ ,2550) ผลการวิจัยในหลายประเทศพบว่าก๊าซโอโซนมีผลต่อการลดลงของผลิตผลจากการเกษตรเป็นพื้นที่ในบริเวณกว้าง

ของโลกและระดับพื้นที่ เช่น ในสหรัฐอเมริกา , อังกฤษ, กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย, ประเทศแถบยุโรป แม้กระทั่งในเอเชีย เช่นประเทศ อินเดีย ปากีสถาน บังคลาเทศ อินโดนีเซีย และญี่ปุ่น ลดผลผลิตในพืชไร่เศรษฐกิจในหลายพื้นที่ เช่น ข้าว , ถั่วเหลือง, ข้าวสาลี, ใบยาสูบ, มันฝรั่ง, มะเขือเทศ เป็นต้น เมื่อประเมินผลเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ ในสหรัฐอเมริกาพบว่ามูลค่าความเสียหายถึง 30,000 ดอลลาร์ สหรัฐต่อปี (David et al., 1994; Reilly et al., 2007) เมื่อพิจารณาว่าประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีพื้นที่ทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่และเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก ประกอบกับเมื่อพิจารณาจากข้อมูลจากการตรวจวัด ของกรมควบคุมมลพิษพบว่าบางช่วงเวลาของปีในพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานคร เขตปริมณฑล และบางจังหวัดซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทยมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงกว่าระดับมาตรฐานเช่นกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2008) ดังนั้นปัญหานี้จึงควรเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ควรศึกษา เนื่องด้วยสามารถส่งผลกระทบได้โดยตรงต่อระบบนิเวศเกษตรของประเทศไทยและจะส่งผลกระทบอย่างต่อเนื่องต่อระบบเศรษฐกิจของไทย

ดังนั้นในการวิจัยในครั้งนี้จึงได้เลือกพื้นที่ศึกษาในจังหวัดพิษณุโลก เนื่องด้วยจังหวัดพิษณุโลกมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนอันเนื่องมากจากการเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมในด้านอุตสาหกรรม มีการจราจรคับคั่ง จึงก่อให้เกิดการเพิ่มระดับของมลสารขั้นต้น เช่น NO_2 ที่เป็นมลสารต้นกำเนิดที่สำคัญต่อการสร้างก๊าซโอโซนในบรรยากาศ ประกอบกับในจังหวัดพิษณุโลกมีปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนให้ระดับสูงขึ้นได้อีก นั่นคืออุณหภูมิในบรรยากาศที่สูงมากตลอดทั้งปี ซึ่งปัจจัยที่เสริมกันดังกล่าวนี้ได้มีการศึกษาในสภาวการณ์ของหลายประเทศในโลกแล้วว่าพบว่าเป็นปัจจัยเร่งต่อการเพิ่มของโอโซนในบรรยากาศได้จริง และ จากข้อมูลการวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกในเขตมหาวิทยาลัยนเรศวร ด้วยเครื่องมือในหน่วยวิจัยคณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่า ในช่วง ปี พ.ศ. 2552-2555ที่ผ่านมา พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ในช่วงกลางวัน ระหว่างเวลา 11.00-14.00 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 30-90 ppb ซึ่งเป็นระดับที่มีศักยภาพเพียงพอต่อการส่งผลกระทบในเชิงลบต่อการเติบโตของถั่วเหลืองได้จริง (Ariyaphanphitak et al., 2004; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ คณะ, 2551) และคณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าจังหวัดพิษณุโลกเป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญจังหวัดหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะถั่วเหลืองนั้น ถือว่าปลูกมากเป็นอันดับ 7 ของประเทศ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อระบบนิเวศเกษตรของพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ และเป็นประเด็นศึกษาที่สำคัญต่อสภาวะปัญหาระดับ

โลกที่เกิดขึ้นดังกล่าว ซึ่งปัญหานี้ย่อมส่งผลกระทบต่อประเทศไทยอย่างแน่นอนทั้งในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งคำตอบที่จะได้จากการวิจัยวิจัย จะนำไปสู่กระบวนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในระบบนิเวศเกษตรของประเทศไทยต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อให้ทราบผลกระทบของระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อคุณภาพของโปรตีน และ ไขมัน ชนิดสำคัญในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทย

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการตามขอบเขตของการใช้พื้นที่ อุปกรณ์เครื่องมือ และวิธีดำเนินการดังนี้

3.1 สถานที่วิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้พื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในแปลงทดลองทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูด 16 องศาเหนือ 44.003 ลิปดา และลองติจูด 100 องศาตะวันออก 11.810 ลิปดา พื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 48 เมตร โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลทางสรีรวิทยาบางประการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

3.2 พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการวิจัย

ถั่วเหลืองไทย (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชไร่ที่เลือกใช้สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากเป็นพืชตระกูลถั่วที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูงมาก และผู้วิจัยได้ตัดสินเลือกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์เดียวสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจาก

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่ให้ผลผลิตและคุณค่าทางด้านสารอาหารสูง คือ มีโปรตีน 43.8 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 280-350 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่นของสายพันธุ์คือ ทนทานต่อโรคราสนิม โรคใบด่าง และไวรัสใบด่าง และนิยมปลูกในภาคเหนือตอนล่างมากที่สุด โดยเฉพาะจังหวัดพิษณุโลก (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

3.3 ระยะเวลาการวิจัย

การศึกษาผลกระทบระยะยาวของระดับโอโซนที่แตกต่างกันในช่วงฤดูเพาะปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะยาว 2 รุ่นโดยควบคุมระดับโอโซนที่กำหนด 3 ระดับใน 3 ชุดการทดลอง (3 ซ้ำ) ในแต่ละตู้ทดลอง 7 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 9.00-16.00 น. โดยทำการปลูก 2 รุ่น ดังนี้

ปลูก รุ่นที่ 1 ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2553 – มีนาคม 2554

นำผลผลิตจากรุ่นที่ 1 มาต่อเนื่องในรุ่นที่ 2 ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2554 – มีนาคม 2555 เพื่อวิเคราะห์ผลทางสรีรวิทยาบางประการ ได้แก่ รงควัตถุ ผลผลผลิตและคุณภาพของสารอาหารด้านไขมันและโปรตีนบางชนิด

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldatech digestion unit และ distillation unit)
2. ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Extraction System Model B-811)
3. ชุดวิเคราะห์เยื่อใย (Fiber Analyzer)
4. ชุดวิเคราะห์เถ้า (Futname Thermolyne sybron Tye 48000 Furnace)
5. ตู้อบลมร้อน
6. Hot plate
7. เครื่องเซนตริฟิวจ์
8. เครื่อง Evaporator

วัสดุอุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60
2. Chamber ขนาดกว้าง 3 x3 เมตร สูง 2 เมตร จำนวน 9 ตู้
3. เครื่องแก้ว ประกอบด้วย
   - 3.1 ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์โปรตีน
   - 3.2 ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์ไขมัน
   - 3.3 ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์เยื่อใย
   - 3.4 โถดูดความชื้น
   - 3.5 ชุดถ้วย moisture can วิเคราะห์ความชื้น
   - 3.6 ชุดถ้วยกระเบื้องวิเคราะห์เถ้า

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.128 โมล
3. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1 นอร์มอลิตี
4. สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์
5. สารละลายด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.223 โมล
6. สารละลายบอริคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์
7. ซิลิเนียม
8. อินดิเคเตอร์ (methyl red และ methylene blue)
9. เอ็น-ออกทานอล
10. อะซีโตน เข้มข้น
11. ปิโตรเลียมอีเทอร์
12. เมทานอล
13. Boron Trifluoride
14. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
15. Hexane
16. Standard ของกรดไขมันโอเลอิก
17. Standard ของกรดไขมันไลโนเลอิก

18. Standard ของกรดไขมันไลโนเลนิก

3.5 การควบคุมสภาวะจำลองเพื่อควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง

ในการวิจัยใช้ตู้ทดลองระบบเปิดด้านบน (Open-top chamber : OTC) รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2 เมตร มีลักษณะโปร่งใสเพื่อให้แสงส่องผ่านได้โดยการคลุมผนังและหลังคาด้วยพลาสติกใสคุณภาพดี ติดตั้งระบบหมุนเวียนอากาศ เพื่อควบคุมอากาศในตู้ทดลอง ดังแสดงในภาพ 9 และติดตั้งพัดลมดูดอากาศด้านล่างของตู้ทดลองเพื่อดูดอากาศเข้าแผ่นกรองโอโซน ซึ่งกรองโดยถ่านกัมมันต์ และจากนั้นจะแผ่นกรองฝุ่นอีก 1 ชั้น ในชุดทดลอง Charcoal filtered : CF และชุดทดลองชื่อ : Charcoal filtered air plus Ozone : (CF + O_3) ส่วนชุดทดลองชื่อ Non-Charcoal filtered air : NCF (กลุ่มควบคุม) นั้นจะใช้เพียงแผ่นกรองฝุ่นเท่านั้น ซึ่งระดับความเข้มข้นในแต่ละตู้ทดลองมีระดับต่างกัน ดังนี้

3.5.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนต่ำกว่าธรรมชาติ

วิธีการ : โดยติดตั้งแผ่นกรองโอโซนและมลสารชนิดต่าง ๆ ด้วยถ่านกัมมันต์และมีแผ่นกรองฝุ่น โดยประมาณความเข้มข้นในชุดทดลองนี้ ที่ระดับ 5 – 10 ppb ใช้ชุดทดลอง : Charcoal filtered : CF

3.5.2 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในสภาวะปกติเทียบเท่าระดับธรรมชาติ

วิธีการ : โดยติดตั้งแผ่นกรองฝุ่น แต่ไม่มีแผ่นกรองโอโซนโดยถ่านกัมมันต์และดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาในตู้ทดลอง ใช้ชื่อชุดทดลอง : Non-charcoal filtered air : NCF (Control treatment)

3.5.3 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ระดับสูงกว่าธรรมชาติ

วิธีการ : โดยติดตั้งแผ่นกรองโอโซนและมลสารชนิดต่าง ๆ ด้วยถ่านกัมมันต์ มีแผ่นกรองฝุ่น แต่เพิ่มปริมาณก๊าซโอโซนในห้องทดลองโดยการพ่นด้วยเครื่องผลิตก๊าซโอโซน (Ozone generator) กำลังผลิต 15 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ใช้ชื่อชุดทดลอง : Charcoal filtered air plus ozone : (CF + O_3)

ทั้ง 3 ชุดการทดลองนี้ มีการตรวจวัดโอโซนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Ozone meter ซึ่งมีเซนเซอร์ตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ในการศึกษาวิจัยได้กำหนดใช้ตู้ทดลอง จำนวนทั้งหมด 9 ตู้ สำหรับการทดลอง 3 ซ้ำของ 3 ชุดการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design)

3.6 การจัดการการปลูกถั่วเหลืองในพื้นที่แปลงทดลอง

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชไร่ที่เลือกใช้สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากเป็นพืชตระกูลถั่วที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูงมาก และมีความไวต่อการได้รับก๊าซโอโซน และผู้วิจัยได้ตัดสินเลือกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์เดียวสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่ให้ผลผลิตและคุณค่าทางด้านสารอาหารสูง คือ มีโปรตีน 43.8 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 280-350 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่นของสายพันธุ์คือ ทนทานต่อโรคราสนิม โรคใบด่าง และไวรัสใบด่าง และนิยมปลูกในภาคเหนือตอนล่างมากที่สุด โดยเฉพาะจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งในการวิจัยได้จัดการปลูกถั่วเหลืองแบบแถว จำนวนทั้งหมด 3 แถว ในพื้นที่กว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร ระยะห่างระหว่างแปลง 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร และเหลือไว้ 2 ต้นต่อหลุม จากนั้นนำตู้ทดลองมาครอบต้นถั่วเหลืองเมื่อพืชเข้าสู่ระยะ V3 ซึ่งใช้เวลา 26 วัน และทำการให้ถั่วเหลืองได้รับก๊าซโอโซน โดยควบคุมระดับความเข้มข้นของโอโซนที่กำหนดในแต่ละตู้ทดลองเป็นเวลา 7 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 09.00-16.00 น. ตลอดระยะเวลาตั้งแต่การเจริญเติบโตระยะ V3 ถึงระยะ R8

3.7 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบของโอโซนที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ในการวิจัยกำหนดการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ผล โดยมีปัจจัยซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดผลกระทบในช่วงระยะของอายุถั่วเหลืองในระยะต่าง ๆ ดังนี้

ทำการวิเคราะห์ ดัชนีชี้วัดทางด้านสรีรวิทยาบางประการ, ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตดังนี้

(1) ทำการวัดปริมาณ chlorophyll a ,b และ carotenoid ของใบถั่วเหลือง ในระยะระยะ Reproductive 3 ระยะตามเจริญเติบโต

(2) ประเมินผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง โดยการนับผลิตต่อต้น, จำนวนเมล็ดต่อฝัก รวมทั้งน้ำหนักของเมล็ด ในระยะFull Maturity Stage

(3) การวิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร

1) วิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และความชื้น ตามวิธีของ AOAC 1995.

2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ตามวิธีวิเคราะห์ Amino acid analyzer โดย electrophoresis ตามวิธีของ (Henrichson, James B, 1970, 12-14)

- กรดอะมิโนไลซีน,

3) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไขมัน โดยศึกษาในกรดไขมันโดย gas chromatography สำหรับวิเคราะห์หา fatty acids ดังนี้

- กรดไขมันโอลิอิก
- กรดไขมันไลโนลินิก
- กรดไขมันไลโนลิอิก

3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดดัชนีในด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติแบบ One-Way Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของระดับก๊าซโอโซนที่แตกต่างกัน กับการเปลี่ยนแปลงของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในด้านต่าง ๆ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง โดยวิธีของ Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ระดับความเชื่อมั่น 95%)

4.ผลการทดลองโดยสรุป

การศึกษาผลกระทบระยะยาวของระดับโอโซนที่แตกต่างกันในช่วงฤดูเพาะปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะยาว 2 รุ่นโดยควบคุมระดับโอโซนที่กำหนด 3 ระดับใน 3 ชุดการทดลอง (3 ซ้ำ) ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาระดับโอโซนที่แตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม), และ Charcoal - filtered air plus ozone 50 ppb : CF + O_3 (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ 64 ±3.2 ppb) ในแต่ละตู้ทดลอง 7 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 9.00-16.00 น. โดยทำการปลูก 2 รุ่น ดังนี้

ปลูก รุ่นที่ 1 ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2553 – มีนาคม 2554
นำผลผลิตจากรุ่นที่ 1 มาต่อเนื่องในรุ่นที่ 2 ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2554 – มีนาคม 2555 เพื่อวิเคราะห์ผลทางสรีรวิทยาบางประการ ได้แก่ รงควัตถุ ผลผลผลิตและคุณภาพของสารอาหารด้านไขมันและโปรตีนบางชนิด ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาในปัจจัยปริมาณรงควัตถุในใบ ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ พบว่าโอโซนที่เพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF + O_3) ส่งผลกระทบในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณรงควัตถุในใบ อย่างเด่นชัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในรงควัตถุชนิด คลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งพบว่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้สภาวะโอโซนระดับสูงสุดทั้ง 3 ระยะการเจริญคือ R1, R3 และ R5 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก ระยะเริ่มติดฝัก และระยะเริ่มติดเมล็ด ตามลำดับ และพบผลการศึกษาดังนี้ทั้งถั่วเหลือง 2 รุ่น แต่แสดงชัดเจนในรุ่นที่ 1 มากกว่ารุ่นที่ 2 ส่วนผลการศึกษาในคลอโรฟิลล์ บี มีการลดลงในระดับโอโซนสูงสุดเช่นกัน ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต แต่มีความชัดเจนน้อยกว่า ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ เนื่องจากในระยะ R1 ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน รุ่นที่ 2 ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เฉพาะในรุ่นที่ 1 เท่านั้นโดยพบในระยะ R3 และ R5 แต่ไม่พบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ในรุ่นที่ 2ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต นั่นคือพบการตอบสนองในเชิงลบต่อรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 ชัดเจนกว่ารุ่นที่ 2 และพบความชัดเจนในรงควัตถุชนิด คลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุด

2. ผลของโอโซนในระดับสูงส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิตอย่างเด่นชัด โดยพบว่าลักษณะเดียวที่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ จำนวนฝักต่อต้น โดยพบว่าระดับโอโซนที่สูงที่สุด (ชุดทดลอง CF + O_3) ทำให้จำนวนฝักต่อต้นลดลง อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบผลการศึกษาลักษณะนี้เช่นทั้งในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 แต่ไม่พบผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปัจจัยทางด้านจำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด ทั้งถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2

3. ด้านคุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีต่อการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น (ชุดทดลอง CF + O_3) ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในถั่วเหลืองทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 พบว่าลดลง 12 % และลดลง 17 % ในถั่วเหลืองรุ่นที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)

4. ระดับโอโซนที่สูงกว่าธรรมชาติ (ชุดทดลอง CF + O_3) ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในถั่วเหลือง ทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยมีเพิ่มขึ้นโดยประมาณเท่ากัน คือ 15 % ทั้ง 2 รุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)

5. ผลการศึกษาในกลุ่มทดลองที่ควบคุมให้ระดับโอโซนในบรรยากาศที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ลดลงกว่าระดับธรรมชาติ (ชุดทดลอง CF + O_3) นั้น ส่งผลต่อการลดลงขององค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด คือ เถ้า เยื่อใย และความชื้น ทั้ง 3 พารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF) ในถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น โดยพบว่าปริมาณเถ้า และ เยื่อใยลดลง ใกล้เคียงกัน

6. ผลการศึกษาในกลุ่มทดลองที่ควบคุมให้ระดับโอโซนในบรรยากาศที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ลดลงกว่าระดับธรรมชาติ (ชุดทดลอง CF + O_3) นั้น ส่งผลต่อการเพิ่มระดับกรดไขมัน 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ กรดไขมันไลโนเลอิก และกรดไขมันไลโนเลนิก โดยพบผลการศึกษาเช่นเดียวกันในถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น แต่ไม่พบผลการศึกษาเช่นนี้ในกรดไขมันชนิดโอเลอิก

7. ผลการศึกษาในกลุ่มทดลองที่ควบคุมให้ระดับโอโซนในบรรยากาศที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ลดลงกว่าระดับธรรมชาติ (ชุดทดลอง CF + O_3) นั้น ส่งผลต่อการเพิ่มระดับกรดอะมิโนไลซีน ในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 (ไม่พบในรุ่นที่ 2) โดยเพิ่มขึ้น 5.4 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

8. มีข้อสังเกตว่าในชุดการทดลอง CF ซึ่งลดระดับโอโซนให้ต่ำกว่าปกติ จะมีค่าพารามิเตอร์ชนิด จำนวนฝัก/ต้น และ ปริมาณโปรตีน รวมทั้ง เถ้า และเยื่อใย เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

การศึกษาในครั้งนี้สรุปภาพรวมได้อย่างชัดเจนว่า การเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ส่งผลชัดเจนในเชิงลบต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในพารามิเตอร์รงควัตถุ

(โดยเพาะอย่างยิ่ง คลอโรฟิลด์เอ) ผลผลิตด้านจำนวนฝัก/ต้น ปริมาณโปรตีน เถ้า และเยื่อใย และเห็นผลชัดเจนทั้งในรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 แต่ยังไม่เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการลดลงอย่างต่อเนื่องในระยะยาว 2 รุ่นแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามพบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลบวกต่อการเพิ่มขึ้นของไขมัน กรดอะมิโนไลซีน (พบเฉพาะในรุ่นที่ 1) และ กรดไขมัน 2 ชนิดคือ ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก แต่เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาในชุดการทดลองซึ่งลดความเข้มข้นของโอโซนจากระดับธรรมชาติ (CF) พบว่า ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลือง และปริมาณสารอาหารประเภทโปรตีนได้จริง ดังนั้นในอนาคตหากมีการจัดการเพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในบรรยากาศได้ จะมีประโยชน์อย่างมากต่อเกษตรกรในการเพิ่มผลผลิตในพื้นที่ปลูกจริง ผลการศึกษาที่ได้ จะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการวางแผนและป้องกันผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่มีต่อถั่วเหลือง ซึ่งจัดเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และสามารถนำผลการศึกษามาประเมินความเป็นไปได้ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารอาหารของถั่วเหลือง อันเนื่องมาจากผลกระทบของมลพิษทางอากาศ เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางการจัดการป้องกันหรือแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อไป

5.ข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษาน่าจะเผยแพร่ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อไป ในเพื่อวางแผนระยะการปลูกที่เหมาะสมในการรับมือกับสถานการณ์ในอนาคต

5.2 ควรต่อยอดองค์ความรู้ในการวิจัยเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสถานการณ์ระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะโลกร้อนในอนาคต

6.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลการวิจัยนี้ จะเป็นส่วนหนึ่งของฐานข้อมูลในประเทศไทย ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของพืชเศรษฐกิจการเกษตรที่มีต่อ สภาวการณ์ของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะโลกร้อน ที่ทวีความรุนแรงขึ้นในอนาคต ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มของระดับโอโซนในบรรยากาศ รวมทั้งผลการวิจัยนี้จะเป็นเป็นองค์ความรู้สำหรับการทำการวิจัยในขั้นต่อไป ในการวิจัยเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสถานการณ์โลกร้อนในอนาคต

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย	I
กิตติกรรมประกาศ	III
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	VI
สารบัญ	XVII
สารบัญภาพ	XVIII
1.บทนำ	1
2.วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	2
3.ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
4.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
5.การทบทวนวรรณกรรม	4
6.ระเบียบวิธีวิจัย	12
7. ผลการศึกษา	19
7.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนใน 3 ชุดการทดลอง	19
7.2 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากโอโซนในระดับที่ต่างกันที่มีต่อผลกระทบของโอโซนที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในใบของถั่วเหลือง	21
7.3 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากโอโซนในระดับที่ต่างกันที่มีต่อผลกระทบของโอโซนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น	30
7.4 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากอุณหภูมิในระดับที่ต่างกันที่มีต่อ คุณภาพสารอาหาร โดยรวมของถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น	34
7.5 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากระดับโอโซนที่แตกต่างกันที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง	40
8. สรุปและอภิปรายผล	46
9. ข้อเสนอแนะ	54
10.เอกสารอ้างอิง	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	รายละเอียด	หน้าที่
ภาพที่ 1	ภาพห้องทดลองระบบเปิดด้านบน (Open-top field chamber) ซึ่งเป็นห้องทดลองในการวิจัยของ Drake et al.(1989) ซึ่งแสดงให้เห็นระบบการส่งผ่านอากาศและการเข้าและออกจาก ห้องทดลองและการกระจายตัวของอากาศในห้องทดลอง	12
ภาพที่ 2	ภาพห้องทดลองระบบเปิดด้านบน (Open-top field chamber) ซึ่งเป็นห้องทดลองรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งดัดแปลงมาจาก การวิจัยของ Drake et al.(1989) ซึ่งแสดงให้เห็นระบบการส่งผ่านอากาศและการเข้าและออกจากห้องทดลองและการกระจายตัวของอากาศในห้องทดลอง	14
ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของระดับโอโซนในช่วงระยะการทดลองเฉลี่ยของการทดลองปลูกทั้ง 2 รอบ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 -2555	20
ภาพที่ 4	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่ 1 ในระยะ R1 อายุ 36 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	22
ภาพที่ 5	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่ 1 ในระยะ R3 อายุ 57 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	24
ภาพที่ 6	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่ 1 ในระยะ R5 อายุ 70 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 (7 ชั่วโมงต่อวัน)	25
ภาพที่ 7	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R1 รุ่นที่ 2 อายุ 37 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	27

ภาพที่	รายละเอียด	หน้าที่
ภาพที่ 8	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R3 รุ่นที่ 2 อายุ 60 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	28
ภาพที่ 9	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 รุ่นที่ 2 อายุ 72 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	30
ภาพที่ 10	จำนวนฝัก/ต้น เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	31
ภาพที่ 11	จำนวนเมล็ด /ฝัก เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	32
ภาพที่ 12	น้ำหนัก 100 เมล็ด (g) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	33
ภาพที่ 13	ปริมาณโปรตีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O3 7 ชั่วโมงต่อวัน	35
ภาพที่ 14	ปริมาณไขมัน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	36
ภาพที่ 15	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (เถ้า เยื่อใย ความชื้น (%)) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O3 7 ชั่วโมงต่อวัน	38
ภาพที่ 16	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (เถ้า เยื่อใย ความชื้น (%)) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	39

ภาพที่	รายละเอียด	หน้าที่
ภาพที่ 17	ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	41
ภาพที่ 18	ปริมาณกรดไขมันโอเลอิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O3 7 ชั่วโมงต่อวัน	42
ภาพที่ 19	ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และ รุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	43
ภาพที่ 20	ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน	45

1. บทนำ

ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ผลกระทบของปัญหาสภาวะโลกร้อนอันเป็นผลต่อเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศของกลุ่มมลสารซึ่งเป็นกลุ่มก๊าซเรือนกระจก อาทิเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนตรัสออกไซด์(N_2O) มีเธน (CH_4) หรือ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) (IPCC, 2006) มีมากมายหลายประการทั้งผลกระทบทางตรงและทางอ้อม นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งซึ่งศึกษาปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 พบว่าผลกระทบที่น่าตระหนักประการหนึ่งคือ การเพิ่มระดับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศส่งผลต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปรสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์สัมผัสโดยตรง และจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบว่ามีแนวโน้มของการเพิ่มระดับความเข้มข้นต่อไปในอนาคตภายใต้สภาวะโลกร้อนซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน (Akimoto et al., 2007) และยิ่งกว่านั้นในทางกลับกันก็ยังพบว่า ก๊าซโอโซนในระดับโทรโปสเฟียร์เป็นปัจจัยเสริมที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนเช่นเดียวกัน (Mickley et al., 2004) ซึ่งแน่นอนว่าเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าทั้งระดับโทรโปรสเฟียริคโอโซนและสภาวะโลกร้อนต่างเป็นปัจจัยเสริมทั้งทางตรงและทางอ้อมซึ่งกันและกัน

ประเด็นที่น่าสนใจคือ โดยปกติระดับก๊าซโอโซนในชั้นโทรโปสเฟียร์ก็มีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มขึ้นโดยมลสารตั้งต้นในบรรยากาศ เช่น เกิดจากกลุ่มไฮโดรคาร์บอน (HC) รวมทั้งกลุ่มโฟโตเคมิคัลออกซิแดนซ์ เช่น กลุ่มออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), PAN และ กลุ่ม VOC (Sillman *et al.*, 1999; Kang *et al.*, 2004) ซึ่งความสำคัญของประเด็นนี้นั่นคือ พบว่าระดับก๊าซโอโซนในปริมาณความเข้มข้นสูงนั้นก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ สิ่งก่อสร้างต่างๆ และที่สำคัญคือส่งผลกระทบในเชิงลบต่อ พืชพรรณต่างๆโดยเฉพาะพืชทางการเกษตรที่สำคัญของโลก เนื่องจากสภาวะทางเคมีของก๊าซโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิแดนที่รุนแรงมากสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชได้โดยตรงและส่งผลกระทบในกระบวนการสรีรวิทยาหลายประการที่ส่งผลต่อเนื่อง ต่อการลดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช ลดอัตราการสังเคราะห์แสง ลดอัตราผลผลิต เกิดสารออกซิแดนท์ และแอนตี้ออกซิแดนท์ การลดปริมาณคุณภาพสารอาหารในเมล็ด (Antonielli et al., 1997; Cataldo, 2000; Craker, 1971; Ariyaphanphitak, 2005; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ คณะ, 2550) ผลการวิจัยในหลายประเทศพบว่าก๊าซโอโซนมีผลต่อการลดลงของผลิตผลจากการเกษตรเป็นพื้นที่ในบริเวณกว้างของโลกและระดับพื้นที่ เช่น ในสหรัฐอเมริกา , อังกฤษ, กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย, ประเทศ

แถบยุโรป แม้กระทั่งในเอเชีย เช่นประเทศ อินเดีย ปากีสถาน บังคลาเทศ อินโดนีเซีย และญี่ปุ่น ลดผลผลิตในพืชไร่เศรษฐกิจในหลายพื้นที่ เช่น ข้าว , ถั่วเหลือง, ข้าวสาลี, ใบยาสูบ , มันฝรั่ง, มะเขือเทศ เป็นต้น เมื่อประเมินผลเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ ในสหรัฐอเมริกาพบว่ามูลค่าความเสียหายถึง 30,000 ดอลลาร์ สหรัฐต่อปี (David et al., 1994; Reilly et al., 2007;) เมื่อพิจารณาว่าประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีพื้นที่ทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่และเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก ประกอบกับเมื่อพิจารณาจากข้อมูลจากการตรวจวัด ของกรมควบคุมมลพิษพบว่าบางช่วงเวลาของปีในพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานคร เขตปริมณฑล และบางจังหวัดซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทยมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงกว่าระดับมาตรฐานเช่นกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2008) ดังนั้นปัญหานี้จึงควรเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ควรศึกษา เนื่องด้วยสามารถส่งผลกระทบได้โดยตรงต่อระบบนิเวศเกษตรของประเทศไทยและจะส่งผลกระทบอย่างต่อเนื่องต่อระบบเศรษฐกิจของไทย

ดังนั้นในการวิจัยในครั้งนี้จึงได้เลือกพื้นที่ศึกษาในจังหวัดพิษณุโลก เนื่องด้วยจังหวัดพิษณุโลกมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนอันเนื่องมากจากการเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมในด้านอุตสาหกรรม มีการจราจรคับคั่ง จึงก่อให้เกิดการเพิ่มระดับของมลสารขั้นต้น เช่น NO_2 ที่เป็นมลสารต้นกำเนิดที่สำคัญต่อการสร้างก๊าซโอโซนในบรรยากาศ ประกอบกับในจังหวัดพิษณุโลกมีปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนให้ระดับสูงขึ้นได้อีก นั่นคืออุณหภูมิในบรรยากาศที่สูงมากตลอดทั้งปี ซึ่งปัจจัยที่เสริมกันดังกล่าวนี้ได้มีการศึกษาในสภาวการณ์ของหลายประเทศในโลกแล้วว่าพบว่าเป็นปัจจัยเร่งต่อการเพิ่มของโอโซนในบรรยากาศได้จริง และ จากข้อมูลการวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ในเขตมหาวิทยาลัยนเรศวร จากโครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 51 ของมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่า ในช่วงเดือน ปี พ.ศ. 2549-2550 ที่ผ่านมา พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ในช่วงกลางวัน ระหว่างเวลา 11.00-14.00 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 20 - 50 ppb ซึ่งเป็นระดับที่มีศักยภาพเพียงพอต่อการส่งผลกระทบในเชิงลบต่อการเติบโตของถั่วเหลืองได้จริง (Ariyaphanphitak et al., 2004; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ คณะ, 2551) และคณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าจังหวัดพิษณุโลกเป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญจังหวัดหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะถั่วเหลืองนั้น ถือว่าปลูกมากเป็นอันดับ 7 ของประเทศ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อระบบนิเวศเกษตรของพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศและเป็นประเด็นศึกษาที่สำคัญต่อสภาวะปัญหาระดับโลกที่เกิดขึ้นดังกล่าว ซึ่งปัญหานี้ย่อมส่งผลกระทบต่อประเทศไทยอย่างแน่นอนทั้งในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งคำตอบที่จะได้จากการวิจัยวิจัยจะนำไปสู่กระบวนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในระบบนิเวศเกษตรของประเทศไทยต่อไป

2. วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

เพื่อให้ทราบผลกระทบของระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อคุณภาพของโปรตีน และ ไขมัน ชนิดสำคัญในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทย

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 ในการศึกษาใช้ถั่วเหลืองหลายสายพันธุ์ที่นิยมปลูกจริงในประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ภาคเหนือ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 60

3.2ศึกษาในแปลงวิจัย คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.3การสร้างสภาวะระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นในการทดลองใช้ระบบตู้ทดลอง Open Top Chamber

3.4ปลูกถั่วเหลืองเพื่อศึกษาให้ได้ถึงรุ่นที่ 2

3.5ชนิดของกรดโปรตีนที่สำคัญเลือกวิเคราะห์ กรดอะมิโนไลซีน,

3.6ชนิดของกรดไขมันที่สำคัญเลือกวิเคราะห์

* กรดไขมันโอลิอิก
* กรดไขมันไลโนลินิก
* กรดไขมันไลโนลิอิก

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

4.1 ผลการศึกษาที่จะได้รับถือว่าเป็นความรู้ที่จะสามารถนำไปสู่การวิจัยในระดับการพัฒนาสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาวะโอโซนในบรรยากาศได้ในอนาคต

4.2 การตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ และ นำเสนอในการประชุมทางวิชาการ

4.3 หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้เผยแพร่ ได้แก่ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร กรมควบคุมมลพิษ กรมวิชาการเกษตร กองประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

5. การทบทวนวรรณกรรม

การเพิ่มขึ้นของโอโซนในยุคปัจจุบันทั้งหมดในชั้นโทรโปสเฟียร์มากกว่า 50% เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ และมีบางส่วนเกิดจากธรรมชาติ (Sagar and William, 1988) โอโซนในระดับชั้นโทรโปสเฟียร์ เกิดมาจากปฏิกิริยาเคมีซึ่งมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (photochemical reaction) โดยมีผลมาจากปฏิกิริยาต่อเนื่องมาจากมลสารตั้งต้น เช่น กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ กลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีเธน ไนโตรเจนไดออกไซด์ จะทำปฏิกิริยาโฟโตเคิคัลออกซิแดนท์ และส่งผลต่อการเกิดก๊าซโอโซนได้เช่นเดียวกัน จากการศึกษาของ Kang *et al.* (2004) ซึ่งได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง กลุ่มไอระเหยของสารอินทรีย์ (VOCs) กับ กลุ่มออกไซด์ของไนโตรเจน (No_x)และ การเกิดขึ้นของก๊าซ โอโซน (O_3) พบว่า กลุ่มไอระเหยของสารอินทรีย์ (VOCs) มีส่วนทำให้เกิดของก๊าซโอโซน (O_3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้น นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งของประเทศญี่ปุ่น (Japan Aerospace Exploration Agency) ซึ่งศึกษาปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลกตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 โดยโมเดลจำลองด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก และ ด้านการศึกษาที่เกี่ยวข้องสภาวะโลกร้อน หลาย ๆรูปแบบผสมผสานกันคือ FRSGC (Frontier Research System for Global Change), chemical climate model (CHASER), Center of Climate System Research (CCSR), (National Institute for Environmental Studies (NIE) ได้พบว่าผลที่คำนวณได้บ่งชี้ว่า การเพิ่มระดับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศส่งผลต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปรสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์สัมผัสโดยตรง และจะมีระดับเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคตภายใต้สภาวะโลกร้อนที่มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Akimoto et al., 2007) แต่ขณะเดียวกัน พบว่า โอโซนถือว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีผลทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้นเช่นกัน จากการศึกษาของ Mickley et al. (2004) ซึ่งใช้แบบจำลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกับการเพิ่มขึ้นของระดับโทรโปสเฟียริคโอโซนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้นประมาณ 0.2 และ องศาเซลเซียสจากการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซน ในชั้นโทโปสเฟียร์ โดยปกติในอากาศบริสุทธิ์จะมีโอโซนประมาณ 20ppb หรือโดยเฉลี่ยในอากาศทั่วไปประมาณ 20-60 ppb และใน ปัญหาของก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปสเฟียร์ในสภาวการณ์โลกในปัจจุบันคือ การเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนเกินกว่าสภาวะปกติ และสูงกว่ามาตรฐานความเข้มข้นต่อสุขภาพมนุษย์ซึ่งกำหนดโดย WHO ว่า ไม่เกิน 0.1 ppm (100 ppb หรือ 200 ug/m3)1hr/day (Ralph, 1998) ได้มีการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องและระยะเวลาหลายปีพบว่าในหลายประเทศมีระดับโอโซนสูงเกินระดับมาตรฐานสำหรับสุขภาพมนุษย์ เช่น ในรายงาน สถานการณ์โอโซนของ Muhammad (1996)

พบว่า ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ บางช่วงเวลาในปี 1988 ระดับโอโซนสูงสุดถึง 72 ppb ส่วนกรุงไคโรประเทศอียิปต์ พบว่าในปีค .ศ.1979ระดับโอโซนสูงสุดถึงระดับ 100-200 nl/l และเพิ่มขึ้นถึงระดับ 500 nl/l ในปีค.ศ. 1989 และในสหรัฐอเมริกา และแคนาดา ในช่วงปี ค.ศ. 1985-1987 พบว่ามีระดับโอโซนเกินระดับ 0.12 ppm และข้อมูลในลอสแองเจลสิส ในปี 1990 ระดับโอโซนสูงสุดวัดได้ถึงระดับ 0.33 ppm และ ในเม็กซิโก ในปี 1989 ระดับความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 0.1 ppm (McCurdy, 1994)

สำหรับในเอเชียมีการศึกษาในหลายประเทศพบว่าระดับโอโซนเพิ่มขึ้นในหลายๆ พื้นที่เช่นกัน และ สภาวะความเข้มข้นโดยเฉลี่ยพบว่าอยู่ในระดับที่สูง โดยเฉพาะเมืองสำคัญเช่น เมืองโตเกียวประเทศญี่ปุ่น ช่วงปี ค .ศ. 1968-1970 ระดับความเข้มข้นของโอโซนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.035-0.045 ppm (Muhammad ,1996) ประเทศอินโดนีเซียได้มีการศึกษาระดับความเข้มข้นของโอโซนในชั้นโทรโปสเฟียร์ ช่วงระหว่าง เดือนพฤศจิกายน 1992- เดือน มิถุนายน 1994 พบว่าที่เมือง Bandung ระดับโอโซนสูงสุด มีค่า 60-70 ppb และ ค่าเฉลี่ย 35 ppb และเมือง Watukosek ค่าโอโซนเฉลี่ยสูงสุด 60-70 ppb (Ninong et al, 1995)

ความรุนแรงทางปฏิกิริยาเคมีของโอโซนไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์แต่ยังผลกระทบของโอโซนมีผลทางลบต่อผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ต่างๆของโลก อาทิเช่น กรุงเดลฮี ประเทศอินเดีย ช่วงปีค.ศ. 1990-1992 ได้มีรายงานจาก Varshney และ Rout (1998) ว่าความเข้มข้นของระดับโอโซนสะสมในช่วง 20-273 µg/m3 พบว่าระดับสูงสุดนั้นเกินมาตรฐานของ WHO และพบการสูญเสียพืชผลทางการเกษตรซึ่งเกิดจากมลพิษทางอากาศนั้นเป็นผลมาจากโอโซนถึง 90 % ของการสูญเสียทั้งหมด เช่นใบมะเขือเทศได้พบว่ามีรอยด่างซึ่งก่อให้เกิดการลดลงของผลผลิตในบริเวณกว้างอันเป็นผลจากพิษของโอโซน

ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อพืชนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ แม้ในระดับความเข้มข้นไม่เกินมาตรฐานของ WHO ก็สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืชได้ เช่น ในระดับความเข้มข้นของโอโซน 50 ppb ในเวลาเพียง 3 ชั่วโมงใน 1วัน ก็สามารถก่อให้เกิดอาการที่มองเห็นได้ชัดเจนบนใบยาสูบได้ ต้นสนบางชนิด (Eastern white pine) แสดงอาการชัดเจนเมื่อได้รับโอโซนในระดับความเข้มข้น 70 ppb ในเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน และ ponderosa pine needles แสดงอาการเมื่อได้รับโอโซนในระดับ 50-60 ppb ในเวลา 24 ชั่วโมง (Sagar and William, 1988) และความสอดคล้องกันนี้ยังพบในการศึกษาในพืชประเภทมีฝักซึ่งใช้เลี้ยงสัตว์ (alfalfa) โดยพบว่าระดับโอโซนเพียง 0.03 ppm ในเวลา 4-8 ชั่วโมงต่อวันก็สามารถก่อให้เกิดการหยุดยั้งการเติบโตของ พืชประเภทนี้ได้ (Kenneth and Cecil, 1981) ลักษณะผลกระทบของโอโซนต่อพืชนั้น ก่อให้เกิดในลักษณะ 2 รูปแบบคือลักษณะเฉียบพลัน (acute) ซึ่งปรากฏอาการให้เห็นออกมาอย่างชัดเจน กับอีกลักษณะคือ อาการเรื้อรัง (chronic) ซึ่ง

ปรากฏในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต หรือมีผลต่อผลผลิตทางชีวภาพของพืชนั่นเองโดยโอโซนสามารถแพร่ผ่านช่องว่างของปากใบ และลักษณะทางเคมีของโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิแดนท์อย่างแรงจึงเข้าไปทำปฏิกิริยากับเซลล์ต่างๆ ในใบพืชเช่นทำปฏิกิริยากับกลุ่มไขมันของชั้นเซลล์ยาวในใบพืช (palisade mesophyll cell) จนก่อให้เกิดอาการที่มองเห็นได้ชัดเจนที่ใบพืช

การศึกษาผลกระทบของระดับโทรโปรสเฟียริคโอโซนในระดับชั้นบรรยากาศนั้นเริ่มมีการศึกษาตั้งแต่ปี ค .ศ. 1944 โดยเริ่มมีการศึกษาในพืชในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของลอสแองเจลสิส โดยการศึกษาร่วมกับก๊าซมลพิษชนิดอื่นๆด้วย มีรายงานพบว่าในหลายๆประเทศพืชเศรษฐกิจสำคัญทางการเกษตรได้รับผลกระทบจากโอโซน เช่น ข้าว , ถั่วเหลือง, หอมใหญ่ , มันฝรั่ง, ผักขม, ใบยาสูบ, ฟักทอง ซึ่งพบว่าลักษณะที่ปรากฏ บนใบพืชเหล่านั้นมีตั้งแต่ รอยด่างหรือรอยจุด สีต่างๆ เช่น น้ำตาล เหลือง ขาว บรอนซ์ และรวมทั้งอาการของใบยุบตัว (necrotic) ใบเหี่ยว พับงอ ซึ่งช่วงอายุของพืชที่เกิดอาการนั้น เริ่มได้ตั้งแต่ช่วงที่พืชยังเป็นต้นอ่อน จน ถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต (Manning และ Feder, 1976)

ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อด้านสรีรวิทยานั้น ได้มีการศึกษาเป็นเวลานานแล้วพบว่าเมื่อโอโซนแพร่เข้าสู่ปากใบและจะทำปฏิกิริยาต่อการเปิดปิดปากใบของพืชเพื่อลดผลกระทบของโอโซนที่เกิดขึ้น (Darrall, 1989) โดยปกติถ้าพืชไม่สามารถสร้างกลไกเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้นั้น โอโซนจะทำปฏิกิริยาและก่อให้เกิดความเสียหายในระดับ เซลล์ เช่น ทำลาย membranes, cytoplasm, pigment (Antonielli et al., 1997) ผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้น จะส่งผลต่อการลดอัตราการสังเคราะห์แสง ลดอัตราการเจริญเติบโต ลดอัตราผลผลิต จนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงสายพันธุ์ เนื่องจากมีการศึกษาถึงระดับโอโซนที่สามารถก่อให้เกิดการผลผลิต active oxygen species ใน appoplast ของ mesophyll cell ของพืชนั่นเองซึ่งทำให้เกิดการทำลายในระดับต่างๆ (Cataldo, 2000) เช่นการศึกษาของ Craker (1971) พบว่าสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พืชซึ่งสัมผัสกับโอโซนและมีผลในการทำลายเซลล์ในใบพืชนั้นมาจาก การเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิต ethylene ในใบนั่นเอง

การตอบสนองของพืชแต่ละชนิดที่มีต่อโอโซนมีระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และปัจจัยทางสภาพแวดล้อมประกอบกันซึ่งทำให้มีการศึกษาวิจัย เพื่อจำแนกสายพันธุ์ที่ทนทานต่อโอโซน (tolerant genotype) และ สายพันธุ์ที่ไวต่อการตอบสนองโอโซนในทางลบ (sensitive genotype) (Wellburn and Wellburn, 1996) ผลการศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อระดับพันธุกรรมนั้นได้มีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่อง เช่น การศึกษาระดับสาร antioxidant metabolite ที่มีต่อ โอโซน ในถั่ว (snap bean) ซึ่งการศึกษาในระดับ genotype นั้นพบว่า ในสายพันธุ์ซึ่ง genotype ที่ทนทานต่อโอโซนนั้นมีการผลิต antioxidant ในระดับที่สูง อย่างเห็นได้ชัด

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า genotype ที่แตกต่างกันของสายพันธุ์นั้นมีการตอบสนองต่อโอโซนในระดับที่แตกต่างกัน (Burkey et al., 2000) พบว่ากลไกการป้องกันตัวเองของพืชที่มีต่อโอโซนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ ในกลไกที่เรียกว่า ozone detoxification mechanism (Runeckles and Chevone, 1992) โดยพบว่าสารหลักที่สามารถก่อให้เกิดกลไกการป้องกันตัวเองในโอโซนนั้น คือ ascorbic acid, glutathione α-tocopherol (vitamin E) ซึ่งระดับปฏิกิริยาการต่อต้านโอโซนหรือลดผลกระทบของโอโซนนั้น ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิดด้วย (Niyogi, 1999)

ผลการศึกษาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลในเชิงกลไกทางสรีรวิทยา เนื่องด้วยโอโซนส่งผลต่อการทำลาย ผนังเซลล์ ทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ ซึ่งส่งผลต่อเนื่อง ต่อการการลดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชที่สัมผัส นอกจากนั้นยังส่งผลต่อการลดการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากกระบวนการผลิตอาหารและพลังงานลดลง จนกระทั่งส่งผลต่อการลดคาร์โบไฮเดรตและผลผลิตอันเนื่องมาจากการลดการสะสมสารอาหารและพลังงานของพืชอย่างต่อเนื่องนั่นเอง นอกจากนั้นก๊าซโอโซนยังมีผลกระทบที่ก่อให้เกิดการลดพื้นที่ใบ เกิดอาการใบแก่และร่วงก่อนกำหนดอีกด้วย (Darrall, 1989; Pleijej et al.,1999) ซึ่งผลจากการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงและส่งผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์พื้นที่ใบลดลง (Pleijej et al.,1999) .

การพิจารณาประเด็นของผลกระทบของโอโซนที่มีต่อการลดปริมาณของสารอาหารบางประการในระยะการสะสมสารอาหาร เช่น ปริมาณโปรตีน วิตามิน เอ และวิตามิน บี 1 สามารถอธิบายโดยอาศัยข้อมูลทางวิชาการของ Ribas et al. (1998) ซึ่งได้อธิบายเหตุผลดังนี้ เมื่อเซลล์พืชได้รับความเสียหายจากก๊าซโอโซน ได้แก่ palisade parenchyma cells ต่อมาจะเกิดความเสียหายที่ mesophyll cell (ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บที่ใบจากปริมาณของก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้น คือ การเปลี่ยนแปลง permeability ของ plasma membrane เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Oxidation ของโปรตีนที่มี sulfphydryl group ที่เป็นองค์ประกอบ

ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเมื่อโอโซนแพร่เข้าสู่เซลล์พืชทางปากใบซึ่งจะทำให้เกิด ROS (Reactive Oxygen Species) คือ O_2^-, H_2O_2 และ HO^- โดย O_2^- และH_2O_2 และ สารกลุ่ม ROS ที่เกิดขึ้นเนื่องจากจากทำปฏิกิริยาในเชิงลบต่อพืช ดังนั้นกลไกการป้องกันตัวเองของพืชทำการกำจัดด้วยสารแอนติออกซิเดนท์จำพวก SOD (Superoxide dismultase) และ APX (ascorbate peroxidase) บริเวณคลอโรพลาสต์และ ไมโตครอนเดีย ซึ่งเป็นสารแอนติออกซิเดนท์จำพวกเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์บางชนิดลดลง นอกจากนั้น ROS อีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูง คือ HO^- ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้อีกทั้งยังเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา peroxidation กับไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์รวมทั้งทำให้เกิดการทำลาย DNA และทำให้เอนไซม์บางชนิดไม่สามารถทำงานได้ และมีผลกะทบต่อกรดอะมิโนบางชนิด เช่น

Methione, Tryptophan (Chen and Pan, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Calatayud (2001) ที่ศึกษาระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นจาก ระดับธรรมชาติ ผลการศึกษาพบว่า โอโซนมีผลทำในเชิงลบต่อ enzyme superoxide –ของมัน (*Lycopersicon esculentum* Mill.cv.Tiny Tim) ซึ่งการลดลงของโปรตีนนั้นเกิดจากกลไกการต่อต้าน ROS ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลต่อการทำลายโปรตีนในเมล็ดถั่ว โดยเกิดกับกรดอะมิโน, พันธะเปปไทด์ และการเปลี่ยนแปลงเพื่อลดผลกระทบของก๊าซโอโซนทำให้โครงสร้างของกรดอะมิโน Methione และ Tryptophan เปลี่ยนแปลงไม่เกิดเป็นกรดอะมิโนนั้น ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนที่เป็นสารอาหารหลักของถั่วเหลือง นอกจากนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันยังทำให้เกิดการแตกตัวของอนุมูลเข้าสู่ DNA ทำให้เกิดความเสียหาย เกิดมิวเตชันในส่วนของน้ำตาลและเบสที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อสาย DNA โดยมี $HO^{\cdot}$ เกิดที่ DNA แทน (Mckersie, 1996)

โดยธรรมชาติของถั่วเหลืองจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือเป็นแหล่งโปรตีน และพืชน้ำมัน โดยจะมีการแข่งขันในการสร้างสารอาหารทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่งถ้าสารใดถูกทำลายไปหรือสร้างได้น้อยลงจะทำให้สารอาหารอีกตัวหนึ่งเด่นชัดขึ้นมา ซึ่งผลการศึกษาแตกต่างจากการศึกษาของ Senaratna et al. (1985) ที่ศึกษาโดยใช้เนื้อเยื่อไมโครโซมอลของเมล็ดถั่วเหลือง โดยการใช้ซุปเปอร์ออกไซด์จากแซนทีนออกซิเดส (Xanthine Oxidase) พบว่าปฏิกิริยาเกิดกับไขมันอิ่มตัวและฟอสฟอลิปิดทั่วๆ ไป จึงทำให้เกิดความเสียหายต่อปริมาณไขมัน แต่ในทางพืชแล้วเมื่อปริมาณโปรตีนในพืชมีปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ไขมันมีปริมาณลดลง ในทางกลับกันถ้าโปรตีนลดลง ก็จะส่งผลทำให้ไขมันเพิ่มขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กณิตา และ คณะ (2551) ที่พบผลการศึกษาในลักษณะดังกล่าวในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 แต่ในการศึกษายังเป็นเพียงการวิจัยในโปรตีนและไขมันรวม

การศึกษาเพื่อตรวจสอบสภาวะของโอโซนในระดับต่างที่มีผลกระทบต่อพืชทั้งทางด้านสรีระวิทยาและผลผลิตทางชีวภาพโดยการศึกษานั้นมีทั้งการศึกษาในพื้นที่การเพาะปลูกจริง ได้มีการรายงานมาอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น ในปี ค .ศ. 1973 Heagle และคณะ ได้พัฒนาการทดลองผลกระทบของโอโซนต่อพืชโดยการควบคุมตัวแปรการทดลองได้ดีขึ้นโดยสร้างห้องทดลองรูปทรงกระบอกระบบเปิดด้านบน (open top chamber) โดยพ่นอากาศผ่านชั้นกรองก๊าซมลพิษโดยใช้ถ่านคาร์บอน(charcoal filtered) ซึ่งสามารถกรองโอโซนได้ประมาณ 60-70% และชั้นกรองฝุ่น ผ่านอากาศจากด้านล่างสู่ด้านบนซึ่งเป็นระบบเปิดหลังคา วิธีนี้สามารถแก้ปัญหาการเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องทดลองได้ และเป็นวิธีที่แพร่หลายในการใช้ทดลองในหลายๆองค์กร เช่น U.S. Environment Protection Agency(EPA) และ National Crop Loss

Assessment Network (NCLAN) โดยNCLAN ได้พัฒนาการทดลองเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโอโซนที่มีผลกระทบต่อพืชเศรษฐกิจหลายๆชนิด โดยใช้โอโซนระดับ 25 ppb ซึ่งเป็นระดับเฉลี่ยในธรรมชาติเปรียบเทียบกับ ระดับซึ่งควบคุมในห้องทดลอง (Walter et al., 1984)

ห้องทดลองระบบปิดด้านบนได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการทดลองอย่างแพร่หลายเช่นในการทดลองของ Fuhrer et al (1989) ได้ใช้ห้องทดลองชนิดนี้ รูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร และสูง 1.8 เมตรเพื่อประเมินผลกระทบของโอโซนที่มีต่อข้าวสาลี (Triticum aestivum L., cv. Albis) โดยใช้ห้องทดลองครอบข้าวสาลีโดยแต่ละห้องทดลองควบคุมระดับโอโซนให้แตกต่างกันโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวกรองโอโซน ในบางห้องทดลอง ระดับโอโซนที่พืชได้รับมีตั้งแต่ 16-22 ppb , 36-39 ppb, 57-58 ppb และ 78-90 ppb พบว่าระดับ โอโซนที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบในเชิงลบทั้งต่อขนาดและจำนวนเมล็ด

ในประเทศแถบเอเชียได้มีงานวิจัยเพื่อประเมินผลกระทบของโอโซนต่อพืชเศรษฐกิจทางการเกษตรหลายชนิดเช่นกัน อาทิเช่น ในประเทศญี่ปุ่น Kobayashi และ Okada (1995) ศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้แสงในใบข้าวพันธุ์ Koshi-hikari และ Nippom-bare ในช่วงปี ค.ศ. 1987-1989 โดยการควบคุมโอโซน 6 ระดับในห้องทดลองกลางแจ้งและวัดการดูดกลืนแสงบริเวณเหนือใบและใต้ใบ พบว่าประสิทธิภาพของการใช้แสงในใบข้าวลดลงในช่วงหลังการปักดำอันเป็นผลมาจากการได้รับโอโซน

ประเทศปากีสถานได้มีการศึกษาผลกระทบต่อข้าวพันธุ์ Basmati-385 และ IRRI-6 โดย Wahid et al. (1995) ในปี ค .ศ. 1992 โดยใช้ห้องควบคุมระบบเปิดด้านบนในพื้นที่เพาะปลูก โดยการเปรียบเทียบชุดทดลองระหว่างชุดที่กรองโอโซนโดยใช้ถ่านกัมมันต์ , ชุดทดลองซึ่งไม่มีถ่านกัมมันต์ และ ชุดทดลอง ซึ่งอยู่นอกห้องทดลอง พบว่าในชุดการทดลองซึ่งไม่มีถ่านกัมมันต์กรองโอโซนนั้น จำนวนการแตกหน่อลดลงถึง 32 % ในข้าวพันธุ์ Basmati-385 และลดลง 27 % ในข้าวพันธุ์ IRRI-6 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองซึ่งได้รับการกรองโอโซนโดยถ่านกัมมันต์ และน้ำหนักแห้งของเมล็ดของข้าวพันธุ์ Basmati-385 ลดลง ถึง 42% และ 37% ของข้าวพันธุ์IRRI-6 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีการกรองโอโซน

พืชเศรษฐกิจทางการเกษตรที่สำคัญในประเทศมีหลายชนิด เช่น ข้าว ถั่วเหลือง ข้าวโพด ถือเป็นพืชอาหารหลัก และเป็นสินค้าหลัก สร้างรายได้ให้กับประเทศมาเป็นเวลานานมีบทบาทสำคัญทั้งทางเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ มาตลอดระยะเวลา มากกว่า 50 ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งถั่วเหลืองซึ่งจากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2548) ระบุว่า ในปีพ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกถั่วเหลืองมากถึง 1,435,801 ตัน รวมเป็นมูลค่าการส่งออกถึง 18,952.54 ล้านบาท

การศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดถั่วเหลืองได้ดำเนินการศึกษาในหลายๆประเทศ เนื่องจากถั่วเหลืองจัดเป็นพืชที่มีความไวต่อการรับผลกระทบจากโอโซน (Miller et al, 1994) มีการศึกษาพบว่าผลผลิตของถั่วเหลืองโดยทั่วไปลดลง ประมาณ 10% ที่ระดับความเข้มข้นของโอโซน 50 ppb (Heagle, 1989) Wang และ Mauzerall (2004) ได้ประเมินผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของโอโซนที่มีต่อการลดลงของผลผลิตของถั่วเหลืองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษา จากการศึกษาบ่งชี้ว่า ในปี ค.ศ. 1990 ประเทศจีน, ญี่ปุ่น และ เกาหลี ได้สูญเสียผลผลิตของถั่วเหลืองไปเป็นปริมาณถึง 23-27% โดยคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 0.24 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และได้ประเมินผลกระทบในปี ค.ศ. 2020 ไว้ว่าการลดลงของถั่วเหลือง จะเพิ่มขึ้นเป็น 28-35% และมีการสูญเสียทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นกว่าปี 1990 ถึง 67%

Ariyaphanphitak et al. (2004) ได้ศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อข้าว 8 สายพันธุ์ และถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และ สจ. 4 โดยศึกษาใน ห้องทดลองระบบปิดโดยควบคุมการระบายอากาศโดยพัดลมดูดอากาศพบว่า โดยควบคุมระดับโอโซนโดย Program Delphi ที่ระดับ 50 ppb, 100 ppb, 150 ppb พบว่าอัตราผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน โดยเปอร์เซนต์ของการลดลงเพิ่มขึ้นตามระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นจริง และพบผลเช่นเดียวกันในข้าว ทั้ง 8 สายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของกณิตา ธนเจริญชณภาส และ คณะ (2551) ได้ศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 พบว่าผลกระทบของโอโซนในระดับที่สูงกว่าธรรมชาติส่งผลทำให้ผลผลิตลดลงจริง และนอกจากนั้นยังพบว่าทำให้ ความชื้น เถ้า เยื่อใยลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองลดลง 27-28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่ส่งผลทำให้ปริมาณไขมันรวมเพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาในครั้งนี้เลือกวิจัยในถั่วเหลือง เนื่องด้วยประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ที่มีถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ มีปริมาณมากถึง 200,000 ตันในปี ค .ศ. 1990-1991 (Chainuvati et al, 1997) ข้อมูลในปี 2547/48 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองเป็นเนื้อที่ 1.01 ล้านไร่ ผลผลิตรวม 2.40 แสนตัน ผลผลิตเฉลี่ย 237 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) ความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของถั่วเหลืองในยุคปัจจุบันของไทยอยู่ที่การขยายตัวของวงการปศุสัตว์ ซึ่งถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตอาหารเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะการเลี้ยงไก่เนื้อเพื่อการส่งออก ซึ่งเริ่มมีความสำคัญมาตั้งแต่ปี 2525 ทำให้ต้องมีการนำเข้าทั้งกาก และเมล็ดถั่วเหลืองจำนวนมากเพื่อนำมาผลิตเป็นอาหารสัตว์โดยในช่วงปี 2531-2535 นำเข้ากากและเมล็ดถั่วเหลืองรวมกันเป็นเงินปีละประมาณ 2,500 ล้านบาท และการนำเข้าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจนถึงปี 2547 มีการนำเข้าจำนวน 1.26 ล้านตัน และ 1.43 ล้านตัน ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 34,800 ล้านบาท (กรมการค้าภายใน, 2548) นอกจากนั้นถั่วเหลืองจัดเป็นพืชเศรษฐกิจตระกูลถั่ว

ที่สำคัญของประเทศไทย โดยเป็นสินค้าเกษตรหลัก 1 ใน 12 ชนิดของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ แหล่งผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบันได้กระจายไปทุกภาคของประเทศไทย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2544/2545 แหล่งผลิตถั่วเหลืองที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในภาคเหนือ พบว่าภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 1 ,030,549 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 69.66 รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 17.31, 11.73 และ1.3 ตามลำดับ ข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปี พ.ศ. 2543-2544 พบว่าจังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดที่มีการปลูกถั่วเหลืองมากที่สุดในประเทศไทยเป็นอันดับที่ 7 โดยมีพื้นที่เพราะปลูกถั่วเหลืองถึง 7 หมื่นไร่ให้ผลผลิต 17,750 ตัน โดยมีจังหวัดสุโขทัยเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ในการเพาะปลูกถั่วเหลืองเป็นอันดับ 1

พันธุ์ถั่วเหลืองที่นิยมปลูกในประเทศไทยที่ใช้ปลูกมีหลายพันธุ์ อาทิเช่น เชียงใหม่ 60, สจ.5, สจ.4, สุโขทัย 2, ทวี 9, สุโขทัย 1, สจ.2, เชียงใหม่ 2 และราชมงคล 1 (สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2544/45) ซึ่งพันธุ์เชียงใหม่ 60 นับว่าเป็นพันธุ์หนึ่งในอันดับต้นๆที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในขณะนี้ เป็นที่นิยมปลูกในภาคเหนือมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดพิษณุโลกดังนั้นในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความต้องการที่แท้จริง

แม้ในปัจจุบันพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง และผลผลิตได้ลดลง จากการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านต่างๆ แต่ก็ยังถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจและยังมีบทบาทสูงต่อประเทศ และขณะเดียวกันจากข้อมูลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนจากกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี พ .ศ. 2539-2548 พบว่าค่าเฉลี่ยในหลายๆพื้นที่ อยู่ในช่วงประมาณ 20-30 ppb และข้อมูลในช่วงปัจจุบันตรวจพบว่าหลายๆสถานีตรวจวัดทั้งในกรุงเทพฯ และปริมณฑลในบางช่วงของปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตตัวเมืองที่มีกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรม และมียวดยาน ค่าความเข้มข้นโอโซนสูงเกินมาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2544; กรมควบคุมมลพิษ, 2551) และ ข้อมูลในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกในช่วงปี 2549-2550 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 20-50 ppb (กณิตา และ คณะ, 2551)

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาถึงปัญหาของมลพิษจากโอโซนในสภาวะที่สามารถเกิดขึ้นได้จริงตามสภาวการณ์โลกร้อนที่มีผลกระทบต่อโปรตีนและไขมันชนิดสำคัญในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทย จึงเป็นสถานการณ์ที่สมควรศึกษาอย่างเร่งด่วนเพื่อตรวจสอบเนื่องจากสารอาหารที่สำคัญและจำเป็นในถั่วเหลืองถือว่าเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของผลผลิตถั่วเหลืองที่ดีที่สุด และเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินสถานการณ์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีต่อทรัพยากรทางด้านการเกษตร เพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศโลก เพื่อให้ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดในเบื้องต้นนี้สามารถเป็นส่วนหนึ่งของการรองรับปัญหาสภาวะโอโซนในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นและมีผลกระทบต่อระบบนิเวศเกษตร ที่สามารถเกิดขึ้นได้จริงในประเทศไทย

6. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการตามขอบเขตของการใช้พื้นที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีดำเนินการดังนี้

6.1 สถานที่วิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้พื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในแปลงทดลองทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ. พิษณุโลก ซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูด 16 องศาเหนือ 44.003 ลิปดา และลองติจูด 100 องศาตะวันออก 11.810 ลิปดา พื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 48 เมตร โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลทางสรีรวิทยาบางประการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

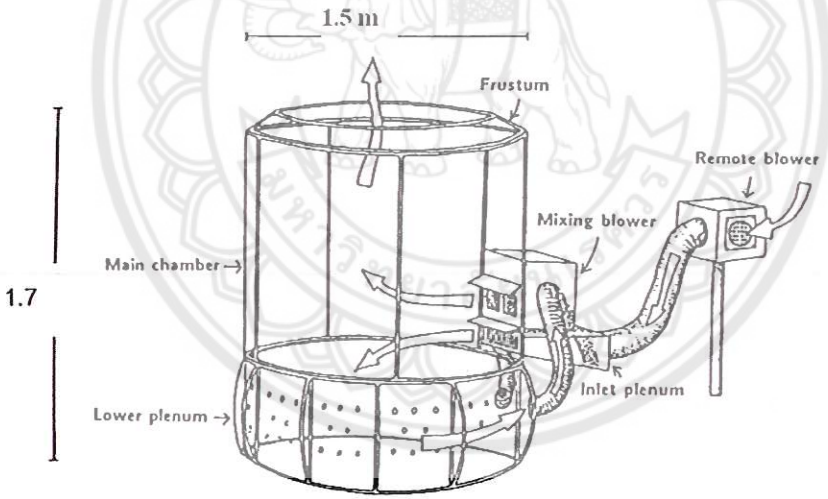
6.2 พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการวิจัย

ถั่วเหลืองไทย (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชไร่ที่เลือกใช้สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากเป็นพืชตระกูลถั่วที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูงมาก และผู้วิจัยได้ตัดสินเลือกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์เดียวสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่ให้ผลผลิตและคุณค่าทางด้านสารอาหารสูง คือ มีโปรตีน 43.8 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 280-350 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่นของสายพันธุ์คือ ทนทานต่อโรคราสนิม โรคใบด่าง และไวรัสใบด่าง และนิยมปลูกในภาคเหนือตอนล่างมากที่สุด โดยเฉพาะจังหวัดพิษณุโลก (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

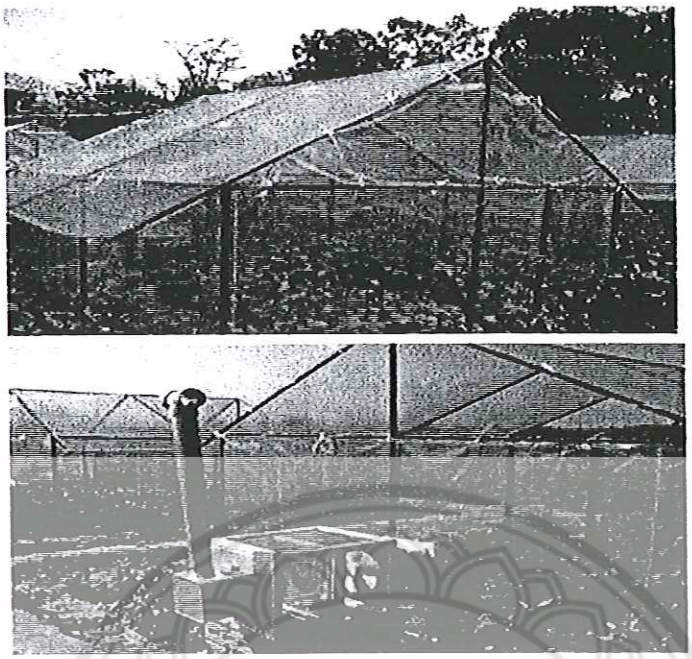
6.3 การควบคุมสภาวะจำลองความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง

(1) การสร้างห้องทดลองและการควบคุมสิ่งแวดล้อมในตู้ทดลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ปฏิบัติการในแปลงพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยปลูกในห้องทดลองกลางแจ้งซึ่งใช้สำหรับการควบคุมความเข้มข้นโอโซนเพื่อสร้างสภาวะจำลอง โดยการสร้าง Open top chamber (ห้องทดลองระบบเปิดด้านบน) ซึ่งประยุกต์และดัดแปลงมาจาก Drake et al.(1989) (ภาพที่ 1) ซึ่งคลุมด้วยพลาสติกใสดัดแปลงเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ความกว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2 เมตร มีช่องว่างเปิดด้านบน และมีหลังคาหุ้มด้วยพลาสติกใสเพื่อกันน้ำฝน (ภาพที่ 2) เพื่อปลูกถั่วเหลืองและควบคุมระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในระดับที่กำหนด ซึ่งมีขนาดเท่ากันทั้งหมด คือ 9 ห้องทดลอง สำหรับระดับความเข้มข้นโอโซน 3 ระดับ เพื่อปลูกถั่วเหลือง 1 พันธุ์ จำนวน 3 ซ้ำ ในพื้นที่



ภาพที่1 ภาพห้องทดลองระบบเปิดด้านบน (Open-top field chamber) ซึ่งเป็นห้องทดลองในการวิจัยของ Drake et al.(1989) ซึ่งแสดงให้เห็นระบบการส่งผ่านอากาศและการเข้าและออกจาก ห้องทดลองและการกระจายตัวของอากาศในห้องทดลอง



ภาพที่2 ภาพห้องทดลองระบบเปิดด้านบน (Open-top field chamber) ซึ่งเป็นห้องทดลองรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งดัดแปลงมาจาก การวิจัยของ Drake et al.(1989) ซึ่งแสดงให้เห็นระบบการส่งผ่านอากาศและการเข้าและออกจาก ห้องทดลองและการกระจายตัวของอากาศในห้องทดลอง

(2) การควบคุมอากาศและลดอุณหภูมิในห้องทดลอง

การกระจายของโอโซนและการลดอุณหภูมิในห้องทดลองให้กระจายได้อย่างทั่วถึงนั้น ดำเนินการโดยการติดพัดลมบริเวณมุมด้านล่างของด้านหน้าห้องทดลองเพื่อดูดอากาศเข้า บริเวณด้านหน้าของพัดลมดูดอากาศเข้าอากาศที่ดูดเข้าจะผ่านแผ่นกรองก๊าซโอโซนและก๊าซมลพิษอื่นๆโดยใช้ถ่านกัมมันต์ เป็นตัวกรอง และผ่านแผ่นกรองฝุ่นอีก 1 ชั้น (ห้องทดลองซึ่งเป็นกลุ่ม control จะใช้เพียงแผ่นกรองฝุ่นเท่านั้น) ประกอบกับลักษณะ Open top chamber เป็นทรงกระบอกดังนั้นจึงมีส่วนช่วยเป็นอย่างมากต่อการหมุนเวียนอากาศใน Open top chamber

(3) การควบคุมระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในห้องทดลอง

ห้องทดลองซึ่งต้องการควบคุมปริมาณโอโซนทำโดยการติดตั้งเครื่องผลิตก๊าซโอโซน(ozone generator) ซึ่งมีกำลังผลิต 300 mg/hr บริเวณด้านหน้าห้องทดลอง การควบคุมปริมาณก๊าซทำได้โดยการดึงอากาศผ่านท่อที่ระดับความสูง 1 เมตร ให้อากาศผ่านแผ่นกรองถ่านกัมมันต์(charcoal-filtered ซึ่งเป็นแผ่นกรอง มลสารต่างๆ รวมทั้งโอโซน)เข้าไปใน ตู้ทดลอง ซึ่งในตู้ทดลองจะเปิดเครื่อง ozone generator โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับระดับโอโซนเพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซน และควบคุมเพื่อให้มีระดับที่ต้องการ

3.1 ห้องทดลองที่ไม่มี charcoal-filtered (non- charcoal filtered air) (NCF)

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้ เท่ากับสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยไม่ไม่การดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal

3.2 ห้องทดลองที่มี charcoal-filtered (charcoal filtered air) (CF)

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้จะมีระดับน้อยกว่าสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยผ่านระบบการดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal

3.3 ห้องทดลองที่ มี charcoal-filtered และพ่นโอโซนด้วย ozone generator

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้จะมีระดับสูงกว่าสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยผ่านระบบการดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal และได้รับก๊าซโอโซนในระดับ ที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ (charcoal filtered air + ozone) (CF^{+o3})

เหตุผลที่ต้องดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal เนื่องจากเป็นการควบคุมตัวแปรมลสารทางอากาศชนิดอื่นๆ เพื่อให้แน่ใจว่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากก๊าซโอโซนจริง

6. 4 การปลูกถั่วเหลืองและ การวางแผนการทดลอง

1) การศึกษาจะทำการพ่นโอโซนและควบคุมระดับโอโซนที่กำหนด ในแต่ละห้องทดลอง 7 ชั่งโมงต่อวัน ตั้งแต่ 09.00-16.00 น.ตามสภาพความเป็นจริงที่ระดับก๊าซโอโซนจะมีปริมาณสูงในช่วงเวลากลางวัน

2) การศึกษาถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยการปลูกบนแปลงปลูก กว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร โดยเริ่มตั้งแต่การเพาะเลี้ยงต้นกล้าให้มีใบแรกสูงประมาณ 3 เซนติเมตรจากนั้นย้ายปลูกในพื้นที่แปลงทดลองซึ่งจะถูกครอบด้วย open top chamber เริ่มพ่นโอโซนในวันที่ 3 หลังจากย้ายปลูก ตลอดจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว

3) การปลูกใช้แผนการทดลองแบบ Random Completed Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ของแต่ละสายพันธุ์

4) การปลูกถั่วเหลืองจะปลูกเพื่อให้ได้ผล ในรุ่นที่ 2 นั่นคือ จะต้องทำปลูก 2 ครั้ง

พันธุ์รุ่นพ่อแม่ ⟶ ปลูกครั้งที่ 1 (เพื่อให้ผ่านการสัมผัสโอโซนครั้งที่ 1) ⟶ ได้รุ่นที่ 1

เมล็ดพันธุ์รุ่นที่ 1 ⟶ ปลูกครั้งที่ 2 (ผ่านการสัมผัสโอโซนครั้งที่ 2) ⟶ ได้รุ่นที่ 2

เพื่อเป็นการวิเคราะห์ผลของถั่วเหลืองที่ได้รับโอโซนในระยะเวลานานรุ่นต่อรุ่น ว่าจะส่งผลอย่างไรต่อไปในเมล็ดพันธุ์ในอนาคต

6.5 การเก็บผลการทดลองและวิเคราะห์ผลในระดับสรีรวิทยา

ทำการวิเคราะห์ ดัชนีชี้วัดทางด้านสรีรวิทยาบางประการ, ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตดังนี้

(1) ทำการวัดปริมาณ chlorophyll a ,b และ carotenoid ของใบถั่วเหลือง ในระยะระยะ Reproductive 3 ระยะตามเจริญเติบโต

(2) ประเมินผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง โดยการนับผลิตต่อต้น, จำนวนเมล็ดต่อฝัก รวมทั้งน้ำหนักของเมล็ด ในระยะFull Maturity Stage

6.6 การวิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร

1) วิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และความชื้น ตามวิธีของ AOAC 1995.

2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ตามวิธีวิเคราะห์ Amino acid analyzer โดย electrophoresis ตามวิธีของ (Henrichson, James B, 1970, 12-14)

- กรดอะมิโนไลซีน,

3). วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไขมัน โดยศึกษาในกรดไขมันโดย gas chromatography สำหรับวิเคราะห์หา fatty acids ดังนี้

- กรดไขมันโอลิอิก
- กรดไขมันไลโนลินิก
- กรดไขมันไลโนลิอิก

6.7 ระยะเวลาของการปลูกและเก็บเกี่ยว

การศึกษาผลกระทบระยะยาวของระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วงฤดูเพาะปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยควบคุมระดับอุณหภูมิที่กำหนด 3 ระดับใน 3 ชุดการทดลอง (3 ซ้ำ) ในแต่ละตู้ทดลอง 7 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 9.00-16.00 น. โดยทำการปลูก 2รุ่นดังนี้

ปลูก รุ่นที่ 1 ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 – มีนาคม2554

นำผลผลิตจากรุ่นที่ 1 มาต่อเนื่องในรุ่นที่ 2 ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2554 – มีนาคม 2555 เพื่อวิเคราะห์ผลทางสรีรวิทยาบางประการ ได้แก่ ผลผลผลิตและคุณภาพของสารอาหารด้านไขมันและโปรตีนบางชนิด

6.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldatech digestion unit และ distillation unit)
2. ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Extraction System Model B-811)
3. ชุดวิเคราะห์เยื่อใย (Fiber Analyzer)
4. ชุดวิเคราะห์เถ้า (Futname Thermolyne sybron Tye 48000 Furnace)
5. ตู้อบลมร้อน
6. Hot plate
7. เครื่องเซนตริฟิวจ์
8. เครื่อง Evaporator

วัสดุอุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60
2. Chamber ขนาดกว้าง 3 x3 เมตร สูง 2 เมตร จำนวน 9 ตู้
3. เครื่องแก้ว ประกอบด้วย

   3.1 ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์โปรตีน

3.2 ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์ไขมัน

3.3 ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์เยื่อใย

3.4 โถดูดความชื้น

3.5 ชุดถ้วย moisture can วิเคราะห์ความชื้น

3.6 ชุดถ้วยกระเบื้องวิเคราะห์เถ้า

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.128 โมล
3. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1 นอร์มอลิตี
4. สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์
5. สารละลายด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.223 โมล
6. สารละลายบอริคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์
7. ซิลิเนียม
8. อินดิเคเตอร์ (methyl red และ methylene blue)
9. เอ็น-ออกทานอล
10. อะซีโตน เข้มข้น
11. ปิโตรเลียมอีเทอร์ /เมทานอล
12. Boron Trifluoride
13. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
14. Hexane
15. Standard ของกรดไขมันโอเลอิกกรด ไขมันไลโนเลอิก ไขมันไลโนเลนิก

6.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดดัชนีในด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติแบบ One-Way Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของระดับก๊าซโอโซนที่แตกต่างกัน กับการเปลี่ยนแปลงของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในด้านต่าง ๆ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง โดยวิธีของ Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ระดับความเชื่อมั่น 95%)

7. ผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบระยะยาวของระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วงฤดูเพาะปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

การศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของโทรโปสเฟียริคโอโซนที่มีต่อองค์ประกอบผลผลิต และปริมาณกรดไขมันบางชนิดในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

7.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนใน 3 ชุดการทดลอง

7.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในใบของถั่วเหลือง ทั้ง 2 รุ่น

คลอโรฟิลล์เอ

คลอโรฟิลล์บี

แคโรทีนอยด์

7.3 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง ทั้ง 2 รุ่น

จำนวนฝักต่อต้น

จำนวนเมล็ดต่อฝัก

น้ำหนัก 100 เมล็ด

7.4 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง ทั้ง 2 รุ่น

ปริมาณโปรตีน

ปริมาณไขมัน

ปริมาณเถ้า

ปริมาณเยื่อใย

ปริมาณความชื้น

7.5 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็นในเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน

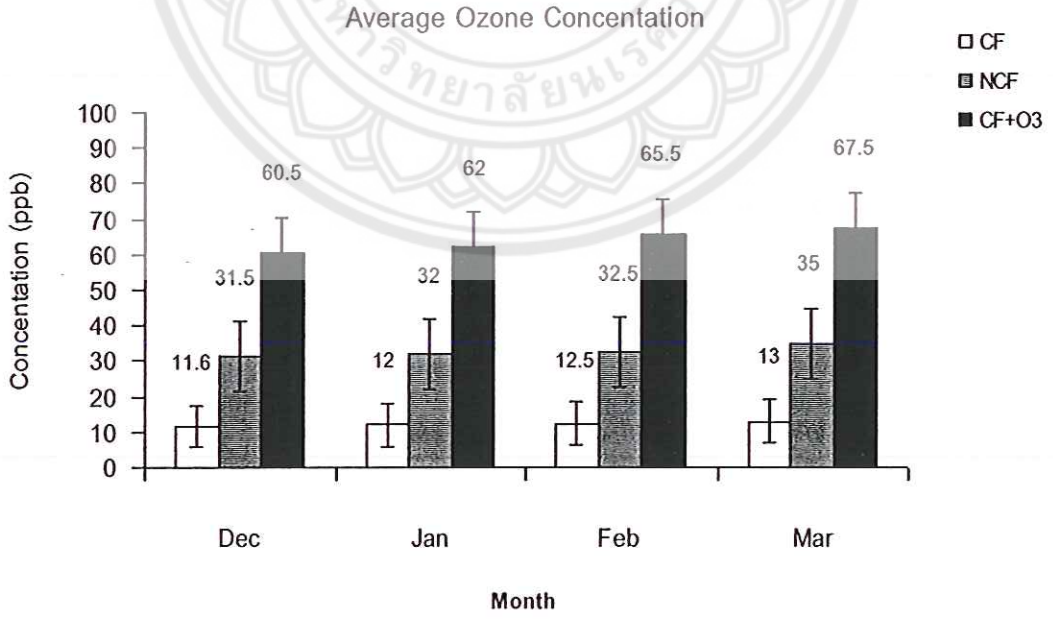
ปริมาณกรดไขมันโอเลอิก

ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก

ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก

7.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนใน 3 ชุดการทดลอง

จากผลการศึกษาถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการปลูกถั่วเหลืองภายใต้สภาวะการสัมผัสโอโซน ณ 3 ระดับ คือ ที่ระดับเท่ากับธรรมชาติซึ่งเป็นชุดควบคุม (33 ± 1.6 ppb) ระดับต่ำกว่าธรรมชาติ (12 ± 0.61 ppb) และระดับสูงกว่าธรรมชาติ (64 ± 3.2 ppb) เป็นเวลา 7 ชั่วโมงต่อวัน (09.00 – 16.00 น.) โดยบันทึกผลตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 – มีนาคม 2554 และ ธันวาคม 2554 – มีนาคม 2555 ดังแสดง โดยบันทึกผลระดับโอโซนเฉลี่ยดังแสดงในภาพ 3 ซึ่งพบว่า มีค่าเฉลี่ยประมาณ 35.75 ppb โดยมีค่าระดับโอโซนเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 11.8 ppb ในชุดทดลอง CF และค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 67.5 ppb ในชุดทดลอง CF + O_3 ซึ่งพบว่าเป็นระดับโอโซนที่สูงกว่าธรรมชาติและเพียงพอ ต่อการส่งผลกระทบในเชิงลบทางด้านองค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพสารอาหารของถั่วเหลือง โดยในชุดทดลอง NCF มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในหลายช่วงอายุการเจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง โดยควบคุมให้มีระดับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในปัจจุบันระดับโอโซนในเขตจังหวัดพิษณุโลก มีค่าความเข้มข้นเพียงพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบในเชิงลบต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ได้



ภาพ3 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของระดับโอโซนในช่วงระยะการทดลองเฉลี่ยของการทดลองปลูกทั้ง 2 รอบ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 -2555

7.2 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากโอโซนในระดับที่ต่างกันที่มีต่อผลกระทบของโอโซนที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในใบของถั่วเหลือง

7.2.1 ผลกระทบต่อรงควัตถุของถั่วเหลืองรุ่นที่ 1

จากการศึกษารงควัตถุในใบของการปลูกถั่วเหลืองเพื่อให้ได้ผลผลิตรุ่นที่ 1 โดยพิจารณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ 50 ppb) 7 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงเดือนธันวาคม 2552 – มีนาคม 2553 เป็นเวลา 44 วัน แบ่งเป็น 3 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะเริ่มออกดอก : R1 อายุ 36 วัน, ระยะเริ่มติดฝัก : R3 อายุ 57 วัน และระยะเริ่มติดเมล็ด : R5 อายุ 70 วัน พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังนี้

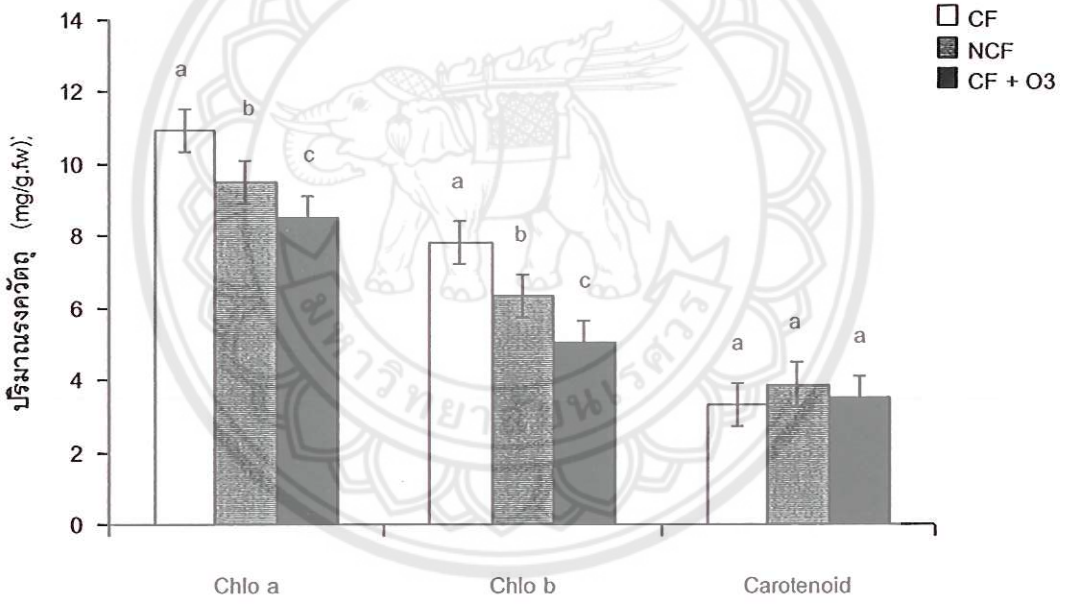
7.2.1.1 ผลกระทบต่อรงควัตถุระยะเริ่มออกดอก : R1 (อายุ 36 วัน) ของถั่วเหลืองรุ่นที่ 1

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R1 อายุ 36 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ (CF+O_3) 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 15 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษา ตามภาพ 4 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 10.92, 9.51 และ 8.52 mg/g.fw ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R1 อายุ 36 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 15 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษาตามภาพ 4 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และเป็นที่น่าสังเกตว่า

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.81, 6.34 และ 5.05 mg/g.fw ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R1 อายุ 36 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 15 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษา ตามภาพ 4 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ไม่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.32, 3.88 และ 3.51 mg/g.fw ตามลำดับ



ภาพ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่ 1 ในระยะ R1 อายุ 36 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

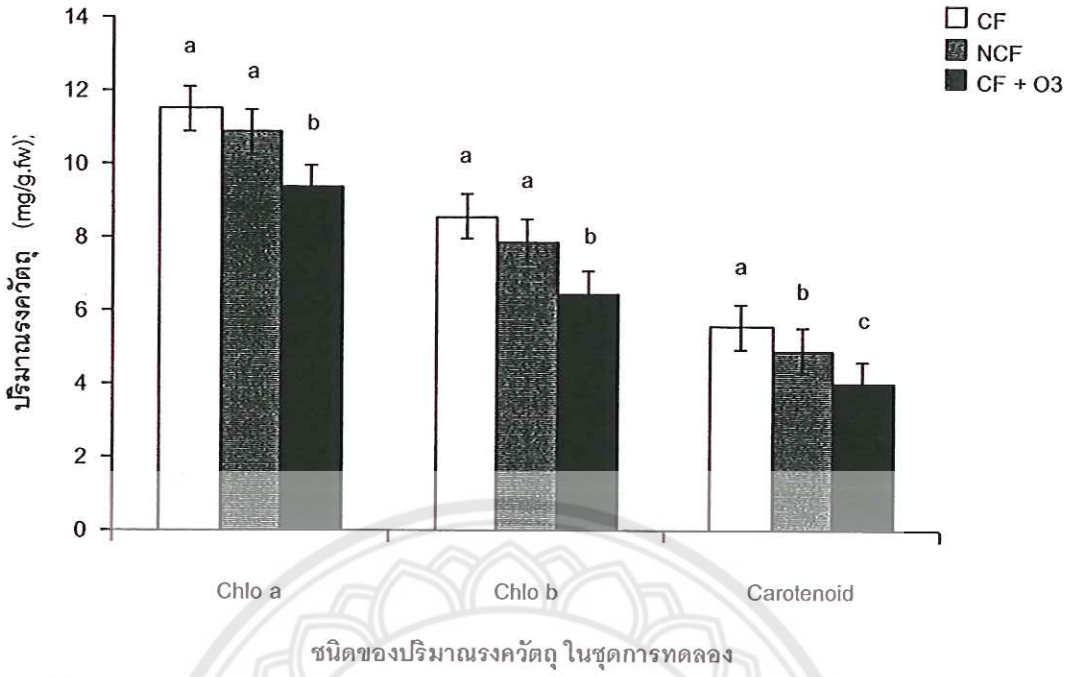
หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.2.1.2 ผลกระทบต่อรงควัตถุระยะเริ่มติดฝัก : R3 (อายุ 57 วัน) ของถั่วเหลืองรุ่นที่ 1

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R3 อายุ57 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ (CF+O_3) 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 26 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษาตามภาพ 5 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 11.50, 10.86 และ 9.37 mg/g.fw ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R3 อายุ57 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 26 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษา ตามภาพ 5 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 8.55, 7.87 และ 6.46 mg/g.fw ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R3 อายุ 57 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 26 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลกาศึกษาตามภาพ 5 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.54, 4.90 และ 3.98 mg/g.fw ตามลำดับ



ภาพ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่ 1 ในระยะ R3 อายุ 57 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

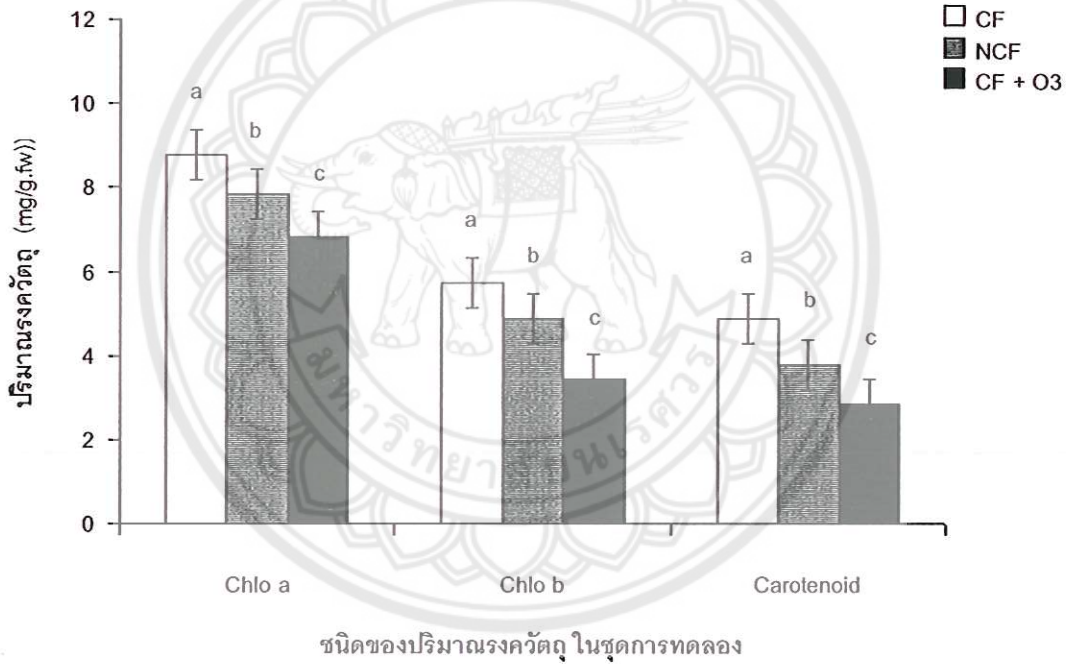
7.2.1.3 ผลกระทบต่อรงควัตถุระยะเริ่มติดเมล็ด : R5 (อายุ 70 วัน) ของถั่วเหลืองรุ่นที่ 1

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 อายุ 70 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 44 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษาภาพ 6 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.78, 7.84 และ 6.84 mg/g fw ตามลำดับ

ว QC
ก81
.8
.G56
ก1223
2555

19 ก.ค. 2556
16324346
สำนักหอสมุด

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 อายุ 70 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 44 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษา ตามภาพ 6 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะนี้มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.73, 4.88 และ 3.44 mg/g fw ตามลำดับ



ภาพ 6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่ 1 ในระยะ R5 อายุ 70 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน)

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

จากการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 อายุ 70 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 44 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษา ตามภาพ 6 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะนี้มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) โดยมีปริมาณเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NC (ชุดควบคุม) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.89, 3.78 และ 2.82 mg/g.fw ตามลำดับ

7.2.2 ผลกระทบต่อรงควัตถุของถั่วเหลืองรุ่นที่ 2

จากการศึกษารงควัตถุในใบของการปลูกถั่วเหลืองเพื่อให้ได้ผลผลิตรุ่นที่ 1 โดยพิจารณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ 50 ppb) 7 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงเดือนธันวาคม 2553 – มีนาคม 2554 เป็นเวลา 50 วัน คือ แบ่งเป็น 3 ระยะเวลาการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับการปลูกในรุ่นที่ 1 คือ ระยะเริ่มออกดอก : R1 อายุ 37 วัน, ระยะเริ่มติดฝัก : R3 อายุ 60 วัน และระยะเริ่มติดเมล็ด : R5 อายุ 72 วัน พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังนี้

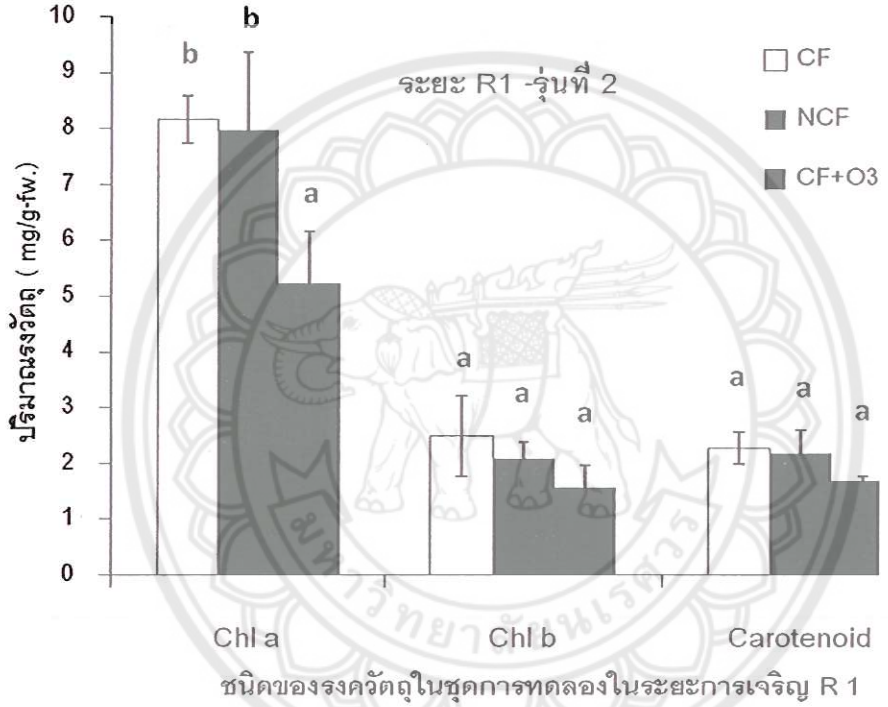
7.2.2.1 ผลกระทบต่อรงวัตถุระยะเริ่มออกดอก :R1 (อายุ 37 วัน)

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R1 อายุ 37 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ (CF+O_3) 7 ชั่วโมงต่อวัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 7 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) เช่นเดียวกับผลการศึกษาในรุ่นที่ 1 คือ มีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ ชุดการทดลอง CF และ NCF (ชุดควบคุม)

อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อคลอโรฟิลล์ บี (ภาพที่ 7) ผลการศึกษากลับแตกต่างกับรุ่นที่ 1 นั่นคือ ไม่มีการตอบสนองในเชิงลบในชุดการทดลอง CF+O_3 โดยไม่พบความ

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม) และ ชุดทดลอง ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF)

จากการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R1 อายุ 37 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ไม่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม)



ภาพ 7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R1 รุ่นที่ 2 อายุ 37 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

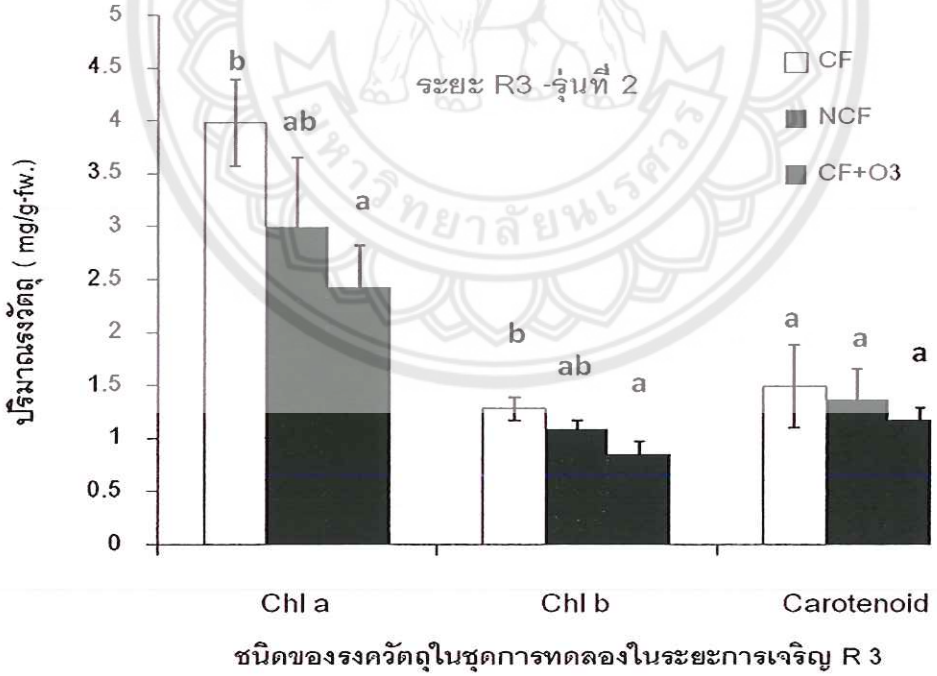
7.2.2.2 ผลกระทบต่อรงวัตถุระยะเริ่มติดฝัก :R3 (อายุ 60 วัน)

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R3 อายุ60 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ (CF+O_3) 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 29 วัน แสดงในภาพที่

8 ผลการศึกษาในคลอโรฟิลด์ เอพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF)

ส่วนผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R3 อายุ60 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 26 วัน หลังการพ่นก๊าซโอโซน พบว่า ระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) ส่งผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลดลง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ ชุดการทดลองที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF)

จากการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 พบว่าผลการศึกษาไม่เหมือนกับผลการศึกษาในรุ่นที่ 1 คือไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่าง 3 ชุดการทดลอง แต่อย่างใด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในรุ่นที่ 1 ซึ่งพบอย่างชัดเจนว่าที่ระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นยิ่งส่งผลต่อการลดลงของ แคโรทีนอยด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



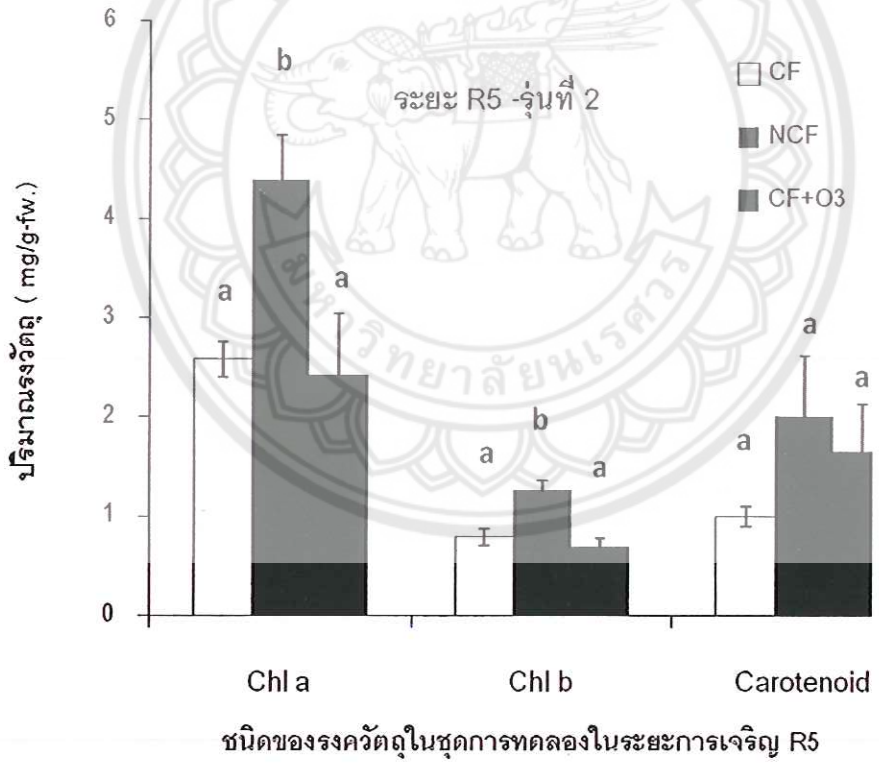
ภาพ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R3 รุ่นที่ 2 อายุ 60 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.2.2.3 ผลกระทบต่อรงวัตถุระยะเริ่มติดเมล็ด :R5 (อายุ 72 วัน)

เมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นที่ 1 พบว่าการตอบสนองของปริมาณรงวัตถุในรุ่นที่ 1 ชัดเจนกว่ารุ่นที่ 2 ในระยะ R5 เนื่องจากมีการแสดงอย่างชัดเจนว่ามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างชัดเจนเมื่อโอโซนมีระดับสูงขึ้นอย่างเป็นลำดับ แต่ผลการศึกษาในลักษณะนี้ไม่พบในการศึกษาในรุ่นที่ 2 ซึ่งมีผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 9 ดังนี้

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 อายุ 72 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CF, NCF และ ($CF+O_3$) 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 56 วัน แสดงในภาพที่ 9 จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ ($CF+O_3$) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ชนิดของรงควัตถุในชุดการทดลองในระยะการเจริญ R5

ภาพ 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 รุ่นที่ 2 อายุ 72 วัน ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ $CF+O_3$ 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ บี แสดงผลเช่นเดียวกับการศึกษาในคลอโรฟิลล์ เอ โดยพบว่าของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF+O_3) โดยมีปริมาณเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ NCF (ชุดควบคุม)

จากการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R5 พบผลการศึกษาที่แตกต่างกับผลการศึกษาในรุ่นที่ 1 เนื่องจากผลการศึกษาในรุ่นที่ 2 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่าง 3 ชุดการทดลอง ดังแสดงใน ภาพที่ 9

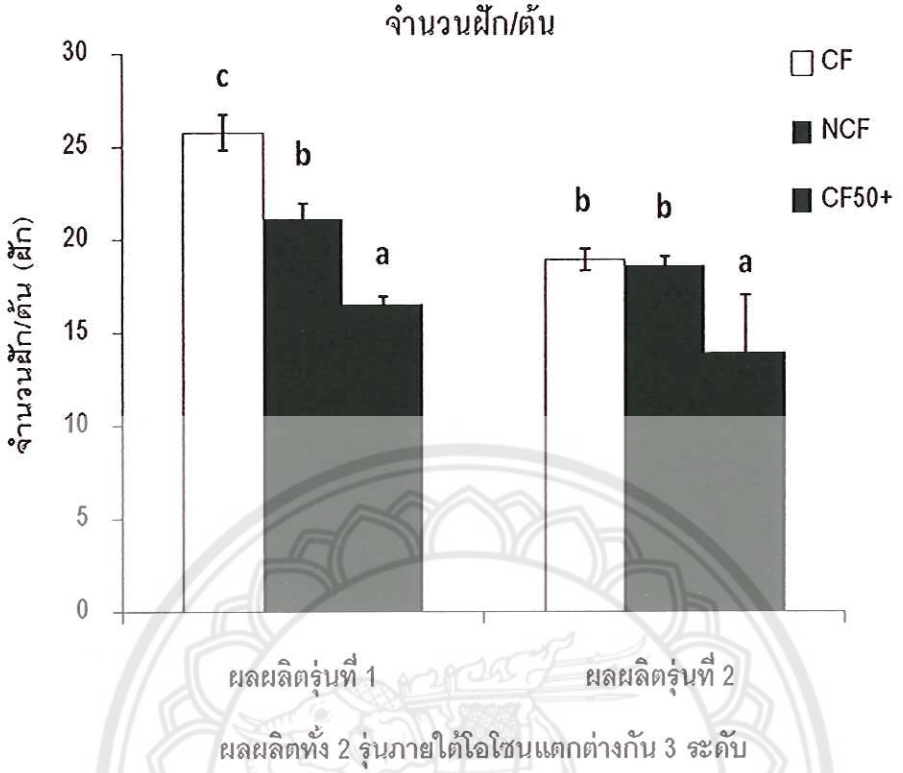
7.3 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากโอโซนในระดับที่ต่างกันที่มีต่อผลกระทบของโอโซนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

7.3.1 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อฝัก/ต้น ของเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากจำนวนฝักต่อต้น ในระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 10 พบว่าจำนวนฝักต่อต้นมีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งสองรุ่นผลผลิต โดยที่จำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยของรุ่นที่ 1 เท่ากับ 25.76 ± 0.95, 21.10 ± 0.85 และ 16.50 ± 0.46 ฝักต่อต้น ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ายิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 ชุดทดลองอย่างเด่นชัดตามลำดับ

ผลการศึกษาจากการนำผลผลิตในรุ่นที่ 1 ปลูกต่อเพื่อให้ได้รุ่นที่ 2 พบว่าจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยของรุ่นที่ 2 เท่ากัน 18.89 $\pm$ 0.58 18.54 $\pm$ 0.5 และ 13.89 $\pm$ 3.09 ต้น ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ พบว่าองค์ประกอบผลผลิตชนิดนี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับโอโซนสูงที่สุด ในชุดทดลอง CF + O_3

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของผลผลิตทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยคำนวณจากค่าที่ลดลงในชุดการทดลอง CF + O_3 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม NCF พบว่าถั่วเหลืองรุ่น ที่ 2 มีค่าจำนวนฝัก / ต้น การลดลงมากว่ารุ่นที่ 1 (รุ่นที่ 1 ลดลง 21.8 % รุ่นที่ 2 ลดลง 25.1 %



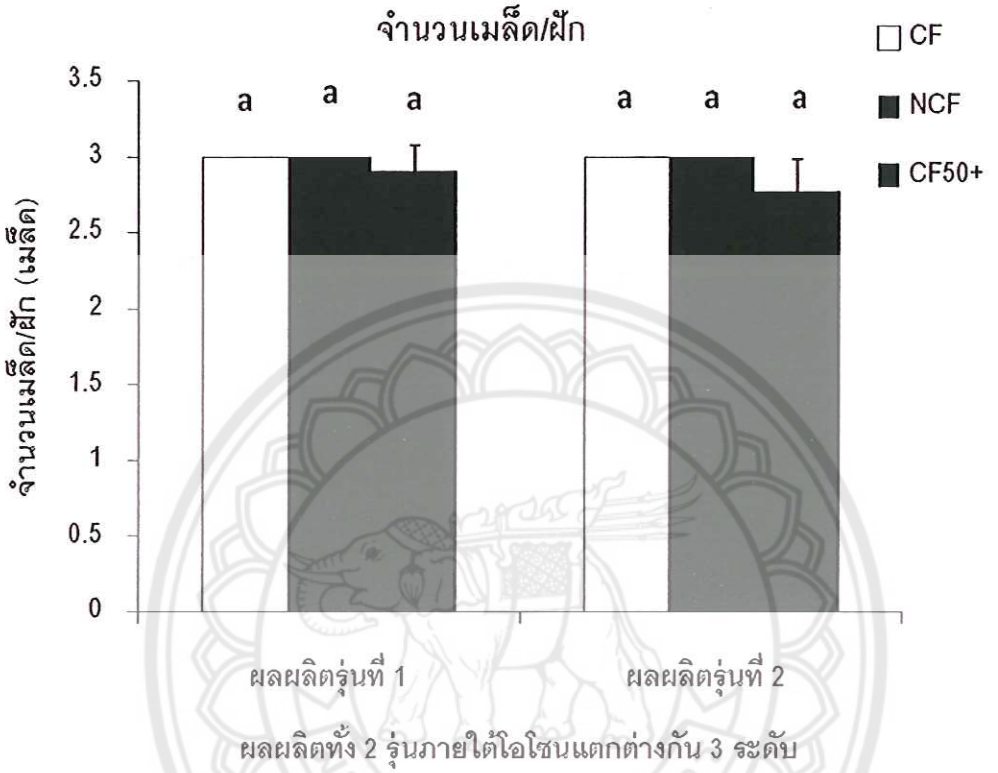
ภาพ 10 จำนวนฝัก/ต้น เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.3.2ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อจำนวนเมล็ดต่อฝัก ของเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 1และรุ่นที่ 2

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากจำนวนเมล็ด / ฝัก ในระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษาในรุ่นที่ 1 พบว่าจำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ย 3.0 ± 0.00, 3.0 ± 0.00 และ 2.9 ± 0.17 เมล็ดต่อฝัก ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ ส่วนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยในรุ่นที่ 2 เท่ากับ 3.0 ± 0.00, 3.0 ± 0.00 และ 2.77 ± 0.21 ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ

เมื่อคำนวณความแตกต่างในทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งสองรุ่นผลผลิต ดังภาพที่ 11 ถึงอย่างไรมีข้อสังเกตเห็นแนวโน้มของการลดลงในชุดทดลอง CF + O3 ของทั้ง 2 รุ่น



ภาพ 11 จำนวนเมล็ด /ฝัก เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

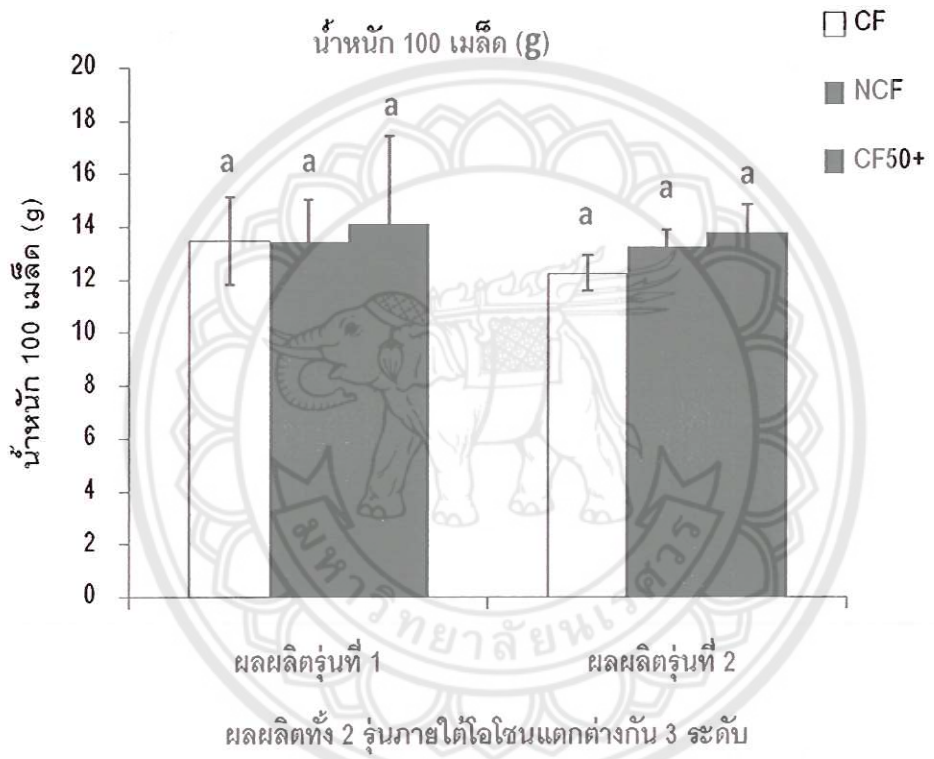
หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.3.3ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อน้ำหนัก 100 เมล็ด ของเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจาก น้ำหนัก 100 เมล็ด (g) ในระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับ

รุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษาในรุ่นที่ 1 พบว่าน้ำหนัก 100 เมล็ด (g) เท่ากับ 13.47± 1.66 13.45 ± 1.57 และ 14.08 ± 13.35 กรัม ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ ส่วนน้ำหนัก 100 เมล็ด (g) เฉลี่ยในรุ่นที่ 2 เท่ากับ 12.23 $\pm$ 0.67 13.26 $\pm$ 0.63 และ 13.78 $\pm$ 1.07 กรัม ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ

เมื่อคำนวณความแตกต่างในทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งสองรุ่นผลผลิต ดังภาพที่ 12



ภาพ 12 น้ำหนัก 100 เมล็ด (g) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

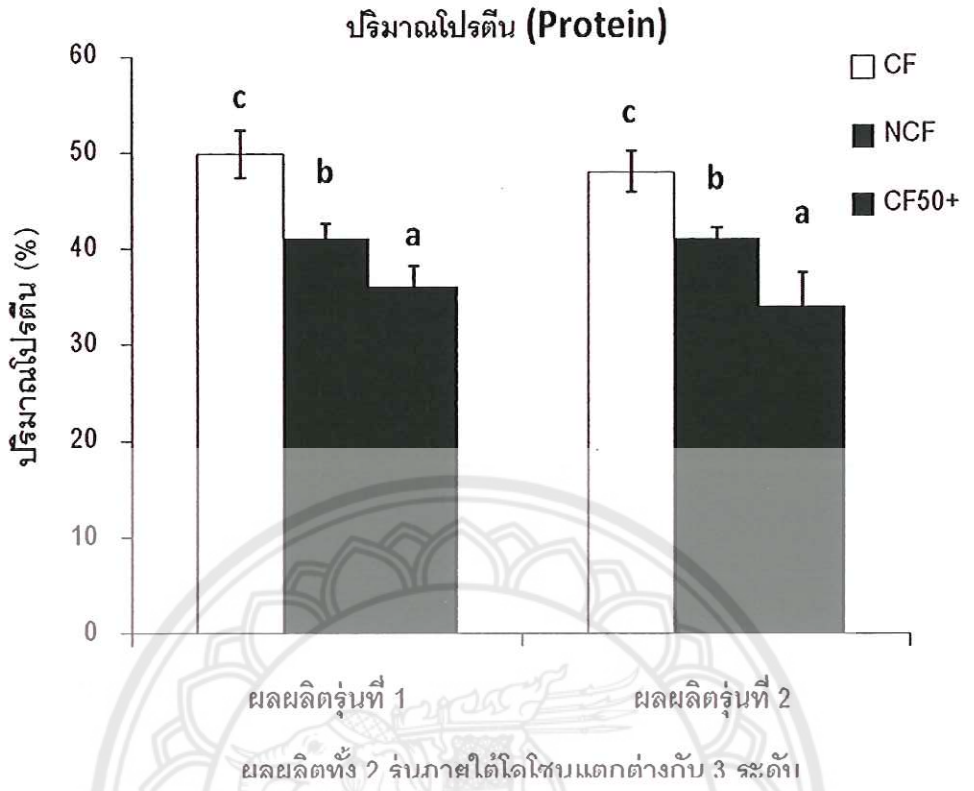
7.4 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากอุณหภูมิในระดับที่ต่างกันที่มีต่อ คุณภาพสารอาหารโดยรวมของถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

7.4.1 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อโปรตีนของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 1และรุ่นที่ 2

จากการศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อคุณภาพผลผลิตในด้านปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยวิเคราะห์จากเมล็ดระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 13 พบว่าโปรตีนมีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งสองรุ่นผลผลิต โดยที่จำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยของรุ่นที่ 1 เท่ากับ 49.83 ± 2.48, 41.17 ± 1.44 และ 36.13 ± 2.08 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ายิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 ชุดทดลองอย่างเด่นชัดตามลำดับ (ภาพที่ 13)

ผลการศึกษาจากการนำผลผลิตในรุ่นที่ 1 ปลูกต่อเพื่อให้ได้รุ่นที่ 2 พบว่าปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของรุ่นที่ 2 เท่ากัน 48.06 ± 2.16 41.15 ± 1.11 และ 34.11 ± 3.53 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ และพบว่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับโอโซนสูงที่สุด ในชุดทดลอง CF + O_3 เช่นเดียวกับการทดลองในรุ่นที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของโปรตีนทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยคำนวณจากค่าที่ลดลงในชุดการทดลอง CF + O_3 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม NCF พบว่าถั่วเหลืองรุ่นที่ 2 มีปริมาณโปรตีน ลดลงมากว่ารุ่นที่ 1 ซึ่งรุ่นที่ 1 ลดลง 12 % รุ่นที่ 2 ลดลง 17 %



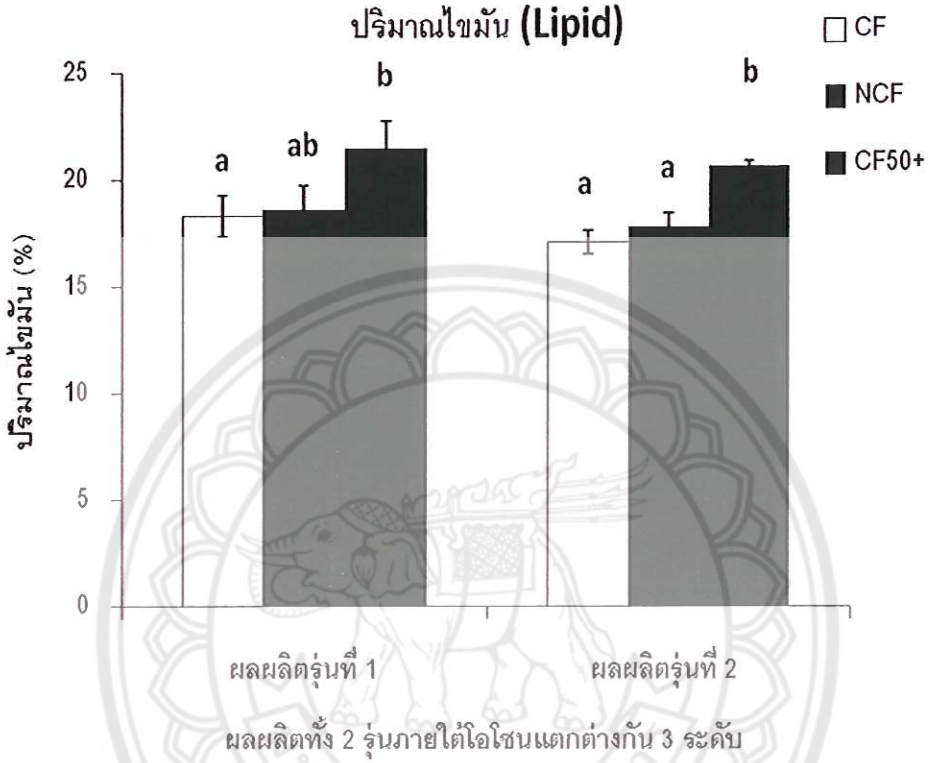
ภาพ 13 ปริมาณโปรตีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.4.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อไขมันของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 1และรุ่นที่ 2

จากการศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อคุณภาพผลผลิตต่อปริมาณไขมันของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยวิเคราะห์จากเมล็ดระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 14 พบว่าไขมันโปรตีนมีการตอบสนองในเชิงบวก ต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งสองรุ่นผลผลิต โดยที่ปริมาณไขมันเฉลี่ยของรุ่นที่ 1 เท่ากับ 18.33 ± 0.96, 18.66 ± 1.09 และ 21.52 ± 1.24 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อ

ระดับโอโซนสูงขึ้นทำให้ไขมันยิ่งเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเพิ่มขึ้นสูงสุด ในชุดการทดลอง CF+O_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพ 14 ปริมาณไขมัน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ผลการศึกษาจากการนำผลผลิตในรุ่นที่ 1 ปลูกต่อเพื่อให้ได้รุ่นที่ 2 พบว่าปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของรุ่นที่ 2 เท่ากัน 17.12 $\pm$ 0.54 17.85 $\pm$ 0.62 และ 20.69 $\pm$ 0.23 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF+O_3 ตามลำดับและพบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับโอโซนสูงที่สุด ในชุดทดลอง CF + O_3 เช่นเดียวกับการทดลองในรุ่นที่ 1 (ภาพที่ 14)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นของไขมันทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยคำนวณจากค่าที่ลดลงในชุดการทดลอง CF + O_3 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม NCF พบว่ามีค่าการเพิ่มขึ้นเท่ากันคือ ประมาณ 15 % (รุ่นที่ 1 ลดลง 15.3 % รุ่นที่ 2 ลดลง 15.9%)

7.4.3 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อเถ้า เยื่อใย และความชื้น ของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 1และรุ่นที่ 2

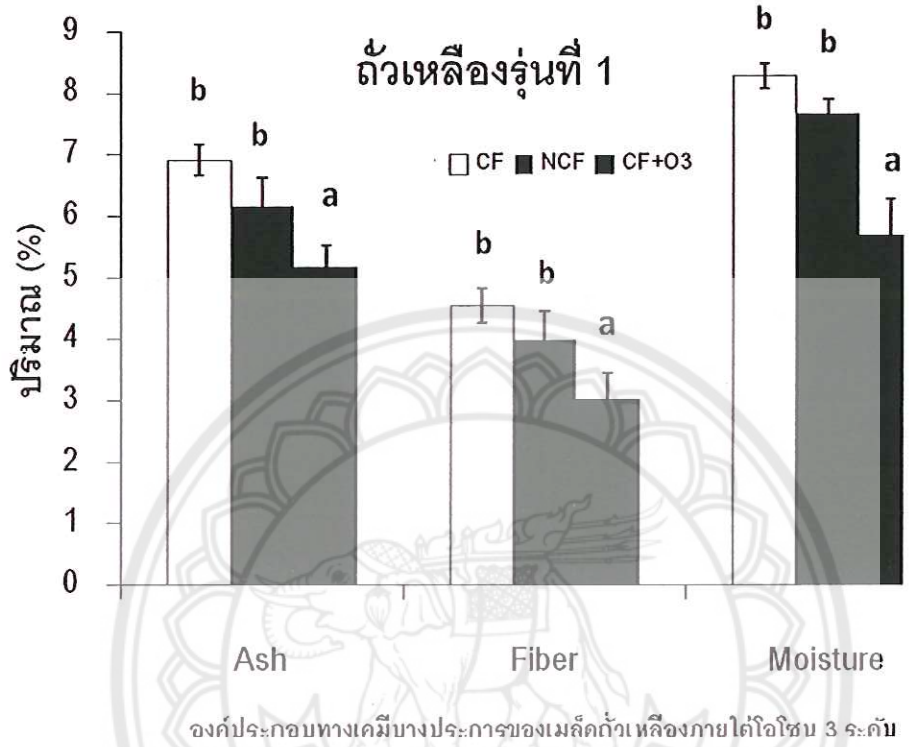
7.4.3.1 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อเถ้า เยื่อใย และความชื้น ของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 1

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยพิจารณาด้านปริมาณเถ้า, ปริมาณเยื่อใย และปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในรุ่นที่ 1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ 64 ± 3.2 ppb) ผลการศึกษาซึ่งแสดงในภาพ 15 พบว่าคุณภาพสารอาหารทางด้านปริมาณเถ้ามีการตอบสนองในเชิงลบต่อระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น และพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยเท่ากับ 6.91 ± 0.25, 6.17 ± 0.46 และ 5.17 ± 0.36 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตที่ได้รับโอโซนเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ กับ ชุดควบคุม (NCF) พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลดลง 16.21 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)

ปริมาณเยื่อใย พบว่ามีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ± 0.28, 4.00 ± 0.47 และ 3.03 ± 0.43 % ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตที่ได้รับโอโซนเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ กับ ชุดควบคุม (NCF) พบว่าเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในผลผลิตของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลดลง 24.25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)

ปริมาณความชื้นในของผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 แสดงการตอบสนองเช่นเดียวกัน ปริมาณเถ้าและเยื่อใย พบว่ามีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย เท่ากับ 8.28 ± 0.20, 7.67 ± 0.24 และ 5.69 ± 0.59 % ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตที่ได้รับโอโซน

เพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ กับ ชุดควบคุม (NCF) พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลดลง 25.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)



ภาพ 15 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (เถ้า เยื่อใย ความชื้น (%)) เฉลี่ยของ**ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ $CF+O_3$ 7 ชั่วโมงต่อวัน**

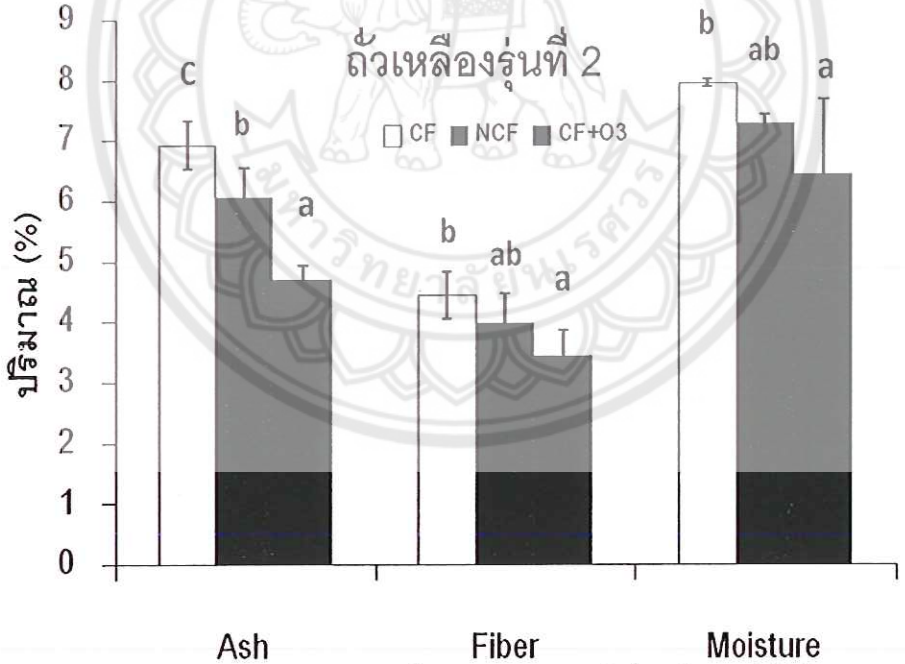
หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.4.3.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อเถ้า เยื่อใย และความชื้น ของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลืองรุ่นที่ 2

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยพิจารณาด้านปริมาณเถ้า, ปริมาณเยื่อใย และปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม) และ $CF+O_3$ (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ 64 ± 3.2 ppb) ผลการศึกษาซึ่งแสดงในภาพ 16 พบว่า

คุณภาพสารอาหารทางด้านปริมาณเถ้ามีการตอบสนองในเชิงลบต่อระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น และพบความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยเท่ากับ 6. 93 ± 0.4, 6.08 ± 0.48 และ 4.73 ± 0.21 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตที่ได้รับโอโซนเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ กับ ชุดควบคุม (NCF) พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลดลง 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)

ปริมาณเยื่อใย พบว่ามีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 ± 0.39, 4.00 ± 0.48 และ 3.46 ± 0.41% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตที่ได้รับโอโซนเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติกับ ชุดการทดลองที่ควบคุมให้น้อยกว่าระดับธรรมชาติ(CF) พบว่าเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในผลผลิตของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลดลง 22 เปอร์เซ็นต์



องค์ประกอบทางเคมีบางประการของเมล็ดถั่วเหลืองภายใต้โอโซน 3 ระดับ

ภาพ 16 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (เถ้า เยื่อใย ความชื้น (%)) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ $CF+O_3$ 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

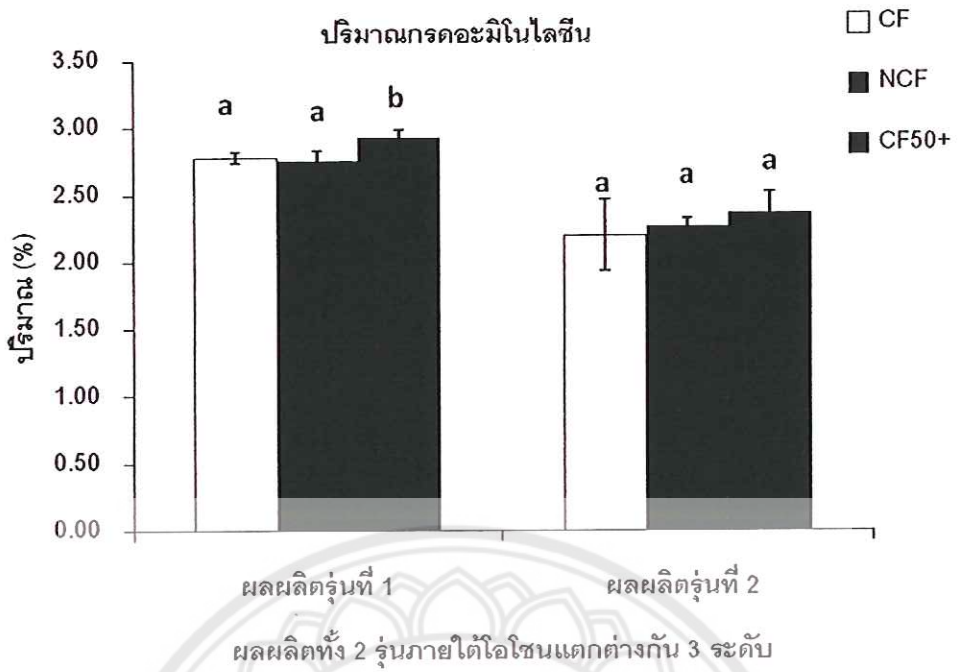
ปริมาณความชื้นในของผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 แสดงการตอบสนองเช่นเดียวกัน ปริมาณเถ้าและเยื่อใย พบว่ามีการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย เท่ากับ 7.96 ± 0.06, 7.3 ± 0.13 และ 6.47 ± 1.23 % ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตที่ได้รับโอโซนเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ กับ ชุดการทดลองที่ควบคุมให้น้อยกว่าระดับธรรมชาติ(CF) พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลดลง 18.7 เปอร์เซ็นต์

7.5 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากระดับโอโซนที่ต่างกันที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็นในเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

7.5.1ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดอะมิโนชนิดกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

จากการศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารประเภทกรดอะมิโน โดยเลือกวิเคราะห์ในกรดอะมิโนไลซีน ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยวิเคราะห์จากเมล็ดระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่17 พบว่ากรดอะมิโนไลซีนมีการตอบสนองในเชิงบวกต่อการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซน โดยพบชัดเจนในรุ่นที่ 1 โดยพบว่าระดับอะมิโนไลซีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ที่ชุดทดลอง CF + O_3 (โอโซนระดับสูงที่สุด) เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ชุดทดลอง โดยพบว่าปริมาณอะมิโนไลซีนในเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 2.78 ± 0.04, 2.75 ± 0.08 และ 2.93 ± 0.06 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของอะมิโนไลซีนเพิ่มขึ้น 5.4 % เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ผลการศึกษาจากการนำผลผลิตในรุ่นที่ 1 ปลูกต่อเพื่อให้ได้รุ่นที่ 2 พบว่าปริมาณกรดอะมิโนไลซีนเฉลี่ยของรุ่นที่ 2 เท่ากัน 2.2 $\pm$ 0.26 2.27 $\pm$0.06 และ 2.37 $\pm$ 0.15 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังเช่นการศึกษาในรุ่นที่ 1 (ภาพที่ 17)



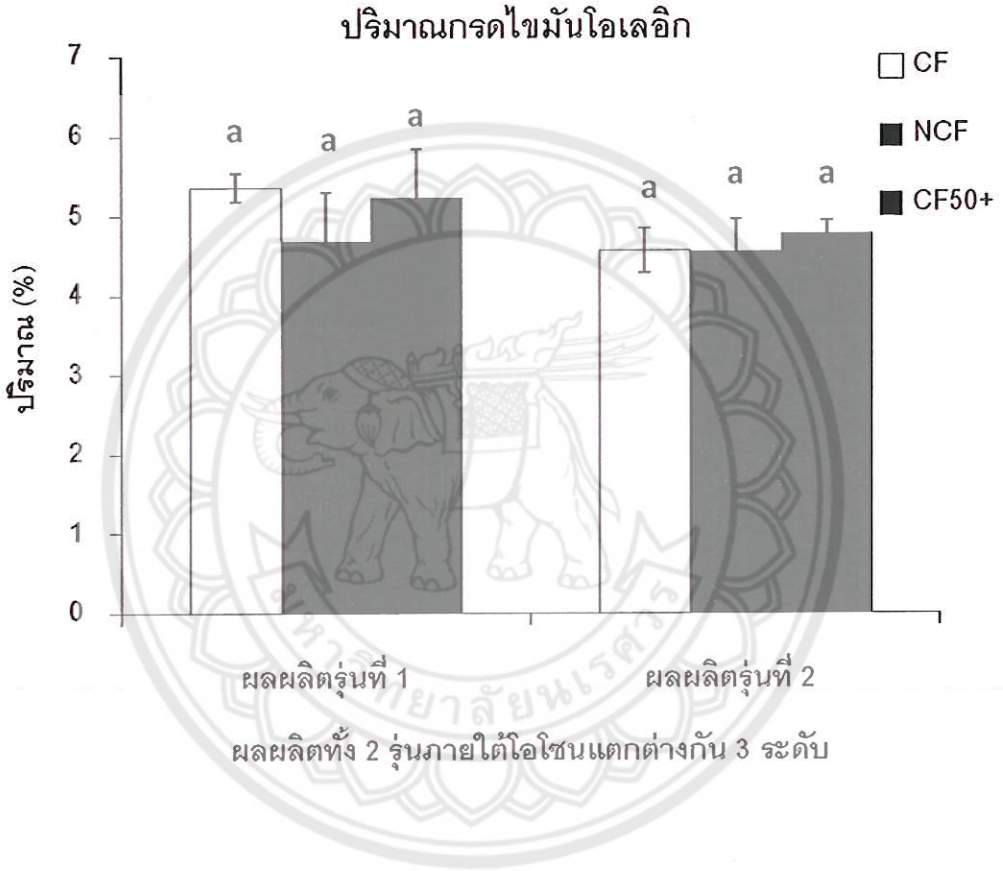
ภาพ 17 ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.5.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดไขมัน ชนิดกรดไขมันโอเลอิกในเมล็ด ถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

จากการศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารประเภทกรดไขมันโอเลอิกของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยวิเคราะห์จากเมล็ดระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วัน สำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่18 ซึ่งไม่พบว่ากรดไขมันโอเลอิกตอบสนองต่อโอโซนเนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ใดๆ ระหว่าง 3 ชุดทดลอง ซึ่งในการศึกษาพบว่าโดยพบว่าปริมาณกรดไขมัน

โอเลอิกในเมล็ดถั่วเหลืองในรุ่นที่ 1 มีค่าเท่ากับ 5.66 ± 0.18, 4.69 ± 0.61และ 5.22 ± 0.62 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ และพบว่า กรดไขมันโอเลอิกในเมล็ดถั่วเหลืองในรุ่นที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4.57 ± 0.28, 4.55 ± 0.41 และ 4.78± 0.16 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ

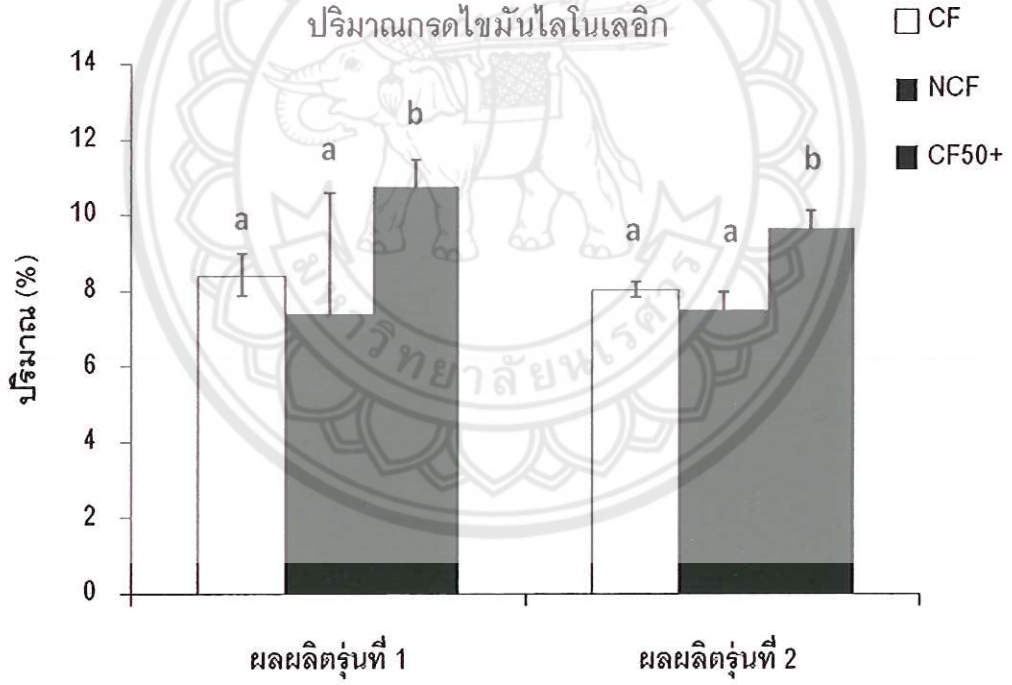


ภาพ 18 ปริมาณกรดไขมันโอเลอิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

7.5.3 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดไขมันชนิดกรดไขมันไลโนเลอิกในเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

จากการศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดไขมันไลโนเลอิกของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยวิเคราะห์จากเมล็ดระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 19 พบว่าไลโนเลอิกมีการตอบสนองในเชิงบวกต่อระดับโอโซน(ที่เพิ่มขึ้น)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)อย่างเด่นชัดทั้งสองรุ่นผลผลิต โดยที่ไลโนเลอิกเฉลี่ยของรุ่นที่ 1 เท่ากับ 8.41 ± 0.56, 7.4 ± 3.19 และ 10.76 ± 0.69 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปริมาณไลโนเลอิกเพิ่มขึ้นตามระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น



ผลผลิตทั้ง 2 รุ่นภายใต้โอโซนแตกต่างกัน 3 ระดับ

ภาพ 19 ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และ รุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

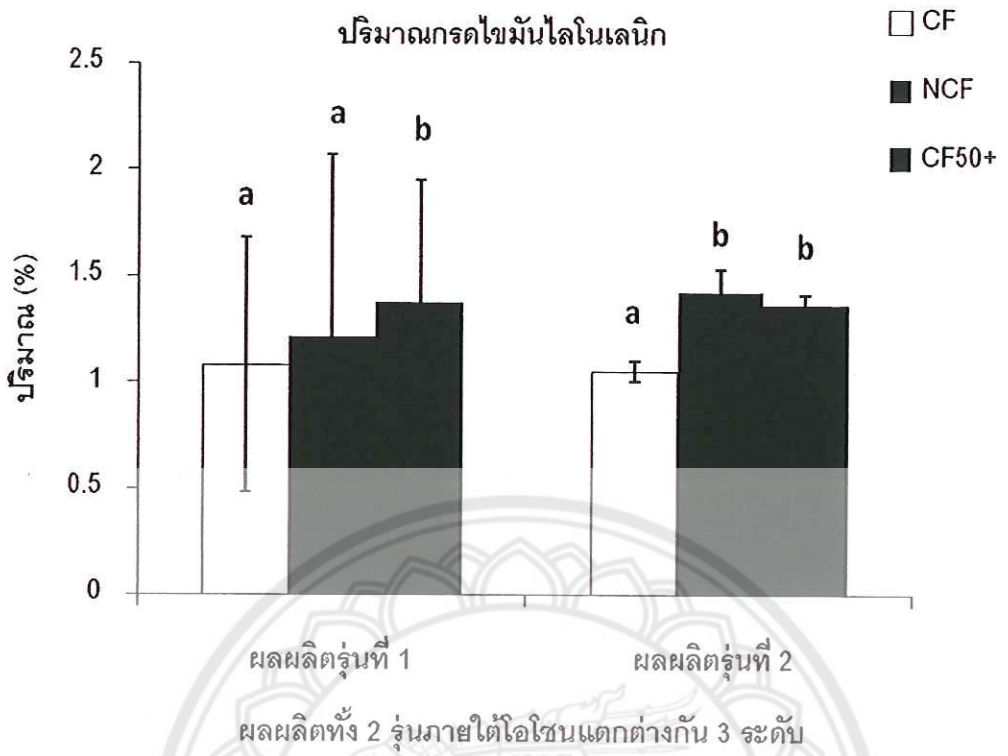
หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ผลการศึกษาจากการนำผลผลิตในรุ่นที่ 1 ปลูกต่อเพื่อให้ได้รุ่นที่ 2 พบว่าปริมาณไลโนเลอิกเฉลี่ยของรุ่นที่ 2 เท่ากัน 8.04 $\pm$ 0.21 7.5 $\pm$ 0.46 และ 9.63 $\pm$ 0.47% ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ และพบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับโอโซนสูงที่สุด ในชุดทดลอง CF + O_3 เช่นเดียวกับการทดลองในรุ่นที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโนเลอิกทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยคำนวณจากค่าที่ลดลงในชุดการทดลอง CF + O_3 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม NCF พบว่าถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 มีปริมาณไลโนเลอิกเพิ่มขึ้นมากว่ารุ่นที่ 2 (ซึ่งรุ่นที่ 1 เพิ่มขึ้น 45.4 % รุ่นที่ 2 เพิ่มขึ้น 28.4 %)

7.5.4 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดไขมันชนิดกรดไขมันไลโนเลนิกในเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น

จากการศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดไขมันไลโนเลนิกของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยวิเคราะห์จากเมล็ดระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับรุ่นที่ 1 และอายุ 82 วัน สำหรับรุ่นที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (NCF) กับ CF+O_3 และชุดควบคุม (NCF) กับ CF ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 20 พบว่าไลโนเลนิกมีการตอบสนองในเชิงบวกต่อระดับโอโซน(ที่เพิ่มขึ้น)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)อย่างเด่นชัด ทั้งสองรุ่นผลผลิต เช่นเดียวกับผลการศึกษาในไลโนเลอิก โดยที่ไลโนเลนิกเฉลี่ยของรุ่นที่ 1 เท่ากับ 1.08 ± 0.6, 1.21 ± 0.86 และ 1.37 ± 0.58 % ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปริมาณไลโนเลนิกยิ่งเพิ่มขึ้นตามระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น



ภาพ 20 ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่นที่1 และรุ่นที่ 2 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซน ที่ CF, NCF (ชุดควบคุม) และ CF+O_3 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ: * ตัวอักษร a – c : ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ผลการศึกษาจากการนำผลผลิตในรุ่นที่ 1 ปลูกต่อเพื่อให้ได้รุ่นที่ 2 พบว่า ปริมาณไลโนเลนิกเฉลี่ยของรุ่นที่ 2 เท่ากัน 1.05 ± 0.05 1.42 ± 0.11 และ 1.36 ± 0.05% ในชุดทดลอง CF, NCF และ CF + O_3 ตามลำดับ และพบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับโอโซนสูงที่สุด ในชุดทดลอง CF + O_3 เช่นเดียวกับการทดลองในรุ่นที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโนเลอิกทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยคำนวณจากค่าที่ลดลงในชุดการทดลอง CF + O_3 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมระดับโอโซนให้ต่ำกว่าระดับธรรมชาติ CF พบว่าถั่วเหลืองรุ่นที่ 2 มีปริมาณไลโนเลนิกเพิ่มขึ้นมากว่ารุ่นที่ 1 (ซึ่งรุ่นที่ 1 เพิ่มขึ้น 27 % รุ่นที่ 2 เพิ่มขึ้น 29.5%)

8. สรุปและอภิปรายผล

8.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลกระทบระยะยาวของระดับโอโซนที่แตกต่างกันในช่วงฤดูเพาะปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะยาว 2 รุ่นโดยควบคุมระดับโอโซนที่กำหนด 3 ระดับใน 3 ชุดการทดลอง (3 ซ้ำ) ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาระดับโอโซนที่แตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม), และ Charcoal - filtered air plus ozone 50 ppb : CF + O_3 (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ 64 ±3.2 ppb) ในแต่ละตู้ทดลอง 7 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 9.00-16.00 น. โดยทำการปลูก 2 รุ่น ดังนี้

ปลูก รุ่นที่ 1 ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2553 – มีนาคม 2554

นำผลผลิตจากรุ่นที่ 1 มาต่อเนื่องในรุ่นที่ 2 ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2554 – มีนาคม 2555 เพื่อวิเคราะห์ผลทางสรีรวิทยาบางประการ ได้แก่ รงควัตถุ ผลผลผลิตและคุณภาพของสารอาหารด้านไขมันและโปรตีนบางชนิด ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาในปัจจัยปริมาณรงควัตถุในใบ ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ พบว่าโอโซนที่เพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ (CF + O_3) ส่งผลกระทบในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณรงควัตถุในใบ อย่างเด่นชัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในรงควัตถุชนิด คลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งพบว่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้สภาวะโอโซนระดับสูงสุดทั้ง 3 ระยะการเจริญคือ R1, R3 และ R5 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก ระยะเริ่มติดฝัก และระยะเริ่มติดเมล็ด ตามลำดับ และพบผลการศึกษาดังนี้ทั้งถั่วเหลือง 2 รุ่น แต่แสดงชัดเจนในรุ่นที่ 1 มากกว่ารุ่นที่ 2 ส่วนผลการศึกษาในคลอโรฟิลล์ บี มีการลดลงในระดับโอโซนสูงสุดเช่นกันทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต แต่มีความชัดเจนน้อยกว่า ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ เนื่องจากในระยะ R1 ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน รุ่นที่ 2 ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เฉพาะในรุ่นที่ 1 เท่านั้นโดยพบในระยะ R3 และ R5 แต่ไม่พบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในรุ่นที่ 2ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต <u>นั่นคือพบการตอบสนองในเชิงลบต่อรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 ชัดเจนกว่ารุ่นที่ 2 และพบความชัดเจนในรงควัตถุชนิด คลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุด</u>

2. ผลของโอโซนในระดับสูงส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิตอย่างเด่นชัด โดยพบว่าลักษณะเดียวที่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ จำนวนฝักต่อต้น โดยพบว่าระดับโอโซนที่สูงที่สุด (ชุดทดลอง CF + O_3) ทำให้จำนวนฝักต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบผลการศึกษาลักษณะนี้เช่นทั้งในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 แต่ไม่พบผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปัจจัยทางด้านจำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด ทั้งถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2

3. ด้านคุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีต่อการตอบสนองต่อระดับโอโซนที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้น (ชุดทดลอง CF + O_3) ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในถั่วเหลืองทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 พบว่าลดลง 12 % และลดลง 17 % ในถั่วเหลืองรุ่นที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)

4. ระดับโอโซนที่สูงกว่าธรรมชาติ (ชุดทดลอง CF + O_3) ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในถั่วเหลือง ทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 โดยมีเพิ่มขึ้นโดยประมาณเท่ากัน คือ 15 % ทั้ง 2 รุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF)

5. ผลการศึกษาในกลุ่มทดลองที่ควบคุมให้ระดับโอโซนในบรรยากาศที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ลดลงกว่าระดับธรรมชาติ (ชุดทดลอง CF + O_3) นั้น ส่งผลต่อการลดลงขององค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด คือ เถ้า เยื่อใย และความชื้น ทั้ง 3 พารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF) ในถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น โดยพบว่าปริมาณเถ้า และ เยื่อใยลดลง ใกล้เคียงกัน

6. ผลการศึกษาในกลุ่มทดลองที่ควบคุมให้ระดับโอโซนในบรรยากาศที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ลดลงกว่าระดับธรรมชาติ(ชุดทดลอง CF + O_3) นั้น ส่งผลต่อการเพิ่มระดับกรดไขมัน 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ กรดไขมันไลโนเลอิก และกรดไขมันไลโนเลนิก โดยพบผลการศึกษาเช่นเดียวกันในถั่วเหลืองทั้ง 2 รุ่น แต่ไม่พบผลการศึกษาเช่นนี้ในกรดไขมันชนิดโอเลอิก

7. ผลการศึกษาในกลุ่มทดลองที่ควบคุมให้ระดับโอโซนในบรรยากาศที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ลดลงกว่าระดับธรรมชาติ(ชุดทดลอง CF + O_3) นั้น ส่งผลต่อการเพิ่มระดับกรดอะมิโนไลซีน ในถั่วเหลืองรุ่นที่ 1 (ไม่พบในรุ่นที่ 2) โดยเพิ่มขึ้น 5.4 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

8. มีข้อสังเกตว่าในชุดการทดลอง CF ซึ่งลดระดับโอโซนให้ต่ำกว่าปกติ จะมีค่าพารามิเตอร์ชนิด จำนวนฝัก/ต้น และ ปริมาณโปรตีน รวมทั้ง เถ้า และเยื่อใย เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

การศึกษาในครั้งนี้สรุปภาพรวมได้อย่างชัดเจนว่า การเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ ส่งผลชัดเจนในเชิงลบต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในพารามิเตอร์รงควัตถุ (โดยเพาะอย่างยิ่ง คลอโรฟิลด์เอ) ผลผลิตด้านจำนวนฝัก/ต้น ปริมาณโปรตีน เถ้า และเยื่อใย และเห็นผลชัดเจนทั้งในรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 แต่ยังไม่เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการลดลงอย่างต่อเนื่องในระยะยาว 2 รุ่นแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามพบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลบวกต่อการเพิ่มขึ้นของไขมัน กรดอะมิโนไลซีน (พบเฉพาะในรุ่นที่ 1) และ กรดไขมัน 2 ชนิดคือ ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก แต่เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาในชุดการทดลองซึ่งลดความเข้มข้นของโอโซนจากระดับธรรมชาติ (CF) พบว่า ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลือง และปริมาณสารอาหารประเภทโปรตีนได้จริง ดังนั้นในอนาคตหากมีการจัดการเพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในบรรยากาศได้ จะมีประโยชน์อย่างมากต่อเกษตรกรในการเพิ่มผลผลิตในพื้นที่ปลูกจริง ผลการศึกษาที่ได้ จะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการวางแผนและป้องกันผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่มีต่อถั่วเหลือง ซึ่งจัดเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และสามารถนำผลการศึกษามาประเมินความเป็นไปได้ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารอาหารของถั่วเหลือง อันเนื่องมาจากผลกระทบของมลพิษทางอากาศ เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางการจัดการป้องกันหรือแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อไป

8.2 อภิปรายผล

จากผลการศึกษาถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาระดับโอโซนที่แตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ 12 ±0.61 ppb), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม 33 ± 1.6 ppb), และ Charcoal - filtered air plus ozone 50 ppb : CF + O_3 (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มข้นจากระดับธรรมชาติ 64 ± 3.2 ppb) โดยได้รับโอโซน 7 ชั่วโมงต่อวัน (09.00 – 16.00 น.) จนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยบันทึกผลตั้งแต่เดือนธันวาคม 2551 – มีนาคม 2552 ดังแสดง โดยบันทึกผลระดับโอโซนเฉลี่ยดังแสดงในภาพ 3 ซึ่งพบว่า มีค่าเฉลี่ยประมาณ 35.75 ppb โดยมีค่าระดับโอโซนเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1 1.8 ppb ในชุดทดลอง CF และค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 67.5 ppb ในชุดทดลอง CF + O_3 ซึ่งพบว่าเป็นระดับโอโซนที่สูงกว่าธรรมชาติและเพียงพอต่อการส่งผลกระทบในเชิงลบทางด้านองค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพสารอาหารของถั่วเหลืองได้ ซึ่งเห็นได้จากผลการวิจัยในปัจจัยทางด้านการเจริญเติบโต ด้านองค์ประกอบผลผลิต ด้านองค์ประกอบทางเคมีบางชนิด และองค์ประกอบ

ของสารอาหารในเมล็ดถั่วเหลืองในชุดทดลอง NCF มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในหลายช่วงอายุการเจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง โดยควบคุมให้มีระดับโอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ (CF) ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในปัจจุบันระดับโอโซนในเขตจังหวัดพิษณุโลกมีค่าความเข้มข้นเพียงพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบในเชิงลบต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ได้

จากผลการศึกษาผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของโอโซนที่มีต่อปริมาณรงควัตถุ การเจริญเติบโตองค์ประกอบผลผลิต(จำนวนฝัก/ต้น) องค์ประกอบทางเคมีบางชนิด (เยื่อใย เถ้า และความชื้น) และองค์ประกอบของสารอาหารในเมล็ด (โปรตีน) ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในช่วงระยะการเจริญเติบโต ทั้ง 3 ระยะดังแสดงผลการศึกษาในภาพที่ 4 – 20 7ผลการทดลองสามารถใช้ความรู้ทางกลไกเชิงสรีรวิทยาเพื่ออธิบายได้ดังนี้ เมื่อก๊าซโอโซนในบรรยากาศสัมผัสกับพื้นผิวใบ โอโซนจะแพร่เข้าสู่พืชทางปากใบที่เปิด เมื่อพืชได้รับโอโซนในระดับที่มากเกินไป พืชจะทำการปิดปากใบ ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง เพราะพืชลดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง ซึ่งก๊าซโอโซนทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชลดลงโดยการลดประสิทธิภาพของ Carboxylation ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการซ่อมแซมระบบการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง และรวมไปถึงการสร้างสารอาหารในระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองด้วย (Calatayud et al., 2003) จะเห็นได้ว่าโอโซนมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต องค์ประกอบทางเคมีบางชนิด และองค์ประกอบของสารอาหารในเมล็ดถั่วเหลืองจริง

จากผลการศึกษาผลกระทบของระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณรงควัตถุในใบของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิรดี ก.ศรีสุวรรณ (2551) ที่ศึกษาผลกระทบของระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณรงควัตถุในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ พบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ 05 โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ย เท่ากับ 13, 9.28 และ 8.31 ตามลำดับ (CF, NCF และ $CF+O_3$) ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ลดลงมากที่สุดในระยะ R3 และ R6 ซึ่งเป็นระยะการพัฒนาฝัก (pod development) และระยะการสะสมน้ำหนักเมล็ด (seed filling/development) จากการรายงานการวิจัยพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงมีส่วนเกี่ยวข้องกับอายุของใบและอาการแก่ก่อนวัยของพืช ซึ่งเป็นผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง เนื่องจากคลอโรพลาสต์ถูกทำลาย (Welfare et al., 1996) ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงทำให้การสังเคราะห์แสงทั้งน้ำหนักแห้งของพืชลดลงด้วย โดยโอโซนมีผลในการทำลาย cell membrane และรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง

ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง เนื่องจากโอโซนมีผลต่อกระบวนการสร้างอาหารและพลังงาน มีผลให้ผลผลิตของถั่วเหลืองลดลงด้วย ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Balscheffsky (1990) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ลดลง 20 – 40 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวบาร์เล่ห์ที่ได้รับโอโซนระดับความเข้มข้น 200 ppb และจากการทดลองในต้นสน ponderosa ที่ 3 ระดับ พบว่าคลอโรฟิลล์ เอ จะลดลงมากในโอโซนที่ความเข้มข้น 0.3 ppm ส่วนในความเข้มข้น 0.15 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี จะถูกทำลายทั้งในโอโซนที่ความเข้มข้น 0.3 และ 0.15 ppm ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและความเข้มข้นของระดับโอโซน (Andersona, 2003) ในพื้นที่ของประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบเช่นกัน ซึ่งจะเกิดอาการบาดเจ็บที่ใบ และอาการแก่ก่อนวัย โดยอาการที่เกิดขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (วิโรจน์ สุขสมัย , 2551) และจากการศึกษาคลอโรฟิลล์ในใบพืชของ Saitanis et al.,2001 ศึกษาคลอโรฟิลล์ในใบพืช จากการทดลองโอโซนที่ระดับ 90 ppb และ 135 ppb 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 20 วัน พบว่าเกิด necrotic และ chlorotic การแก่ก่อนวัย การทำลายกลไกการสังเคราะห์แสงและการทำลายคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ยังพบว่าการลดลงของ คลอโรฟิลล์ เอ มีส่วนเกี่ยวข้องกับอายุของใบ ซึ่งโอโซนทำให้เกิดการแก่ก่อนวัยเป็นผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง (Welfare et al., 1996) โดยโอโซนเป็นสาเหตุของการลดลงของปริมาณผลผลิตและการสังเคราะห์แสงในใบพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่ และลดการผลิตของ non-cyclic electron flow (PS II) (Angeles Calatayud & Eva Berrano., 2004) นอกจากนี้ Mikkelsen, Dodell and Lutz (1995) ยังพบว่าการลดลงของคลอโรฟิลล์ เอ มีส่วนเกี่ยวข้องกับอายุของใบ ซึ่งโอโซนจะทำให้เกิดการแก่ก่อนวัยและส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงตามไปด้วย จากการทดลองข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ที่ได้รับโอโซนระดับความเข้มข้น 70 ppb และ 40 ppb 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 120 วัน พบว่า โอโซนทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ เอ + บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ ลดลงมากกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 และโอโซนระดับความเข้มข้น 70 ppb ยังทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงมากกว่าโอโซนระดับความเข้มข้น 40 ppb (ฤทัยรัตน์ โพธิ, 2548)

จากผลการศึกษาผลกระทบของระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นต่อองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 พบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF) ซึ่งปัจจัยทางด้านจำนวนฝักต่อต้น เป็นเพียงปัจจัยเดียวที่ถูกควบคุมด้วยสภาพแวดล้อมคือ ก๊าซโอโซน ส่วนปัจจัยทางด้านจำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด เป็นปัจจัยที่ถูกควบคุมด้วยลักษณะของพันธุกรรม

ซึ่งผลการวิจัยพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ไม่พบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (NCF) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wahid et al., 1995 ที่ศึกษาในข้าวพันธุ์ 1R6-C และ Basmati 385 โดยทดสอบกับโอโซนความเข้มข้น 35.6 ppb พบว่าโอโซนมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยมีเมล็ดต่อร่วงลดลง 8.7 และ 6.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิรดี ก.ศรีสุวรรณ (2551) พบว่า ระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อฝัก และจำนวนฝักต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF) น้ำหนัก 100 เมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ โดยผลผลิตที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติมีน้ำหนัก 100 เมล็ดลดลง 11.11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF) ซึ่งการลดลงของผลผลิต และน้ำหนัก 100 เมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าระดับโอโซนมีผลในเชิงลบต่อผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

จากการศึกษาผลกระทบการเพิ่มขึ้นของโอโซนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ Full maturity : R8 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ Charcoal filtered : CF (โอโซนความเข้มข้นลดลงจากระดับธรรมชาติ), Non – charcoal filtered : NCF (ชุดควบคุม) และ $CF+O_3$ (โอโซนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ 64 ± 3.2 ppb) 7 ชั่วโมงต่อวัน ผลการศึกษา พบว่าปริมาณโปรตีนลดลงแต่ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจอธิบายได้ดังนี้

โดยธรรมชาติของถั่วเหลืองจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือเป็นแหล่งโปรตีน และพืชน้ำมัน โดยจะมีการแข่งขันในการสร้างสารอาหารทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่งถ้าสารใดถูกทำลายไปหรือสร้างได้น้อยลงจะทำให้สารอาหารอีกตัวหนึ่งเด่นชัดขึ้นมา ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องในฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืช:ถั่วเหลือง (พีรศักดิ์ ศรีนิเวศน์, 2545) โดยอธิบายไว้ว่า ในส่วนของพืชเมื่อปริมาณโปรตีนในพืชมีปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณไขมันมีปริมาณลดลง ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของเมล็ดถั่วเหลือง คือ โปรตีน และไขมัน ซึ่งมีสหสัมพันธ์ในทางลบซึ่งกันและกัน (เบญจวรรณ จำรูญพงษ์, วินัย สมประสงค์ และป่าน ปานขาว, 2547) กล่าวคือ พันธุ์ที่มีโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองสูง จะมีปริมาณน้ำมันต่ำ พันธุ์ที่มีโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองต่ำจะมีปริมาณน้ำมันสูง ซึ่งในพืชชนิดอื่นก็เช่นเดียวกันจากการศึกษาการตอบสนองต่อก๊าซโอโซนของผักกาดหอม 2 ชนิด ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กระบวนการสังเคราะห์แสง และปริมาณไขมัน พบว่า ปริมาณไขมันในใบผักกาดหอมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับก๊าซโอโซน โดยการเพิ่มขึ้นนี้พบว่าในการปลูกของพื้นที่ที่ได้รับก๊าซโอโซนจะสูงกว่าอีกพื้นที่หนึ่งที่ไม่ได้รับก๊าซโอโซนถึง 31 เปอร์เซ็นต์ (Calatayud and Barreno, 2004) จากผล

การศึกษาทำให้ทราบว่า ถ้าเปรียบเทียบการตอบสนองของปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันที่มีต่อระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นนั้น พบว่าสารอาหารทั้ง 2 ชนิด มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนด้วยกันทั้งคู่ เพียงแต่ว่ามีการตอบสนองทั้งในเชิงบวกและเชิงลบต่อระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น

จากการศึกษาผลกระทบการเพิ่มขึ้นของโอโซนที่มีต่อองค์ประกอบของสารอาหารในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ Full maturity : R8 ที่มีต่อปริมาณกรดไขมันโอเลอิก, ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก และปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก และกรดอะมิโนไลซีน ผลการศึกษา พบว่าปริมาณกรดไลโนเลอิก และ กรดไลโนเลนิก และกรดอะมิโนไลซีน ของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนในเชิงบวกคือเพิ่มขึ้นภายใต้การสัมผัสโอโซนที่ความเข้มข้นสูง ผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าก๊าซโอโซน เป็นก๊าซชนิดหนึ่งที่มีผลกระทบต่อถั่วเหลือง โดยก๊าซโอโซนจะผ่านเข้าสู่เซลล์พืชโดยผ่านทางปากใบแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ reactive oxygen species (ROS) เช่น O_2^-, H_2O_2, OH^- และอยู่ในส่วนของอะโพพลาสเซลล์ (Schraudner et al., 1998) ก๊าซโอโซนจะแพร่เข้าไปเมื่อปากใบเปิดพร้อมกับก๊าซตัวอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้ก๊าซโอโซนสามารถเข้าไปทำอันตรายต่อเยื่อหุ้มเซลล์และส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ได้

โดยโมเลกุล O_2^-, H_2O_2 เป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ (unpair electron) OH^- เป็นโมเลกุลที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงมาก สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นได้อย่างหลากหลาย และถึงแม้ว่า O_2^- จะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับไขมัน โปรตีน น้ำตาล และนิวคลีโอไทด์ได้ แต่ O_2^- ก็สามารถเปลี่ยนรูปเป็น OH^- ได้เมื่อเข้าทำปฏิกิริยากับพวกไอออนของโลหะ (metal reaction) และไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่ง NO เกิดจากมลภาวะในอากาศผ่านเข้าสู่เซลล์เมื่อทำปฏิกิริยา กับ O_2^- จะได้สารประกอบ peroxynitrite ซึ่งเป็นพิษมากกว่า (Ukeda, 1999) อนุมูลอิสระดังกล่าวมีความเป็นพิษต่อเซลล์สูง โดยจะไปทำลาย DHA, Proteins และ Lipid ของผนังเซลล์ ซึ่งไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ ปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชัน (peroxidation) ที่เกิดจาก ROS จะไปทำลายและเปลี่ยนแปลงจำนวนและตำแหน่งของพันธะคู่ (double bonds) ของ acyl chain ของกรดไขมัน โดยที่ OH^- จะแย่งเข้าจับกับกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เรียกว่า ปฏิกิริยา lipid peroxidation ได้เป็น lipid hydroperoxidase (LOOH) มีผลต่อสภาวะของเหลวและรูปร่างลักษณะของผนังเซลล์ได้ (Srivastara, 1998 อ้างอิงใน สุวดี ถาวรยศนนท์,2548, หน้า 24)

ROS แต่ละชนิดมีความเป็นพิษต่อเซลล์แตกต่างกันรวมทั้งชนิดของสารแอนติออกซิแดนท์ที่มากำจัด ROS แต่ละชนิดก็แตกต่างกันไปด้วย โดย O_2^- เป็นสารเริ่มต้นของการเกิด ROS อื่นๆ ได้แก่ H_2O_2 และ HO^- ซึ่ง H_2O_2 เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง O_2^- และ H^+ ส่วน

$HO^{\cdot}$ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง $O_2^{\cdot}$ และ H_2O_2 ในส่วนของ H_2O_2 ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่า ROS อื่น และสามารถกระจายอย่างรวดเร็วจากแหล่งกำเนิดไปยังเซลล์ต่างๆ ผ่านเนื้อเยื่อจึงทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อกระตุ้นการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องในการต่อสู้กับ ROS (Scebba et al., 2003) นอกจากนี้ H_2O_2 จะเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มี Sulfphydryl group เป็นองค์ประกอบ เช่น Cu/Zn-SOD และ Fe-SOD ซึ่ง H_2O_2 จะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วตลอดเนื้อเยื่อโดยการแพร่ (diffusion) และลดการสังเคราะห์แสงโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิดใน Calvin cycil (Nouchi, 1993) เมื่อเกิด ROS ในพืชแล้วจะถูกกำจัดโดยสารแอนติออกซิแดนท์ซึ่งมีหลายชนิดและกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเซลล์ สารแอนติออกซิแดนท์แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกำจัด ROS ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของ ROS รวมทั้งบริเวณที่เกิด ROS ว่าเกิดขึ้น ณ ส่วนใดของเซลล์ ดังนั้นสารแอนติออกซิแดนท์จึงมีอยู่ในหลายส่วนประกอบของเซลล์ โดยสารแอนติออกซิแดนท์ในพืชแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ พวกที่เป็นเอนไซม์และพวกที่ไม่เป็นเอนไซม์ พวกที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินอี (tocopherol) เบตาแคโรทีน โพลีเอมีน เป็นต้น และส่วนที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ SOD, APX เป็นต้น (Sharma and Davis, 1997)

ROS อีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงคือ $HO^{\cdot}$ เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ อีกทั้งยังเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา peroxidation กับไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์เรียกปฏิกิริยาที่เกิดว่า ลิปิด เปอร์ออกซิเดชั่น (lipid peroxidation) รวมทั้งทำให้เกิดการทำลายไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำลาย DNA และทำให้เอนไซม์บางชนิดไม่สามารถทำงานได้ (Chen and Pan, 1996) ส่วน $^1O_2$ มีระยะเวลาที่อยู่ในภายในเซลล์สั้นมากเพียง 0.1×10^{-6} วินาที ทำให้ยากต่อการตรวจวัด เนื่องจากถูกกำจัดอย่างรวดเร็วโดยแอสคอร์เบทในผนังเซลล์ก่อนที่จะเข้าสู่เนื้อเยื่อ ดังนั้น $^1O_2$ จึงมีผลกระทบต่อ mutagenesis, เกิดลิปิด เปอร์ออกซิเดชั่น กับเนื้อเยื่อไขมันไม่อิ่มตัว โดยกลไกของลิปิด เปอร์ออกซิเดชั่น บนพื้นฐานของการสังเกตปฏิกิริยาของเอสเทอร์กับซุปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนและออกซิเจน โซ่ไขมันจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลีเซอรอล และโมเลกุลของฟอสฟอไลปิด (Kanofsky and Sima, 1995) จากการสังเกตของ Senaratna (1985) โดยใช้เนื้อเยื่อไมโครโซมอลของเมล็ดถั่วเหลือง โดยการใช้ซุปเปอร์ออกไซด์จากแซนทีนออกซิเดส (Xanthine Oxidase) พบว่าปฏิกิริยาเกิดกับไขมันอิ่มตัวและฟอสฟอลิปิดทั่วๆ ไป จึงทำให้เกิดความเสียหายต่อปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว

จากผลการศึกษาถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบ สนองต่อระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ในถั่วเหลืองระยะยาว 2 รุ่น พบว่าโอโซนระดับสูงส่งผลกระทบในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

(NCF) ต่อ ปริมาณรงควัตถุในใบ (คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี) อย่างเด่นชัด โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงมากที่สุดที่ระยะ R1, R3 และ R5 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก ระยะเริ่มติดฝัก และระยะเริ่ม ติดเมล็ด และยังส่งผลกระทบต่อการลดลงขององค์ประกอบผลผลิต โดยปัจจัยที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด คือ จำนวนฝักต่อต้น ซึ่งพบว่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (NCF) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในขณะเดียวกันระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบในเชิงบวกต่อปริมาณไขมัน กรดอะมิโนไลโนเลอิก กรดอะมิโนไลโนเลนิก และ กรดอะมิโนไลซีน ซึ่งจากผลการศึกษาในครั้งนี้บ่งชี้อย่างชัดเจนว่า ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับธรรมชาตินั้น สามารถยับยั้งกระบวนการผลผลิต และลดคุณภาพสารอาหารในเมล็ดถั่วเหลือง แต่กลับส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันบางชนิดในเมล็ดถั่วเหลืองได้ และเมื่อนำถั่วเหลืองที่ประสบกับสภาวะการรับสัมผัสโอโซนในลักษณะเดิมปลูกอย่างต่อเนื่อง 2 รุ่น ก็พบผลการศึกษาในลักษณะเดียวกันทั้ง 2 รุ่น ในหลายปัจจัยที่ศึกษา

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ผลการศึกษาน่าจะเผยแพร่ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อไป ในเพื่อวางแผนระยะการปลูกที่เหมาะสมในการรับมือกับสถานการณ์ในอนาคต

9.2 ควรต่อยอดองค์ความรู้ในการวิจัยเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสถานการณ์ระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะโลกร้อนในอนาคต

10.เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2551). **ข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2551, จาก http://www.pcd.go.th.

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). ข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2553, จาก http://www.pcd.go.th.

กรมวิชาการเกษตร. (2547). พันธุ์ถั่วเหลือง. สืบค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2551, จาก http://www.doa.go.th/AG/Soybean/Variety.htm

ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. (2545). เอกสารการสอน วิชาพืชไร่สำคัญของประเทศไทย. ภาควิชาพืชไร่เกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เทียมใจ คมกฤส. (2542). **กายวิภาคของพฤกษ์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีรภัทร์ สุขแสงดาว, (2549). ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้ง (Brassica campertris var. chinensis). วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

เบญจวรรณ จำรูญพงษ์, วินัย สมประสงค์ และป่าน ปานขาว (บรรณาธิการ). (2547). **ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืช: ถั่วเหลือง.** กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด

ปวีณา พงษ์ดนตรี และประสาร สวัสดิ์ชัดัง. (2548). **การศึกษาปริมาณน้ำมัน ชนิดและประมาณของกรดไขมันและความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันจากถั่วลิสงเมล็ดโตสายพันธุ์ ต่าง ๆ.** โครงการวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

เพลินใจ ตั้งคณะกล, (2546). **ยอมรับถั่วเหลือง เป็นหนึ่งในอาหารประจำวันของเรา.** วารสารอาหาร, 12(1), 11-14

ภาคภูมิ พระประเสริฐ. (2550). **สรีรวิทยาของพืช** กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

ภาณุวรรณ จันทวรรณกูร. (2543). **การศึกษาถั่วหมัก อาหารพื้นบ้านในภาคเหนือ.** วารสารวิทยาสาร, 6(36).

ฤทัยรัตน์ โพธิ. (2548). **ผลของโอโซนที่มีต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าว (*Oryza Sativa L.*)** พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. (2543). **มลภาวะอากาศ.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง. (2530). **เคมีอาหารเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ศิริพงศ์ สุขเทวี. (2546). **การประเมินความเข้มข้นของโอโซน บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยรามคำแหงโดยใช้วิธี Multiple Linear regression.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่. (2545). สรีรวิทยาการเจริญและพัฒนาการของถั่วเหลืองและการจัดการ. สำนักพิมพ์โชตนาพริ้นท์, 12 – 30.

สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. (2548). สรุปรายงานผลงานวิจัยพืชไร่ **2548.** สถาบันวิจัยพืชไร่. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย. (2543). ถั่วเหลืองในเขตชลประทาน.เอกสารทางวิชาการสถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สมบุญ เตชะภัญญาวัฒน์. (2544). สรรีวิทยาของพืช. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2545). แหล่งผลิตถั่วเหลืองในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2551, จาก http://doae.go.th/plant/soybn.htm.

สุธีลา ตุลยะเสถียร โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิติ วงศ์สวรรค์. (2544). **มลพิษสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์รวมสาส์น (1997) จำกัด

สุวดี ถาวรยศนนท์. (2548). **ผลของก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงของซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตส ปริมาณรวมแอสคอเบต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในข้าว (Oryza sativa L.).** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

สุมิตรา ปิ่นทองคำ. (2533). **ศึกษาช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเมล็ดสีเขียว.** ในรายงานกาสัมมนาปฏิบัติการงานวิจัยถั่วเขียงครั้งที่ 3 จังหวัดเชียงใหม่. (หน้า 250-258). เชียงใหม่ : กรมวิชาการเกษตร.

อภิพรรณ พุกภักดี. (2546). **ถั่วเหลืองพืชทองของไทย.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิรดี ก.ศรีสุวรรณ. (2551). **ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของโทโปสเฟียริคโอโซนต่อองค์ประกอบผลผลิตและคุณภาพของถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

Andersona, P.D. (2003). Chloroplastic responses of ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) seedling to ozone exposure. **Environment International**, 29, 407-413.

Antonielli, M. (1997). Physiological characteristics of tobacco cultivars with contrasting sensitivity to ozone. Environment and Experimental Botany, 38, 271-277.

Ariyaphanphitak, W. 2004. Effects of Ground-level Ozone on Crop Productivity in Thailand. Proceeding of The 3rd The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)", Vol 2. 1-3 December, 2004. Huahin, Thailand. pp 794-799.

AOAC.1995. Official Methods of Analysis (15th edition). Virginia:Association of Official Analytical Chemists,Inc.

Balscheffsky, M.(1990). Current Research in photosynthesis. Dordreeht : Kluwer Acedemic.

Bhatt, M., and Chanda, S.V. (2003). Prediction of leaf area in Phaseolus vulgaris by non destructive. **Method Bulg.J. Plant Physiol**, 29, 96-100.

Black, V.J., Black, C.R., Roberts, J.A., and Stewart, C.A. (2000). Impact of ozone on the reproduction development of plants. **New Phytol.** 147, 421-447.

Butler, L.K. and Tibbitts, T.W. (1979). Stomatal mechanisms determining determining genetic resistance to ozone in *Phareolus vulgaris* L. **American Society of Horticultural Science**, 104, 213-312.

Calatayud , A. and Barreno, E., (2003). Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. **Plant Physiology and Biochemistry**, 42, 549-555.

Chen, C.,& Pan, S. (1996). Assay of superoxide dismutase activity by combining electrophoresis and densitometry. **Brotanical Bulletin of Academia Sinica**, 37, 107-111.

Clark, A.J.et.al.(2000). Beech (*Fagus sylvatica*) response to ozone exposure assessed with a chlorophyll a fluorescence performance index. **Environmental Pollution**, 109, 501 – 507.

Clark C.S., Weber J.A., Lee E.H. & Hogsett W.E. (1995). Accentuation of gas exchange gradients in flushes of ponderosa pine exposed to ozone. **Tree Physiol**, 15, 181-189

Collback, I. and Mackenzie, A.R. (1994). Air pollution by photochemical oxidants. In Elsevier Science (pp.11-15). Netherlands: BV.

Cooley and William J.Manning (1987). The impact of ozone on assimilate partitioning in plants. **A review Environmental Pollution**, 47, (2) 95-113.

Darrall,N.M. (1989). The effect of air pollutants on physiological precesses in plant. **Plant Cell Environ**, 12, 1-30.

David, J.M. (Ed.). (1993). **Tropospheric ozone : Human Health and Agricultural Impact**. United States of America : CRC.

Didier Le Thiec, Sirkku Manninen. (2003). Ozone and water deficit reduced growth of Aleppo pine seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**. 41, 55 – 63.

Dizengremel Pierre. (2001). Effects of ozone on the carbon metabolism of forest treses. **Plant Physiol. Biochem**, 39, 729 – 742.

El-Khatib, A.A. (2003). The response of some common Egyptian plants to ozone and their use as biomonitors. **Environmental pollution**, 124, 419 – 428.

Ferdinand, J. (2000). Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina.*) seedling. **Environment Pollution**. 108, 297 – 302.

Foyer, C.H., Descourvieres, P. & Kunert, K.J. (1994). Protection against oxygen radicals : an important defence mechanism studied in transgenic plants. **Plant Cell and Environment**, 17, 507 - 523.

Fumagalli, I., Gimeno, S., Velissariou, D., Temmerman, L., and Mills (2001). Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediteranean region. **Asmospheric Environment**, 35, 2583-2587.

Guidi,L., Tonini, M .& Soldatini, G.F. (2000). Effect of high light and ozone fumigation on

photosynthesis in *Phaseolus vulgaris.* **Plant Physiol Biochem**, 38, 717 – 725.

Heagle, A.S., (1989). Ozone and crop yield. **Annu. Rev. Phytopathcl**. 27(2), 397-423.

Heck, W.W. (1982). Assessment of crop loss from ozone . J.Air pollut .**Control Assoc**. 32, 353-6.

Heggestadt, H.E. (1991). Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B tobacco varieties and use as indicators of ozone. Environ. Pollut. 74, 264-291

Holopainen, J.K. (1996). Ozone levels and plant growth. **Trends Plant Sci**, 1, 368-369.

Kanofsky and Sima, (1995). Reactive Absorption of Ozone by Aqueous Biomolecule Solution: Implications for the Role of Sulfhydryl Compounds as Targets for Ozone. **Biochemistry and Biophysics**, 316, (1), 52-62.

Mauzerall, D. and Wang, X. (2001). Protecting Agricultural crops from the effects of tropospheric ozone exposure : reconciling science and standard setting in the United States, Europe and Asia. **Energy Environ**, 26, 237-268.

McAinsh, M.R. et.al. (2002). Calcium signaling in stomatal responses to pollutants. **New Phytologist**, 153, 441 – 447.

Meyer, U., Kollner, B., Willenbrink, J. and Krause, G.H.M. (2000). Effect of different ozone exposure regimes on photosynthesis, assimilates and thousand grain weight in spring wheat. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, 78, 49-55.

Miller, J.E., Booker, F.L., Ficus, E.L., Heagle, A.S., Pursley, W.A., Vozzo, S.F., and Heak, W.W., (1994). Ultraviolet-B Radiation and ozone Effects on Growth, Yield, and Photosynthesis of Soybean, Journal of Environment Quality, 23, 83-91.

Mudd, J.B. (1997). Foreword on ozone. California : department of Botany. University of California, Riverside.

Nouchi I. (1993). Changes in Antioxidant Levels and Activities of Related Enzymes in Rice Leaves Exposed to Ozone. **Soil Sciense and Plant Nutrition**, 39(2), 309-320.

Ollerenshaw, J.H., Lyons, T, and Barnes, J.D. (1999). Impact of ozone on the growth and yield of field-grown winter seed rape oil. **Environmental Pollution**, 104, 53-59.

Olszyk, D.M.& Wise, C. (1997). Interactive effect of elevated CO_2 and O_3 on rice and flacca tamato. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, 66, 1 – 10.

Pezeshki, S.R. and Hiinkley, T.M. (1982). The stomatal response of red alder and black cottonwood to changing water atatus. Canadian Journal of Forest Research, 12, 761-771.

Pleijej, H. (1999). Tropospheric ozone decreases biomass production in radish plants (Raphanus sativus) grow in rural south-west Sweden. Environmental Pollution, 106, 143-147.

Reich, P.B. (1984). Loss of stomatal function in ageing hybrid poplar leaves. **Annals of Botany**. 53, 691-698.

Reiling, K. & Davison, A.W. (1995). Effect of ozone on stoma conductance and photosynthesis in population of *Plantago major* L. **New Phytologist**, 129, 587 –594.

Renaud J.p., Allard G , and Maufette Y, (1997). Effect of ozone on yield growth, and root starch concentration of two alfalfa (Medicago Sativa L.) cultivars. **Environmental Pollution**. 95, 273-281.

Ruiz Lopez, N., Martinez-force, E. and Garces, R. (2003). Sequential one-step extraction and analysis of triacylglycerols and fatty acid in plant tissues. **Analytical biochemistry**. 317, 247-254.

Saitanis, C.J., Karandinos, A.N.R.& Karandinos,M.G. (2001). Effect of ozone on chlorophyll and quantum yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* l.) varieties. **Chemosphere**, 42, 945 – 953.

Scebba, F. (2003). O_3 – induced changes in the antioxidation systems and their relationship to different degrees of susceptibility of two clover species. **Plant Science**, 165, 583-593.

Schraudner, M. (1998). Ozone-induced oxidative burst in the ozone biomonitor plant, tobacco Bel W3. **The Plant Journal**, 16, 235-245.

Senaratna, Tissa, McKersie, Bryan D, Stinson, Robert H. and Simulation. (1985). Dehydration Injury to Membranes from Soybean Axes by Free Radicals. **Plant Physiol**. 77 (2), 472-474.

Sharma,. K.Y., and Davis, R.K. (1997). Ozone-Induced Expression of syress-Related Genes in Arabidopsis. **Plant Physiology**, 105 (4), 1089-1096.

Smith, S.A., R.E. King and D.B. Min. (2007). Oxidative and thermal stabilities of genetically modified high oleic sunflower oil. **Journal Food Chemistry**. 102, 1208-1213.

Srivastara, H.S. (1998). Biochemical defence mechanism of plants to increase levels of ozone and other atmospheric pollutant. **Plant Science**. 77, 265-273.

Ukeda, H. (September 8, 1999). **Assay of Enzyme Superoxide Dismutase (SOD)**. Retrieved on January 17, 2003. from:http://www.dojindo.com/newsletter/review_vol3-3.html.

Wang, X. and Mauzerall, D. (2004). Characterizing distributions of surface ozone and its impact on grain production in China, Japan and Korea : 1990 and 2020. **Atmospheric Environment**, 38, 4383-4420.

Weingarten, K.E., K.E. Dashiell, and A.I. Nelson. (1987). Soybean Utilization in Africa : Making a Place for a New Food. **Food and Nutrition (FAO Review)**, 13(2), 21-28.

Welfare, K., Flowers, T.J., Taylor, G. and Yeo, A.R. (1996). Additive and antagonistic\ effects of ozone and salinity on the growth, ion contents and gas exchange of five varieties of rice *Oryza sativa* L. **Environ. Pollut**, 92, 257-266.

WHO,Lefohn, AS and Runeckles, VC. (1987). Establishing standards to protect vegetation ozone exposure/dose consideration. **Atmospheric Environment** , 21(3), pp. 561-568. 1987.

Yoshida, S.C., Forno, D.A., Cock, J.H. and Gomez, J.C. (1976). **Laboratory manual for physiological studies of rice**., The Internation Rice Research Institute, Philippines.

Zeiger, E., Farquhar. G.D. and Cowan, I.R. (Eds.).(1989). **Stomatal function**. Stamford: Stamford University Press.