(อภินันทนาการ)

สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประเมินผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างสภาวะโลกร้อน
และการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมัน
ที่สำคัญของถั่วเหลืองไทย

Assessing Impacts of Combination of Global Warming and
Increased Tropospheric Ozone Factors
on Important Amino Acid and Lipid Acid
of Thai Soybean (Glycine max (L.) Merr.)

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กณิตา ธนเจริญชณภาส
และ คณะ

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน ๓ - ก.ย. ๒๕๕๘
เลขทะเบียน 1.68308 57
เลขเรียกหนังสือ 2 SB
205
.S7
ก722ก
2556

เสนอ
มหาวิทยาลัยนเรศวร
พฤษภาคม 2556

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย

(ภาษาไทย) การประเมินผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างสภาวะโลกร้อนและการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันที่สำคัญของถั่วเหลืองไทย

(ภาษาอังกฤษ) Assessing Impacts of Combination of Global Warming and Increased Tropospheric Ozone Factors on Important Amino Acid and Lipid Acid of Thai Soybean (Glycine max (L.) Merr

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 อนุสรา โพธิ์ศรี

นิสิตปริญญาโทสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ภาควิชา ชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร , จังหวัดพิษณุโลก 65000

3. ได้รับอนุมัติจัดสรรงบประมาณประจำปี 2554 จำนวนเงิน 319,000บาท

4. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสาขา สาขาเกษตรศาสตร์ และ ชีววิทยา

5. เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 1 ธันวาคม 2553 ถึง 1 พฤษภาคม 2556

กิตติกรรมประกาศ

ดิฉันในฐานะหัวหน้าโครงการวิจัย เรื่อง การประเมินผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างสภาวะโลกร้อนและการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันที่สำคัญของถั่วเหลืองไทยและ ทีมผู้ร่วมวิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นอย่างยิ่งสำหรับการอนุมัติและสนับสนุนทุนการวิจัย เป็นจำนวนเงิน 319,000 บาท ซึ่งเป็นงบประมาณสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณแผ่นดินปี 2554 และขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับการอนุมัติให้ขยายเวลาการดำเนินโครงการเป็นกรณีพิเศษจนครบ 2 ปี 6 เดือน จนสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จได้เป็นอย่างดีตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ทุกประการ ขอขอบคุณสำหรับภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และหน่วยวิจัย คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับการอนุเคราะห์ และ ให้ความสะดวกสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ และ ให้ความสะดวกในด้านเอกสารตามลำดับ และขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับนิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร คือนางสาวอนุสรา โพธิ์ศรี ซึ่งได้ปฏิบัติงานทั้งในส่วนปฏิบัติการภาคสนามและในห้องปฏิบัติการรวมทั้งการช่วยประสานงานด้านเครื่องมือต่างๆ เป็นเวลา 2 ปี 6 เดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553- พ.ศ.2556 มาโดยตลอดจนเสร็จสิ้นการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับความสำเร็จของงานวิจัยครั้งนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กณิตา ธนเจริญชณภาส

หัวหน้าโครงการวิจัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อให้ทราบว่าถั่วเหลือง *(Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อความแตกต่างของปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซน อย่างไร ในการศึกษาได้ทำการ ปลูกถั่วเหลืองในตู้ทดลองระบบเปิดด้านบน ตั้งแต่ เดือนธันวาคม 2554- – มีนาคม 2555 ในพื้นที่วิจัยคณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้ตู้ทดลองระบบเปิดด้านบนครอบแปลงถั่วเหลืองตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยวภายใต้ปัจจัยร่วมระดับโอโซนแตกต่างกัน 3 ระดับ และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 ระดับ รวมเป็น 6 ชุดทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ กลุ่มที่ได้รับโอโซน 3 ระดับแต่ได้รับการควบคุมอุณหภูมิให้เทียบเท่าธรรมชาติ (คือชุดการทดลอง Ozone-L-AT Ozone-A-AT (ชุดควบคุม) Ozone-H-AT) และกลุ่มที่ได้รับโอโซน 3 ระดับเช่นกัน แต่ได้รับปัจจัยอุณหภูมิที่สูงกว่าธรรมชาติ (คือชุดการทดลอง Ozone-L-HT Ozone-A-HT และ Ozone-H-HT (ปัจจัยร่วมระดับโอโซนและอุณหภูมิสูงที่สุด)) ผลการวิจัยบ่งชี้ว่าชุดการทดลองซึ่งมีปัจจัยร่วมระหว่างโอโซนสูงที่สุดและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกว่าระดับธรรมชาติทั้ง 2 ปัจจัย (Ozone-H-HT) ส่งผลกระทบ เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่เด่นชัดที่สุด ต่อผลผลิต (จำนวนฝัก/ต้น) ระดับโปรตีน และระดับกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ด โดยลดลงถึง 30.99 % 35.14 % และ 12% ตามลำดับ (เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม) อย่างไรก็ตามพบผลการศึกษาในทางตรงข้ามเมื่อผลการศึกษาพบว่าปัจจัยร่วมดังกล่าว(Ozone-H-HT) ส่งผลทำให้กรดไขมันไลโนเลอิกและไลโนเลนิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นั่นคือ กรดไขมันไลโนเลอิก เพิ่มขึ้น 16.8 % กรดไขมันไลโนเลนิกเพิ่มขึ้น 2.7 % จากผลการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้อย่างชัดเจนว่า ปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่สูงกว่าระดับธรรมชาติร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับธรรมชาติ เป็นการเสริมฤทธิ์ที่ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อปริมาณผลผลิต และคุณภาพสารอาหารของระดับโปรตีน และกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่กลับส่งผลบวกต่อปริมาณไขมัน และกรดไขมันทั้ง 2 ชนิด (ไลโนเลอิกและ ไลโนเลนิก)

ABSTRACT

The aim of the study was to find out how the response to combination factors of enhanced air temperature and enhanced ozone 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 2011- March 2012 at Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment Research Field, Phitsanulok. In experiment, the Open top Chambers system were applied and soybean were planted under 6 conditions of combination factors among 3 levels of ozone concentrations and 2 levels of air temperature . These 6 conditions (6 treatments) were separated into 2 groups. The first group, 3 levels of ozone concentrations were controlled under ambient level of air temperature (3 treatments; Ozone-L-AT, Ozone-A-AT (control treatments) and Ozone-H-AT). The second group, 3 levels of ozone concentrations were controlled under enhanced level of air temperature (3 treatments; Ozone-L-HT, Ozone-A-HT and Ozone-H-HT (combination factors between the highest temperature and the highest ozone concentration). The results showed the obvious significant negative ($p<0.05$) effects of combination factors between the highest temperature and the highest ozone concentration (Ozone-H-HT treatment) in yield (No. of pod/plant), protein content and amino acid- lysine. We found the significantly ($p<0.05$) decreased by 30.99 %, 35.14 % and 12% (compared with control treatment) in No. of pod/plant by, protein content and amino acid-lysine, respectively. In contrast, we found significantly($p<0.05$) increased in fatty acid-linoleic by 16.8 % and fatty acid- lynolenic by 2.7 % (compared Ozone-H-HT treatment with control treatment). In conclusion, this study clearly indicated that the combination factors between enhanced air temperature and enhanced ozone could significantly ($p<0.05$) decreased yield , protein content and amino acid-lysine

in soybean seed but this could significantly ($p<0.05$) induce the increase in fatty acid- linoleic and fatty acid- lynolenic.

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

สรุปโครงการวิจัย

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัจจัยด้านภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อพืชการเกษตร เป็นอิทธิพลหลักต่อการลดคุณภาพผลผลิตและคุณภาพสารอาหารของทรัพยากรทางการเกษตร (Aydinalp and Cresser, 2008) เมื่อคำนึงถึงประเด็นดังกล่าวร่วมกับการประเมินปัญหาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกจากสภาวะโลกร้อนซึ่งเกิดขึ้นจริงและมีหลักฐานข้อมูลจากการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องและเด่นชัด รวมทั้งการศึกษาที่คาดว่าผลกระทบดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต (Horel and Geisler, 1997; IPCC, 2001; Keeling and Whorf, 2003; IPCC, 2006; IPCC, 2007) ย่อมมีผลกระทบในเชิงลบต่อผลผลิตในภาคส่วนการเกษตรอย่างแน่นอน โดยมีข้อมูลยืนยันจากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย ที่พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งการเกิดสภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบโดยตรงและทางอ้อมต่อการลดลงของผลผลิตและคุณภาพสารอาหารของธัญพืชหลักของโลกหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวหอมมะลิไทย (Jacobson, 2002; Fuhrer, 2003; Prasad et al., 2006; กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ, 2551; กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรสรักชาติ, 2552) และยิ่งกว่านั้นได้มีการศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 พบว่า การเพิ่มระดับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่เสริมต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปรสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์สัมผัสโดยตรง และมีแนวโน้มของการเพิ่มระดับความเข้มข้นต่อไปในอนาคตภายใต้สภาวะโลกร้อน (Akimoto et al., 2007) ในทางกลับกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนในระดับโทรโปสเฟียร์ก็เป็นปัจจัยเสริมทางอ้อมต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนเช่นเดียวกัน (Mickley et al., 2004)

ประเด็นที่น่าสนใจคือไม่เพียงแต่การเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิโลกที่ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อพืชทางการเกษตร แต่พบว่า ก๊าซโอโซนในชั้นโทรโปรสเฟียร์เพียงปัจจัยเดียวก็ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อพืชทางการเกษตรที่สำคัญของโลกเช่นเดียวกัน เนื่องจากสภาวะทางเคมีของก๊าซโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิแดนที่รุนแรงมากสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชได้โดยตรง เนื่องจากส่งผลรบกวนกลไกเชิงสรีรวิทยาของพืชอย่างต่อเนื่อง จนนำไปสู่การลดปริมาณและคุณภาพคุณภาพ

สารอาหารในเมล็ดเช่น ข้าว, ถั่วเหลือง, ข้าวสาลี, ใบยาสูบ (Antonielli et al., 1997; Cataldo, 2000; Craker, 1971; Ariyaphanphitak, 2004; Ariyaphanphitak, 2005; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ คณะ, 2551) ซึ่งปัญหานี้ได้เกิดขึ้นแล้ว ในสหรัฐอเมริกา, อังกฤษ, กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย, ประเทศแถบยุโรป แม้กระทั่งในเอเชีย เช่นประเทศ อินเดีย ปากีสถาน บังคลาเทศ อินโดนีเซีย และ เมื่อประเมินผลเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ ในสหรัฐอเมริกาพบว่ามูลค่าความเสียหายถึง 30,000 ดอลลาร์ สหรัฐต่อปี (David et al., 1994; Reilly et al., 2007;)

เมื่อพิจารณาข้อมูลดังกล่าว ร่วมกับหลักฐานจากข้อมูลการวิจัยและการบันทึกจากหลายหน่วยงานบ่งบอกถึงความเป็นไปได้จริงของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจากสภาวะโลกร้อนร่วมกับการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนในบรรยากาศในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ข้อมูลดังกล่าว อาทิเช่น แนวโน้มการเพิ่มอุณหภูมิและการเพิ่มจำนวนวันที่มีอุณหภูมิสูงของประเทศไทย (จงกลนี อยู่สบาย, 2552; นงค์นาถ อู่ประสิทธิ์วงศ์, 2552) รวมทั้งข้อมูลความเข้มแสงในเขตจังหวัดพิษณุโลกตลอดทั้งปีซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งประเทศส่งผลต่อสภาวะอุณหภูมิสูงมากตลอดทั้งปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2552) โดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรบางพื้นพบว่าระดับอุณหภูมิสูงเกินสภาวะเหมาะสมต่อการปลูกถั่วเหลืองในช่วงฤดูกาลปลูกโดยพบว่า เกินระดับ 33-35 oC (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาจังหวัดพิษณุโลก, 2552 : องค์การบริหารส่วนตำบลวัดโบสถ์, 2552) ซึ่งปัจจัยร่วมระหว่าง ความเข้มแสงสูง ร่วมกับ ระดับอุณหภูมิที่สูง รวมทั้งสภาพการเป็นจังหวัดที่มียวดยานพาหนะคับคั่งที่สามารถผลิตกลุ่มสารตั้งต้นในการผลิตโอโซนในบรรยากาศ (Kang et al., 2004) ย่อมส่งผลความเป็นไปได้จริง ต่อสภาวะการเพิ่มระดับโอโซนในบรรยากาศของจังหวัดพิษณุโลก ร่วมกับสภาวะโลกร้อน

ดังนั้นเมื่อเชื่อมโยงประเด็นปัญหาร่วมดังกล่าว ร่วมกับการพิจารณาความสำคัญในการเป็นพื้นที่ผลิตถั่วเหลืองของจังหวัดพิษณุโลก โดยมีผลผลิตเป็นอันดับ 3 ของภาคเหนือ ซึ่งภาคเหนือผลิตได้สูงสุดของประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2552) ประกอบกับข้อมูลที่ระบุว่าถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความไวต่อการตอบสนองในทางลบต่อสภาวะอุณหภูมิสูง (Salvucci and crafts-Brandner, 2004) และมีความไวต่อการตอบสนองก๊าซโอโซนในเชิงลบ (Miller et al, 1994) ประกอบกับข้อมูลจากการ วัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก เช่น อ.วังทอง อ.เมือง และ เขตมหาวิทยาลัยนเรศวร จากโครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 50-51 ของมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่า

ในฤดูกาลปลูกถั่วเหลืองใน ปี พ.ศ. 2549-2551 ที่ผ่านมา ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ในช่วงกลางวัน ระหว่างเวลา 11.00-14.00 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 20 - 70 ppb ซึ่งเป็นระดับที่มีศักยภาพเพียงพอต่อการส่งผลกระทบในเชิงลบต่อการเติบโตของถั่วเหลืองได้จริง (Ariyaphanphitak et al., 2004) คณะผู้วิจัยจึงตระหนักถึงความสำคัญของการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยร่วมกันระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิและระดับก๊าซโอโซนในบรรยากาศที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของกรดอะมิโนและกรดไขมันซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญในพืชถั่วเหลืองในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ผลการวิจัยจากโครงการนี้จะนำไปสู่การต่อยอดการวิจัยด้านการพัฒนาการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศต่อไปของ ประเทศไทย ทั้งนี้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นย่อมนำไปสู่การรองรับปัญหาความเสี่ยงด้านความมั่นคงของอาหารจากพืชการเกษตรของพื้นที่พิษณุโลกและประเทศไทยนั่นเอง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อให้ทราบผลกระทบของปัจจัยร่วมของการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาพธรรมชาติร่วมกับระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อคุณภาพผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง

2.2 เพื่อให้ทราบผลกระทบของปัจจัยร่วมของการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาพธรรมชาติร่วมกับระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันชนิดสำคัญของเมล็ดถั่วเหลือง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 สถานที่วิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้พื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในแปลงทดลองทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลทางสรีรวิทยาบางประการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด ณ ห้องปฏิบัติการ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

3.2 พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการวิจัย

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

3.3 การวางแผนการวิจัย

ในการวิจัย ได้กำหนดวางแผนการทดลองแบบ วางแผนการทดลองเป็นแบบ Random Completed Block Design (RCBD) 3 ซ้ำในแต่ละชุดทดลอง ซึ่งชุดทดลองดังกล่าวจะมีทั้งหมด 6 ชุดทดลอง 3 ซ้ำ โดยการกำหนดชุดทดลองดังกล่าวขึ้นกับ ปัจจัยร่วม 2 ลักษณะ เพื่อสร้างและควบคุมสภาวการณ์จำลอง ใน chamber คือ

1) ชุดทดลองซึ่งให้ถั่วเหลืองปลูกภายใต้สภาวะปัจจัยของการสัมผัสโอโซนในระดับที่แตกต่างกัน 3 ระดับ แต่ระดับอุณหภูมิจะถูกควบคุมให้ลดลงเทียบเท่ากับระดับธรรมชาติ
2) ชุดทดลองปัจจัยร่วม ซึ่งให้ถั่วเหลืองปลูกภายใต้สภาวะปัจจัยของการสัมผัสอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 ระดับ

ดังนั้นชุดทดลองทั้งหมดมีทั้งหมด 6 ชุด (3 x 2 ปัจจัย) คือ

Ozone-L-AT ชุดที่ โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ)/ Ozone-A-AT (ชุดควบคุม)ชุดที่ระดับโอโซนระดับเท่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ

Ozone-H-ATชุดที่ระดับโอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ

Ozone-L-HT ชุดที่ โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

Ozone-A-HT ชุดที่ระดับโอโซนระดับเท่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

Ozone-H-HT ชุดที่ระดับโอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

3.4 การสร้างสภาวการณ์โลกร้อนและการสร้างสภาวะการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซน

(1) Open Top Chamber (OTC)

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะประยุกต์ใช้ Open Top Chamber (ห้องระบบเปิดด้านบน) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ดัดแปลงมาจาก กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ (2555) เพื่อใช้ควบคุมลักษณะ 6 ชุดทดลอง 3 ซ้ำ (6 treat x 3 rep.) ดังแสดงในตารางที่ 2 ลักษณะของ Open Top Chamber คลุมด้วยพลาสติกใสรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร สูง 1.7 เปิดหลังคาด้านบน และมีหลังคาหุ้มด้วยพลาสติกใสเพื่อกันน้ำฝน (เพื่อป้องกันเครื่องมืออิเลคโทรนิคจากน้ำฝน) ด้านหน้าต่อท่อเพื่อดูดอากาศเข้าไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะไร้อากาศในตู้ทดลอง และติดตั้ง activated carbon filter ด้านหน้าเพื่อให้อากาศที่ผ่านเข้าไปได้รับการกรองมลสารที่สำคัญ เช่น ก๊าซโอโซน ไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จุดประสงค์เพื่อให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการศึกษาเกิดจากสภาวะอุณหภูมิปัจจัยเดียว

(2) การควบคุมอากาศและควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองโดยจำลองสภาวะโลกร้อน และการสร้างสภาวะการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซน

2.1 *การสร้างสภาวะเปรียบเสมือนโลกร้อน* ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะโลกร้อนเกิดจากการสะท้อนกลับของอินฟราเรดซึ่งก่อให้เกิดพลังงานความร้อนระดับสูงส่งผลทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ในการวิจัยจะดัดแปลงตู้ทดลองในการวิจัยของกณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รัก

ชาติ (2555) และติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมคือหลอดไฟสีเขียวเพื่อเพิ่มระดับความร้อนในตู้ทดลองให้สูงกว่าระดับธรรมชาติประมาณ 3-5 องศาเซลเซียสให้เสมือนสภาวการณ์โลกร้อนในตู้ทดลองชุด Ozone-L-HT Ozone-A-HT และ Ozone-H-HT

2.2 การควบคุมอากาศและลดอุณหภูมิในห้องทดลองให้เทียบเท่าธรรมชาติ

การกระจายของอากาศและการลดอุณหภูมิในห้องทดลองให้กระจายได้อย่างทั่วถึงนั้น ดำเนินการโดยการติดพัดลมบริเวณมุมด้านล่างของด้านหน้าห้องทดลองเพื่อดูดอากาศเข้า บริเวณด้านหน้าของพัดลมดูดอากาศเข้าอากาศที่ดูดเข้าจะผ่านแผ่นกรองมลสารอื่นๆโดยใช้ถ่านกัมมันต์ เป็นตัวกรอง และผ่านแผ่นกรองฝุ่นอีก 1 ชั้น (ห้องทดลองซึ่งเป็นกลุ่ม control จะใช้เพียงแผ่นกรองฝุ่นเท่านั้น) ประกอบกับลักษณะ Open top chamber เป็นทรงกระบอกดังนั้นจึงมีส่วนช่วยเป็นอย่างมากต่อการหมุนเวียนอากาศใน Open top chamber ในชุดทดลอง Ozone-L-AT Ozone-A-AT และ Ozone-H-AT

3) การควบคุมระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในห้องทดลอง

ห้องทดลองซึ่งต้องการควบคุมปริมาณโอโซนทำโดยการติดตั้งเครื่องผลิตก๊าซโอโซน (ozone generator) ซึ่งมีกำลังผลิต 300 mg/hr บริเวณด้านหน้าห้องทดลอง การควบคุมปริมาณก๊าซทำได้โดยการดึงอากาศผ่านท่อที่ระดับความสูง 1 เมตร ให้อากาศผ่านแผ่นกรองถ่านกัมมันต์ (charcoal-filtered ซึ่งเป็นแผ่นกรอง มลสารต่างๆ รวมทั้งโอโซน)เข้าไปใน ตู้ทดลอง ซึ่งในตู้ทดลองจะเปิดเครื่อง ozone generator โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับระดับโอโซน เพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซน และควบคุมเพื่อให้มีระดับที่ต้องการ 3 ระดับคือ

(1) ห้องทดลองที่ไม่มี charcoal-filtered

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้ เท่ากับสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยไม่ไม่การดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal

(2) ห้องทดลองที่มี charcoal-filtered

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้จะมีระดับน้อยกว่าสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยผ่านระบบการดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal

ห้องทดลองที่ มี charcoal-filtered และพ่นโอโซนด้วย ozone generator

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้จะมีระดับสูงกว่าสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยผ่านระบบการดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal และได้รับก๊าซโอโซนในระดับ ที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ (non- charcoal filtered air + ozone)

เหตุผลที่ต้องดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal เนื่องจากเป็นการควบคุมตัวแปร มลสารทางอากาศชนิดอื่นๆ เพื่อให้แน่ใจว่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากก๊าซโอโซนจริงและเพิ่มโอโซนโดยเครื่อง ozone generator

3.5 การจัดการปลูกถั่วเหลือง

13.1 ทำการเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกถั่วเหลืองโดยการไถพรวน ปรับลงดินที่มีคุณภาพร่วมกับการใส่ปุ๋ยเตรียมพร้อมสำหรับปลูก

13.2 กำหนดช่วงการปลูกในช่วงเดือน กลางเดือนธันวาคม 2554 – เดือนมีนาคม 2555 เมื่อเมล็ดแสดงการเจริญอายุ 7 วัน (7 DAE; day after emergence) จะเริ่มควบคุมอุณหภูมิและก๊าซโอโซน ตามแผนการวิจัย จนกระทั่งเก็บเกี่ยว

13.3 ทำการยกแปลงปลูกที่มีระยะหว่าง 20 x 40 เซนติเมตร โดย 1 ชุดแปลงทดลอง จะใช้พื้นที่ เท่ากับพื้นที่ของ Chamber

3.6 การเก็บผลการทดลองและวิเคราะห์ผลด้านคุณภาพผลผลิตและคุณภาพสารอาหาร

ทำการวิเคราะห์ ดัชนีชี้วัดทางด้าน ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตดังนี้

(1) ประเมินผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง โดยการนับผลผลิตต่อต้น ในระยะFull Maturity Stage

(2) การวิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร

2.1 วิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์โปรตีน และ ไขมัน ตามวิธีของ AOAC 1995.

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

- กรดอะมิโนไลซีน(Lysine)

3) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไขมัน โดยศึกษาในกรดไขมันโดย gas chromatography สำหรับวิเคราะห์หา fatty acids ดังนี้

- กรดไขมันไลโนลินิก
- กรดไขมันไลโนลิอิก

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดดัชนีในด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเลือกใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่าง 6 กลุ่มทดลอง แบบ F-Test และเลือกการวิเคราะห์ปัจจัยเดี่ยวแบบ One Way ANOVA และเลือกวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทดสอบเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทุกกลุ่มทดลอง

4.ผลการทดลองโดยสรุป

การศึกษาผลกระทบระยะยาวของปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนที่แตกต่างกันระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วงฤดูเพาะปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยควบคุมระดับโอโซนที่กำหนด 3 ระดับ ร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 กลุ่ม ทำให้ได้ชุดทดลอง (3 x 2) 6 ชุดการทดลอง 3 ซ้ำ คือ

Ozone-L-AT ชุดที่ โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ)/

Ozone-A-AT (ชุดควบคุม)ชุดที่ระดับโอโซนระดับเท่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ

Ozone-H-ATชุดที่ระดับโอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ

Ozone-L-HT ชุดที่ โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

Ozone-A-HT ชุดที่ระดับโอโซนระดับเท่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

Ozone-H-HT ชุดที่ระดับโอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

ในการศึกษาปลูกถั่วเหลืองใช่วง กลางเดือนธันวาคม 2554- มีนาคม 2555

เพื่อวิเคราะห์ผลในด้านผลผลิตและคุณภาพสารอาหารที่สำคัญ คือ โปรตีน ไขมัน กรดอะมิโนไลซีน กรดไขมันชนิด ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาในปัจจัยของผลผลิตด้านจำนวนฝัก/ต้น พบว่า**ปัจจัยร่วม**ระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบ**ต่อการลดผลผลิต**มากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว (อุณหภูมิถูกควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าชุดปัจจัยร่วมทั้ง 2 คือ Ozone-H-HT มีค่าลดลงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 30.99 %
2. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าพบว่า**ปัจจัยร่วม**ระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อ**การลดปริมาณโปรตีน**ผลผลิตมากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับผลการศึกษาในผลผลิต ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าชุดปัจจัยร่วมทั้ง 2 คือ Ozone-H-HT **มีค่าลดลงสูง**สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 36.14 %
3. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองบ่งชี้ว่ามีผลตรงกันข้ามกับผลการศึกษาในโปรตีน เนื่องจากพบว่าที่ระดับโอโซนที่สูงกว่า**ธรรมชาติกลับส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมัน**ในเมล็ดถั่วเหลือง **โดยพบว่ามีค่าระดับไขมันเพิ่มขึ้น เท่ากับ 15.9 % และ 8.7 %** ในชุดการทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม **ไม่พบความชัดเจนของปัจจัยร่วม**ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมันมากกว่าปัจจัยเดี่ยว เนื่องจากพบว่าระดับไขมันในชุด Ozone-H-AT มีค่าสูงกว่าชุดทดลองปัจจัยร่วม Ozone-H-HT และสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
4. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดถั่วเหลืองได้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาในระดับโปรตีน โดยพบว่าพบว่า**ปัจจัยร่วม**ระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับ

ปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการลดปริมาณกรดอะมิโนไลซีน มากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าชุดปัจจัยร่วมทั้ง 2 คือ Ozone-H-HT มีค่าลดลงเท่ากับ 12 %

5. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับกรดไขมันไลโนเลอิกในเมล็ดถั่วเหลืองบ่งชี้ว่ามีผลสอดคล้องกับผลการศึกษาในระดับไขมันรวม เนื่องจากพบว่าที่ระดับโอโซนที่สูงกว่าธรรมชาติกลับส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิกในเมล็ดถั่วเหลือง โดยพบว่ามีค่าระดับกรดไขมันไลโนเลอิกเพิ่มขึ้น เท่ากับ 17.64 % และ 16.83 % ในชุดการทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT ตามลำดับ (เทียบกับชุดควบคุม) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความชัดเจนของปัจจัยร่วมส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมันมากกว่าปัจจัยเดี่ยว เนื่องจาก ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT

6. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับกรดไขมันไลโนเลนิกในเมล็ดถั่วเหลืองบ่งชี้ว่ามีผลสอดคล้องกับผลการศึกษาในระดับไขมันรวม และกรดไขมันไลโนเลอิก เนื่องจากพบว่าที่ระดับโอโซนที่สูงกว่าธรรมชาติกลับส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิกในเมล็ดถั่วเหลือง ยิ่งกว่านั้นพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก มากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่ามีค่าระดับกรดไขมันไลโนเลนิกเพิ่มขึ้น เท่ากับ 2.7 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในชุดการทดลอง Ozone-H-HT (เทียบกับชุดควบคุม) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในชุดทดลองปัจจัยระดับโอโซนสูงแต่ระดับอุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติ (Ozone-H-AT) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแต่อย่างใด

7. ผลการศึกษาพบว่าปริมาณผลผลิต(ฝัก/ต้น) ปริมาณโปรตีน และกรดอะมิโนไลซีน มีค่าสูงที่สุดในสภาวะปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด คือ ระดับโอโซนต่ำสุดและระดับอุณหภูมิเทียบเท่ากับธรรมชาติ ในชุดการทดลอง (Ozone-L-AT)

การศึกษาในครั้งนี้สรุปภาพรวมได้อย่างชัดเจนว่า ปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่สูงกว่าระดับธรรมชาติร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับธรรมชาติ เป็นการเสริมฤทธิ์ที่ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อปริมาณผลผลิต และคุณภาพสารอาหารของระดับโปรตีน และกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่กลับส่งผลบวกต่อปริมาณไขมัน และกรดไขมันทั้ง 2 ชนิด (ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก)

5.ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาน่าจะเผยแพร่ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อไป ในเพื่อวางแผนระยะการปลูกที่เหมาะสมในการรับมือกับสถานการณ์ในอนาคต

6.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชนประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยนี้ จะเป็นส่วนหนึ่งของฐานข้อมูลในประเทศไทย ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของพืชเศรษฐกิจการเกษตรที่มีต่อ สภาวการณ์ของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะโลกร้อน ที่ทวีความรุนแรงขึ้นในอนาคต ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มของระดับโอโซนในบรรยากาศ รวมทั้งผลการวิจัยนี้จะเป็นเป็นองค์ความรู้สำหรับการทำการวิจัยในขั้นต่อไป ในการวิจัยเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสถานการณ์โลกร้อนในอนาคต

หน่วยงานหรือกลุ่มนักวิชาการที่คาดว่าจะได้รับประโยชน์

เป็นองค์ความรู้ในการต่อยอดการวิจัยต่อไป สำหรับกลุ่มผู้วิจัยเดิม และนักวิจัยและนักวิชาการที่เกี่ยวข้องนำผลงานวิจัยไปต่อยอดการวิจัยในระดับพัฒนาสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาวะโลกร้อนและสภาวะการเพิ่มขึ้นของโอโซนในบรรยากาศได้ในอนาคต

กลุ่มเป้าหมาย : กลุ่มผู้วิจัยในด้านสิ่งแวดล้อมการเกษตรซึ่งสามารถดำเนินการวิจัยต่อเนื่องในด้านการศึกษาเปรียบเทียบสายพันธุ์ที่แตกต่างกันให้หลากหลายสายพันธุ์มากขึ้น เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาวะโลกร้อนได้ดี

: นักวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลกทั้งในประเทศและต่างประเทศสามารถนำข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลการประเมินจากงานวิจัยชิ้นนี้ไปอ้างอิงเพื่อพัฒนางานวิจัยในด้านนี้ต่อไปได้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย	I
กิตติกรรมประกาศ	III
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	VII
สารบัญ	XIX
สารบัญภาพ	XXI
สารบัญตาราง	
1.บทนำ	1
2.วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	3
3.ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
4.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
5.การทบทวนวรรณกรรม	5
6.ระเบียบวิธีวิจัย	24
7. ผลการศึกษา	33
7.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนใน 6 ชุดการทดลอง	34
7.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง จำนวนฝักต่อต้น	36
7.3 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง	38
7.4 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากระดับโอโซนที่ต่างกันที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็นในเมล็ดถั่วเหลือง	42

38

8. สรุปและอภิปรายผล 47

9. ข้อเสนอแนะ 60

10.เอกสารอ้างอิง 61

สารบัญภาพ

ภาพที่	รายละเอียด	หน้าที่
ภาพที่ 1	แผนผังแปลงการวิจัย แผนการทดลอง Random Completed Block Design (RCBD)	26
ภาพที่ 2	ตู้ทดลองระบบเปิดด้านบน Open Top Chamber ประยุกต์จาก กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ (2555)	28
ภาพที่ 3	ติดตั้งหลอดไฟสีเขียวเพื่อเพิ่มระดับความร้อนในตู้ทดลอง Ozone-L-HT Ozone-A-HT Ozone-H-HT	29
ภาพที่ 4	ติดตั้งพัดลมเพื่อให้อุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติมากที่สุดในชุดทดลอง Ozone-L-AT Ozone-A-AT Ozone-H-AT	30
ภาพที่ 5	ภาพที่ 5 ปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนเฉลี่ย (ppb) และระดับอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ในชุดทดลองทั้ง 6 ชุดในระยะเวลาการทดลองในแปลงวิจัย 78 วัน	36
ภาพที่ 6	ผลการศึกษาจำนวนฝัก/ต้น ของชุดทดลองทั้งหมด 6 ชุด เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับ โอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน	37
ภาพที่ 7	ปริมาณโปรตีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	39

ภาพที่	รายละเอียด	หน้าที่
ภาพที่ 8	ปริมาณไขมัน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	41
ภาพที่ 9	ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	43
ภาพที่ 10	ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	45
ภาพที่ 11	ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	46

สารบัญตาราง

ตารางที่	รายละเอียด	หน้าที่
1	ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย บางปี ระหว่างปี 2543-2552	21
2	รายละเอียดและชื่อชุดการทดลองของงานวิจัย 6 ชุดการทดลอง 3 ซ้ำ	27
3	แสดงระดับโอโซนและอุณหภูมิในชุดการทดลองที่เกิดขึ้นภายใต้การควบคุมในระยะเวลาการทดลองในแปลงวิจัย 78 วัน	35
4	ผลการศึกษาจำนวนฝัก /ต้น ของชุดทดลองทั้งหมด 6 ชุด เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับ โอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	38
5	ปริมาณโปรตีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับ โอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	40
6	ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (%) กรดไขมันไลโนเลอิก (%) และกรดไขมันไลโนเลนิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับ โอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง	44

1. บทนำ

ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัจจัยด้านภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อพืชการเกษตร เป็นอิทธิพลหลักต่อการลดคุณภาพผลผลิตและคุณภาพสารอาหารของทรัพยากรทางการเกษตร (Aydinalp and Cresser, 2008) เมื่อคำนึงถึงประเด็นดังกล่าวร่วมกับการประเมินปัญหาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกจากสภาวะโลกร้อนซึ่งเกิดขึ้นจริงและมีหลักฐานข้อมูลจากการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องและเด่นชัด รวมทั้งการศึกษาที่คาดว่าผลกระทบดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต (Horel and Geisler, 1997; IPCC, 2001; Keeling and Whorf, 2003; IPCC, 2006; IPCC, 2007) ย่อมมีผลกระทบในเชิงลบต่อผลผลิตในภาคส่วนการเกษตรอย่างแน่นอน โดยมีข้อมูลยืนยันจากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย ที่พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งการเกิดสภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบโดยตรงและทางอ้อมต่อการลดลงของผลผลิตและคุณภาพสารอาหารของธัญพืชหลักของโลกหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวหอมมะลิไทย (Jacobson, 2002; Fuhrer, 2003; Prasad et al., 2006; กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ, 2551; กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรสรักชาติ, 2552) และยิ่งกว่านั้นได้มีการศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 พบว่า การเพิ่มระดับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่เสริมต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปรสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์สัมผัสโดยตรง และมีแนวโน้มของการเพิ่มระดับความเข้มข้นต่อไปในอนาคตภายใต้สภาวะโลกร้อน (Akimoto et al., 2007) ในทางกลับกันพบว่าการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนในระดับโทรโปสเฟียร์ก็เป็นปัจจัยเสริมทางอ้อมต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนเช่นเดียวกัน (Mickley et al., 2004)

ประเด็นที่น่าสนใจคือไม่เพียงแต่การเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิโลกที่ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อพืชทางการเกษตร แต่พบว่า ก๊าซโอโซนในชั้นโทรโปรสเฟียร์เพียงปัจจัยเดียวก็ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อพืชทางการเกษตรที่สำคัญของโลกเช่นเดียวกัน เนื่องจากสภาวะทางเคมีของก๊าซโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิแดนที่รุนแรงมากสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชได้โดยตรง เนื่องจากส่งผลรบกวนกลไกเชิงสรีรวิทยาของพืชอย่างต่อเนื่อง จนนำไปสู่การลดปริมาณและคุณภาพคุณภาพสารอาหารในเมล็ดเช่น ข้าว, ถั่วเหลือง, ข้าวสาลี, ใบยาสูบ (Antonielli et al., 1997; Cataldo, 2000; Craker,

1971; Ariyaphanphitak, 2004; Ariyaphanphitak, 2005; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ คณะ, 2551) ซึ่งปัญหานี้ได้เกิดขึ้นแล้ว ในสหรัฐอเมริกา, อังกฤษ, กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย, ประเทศแถบยุโรป แม้กระทั่งในเอเชีย เช่นประเทศ อินเดีย ปากีสถาน บังคลาเทศ อินโดนีเซีย และ เมื่อประเมินผลเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ ในสหรัฐอเมริกาพบว่ามูลค่าความเสียหายถึง 30,000 ดอลลาร์ สหรัฐต่อปี (David et al., 1994; Reilly et al., 2007;)

เมื่อพิจารณาข้อมูลดังกล่าว ร่วมกับหลักฐานจากข้อมูลการวิจัยและการบันทึกจากหลายหน่วยงานบ่งบอกถึงความเป็นไปได้จริงของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจากสภาวะโลกร้อนร่วมกับการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนในบรรยากาศในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ข้อมูลดังกล่าว อาทิเช่น แนวโน้มการเพิ่มอุณหภูมิและการเพิ่มจำนวนวันที่มีอุณหภูมิสูงของประเทศไทย (จงกลนี อยู่สบาย, 2552; นงค์นาถ อู่ประสิทธิ์วงศ์, 2552) รวมทั้งข้อมูลความเข้มแสงในเขตจังหวัดพิษณุโลกตลอดทั้งปีซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งประเทศส่งผลต่อสภาวะอุณหภูมิสูงมากตลอดทั้งปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2552) โดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรบางพื้นพบว่าระดับอุณหภูมิสูงเกินสภาวะเหมาะสมต่อการปลูกถั่วเหลืองในช่วงฤดูกาลปลูกโดยพบว่า เกินระดับ 33-35 oC (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาจังหวัดพิษณุโลก, 2552 : องค์การบริหารส่วนตำบลวัดโบสถ์, 2552) ซึ่งปัจจัยร่วมระหว่าง ความเข้มแสงสูงร่วมกับ ระดับอุณหภูมิที่สูง รวมทั้งสภาพการเป็นจังหวัดที่มียวดยานพาหนะคับคั่งที่สามารถผลิตกลุ่มสารตั้งต้นในการผลิตโอโซนในบรรยากาศ (Kang et al., 2004) ย่อมส่งผลความเป็นไปได้จริง ต่อสภาวะการเพิ่มระดับโอโซนในบรรยากาศของจังหวัดพิษณุโลก ร่วมกับสภาวะโลกร้อน

ดังนั้นเมื่อเชื่อมโยงประเด็นปัญหาร่วมดังกล่าว ร่วมกับการพิจารณาความสำคัญในการเป็นพื้นที่ผลิตถั่วเหลืองของจังหวัดพิษณุโลก โดยมีผลผลิตเป็นอันดับ 3 ของภาคเหนือ ซึ่งภาคเหนือผลิตได้สูงสุดของประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2552) ประกอบกับข้อมูลที่ระบุว่าถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความไวต่อการตอบสนองในทางลบต่อสภาวะอุณหภูมิสูง (Salvucci and crafts-Brandner, 2004) และมีความไวต่อการตอบสนองก๊าซโอโซนในเชิงลบ (Miller et al, 1994) ประกอบกับข้อมูลจากการวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก เช่น อ.วังทอง อ.เมือง และ เขตมหาวิทยาลัยนเรศวร จากโครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 50-51 ของมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่าในฤดูกาลปลูกถั่วเหลืองใน ปี พ.ศ. 2549-2551 ที่ผ่านมา ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ในช่วง

กลางวัน ระหว่างเวลา 11.00-14.00 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 20 - 70 ppb ซึ่งเป็นระดับที่มีศักยภาพเพียงพอต่อการส่งผลกระทบในเชิงลบต่อการเติบโตของถั่วเหลืองได้จริง (Ariyaphanphitak et al., 2004) คณะผู้วิจัยจึงตระหนักถึงความสำคัญของการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยร่วมกันระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิและระดับก๊าซโอโซนในบรรยากาศที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของกรดอะมิโนและกรดไขมันซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญในพืชถั่วเหลืองในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ผลการวิจัยจากโครงการนี้จะนำไปสู่การต่อยอดการวิจัยด้านการพัฒนาการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศต่อไปของ ประเทศไทย ทั้งนี้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นย่อมนำไปสู่การรองรับปัญหาความเสี่ยงด้านความมั่นคงของอาหารจากพืชการเกษตรของพื้นที่พิษณุโลกและประเทศไทยนั่นเอง

2. วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

2.1 เพื่อให้ทราบผลกระทบของปัจจัยร่วมของการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาพธรรมชาติร่วมกับระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อคุณภาพผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง

2.2 เพื่อให้ทราบผลกระทบของปัจจัยร่วมของการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาพธรรมชาติร่วมกับระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันชนิดสำคัญของเมล็ดถั่วเหลือง

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 ในการศึกษาใช้ถั่วเหลืองหลายสายพันธุ์ที่นิยมปลูกจริงในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตจังหวัดพิษณุโลก คือ พันธุ์เชียงใหม่ 60

3.2 ศึกษาในแปลงวิจัย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

3.3 การสร้างสภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิ และระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นในการทดลองใช้การจำลองสถานการณ์ในระบบตู้ทดลอง Open Top Chamber

3.4 การปลูกใช้ระยะการปลูก 1 ช่วงระยะเก็บเกี่ยว

3.4 ชนิดของกรดโปรตีนที่สำคัญเลือกวิเคราะห์ กรดอะมิโนไลซีน,

3.5 ชนิดของกรดไขมันที่สำคัญเลือกวิเคราะห์

* กรดไขมันไลโนเลอิก

* กรดไขมันไลโนเลนิก

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

4.1 เป็นองค์ความรู้ในการต่อยอดการวิจัยต่อไป

สำหรับกลุ่มผู้วิจัยเดิม และนักวิจัยและนักวิชาการที่เกี่ยวข้องนำผลงานวิจัยไปต่อยอดการวิจัยในระดับพัฒนาสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาวะโลกร้อนและสภาวะการเพิ่มขึ้นของโอโซนในบรรยากาศได้ในอนาคต

กลุ่มเป้าหมาย : กลุ่มผู้วิจัยในด้านสิ่งแวดล้อมการเกษตรซึ่งสามารถดำเนินการวิจัยต่อเนื่องในด้านการศึกษาเปรียบเทียบสายพันธุ์ที่แตกต่างกันให้หลากหลายสายพันธุ์มากขึ้น เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาวะโลกร้อนได้ดี

: นักวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลกทั้งในประเทศและต่างประเทศสามารถนำข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลการประเมินจากงานวิจัยชิ้นนี้ไปอ้างอิงเพื่อพัฒนางานวิจัยในด้านนี้ต่อไปได้

4.2 การตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติและเอกสารการประชุมวิชาการระดับนานาชาติฉบับเต็ม (Proceeding)

5. การทบทวนวรรณกรรม

สถานการณ์ปัญหาภาวะโลกร้อนและผลกระทบต่อภาคการเกษตร

ปัญหาสภาวะโลกร้อน (Global Warming) เกิดจากกลุ่มก๊าซซึ่งเรียกว่าก๊าซเรือนกระจกกลุ่มหนึ่งซึ่งสะสมในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์และสามารถดึงพลังงานคลื่นแสงเก็บไว้ในโมเลกุล และเมื่อโมเลกุลของก๊าซที่ดูดซับไว้และสั่นสะเทือนและสะท้อนรังสีกลับออกมาเป็นรังสีคลื่นยาวคืออินฟราเรด ซึ่งมีพลังงานความร้อนสูงมากและสะท้อนกลับสู่โลก จึงเป็นสาเหตุของการเพิ่มอุณหภูมิของโลก (Horel and Geisler, 1997; Jacobson, 2002) กลุ่มก๊าซเหล่านี้ถูกเรียกว่าก๊าซเรือนกระจก กลุ่มก๊าซเรือนกระจกหลักของโลก อาทิเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) มีเธน (CH4) ไนตรัสออกไซด์(N2O) และ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CF2CL2) (Horel and Geisler, 1997) ปัจจุบันกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ขององค์กร IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ได้ระบุว่า CO2 เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกมากที่สุด (IPCC, 2006; IPCC, 2007) เนื่องมาจากมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ และเพิ่มขึ้นประมาณ 35 % ในช่วงระหว่าง ก่อนยุคอุตสาหกรรมโลกจนถึงปี 2002 (Keeling and Whorf, 2003) ซึ่งมีการคาดการณ์โดย IPCC ว่า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในคตวรรษนี้ (IPCC, 2001) ซึ่งย่อมส่งผลทางตรงการต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกอย่างแน่นอน

ผลการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆทั่วโลกพบประเด็นผลกระทบของสภาวะโลกร้อนที่มีต่อ ระบบนิเวศเกษตรในประเทศต่างๆ เนื่องจากพบว่า ในช่วงระยะ 10 ปีที่ผ่านมานี้ศักยภาพในการให้ผลผลิตของพืชการภาคการเกษตรในหลายประเทศ ลดลงรวมทั้งประเทศในภูมิภาคเอเชียซึ่งคาดว่าเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และ อาจส่งผลต่อการขาดแคลนน้ำมากขึ้นและถี่ขึ้น ส่งผลทำให้เกิดการระบาดของโรคพืชมากขึ้น รวมทั้งฤดูกาลที่ผิดเพี้ยนไป การเสื่อมโทรมของดิน น้ำท่วมชายฝั่งทะเล และ การรุกล้ำของน้ำเค็ม เข้าไปในแหล่งน้ำ ได้มีการทำนายไว้ว่าผลผลิตในเอเชียใต้จะลดลงไป ประมาณ 4-10% ในสิ้นศตวรรษนี้ (IPCC, 2006) รวมทั้งผลกระทบโดยตรงของระดับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มีผลต่อเชิงสรีริวิทยาของจนนำไปสู่การลดผลผลิตของพืชเกษตรต่างๆ (กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ, 2551; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ, 2552; Jones, 1992;

Wheeler et al., 1993; Newton et al., 1994; Wurr et al., 1996; Nijs et al., 1996 ; Hollister and Webber, 2000)

ผลงานวิจัยบางส่วนได้ยืนยันว่าอัตราผลผลิตของพืชไร่ในโลกมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก และส่งผลต่อสภาวะเศรษฐกิจของโลก Adams (1998) มีรายงานผลการศึกษาว่า ผลผลิตของพืชไร่ในหลายพื้นที่ของโลกในปัจจุบัน ลดลงได้สูงสุดใต้สภาวะที่บรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นจริง ซึ่งทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการเพิ่มผลผลิตพืชทางการเกษตรเหล่านี้ ประเทศในภูมิภาคเอเชียเช่น ประเทศใต้หวันก็ได้ศึกษาปัญหานี้เช่นเดียวกัน โดย Chang (2002) ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศและสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้นที่มีต่อพืชไร่ 60 ชนิดโดยสัมพันธ์กับข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณ พบว่าปรากฏการณ์โลกร้อนร่วมกับความแปรปรวนของภูมิอากาศเป็นปัจจัยร่วมกันส่งผลต่อการลดผลผลิตของพืชทางการเกษตร นอกจากนั้นยังมีข้อมูลยืนยันจากกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่ได้มีการประเมินความเสียหายในเชิงเศรษฐกิจจากการสูญเสียพืชพรรณในเขตพื้นที่อนุรักษ์ของแอฟริกาเป็นจำนวนเงินถึง 74.5 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2100 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการประเมินผล และยังมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ.2065 มูลค่าความเสียหายจะสูงกว่านี้อีกมาก (Velarde et al., 2005)

กลไกการเปลี่ยนแปลงเชิงสรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง

การศึกษาวิจัยด้านความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะภูมิอากาศและสรีรวิทยาของพืช พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญอันดับต้นต่อการเจริญเติบโตและการรอดของพืช เนื่องด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมในเนื้อเยื่อพืชคืออุณหภูมิที่พืชรับจากรังสีดวงอาทิตย์หรือจากสภาวะแวดล้อมในกรณีอื่นๆ และก่อให้เกิดสภาวะสมดุลพลังงานทั้งการนำไปใช้ในกลไกทางสรีรวิทยาและการเก็บไว้ในเนื้อเยื่อเพื่อรักษาสภาวะ ส่งผลต่อการทำงานของเมตาบอลิซึมให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว พืชบกโดยส่วนใหญ่ของระบบนิเวศโลก จะมีความคงทนต่อระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 0 -40 oC ซึ่งความแตกต่างของความคงทนต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นจะขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ ช่วงระยะการเติบโต และสภาพแวดล้อมอื่นๆในที่ระบบนิเวศบริเวณนั้นด้วย (Jones, 1992) การ

ศึกษาวิจัยในประเด็นที่คล้ายคลึงกันนี้ได้มีอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ โดยมีกลุ่มผู้ร่วมวิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่สำคัญพบว่า ซึ่งได้พบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับวิกฤตนั้น ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีระวิทยาของพืช อาทิเช่น อัตราการใช้น้ำ อัตราเร่งการใช้ธาตุอาหาร ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตสารอาหาร ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตในระยะต้นต้นอ่อน ระยะออกผล หรือ ระยะการสืบพันธุ์ ซึ่งจะส่งผลลบต่อการผลิตผลผลิตในระยะสุดท้าย ซึ่งส่งผลทำให้ผลผลิตรวมลดลง และมีข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาร่วมกันของนักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มที่ระบุได้ชัดเจนว่าการเพิ่มอุณหภูมิของพื้นที่การเกษตรนั้นส่งผลกระทบในเชิงลบต่อพืชทางการเกษตรในหลายๆประการ เช่น ลดการสร้างมวลชีวภาพ ลดอัตราผลผลิต ลดประสิทธิภาพของการผลิตเมล็ดได้จริงและผลการศึกษาก็สอดคล้องกัน (Wheeler et al., 1993; Newton et al., 1994; Wurr et al., 1996; Nijs et al., 1996 ; Hollister and Webber, 2000)

การศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิสูงในพืช ในระดับสรีรวิทยานั้นพบว่า กรณีของพืชที่เติบโตภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ทั้งระดับที่สูงหรือต่ำเกินไปทำให้พืชเกิดสภาวะเสีย สมดุลพลังงานในเนื้อเยื่อ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และโดยทั่วไปแล้วหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกว่าระดับปกติ 10-15 oC สภาวะอุณหภูมิสูงยังสามารถทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชเนื่องจากการ เช่นการเกิดสภาวะ เนื้อเยื่อตาย (necrosis) (Jones, 1992) หรือการเกิดภาวะช็อคหรือภาวะเครียดจากอุณหภูมิ (temperature stress) (Jones, 1992; ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550) ซึ่งอาจส่งผลเนื่องมากจากการทำงานของเอนไซม์ที่น้อยลงไป เพราะโดยปกติแล้วถ้าอุณหภูมิของพืชลดต่ำเกินไป หรือสูงเกินไปส่งผลรวบกวนต่อการทำงานของเอนไซม์อย่างแน่นอน เช่น อาจส่งผลต่อการงอก น้ำหนักของมวลชีวภาพ และการสร้างสารอาหารในเมล็ด (ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550)

นอกจากนั้นยังพบว่า พืชจะถูกเร่งกระบวนการการดูดธาตุอาหารมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มอัตราการหายใจนั่นเอง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินระดับ 40 oC อัตราการดูดธาตุอาหารกลับลดลง ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลต่อการทำลายเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารเช่นกัน (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) และพบว่าปัญหาการเพิ่มระดับของอุณหภูมิในบรรยากาศส่งผลกระทบอย่างมากต่อภาคการเกษตรทั่วโลกในปัจจุบัน ซึ่งผลกระทบนั้นได้แก่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐาน กระบวนการทางสรีรวิทยา เปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมีอันซับซ้อน

รวมทั้งส่งผลลดการเจริญและเติบโต ซึ่งผลกระทบอย่างต่อเนื่องนี้ส่งผลต่อภาวะเศรษฐกิจในระดับโลกในระยะยาว (Wahid et al., 2007 ; Hall, 2001)

ผลกระทบทางลบของระดับสภาวะอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสร้างโปรตีนในพืช จัดว่าเป็นงานศึกษาที่สำคัญและมีการศึกษาวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง กลุ่มนักวิจัยของอเมริกา (Irmak et al., 2008) ได้ศึกษาพบว่าการปลูกข้าวสาลีภายใต้สภาวะอุณหภูมิช่วงกลางวันใน ระดับเฉลี่ย 40 oC ส่งผลต่อการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ Glutenin ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งของในเมล็ดข้าวสาลี จากการศึกษาข้อมูลพบว่าผลที่ปรากฏดังนี้น่าจะเกี่ยวเนื่องจากระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลต่อการทำลายโครงสร้างของโปรตีนในเอนไซม์ และพบว่าในกรณีที่การสร้างเอนไซม์ของพืชลดลงตั้งแต่ในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบจะส่งผลต่อการลดการผลิต โปรตีนในเมล็ด โปรตีนในเอนไซม์ คลอโรฟิลด์ และ RNA (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) และได้มีการศึกษาพบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงเกินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนในรูปแบบต่างๆ ร่วมกับการเพิ่มระดับการสร้าง ROS (reactive oxygen species) และองค์ประกอบประเภทต่างที่เป็นพิษ ซึ่งโดยภาพรวมจะเป็นผลเสียต่อพืชอย่างต่อเนื่องด้วย (Wahid et al., 2007; Schoffl et al., 1999; Howarth, 2005) อย่างไรก็ตามพบว่าพืชมีกลไกปกป้องตัวเองจากสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยพบว่าที่ระดับอุณหภูมิเกินระดับวิกฤติในพืชชนิดนั้น (มักเกินระดับ 40 oC) ทำให้พืชเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน และจะกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์โปรตีนที่เรียกว่า heat shock proteins (HSPs) ขนาด 15-18 kDa ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อปกป้องเซลล์ไม่ให้ได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน และปริมาณ HSPs ที่เพิ่มขึ้นนี้ยังสัมพันธ์กับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ อาร์เอ็นเอนำรหัส (mRNA) ภายในเวลาเพียง 3-5 นาที ซึ่ง mRNA นี้เป็น RNA ทีทำหน้าที่ช่วยในการสร้างโปรตีน ซึ่งถือว่าเป็นกลไกหนึ่งในการปกป้องเซลล์จากภาวะอุณหภูมิสูงอีกประการหนึ่ง (Ho and Sachs, 1989)

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชนั้น เป็นปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ควบคุม และการทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นสำคัญ ข้อมูลการศึกษาพบว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชประเภท C3 เช่นถั่วเหลือง ข้าวเจ้า จะมีความไวต่อการตอบสนองในทางลบต่อภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงมากกว่าพืช C4 เช่นข้าวสาลี และกระบวนการตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียดของอุณหภูมินั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการสร้างพลังงานอันเนื่องมาจากการ

เปลี่ยนแปลงกลไกกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการนำคาร์บอนมาใช้ในกระบวนการสร้างอาหาร เช่น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง rubisco ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการตรึง CO2 ให้ RuBp ในกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง และส่งผลอย่างต่อเนื่องจนนำไปสู่การลดผลผลิต (Salvucci and crafts-Brandner, 2004)

การวิจัยผลกระทบของภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมที่ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองก็ได้มีผลการศึกษาที่ยืนยันว่า ภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอาทิเช่น การวิจัยในประเทศอินเดีย ได้ศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิของดินระดับที่แตกต่างกัน ที่มีต่อการงอกของเมล็ดถั่วเหลือง ซึ่งการทดลองของ Tyagi and Triathi (2005) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลืองภายใต้สภาวะอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 24.2 -32.8 °C 24.3 -30.4 °C 24.5 -29 °C และ 23.0 °C -38.4 °C พบว่าการปลูกในดินที่มีระดับอุณหภูมิระหว่าง 24.2 -32.8 °C มีความเหมาะสมต่อการงอกมากที่สุด

การศึกษาวิจัยของกลุ่มนักวิจัยในหน่วยงาน USDA (United States Department of Agriculture) ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยเริ่มศึกษาตั้งแต่ระยะ V คือระยะการงอกจนถึงช่วงก่อนออกดอก ระยะการออกดอกคือระยะ R และศึกษาจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า ถั่วเหลืองซึ่งปลูกใน Open Top Chamber ที่ระดับ 18-27 °C และ ระดับ 30-37 °C มีผลการศึกษาชี้ชัดว่า ถั่วเหลืองเกิดสภาวะความเครียดจากระดับความร้อนในบรรยากาศ (heat-stressed) โดยแสดงผลชัดเจนที่ ช่วงการเจริญระยะ R เป็นต้นไป และยิ่งแสดงผลชัดเจนในการลดคุณภาพในเมล็ดถั่วเหลืองถ้าได้รับสภาวะนี้ในระยะยาวคือตั้งแต่ระยะ R5 จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (Chengwei et al., 2005)

สถานการณ์ปัญหาการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนในชั้นโทรโปสเฟียร์ร่วมกับสภาวะโลกร้อน และผลกระทบต่อภาคการเกษตร

โดยปกติพบก๊าซโอโซนในระดับสูงในชั้นสตราโทรสเฟียร์ซึ่งสูงกว่าระดับพื้นที่ขึ้นไปประมาณ 17-15 กิโลเมตร และพบในปริมาณน้อยมากในชั้นโทรโปสเฟียร์ซึ่งเป็นระดับชั้นที่มนุษย์อาศัยอยู่ แต่ปัจจุบันพบว่าระดับโอโซนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งการเพิ่มขึ้นของโอโซนในยุคปัจจุบันทั้งหมดในชั้นโทรโปส

เฟียร์มากกว่า 50% เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในด้านต่างๆ 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 (Nox)และ การเกิดขึ้นของก๊าซ โอโซน (O3) พบว่า กลุ่มไอระเหยของสารอินทรีย์ (VOCs) จัดเป็นสารตั้งต้นซึ่งมีส่วนทำให้เกิดของก๊าซโอโซน (O3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับในเอเชียพบว่าระดับโอโซนเพิ่มขึ้นในหลายๆพื้นที่เช่นกัน 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 และ เมือง Watukosek ค่าโอโซนเฉลี่ยสูงสุด 60-70 ppb (Ninong et al, 1995) ในประเทศอินเดียพบว่าในช่วงระหว่างปี 1998-2000 ค่าเฉลี่ยโอโซนในเขตเมืองอยู่ที่ระดับ 11-82 ppb และนอกเขตตัวเมืองอยู่ในช่วงระดับ 21-59 ppb และพบว่ามีวันที่สูงเกินระดับมาตรฐาน 100 ppb ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่อันตรายเป็นอย่างมากทั้งต่อสุขภาพมนุษย์และต่อพืช (Agrawal, 2007) ปัจจุบันมีการศึกษาพบว่าแนวโน้มของโอโซนในชั้นโทรโปสเฟียร์จะเพิ่มขึ้นในอัตรา 1-2% ต่อปี ซึ่งมีสาเหตุมาการเพิ่มขึ้นของมลสารตั้งต้นในเขตเมืองใหญ่และแหล่งอุตสาหกรรมนั่นเอง (Agrawal, 2007)

พบว่ามีความเกี่ยวข้องกันระหว่างสภาวะโลกร้อนและการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนในชั้นโทรโปสเฟียร์ โดยนักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งของประเทศญี่ปุ่น (Japan Aerospace Exploration Agency) ได้ศึกษาปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 โดยโมเดลจำลองด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก และ ด้านการศึกษาที่เกี่ยวข้องสภาวะโลกร้อนหลายๆรูปแบบผสมผสานกันคือ FRSGC (Frontier Research System for Global Change),

chemical climate model (CHASER), Center of Climate System Research (CCSR), (National Institute for Environmental Studies (NIE) ได้พบว่าผลที่คำนวณได้บ่งชี้ว่า การเพิ่มระดับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศส่งผลต่อการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปรสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์สัมผัสโดยตรงและจะมีระดับเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคตภายใต้สภาวะโลกร้อนที่มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Akimoto et al., 2007) แต่ขณะเดียวกัน พบว่า โอโซนถือว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีผลทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้นเช่นกัน จากการศึกษาของ Mickley et al.(2004) ซึ่งใช้แบบจำลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกับการเพิ่มขึ้นของระดับโทรโปสเฟียริคโอโซนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้นประมาณ 0.2 และ องศาเซลเซียสจากการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนในชั้นโทรโปสเฟียร์ โดยปกติในอากาศบริสุทธิ์จะมีโอโซนประมาณ 20 ppb หรือโดยเฉลี่ยในอากาศทั่วไปประมาณ 20-60 ppb ปัญหาของก๊าซโอโซนในระดับชั้นโทรโปสเฟียร์ในสภาวการณ์โลกในปัจจุบันคือ นอกจากปัญหาการเพิ่มระดับเกินค่ามาตรฐานของ WHO ว่า ซึ่งกำหนดไม่ให้เกิน 0.1 ppm ในหลายพื้นที่ของโลก (Ralph, 1998) แต่พบว่าโอโซนมีผลทางลบต่อผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ต่างๆของโลก อาทิเช่น กรุงเดลฮี ประเทศอินเดีย ช่วงปีค.ศ. 1990-1992 ได้มีรายงานจาก Varshney และ Rout (1998) ว่าความเข้มข้นของระดับโอโซนสะสมในช่วง 20-273 μg/m3 และ พบว่าในประเทศอินเดียผลผลิตข้าวสาลีลดลง 13.5 % ภายใต้สภาวะโอโซนในบรรยากาศที่ระดับ 17-56 ppb (Agrawal , 2007) มีรายงานว่าการสูญเสียพืชผลทางการเกษตรซึ่งเกิดจากมลพิษทางอากาศนั้น เป็นผลมาจากโอโซนถึง 90 % ของการสูญเสียทั้งหมด เช่นใบมะเขือเทศได้พบว่ามีรอยด่างซึ่งก่อให้เกิดการลดลงของผลผลิตในบริเวณกว้างอันเป็นผลจากพิษของโอโซน (Varshney และ Rout , 1998) โดยมีหลักฐานจากการศึกษาพบว่า ในหลายๆประเทศ พืชเศรษฐกิจสำคัญทางการเกษตรได้รับผลกระทบจากโอโซน เช่น ข้าว, ถั่วเหลือง, หอมใหญ่, มันฝรั่ง, ผักขม, ใบยาสูบ, ฟักทอง ซึ่งพบว่าลักษณะที่ปรากฏ บนใบพืชเหล่านั้นมีตั้งแต่ รอยด่าง หรือรอยจุด สีต่างๆ เช่น น้ำตาล เหลือง ขาว บรอนซ์ และรวมทั้งอาการของใบยุบตัว (necrotic) ใบเหี่ยว พับงอ ซึ่งช่วงอายุของพืชที่เกิดอาการนั้น เริ่มได้ตั้งแต่ช่วงที่พืชยังเป็นต้นอ่อน จน ถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต (Manning และ Feder, 1976))

จากการวิจัยในระยะเวลาหลายสิบปีทั่วโลกพบว่าระดับความเข้มข้นของโอโซนไม่เกินมาตรฐานของ 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) โดยพบว่าระดับโอโซนเพียง0.03 ppm ในเวลา 4-8 ชั่วโมงต่อวันก็สามารถก่อให้เกิดการหยุดยั้งการเติบโตของ พืชประเภทนี้ได้ (Kenneth and Cecil, 1981)

ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อด้านสรีรวิทยานั้น ได้มีการศึกษาเป็นเวลานานแล้ว พบว่าเมื่อโอโซนแพร่เข้าสู่ปากใบและจะทำปฏิกิริยาต่อการเปิดปิดปากใบของพืชเพื่อลดผลกระทบของโอโซนที่เกิดขึ้น (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 ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และปัจจัยทางสภาพแวดล้อมประกอบกันซึ่งทำให้มีการศึกษาวิจัย 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 - tocopherol (vitamin E) ซึ่งระดับปฏิกิริยาการต่อต้านโอโซนหรือลดผลกระทบของโอโซนนั้น ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิดด้วย (Niyogi, 1999) ผลที่เกิดขึ้นยังสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลในเชิงกลไกทางสรีรวิทยา เนื่องด้วยโอโซนส่งผลต่อการทำลาย ผนังเซลล์ ทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ซึ่งส่งผลต่อเนื่อง ต่อการการลดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชที่สัมผัส นอกจากนั้นยังส่งผลต่อการลดการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากกระบวนการผลิตอาหารและพลังงานลดลง จนกระทั่งส่งผลต่อการลดคาร์โบไฮเดรตและผลผลิตอันเนื่องมาจากการลดการสะสมสารอาหารและพลังงานของพืชอย่างต่อเนื่องนั่นเอง นอกจากนั้นก๊าซโอโซนยังมีผลกระทบที่ก่อให้เกิดการลดพื้นที่ใบ เกิดอาการใบแก่และร่วงก่อนกำหนด (Darrall, 1989; Pleijel et al.,1991) ซึ่งผลจากการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงและ ส่งผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบลดลง (Pleijel et al.,1991) 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) บริเวณคลอโรพลาสต์และไมโตครอนเดีย ซึ่งเป็นสารแอนติออกซิเดนท์จำพวกเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์บางชนิดลดลง นอกจากนั้น ROS อีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูง คือ HO- ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้อีกทั้งยังเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา peroxidation กับไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์รวมทั้งทำให้เกิดการทำลาย DNA และทำให้เอนไซม์บางชนิดไม่สามารถทำงานได้ และมีผลกะทบต่อกรดอะมิโนบางชนิด เช่น Methione, Tryptophan (Chen and Pan, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Calatayud (2001) ที่ศึกษาระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นจากระดับธรรมชาติ ผลการศึกษาพบว่าโอโซนมีผล ในเชิงลบต่อ 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- เกิดที่ DNA แทน (Mckersie, 1996)

โดยธรรมชาติของถั่วเหลืองจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือเป็นแหล่งโปรตีนและพืชน้ำมัน 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 (2550 และ 2551) ที่พบผลการศึกษาในลักษณะดังกล่าวในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 แต่ในการศึกษายังเป็นเพียงการวิจัยในโปรตีนและไขมันรวม

งานวิจัยในห้องปฏิบัติการและภาคสนามที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลกระทบของสภาวะโลกร้อน และสภาวะอุณหภูมิสูงต่อพืชการเกษตร

การวิจัยในประเทศเคนยา (Mariara and Karanja, 2007) โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Seasonal Ricardian mode ศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่ต่ออัตราผลผลิตพืชไร่ในประเทศพบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างภาวะโลกร้อนและส่งผลกระทบในเชิงลบต่ออัตราผลผลิตของพืชไร่ และ จะส่งผลอย่างต่อเนื่องในเชิงลบต่อไปในอนาคตในสภาวะอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และ ยังแสดงผลที่

น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งว่า ผลของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าผลจากภาวะโลกร้อนมีผลกระทบต่ออัตราผลผลิตของพืชไร่มากกว่าผลจากปริมาณน้ำฝนในประเทศ

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPIC(Erosion Productivity Impact Calculator) ร่วมกับ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) และ IE(Inference Engine) โดยกลุ่มวิจัยของ Tan and Shinasaki (2003) เพื่อทำนายผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตร ในปี ค.ศ.2010 2020 2030 และ 2040 ผลที่ได้คือพบว่าผลผลิตทางการเกษตรหลายประเทศส่วนใหญ่ของพื้นที่ในโลกจะลดลงอย่างเนื่องด้วยผลกระทบของภาวะโลกร้อน

ประเทศออสเตรเลียได้ประเมินผลกระทบของโลกร้อนที่มีต่อผลผลิตของข้าวสาลีโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CSIRO's Global atmosphere model ทำนายสภาวะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับการเพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศพบว่า ผลผลิตข้าวสาลีจะลดลง 29 % ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตในเงื่อนไข การไม่เพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่หากอยู่ภายใต้สภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิ ร่วมกับการเพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผลผลิตข้าวสาลีจะลดลง 25% (Anwar et al., 2007)

การศึกษาเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำและเป็นหลักฐานจริงของสภาวะโลกร้อนและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับพืชในสถานการณ์จริงโดยการวิจัยในภาคสนามนั้นมีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน การศึกษาวิจัยของ Wheeler et al.(1993) ซึ่งสร้างสถานการณ์เพิ่มระดับอุณหภูมิโดยใช้เครื่องพ่นความร้อนส่งผ่านท่อโพลีเอทธิลีนในแนวราบทั้งควบคู่กับการปรับระดับก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อผักชนิดต่างๆ ต่อมา Newton et al.((1994) ได้สร้างสภาวะจำลองสถานการณ์อุณหภูมิสูงขึ้นโดยการให้ความร้อนในแปลงทดลองข้าวไรย์ และพบว่าผลผลิตได้ลดลงในสภาวะในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น ต่อมาการศึกษาของ Wurr et al. (1996) นักวิทยาศาสตร์ในประเทศอังกฤษ ได้ศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่ตามแนวโน้มของภาวะโลกร้อน ต่อพืชทางการเกษตร 3 ชนิดคือ ผักกาดหอม (Iceberg lettuce (Lactuca sativa L.)) กระเทียม (Leek (Allium ampeloprasum L.)) และ กระหล่ำดอก (Roscoff cauliflower(Brassica oleracea var. botrytis L.)) โดยการจำลองสภานการณ์บรรยากาศที่มีระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยใช้ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ระดับบรรยากาศจริงใน ชุดควบคุมและ ใช้ท่อส่งความร้อนในแนวลาด ที่มีความกว้าง 8.7

m เมตร ความยาว 31.9 m ส่งผ่านอุณหภูมิ ในพื้นที่ทดลองเพื่อปรับระดับอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าระดับเฉลี่ย 4 oC ในชุดทดลองเปรียบเทียบ การศึกษาพบว่า กลุ่มทดลองที่ให้ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นเร่งระยะเวลาช่วงเก็บผลได้ของผักกาดหอมให้สั้นขึ้น แต่ ยืดระยะเวลาของการเก็บผลได้ของกระหล่ำดอกเกิน 49 วัน และยังเพิ่มจำนวนใบของ กระหล่ำดอกอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาปัจจัยร่วมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ CO2 และ O3 ร่วมกับ การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน ที่ส่งผลกระทบของระบบนิเวศเกษตรโดย Fuhrer (2003) ได้ผลการศึกษาที่น่าสนใจ โดยพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเร่งระยะช่วงระยะการเติบโตของพืชประเภท C3 เพิ่มความต้องการน้ำ แต่ ลดผลผลิตของเมล็ด รวมทั้งลดศักยภาพการนำดึงสารอาหารใน พืช ประเภทนี้แต่จะส่งผลต่อพืชประเภท C3 มากกว่า C4

การศึกษาเพื่อวิจัยผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อผลผลิตของ ข้าวไรย์ซึ่งเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญโดย Nijs (1996) ในสวิตเซอร์แลนด์ ได้ผลการศึกษาที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง โดยในการวิจัย คณะผู้วิจัย ได้สร้างสภาวะจำลองโลกร้อนโดยการใช้ เครื่องทำความร้อนร่วมกับแสงอินฟราเรด (1500 w IR lamp) โดยใช้ระบบอิเลคโทรนิคควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ให้สูงกว่าปกติ ประมาณ 2.5 oCโดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งได้รับอุณหภูมิปกติ ผลการศึกษาในแปลงทดลองพบว่าชุดทดลองซึ่งได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้มวลชีวภาพส่วนเหนือดินซึ่งวัดโดยน้ำหนักแห้งลดลง ถึง 52% และลดอัตราผลผลิตลงถึง 48% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

กลุ่มนักวิทยาศาสตร์แถบยุโรปและอเมริกาเหนือได้มีความสนใจในการวิจัยผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตรเช่นเดียวกัน อาทิเช่น การศึกษาในข้าวฟ่าง (Sorghum bicolor (L.)) โดย Chowdhury and Wardlaw (1978) ได้ศึกษาในภาคสนามโดยปลูกใน Chamber ภาคสนาม ในเขตเทกซัส สหรัฐอเมริกา พบว่า ผลผลิตของเมล็ดข้าวฟ่างลดลงถึง 50 % ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 33/28 °C เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองซึ่งปลูกภายใต้ สภาวะอุณหภูมิ 30/25 °C ซึ่งมีข้อมูลที่แสดงผลสอดคล้องกัน คือการทดลองของ Prasad et al.(2006) นักวิจัยกลุ่มนี้ ศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อผลผลิตของข้าวฟ่าง (Sorghum bicolor (L.)) โดยการปลูกใน Chamber เพื่อทดลองในภาคสนามเช่นเดียวกัน โดยการควบคุมอุณหภูมิ ให้มี

ความแตกต่างกันโดยการ ผลการศึกษาพบว่าการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่า 36/26 °C ส่งผลต่อการลดการผลิตเกสรอย่างมีนัยสำคัญ และ ลดการผลิตเมล็ดข้างฟ่างถึง 10 % เมื่อเปรียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 32/22 °C

การประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนมีกันอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาในระบบนิเวศในเขตทุนดรา โดย Hollister และ Webber (2000) พบว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี เช่น การศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นในระบบนิเวศอื่นๆ โดยการประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อปรับอุณหภูมิในพื้นที่ทุ่งหญ้าอัลไพน์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์ของพืชพรรณชนิดต่างๆในระบบนิเวศทุ่งหญ้าแถบอัลไพน์ ในการศึกษา Kudernatsch et al.(2007) ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มพืชที่ได้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้นมีสภาวะการเติบโตและแพร่พันธุ์เพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้มีการตรวจวัดธาตุอาหารทั้งในพืชและในดินแต่อย่างใด

สำหรับประเทศไทย ได้มีการศึกษาในประเด็นนี้เช่นเดียวกัน โดย กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ (2551) ได้สร้างแบบจำลองสภาวการณ์โลกร้อนในพื้นที่นาข้าว เพื่อปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในจังหวัดพิษณุโลกโดยประยุกต์ใช้ Open Top Chamber ผนังโปร่งใส เพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับคือ 30 °C 35 °C และ 40 °C โดยตั้งระบบระบบอิเลคโทรนิคควบคุมระบบการปล่อยน้ำเป็นละอองฝอยอัตโนมัติตามระดับอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ ผลการศึกษาพบว่าที่ ระดับ 35 °C เป็นอุณหภูมิที่กระตุ้นให้ต้นข้าวโตเร็วและมีมวลชีวภาพที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ชุดการศึกษา แต่กลับพบว่ามีปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิ 30 °C และ 40 °C ผลการศึกษาในปัจจัยอัตราผลผลิตพบว่า ชุดการทดลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงสุดที่ 40 °C มี เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ได้ผลผลิตดี / รวง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีระดับอุณหภูมิ 30°C และ 35 °C โดยลดลง 9.7 % และ 12.3 % ผลการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเบื้องต้นโดยวิธี RAPDพบว่าการปลูกข้าวภายใต้ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับ ในระยะยาวส่งผลต่อการจำแนกแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างออกเป็น 3 กลุ่มอย่างชัดเจน

การศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของโอโซนต่อพืชการเกษตร

การศึกษาเพื่อตรวจสอบสภาวะของโอโซนในระดับต่างที่มีผลกระทบต่อพืชทั้งทางด้านสรีรวิทยาและผลผลิตทางชีวภาพโดยการศึกษานั้นมีทั้งการศึกษาในพื้นที่การเพาะปลูกจริง ได้มีการรายงานมาอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น ในปี ค.ศ. 1973 Heagle และคณะ ได้พัฒนาการทดลองผลกระทบของโอโซนต่อพืชโดยการควบคุมตัวแปรการทดลองได้ดีขึ้นโดยสร้าง ห้องทดลองรูปทรงกระบอกระบบเปิดด้านบน (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) โดย NCLAN ได้พัฒนาการทดลองเพื่อหาระดับความเข้มข้นของโอโซนที่มีผลกระทบต่อพืชเศรษฐกิจหลายๆ ชนิด 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 ระดับในห้องทดลองกลางแจ้ง และวัดการดูดกลืน

แสงบริเวณเหนือใบและใต้ใบ 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 (2003) และ 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

ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของจังหวัดพิษณุโลก

ปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับอุณหภูมิของประเทศไทยส่วนหนึ่ง เกิดจากสภาพทางภูมิศาสตร์ที่เป็นพื้นที่มีศักยภาพในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีคือ ทำให้มีการแผ่รังสีความร้อนในพื้นที่ได้สูง ซึ่งส่งผลต่อระดับอุณหภูมิในพื้นที่ของประเทศไทย ค่าเฉลี่ยรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปีทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m2-day และ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมด ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 18-19 MJ/m2-day (การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย, 2552) นอกจากนั้นข้อมูลจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (2552) รายงานว่าจังหวัดพิษณุโลก มีค่าเฉลี่ยรังสีรวมค่อนข้างสูงในหลายพื้นที่แสดงค่าเฉลี่ยในช่วงเดือนมีนาคม-สิงหาคม พบว่า สูงถึง 22 MJ/m2-day ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิในพื้นที่อย่างแน่นอนและย่อมเป็นปัจจัยเสริมต่อการเพิ่มขึ้นของระดับก๊าซโอโซนเช่นเดียวกัน ข้อมูลที่น่าสนใจคือแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบข้อมูล ค่าเฉลี่ย 30 ปี ในอดีตของจังหวัดพิษณุโลก คือ ระหว่าง พ.ศ. 2504-2533 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552) พบว่ามีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ช่วงประมาณ 32-34 °C และ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของปีในช่วงเดือนเมษายน มีค่าสูงสุดเพียง 37 °C เท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงปัจจุบันระหว่างปีพ.ศ. 2543-2552 ในตารางที่ 1 ซึ่งมีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย

ในช่วงเดือนเมษายน มีค่าสูงสุดถึง 39 °C ระดับอุณหภูมิสูงสุดที่เพิ่มขึ้น 2 °C ในรอบประมาณ 50 ปีของพิษณุโลกนี้ เป็นดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญถึงปัญหาสภาวะโลกร้อน ที่เกิดขึ้นในพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรบางพื้นที่มีค่าระดับสูงสุดเกินค่าระดับที่เหมาะสมสำหรับถั่วเหลืองในช่วงฤดูกาลปลูก โดยพบว่า เกินระดับ 33-35 °C ในช่วงฤดูกาลปลูก (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาจังหวัดพิษณุโลก, 2552 : องค์การบริหารส่วนตำบลวัดโบสถ์, 2552) ซึ่งปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มแสงสูง ร่วมกับ ระดับอุณหภูมิที่สูง รวมทั้งสภาพการเป็นจังหวัดที่มียวดยานพาหนะคับคั่งที่สามารถผลิตกลุ่มสารตั้งต้นในการผลิตโอโซนในบรรยากาศ (Kang et al., 2004) ย่อมส่งผลความเป็นไปได้จริง ต่อสภาวะการเพิ่มระดับโอโซนในบรรยากาศของจังหวัดพิษณุโลก เช่นเดียวกัน

ตาราง 1 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย บางปี ระหว่างปี 2543-2552

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ย /อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°C)					
	ปี พศ.2543	ปี พศ.2544	ปี พศ.2545	ปี พศ.2546	ปี พศ.2551	ปี พศ.2552
มกราคม	31.8 /34.1	32.2/34.8	30.8/33.6	30.1/32.0	31.5/34.5	29.5/33.0
กุมภาพันธ์	32.2/36.4	33.3/36.4	33.5/36.2	33.4/35.7	31.6/35.6	34.2/37.0
มีนาคม	35.2/37.6	33.6/36.7	35.4/38.4	34.5/37.0	34.9/37.2	34.8/37.1
เมษายน	35.9/39.6	38.3/39.6	38.2/39.7	37.5/38.7	36.5/38.7	36.3/39.5
พฤษภาคม	34.1/33.2	34.0/36.2	36.2/39.5	36.5/40.8	33.6/35.8	34.5/38.0
มิถุนายน	33.2/35.2	33.8/35.6	34.9/36.5	33.2/35.3	33.9/35.5	-
กรกฎาคม	32.8/35.6	33.0/34.7	33.2/35.6	33.8/36.3	32.9/34.6	-
สิงหาคม	32.7/35.5	32.6/35.0	32.8/35.1	33.1/35.4	31.9/34.1	-
กันยายน	31.7/34.6	32.5/34.7	31.7/34.0	32.4/34.5	32.4/34.0	-
ตุลาคม	32.2/34.3	33.1/35.4	32.6/34.4	33.6/34.6	32.7/34.3	-
พฤศจิกายน	31.4/33.6	30.5/34.6	31.8/35.0	33.6/35.2	31.2/33.7	-
ธันวาคม	31.7/34.0	31.1/33.9	31.5/34.2	30.8/33.3	29.5/31.8	-
อุณหภูมิสูงสุดของปี	39.6	39.6	39.7	40.8	38.7	39.5

ที่มา : ศูนย์อุตุนิยมวิทยาจังหวัดพิษณุโลก ข้อมูล ณ เดือน มิถุนายน 2552

ปัจจัยของความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น ร่วมกับสภาวะอุณหภูมิสูง ล้วนเป็นปัจจัยเสริมต่อการเกิดขึ้นของโอโซนในบรรยากาศด้วยในเวลาเดียวกัน (Kang et al., 2004) ร่วมกับข้อมูลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนจากกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี พ.ศ. 2539-2548 พบว่าในเขตตัวเมืองที่มีกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรม และมียวดยานพาหนะค่อนข้างคับคั่ง มีระดับค่าความเข้มข้นโอโซนสูงเกินมาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) และ ข้อมูลในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกในช่วงปี 2549-2550 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 20-50 ppb (กณิตา และ คณะ, 2551) ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อการส่งผลกระทบในเชิงลบต่อพืชการเกษตรในพื้นที่ จึงเป็นข้อมูลที่น่าสนใจที่จะศึกษาปัจจัยร่วมทั้งสองที่มีผลกระทบกับพืชการเกษตรที่สำคัญต่อไป

ความสำคัญของถั่วเหลืองของประเทศไทย

ขอบเขตการทำวิจัยในครั้งนี้เลือกใช้ถั่วเหลือง เนื่องจากการตระหนักถึงความสำคัญในประเด็นการเป็นพืชเศรษฐกิจ และบทบาทของประเทศไทยที่มีต่อการผลิตถั่วเหลืองในระดับโลกและในประเทศ ซึ่งยืนยันจากข้อมูลของ จากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ได้รายงานว่าประเทศไทยได้รับการจัดอันดับให้เป็นประเทศที่ผลิตถั่วเหลืองได้เป็นอันดับที่ 17 ของโลก โดยพิจารณาจาก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ ปี 2545-2547 โดยผลิตได้ถึง 260,000 ตัน/ปี ในปี พ.ศ. 2545 231,000 ตัน/ปี ในปี พ.ศ. 2546 และ 240,000 ตัน/ปี ในปี พ.ศ. 2547 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับผลิตรวมของโลกคือ 180,909,000 ตัน/ปี 189,176,000 ตัน/ปี และ 206,378,000 ตัน/ปี ในปี พ.ศ. 2545-2547 (กรมวิชาการเกษตร, 2552) พบว่าพันธุ์ถั่วเหลืองที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ อาทิเช่น เชียงใหม่ 60, สจ.5, สจ. 4, สุโขทัย 2, ทวี 9, สุโขทัย 1, สจ.2, เชียงใหม่ 2 และ ราชมงคล 1 (สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2544/45) ซึ่งพันธุ์เชียงใหม่ 60 นับว่าเป็นพันธุ์หนึ่งในอันดับต้นๆที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในขณะนี้เป็นที่นิยมปลูกในภาคเหนือมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดพิษณุโลกดังนั้นในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความต้องการที่แท้จริง (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

โดยสรุปจากข้อมูลเอกสารในเชิงวิชาการทั้งหมดที่ได้เรียบเรียงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ซึ่งมองภาพรวมของการปัญหาสภาวะโลกร้อน การเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนและความเป็นไปได้ของการเกิดปัจจัยทั้งสองร่วมกันในเขตจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งปัจจัยร่วมดังกล่าวน่าจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิตและคุณภาพสารอาหารถั่วเหลืองในพื้นที่ ด้วยเหตุนี้การศึกษาถึงปัญหาดังกล่าวในสภาวะที่สามารถเกิดขึ้นได้จริงดังกล่าว จึงเป็นสถานการณ์ที่สมควรศึกษาอย่างเร่งด่วนเพื่อตรวจสอบเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินสถานการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศที่มีต่อทรัพยากรทางด้านการเกษตร เพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศโลก อันจะนำไปสู่การต่อยอดการศึกษาและการวิจัยเพิ่มเติมที่นำไปสู่การรองรับ และการจัดการแก้ปัญหา ดังกล่าวในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกและในประเทศไทยต่อไป

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 คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

6.2 พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการวิจัย

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

165305 59

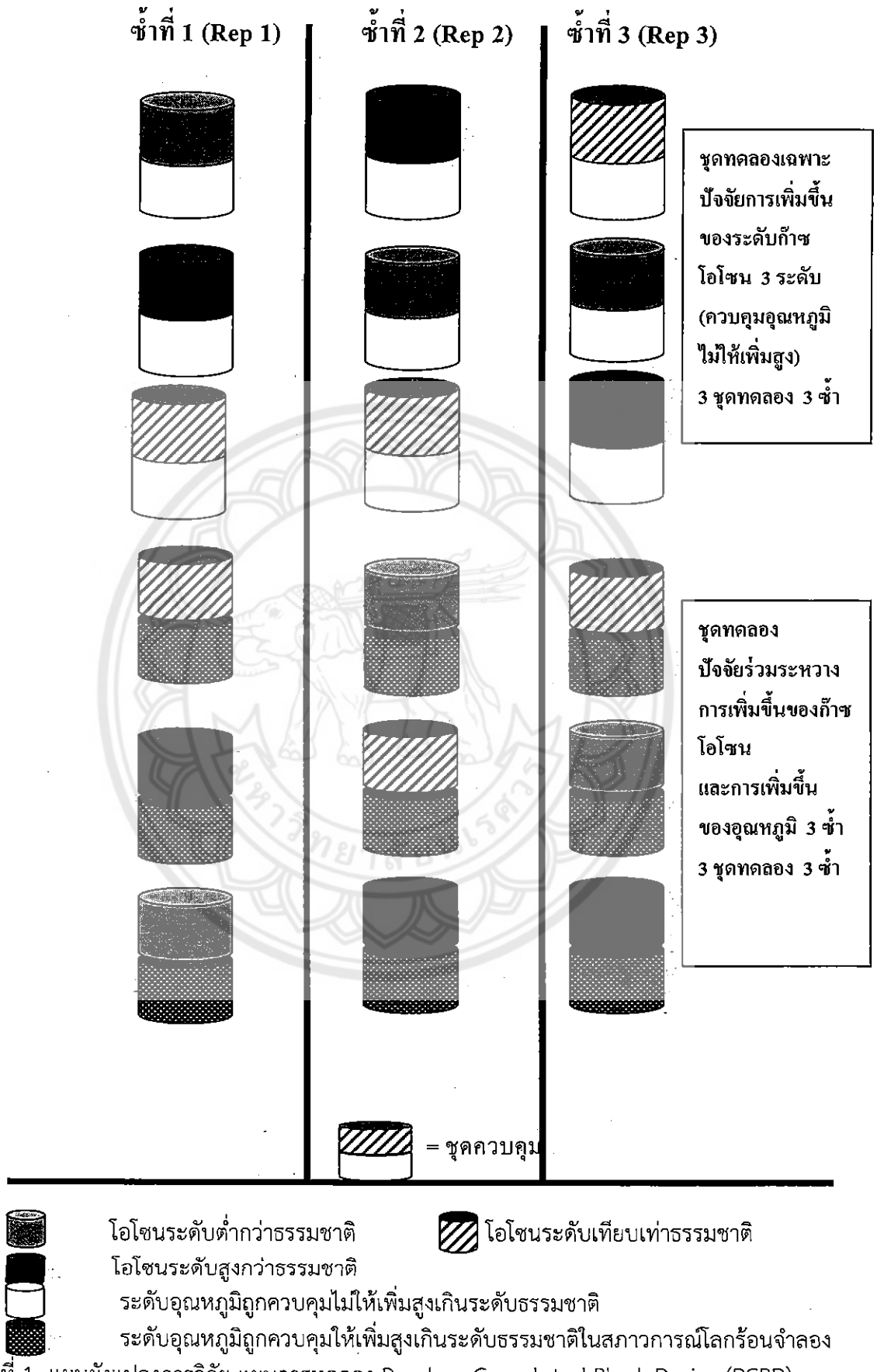
สำนักหอสมุด
๓ - ก.ย. ๒๕๕๘

6.3 การวางแผนการวิจัย

ในการวิจัย ได้กำหนดวางแผนการทดลองแบบ วางแผนการทดลองเป็นแบบ Random Completed Block Design (RCBD) 3 ซ้ำในแต่ละชุดทดลอง ซึ่งชุดทดลองดังกล่าวจะมีทั้งหมด 6 ชุดทดลอง 3 ซ้ำ ดังแผนภาพที่ 2 โดยการกำหนดชุดทดลองดังกล่าวขึ้นกับ ปัจจัยร่วม 2 ลักษณะ เพื่อสร้างและควบคุมสภาวการณ์จำลอง ใน chamber คือ

1) ชุดทดลองซึ่งให้ถั่วเหลืองปลูกภายใต้สภาวะปัจจัยของการสัมผัสโอโซนในระดับที่แตกต่างกัน 3 ระดับ แต่ระดับอุณหภูมิจะถูกควบคุมให้ลดลงเทียบเท่ากับระดับธรรมชาติ
2) ชุดทดลองปัจจัยร่วม ซึ่งให้ถั่วเหลืองปลูกภายใต้สภาวะปัจจัยของการสัมผัสอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 ระดับ

ดังนั้นชุดทดลองทั้งหมดมีทั้งหมด 6 ชุด (3 × 2 ปัจจัย) ซึ่งรายละเอียดแสดงในแผนภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังแปลงการวิจัย แผนการทดลอง Random Completed Block Design (RCBD)

รายละเอียดในแต่ละชุดทดลองได้แสดงโดยละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดและชื่อชุดการทดลองของงานวิจัย 6 ชุดการทดลอง 3 ซ้ำ

ชุดทดลอง	ปัจจัย
Ozone-L-AT	โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมไม่ให้สูงกว่าธรรมชาติ)
Ozone-A-AT (ชุดควบคุม)	โอโซนระดับเท่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมไม่ให้สูงกว่าธรรมชาติ) **
Ozone-H-AT	โอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมไม่ให้สูงกว่าธรรมชาติ)
Ozone-L-HT	โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ)
Ozone-A-HT	โอโซนระดับเท่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ)
Ozone-H-HT	โอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ) **

6.4 การสร้างสภาวการณ์โลกร้อนและการสร้างสภาวะการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซน

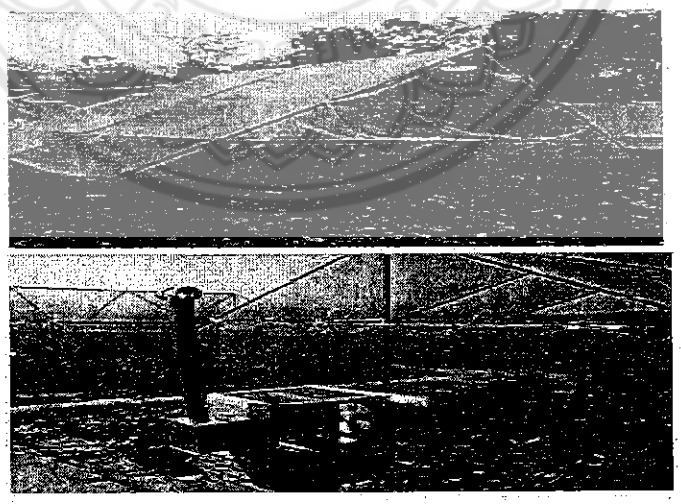
(1) Open Top Chamber (OTC)

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะประยุกต์ใช้ Open Top Chamber (ห้องระบบเปิดด้านบน) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ดัดแปลงมาจาก กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ (2555) เพื่อใช้ควบคุมลักษณะ 6 ชุดทดลอง 3 ซ้ำ (6 treat x 3 rep.) ดังแสดงในตารางที่ 2 ลักษณะของ Open Top Chamber คลุมด้วยพลาสติกใสรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร สูง 1.7 เปิดหลังคา

ด้านบน และมีหลังคาหุ้มด้วยพลาสติกใสเพื่อกันน้ำฝน (เพื่อป้องกันเครื่องมืออิเลคโทรนิคจากน้ำฝน) ด้านหน้าต่อท่อเพื่อดูดอากาศเข้าไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะไร้อากาศในตู้ทดลอง และติดตั้ง activated carbon filter ด้านหน้าเพื่อให้อากาศที่ผ่านเข้าไปได้รับการกรองมลสารที่สำคัญ เช่น ก๊าซโอโซน ไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จุดประสงค์ เพื่อให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการศึกษาเกิดจากสภาวะอุณหภูมิปัจจัยเดียว

(2) การควบคุมอากาศและควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองโดยจำลองสภาวะโลกร้อน และการสร้างสภาวะการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซน

2.1 *การสร้างสภาวะเปรียบเสมือนโลกร้อน* ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะโลกร้อนเกิดจากการสะท้อนกลับของอินฟราเรดซึ่งก่อให้เกิดพลังงานความร้อนระดับสูงส่งผลทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ในการวิจัยจะดัดแปลงตู้ทดลองในการวิจัยของกณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ (2555) และติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมคือหลอดไฟสีเขียวเพื่อเพิ่มระดับความร้อนในตู้ทดลอง(ภาพที่ 3) ให้สูงกว่าระดับธรรมชาติประมาณ 3-5 องศาเซลเซียสให้เสมือนสภาวการณ์โลกร้อนในตู้ทดลองชุด Ozone-L-HT Ozone-A-HT และ Ozone-H-HT



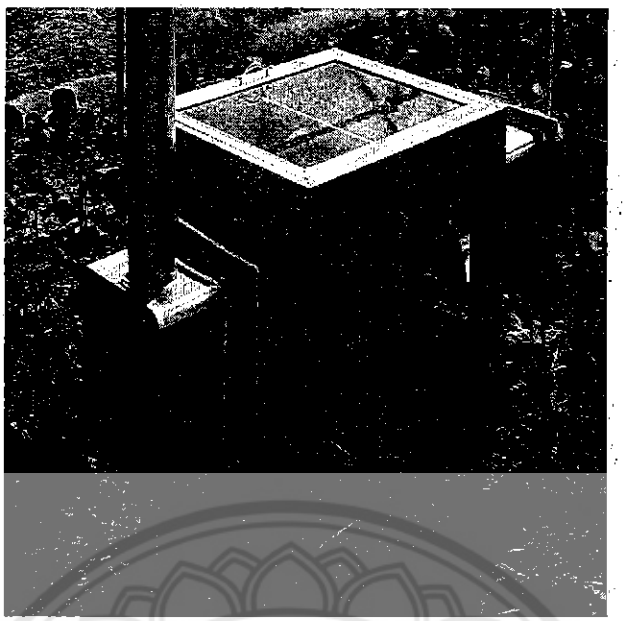
ภาพที่2 ตู้ทดลองระบบเปิดด้านบน Open Top Chamber

ประยุกต์จาก กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ (2555)

ภาพที่ 3 ติดตั้งหลอดไฟสีเขียวเพื่อเพิ่มระดับความร้อนในตู้ทดลอง Ozone-L-HT Ozone-A-HT Ozone-H-HT

2.2 การควบคุมอากาศและลดอุณหภูมิในห้องทดลองให้เทียบเท่าธรรมชาติ

การกระจายของอากาศและการลดอุณหภูมิในห้องทดลองให้กระจายได้อย่างทั่วถึงนั้น ดำเนินการโดยการติดพัดลมบริเวณมุมด้านล่างของด้านหน้าห้องทดลองเพื่อดูดอากาศเข้า บริเวณด้านหน้าของพัดลมดูดอากาศเข้าอากาศที่ดูดเข้าจะผ่านแผ่นกรองมลสารอื่นๆโดยใช้ถ่านกัมมันต์ เป็นตัวกรอง และผ่านแผ่นกรองฝุ่นอีก 1 ชั้น (ห้องทดลองซึ่งเป็นกลุ่ม control จะใช้เพียงแผ่นกรองฝุ่นเท่านั้น) ประกอบกับลักษณะ Open top chamber เป็นทรงกระบอกดังนั้นจึงมีส่วนช่วยเป็นอย่างมากต่อการหมุนเวียนอากาศใน Open top chamber (ภาพที่ 4)ในชุดทดลอง Ozone-L-AT Ozone-A-AT และ Ozone-H-AT



ภาพที่ 4 ติดตั้งพัดลมเพื่อให้อุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติมากที่สุดในชุดทดลอง

Ozone-L-AT Ozone-A-AT Ozone-H-AT

3) การควบคุมระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในห้องทดลอง

ห้องทดลองซึ่งต้องการควบคุมปริมาณโอโซนทำโดยการติดตั้งเครื่องผลิตก๊าซโอโซน (ozone generator) ซึ่งมีกำลังผลิต 300 mg/hr บริเวณด้านหน้าห้องทดลอง การควบคุมปริมาณก๊าซทำได้โดยการดึงอากาศผ่านท่อที่ระดับความสูง 1 เมตร ให้อากาศผ่านแผ่นกรองถ่านกัมมันต์ (charcoal-filtered ซึ่งเป็นแผ่นกรอง มลสารต่างๆ รวมทั้งโอโซน)เข้าไปใน ตู้ทดลอง ซึ่งในตู้ทดลองจะเปิดเครื่อง ozone generator โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับระดับโอโซน เพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซน และควบคุมเพื่อให้มีระดับที่ต้องการ 3 ระดับคือ

(1) ห้องทดลองที่ไม่มี charcoal-filtered

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้ เท่ากับสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยไม่ไม่การดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal

(2) ห้องทดลองที่มี charcoal-filtered

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้จะมีระดับน้อยกว่าสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยผ่านระบบการดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal

ห้องทดลองที่ มี charcoal-filtered และพ่นโอโซนด้วย ozone generator

ระดับความเข้มข้นของโอโซนในห้องทดลองนี้จะมีระดับสูงกว่าสภาวะจริงในธรรมชาติ เนื่องจากอากาศ ถูกดูดผ่านเข้ามาโดยผ่านระบบการดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal และได้รับก๊าซโอโซนในระดับ ที่สูงกว่าระดับธรรมชาติ (non- charcoal filtered air + ozone)

เหตุผลที่ต้องดูดซับก๊าซโอโซนด้วยถ่าน charcoal charcoal เนื่องจากเป็นการควบคุมตัวแปร มลสารทางอากาศชนิดอื่นๆ เพื่อให้แน่ใจว่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากก๊าซโอโซนจริงและเพิ่มโอโซนโดยเครื่อง ozone generator

6.5 การจัดการปลูกถั่วเหลือง

13.1 ทำการเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกถั่วเหลืองโดยการไถพรวน ปรับลงดินที่มีคุณภาพร่วมกับการใส่ปุ๋ยเตรียมพร้อมสำหรับปลูก

13.2 กำหนดช่วงการปลูกในช่วงเดือน กลางเดือนมกราคม – ต้นเดือนเมษายน 2554 เมื่อเมล็ดแสดงการเจริญอายุ 7 วัน (7 DAE; day after emergence) จะเริ่มควบคุมอุณหภูมิ และก๊าซโอโซน ตามแผนการวิจัย จนกระทั่งเก็บเกี่ยว

13.3 ทำการยกแปลงปลูกที่มีระยะหว่าง 20 x 40 เซนติเมตร โดย 1 ชุดแปลงทดลอง จะใช้พื้นที่ เท่ากับพื้นที่ของ Chamber

6.7 การเก็บผลการทดลองและวิเคราะห์ผลด้านคุณภาพผลผลิตและคุณภาพสารอาหาร

ทำการวิเคราะห์ ดัชนีชี้วัดทางด้าน ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตดังนี้

(1) ประเมินผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง โดยการนับผลผลิตต่อต้น ในระยะFull Maturity Stage

(2) การวิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร

2.1 วิเคราะห์คุณภาพสารอาหาร ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์โปรตีน และ ไขมัน ตามวิธีของ AOAC 1995.

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

- กรดอะมิโนไลซีน(Lysine)

3) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไขมัน โดยศึกษาในกรดไขมันโดย gas chromatography สำหรับวิเคราะห์หา fatty acids ดังนี้

- กรดไขมันไลโนลินิก
- กรดไขมันไลโนลิอิก

6.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดดัชนีในด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเลือกใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่าง 6 กลุ่มทดลอง แบบ F-Test และเลือกการวิเคราะห์ปัจจัยเดี่ยวแบบ One Way ANOVA และเลือกวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทดสอบเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทุกกลุ่มทดลอง

7. ผลการศึกษา

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

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

7.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนและอุณหภูมิใน 6 ชุดการทดลอง

7.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง

จำนวนฝักต่อต้น

7.3 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง

ปริมาณโปรตีน

ปริมาณไขมัน

7.4 คุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง

7.5 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็นในเมล็ดถั่วเหลือง

ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน

ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก

ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก

7.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนใน 6 ชุดการทดลอง

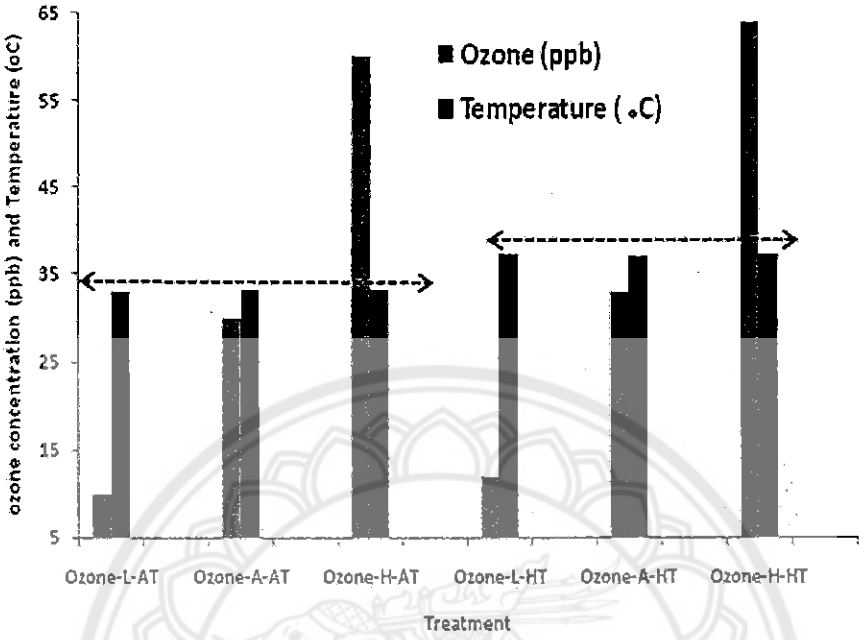
จากผลการศึกษาถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ควบคุมระดับโอโซน และ ระดับอุณหภูมิในชุดทดลอง 6 ชุดการทดลอง ซึ่งผลการควบคุมแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 5 คือ ชุดทดลอง Ozone-L-AT ซึ่งควบคุมให้โอโซนต่ำกว่าระดับธรรมชาติ และควบคุมให้อุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติมีค่าระดับโอโซนเฉลี่ยในช่วงที่ทำการทดลอง 78 วัน เท่ากับ 10 $\pm$ 10.1 ppb และมีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 33.02 $\pm$ 1.67 $^{\circ}$C

ชุดทดลอง Ozone-A-AT ซึ่งเป็นชุดควบคุมให้โอโซนมีระดับเท่าบรรยากาศ และควบคุมให้อุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติมีค่าระดับโอโซนเฉลี่ยในช่วงที่ทำการทดลอง 78 วัน เท่ากับ 30 $\pm$ 11.1 ppb และมีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 33.16 $\pm$ 1.8 $^{\circ}$C ส่วนชุดทดลอง Ozone-H-AT ซึ่งเป็นชุดควบคุมให้โอโซนมีระดับสูงกว่าบรรยากาศ และควบคุมให้อุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติมีค่าระดับโอโซนเฉลี่ยในช่วงที่ทำการทดลอง 78 วัน เท่ากับ 60 $\pm$ 10 ppb และมีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 33.15 $\pm$ 1.78°C

ชุดการทดลองอีก 3ชุด ควบคุมโอโซนในแตกต่างกัน 3 ระดับเช่นเดียวกันแต่ปัจจัยอุณหภูมิจะสูงกว่าระดับธรรมชาติทั้ง 3 ชุด ซึ่งมีค่าระดับดังนี้ Ozone-L-HT ซึ่งเป็นชุดควบคุมให้โอโซนมีระดับต่ำกว่าบรรยากาศ และควบคุมให้อุณหภูมิสูงกว่าธรรมชาติมีค่าระดับโอโซนเฉลี่ยในช่วงที่ทำการทดลอง 78 วัน เท่ากับ 12 $\pm$ 0.61 ppb และมีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 37.25 $\pm$ 1.81 $^{\circ}$C ส่วนชุดทดลอง Ozone-A-HT ซึ่งเป็นชุดควบคุมให้โอโซนมีระดับเทียบเท่าบรรยากาศ และควบคุมให้อุณหภูมิสูงกว่าธรรมชาติมีค่าระดับโอโซนเฉลี่ยในช่วงที่ทำการทดลอง 78 วัน เท่ากับ 33 $\pm$ 1.6 ppb และมีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 37.15 $\pm$ 1.75 $^{\circ}$C และชุดทดลองสุดท้ายคือ Ozone-H-HT ซึ่งถูกควบคุมให้ทั้งระดับโอโซนและอุณหภูมิสูงกว่าธรรมชาติ มีค่า ระดับโอโซนเฉลี่ยในช่วงที่ทำการทดลอง 78 วัน เท่ากับ 64 $\pm$ 3.2 ppb และมีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 37.31 $\pm$ 1.93 $^{\circ}$C

ตารางที่ 3 แสดงระดับโอโซนและอุณหภูมิในชุดการทดลองที่เกิดขึ้นภายใต้การควบคุมในระยะเวลาการทดลองในแปลงวิจัย 78 วัน

ชุดทดลอง	ปัจจัย	ปัจจัยในบรรยากาศที่ควบคุม	
		ระดับโอโซน (ppb)	ระดับอุณหภูมิ (° C)
Ozone-L-AT	โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมไม่ให้สูงกว่าธรรมชาติ)	10 ± 10.1	33.02 ± 1.67
Ozone-A-AT (ชุดควบคุม)	โอโซนระดับเท่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมไม่ให้สูงกว่าธรรมชาติ) **	30 ± 11.1	33.16 ± 1.8
Ozone-H-AT	โอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมไม่ให้สูงกว่าธรรมชาติ)	60 ± 10.8	33.15 ± 1.78
Ozone-L-HT	โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ)	12 ± 0.61	37.25 ± 1.81
Ozone-A-HT	โอโซนระดับเท่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ)	33 ± 1.6	37.15 ± 1.75
Ozone-H-HT	โอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ) **	64 ± 3.2	37.31 ± 1.93

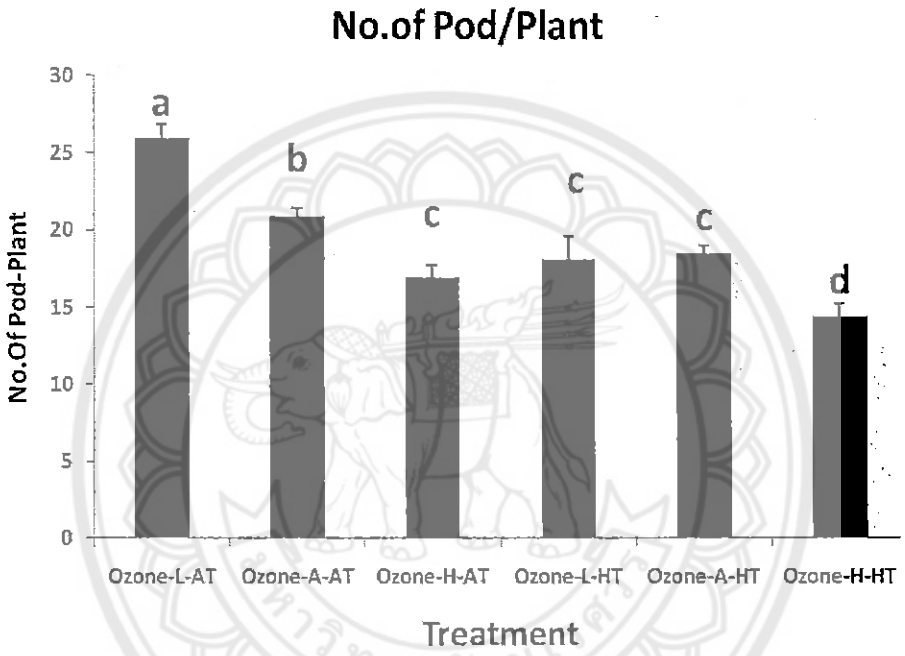


ภาพที่ 5 ปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนเฉลี่ย (ppb) และระดับอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ในชุดทดลองทั้ง 6 ชุดในระยะเวลาการทดลองในแปลงวิจัย 78 วัน

7.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง จำนวนฝักต่อต้น

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากจำนวนฝักต่อต้น ในระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับชุดการทดลองทั้ง 6ชุด ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 6 และตารางที่4 พบว่าจำนวนฝักต่อต้นมีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้ง 6 ชุดการศึกษาซึ่งสิ่งที่สังเกตได้อย่างชัดเจนคือ ชุดการทดลอง Ozone-L-AT ซึ่งเป็นสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุดของการปลูกถั่วเหลืองเนื่องจากปรับให้ระดับโอโซนต่ำกว่าธรรมชาติและมีระดับอุณหภูมิเทียบเท่ากับธรรมชาติ มีผลผลิตที่ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่แตกต่างจากทุกชุดทดลองอื่นๆทั้ง 5 ชุดทดลอง ($P \leq 0.05$) พบว่ามีผลิต 25.96 ± 0.94 ฝัก/ ต้น

ในทางตรงกันข้าม ชุดการทดลอง Ozone-H-HT ที่มีสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อสภาวะธรรมชาติของการเจริญเติบโต เนื่องจาก ซึ่งมีปัจจัยร่วมสูงที่สุดทั้งสองปัจจัยคือ ระดับโอโซนและอุณหภูมิ (สูงกว่าทุกชุดการทดลอง) ส่งผลให้จำนวนฝักต่อต้นต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) จากทุกชุดทดลองอื่นๆทั้ง 5 ชุดทดลอง คือ มีค่าเท่ากับ 14.4 ± 0.86 ฝักต่อต้น



ภาพที่ 6 ผลการศึกษาจำนวนฝัก /ต้น ของชุดทดลองทั้งหมด 6 ชุด เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับ โอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ * อักษร a-d ที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ρ <0.05

เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Ozone-A-AT) ซึ่งมีผลผลิตเท่ากับ 20.87 ± 0.5 พบว่ามีความแตกต่างจากกชุดการทดลองอื่นๆทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแสดงผลอย่างชัดเจนว่า ถ้าระดับปัจจัยร่วมของระดับโอโซนและ/หรือ ระดับอุณหภูมิสูงกว่าชุดควบคุมจะให้ผลผลิตต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม) นั่นคือพบว่า ผลผลิตในชุดการทดลอง Ozone-H-AT Ozone-L-HT Ozone-L-A-HT และ Ozone-H-HT มีค่าผลผลิตเท่ากับ

16.93 ± 0.83 18.13 ± 1.58 และ 14.413 ± 0.86 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าลดลงเท่ากับ 18.8 % 13.12 % 11.16% และ 30.99 % (ลดสูงสุด) ในชุด Ozone-H-AT Ozone-L-HT Ozone-L-A-HT และ Ozone-H-HT ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาจำนวนฝัก /ต้น ของชุดทดลองทั้งหมด 6 ชุด เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับ โอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

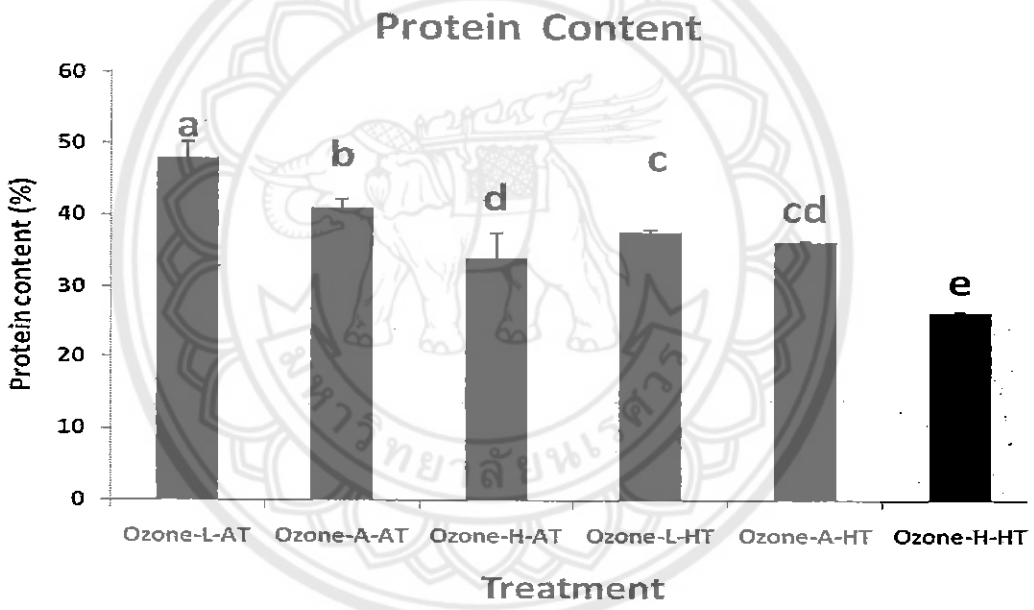
ชุดการทดลอง	No.of Pod/plant
Ozone-L-AT	25.96 ± 0.95
Ozone-A-AT	20.87 ± 0.52
Ozone-H-AT	16.93 ± 0.84
Ozone-L-HT	18.13 ± 1.58
Ozone-A-HT	18.54 ± 0.5
Ozone-H-HT	14.41 ± 0.86

7.3 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง

7.3.1 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อโปรตีนของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากปริมาณโปรตีนที่สะสมในเมล็ดของถั่วเหลืองระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับชุดการทดลองทั้ง 6ชุด ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 7 และตารางที่ 5 พบว่าระดับโปรตีนในเมล็ดมีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้ง 6 ชุดการศึกษา

ผลการศึกษาบ่งบอกอย่างชัดเจนว่าระดับโปรตีนสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$ ใน ชุด (Ozone-L-AT) เท่ากับ 48.06 ± 2.16 % เมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดทดลอง ซึ่งเป็นสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุดของการปลูกถั่วเหลือง เนื่องจากปรับให้ระดับโอโซนต่ำกว่าธรรมชาติและมีระดับอุณหภูมิเทียบเท่ากับธรรมชาติ และเช่นเดียวกับผลการศึกษาในผลผลิต กลุ่มผู้วิจัยพบว่า ในทางตรงกันข้าม ชุดการทดลอง Ozone-H-HT ที่มีสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อสภาวะธรรมชาติของการเจริญเติบโต เนื่องจาก ซึ่งมีปัจจัยร่วมสูงทีสุดทั้งสองปัจจัยคือ ระดับโอโซนและอุณหภูมิ (สูงกว่าทุกชุดการทดลอง) ส่งผลให้ระดับโปรตีนต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดทดลองอื่นๆทั้ง 5 ชุดทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 26.3 ± 0.26 %



ภาพที่ 7 ปริมาณโปรตีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

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

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองที่มีอุณหภูมิปกติ (ในชุด Ozone-L-AT Ozone-A-A-HT และ Ozone-H-AT) และ กลุ่มทดลองที่มีปัจจัยร่วมของระดับอุณหภูมิสูง (ในชุด Ozone-L-HT Ozone-L-A-HT และ Ozone-H-HT) พบว่า กลุ่มหลังมีระดับโปรตีนต่ำว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าลดลงเท่ากับ 17 % 8.2 % 11.4% และ 36.14 % (ลดสูงสุด) ในชุด Ozone-H-AT Ozone-L-HT Ozone-L-A-HT และ Ozone-H-HT ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ปริมาณโปรตีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	Protein(%)	Lipid(%)
Ozone-L-AT	48.06 ± 2.16	17.12 ± 0.54
Ozone-A-AT	41.15 ± 1.1	17.85 ± 0.61
Ozone-H-AT	34.11 ± 3.5	20.69 ± 0.23
Ozone-L-HT	37.8 ± 0.29	15.13 ± 0.17
Ozone-A-HT	36.46 ± 0.06	16.9 ± 0.05
Ozone-H-HT	26.27 ± 0.26	19.4 ± 0.13

7.3.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อปริมาณไขมันของผลผลิตในเมล็ดถั่วเหลือง

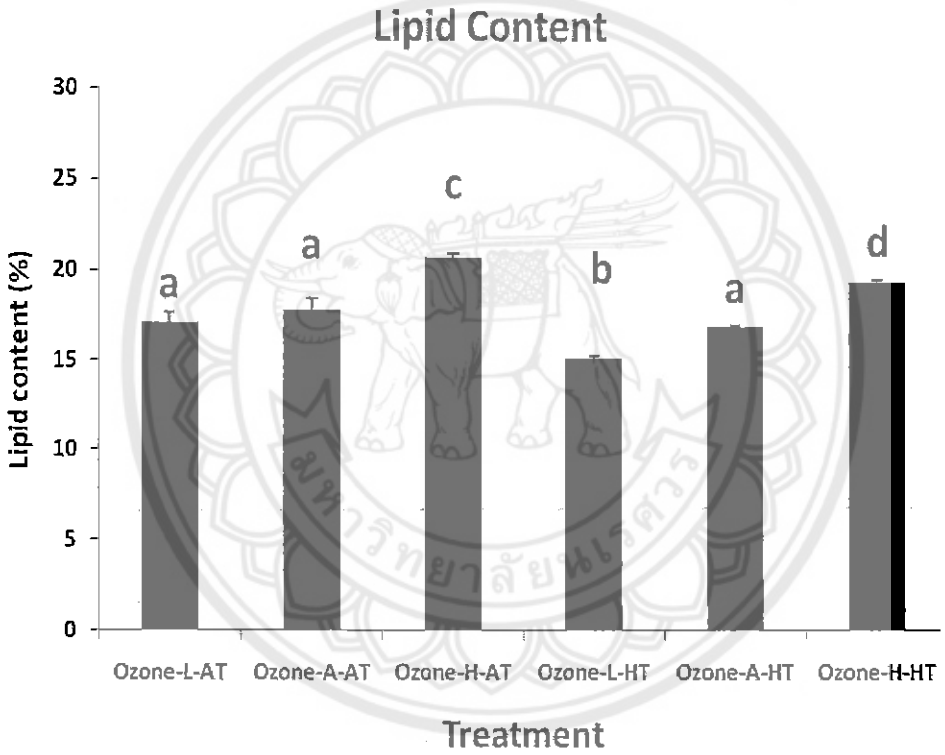
จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากปริมาณไขมันที่สะสมในเมล็ดของถั่วเหลืองระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วัน เช่นเดียวกับปัจจัยอื่นๆ ชุด ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 8 และตารางที่4 พบว่าระดับไขมันในเมล็ดมีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้ง 6 ชุดการศึกษา

ผลการศึกษาได้ผลที่ตรงกันข้ามกับระดับโปรตีน เนื่องจากพบว่าที่ระดับโอโซนสูงสุดภายใต้ปัจจัยร่วมอุณหภูมิที่สภาวะปกติ (Ozone-H-AT) และระดับที่สูงกว่าธรรมชาติ ในชุดการทดลอง (Ozone-H-HT) มีระดับไขมันสูงมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 20.69 ± 0.23 และ 19.4 ± 0.13 % ตามลำดับ เมื่อคำนวณโดยใช้ฐานระดับที่ชุด

ควบคุม Ozone-A-AT พบว่ามีค่าระดับไขมันเพิ่มขึ้น เท่ากับ 15.9 % และ 8.7% ตามลำดับในชุดทดลอง (Ozone-H-AT) (Ozone-H-HT)

อย่างไรก็ตามไม่พบว่าปัจจัยร่วมจะส่งผลความแตกต่างของผลการศึกษาอย่างเด่นชัด เนื่องจากไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT

ส่วนชุดการทดลองอื่นๆ เทียบกับชุดควบคุมไม่เห็นความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด



ภาพที่ 8 ปริมาณไขมัน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

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

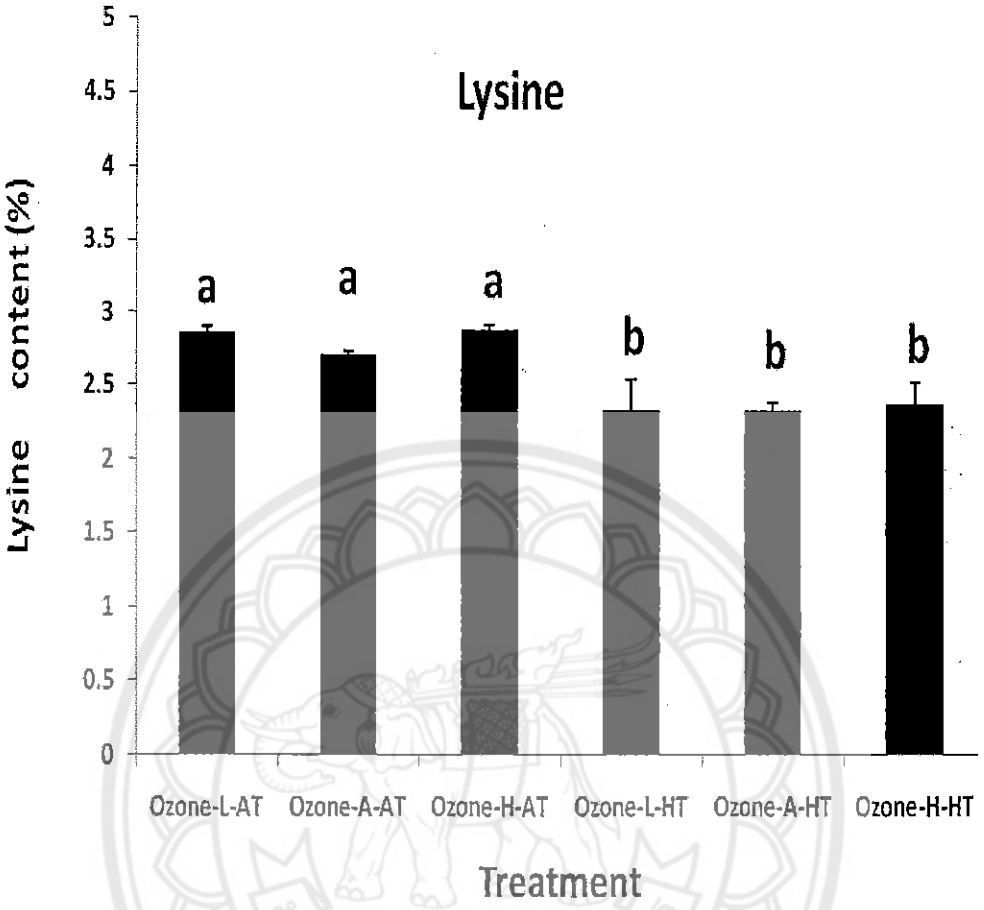
7.4 ปัจจัยชี้วัดผลกระทบจากระดับโอโซนที่ต่างกันที่มีต่อกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็นในเมล็ดถั่วเหลือง

7.4.1 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดอะมิโนชนิดกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดถั่วเหลือง

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากปริมาณกรดอะมิโน-ไลซีนที่สะสมในเมล็ดของถั่วเหลืองระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับชุดการทดลองทั้ง 6 ชุดการศึกษา ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 9 และตารางที่ 6 พบว่าระดับกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดถั่วเหลือง มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้ง 6 ชุดการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือกลุ่มที่มีปัจจัยร่วมเป็นระดับอุณหภูมิที่ระดับปกติ คือชุดการศึกษา (Ozone-L-AT, Ozone-A-AT, Ozone-H-AT) มีระดับกรดอะมิโนไลซีนมากกว่ากลุ่มที่มีปัจจัยร่วมเป็นระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Ozone-L-HT, Ozone-A-HT, Ozone-H-HT) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วมของระดับอุณหภูมิน่าจะส่งผลกระทบที่ชัดเจนว่าส่งผลต่อการยับยั้งการสร้างกรดอะมิโนไลซีน

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าระดับกรดอะมิโนไลซีนลดลงเท่ากับ 14 % 14% และ 12% ในชุด Ozone-L-HT Ozone-L-A-HT และ Ozone-H-HT ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

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

ตารางที่ 6 ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (%) กรดไขมันไลโนเลอิก (%) และกรดไขมันไลโนเลนิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับ โอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

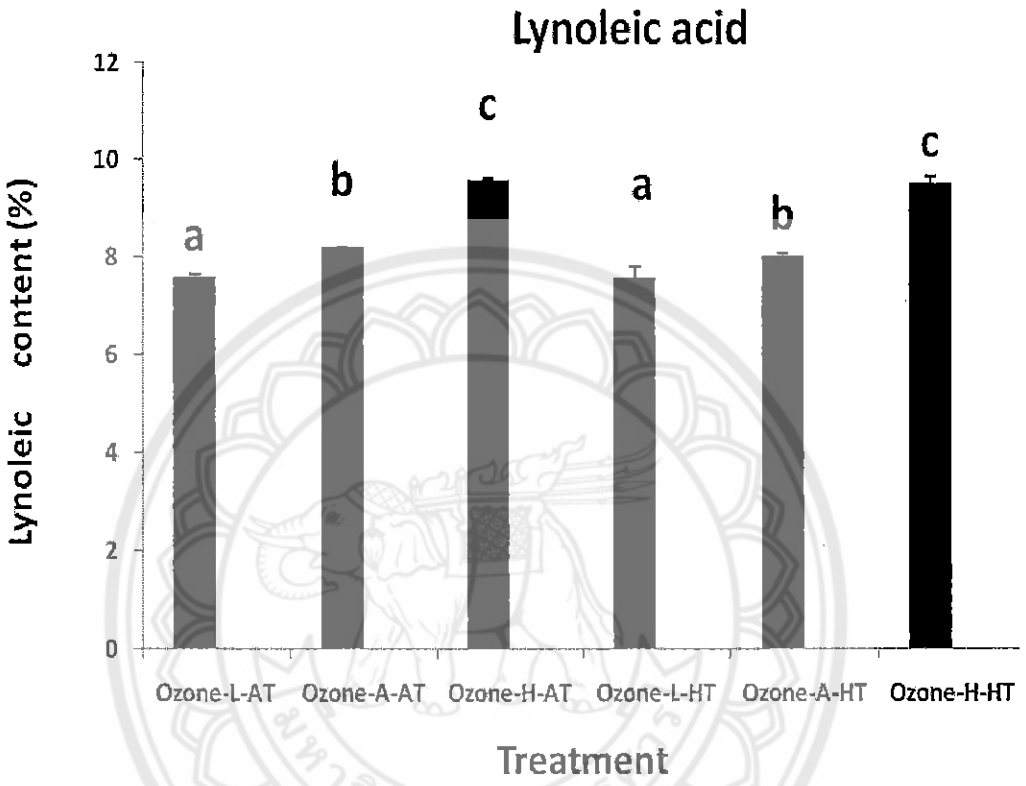
ชุดการทดลอง	กรดอะมิโนไลซีน (%)	กรดไขมันไลโนเลอิก (%)	กรดไขมันไลโนเลนิก (%)
Ozone-L-AT	2.86 ± 0.04	7.57 ± 0.06	1.03 ± 0.01
Ozone-A-AT	2.7 ± 0.03	8.16 ± 0.04	1.35 ± 0.05
Ozone-H-AT	2.9 ± 0.04	9.6 ± 0.34	1.33 ± 0.03
Ozone-L-HT	2.33 ± 0.29	7.57± 0.35	1.07 ± 0.03
Ozone-A-HT	2.33 ± 0.06	8.04 ± 0.05	1.49 ± 0.005
Ozone-H-HT	2.37 ± 0.15	9.53 ± 0.31	1.39 ± 0.02

7.4.2 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดไขมันชนิดกรดไขมันไลโนเลอิกในเมล็ดถั่วเหลือง

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิกที่สะสมในเมล็ดของถั่วเหลืองระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับชุดการทดลองทั้ง 6 ชุดการศึกษา ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 10 และตารางที่ 5 พบว่าระดับกรดไขมันไลโนเลอิกในเมล็ดมีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้ง 6 ชุดการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า ระดับโอโซนส่งผลต่อการเพิ่มระดับกรดไขมันไลโนเลอิกอย่างชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมของระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิพบว่า ที่ระดับโอโซนสูงสุดของทั้งชุดการทดลองที่มีระดับอุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติและระดับที่สูงกว่าธรรมชาติ (Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT) พบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ทั้ง 2 ชุดการทดลองนี้กลับมีค่าระดับ ไขมันไลโนเลอิกสูงกว่าทุกชุดการทดลองอื่นๆทั้งหมด

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม (Ozone-A-AT) พบว่าระดับกรดไขมันไลโนเลอิก ในชุดทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT เพิ่มขึ้น เท่ากับ 17.64 % และ 16.83 % ตามลำดับ



ภาพที่ 10 ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

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

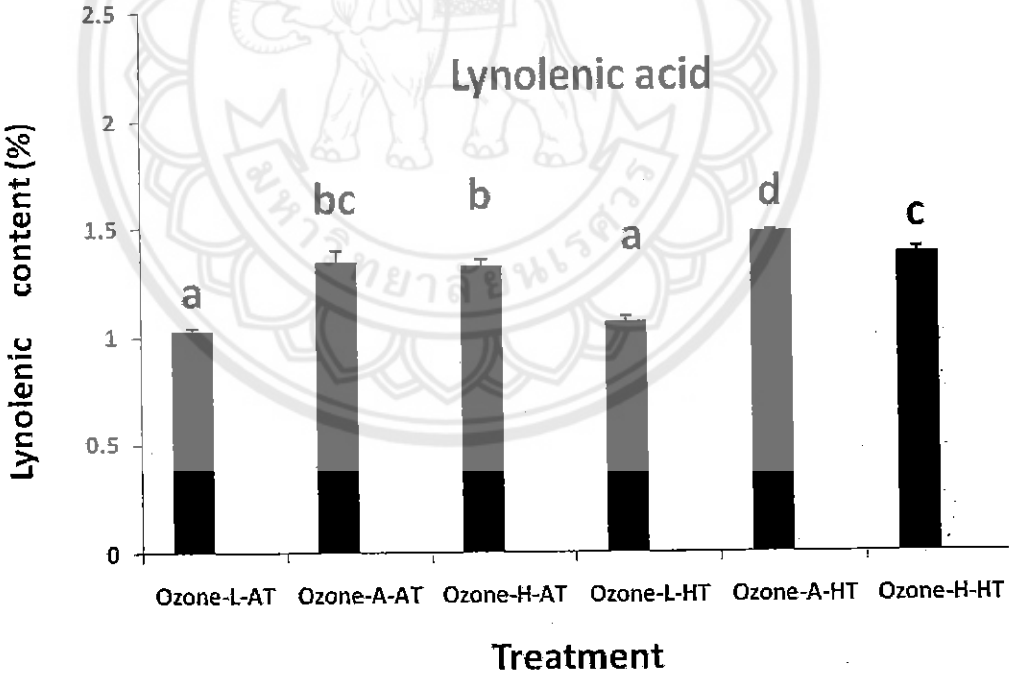
7.4.3 ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อกรดไขมันชนิดกรดไขมันไลโนเลนิกในเมล็ดถั่วเหลือง

จากการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยพิจารณาจากปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิกที่สะสมในเมล็ดของถั่วเหลืองระยะ Full maturity : R_8 ที่อายุ 78 วันสำหรับชุดการทดลองทั้ง 6 ชุดการศึกษา ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 11 และตารางที่ 5 พบว่าระดับกรดไขมัน

ไลโนเลนิกในเมล็ดมีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้ง 6 ชุดการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นค่อนข้างชัดเจนว่า ระดับโอโซนส่งผลต่อการเพิ่มระดับกรดไขมันไลโนเลอิกอย่างชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และยิ่งชัดเจนขึ้นเมื่อพบว่าปัจจัยร่วมในกรณีที่ระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะยิ่งส่งผลต่อการเพิ่มระดับระดับกรดไขมันไลโนเลอิกเมื่อพบว่าชุดทดลอง Ozone-A-HT และ Ozone-H-HT) มีระดับไลโนเลนิกสูงกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าเท่ากับ 1.49 $\pm$ 0.005 % และ 1.39 $\pm$ 0.02 % ตามลำดับ)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม (Ozone-A-AT) พบว่าระดับกรดไขมันไลโนเลนิก ในชุดทดลอง Ozone-A-HT และ Ozone-H-HT เพิ่มขึ้น เท่ากับ 10.3 % และ 2.7 % ตามลำดับ



ภาพที่ 11 ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (%) เฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนและอุณหภูมิ 7 ชั่วโมงต่อวัน ใน 6 ชุดการทดลอง

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

8. สรุปและอภิปรายผล

8.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลกระทบระยะยาวของปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนที่แตกต่างกันระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วงฤดูเพาะปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยควบคุมระดับโอโซนที่กำหนด 3 ระดับ ร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 กลุ่ม ทำให้ได้ชุดทดลอง (3 x 2) 6 ชุดการทดลอง 3 ซ้ำ คือ

Ozone-L-AT ชุดที่ โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ)/

Ozone-A-AT (ชุดควบคุม)ชุดที่ระดับโอโซนระดับเท่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ

Ozone-H-ATชุดที่ระดับโอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ + อุณหภูมิที่ควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ

Ozone-L-HT ชุดที่ โอโซนระดับต่ำกว่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

Ozone-A-HT ชุดที่ระดับโอโซนระดับเท่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

Ozone-H-HT ชุดที่ระดับโอโซนระดับสูงกว่าบรรยากาศ +อุณหภูมิที่ควบคุมให้สูงกว่าธรรมชาติ

ในการศึกษาปลูกถั่วเหลืองใช่วง กลางเดือนมกราคม – ต้นเดือนเมษายน 2554 เพื่อวิเคราะห์ผลในด้านผลผลิตและคุณภาพสารอาหารที่สำคัญ คือ โปรตีน ไขมัน กรดอะมิโนไลซีน กรดไขมันชนิด ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาในปัจจัยของผลผลิตด้านจำนวนฝัก/ต้น พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการลดผลผลิตมากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว (อุณหภูมิถูกควบคุมให้เทียบเท่าธรรมชาติ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าชุดปัจจัยร่วมทั้ง 2 คือ Ozone-H-HT มีค่าลดลงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 30.99 %
2. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการลดปริมาณโปรตีน

ผลผลิตมากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับผลการศึกษาในผลผลิต ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าชุดปัจจัยร่วมทั้ง 2 คือ Ozone-H-HT **มีค่าลดลงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 36.14 %**

3. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองบ่งชี้ว่ามีผลตรงกันข้ามกับผลการศึกษาในโปรตีน เนื่องจากพบว่าที่ระดับโอโซนที่สูงกว่า**ธรรมชาติกลับส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันในเมล็ดถั่วเหลือง โดยพบว่ามีค่าระดับไขมันเพิ่มขึ้น เท่ากับ 15.9 % และ** 8.7 % ในชุดการทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม **ไม่พบความชัดเจนของปัจจัยร่วม**ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมันมากกว่าปัจจัยเดี่ยว เนื่องจากพบว่าระดับไขมันในชุด Ozone-H-AT มีค่าสูงกว่าชุดทดลองปัจจัยร่วม Ozone-H-HT และสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดถั่วเหลืองได้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาในระดับโปรตีน โดยพบว่าพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการลดปริมาณกรดอะมิ**โนไลซีน** มากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าฐานของผลผลิตในชุดควบคุม พบว่าชุดปัจจัยร่วมทั้ง 2 คือ Ozone-H-HT มีค่าลดลงเท่ากับ 12 %

5. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับกรดไขมันไลโนเลอิกในเมล็ดถั่วเหลืองบ่งชี้ว่า**มีผลสอดคล้องกับ**ผลการศึกษาในระดับไขมันรวม เนื่องจากพบว่าที่ระดับโอโซนที่สูงกว่า**ธรรมชาติกลับส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิกในเมล็ดถั่วเหลือง โดยพบว่ามีค่าระดับกรดไขมันไลโนเลอิกเพิ่มขึ้น เท่ากับ 17.64 % และ 16.83 %** ในชุดการทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT ตามลำดับ (เทียบกับชุดควบคุม) อย่างไรก็ตาม **ไม่พบความชัดเจนของปัจจัยร่วม**ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมันมากกว่าปัจจัยเดี่ยว เนื่องจาก ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง Ozone-H-AT และ Ozone-H-HT

6. ผลการศึกษาในปัจจัยระดับกรดไขมันไลโนเลนิกในเมล็ดถั่วเหลืองบ่งชี้ว่ามีผลสอดคล้องกับผลการศึกษาในระดับไขมันรวม และกรดไขมันไลโนเลอิก เนื่องจากพบว่าที่ระดับโอโซนที่สูงกว่า**ธรรมชาติกลับส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิกในเมล็ดถั่วเหลือง** ยิ่งกว่านั้นพบว่า**ปัจจัยร่วมระหว่างระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก** มากกว่าปัจจัยเดี่ยวคือระดับโอโซนเพิ่มขึ้นเพียงปัจจัยเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) **โดยพบว่ามีค่าระดับกรดไขมันไลโนเลนิกเพิ่มขึ้น เท่ากับ 2.7 %** อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในชุดการทดลอง Ozone-H-HT (เทียบกับชุดควบคุม) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในชุดทดลองปัจจัยระดับโอโซนสูงแต่ระดับอุณหภูมิเทียบเท่าธรรมชาติ (Ozone-H-AT) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแต่อย่างใด

7. ผลการศึกษาพบว่าปริมาณผลผลิต(ฝัก/ต้น) ปริมาณโปรตีน และกรดอะมิโนไลซีน **มีค่าสูงที่สุดในสภาวะปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด** คือ ระดับโอโซนต่ำสุดและ**ระดับอุณหภูมิ**เทียบเท่ากับธรรมชาติ ในชุดการทดลอง (Ozone-L-AT)

การศึกษาในครั้งนี้สรุปภาพรวมได้อย่างชัดเจนว่า ปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่สูงกว่าระดับธรรมชาติร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับธรรมชาติ เป็นการเสริมฤทธิ์ที่ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อปริมาณผลผลิต และคุณภาพสารอาหารของระดับโปรตีนและกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่กลับส่งผลบวกต่อปริมาณไขมัน และกรดไขมันทั้ง 2 ชนิด (ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก)

8.2 อภิปรายผล

จากผลการศึกษาถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับปัจจัยร่วมระหว่างระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ กับระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งได้กล่าวถึงในข้อสรุปในเบื้องต้นแล้วว่า ปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนที่สูงกว่าระดับธรรมชาติร่วมกับปัจจัยระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับธรรมชาติ เป็นการเสริมฤทธิ์ที่ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อปริมาณ

ผลผลิต และคุณภาพสารอาหารของระดับโปรตีน และกรดอะมิโนไลซีนในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่กลับส่งผลบวกต่อปริมาณไขมัน และกรดไขมันทั้ง 2 ชนิด (ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก) จากการศึกษาระดับโอโซนในธรรมชาติ และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิในเขตพื้นที่ภาคเหนือในอนาคต พบว่าเป็นระดับที่สามารถเกิดขึ้นได้จริงในพื้นที่ภาคเหนือดังนั้น เมื่ออ้างถึงผลการศึกษาในครั้งนี้จึงยืนยันได้ว่า เหตุการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นได้จริงในเขตจังหวัดพิษณุโลกและสามารถส่งผลกระทบในเชิงลบต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลในทางตรงกันข้ามคือ ในกรณีที่ปลูกถั่วเหลืองภายใต้**สภาวะปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด** คือระดับโอโซนต่ำสุดและระดับอุณหภูมิเทียบเท่ากับธรรมชาติหรืออาจต่ำกว่านั้นจะส่งผลทำให้ผลผลิตและคุณภาพสารอาหารประเภทโปรตีนและกรดอะมิโนดีที่สุด ในอนาคตจึงควรมีการจัดการเพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในบรรยากาศได้ และพยายามในการลดการเกิดสภาวะโลกร้อน จะมีประโยชน์อย่างมากต่อเกษตรกรในการเพิ่มผลผลิตในพื้นที่ปลูกจริง ผลการศึกษาที่ได้ จะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการวางแผนและป้องกันผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิในบรรยากาศที่จะเกิดขึ้นที่มีต่อถั่วเหลือง หรือพืชทางเศรษฐกิจอื่นๆซึ่งอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในบรรยากาศ เพื่อเป็นการรับมือการความเสี่ยงต่อการขาดแคลนอาหารในอนาคต

จากผลการศึกษาผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของปัจจัยร่วมระหว่างโอโซนและระดับอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพสารอาหารใน ผลการทดลองสามารถใช้ความรู้ทางกลไกเชิงสรีรวิทยาเพื่ออธิบายได้ดังนี้ จุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อก๊าซโอโซนในบรรยากาศสัมผัสกับพื้นผิวใบ โอโซนจะแพร่เข้าสู่พืชทางปากใบที่เปิด เมื่อพืชได้รับโอโซนในระดับที่มากเกินไป พืชจะทำการปิดปากใบ ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง เพราะพืชลดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง ซึ่งก๊าซโอโซนทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชลดลงโดยการลดประสิทธิภาพของ Carboxylation ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการซ่อมแซมระบบการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง และรวมไปถึงการสร้างสารอาหารในระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองด้วย (Calatayud et al., 2003) จะเห็นได้ว่าโอโซนมีผลกระทบ

ต่ออัตราการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต องค์ประกอบทางเคมีบางชนิด และองค์ประกอบของสารอาหารในเมล็ดถั่วเหลืองจริง

ผลที่แสดงในผลผลิตอาจเนื่องมาจากการลดกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง อาทิเช่น จากผลการศึกษาผลกระทบของระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณรงควัตถุในใบของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 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 ซึ่งจะเกิดอาการบาดเจ็บที่ใบและอาการแก่ก่อนวัย โดยอาการที่เกิดขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ

แคโรทีนอยด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (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 การทำลายกลไกการสังเคราะห์แสง และการทำลายคลอโรฟิลล์ 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 ซึ่งโอโซนจะทำให้เกิดการแก่ก่อนวัย และส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงตามไปด้วย 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 ส่วนปัจจัยทางด้านจำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนัก 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 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิรดี ก.ศรีสุวรรณ (2551) พบว่า ระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อฝัก และจำนวน

ฝักต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ 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 ป่านขาว, 2547) กล่าวคือ พันธุ์ที่มีโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองสูง จะมีปริมาณน้ำมันต่ำ พันธุ์ที่มีโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองต่ำ จะมีปริมาณน้ำมันสูง ซึ่งในพืชชนิดอื่นก็เช่นเดียวกันจากการศึกษาการตอบสนองต่อก๊าซโอโซนของผักกาดหอม 2 ชนิด ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กระบวนการสังเคราะห์แสง และปริมาณไขมัน พบว่า ปริมาณไขมันในใบผักกาดหอมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับก๊าซโอโซน โดยการเพิ่มขึ้นนี้พบว่าในการปลูกของพื้นที่ที่ได้รับก๊าซโอโซนจะสูงกว่าอีกพื้นที่หนึ่งที่ไม่ได้รับก๊าซโอโซนถึง 31 เปอร์เซ็นต์ (Calatayud and Barreno, 2004) จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่า ถ้าเปรียบเทียบการตอบสนอง

ของปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันที่มีต่อระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นนั้น พบว่าสารอาหารทั้ง 2 ชนิด มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนด้วยกันทั้งคู่ เพียงแต่ว่ามีการตอบสนองทั้งในเชิงบวกและเชิงลบต่อระดับโอโซนที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น

จากการศึกษาผลกระทบการเพิ่มขึ้นของโอโซนที่มีต่อองค์ประกอบของสารอาหารในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ Full maturity : R8 ที่มีต่อปริมาณกรดไขมันโอเลอิก, ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก และปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก และกรดอะมิโนไลซีน ผลการศึกษา พบว่าปริมาณกรดไลโนเลอิก และ กรดไลโนเลนิก และกรดอะมิโนไลซีน ของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการตอบสนองต่อระดับโอโซนในเชิงบวกคือเพิ่มขึ้นภายใต้การสัมผัสโอโซนที่ความเข้มข้นสูง ผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าก๊าซโอโซนเป็นก๊าซชนิดหนึ่งที่มีผลกระทบต่อถั่วเหลือง โดยก๊าซโอโซนจะผ่านเข้าสู่เซลล์พืชโดยผ่านทางปากใบ แล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ 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 เกิดจากมลภาวะในอากาศผ่านเข้าสู่เซลล์เมื่อทำปฏิกิริยากับ 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^- เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง O_2^- 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^- 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 โดยกลไกของลิ

ปิด 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 ที่มีการตอบสนองต่อระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ 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 และกรดอะมิโนไลซีน ซึ่งจากผลการศึกษาในครั้งนี้บ่งชี้อย่างชัดเจนว่า ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับธรรมชาตินั้น สามารถยับยั้งกระบวนการผลผลิต และลดคุณภาพสารอาหารในเมล็ดถั่วเหลือง แต่กลับส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันบางชนิดในเมล็ดถั่วเหลืองได้ และเมื่อนำถั่วเหลืองที่ประสบกับสภาวะการรับสัมผัสโอโซนในลักษณะเดิมปลูกอย่างต่อเนื่อง 2 รุ่น ก็พบผลการศึกษาในลักษณะเดียวกันทั้ง 2 รุ่น ในหลายปัจจัยที่ศึกษา

การศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิสูงในพืช ในระดับสรีรวิทยานั้นพบว่า กรณีของพืชที่เติบโตภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ทั้งระดับที่สูงหรือต่ำเกินไปทำให้พืชเกิดสภาวะเสีย สมดุลพลังงานในเนื้อเยื่อ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และโดยทั่วไปแล้วหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกว่าระดับปกติ 10-15 °C สภาวะอุณหภูมิสูงยังสามารถทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชเนื่องจากการ เช่นการเกิดสภาวะ เนื้อเยื่อตาย (necrosis) (Jones, 1992) หรือการเกิดภาวะช็อคหรือภาวะเครียดจาก

อุณหภูมิ (temperature stress) (Jones, 1992; ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550) และยังส่งผลรวบกวนต่อการทำงานของเอนไซม์จนมีผลต่อการงอก น้ำหนักของมวลชีวภาพ และการสร้างสารอาหารในเมล็ด (ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550)

นอกจากนั้นยังพบว่า พืชจะถูกเร่งกระบวนการการดูดธาตุอาหารมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มอัตราการหายใจนั่นเอง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินระดับ 40 °C อัตราการดูดธาตุอาหารกลับลดลง ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลต่อการทำลายเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารเช่นกัน (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) และพบว่าปัญหาการเพิ่มระดับของอุณหภูมิในบรรยากาศส่งผลกระทบอย่างมากต่อภาคการเกษตรทั่วโลกในปัจจุบัน ซึ่งผลกระทบนั้นได้แก่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐาน กระบวนการทางสรีรวิทยา เปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมีอันซับซ้อน รวมทั้งส่งผลลดการเจริญและเติบโต ซึ่งผลกระทบอย่างต่อเนื่องนี้ส่งผลต่อภาวะเศรษฐกิจในระดับโลกในระยะยาว (Wahid et al., 2007 ; Hall, 2001)

ผลกระทบทางลบของระดับสภาวะอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสร้างโปรตีนในพืช จัดว่าเป็นงานศึกษาที่สำคัญและมีการศึกษาวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง กลุ่มนักวิจัยของอเมริกา (Irmak et al., 2008) ได้ศึกษาพบว่าการปลูกข้าวสาลีภายใต้สภาวะอุณหภูมิช่วงกลางวันในระดับเฉลี่ย 40 °C ส่งผลต่อการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ Glutenin ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งของในเมล็ดข้าวสาลี จากการศึกษาข้อมูลพบว่าผลที่ปรากฏดังนี้น่าจะเกี่ยวเนื่องจากระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลต่อการทำลายโครงสร้างของโปรตีนในเอนไซม์ และพบว่าในกรณีที่การสร้างเอนไซม์ของพืชลดลงตั้งแต่ในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบจะส่งผลต่อการลดการผลิต โปรตีนในเมล็ด โปรตีนในเอนไซม์ คลอโรฟิลด์ และ RNA (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) และได้มีการศึกษาพบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงเกินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนในรูปแบบต่างๆ ร่วมกับการเพิ่มระดับการสร้าง ROS (reactive oxygen species) และองค์ประกอบประเภทต่างที่เป็นพิษซึ่งโดยภาพรวมจะเป็นผลเสียต่อพืชอย่างต่อเนื่องด้วย (Wahid et al., 2007; Schoffl et al., 1999; Howarth, 2005) อย่างไรก็ตามพบว่าพืชมีกลไกปกป้องตัวเองจากสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยพบว่าที่ระดับอุณหภูมิเกินระดับวิกฤติในพืชชนิดนั้น (มักเกินระดับ 40 °C) ทำให้พืชเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน และจะกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์โปรตีนที่เรียกว่า heat shock proteins (HSPs) ขนาด 15-18 kDa ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

เพื่อปกป้องเซลล์ไม่ให้ได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน และปริมาณ HSPs ที่เพิ่มขึ้นนี้ยังสัมพันธ์กับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ อาร์เอ็นเอนำรหัส (mRNA) ภายในเวลาเพียง 3-5 นาที ซึ่ง mRNA นี้เป็น RNA ทีทำหน้าที่ช่วยในการสร้างโปรตีน ซึ่งถือว่าเป็นกลไกหนึ่งในการปกป้องเซลล์จากภาวะอุณหภูมิสูงอีกประการหนึ่ง (Ho and Sachs, 1989)

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชนั้น เป็นปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ควบคุมและการทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นสำคัญ ข้อมูลการศึกษาพบว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชประเภท C_3 เช่นถั่วเหลือง ข้าวเจ้า จะมีความไวต่อการตอบสนองในทางลบต่อภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงมากกว่าพืช C_4 เช่นข้าวสาลี และกระบวนการตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียดของอุณหภูมินั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการสร้างพลังงานอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงกลไกกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการนำคาร์บอนมาใช้ในกระบวนการสร้างอาหาร เช่น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง rubisco ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการตรึง CO_2 ให้ RuBp ในกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง และส่งผลอย่างต่อเนื่องจนนำไปสู่การลดผลผลิต (Salvucci and crafts-Brandner, 2004)

การศึกษาประเด็นปัญหานี้ในประเทศไทยได้ดำเนินการมาระยะหนึ่งแล้ว โดยการศึกษาด้วยการสร้างสภาวการณ์จำลองสถานการณ์ความแปรปรวนของระดับอุณหภูมิ ที่มีอิทธิพล ต่อข้าวและพืชถั่วเหลือง อาทิเช่น การศึกษาโดย กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ (2551 และ 2552) ได้สร้างแบบจำลองสภาวการณ์โลกร้อนในพื้นที่นาข้าว เพื่อปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในฤดูกาลปลูกจริงในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกโดยประยุกต์ใช้ Open Top Chamber ลักษณะโปร่งใสเพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับคือ 30 °C 35 °C และ 40 °C ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับ 35 °C เป็นอุณหภูมิที่กระตุ้นให้ต้นข้าวโตเร็วและมีมวลชีวภาพที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ชุดการศึกษา แต่กลับพบว่ามีปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิ 30 °C แล 40 °C ผลการศึกษาในปัจจัยอัตราผลผลิตพบว่า ชุดการทดลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงสุดที่ 40 °C มี เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ได้ผลผลิตดี / รวง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีระดับอุณหภูมิ 30 °C และ 35 °C โดยลดลง 9.7 % และ 12.3 % ผลการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเบื้องต้นโดยวิธี RAPDพบว่าการปลูกข้าวภายใต้ความแตกต่างของ

ระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับ ในระยะยาวส่งผลต่อการจำแนกแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างออกเป็น 3 กลุ่มอย่างชัดเจน

จากนั้นในปี พ.ศ. 2552-2554 ได้ทำการศึกษาปัญหาในรูปแบบเดียวกันนี้ในถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่แปรปรวนในฤดูกาลปลูกที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 30-33 °C 33-36 °C และ 37-40 °C ในช่วงระยะเวลา 2 รุ่นผลผลิต ผลการศึกษาพบว่า ถั่วเหลืองแสดงการตอบสนองในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อสภาวะอุณหภูมิสูงกว่าระดับธรรมชาติในด้านการเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มระดับความสูง แต่ไม่พบความแตกต่างในด้านผลผลิตในระยะเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามพบว่าเมล็ดถั่วเหลืองซึ่งได้รับการปลูกภายใต้อุณหภูมิ 37-40 °C ซึ่งเป็นสภาวะที่อุณหภูมิสูงที่สุดมีระดับไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในผลผลิตรุ่นที่ 2 และ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางพันธุกรรมโดย AFLPs พบว่ากลุ่มการศึกษาในระดับอุณหภูมิที่ต่ำและสูงที่สุดมีลักษณะทางพันธุกรรมแยกประเภทออกมา 2 กลุ่มอย่างชัดเจน ในผลผลิตรุ่นที่ 2 เช่นเดียวกัน (Kanita and Orose,2011; กณิตา และคณะ, 2554)

ประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศของโลก ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาได้พยากรณ์แนวโน้มของระดับการเพิ่มระดับอุณหภูมิในบรรยากาศในเขตภาคเหนือในอนาคตโดยพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 4-5°C และในทศวรรษที่ 2100 (ค.ศ.2091-2100) เมื่อเทียบกับในช่วงทศวรรษที่ 2000 (ค.ศ.1991-2000) รวมทั้งการแสดงผลพยากรณ์ความแปรปรวนทางด้านสภาวะภูมิอากาศในปัจจัยอื่นๆที่มีแนวโน้มแปรปรวนมากขึ้นเช่นกัน (สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2552) และมีแนวโน้มการเพิ่มระดับโอโซนในธรรมชาติในอนาคติโดยปัจจัยการเพิ่มการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง (จากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้น) และจากปัจจัยเสริมทางอ้อมคือระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มระดับโอโซนได้ในเชิงกลไกทางเคมี ด้วยเหตุนี้การสร้างสภาวการณ์จริงของปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มขึ้นของระดับโอโซนและระดับอุณหภูมิ จึงมีความสำคัญและควรศึกษาอย่างเร่งด่วนในประเทศไทย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำของผลกระทบจากสภาวการณ์ที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพสารอาหารในถั่วเหลือง เพื่อเตรียมรับมือและต่อยอดการวิจัยต่อไป

9.ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาน่าจะเผยแพร่ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อไป ในเพื่อวางแผนระยะการปลูกที่เหมาะสมในการรับมือกับสถานการณ์ในอนาคต

10.เอกสารอ้างอิง

กณิตา ธนเจริญชณภาส, โอรส รักชาติ และ ชนินทร์ อัมพรสถิร. 2551. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการประเมินผลกระทบของระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศต่ออัตราผลผลิตและคุณภาพของสารอาหารในถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองของประเทศไทย. มหาวิทยาลัยนเรศวร, 58 หน้า

กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ. 2551. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการจำลองสภาวการณ์โลกร้อนในพื้นที่ปลูกข้าวเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่ออัตราผลผลิต คุณภาพสารอาหาร และการเปลี่ยนแปลงในระดับพันธุกรรมของข้าวหอมมะลิไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ. 2552. ผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้นในฤดูกาลปลูกที่มีต่อผลผลิตและ อนุภาคเม็ดแป้งของข้าวหอมไทย (Oryza sativa L.) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 47 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 9 สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, วันที่ 17-20 มีนาคม 2552, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 282-290.

กณิตา ธนเจริญชณภาส, โอรส รักชาติ และ นเรศ ขำเจริญ. 2554. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการสร้างสภาวะการณ์โลกร้อนในพื้นที่ไร่ถั่วเหลืองเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสารอาหาร และ การเปลี่ยนแปลงในระดับพันธุกรรมของถั่วเหลืองพันธุ์สำคัญของประเทศไทย. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ. 2555. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องผลกระทบจากการเพิ่มระดับโอโซนในบรรยากาสจากสภาวะโลกร้อนต่อคุณภาพของโปรตีนและไขมันชนิดสำคัญของถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทย. มหาวิทยาลัยนเรศวร, 58 หน้า

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 61 หน้า

กรมควบคุมมลพิษ. 2551. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2551 จาก http://www.pcd.go.th

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน. 2552 . ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จากข้อมูลดาวเทียม. สืบค้นใน http://www.dede.go.th

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. อุณหภูมิจังหวัดพิษณุโลก ค่าเฉลี่ย 30 ปี (2504-2533). สืบค้นใน www.tmd.go.th

กรมวิชาการเกษตร. 2552. ถั่วเหลือง : การผลิตการตลาด http://as.doa.go.th/fieldcrops/soy/oth/002.HTM

การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย. 2552 . สืบค้นใน http://www2.egat.co.th/re/egat_pv/sun_radiation.htm

จงกลนี อยู่สบาย. 2550. เอกสารประกอบการบรรยาย ในการประชุมวิชาการ เรื่อง มลพิษอากาศของไทย ผลพวงจากโลกร้อน วันที่ 24 เมษายน 2550, กรุงเทพฯ.

ชวนพิศ แดงสวัสดิ์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. ธนธัชการพิมพ์และสำนักพิมพ์พัฒนาศึกษา, กรุงเทพฯ.379 หน้า.

นงค์นาถ อู่ประสิทธิ์วงศ์. 2545. ดัชนีและแนวโน้มของฝนและอุณหภูมิที่ผิดปกติในประเทศไทย. สืบค้นในhttp://www.tmd.go.th

ภาคภูมิ พระประเสริฐ. 2550. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 174 หน้า

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาจังหวัดพิษณุโลก. 2552. ข้อมูลบันทึกอุณหภูมิเฉลี่ยของจังหวัดพิษณุโลก

สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. 2552. การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต, 129 หน้า, เอกสารเผยแพร่ในเวปไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา http://www.tmd.go.th/index.php

องค์การบริหารส่วนตำลบลวัดโบสถ์. 2552. สภาพทั่วไปและข้อมูลพื้นฐานขององค์การบริหารส่วนตำบล :บทที่2, 12 หน้า. สืบค้นใน www.localwatbot.com

Adams RMeal, 1998, The effects of global change on agriculture: An interpretative review. Journal of Climate Research, Vol. 11, pp. 19-30.

Agrawal, M. 2007. Trend in tropospheric ozone concentration and its impact on agriculture: Indian perspective. International Society of

Environmental Botanists, Vol. 13 No. 2. Search from http://isebindia.com/05_08/07-04-3.html

Akimoto, H., Takahashi, M. and Sudo, K. 2007. Global Warmimg Enhances Ozone Transport from the Stratosphere to the Troposphere Further Accelerates Global Warming. Japan Aerospace Exploration Agency.

Anonymous, 1992, Climate Change 1992. In: J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (Editors), The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge. In Wurr, D.C.E. , Fellows, J.R. and Phelps, K. 1996. Investigating trends in vegetable crop response to increasing temperature associated with climate change. Scientia Horticulturae , Vol.66, pp 255-263.

Antonielli, M. , Pasqualini, S., Ederli, I., Batini, P., Moscatello, S. and Loreto, F. 1997. Physiological characteristics of tobacco cultivars with contrasting sensitivity to ozone. Environmental and Experimental Botany, Vol. 38, pp. 271-277

Anwar, M.R., Leary, G.O., McNeil, D., Hossian, H., and Nelson, R. 2007. Climate change impact on rainfed wheat in south-eastern Australia. *Fields Crops Reasearch*, Vol. 104, pp. 139-147.

Ariyaphanphitak, W., Chidthaisong, A., Sarobol, E., Towprayoon, S. and Bashkin, V.N. 2004. Effects of Elevated Troposheric Ozone Concentrations on Growth and Yield of Thai Soybean Cultivar (Glycine max (L.) Merr.). Proceeding of The 1st KMITL International Conference on Integration of Science& Technology for Sustainable development Vol 1, 25-26 August, 2004. Bangkok, Thailand. pp 207-209.

Ariyaphanphitak, W. 2003. Effects of Tropospheric ozone on productivity of selected Thai economiccrops. Dissertation in Environmental Technology, The Joint Graduate School of Energy and Environment at King Mongkut's bUniversity of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.199 p.

Ariyaphanphitak, W., Chidthaisong, A., Sarobol, E., Bashkin, V.N. and Towprayoon, S., 2005, Effects of Elevated Ozone Concentrations on Thai Jasmine Rice Cultivars, (Oryza Sativa L.), Water,Air & Soil Pollution, Vol. 167, pp.179-200.

Aydinalp, C. and Cresser M.S. 2008. The effects of global climate change on Agriculture. *Journal of Agricultural and Environmental Science,* Vol. 3, pp. 672-676.

Burkey, K.O., Wei, C., Eason, G., Ghosh, P. and Fenner, G.P. 2000. Antioxidant metabolite levels in ozone-sensitive and tolerant genotypes of snap bean. Physiologia Plantarum. Vol. 195-200, pp. 195-200.

Cataldo, F. 2000. Recent R&D, Electrochem, Vol.3, pp. 61.

Chang, C.C. 2002. The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economisc.* Vol. 27, pp 51-64.

Chengwei, R., Babu, V., Andrew, C., Kristin, B. and Paul, B. 2005. Heat stress during embryo development impairs soybean seed germination and vigor . *Report in research project: modification of seed composition for food, feed and industrial uses of soybeans*, United States Department of Agriculture.

Chen, C. and Pan, S. 1996. Assay of superoxide dismutase activity by combining electrophoresis and densitometry. Brotanical Bulletin of Academia Sinica, Vol. 37,

pp. 107-111.

Chowdhury, S.I., wardlaw, I.F., 1978. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Australia Journal of Agricultural Research*. Vol. 29, pp. 205-223.

Craker, L. 1971. Ethylene production from ozone injured plants. Environmental Pollution, Vol. 1, pp. 299-304.

Darrall,N.M. 1989. The effect of air pollutants on physiological precesses in plant. *Plant Cell Environment*, Vol. 12, pp. 30.

David, T.T., David, M.O., Andrew, A.H. and Lee, E.H. 1994. Effects of ozone on Crops. In J.M. David (ed.), Tropospheric Ozone, Lewis publisher, U.S.A., pp. 175-206.

Fuhrer J., Egger A., Lehnherr B., Grandjean A., and Tschannen W., 1989, Effects of ozone on yield of spring weat (Triticum aestivum L., cv. Albis) growth in open-top field chambers, Environmental Pollution, vol. 60, pp. 273-289.

Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO_2, Ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, Vol. 97, pp 1-20.

Hall, A.E. 2001. Crop responses to Environment. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.

Heagle, A.S., Lesser, V.M., Rawlings, J.O., Heck, W.W., Phibeck, R.B., 1986, Response of Soybeans to Chronic Doses of Ozone Applied as Constant or Proportional Additions to Ambient Air, *Phytopathology*, vol. 76, pp 51-56.

Ho, T.H.D., Sachs, M.M. 1989. Environmental control of gene expression and stress proteins In HG Jones, TJ Flowers, MB Jones, eds, Plants Under Stress. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 157-180

Hollister, R.D. and Webber, P.J. 2000. Biotic validation of small open top chamber in tundra ecosystem. *Global Change Biology*, Vol.6, Issue 7, pp 835.

Horel, J. and Geisler, J. 1997. Global Environmental Change an atmospheric perspective.

John Wiley & Sons, Inc., New York. 151 p.

Howarth, C.J. 2005. Genetic improvements of tolerance to high temperature. In Ashraf, M., Harris, P.J.C.(Eds.), Abiotic stress: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches. Howarth Press Inc., New York.

Irmak, S., Naeem, H.A., Lookhart, G. and MacRitchie, F. 2008. Effect of heat stress on wheat proteins during karnel development in wheat near-isogenic lines differing at Glu-D1. *Journal of Cereal Science*, Vol.48(2), pp. 513-516.

(IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Xiaosu, D. (Eds.), *Climate Change* 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, UK.

(IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. 2006 IPCC Guidelines for NationalGreenhouse Gas Inventories ; Volume 1: General Guidance and Reporting. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan.

(IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change., 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Cited in Stangeland, A. 2007. A model for the CO2 capture potential. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Vol. 1, pp. 418-429.

Jacobson, M.Z., 2002. Atmospheric Pollution; History, Science, and Regulation. Cambridge University Press, UK. 399 p.

Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate : Aquantitative approach to environmental plant physiology, Cambridge University Press, Cambridge, 428 p.

Kang, D., Aneja V.P., Mathur R., Ray J.D., 2004, Observed and modeled VOC chemistry under high VOC/Nox conditions in the Southeast United States national parks. Atmospheric Environment, Vol.38, pp 4969-4974.

Kanita Thanacharoenchanaphas and Orose Rugchati. 2011. Simulation of Climate Variability for Assessing Impacts on Yield and genetic Change of Thai Soybean. Proceeding in "ICCCGW 2011 : "International Conference on Climate Change and Global Warming" , Venice , Italy, 28-30 November, 2011, World Academy of Science, Engineering and Technology, 59, pp. 1484-1488.

Keeling, C.D., Whorf, T.O., 2003. Atmospheric CO2 records from sites in the SIO air sampling networks. Carbon Dioxide Inf. *Anal. Center Commun*. Vol.30, pp 4. Cited in Prasad, P.V., Boote, K.J. Allen Jr, H., 2006. Adverse high temperature effects on pollen viability, seed-set, seed yield and harvest index of grain-sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures, *Agriculture and Forest Meteorology*. Vol. 139, pp 237-251.

Kenneth W., and Cecil F.W., 1981, Air pollution: It's origin and control, second edition., Harper & Row, publishers, New York, 526 p.

Kobayashi K.Z., and Okada M.S., 1995, Effects of Ozone on the light use of rice (Oryza saltiva L.)plants.,Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol.53, pp 1-12.

Kudernatsch, T., Fischer, A., Bernhardt-Romermann, M. and Abs, C. 2007. Short-term effects of temperature enhancement on growth and reproduction of alpine grassland species. *Basic and Applied Ecology*, Available online 19 April 2007.

Manning W.J., Feder W.A., and Vardoro P.M., 1974, Suppression of oxidant injury by benomyl: effects on fields of bean ciltivars in the field, *Journal* of EnvironmentalQuality, Vol.3, pp 1-3.

Mariara, J.K. and Karanja, F.K. 2007. The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach. Global and Planetary Change. Available online at www.sciencedirect.com.

Mckersie, B.D. 1996. Oxidative stress. Dept of Crop Science, university of Guelph. 1-32, (Journal online). Retrieved on October 10, 2006. From : http://www.gronomy. Psu. Edu/courses/AGR 0518/Oxygen.htm.

Mickley, L.J., Jacob, D.J., Field, B.D. and Rind, D. 2004. Climate response to the increase in tropospheric ozone since preindustrial times : A comparison between ozone and equivalent CO_2 forcings. Journal of Geophysical research, Vol. 109, pp DO5106.

Miller, J.E., Booker, F.L., Ficus, E.L., Heagle, A.S., Pursley, W.A., Vozzo, S.F., and Heck, W.W., 1994, Ultraviolet-B Radiation and Ozone Effects on Growth, Yield, and Photosynthesis of Soybean, Journal of Environmental Quality, vol. 23, pp 83-91.

Muhammad Y.N., and Muhammad I.Q., 1996, Global status of air pollution on overview, in Plant response to air pollution , Y.N., Muhammad and I.Q., Muhammad, Eds., John Wiley& Son Led, pp 1-34.

Newton, P.D.C., Clark, H., Bell, C.C., Glasgow, E.M., and Campbell, B.D. 1994. Effects of elevated CO_2 and simulated seasonal changes in temperature on the species composition and growth rates of pasture turves. *Annual* Botany. Vol. 73, pp 53-59.

Nijs, I., Teughels, H., Blum, H., Hendrey,G. and Impens, I. 1996. Simulation of Climate Change with Infrared Heaters Reduces The Productivity of *Lolium Perenne* L. in Summer. *Environmental Experimental Botany*. Vol. 36, pp 271-280.

Niyogi, K.K. 1999. Photoprotection revisited : genetic and molecular approaches. Annu Rev. Plant Physiol Plant Mol Biol. Vol. 49, pp. 249-279.

Prasad, P.V., Boote, K.J. Allen Jr, H. 2006. Adverse high temperature effects on pollen viability, seed-set, seed yield and harvest index of grain-sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures, *Agriculture and Forest Meteorology*. Vol. 139, pp 237-251.

Pleijel, H., Skarby,L., Wallin, G., Sellden, G. 1991. Yield and grain quality og spring wheat (Triticum aestivum L.cv. Drabant) exposed to different concentrations of ozone in open-top chambers. *Environmental Pollution*. Vol. 69, pp151-168.

Ralph E.B., and Eric S.E., 1998, Rural ozone across the Eastern United States:Analysis of CASTNet Data, 1988-1995, Air and Waste Management Association, Vol. 48, pp 674-688.

Reilly, J., Paltsev, S., Felzer, B., Wang, X., Kicklighter, D., Melillo, J., Prinn, R., Sarofim, M., Sokolov, A. and Wang, C. 2007. Global Economic Effect of Changes in crops, pasture, and Forests due to changing climate, carbon dioxide, and ozone. Energy Policy, Vol. 35, pp 5370-5380.

Runneckles, V.C. and Chevone, B.I. 1992. Crop responses to ozone. In Lefohn AS (ed.) surface level ozone exposures and their effects on vegetation. Lewis Publishers. Chelsea, pp. 189-270.

Sagar V.K., and William J.M., 1988, Atmospheric Ozone: Formation and Effects on Vegetation, Environmental Pollution , Vol. 50, pp 101-137.

Salvucci, M.E., Crafts-Brandner, S.J. 2004. Inhibition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis. *Physiology Plant* Vol. 120, pp. 179-186

Schoffl, F., Prandl, R., Reindl, A. 1999. Molecular responses to heat stress. In Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. (Eds), Molecular Responses to Cold, Drough, Heat and Salt Stress in Higher Plants. R.G. Landes Co., Austin, Texas, pp. 81-98.

Sillman, S., 1999. The relation between ozone, Nox and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. Millenial Review series, Atmospheric Environment, vol. 33, pp 1821-1845.

Senaratna, T. Makersie, B.D., Stinson, R.H. and Simulation. 1985. Dehydration injury to membranes from soybean axes by free radicals. Plant Physiology, Vol. 77(2), pp.472-474.

Tan, G., and Shibasaki, R., 2003. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecological Modelling*. Vol. 168, pp. 357-370.

Tyagi, S.K. and Triathi R.D. 2005. Effect of Temperature on Soybean germination. Plant and Soil. Vol. 75(2) , pp 273-280.

Vashney C.K., and Rout C.,1998, Ethylene Diurea(EDU) protection against ozone injury in tomato plants at Delhi, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 61, pp 188-193.

Velarde, S.J., Malhi, Y., Moran, D., Wright, J., and Hussian, S., 2005. Valuing the impacts of climate change on protected areas in Africa. *Ecological Economics*. Vol. 53, pp. 21-33.

Wahid A., Maggs R., Shamasi S.R.M., Bell J.N.E. and Ashmore M.R., 1995. Effects of air pollution on rice yield in the Pakistan Punjab, Environmental pollution, Vol. 90, pp 323-329.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Heat tolerance in plants: An Overview. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 61, pp. 199-223.

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*, vol. 38, pp. 4383-4420.

Walter W.H., William W.C., John O.R., Lawrence J.Z., Allen S.H., Howard E.H., Robert J.K., Lance W.K., and Patrick J.T., 1984. Assessing Impacts of ozone on agricultural crops: I overview, *Journal of the air pollution control association*, vol. 34, pp. 729-735.

Wheeler, T.R., Morison, J.I.L., Hadley, P. and Ellis, R.H. 1993. Whole-season experiments on the effects of carbon dioxide and temperature on vegetable crop. In : G.J. Kenny, P.A. Harrison and M.L. Parry (Editors), The effect of Climate Change on Agricultural and Horticultural Potential in Europe, Oxford, pp. 165-176. In Wurr, D.C.E. , Fellows, J.R. and Phelps, K. 1996. Investigating trends in vegetable crop response to increasing temperature associated with climate change. Scientia Horticulturae , Vol.66, pp 255-263.

Wurr, D.C.E. , Fellows, J.R. and Phelps, K. 1996. Investigating trends in vegetable crop response to increasing temperature associated with climate change. *Scientia Horticulturae* , Vol.66, pp 255-263.

Wellburn, F.A.M. and Wellburn, A.R. 1996. Variable patterns of protection but similar ethane emission differences in several ozone-sensitive and ozone-tolerant plant plant selections. Plant Cell and Environment. Vol. 19, pp. 754-760.