



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การจำลองสถานการณ์โลกร้อนด้วยระบบตู้ทดลองภาคสนามเพื่อการวิเคราะห์
สหสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิบรรยายกาศในลักษณะเชิงเส้นตรง
และผลผลิตรวมทั้งปริมาณสารอาหารประเภทดอมิโนของถั่วเหลือง

Simulation of Global Warming Scenarios with Field Chamber System for
Correlation Analysis between Linear Increase in Air Temperature and Yield
including Some Amino Acids Content of Soybean (*Glycine max (L) Merr.*)

โดย รองศาสตราจารย์ ดร.กณิตา รนเจริญชณภัส

และ คณะ

เสนอ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สิงหาคม 2561

สำนักทดสอบ มหาวิทยาลัยนเรศวร	
เวลาทดสอบ ... 0.6 ชม. 2561	วันที่ทดสอบ ... 10/07/26
อุณหภูมิ ... ๑๐๐	๗๘๑
ชั้นทดลอง ... ๑	๙๘๑
๕.๖๕๖	๐๑๒๘
๒๕๖๑	

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย)	<p>การจำลองสถานการณ์โดยร้อนด้วยระบบตู้ทดลองภาคสนามเพื่อการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิบรรยายกาคในลักษณะเชิงเส้นตรง และผลผลิตรวมทั้งปริมาณสารอาหารประเภทกรดอะมิโนของถั่วเหลือง</p>
(ภาษาอังกฤษ)	<p>Simulation of Global Warming Scenarios with Field Chamber System for Correlation Analysis between Linear Increase in Air Temperature and Yield including Some Amino Acids Content of Soybean (<i>Glycine max (L) Merr.</i>)</p>
2. รายชื่อคณะผู้วิจัย พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัด หมายเลขอรหัสพท. โทรศัพท์ และ E-mail	
2.1 หัวหน้าโครงการวิจัย	<p>รองศาสตราจารย์ ดร.กนิตา ธนาเจริญชนกษา</p> <p>ภาควิชา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทรศัพท์: 055-962751 โทรศัพท์ : 055-962750 E-mail : kanitat@nu.ac.th</p>
2.2 ผู้ร่วมโครงการวิจัย	<p>(1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุส รักษา</p> <p>ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง , จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทรศัพท์: 055-962745 โทรศัพท์ : 055-962750 Email: oroser@nu.ac.th</p>
3. ได้รับอนุมัติจัดสรรงบประมาณประจำปี 2560...จำนวนเงิน 313,000.00 บาท	
4. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสาขา สาขาเกษตรศาสตร์ และ ชีววิทยา	
5. เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 1 ตุลาคม 2559 ถึง 30 กันยายน 2561	

กิตติกรรมประกาศ

ดิฉัน รองศาสตราจารย์ ดร.กนิตา ณ เจริญชณภัส ในฐานะหัวหน้าโครงการวิจัย และผู้ร่วมทีมวิจัย เรื่อง การจำลองสถานการณ์โลกร้อนด้วยระบบตู้ทดลองภาคสนามเพื่อการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิบรรยายกาศในลักษณะเชิงเส้นตรง และผลผลิตรวมทั้งปริมาณสารอาหารประเทกกรดอะมิโนของถั่วเหลืองขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นอย่างยิ่งในการอนุมัติและสนับสนุนทุนการวิจัย เป็นจำนวนเงิน 313,000.00 บาท ซึ่งเป็นงบประมาณสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณแผ่นดินปี 2560 และขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับการอนุมัติให้ขยายเวลาการดำเนินโครงการเป็นกรณีพิเศษจนครบ 2 ปี จนสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จได้เป็นอย่างดีตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ทุกประการ ขอขอบคุณสำหรับภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และ หน่วยวิจัย คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับการอนุเคราะห์ และ ให้ความสะดวกสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ และ ให้ความอนุเคราะห์ ดำเนินงานด้านเอกสารในทุกรอบวนการที่จำเป็นในระหว่างการปฏิบัติงานจนเสร็จสิ้นการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับความสำเร็จของงานวิจัย และขอขอบคุณเป็นพิเศษแก่นิสิตผู้ช่วยวิจัยในระดับปริญญาตรี และ ระดับปริญญาโทสาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ที่ได้ช่วยเหลือในการปฏิบัติงานภาคสนาม และห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในด้านต่างๆในโครงการวิจัยนี้ ดิฉันหวังเป็นอย่างยิ่งว่าประโยชน์ของผลงานวิจัยในครั้งนี้จะเป็นกลไกหนึ่งในการพัฒนาศักยภาพกระบวนการเรียนรู้ทั้งคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ รวมทั้งนิสิตที่สนใจ และนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ หรือ ต่อยอดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.กนิตา ณ เจริญชณภัส

หัวหน้าโครงการวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของเชิงเส้นตรงของการเพิ่มระดับอุณหภูมิในอากาศภายในต่อการสร้างสถานการณ์จำลองสภาพโลกร้อนตามภาพฉายอนาคตของ RCPs ที่มีต่อผลผลิต รงค์วัตุ ปริมาณไนโตรเจนในใบ รวมทั้งกรดอะมิโน 18 ชนิด ในถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ ดำเนินการ ณ พื้นที่วิจัยทางด้านเกษตรศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2559 ถึง กันยายน พ.ศ.2561 การศึกษาเริ่มตั้งแต่นำต้นกล้าของถั่วเหลืองปลูกภายในโรงเรือนทดลองระบบเปิดซึ่งอยู่ภายใต้ระดับอุณหภูมิ 4 ระดับคือ $27.9 \pm 2.14^{\circ}\text{C}$, $30 \pm 2.23^{\circ}\text{C}$, $31.6 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$ และ $32.8 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$, ในสิ่งทดลอง CT(ควบคุม), HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ จนถึงระยะเก็บเกี่ยว จากนั้นตัวอย่างทั้งหมดจากโรงเรือนวิจัยจะถูกนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด R^2 ที่สูงถึง 0.9 ตามแนวโน้มของการเพิ่มระดับอุณหภูมิภายใต้สิ่งทดลอง เริ่มตั้งแต่ CT(ควบคุม), HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ และผลการศึกษาที่บ่งชี้ว่าการสัมผัสระดับอุณหภูมิสูงภายใต้สิ่งทดลอง HT3 นั้น (สูงกว่าระดับควบคุม 4.8°C) ส่งผลชัดเจนว่าทำให้น้ำหนัก 100 เม็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 19.73 %, 26.53 % และ 30% ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม) ยิ่งกว่านั้นค่าระดับ R^2 ในเชิงลบยังสูงถึง 0.99 ตามแนวโน้มของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และยังพบผลกระทบในเชิงลบที่มีต่อสารสำคัญและรงค์วัตุในใบภายใต้ระดับอุณหภูมิของสิ่งทดลอง HT3 เช่นกัน ซึ่งพบว่าระดับรงค์วัตุในชนิดคลอร์ฟิลล์เอ และ ในต่อเจนในใบ ลดลง 13.4% และ 15.5% ตามลำดับ ถั่วเหลืองที่ปลูกภายใต้สภาพอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 4.8°C ใน HT3 ได้ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ methionine, serine และ cysteine อย่างไรก็ตามสภาพเดียวกันนี้กลับส่งผลต่อการเพิ่ม ($p \leq 0.05$) ปริมาณกรดอะมิโนถึง 11 ชนิด คือ threonine, valine, isoleucine, phenylalanine, tryptophan, lysine, leucine, arginine, histidine, aspartic, glutamic, proline, glycine, alanine และ tyrosine ดังนั้นโดยสรุปแล้วการเพิ่มระดับอุณหภูมิให้เกิดขึ้นในดูดกลูโคสภูมิภายใต้สถานการณ์จำลองนั้นสามารถส่งผลกระทบทางลบต่อน้ำหนัก 100 เม็ด รงค์วัตุชนิดคลอร์ฟิลล์เอ ปริมาณไนโตรเจนในใบ และสถานการณ์นี้ยังส่งผลต่อทั้งการเพิ่มและลดปริมาณกรดอะมิโน 18 ชนิดในเม็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ได้เช่นกัน และค่าระดับสัมประสิทธิ์เชิงกำหนดที่สูงมากนั้นยังบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของข้อมูลเชิงสหสมัยนี้ระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิและผลกระทบต่อพารามิเตอร์ตั้งกล่าว และสามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบของสถานการณ์การเพิ่มระดับอุณหภูมิภายใต้ภาพฉายอนาคต RCP ได้

คำสำคัญ : สภาวะโลกร้อน, สาหร่ายพันธุ์, ถั่วเหลือง, ผลผลิต, กรดอะมิโน

ABSTRACT

This study is aimed at assessing the impacts of linear increase in air temperature under simulation of global warming RCP scenarios with Field Chamber System on yield, pigment contents, leaf nitrogen including 18 Amino Acids content of soybean (*Glycine max* (L) Merr.), Chiang Mai 60 cultivar. This study was carried out at the Naresuan University crop field, Phitsanulok from July 2016 to October 2017. Soybean seedlings were planted in 16 open top chambers (OTCs) under 4 temperature levels: $27.9 \pm 2.14^{\circ}\text{C}$, $30 \pm 2.23^{\circ}\text{C}$, $31.6 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$ and $32.8 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$, in CT(control), HT1, HT2 and HT3 treatments, respectively through harvest stage. Then all samples were analyzed at the Natural Resources and Environment Laboratory. The result showed the high R-squared values at 0.9 in temperature level trend (from CT, HT1, HT2 to HT3). The results showed that exposure to simulated climate change situation in HT3 treatment (higher than CT temperature by 4.8°C) obviously caused a significant reduction by 19.73 %, 26.53 % and 30% ($p \leq 0.05$) in 100 seed weight (in HT1, HT2 and HT3, respectively). Moreover, a negative linear regression ($R^2=0.99$) is shown in 100 seed weight under increasing temperature trend in experiment. The negative effects on important substance and pigment were also obviously found in HT3. We found the highest significant decrease by 13.4% and 15.5% were shown in Chla and leaf nitrogen content under HT3 condition. The negative effects was also shown in some amino acid: methionine, serine and cysteine under 4.8°C increasing. However, high temperature in HT3 treatment evidently increased ($p \leq 0.05$) in 11 types of amino acid content (both essential and non-essential amino acid): threonine, valine, isoleucine, phenylalanine, tryptophan, lysine, leucine, arginine, histidine, aspartic, glutamic, proline, glycine, alanine and tyrosine. To summarize, the enhanced temperature simulations under global warming situation trend in growing season could cause the negative significant in 100 seed and weight, Chla and leaf nitrogen. In addition, this situation induced both significant increase and decrease among 18 types of amino acids in Thai soybean seed, Chiang Mai 60. Finally, the high value of linear regression indicate its effectiveness. Hence it can be used to estimate impacts of increasing temperature under RCP scenarios.

Keyword: global warming, linear regression, soybean, yield, amino acid

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

สรุปโครงการวิจัย

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

รายงานด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกจากหน่วยงานระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ฉบับล่าสุด (ฉบับที่ 5) ระบุว่าปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ร่วมกับการเกิดสภาพโลกร้อน ได้เกิดขึ้นมาหลายทศวรรษแล้ว โดยมีสาเหตุหลักจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ และยังพบว่าการแผ่รังสีความร้อนของโลก (radiative forcing) เกิดจากอิทธิพลของก๊าซ CO₂ มากกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ ข้อมูลจาก IPCC ยืนยันว่า สภาวะโลกร้อนจะยังคงดำเนินต่อไปในอีกหลายสิบปีและยังมีแนวโน้มว่าจะมีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคต (IPCC, 2013; กรณิตา ธนาเจริญชณภัส, 2558) เนื่องจากมีหลักฐานจากการคำนวณด้วยสมการเชิงเส้นร่วมกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าอุณหภูมิจะตั้งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.106 °C เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี ค.ศ.1951-2012 และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นอีก 2°C ในปี ค.ศ.2100 (IPCC, 2013) นอกจากนี้ ยังมีสถานการณ์ความผิดปกติของปัจจัยทางกายภาพในบรรยากาศ เช่นการเพิ่มระดับอุณหภูมิ หรือลดระดับอุณหภูมิในบางพื้นที่ ระดับอุณหภูมิสูงสุดยาวนาน และมีจำนวนวันมากขึ้น ระดับอุณหภูมิหน้าเย็นผิดฤดูกาล จำนวนวันที่หนาวเย็นลดลง สภาวะอากาศสุดโต่งในหลายรูปแบบ หรือสภาวะอากาศแปรปรวนไม่คุ้นเคยที่ การเพิ่มและลดปริมาณน้ำฝนในฤดูกาลที่ผิดปกติจากสภาวะเดิม สถานการณ์ผิดปกติถักถ่องระบบวนการทางสิริวิทยาของพืชอย่างแน่นอน ซึ่งทำให้นักวิชาการด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกมีความวิตกอย่างมากเนื่องจากปัจจัยในบรรยากาศที่แปรปรวนเช่นนี้จะส่งผลเชิงลบต่อธัญพืชซึ่งเป็นอาหารหลักของมนุษย์ในหลายพื้นที่ของโลก อาทิเช่นในแถบอเมริกา ยุโรป เอเชียและประเทศไทย ซึ่งในที่สุดย่อมคาดการณ์ได้ว่าแนวโน้มปัญหาการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรของโลกและนำไปสู่ปัญหาความมั่นคงทางอาหารของโลกในอนาคต (กรณิตา ธนาเจริญชณภัส, 2558)

การศึกษาผลกระทบของสภาวะโลกร้อน และการแปรปรวนของระดับอุณหภูมิในบรรยากาศ ที่มีต่อภาคเกษตรกรรมในระยะกว่า 10 ปี ที่ผ่านมาพบว่าส่งผลต่อการลดศักยภาพในการให้ผลผลิตของพืชผลทางการเกษตรในหลายประเทศ มีการประเมินว่าผลผลิตของโลกในแหล่งพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่จะลดลงประมาณ 4-50 % หรืออาจเกิน 50 % ในสิบศตวรรษนี้ ทั้งนี้ขึ้นกับความ

รุนแรงในแต่ละพื้นที่ การศึกษาวิจัยปัญหานี้ในพื้นที่แบบเอเชีย อาทิเช่น จีน อินเดีย รวมทั้งประเทศไทย พบว่า สภาวะอากาศแปรปรวนไม่แน่นอน รวมทั้งการเกิดสภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบโดยตรง และทางอ้อมต่อการลดลงของผลผลิตและคุณภาพสารอาหารของรัฐพืชหลักหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวหอมมะลิไทย และถั่วเหลืองพันธุ์ของอินเดีย และถั่วเหลืองพันธุ์ของประเทศไทย (Lal et al., 1999; Hollister and Webber, 2000;..Jacobson,.2002;..Fuhrer,2003;..Prasad.et.al., 2006;IPCC,.2006;Thanacharoenchana-phas and Rugchati, 2011; กนิษฐา ธนเจริญชณภากส และโอลส รักชาติ, 2551; กนิษฐา ธนเจริญชณภากส และ โอลรักชาติ, 2552, กนิษฐา และคณะ, 2554; กนิษฐา ธนเจริญชณภากส, 2558) และจากการศึกษาในเชิงสรีวิทยาพบว่าถ้าเหลืองซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลกมีความไวต่อการตอบสนองในทางลบต่อสภาวะอุณหภูมิสูงและแปรปรวนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในบรรยายกาศเป็นอย่างยิ่ง (Miller et al., 1994; Salvucci and crafts-Brandner, 2004; Mall et al., 2004; Thanacharoenchanaphas and Rugchati, 2011; Thanacharoenchanaphas and Rugchati, 2015; กนิษฐา และคณะ, 2554; กนิษฐา ธนเจริญชณภากส, 2558)

พิจารณาปัญหานี้ในประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลจากการอุดหนุนวิทยาซึ่งได้พิจารณ แนวโน้มของระดับการเพิ่มระดับอุณหภูมิในบรรยายกาศในเขตภาคเหนือในอนาคตโดยพบว่ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นประมาณ 4-5 องศาเซลเซียส และในศวรรษที่ 2100 (ค.ศ.2091-2100) เมื่อเทียบกับ ในช่วงศวรรษที่ 2000 (ค.ศ.1991-2000) และการแสดงผลพยากรณ์ความแปรปรวนทางด้านสภาวะภูมิอากาศในปัจจุบันฯ ที่มีแนวโน้มแปรปรวนมากขึ้น เช่นกัน (สำนักพัฒนาอุดหนุนวิทยา, 2552) รวมทั้งข้อมูลจากศูนย์เครือข่ายงาน วิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SEA START RC) ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายว่าในอนาคต หลายสิบปีข้างหน้า จำนวนวัน/ปี ที่มีอากาศเย็นในหลายจังหวัดของประเทศไทยรวมทั้งจังหวัดพิษณุโลกจะลดลง ในทางตรงข้ามจำนวนวัน/ปีที่อากาศร้อนจะเพิ่มขึ้น (Chinvanno and Snidvongs, 2007)

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ร่วมกับการตระหนักรถึงความสำคัญของพืชถั่วเหลืองในแง่คุณค่าสารอาหาร และความเป็นพืชเกษตรเศรษฐกิจของไทย ซึ่งปลูกมากในเขตภาคเหนือ และเป็นพื้นที่ผลิตได้สูงสุดของประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2552) คณะผู้วิจัยจึงตระหนักรถึงสำคัญในการศึกษา ความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิบรรยายกาศที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตรง ต่อแนวโน้มของปริมาณผลผลิตและปริมาณสารอาหารที่สำคัญคือการลดความมีโนในถั่วเหลือง เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสหสัมพันธ์เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นและสร้างสมการทำนายการเปลี่ยนแปลงในอนาคตต่อไป

ข้อมูลจากการวิจัยนี้จะเป็นฐานข้อมูลสำคัญในการทำความเข้าใจต่อปัญหาที่จะเกิดขึ้น และการคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับรัญพืชที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต จะช่วยให้ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรสามารถดำเนินการจัดการเชิงนโยบายเพื่อการวางแผนเตรียมตัว หรือปรับตัวเพื่อรับมือกับสถานการณ์ในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อให้ทราบแนวโน้มผลกระทบระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเชิงเส้นที่มีต่อผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

2.2 เพื่อให้ทราบแนวโน้มผลกระทบระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเชิงเส้นที่มีต่อปริมาณกรดอะมิโนที่สำคัญของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

2.3 เพื่อให้ได้ข้อมูลทางคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเชิงเส้นและปริมาณผลผลิตรวมทั้งและปริมาณกรดอะมิโนที่สำคัญของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 พื้นที่วิจัย

กำหนดพื้นที่วิจัย เพื่อปลูกถั่วเหลือง ณ พื้นที่แปลงวิจัยคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ประมาณ 600 ตารางเมตร สำหรับถั่วเหลือง และวางแผนอุปกรณ์ชุดทดลองในพื้นที่ทั้งหมด

3.2 การจัดการปลูกถั่วเหลือง

(1) การคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลือง

ในการศึกษา เลือกศึกษาในถั่วเหลืองสายพันธุ์ดีเด่น (Soybean Promising Lines) ของภาคเหนือซึ่งได้รับการคัดเลือกพันธุ์มุ่งแล้ว 1 พันธุ์ คือ เชียงใหม่ 60 เป็นถั่วเหลืองที่ได้จากการพัฒนาพันธุ์ระหว่างถั่วเหลืองพันธุ์ William ซึ่งมีลำต้นแข็งแรงมีจำนวนฝักต่อต้นมาก เป็นพันธุ์แม่ กับพันธุ์สา.4 ซึ่งเป็นพันธุ์พ่อให้ผลผลิตสูงทนทานต่อ โรคราสนิม เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ทนทานต่อ โรคราสนิม เหมาะที่จะเป็นพันธุ์มาตรฐาน (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2558)

(2) การจัดการระบบปลูกในแปลงวิจัย

ใช้ระบบการปลูกในแปลงในฤดูกาลปลูก ในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน 2560

- 2.1 ทำการเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกถัวเหลืองโดยการไถพรวน ปรับลงดินที่มีคุณภาพร่วมกับการใส่ปุ๋ยเตรียมพร้อมสำหรับปลูก
- 2.2 กำหนดช่วงการปลูกในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ – พฤษภาคม เมื่อเมล็ดแสดง การเจริญอายุ 15 วัน (15 DAE; day after emergence) จะเริ่มควบคุมปัจจัยสภาพอากาศ ตามแผนการวิจัย จนกระทั่งเก็บเกี่ยว
- 2.3 ทำการยกแปลงปลูกที่มีระยะห่าง 20×40 เซนติเมตร โดย 1 สิ่งทดลอง (treatment) จะใช้พื้นที่พื้นที่เท่ากับโรงเรือนขนาด สี่เหลี่ยมจัตุรัส 1.5×1.5 ตารางเมตร

3.3 การควบคุมระดับอุณหภูมิในตู้ทดลองระบบเปิดด้านบน (Open Top Chambers)

ในการวิจัยครั้งนี้มีการควบคุมระดับอุณหภูมิให้มีความแตกต่างกันภายใต้ระบบโรงเรือนระบบเปิดด้านบน Open Top Chambers ซึ่งจะควบคุมระดับอุณหภูมิให้แตกต่างกัน 4 ระดับ หรือ 4 สิ่งทดลอง ตามการคาดการณ์จากภาพฉายอนาคต RCP (ย่อมาจาก Representative Concentration Pathways) ที่ระบุตัวเลขแสดงค่าการแพร่รังสีความร้อน หน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตร ดังนี้ (IPCC, 2013) โดยกำหนดให้ CT เป็นสิ่งทดลองควบคุมระดับอุณหภูมิเทียบเท่าภายนอกโรงเรือน และกำหนดให้มีแนวโน้มตามภาพฉายอนาคตที่มีการแพร่รังสีความร้อนที่ระดับ 2.6 W/m^2 (RCP2.6), HT1 เป็นสิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ในช่วง $1.1\text{-}2.6^\circ\text{C}$ และกำหนดมีแนวโน้มตามภาพฉายอนาคตที่มีการแพร่รังสีความร้อนที่ระดับ 4.5 W/m^2 (RCP4.5), HT2 เป็นสิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ในช่วง $1.4\text{-}3.1^\circ\text{C}$ และกำหนดให้มีแนวโน้มตามภาพฉายอนาคตที่มีการแพร่รังสีความร้อนที่ระดับ 6.0 W/m^2 (RCP6.0) และสุดท้าย HT3 เป็นสิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ในช่วง $2.6\text{-}4.8^\circ\text{C}$ โดยกำหนดให้มีแนวโน้มตามภาพฉายอนาคตที่มีการแพร่รังสีความร้อนที่ระดับ 8.5 W/m^2 (RCP8.5)

ลักษณะของโรงเรือนระบบเปิดด้านบน (OCT: Open Top Chamber) เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดกว้าง \times ยาว \times สูง เท่ากับ 1.5 เมตร $\times 1.5$ เมตร $\times 2$ เมตร และหุ้มด้วยพลาสติกใส มีช่องระบบยาการด้านบนและมีการใช้ระบบไฟฟ้า (หลอดไฟเส้นขาวเพิ่มระดับอุณหภูมิ และเครื่องปรับอากาศลดระดับอุณหภูมิ) ในการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ทดลอง โดยจะมีการใช้ระบบควบคุมไฟฟ้าเวลาปิดและเปิดอัตโนมัติเป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน (ช่วงเวลา 07.00 -17.00) ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และบันทึกระดับอุณหภูมิต่อเนื่อง 4 ครั้งต่อวันตลอดระยะเวลาในการปลูกถัวเหลือง 4 เดือน

3.4 การวางแผนการวิจัย

(1) การวางแผนการทดลอง

กำหนดวางแผนการทดลองในหน่วยการทดลองเป็นแบบ Random Completed Block Design (RCBD) 4 ชั้า (4 replications)

(2) สิ่งทดลอง (Treatment)

กำหนดจำนวนสิ่งทดลอง ทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง และมี 4 ชั้า โดยการกำหนดชุดทดลอง ตั้งกล่าวขึ้นกับ ปัจจัยระดับอุณหภูมิ 4 ระดับดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3 โดยจัดพื้นที่ในการปลูก 1 แปลง เท่ากับ 12 ต้น ($12 \text{ ต้น} / 1 \text{ แฉะ} = 1 \text{ ชั้า}$) และ จัดการพื้นที่ให้ปลูกได้ 2 แฉะ = 2 ชั้า ใน 1 ตู้ ทดลองระบบเปิด)

3.5 การเก็บผลการทดลองและวิเคราะห์ผลด้านคุณภาพผลผลิตสารอาหาร

ทำการวิเคราะห์ ด้วยวิธีวัดทางด้านสุริวิทยาของประการ, ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต ดังนี้

(1) ประเมินคุณภาพผลผลิตของเม็ดถั่วเหลือง ในระยะ Full Maturity Stage โดยกำหนดด้วยช่วง ปัจจัยผลกระทบในด้านผลผลิต คือ จำนวนฝัก/ต้น, จำนวนเม็ดถั่วเหลือง / ต้น และคำนวณจำนวน ผลผลิตถั่วเหลือง / พื้นที่ $1.5 \times 1.5 \text{ ตารางเมตร}$

(2) การประเมินผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณรงค์วัตถุในใบ ด้วยช่วง ผลกระทบในด้านผลผลิต ดังนี้

1) รงค์วัตถุ ชนิดคลอรอฟิลล์ เอ ซึ่งประเมินผลกระทบทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

2) รงค์วัตถุ ชนิดคลอรอฟิลล์ บี ซึ่งประเมินผลกระทบทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

3) คลอรอฟิลล์ทั้งหมด ซึ่งประเมินผลกระทบทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและระยะ การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

4) รงค์วัตถุ ชนิดแคโรทีโนยด ซึ่งประเมินผลกระทบทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และทางการสืบพันธุ์

(3) การประเมินผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบ ดัชนีชี้วัดบ่งชี้ผลกระทบในด้านผลกระทบ ทั้งระดับเจริญเติบโตทางลำต้นและระดับการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

(4) การประเมินการผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อกุณภาพสารอาหารของผลผลิต ดัชนีชี้วัดบ่งชี้ผลกระทบในด้านผลกระทบ ทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) 10 ชนิด ได้แก่ กรดอะมิโน ชนิด Threonine, กรดอะมิโน ชนิด Valine, กรดอะมิโน ชนิด Methionine, กรดอะมิโน ชนิด Isoleucine, กรดอะมิโน ชนิด Phenylalanine, กรดอะมิโน ชนิด Tryptophan, กรดอะมิโน ชนิด Lysine, กรดอะมิโน ชนิด Leucine, กรดอะมิโน ชนิด Arginine และกรดอะมิโน ชนิด Histidine และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non- Essential amino acid) 8 ชนิด ได้แก่ กรดอะมิโน ชนิด Aspartic, กรดอะมิโน ชนิด Aerine, กรดอะมิโน ชนิด Glutamic, กรดอะมิโน ชนิด Proline, กรดอะมิโน ชนิด Glycine, กรดอะมิโน ชนิด Alanine, กรดอะมิโน ชนิด Tyrosine และกรดอะมิโน ชนิด Cystine

3.6 การตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพและในบรรยายกาศ

ตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพและเคมีในบรรยายกาศในโรงเรือนห้อง 14 โรงเรือน ตลอดระยะเวลาการ วิจัย ได้แก่ ระดับอุณหภูมิ เฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุด / วัน

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.7.1 วิเคราะห์สหสัมพันธ์ วิเคราะห์ที่ไม่ใช่คณิตศาสตร์เพื่อประเมินความสัมพันธ์และทิศทางระหว่าง การเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิเชิงเส้นตรงและปริมาณผลผลิตในแต่ละองค์ประกอบ และ ปริมาณ กรดอะมิโนแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ โดยการคำนวณ สหสัมพันธ์อย่างง่าย (r) เพื่อหาความสัมพันธ์และ ทิศทางแนวโน้มของความสัมพันธ์ และ สัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) เพื่อสร้างสมการทำนาย ความสัมพันธ์ (r) หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) (r) หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย

(1) การทดสอบสมมติฐาน

ให้วิธีเปิดจากตารางค่าไวกฤตของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย

ในการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติยังสามารถนำค่า r ที่คำนวณได้ไปเทียบกับค่าไวกฤตของ r ได้จาก ตารางค่าไวกฤตของสหสัมพันธ์เพียร์สันได้โดยตรง

(2) ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ/ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination) (R^2) ค่า R-Squared คือตัวสถิติที่ใช้วัดว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้นี้มีความสมรูปกับข้อมูลมากน้อย อย่างไร หรือรู้จักกัน ในอีกความหมายหนึ่งว่าเป็น ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ค่า R-Squared ถือเป็นค่าที่นำมาใช้วัดว่าตัวแบบสมการเชิงเส้นที่ได้มานั้นมีความ เหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ การคำนวณจะได้สมการการทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง x และ y ซึ่งในการวิจัยก่อนที่จะตัดสินใจใช้สมการการทำนายจะต้องประเมินค่า R-Squared เพื่อก่อนว่า เหมาะสมที่จะใช้ประเมินสมการหรือไม่ โดยมีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยคำนวณจากสูตร

อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ และสัมประสิทธิ์การกำหนดจะต้องนำมาพิจารณา ร่วมกับสถิติอื่นๆ เช่นค่าความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งทดลอง

3.7.2 นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจดัดชีนในด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเลือกใช้สถิติเพื่อ การวิเคราะห์ข้อมูลระหว่าง 7 สิ่งทดลอง แบบ F-Test ตามลำดับและเลือกวิเคราะห์ปัจจัยเดียว แบบ One Way ANOVA และเลือกวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทดสอบ เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทุกกลุ่มทดลอง

4.ผลการทดลองโดยสรุป

4.1 ผลการศึกษาระดับปัจจัยทางกายภาพในบรรยายการใน 4 ชุดการทดลอง

การศึกษาวิจัยเรื่อง การจำลองสถานการณ์โลกร้อนด้วยระบบตู้ทดลองภาคสนามเพื่อการ วิเคราะห์สัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิบรรยายการในลักษณะเชิงเส้นตรง และผลผลิต รวมทั้งปริมาณสารอาหารประเภทครอเมโนไซด์เจลีก และผลการศึกษาในรายงานฉบับนี้มีดังนี้

(1) ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในบรรยายการของตู้ทดลอง

จากการศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิอากาศในบรรยายการในช่วงระยะเวลา 4 เดือนที่ ทำการปลูกถั่วเหลือง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2560– เดือนพฤษจิกายน 2560 พบร้าสามารถควบคุม ระดับอุณหภูมิให้มีความแตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลองดังนี้

จากการกำหนดขอบเขตการศึกษา จะควบคุมระดับอุณหภูมิตั้งแต่เวลา 7.00-17.00 น. ซึ่ง ผลการศึกษาระดับอุณหภูมิผู้วิจัยอนามัยด้วยค่าเฉลี่ย ตั้งแต่ระยะเวลา 7.00 น จนถึงระยะเวลา 17.00 น. ตลอดระยะเวลาของการปลูก 96 วัน เนื่องจากการควบคุมระดับอุณหภูมิในการทดลอง ภาคสนามนั้นจะผันแปรไปตามอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะมีความ แตกต่างกันในรอบ 10 ชั่วโมงซึ่งกลางวัน

ผลการควบคุมระดับอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิในตู้ทดลอง ระบบปิดของ 4 สิ่งทดลอง (4 treatments) ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในระยะเวลา 10

ข้ามไปที่ควบคุมโดยระบบอิเลคทรอนิก (ตั้งแต่เวลา 7.00 น.-17.00 น.) โดยตรวจวัด 4 ครั้งในรอบ 1 วัน คือที่เวลา 08.00 น., 11.00 น., 14.00 น. และ 17.00 น. ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการควบคุมระดับอุณหภูมิของ 4 สิ่งทดลอง ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ 4 ระดับได้จริง

โดยสิ่งทดลอง HT1 ซึ่งควบคุมให้อุณหภูมิสูงกว่าระดับธรรมชาติ 1 ระดับ พบว่ามีระดับสูงกว่าชุดควบคุม (CT) อยู่ในช่วงประมาณ $1 - 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งภาพที่ 4 (a) ได้แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนช่วงเวลาที่ควบคุมให้มีระดับสูงที่สุดอยู่ ในช่วงระยะเวลา 11.00-17.00 น.

ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสิ่งทดลอง HT2 ซึ่งต้องการควบคุมให้มีระดับสูงกว่าระดับธรรมชาติ 2 ระดับ นั้นพบว่า สามารถทำให้มีระดับอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าชุดควบคุมได้จริง คือสูงกว่าชุดควบคุม (CT) ที่ระดับประมาณ $1 - 3^{\circ}\text{C}$ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดพบว่าอยู่ในช่วงระยะเวลา 11.00-14.00 น.

ส่วนระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสิ่งทดลอง HT3 ซึ่งต้องการควบคุมให้มีระดับสูงสุดนี้ พบว่า สามารถทำให้มีระดับอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าชุดควบคุมได้จริง คือสูงกว่าชุดควบคุม (CT) ที่ระดับประมาณ $1-4^{\circ}\text{C}$ และ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดพบว่าอยู่ในช่วงระยะเวลา 11.00-14.00

ข้อมูลผลการศึกษาบ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่าง 4 สิ่งทดลองอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงทุกสิ่งทดลองในช่วงระยะเวลาระหว่าง 11.00-17.00 น. ตามที่ได้ตั้งกรอบการดำเนินไว้ในเบื้องต้น

ดังนั้นผลการควบคุมระดับอุณหภูมิในการวิจัยครั้งนี้ สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิรายในครั้งนี้ ให้เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน 4 ระดับตามแนวโน้มการคาดการณ์จากภาพฉายอนาคต คือระดับอุณหภูมิที่ $27.9 \pm 2.14^{\circ}\text{C}$, $30 \pm 2.23^{\circ}\text{C}$, $31.6 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$ และ $32.8 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$ ในสิ่งทดลอง CT (ชุดควบคุม), HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ พบว่าระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 สูงกว่าสิ่งทดลอง CT ประมาณ 2.0°C , 3.6°C และ 4.8°C ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มระดับอุณหภูมิ ของภาพฉายอนาคต RCP4.5, RCP6.0 และ RCP8.5 ตามที่ได้กำหนดไว้ในการวิจัย และเมื่อทดสอบโดยสหสมพันธ์เชิงกำหนดพบว่า มีค่า R^2 สูงถึง 0.9 (ภาพที่ 4 (b) และตารางที่ 2) ซึ่งหมายความว่า เป็นเส้นตรงสามารถใช้คาดการณ์ผลกระทบที่ระดับอุณหภูมิในช่วงที่แตกต่างจากการทดลองในครั้งนี้ ได้ เช่น การคาดการณ์ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C หรือในช่วง 3°C เป็นต้น

4.2 ผลการศึกษาผลกระทบของสภาพอากาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ต่างระดับกัน ที่มีต่อคุณภาพของผลผลิตของถั่วเหลือง นั้นได้ตรวจสอบคุณภาพผลผลิตโดยกำหนดเลือกพารามิเตอร์ในการตรวจวัด 3 ชนิดคือ จำนวนฝักทั้งหมด /ต้น, จำนวนเมล็ดทั้งหมด/ต้น และ น้ำหนัก 100 เมล็ด ดังนี้

(1) ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเม็ดถั่วเหลืองในองค์ประกอบของผลผลิตด้านปัจจัยจำนวนฝักหั้งหมด / ตัน ของพื้นที่เชียงใหม่ 60

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของจำนวนฝักหั้งหมด / ตัน ของถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 18.63, 18.79, 21.65 และ 21.22 ฝัก/ตัน (ตารางที่ 3) ในชุดการทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างชุดควบคุม(CT) กับสิ่งทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงโดยใช้จำนวนฝักในสิ่งทดลอง CT เป็นตัวเลขฐานเปรียบเทียบพบว่าจำนวนฝัก/ตันของถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 มีจำนวนเพิ่มขึ้น 13.90 % ในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7505 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภพชาญอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยจำนวนฝักหั้งหมด/ตัน

(2) ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเม็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านจำนวนเม็ดหั้งหมด / ตัน ของพื้นที่เชียงใหม่ 60

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดหั้งหมด / ตัน ของถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 32.97, 34.28, 38.96 และ 37.96 เม็ด/ตัน (ตารางที่ 3) ในชุดการทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบว่าผลการศึกษาสอดคล้องกับองค์ประกอบของผลผลิตของจำนวนฝัก/ตัน เนื่องจากไม่พบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างชุดควบคุม(CT) กับสิ่งทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 เช่นเดียวกันในลักษณะการเพิ่มขึ้นของเม็ดโดยรวมในสิ่งทดลอง HT3 เมื่อเปรียบเทียบกับ CT โดยพบว่า ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นโดยใช้จำนวนเม็ดในสิ่งทดลอง CT เป็นตัวเลขฐานเปรียบเทียบ พบว่าจำนวนฝัก/ตันของถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 มีจำนวน 15.11 % ในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7802 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภพชาญอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมี อิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยเม็ดหั้งหมด / ตัน

(3) ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเม็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านน้ำหนัก 100 เม็ด ของ พื้นที่เชียงใหม่ 60

ผลการศึกษา พบว่า น้ำหนัก 100 เม็ด โดยเฉลี่ยของถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 มีค่า เท่ากับ 14.7, 11.8, 10.8 และ 10.2 กรัม ในสิ่งทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อ วิเคราะห์ทางสถิติ พบรความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1/ HT2 และ HT3 โดยมีลักษณะการลดลงของผลผลิตในสิ่งทดลอง ทั้ง 3 ดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับ CT โดยพบว่าผลผลิตลดลงมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 รองลงมาคือ HT2 และ HT1 เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงโดยใช้น้ำหนัก 100 เม็ด ในสิ่งทดลอง CT เป็นตัวเลขฐานเปรียบเทียบ พบว่า น้ำหนัก 100 เม็ด ของถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 มีจำนวนลดลง 19.73 % , 26.53 % และ 30.61 % ในสิ่งทดลอง HT1 / HT2 และ HT3 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8799 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านน้ำหนัก 100 เม็ด และ ส่งผลชัดเจนว่าทำให้น้ำหนัก 100 เม็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 19.73 %, 26.53 % และ 30% ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ

4.3 ผลการศึกษาผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณรงค์วัตถุในใบ

โดยการศึกษาจากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และ แครอทินอยด์ ของใบถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 3 ระดับ ในช่วงการปลูกที่ระยะ V3 และ R1 ซึ่งเป็นช่วงอายุที่ 28 และ 33 วัน ตามลำดับ โดยใช้ค่าเฉลี่ยและ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.1 รงค์วัตถุ ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ

(1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำดับ

ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพื้นที่เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 14.03 ± 1.12 13.93 ± 0.64 12.94 ± 0.21 และ 12.15 ± 0.78 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในสิ่งทดลอง HT3 เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลอง CT โดยพบว่าระดับคลอโรฟิลล์เอลดลง 15% และเมื่อทดสอบ ด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9249 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่

เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาระโดยอนุมัติ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณคลอร์ฟิลล์ เอ

(2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาปริมาณคลอร์ฟิลล์เอโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 8.83 ± 1.63 8.70 ± 1.08 8.53 ± 0.62 และ 8.44 ± 0.63 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลอง CT และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9877 ซึ่งปัจงบกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาระโดยอนุมัติ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของปริมาณคลอร์ฟิลล์ เอ

4.3.2 วงศ์ถั่ว ชนิดคลอร์ฟิลล์ ปี

(1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ผลการศึกษาปริมาณคลอร์ฟิลล์ปีโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 4.63 ± 0.79 4.44 ± 0.76 4.11 ± 0.25 และ 3.85 ± 0.30 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9905 ซึ่งปัจงบกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาระโดยอนุมัติ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณคลอร์ฟิลล์ ปี

(2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาปริมาณคลอร์ฟิลล์ปีโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 2.71 ± 0.42 2.65 ± 0.36 2.59 ± 0.34 และ 2.55 ± 0.24 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9918 ซึ่งปัจงบกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาระโดยอนุมัติ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของคลอร์ฟิลล์ ปี

4.3.3 คลอโรฟิลส์ทั้งหมด

(1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 18.6 ± 1.35 18.03 ± 1.47 17.09 ± 0.43 และ 16.0 ± 1.07 mg/g (fw.) ในสิ่งททดสอบ CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.982 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

(2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 11.29 ± 1.68 11.01 ± 1.53 10.95 ± 1.12 และ 10.74 ± 0.69 mg/g (fw.) ในสิ่งททดสอบ CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9477 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

4.3.4 รงควัตถุ ชนิดแครอทินอยด์

(1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ผลการศึกษาปริมาณแครอทินอยด์โดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 3.31 ± 0.17 3.24 ± 0.65 3.12 ± 0.14 และ 2.96 ± 0.45 mg/g (fw.) ในสิ่งททดสอบ CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และ เมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9712 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณแครอทินอยด์

(2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาปริมาณแครอทินอยด์โดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 2.65 ± 0.21 2.62 ± 0.33 2.60 ± 0.04 และ 2.59 ± 0.10 mg/g (fw.) ในสิ่งททดสอบ CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และ เมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9524 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับ

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของปริมาณแครอทในอยู่

4.4 ผลการศึกษาผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณในโตรเจนทั้งหมดในใบ

จากการศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามแนวโน้มสภาวะโลกร้อนที่มีผลต่อร้อยละในโตรเจนทั้งหมดในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายใต้ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 3 ระดับพบว่าระยะ R1 ของการปลูกในสิ่งทดลองควบคุมให้สูงกว่าระดับอุณหภูมิธรรมชาติภายนอก ตู้ทดลอง 2 ระดับระหว่างการวิจัย (HT2) และในสิ่งทดลองควบคุมให้สูงกว่าระดับอุณหภูมิธรรมชาติภายนอกตู้ทดลอง 3 ระดับระหว่างการวิจัย (HT3) มีอัตราการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่อุณหภูมิกลัดเคียงกับระดับอุณหภูมิภายนอกตู้ทดลองระหว่างการวิจัย (CT)

(1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

โดยการศึกษาจากปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมดของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 3 ระดับในช่วงการปลูกที่ระยะ V3 และ R1 ซึ่งเป็นช่วงอายุที่ 28 และ 33 วัน ตามลำดับ โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 1.57 ± 0.27 1.48 ± 0.26 1.38 ± 0.08 และ 1.27 ± 0.16 ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าระดับในโตรเจนลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นและเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.998 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณในโตรเจนทั้งหมดในลักษณะลดลง (negative regression)

(2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 1.81 ± 0.04 1.71 ± 0.03 1.61 ± 0.19 และ 1.53 ± 0.08 ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในสิ่งทดลอง HT2 และ สิ่งทดลอง HT3 เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลอง CT โดยพบว่าระดับในโตรเจน

ลดลง เท่ากับ 11.0% และ 15.4% ในสิ่งทดลอง HT2 และ สิ่งทดลอง HT3 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 มีค่าสูงถึง 0.9952 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภพเฉพาะอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของบริษัทในโตรเจนทั้งหมด

4.5 ผลการศึกษาผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อกุณภาพสารอาหารของผลผลิต

ผลการศึกษาผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อกุณภาพสารอาหารของผลผลิตในเม็ดถั่วเหลืองได้แบ่งผลการศึกษาตามชนิดของกรดอะมิโน โดยแบ่งเป็นกลุ่มกรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acid) 10 ชนิด และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non- Essential amino acid) 8 ชนิด รวมที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ทั้งหมด 18 ชนิด ดังนี้

4.5.1 บริษัทกรดอะมิโนที่จำเป็น(Essential amino acid)

ผลการศึกษาในพารามิเตอร์ประเภทกรดอะมิโนที่จำเป็น 10 ชนิด ได้แก่ Threonine, Valine, Methionine, Isoleucine, Phenylalanine, Tryptophan, Lysine Leucine, Arginine และ Histidine

(1) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Threonine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Threonine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1528.73, 1540.14, 1531.17 และ 1691.60 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Threonine รวม ในสิ่งทดลอง HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 10.65 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.6101 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภพเฉพาะอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Threonine

(2) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Valine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Valine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1643.79, 1725.05, 1766.41 และ 1806.54 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Valine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 7.46 % และ 9.90 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9657 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Valine

(3) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Methionine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Methionine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 395.17, 362.66, 370.43 และ 346.40 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับทุksิ่งทดลอง โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Methionine รวม ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าลดลง 8.23 %, 6.26 % และ 12.34 % ตามลำดับ โดยลดลงมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7756 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Methionine

(4) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Isoleucine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Isoleucine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1631.95, 1705.25, 1758.40 และ 1785.01 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Isoleucine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 7.75 % และ 9.38 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.96 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Isoleucine

(5) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Phenylalanine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Phenylalanine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2000.69, 2039.43, 2083.23 และ 2094.00 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Phenylalanine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 4.13 % และ 4.66 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9513 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพพยากรณ์คาด RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Phenylalanine

(6) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Tryptophan

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Tryptophan ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 394.22, 394.89, 369.86 และ 377.51 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับทุกสิ่งทดลอง และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.6076 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพพยากรณ์คาด RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Tryptophan

(7) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Lysine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Lysine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2377.30, 2414.03, 2438.12 และ 2448.04 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Lysine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 2.56 % และ 2.98 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9394 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพพยากรณ์คาด RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Lysine

(8) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Leucine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Leucine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 4201.93, 4407.12, 4516.83 และ 4619.96 mg/100g ในชุดการ ทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Leucine รวม ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 4.88 %, 7.49 % และ 9.95 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9688 ซึ่งปั่งกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพ ฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นเมื่อใช้พลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโน จำเป็น ชนิด Leucine

(9) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Arginine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Arginine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 2683.35, 2726.67, 1771.02 และ 2801.34 mg/100g ในชุดการ ทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1 โดยพบว่าปริมาณ กรดอะมิโนชนิด Arginine รวม ในสิ่งทดลอง HT1 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อ เปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 4.40 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.0256 ซึ่งปั่งกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉาย อนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นเมื่อใช้พลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Arginine

(10) กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Histidine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Histidine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 986.09, 1006.53, 1017.97 และ 1028.22 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Histidine รวม ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 2.07 %, 3.23 % และ 4.27 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9704 ซึ่งปั่งกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพ

ถ่ายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโน จำเป็น ชนิด Histidine

4.5.2 ปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น(Non-Essential amino acid)

ผลการศึกษาในพารามิเตอร์ประเภทกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น 8 ชนิด ได้แก่ Aspartic, Serine, Glutamic, Proline, Glycine, Alanine, Tyrosine, และ Cystine

(1) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Aspartic

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Aspartic ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4363.45, 4399.89, 4463.45 และ 4461.11 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Aspartic รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 2.29 % และ 2.24 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8871 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพถ่ายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Aspartic

(2) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Serine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Serine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2011.33, 2022.55, 2019.83 และ 2005.57 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Serine รวม ในสิ่งทดลอง HT3 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบ กับ CT พบว่าลดลง 0.29 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.1095 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพถ่ายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Serine

(3) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glutamic

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glutamic ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7033.90, 7071.55, 7149.95 และ 7174.66 mg/100g ในชุดการ

ทดสอบ CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดสอบชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดสอบ HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glutamic รวม ในสิ่งทดสอบ HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 1.65 % และ 2.00 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9625 ซึ่งปั่งบวกกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glutamic

(4) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Proline

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Proline ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 1895.18, 1910.59, 1928.42 และ 1923.40 mg/100g ในชุดการทดสอบ CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดสอบชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดสอบ HT2 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Proline รวม ในสิ่งทดสอบ HT2 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 1.75 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.794 ซึ่งปั่งบวกกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Proline

(5) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glycine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glycine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 1676.52, 1680.19, 1701.95 และ 1700.63 mg/100g ในชุดการทดสอบ CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดสอบชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดสอบ HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glycine รวม ในสิ่งทดสอบ HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 1.52 % และ 1.44 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8296 ซึ่งปั่งบวกกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glycine

(6) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Alanine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Alanine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 1648.09, 1616.51, 1613.05 และ 1631.99 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1 และ HT2 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Alanine รวม ในสิ่งทดลอง HT1 และ HT2 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าลดลง 1.92 % และ 2.13 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.1731 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Alanine

(7) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Tyrosine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Tyrosine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 1777.26, 1740.28, 1775.01 และ 1782.69 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Tyrosine รวม ในสิ่งทดลอง HT1 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าลดลง 2.04 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.1176 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Tyrosine

(8) กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Cystine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Cystine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซีงมีค่าเท่ากับ 426.76, 433.66, 394.58 และ 403.61 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Cystine รวม ในสิ่งทดลอง HT1 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าลดลง 7.54 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.5702 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Cystine

สรุปผลโดยภาพรวม

ผลการศึกษาในภาพรวมบ่งชี้ว่าถ้าห้องพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งปลูกภายใต้สถานการณ์โลกร้อนซึ่งมีระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ $2-5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งควบคุมให้เป็นไปตามระดับการคาดการณ์ภายใต้ภาพชายอนากต RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้น ได้รับผลกระทบที่ค่อนข้างชัดเจนในด้านผลผลิตที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีจำนวนเม็ดลีบเพิ่มขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก 100 เมล็ด สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และแปรผันตามแนวโน้มระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบด้วยค่า R₂ (0.9) ผลการศึกษาที่มีลักษณะทิศทางเดียวกันคือ ผลกระทบที่มีต่อระดับคลอรอฟิลล์เอ และ ระดับไนโตรเจนในใบลดลงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในการต่อชนิดพืชที่เพิ่มสูงขึ้นสังผลกระทบในลักษณะ 2 ทิศทางคือสังผลกระทบทำให้ปริมาณกรดอะมิโนบางชนิดลดลงแต่ทำให้กรดอะมิโนบางชนิดเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาในภาพรวมบ่งชี้ว่าในอนาคตหากเกิดสภาพโลกร้อนในประเทศไทยตามแนวโน้มภาพชายอนากต RCP ย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดของถั่วเหลืองรวมทั้งเปลี่ยนแปลงสารอาหารในเมล็ดได้จริง

5. ข้อเสนอแนะ

- 5.1 ผลการศึกษาควรเผยแพร่ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อไป ในเพื่อวางแผนระยะการปลูกที่เหมาะสมในการรับมือกับสถานการณ์ในอนาคต
- 5.2 ควรต่อยอดองค์ความรู้เพื่อการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 5.3 ควรต่อยอดองค์ความรู้ในการวิจัยเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสถานการณ์ภัยอากาศแปรปรวนที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาพโลกร้อนในอนาคต

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นองค์ความรู้ในการนำไปสู่การต่อยอดงานวิจัย

: แนวทางปฏิบัติ

เผยแพร่องค์ความรู้ในลักษณะการตีพิมพ์ผลงานในรูปแบบของบทความวิชาชีวะในประเทศและระดับนานาชาติ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการอ้างอิงเพื่อต่อยอดสู่การวิจัยต่อไป

: กลุ่มเป้าหมาย

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ สถาบันการศึกษา ศูนย์วิจัยพืชไร่ในประเทศไทย กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกถั่วเหลือง หน่วยงานภายใต้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สามารถนำองค์ความรู้ ไปใช้ในการวิจัยต่อเนื่อง พัฒนาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาแผนการจัดการรับมือกับสภาวะโลกร้อน และผลกระทบต่อถั่วเหลืองต่อไป

: ผลกระทบ ได้ข้อมูลแนวโน้มของผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนที่มีต่อผลผลิตถั่วเหลืองและ เตรียมแผนการรับมือได้ในอนาคตเนื่องจากสามารถคาดการณ์ความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ในอนาคตได้



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย	1
กิตติกรรมประกาศ	II
บทคัดย่อภาษาไทย	III
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	IV
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	V
สารบัญ	XXVII
สารบัญภาพ	XXVIII
สารบัญตาราง	XXXI
1.บทนำ	1
2.วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	2
3.ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
4.ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	5
5.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	7
6.การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	8
7.ระเบียบวิธีวิจัย	18
8.ผลการศึกษา	24
8.1 ระดับปัจจัยทางกายภาพในบรรยายกาศใน 4 ชุดการทดลอง	26
8.2 ผลกระทบของสภาพบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเม็ดถั่วเหลือง	29
8.3 ผลกระทบของสภาพบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณรังควัตถุในใบ	32
8.4 ผลกระทบของสภาพบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณในโตรเจนทั้งหมด ในใบ	40
8.5 ผลกระทบของสภาพบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของ ผลผลิต	42
9. สรุปและอภิปรายผล	63
10. เอกสารอ้างอิง	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	รายละเอียด	หน้าที่
ภาพที่ 1	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	7
ภาพที่ 2	ภาพตู้ทดลองระบบเปิดด้านบนภาคสนามซึ่งประยุกต์มาจากการวิจัยในปีงบประมาณ 2556	19
ภาพที่ 3	คุณไฟฟ้าเพื่อการควบคุมระดับอุณหภูมิในตู้ทดลองภาคสนาม	20
ภาพที่ 4	ค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิในตู้ทดลองระบบปิดของ 4 ตู้ทดลอง ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในระยะเวลา 10 ชั่วโมง	28
ภาพที่ 5	ผลผลิตของเม็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านจำนวนผักทั้งหมด / ตัน ของ พันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายในตู้ทดลอง 4 ระดับ	30
ภาพที่ 6	ผลผลิตของเม็ดถั่วเหลืองปัจจัยด้านจำนวนเม็ดทั้งหมด / ตัน ของ พันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายในตู้ทดลอง 4 ระดับ	31
ภาพที่ 7	ผลผลิตของเม็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านน้ำหนัก 100 เม็ด ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาพอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	32
ภาพที่ 8	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	33
ภาพที่ 9	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	34
ภาพที่ 10	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์บี (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	35
ภาพที่ 11	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์บี (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	36
ภาพที่ 12	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	37
ภาพที่ 13	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	38
ภาพที่ 14	แสดงปริมาณแครอทินอยด์ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการ	39

ตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ภาพที่ 15	แสดงปริมาณแครอทินอยด์ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	40
ภาพที่ 16	แสดงปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมด (Percentage of Total Nitrogen) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	41
ภาพที่ 17	แสดงปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมด (Percentage of Total Nitrogen) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	42
ภาพที่ 18	ปริมาณกรดอะมิโน Threonine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	44
ภาพที่ 19	ปริมาณกรดอะมิโน Valine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	45
ภาพที่ 20	ปริมาณกรดอะมิโน Methionine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	46
ภาพที่ 21	ปริมาณกรดอะมิโน Isoleucine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	47
ภาพที่ 22	ปริมาณกรดอะมิโน Phenylalanine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	48
ภาพที่ 23	ปริมาณกรดอะมิโน Tryptophan (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	48
ภาพที่ 24	ปริมาณกรดอะมิโน Lysine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	49
ภาพที่ 25	ปริมาณกรดอะมิโน Leucine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	50
ภาพที่ 26	ปริมาณกรดอะมิโน Arginine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	51
ภาพที่ 27	ปริมาณกรดอะมิโน Histidine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	52
ภาพที่ 28	ปริมาณกรดอะมิโน Aspartic (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ	53

อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

ภาพที่ 29	ปริมาณกรดอะมิโน Serine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	54
ภาพที่ 30	ปริมาณกรดอะมิโน Glutamic (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้ สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	55
ภาพที่ 31	ปริมาณกรดอะมิโน Proline (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	56
ภาพที่ 32	ปริมาณกรดอะมิโน Glycine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	57
ภาพที่ 33	ปริมาณกรดอะมิโน Alanine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	58
ภาพที่ 34	ปริมาณกรดอะมิโน Tyrosine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	59
ภาพที่ 35	ปริมาณกรดอะมิโน Cystine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ	60

สารบัญตาราง

ตารางที่

รายละเอียด

หน้าที่

1	แสดงค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิในรายวันที่ตรวจด้วย 4 สิ่งทดลอง (4 ระดับอุณหภูมิ)	27
2	ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นกว่าระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลองควบคุม ในช่วงระยะเวลาของครรภ์สูญและเทียบเท่ากับภาคฉาอยอนาคต-RCP	28
3	ผลรวมทั้งหมดขององค์ประกอบผลผลิตถ้วนเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งปลูกภายใต้สภาพปัจจัยด้านอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ระดับ	29
4	ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น 10 ชนิด ของถ้วนเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายใต้สถานการณ์อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ระดับใน 4 สิ่งทดลอง	43
5	ปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น 8 ชนิด ของถ้วนเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายใต้สถานการณ์อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ระดับใน 4 สิ่งทดลอง	52
6	สรุปภาพรวมของระดับเบอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$) ขององค์ประกอบผลผลิตภายใต้ระดับ อุณหภูมิของ 3 สิ่งทดลอง (โดยใช้ข้อมูลสิ่งทดลองชุดควบคุม CT เป็นฐานในการประเมิน)	61
7	สรุปภาพรวมของระดับเบอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของกรดอะมิโนชนิดจำเป็นต่างๆภายใต้ ระดับอุณหภูมิของ 3 สิ่งทดลอง (โดยใช้ข้อมูลสิ่งทดลองชุดควบคุม CT เป็นฐานในการประเมิน)	62
8	สรุปภาพรวมของระดับเบอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นต่างๆภายใต้ ระดับอุณหภูมิของ 3 สิ่งทดลอง (โดยใช้ข้อมูลสิ่งทดลองชุดควบคุม CT เป็นฐานในการประเมิน)	63

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

รายงานด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกจากหน่วยงานระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ฉบับล่าสุด (ฉบับที่ 5) ระบุว่า ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ร่วมกับการเกิดสภาพโลกร้อน ได้เกิดขึ้นมาหลายศตวรรษแล้ว โดย มีสาเหตุหลักจากการปลดปล่อยกําazi เรือนกระจกจากอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ และยังพบว่าการ แผ่รังสีความร้อนของโลก (radiative forcing) เกิดจากอิทธิพลของกําazi CO₂ มากกว่า 50% เมื่อเทียบกับ กําazi กําazi เเรือนกระจกชนิดอื่นๆ ข้อมูลจาก IPCC ยืนยันว่าสภาพโลกร้อนจะยังคงดำเนินต่อไปในอีกหลาย สิบปีและยังมีแนวโน้มว่าจะมีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคต (IPCC, 2013; กรณิตา ธนาเจริญชณภากส., 2558) เนื่องจากมีหลักฐานจากการคำนวณด้วยสมการเชิงเส้นร่วมกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า อุณหภูมิระดับพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นประมาณ 0.106 °C เมื่อเทียบเทียบระหว่างปี ค.ศ.1951-2012 และ คาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นอีก 2°C ในปี ค.ศ.2100 (IPCC, 2013) นอกจากนี้ ยังมีสถานการณ์ความผิดปกติ ของปัจจัยทางกายภาพในบรรยากาศ เช่นการเพิ่มระดับอุณหภูมิ หรือลดระดับอุณหภูมิในบางพื้นที่ระดับ อุณหภูมิสูงสุดยาวนาน และมีจำนวนวันมากขึ้น ระดับอุณหภูมิใหม่เย็นผิดคุณภาพ จำนวนวันที่หนาวเย็น ลดลง สภาวะอากาศสุดโต่งในหลายรูปแบบ หรือสภาวะอากาศแปรปรวนไม่คงที่ การเพิ่มและลดปริมาณ น้ำฝนในคุณภาพที่ผิดปกติจากสภาวะเดิม สถานการณ์ผิดปกติดังกล่าวจะรบกวนต่อกระบวนการทางสีรีวิทยา ของพืชอย่างแน่นอน ซึ่งทำให้นักวิชาการด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกมีความวิตกอย่างมากเนื่องจาก ปัจจัยในบรรยากาศที่แปรปรวน เช่นนี้จะส่งผลเชิงลบต่อธัญพืชซึ่งเป็นอาหารหลักของมนุษย์ในหลายพื้นที่ของ โลก อาทิเช่นในแอนดีเมริกา ยุโรป เอเชียและประเทศไทย ซึ่งในที่สุดย่อมคาดการณ์ได้ว่าแนวโน้มปัญหาการ ลดลงของผลผลิตทางการเกษตรของโลกและนำไปสู่ปัญหาความมั่นคงทางอาหารของโลกในอนาคต (กรณิตา ธนาเจริญชณภากส., 2558)

การศึกษาผลกระทบของสภาวะโลกร้อน และการแปรปรวนของระดับอุณหภูมิในบรรยากาศ ที่มีต่อภาคเกษตรกรรมในระยะเวลา 10 ปี ที่ผ่านมาพบว่าส่งผลต่อการลดศักยภาพในการให้ผลผลิตของพืชผล ทางการเกษตรในหลายประเทศ มีการประเมินว่าผลผลิตของโลกในแต่ละพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่จะลดลง ประมาณ 4-50 % หรืออาจเกิน 50 % ในสิบศตวรรษนี้ ทั้งนี้ขึ้นกับความรุนแรงในแต่ละพื้นที่ การศึกษาวิจัย ปัญหานี้ในพื้นที่แอบเชย อาทิเช่น จีน อินเดีย รวมทั้งประเทศไทย พบว่า สภาวะอากาศแปรปรวนไม่แน่นอน รวมทั้งการเกิดสภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบโดยตรงและทางอ้อมต่อการลดลงของผลผลิตและคุณภาพ สารอาหารของธัญพืชหลักหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวหอมมะลิไทย และถั่วเหลืองพันธุ์ของอินเดีย และถั่วเหลืองพันธุ์ของประเทศไทย (Lal et al., 1999; Hollister and Webber, 2000; Jacobson, 2002; Fuhrer, 2003; Prasad et al., 2006; IPCC, 2006; Thanacharoenchana-phas and Rugchati, 2011; กรณิตา ธนาเจริญชณภากส. และ อรรถ รักษา, 2551; กรณิตา ธนาเจริญชณภากส. และ โอลรัศก

ชาติ, 2552, กนิตา และคณะ, 2554; กนิตา รนเจริญชนกานต์, 2558) และจากการศึกษาในเชิงสรีวิทยาพบว่าถ้าถ้าเหลือสิ่งใดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญนิดหนึ่งของโลกมีความไวต่อการตอบสนองในทางลบต่อสภาวะอุณหภูมิสูงและแปรปรวนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในบรรยายกาศเป็นอย่างยิ่ง (Miller et al., 1994; Salvucci and crafts-Brandner, 2004; Mall et al., 2004; Thanacharoenchanaphas and Rugchati, 2011; Thanacharoenchanaphas and Rugchati, 2015; กนิตา และคณะ, 2554; กนิตา รนเจริญชนกานต์, 2558)

พิจารณาปัจจุบันนี้ในประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลจากการมอւตุนิยมวิทยาซึ่งได้พยากรณ์แนวโน้มของระดับการเพิ่มระดับอุณหภูมิในบรรยายกาศในเขตภาคเหนือในอนาคตโดยพบว่ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นประมาณ 4-5 องศาเซลเซียส และในทศวรรษที่ 2100 (ค.ศ.2091-2100) เมื่อเทียบกับในช่วงทศวรรษที่ 2000 (ค.ศ. 1991-2000) และการแสดงผลพยากรณ์ความแปรปรวนทางด้านสภาวะภูมิอากาศในปัจจัยอื่นๆ ที่มีแนวโน้มแปรปรวนมากขึ้น เช่น กัน (สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2552) รวมทั้งข้อมูลจากศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SEA START RC) ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณว่าในอนาคตหลายสิบปีข้างหน้า จำนวนวัน/ปี ที่มีอากาศเย็นในหลายจังหวัดของประเทศไทยรวมทั้งจังหวัดพิษณุโลกจะลดลง ในทางตรงข้ามจำนวนวัน/ปีที่อากาศร้อนจะเพิ่มขึ้น (Chinvanno and Snidvongs, 2007)

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ร่วมกับการตระหนักรถึงความสำคัญของพืชถ้าเหลือในแร่คุณค่าสารอาหาร และความเป็นพืชเกษตรเศรษฐกิจของไทย ซึ่งปลูกมากในเขตภาคเหนือ และเป็นพื้นที่ผลิตได้สูงสุดของประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2552) คณะผู้วิจัยจึงตระหนักรถึงสำคัญในการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิบรรยายกาศที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเด่นตรง ต่อแนวโน้มของปริมาณผลผลิตและปริมาณสารอาหารที่สำคัญคือกรดอะมิโนในถ้าเหลือ เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นและสร้างสมการคำนวณเพื่อคำนวณเปลี่ยนแปลงในอนาคตต่อไป ข้อมูลจากการวิจัยนี้จะเป็นฐานข้อมูลสำคัญในการทำความเข้าใจต่อปัญหาที่จะเกิดขึ้น และการคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับถ้าเหลือพืชที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต จะช่วยให้ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรสามารถดำเนินการจัดการเชิงนโยบายเพื่อการวางแผนเตรียมตัว หรือปรับตัวเพื่อรับมือกับสถานการณ์ในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อให้ทราบแนวโน้มผลกระทบระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเชิงเส้นที่มีต่อผลผลิตของถ้าเหลือพันธุ์เชียงใหม่ 60
- 2.2 เพื่อให้ทราบแนวโน้มผลกระทบระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเชิงเส้นที่มีต่อปริมาณกรดอะมิโนที่สำคัญของถ้าเหลือพันธุ์เชียงใหม่ 60
- 2.3 เพื่อให้ได้ข้อมูลทางคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเชิงเส้นและปริมาณผลผลิตรวมทั้งและปริมาณกรดอะมิโนที่สำคัญของถ้าเหลือพันธุ์เชียงใหม่ 60

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้กำหนดกรอบและขอบเขตการดำเนินงานไว้ดังนี้

3.1 พื้นที่ของการปลูกถั่วเหลืองในการวิจัย

ใช้พื้นที่แปลงสาธิต คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

3.2 พันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์เด่น

ในการศึกษา เลือกศึกษาในถั่วเหลืองสายพันธุ์เด่น (Soybean Promising Lines) ของภาคเหนือ ซึ่งได้รับการคัดเลือกพันธุ์มาแล้ว 1 พันธุ์ คือ เชียงใหม่ 60 เป็นถั่วเหลืองที่ได้จากการทดสอบพันธุ์ระหว่างถั่วเหลืองพันธุ์ William ซึ่งมีลำต้นแข็งแรงมีจำนวนฝักต่อต้นมากเป็นพันธุ์แรกกับพันธุ์สูง 4 ซึ่งเป็นพันธุ์พ่อให้ผลผลิตสูงทนทานต่อโรคราสนิม เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ทนทานต่อโรคราสนิม หมายเหตุที่จะเป็นพันธุ์มาตรฐาน (ศูนย์วิจัยพืชเชียงใหม่, 2558)

3.3 การสร้างสถานการณ์ล้อกร้อนภาคสนาม

การสร้างสถานการณ์ล้อกร้อนภาคสนามดำเนินการโดยการใช้ระบบตู้ทดลองแบบเปิดด้านบนสำหรับวางในภาคสนาม (Field-Open Top Chamber System) ร่วมกับการควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมระดับอุณหภูมิให้แตกต่างกันโดยเพิ่มระดับแนวโน้มการเพิ่มระดับให้เป็นแนวโน้มสั่นตรง 7 ระดับ

3.3.1 Field-Open Top Chamber System

สร้างระบบงานทดลองภาคสนาม โดยใช้ตู้ทดลองแบบเปิดด้านบน (Open Top Chamber; OTC) สำหรับการทดลองภาคสนาม ขนาด 1.5×1.5 ตารางเมตร สูง 2.5 เมตร โดยประยุกต์มาจาก งานวิจัยในงบประมาณแผ่นดิน 2556-2558 (กนิตา ธนเจริญชนก้าว และไอลอรัส รักษาติ, 2558) จำนวน 14 โรงเรือน (ภาพที่ 2) ลักษณะของ Open Top Chamber คลุมด้วยพลาสติกใสรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเปิดหลังคาด้านบน และมีหลังคาหุ้มด้วยพลาสติกใสเพื่อกันน้ำฝน (เพื่อการควบคุมการได้รับน้ำ และระดับความชื้นในบรรยากาศ)

3.3.2 การกำหนดระดับอุณหภูมิ

เลือกกำหนดสถานการณ์ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 ระดับ หรือ 4 สิ่งทดลอง โดยใช้ระบบการควบคุมด้วยไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงาน 10 ชั่วโมง / วัน ตั้งแต่เวลา 7.00-17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

- CT สิ่งทดลองควบคุมระดับอุณหภูมิเทียบเท่าภายนอกโรงเรือน
- HT1 สิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ในช่วง $1.1-2.6^{\circ}\text{C}$
- HT2 สิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ในช่วง $1.4-3.1^{\circ}\text{C}$
- HT3 สิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ในช่วง $2.6-4.8^{\circ}\text{C}$

3.4 ดัชนีชี้วัดบ่งชี้ผลกระบทในด้านผลผลิตทำการวัดพารามิเตอร์ดังนี้

3.4.1 จำนวนฝัก/ต้น

3.4.2 จำนวนเม็ดทั้งหมด /ต้น

3.4.3 คำนวณจำนวนผลผลิตทั้งหมด /พื้นที่ 1.5×1.5 ตารางเมตร

3.5 การประเมินผลกระบทของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณรงค์วัตถุในใบ ดัชนีชี้วัดบ่งชี้ผลกระบทในด้านผลกระบท ดังนี้

3.5.1 รงค์วัตถุ ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ

-ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

-ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

3.5.2 รงค์วัตถุ ชนิดคลอโรฟิลล์ บี

-ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

-ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

3.5.3 คลอโรฟิลล์ทั้งหมด

-ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

-ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

3.5.4 รงค์วัตถุ ชนิดแคโรทีนอยด์

-ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

-ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

3.6 การประเมินผลกระบทของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณในโตรเจนทั้งหมดในใบ ดัชนีชี้วัดบ่งชี้ผลกระบทในด้านผลกระบท ดังนี้

3.6.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

3.6.2 ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

3.7 ดัชนีชี้วัดบ่งชี้ผลกระบทในด้านกรดอะมิโน

กรดอะมิโนที่จะทำการวิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณกรดอะมิโนในถั่วเหลืองทั้งหมด 18 ชนิด ดังนี้

3.7.1 กรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) 10 ชนิด ได้แก่

3.7.1.1 กรดอะมิโน ชนิด Threonine

3.7.1.2 กรดอะมิโน ชนิด Valine

3.7.1.3 กรดอะมิโนชนิด Methionine

3.7.1.4 กรดอะมิโน ชนิด Isoleucine

3.7.1.5 กรดอะมิโน ชนิด Phenylalanine

3.7.1.6 กรดอะมิโน ชนิด Tryptophan

3.7.1.7 กรดอะมิโน ชนิด Lysine

3.7.1.8 กรดอะมิโน ชนิด Leucine

3.7.1.9 กรดอะมิโน ชนิด Arginine

3.7.1.10 กรดอะมิโน ชนิด Histidine

3.7.2 กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non- Essential amino acid) 8 ชนิด ได้แก่

3.7.2.1 กรดอะมิโน ชนิด Aspartic

3.7.2.2 กรดอะมิโน ชนิด Aerine

3.7.2.3 กรดอะมิโน ชนิด Glutamic

3.7.2.4 กรดอะมิโน ชนิด Proline

3.7.2.5 กรดอะมิโน ชนิด Glycine

3.7.2.6 กรดอะมิโน ชนิด Alanine

3.7.2.7 กรดอะมิโน ชนิด Tyrosine

3.7.2.8 กรดอะมิโน ชนิด Cystine

4. ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

หลักฐานจากการคำนวณด้วยสมการเชิงเส้นร่วมกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าอุณหภูมิ

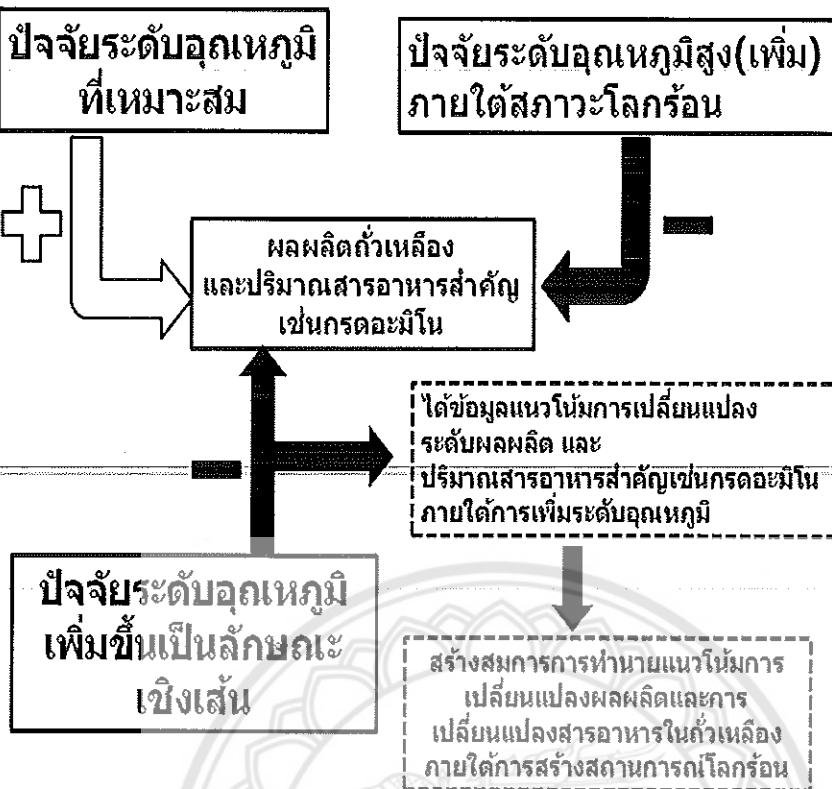
ระดับพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นประมาณ 0.106°C เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี ก.ศ.1951-2012 และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นอีก 2°C ในปี ก.ศ.2100 (IPCC, 2013) ระดับอุณหภูมิวิกฤติทั้งในระดับที่สูงกว่าและต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดนั้น ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสีรีวิทยาของพืช อาทิ เช่น ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง เร่งอัตราการหายใจแสง (photorespiration) ลดปริมาณรงค์วัตถุเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้น้ำ เร่งอัตราการใช้อาหาร ลดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตสารอาหารลดการผลิตสารอาหารบางประเภท ที่สำคัญต่อมนุษย์ และเพิ่มอนุមูลอิสระในเนื้อยื่อ เป็นต้น (Munakata, 1976; Furhrer, 2003; Wheeler et al., 1993; Newton et al., 1994; Wurr et al., 1996; Nijs et al., 1996; Hollister and Webber, 2000; Greer and Weston, 2010; Greer and Weedon, 2012) เนื่องจากการอุณหภูมิในภาวะที่สูงเกินจุดเหมาะสมนั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเอนไซม์หลายชนิดและส่งผลต่อเนื่อง หลายประการ เช่น การสร้างอาหาร การสร้างเมล็ด เป็นต้น (Peet and Willits, 1998; ภาควิชาระบบที่สิริกุล, 2550; ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) และมีการศึกษาโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ระบุว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นระดับอุณหภูมิจะยิ่งส่งผลต่อการลดผลผลิตทางการเกษตรของโลกในอนาคต (Tan and

Shibasaki, 2003) นอกจานั้นยังมีการศึกษาที่ยืนยันว่าระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไป และระดับอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป ล้วนส่งผลกระทบต่อพืชและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ส่งผลกระทบเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง Tyagi and Triathi (2005) เนื่องจากพืชประเภท C3 เช่นถั่วเหลือง จะมีความไวต่อการตอบสนองในเชิงลบต่อสภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงมากกว่าพืช C4 เช่นข้าวสาลี และกระบวนการตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียดของอุณหภูมนั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการสร้างพลังงานอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงกลไกกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการนำคาร์บอนมาใช้ในกระบวนการสร้างอาหาร เช่น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ rubisco ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการดึง CO_2 ให้จับกับ RuBp ในกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง และส่งผลอย่างต่อเนื่องจนนำไปสู่การลดผลผลิต (Salvucci and crafts-Brandner, 2004)

ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวจึงมีสมมติฐานว่า

มีความสัมพันธ์ในลักษณะสหสัมพันธ์ศึกทางเชิงลบระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิและปริมาณผลผลิต และปริมาณกรดอะมิโนของถั่วเหลือง (การเพิ่มอุณหภูมิจะยิ่งส่งผลต่อการลดผลผลิตและลดปริมาณกรดอะมิโนของถั่วเหลือง)

จากปัญหาดังกล่าวจึงนำมาสู่กรอบแนวคิดการวิจัย ซึ่งแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าปัจจัยตัวแปรต้นคือระดับอุณหภูมิเหมาะสมจะส่งผลต่อตัวแปรตามคือระดับผลผลิตและระดับสารอาหารประเภทกรดอะมิโนมีปริมาณที่เหมาะสม แต่ถ้ากรณีตัวแปรต้นเปลี่ยนแปลงคือมีระดับที่ไม่เหมาะสมซึ่งในที่นี้คือระดับสูงขึ้น จะส่งผลต่อตัวแปรตามในเชิงลบ และถ้าการศึกษาเพิ่มระดับตัวแปรต้นให้มีลักษณะแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเชิงเส้น จะได้ผลจากตัวแปรตามที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นหรือเห็นแนวโน้มขอทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่สามารถพยากรณ์ผลกระทบจากสภาพอากาศร้อนที่เกิดขึ้นต่อถั่วเหลืองในอนาคตได้อย่างแม่นยำมากขึ้น



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

เป็นองค์ความรู้ในการนำไปสู่การต่อยอดงานวิจัย

: แนวทางปฏิบัติ

เผยแพร่องค์ความรู้ในลักษณะการตีพิมพ์ผลงานในรูปแบบของบทความทางวิชาชีวะในประเทศไทยและระดับนานาชาติ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการอ้างอิงเพื่อต่อยอดศึกษาวิจัยต่อไป

: กลุ่มเป้าหมาย

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้แก่ สถาบันการศึกษา ศูนย์วิจัยพืชไร่ในประเทศไทยกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกถั่วเหลือง หน่วยงานภายใต้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ในการวิจัยต่อเนื่อง พัฒนาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาแผนการจัดการรับมือกับสภาวะโลกร้อนและผลกระทบต่อ ถั่วเหลืองต่อไป

: ผลกระทบ ได้ข้อมูลแนวโน้มของผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนที่มีต่อผลผลิตถั่วเหลืองและเตรียมแผนการรับมือได้ในอนาคตเนื่องจากสามารถคาดการณ์ความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

6. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกและสภาพโลกร้อน

ข้อมูลจากรายงานด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกหน่วยงานระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ฉบับที่ 1-5 (AR; Assessment Report I-V) ระบุว่าปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ร่วมกับการเกิดสภาพโลกร้อน เกิดขึ้นมาได้หลายศตวรรษแล้ว (IPCC, 2001; IPCC, 2002, IPCC, 2006; IPCC, 2007, IPCC, 2013) รายงานฉบับที่ 4 ของ IPCCระบุว่าในช่วงระยะเวลา ที่ผ่านมาระหว่าง ค.ศ. 1995-2006 เป็นปีที่ร้อนที่สุดเท่าที่เคยบันทึกได้โดยตรงตั้งแต่ ค.ศ. 1850 และในศตวรรษที่ผ่านมาในช่วงปี ค.ศ. 1906-2005 อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกเพิ่มขึ้น 0.74 (0.56 - 0.92) $^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2007) ส่วนรายงานฉบับที่ 5 ของ IPCC (AR 5) ซึ่งเป็นฉบับล่าสุด ยังยืนยันว่าสภาพโลกร้อนจะยังคงดำเนินต่อไปในอีกหลายสิบปีและยังมีแนวโน้มว่าจะมีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคต และเมื่อคำนวณด้วยสมการเชิงเส้นพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 0.106 $^{\circ}\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี ค.ศ. 1951-2012 และคาดการณ์ว่ามีแนวโน้มความเป็นไปได้ว่าจะเพิ่มขึ้นอีก 2°C ในปี ค.ศ. 2100 ภายใต้การพิมพ์ขึ้นของก๊าซ CO_2 มากกว่า 40% เมื่อเทียบกับช่วงก่อนยุคอาณาจักร (IPCC, 2013) นอกจากนี้ในการศึกษาเมื่อเร็วๆนี้พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 เพิ่มในระดับ 11.7 ppm ในช่วง 6 ปี คือระหว่างปี ค.ศ. 2005-2011 ทำให้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011 ค่าเฉลี่ยระดับก๊าซ CO_2 ในบรรยากาศโลกมีระดับสูงถึง 390.5 ppm หรือประมาณ 400 ppm ซึ่งสูงที่สุดตั้งแต่ศตวรรษที่ 17 (Prather et al., 2012) ซึ่งถ้าหากการเพิ่มระดับก๊าซ CO_2 ยังมีแนวโน้มลักษณะเช่นนี้ในอนาคตอุณหภูมิพื้นผิวโลกจะมีโอกาสสูงขึ้นได้ถึงระดับ 1.4°C ถึง 2°C ภายใต้ระดับก๊าซ CO_2 เพิ่มในระดับ 580 ppm ถึง $1,000 \text{ ppm}$ (Clarke et al., 2014)

การศึกษาเพื่อประเมินสถานการณ์ภาวะโลกร้อนโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายภาวะอุณหภูมิของโลกได้ดำเนินมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี โดยนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ซึ่งผลที่ได้แม้ว่าตัวเลขข้อมูลที่ได้มีความแตกต่างกันในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามข้อมูลได้บ่งชี้ไปในทิศทางเดียวกัน คือ อุณหภูมิโลกยังคงเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตอย่างแน่นอน ซึ่งผลการศึกษาที่ต่างกันนี้ย่อมขึ้นกับปัจจัยร่วมที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งปัจจัยหลักที่ใช้ร่วมในการคำนวณ คือปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยหลักนั่นเอง (IPCC, 2006) อาทิเช่น การใช้แบบจำลอง HadCM3 Model โดย Johns et al.(2003) ผลการศึกษาประเมินว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลก จะเพิ่มขึ้นในระดับ 2.9 - 3.3°C ในศตวรรษหน้าและเฉพาะในประเทศไทยระบุว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นถึง 4 - 8°C ซึ่งผลที่ได้ความแตกต่างจากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HadGEM Model โดย Stott et al.(2006) ซึ่งระบุผลการศึกษาว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกจะเพิ่มขึ้นในระดับ 3.4 - 3.8°C ในศตวรรษหน้า และผลการทำนายอุณหภูมิในประเทศไทยระบุว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในระดับ 3 - 5°C เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองทั้ง 2 พบว่า HadGEM Model โดย Stott et al. (2006) แสดงผลการทำนายการเพิ่มระดับอุณหภูมิสูงเป็นค่าระดับที่สูงกว่า ซึ่งได้มีการประเมินความเสี่ยหายในเชิงเศรษฐกิจจากการสูญเสียพืชพรรณในเขตพื้นที่อนุรักษ์ของแพริการจากปัญหาสภาพอุณหภูมิสูงเป็นมูลค่าสูงถึง 74.5 ล้านдолลาร์สหรัฐ ในปี 2100 โดยใช้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการประเมินผลและยังมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ.2065 มูลค่าความเสี่ยหายนี้ แนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกมาก (Velarde *et al.*, 2005)

ผลกระทบของสภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อผลผลิตทางการเกษตร

ผลกระทบที่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกให้ความตระหนักเป็นอย่างมาก คือปัญหาด้านความเสี่ยง ต่อการขาดแคลนอาหารของโลกในอนาคต เนื่องจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ปัญหาสภาวะโลกร้อน การเสื่อมของทรัพยากรดิน น้ำ หรือ การเปลี่ยนแปลงที่ดิน นั้นย่อมส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของ ความมั่งคงทางอาหารที่สำคัญ คือ เสถียรภาพ (Stability) ทางอาหาร อันเนื่องมาจากการทำให้เกิดสภาวะ ความไม่มั่นคงทางอาหารตามฤดูกาลอันเนื่องมาจากฤดูกาลแปรปรวน สภาวะโลกร้อน หรือการลดลงของ อาหารตามศักยภาพเดิมที่เคยผลิตได้ในพื้นที่หนึ่งๆ การวิจัยผลกระทบของสภาวะภูมิอากาศแปรปรวนที่มีต่อ ผลผลิตทางการเกษตรพบผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน นั่นคือการปลูกพืชเกษตรภายใต้สภาวะภูมิอากาศ แปรปรวนส่งผลต่อการลดคุณค่าผลผลิตอาหารจากการเกษตร (Cure and Acock, 1986) มีหลักฐานที่เกิดขึ้น แล้วอาทิเช่น ข้าวในทวีปเอเชียมีผลผลิตลดลง 10% เมื่ออุณหภูมิโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทุกๆ 1°C ของอุณหภูมิ ต่ำสุดของวัน ไร่ฝ้าย ข้าวโพด และถั่วเหลืองที่สหรัฐอเมริกา ผลผลิตจะลดลง 30-46% ภายใต้ภาวะที่โลกร้อน ที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ และลดลง 63-82% หากโลกร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นต้น (กนิษ타 ชนเจริญชนภานุส, 2558) ยิ่งกว่านั้นมีประยุกต์ใช้การศึกษาและพยากรณ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบร่วมนิยามการ เพิ่มระดับอุณหภูมิ และ การเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลต่อการลดอัตราผลผลิตทาง การเกษตรของโลกในอนาคต (Cure and Acock, 1986; Mall *et al.*, 2004 ; Tan and Shinasaki, 2003) และที่น่าสนใจคือข้อมูลจากรายงานของกลุ่ม IPCC ซึ่งได้สรุปประเด็นที่น่าสนใจของผลกระทบของการ เปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศอันเนื่องมาจากการสภาวะโลกร้อนในเอเชียในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา นี้ ส่งผลต่อ การลดศักยภาพผลิตของพืชเศรษฐกิจการเกษตรในเกือบทุกประเทศในเอเชีย ซึ่งคาดว่าผลผลิตในเอเชียใต้จะ ลดลงไปประมาณ 4-10% ในสิบครู่ (Tan and Shinasaki, 2003; IPCC, 2007)

การศึกษาในประเทศไทยกำลังพัฒนาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน Cline (2007) ได้ใช้ statistical model และ crop model ประเมินว่าผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยกำลังพัฒนา จะลดลงจากปัจจุบัน 20 % ใน ปี ค.ศ.2080 ผลผลิตในประเทศไทยจะลดลง 15% สอดคล้องกับการศึกษาของ Gerald *et al.* (2009) ซึ่งได้ ประยุกต์แบบจำลองทางเศรษฐกิจ IMPACT ร่วมกับแบบจำลองพืช DSSAT ประเมินว่าผลผลิตการเกษตรและ คุณภาพชีวิตของประเทศไทยกำลังพัฒนา จะลดลงจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก และเมื่อได้มีการ ประเมินผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากการลดผลผลิตทางการเกษตรในประเทศไทยแบบพื้นที่เอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ โดย Zhai and Zhuang (2009) ได้รายงานว่า GDP ของประเทศไทยในเอเชียตะวันออกเฉียง

ให้จะลดลง 1.4 เปอร์เซ็นต์ และที่น่ากังวลคือผลการศึกษา ระบุว่า GDP ในประเทศไทยลดลงร้อยละ 2.4 ซึ่งเป็นปอร์เซ็นต์สูงที่สุดในกลุ่ม

ส่วนการศึกษาในประเทศไทย พบว่าภาวะโลกร้อนจะเป็นผลเสียต่อการผลิตพืชและรายได้ต่อครัวเรือนของประชากรอย่างมาก จึงจำเป็นที่จะต้องเตรียมให้เกษตรกรปรับตัวกับภาวะดังกล่าว เนื่องจากเมื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Seasonal Ricardian mode เพื่อการศึกษาปัจจัยความแปรปรวนของระดับอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนที่มีต่ออัตราผลผลิตพืชไว้ในประเทศไทยว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น และส่งผลต่อการลดอัตราผลผลิตของพืชไว้ และแนวโน้มยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต (ในสภาวะอุณหภูมิเพิ่มขึ้น) และยังแสดงผลที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งว่า ปัจจัยจากสภาวะโลกร้อนมีผลกระทบต่ออัตราผลผลิตของพืชไว้มากกว่าความแปรปรวนจากปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย (Kabubomariara และ Karanja, 2007; Mariara and Karanja, 2007)

ประเทศไทยเดียเป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่สำคัญสำหรับการเกษตรกรรม มีการศึกษาในอัญพืชหลักของอินเดียทั้ง ข้าว และถั่วเหลือง ในพื้นที่ภาคกลางและพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำคงคา ผลการศึกษามีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่อื่นๆ ของโลก อาทิเช่น การศึกษาผลกระทบของสภาวะภูมิอากาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตถั่วเหลืองในประเทศไทยเดียโดย Lal et al.(1999) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CROPGRO เพื่อศึกษาปัจจัยแปรปรวนของระดับอุณหภูมิ และความชื้น ในระดับบิกถูก พบร่วมผลผลิตถั่วเหลืองในเขตพื้นที่เกษตรกรรมตอนกลางของประเทศไทยเดียจะลดลง และเมื่อพิจารณาปัจจัยการปลูกถั่วเหลืองภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานต่อเนื่องทั้งฤดูกาลปลูก พบร่วมผลกระทบรุนแรงกว่าการสัมผัสในระยะสั้นไม่ต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาจากปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มระดับ CO_2 และระดับอุณหภูมิ พบร่วมในกรณีการเพิ่มระดับ CO_2 เพียงปัจจัยเดียวทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นถึง 50 % แต่ในกรณีการปลูกภายใต้ปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่ม CO_2 และเพิ่มระดับอุณหภูมิขึ้นไปอีก 3°C กลับหยุดยั้งการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลือง ข้อมูลนี้ได้รับการยืนยันอีกครั้งด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CROPGRO เช่นเดียวกัน โดย Mall et al. (2004) ศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างระดับอุณหภูมิสูง ร่วมกับปัจจัยการเพิ่มขึ้นของ CO_2 2 เท่า ทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองลดลงประมาณ 10-20 % ต่อมาได้มีการศึกษายกที่ราบลุ่มแม่น้ำคงคาโดย Mishra et al..(2013) ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศไทยเดีย พบร่วมผลผลิตข้าวเจ้าลดลงจาก 120 กิโลกรัม/เฮกตาร์ จากปี ค.ศ.1985 เหลือเพียง 50 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ในช่วงปี ค.ศ.2000 การลดลงของผลผลิตในพื้นที่นาข้าวແบนี้จะส่งผลต่อเสถียรภาพของความมั่งคงทางอาหารในภูมิภาคนี้ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยร่วมอื่นๆ เช่นการเพิ่มจำนวนประชากรซึ่งคาดการณ์ว่าจะเพิ่มเป็น 1.6 พันล้านภายใน ค.ศ. 2050 ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำ ระดับอุณหภูมิสูงขึ้น ระดับ CO_2 ในบรรยากาศสูงขึ้น และความแปรปรวนของปัจจัยภูมิอากาศต่างๆ ปัจจัยเหล่านี้จะยิ่งทำให้ปัญหาการขาดแคลนอาหารรุนแรงขึ้นในแบบที่ราบลุ่ม แม่น้ำคงคา ทั้งในปัจจุบันและอนาคต

ประเทศไทย เป็นประเทศที่ให้ความสำคัญกับผลผลิตทางการเกษตรกรรม พิจารณาจากพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยกินเนื้อที่ประมาณ 27% ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด มีผลผลิตประมาณ 37 % ของรักษาทุกประเภทในประเทศไทย อย่างไรก็ตามพบว่าจีนประสบกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย จีนเกิดขึ้นมาเรียบร้อยหนึ่งเดลี่ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยเพิ่มขึ้นประมาณ $0.5\text{--}0.8^{\circ}\text{C}$ ถ้าเปรียบเทียบกับ 100 ปีก่อน แต่พบว่าในช่วงระยะเวลา 50 ปี คือระหว่างปี ก.ศ. 1951 ถึง ก.ศ. 2001 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรื่มหาก็จะระดับ 1.1°C โดยพบว่าเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ปี ก.ศ. 1980 ต้านปัจจัยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยพบร่วมกับพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 10-15% ต่อทศวรรษ การศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในระหว่างปี ก.ศ. 1961- ก.ศ. 2010 นั้น ส่งผลทำให้ข้าวซึ่งปลูกรอบเดียวใน 1 ปี ในพื้นที่เขตตะวันออกเฉียงเหนือของจีนเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลทำให้พื้นที่ปลูกข้าวตอนกลางและตะวันออกลดลง ขณะเดียวกันพื้นที่ซึ่งปลูกข้าว 2 ครั้งต่อปี ได้รับผลกระทบในเชิงลบเป็นส่วนมาก ประเมินการสูญเสียผลผลิตข้าวในระบบการปลูกกลั่นจะสูงกว่า 1.9 % ขณะเดียวกันพบว่าถ้าระดับอุณหภูมิลดลงกว่าค่าเฉลี่ยปกติทำให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ซึ่งปลูกรอบเดียวใน 1 ปี ลดลงมากกว่า 3% และลดลง 2% ในพื้นที่ซึ่งปลูกข้าว 2 ครั้งต่อปี ซึ่งแสดงว่าข้าวในพื้นที่ปลูกในประเทศไทยมีการตอบสนองในเชิงลบทั้ง 2 สภาวะคือ อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ (Chao et al., 2014) ประเทศไทยในเอเชียพบผลการศึกษาที่น่าสนใจ เช่นกัน ตัวอย่างกรณีการศึกษาในประเทศไทยเดลี่ ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาพอุณหภูมิสูงขึ้นที่มีต่อพืชไร่ 60 ชนิดโดยสัมพันธ์กับข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณ (Chang, 2002) พบว่าปรากฏการณ์โลกร้อนร่วมกับความแปรปรวนของภูมิอากาศเป็นปัจจัยร่วมกันในการเกิดผลกระทบจากการลดผลผลิตของพืชทางการเกษตร

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าว เกิดขึ้นเนื่องจาก สภาวะภูมิอากาศที่ไม่เหมาะสม (โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงหรือต่ำ) ที่ก่อให้เกิดความเครียด(stress) ของพืชนั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในเชิงสรีริวิทยาที่ซับซ้อน จากการศึกษาวิจัยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญอันดับต้นต่อการเจริญเติบโตและการรอดของพืช เมื่องด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมในเนื้อเยื่อพืชคืออุณหภูมิที่พิชรับจากรังสีดวงอาทิตย์หรือจากสภาวะแวดล้อมในกรณีนี้ และก่อให้เกิดสภาวะสมดุลพลางงานทั้งการนำไปใช้ในกลไกทางสรีริวิทยาและการเก็บไว้ในเนื้อเยื่อ เพื่อรักษาสภาวะ ส่งผลต่อการทำงานของเมtabolismus ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ที่ซบกโดยส่วนใหญ่ของระบบนิเวศโลก จะมีความคงทนต่อระดับอุณหภูมิ ตั้งแต่ $0\text{--}40^{\circ}\text{C}$ ซึ่งความแตกต่างของความคงทนต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นจะขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ ช่วงระยะเวลาการเติบโต และสภาพแวดล้อมอื่นๆในที่ระบบนิเวศบริเวณนั้นด้วย (Jones, 1992) การศึกษาวิจัยในประเด็นที่คล้ายคลึงกันนี้ได้มีอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ โดยมีกลุ่มผู้ร่วมวิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่สำคัญพบร่วมกับ ซึ่งได้พบว่าระดับ

อุณหภูมิที่สูงกว่าระดับวิกฤตนั้น ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช อาทิ เช่น อัตราการใช้น้ำ อัตราเร่งการใช้ชาตุอาหาร ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตสารอาหาร ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อน ระยะออกผล หรือ ระยะการสืบทันต์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการผลิตผลิตในระยะสุดท้าย ซึ่งส่งผลทำให้ผลผลิตรวมลดลง และมีข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาร่วมกันของนักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มที่ระบุได้ชัดเจนว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิของพื้นที่การเกษตรนั้น ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อพืชทางการเกษตรในหลาย ๆ ประการ เช่น ลดการสร้างมวลชีวภาพ ลดอัตราผลผลิต ลดประสิทธิภาพของการผลิต เมล็ดได้จริงและผลการศึกษาเกี่ยวกับคล้องกัน (Wheeler *et al.*, 1993; Newton *et al.*, 1994; Wurr *et al.*, 1996; Nijss *et al.*, 1996 ; Hollister and Webber, 2000)

การศึกษาผลกระทบของสภาพอากาศอุณหภูมิสูงในพืช ในระดับสรีรวิทยานั้นพบว่า กรณีของพืชที่เติบโตภายใต้สภาพอากาศอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ทั้งระดับที่สูงหรือต่ำเกินไปทำให้พืชเกิดสภาพเสีย สมดุลพัลส์งานในเนื้อเยื่อ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และโดยทั่วไปแล้วหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกว่าระดับปกติ 10-15 °C สภาวะอุณหภูมิสูงยังสามารถทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชเนื่องจากการ เช่นการเกิดสภาพ เนื้อเยื่อตาย (necrosis) (Jones, 1992) หรือการเกิดภาวะช็อกหรือภาวะเครียดจากอุณหภูมิ (temperature stress) (Jones, 1992) และยังส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์จนมีผลต่อการออก น้ำหนักของมวลชีวภาพ และการสร้างสารอาหารในเมล็ด (ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550) นอกจากนั้นยังพบว่า พืชจะถูกเร่งกระบวนการการดูดธาตุอาหารมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มอัตราการหายใจนั่นเอง แต่ถ้า อุณหภูมิสูงเกินระดับ 40 °C อัตราการดูดธาตุอาหารกลับลดลง ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลต่อ การทำลายเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหาร เช่น กัน (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) และพบว่าปัจจัยการ เพิ่มระดับของอุณหภูมิในบรรยายศาสส์ผลประโยชน์อย่างมากต่อภาคการเกษตรทั่วโลกในปัจจุบัน ซึ่งผลกระทบ นั้นได้แก่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐาน กระบวนการทางสรีรวิทยา เป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทาง ชีวเคมีอันซับซ้อน รวมทั้งส่งผลกระทบการเจริญและเติบโต ซึ่งผลกระทบอย่างต่อเนื่องนี้ส่งผลต่อภาวะเศรษฐกิจใน ระดับโลกในระยะยาว (Wahid *et al.*, 2007 ; Hall, 2001)

ผลกระทบทางลบของระดับสภาวะอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสร้างโปรตีน ในพืช จัดว่าเป็นงานศึกษาที่สำคัญและมีการศึกษาวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง กลุ่มนักวิจัยของอเมริกา (Irmak *et al.*, 2008) ได้ศึกษาพบว่าการปลูกข้าวสาลีภายใต้สภาวะอุณหภูมิช่วงกลางวันในระดับเฉลี่ย 40 °C ส่งผลต่อ การลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ Glutenin ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งของในเมล็ดข้าวสาลี จากการศึกษา ข้อมูลพบว่าผลที่ปรากฏดังนี้น่าจะเกี่ยวเนื่องจากระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะส่งผลกระทบต่อการทำลายโครงสร้าง ของโปรตีนในเอนไซม์ และพบว่าในกรณีที่การสร้างเอนไซม์ของพืชลดลงตั้งแต่ในระยะเริ่มต้นของการ เจริญเติบโตจะส่งผลกระทบต่อการลดการผลิต โปรตีนในเมล็ด โปรตีนในเอนไซม์ คลอโรฟิลล์ และ RNA (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) และได้มีการศึกษาพบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ของโปรตีนในรูปแบบต่างๆ ร่วมกับการเพิ่มระดับการสร้าง ROS (reactive oxygen species) และ

องค์ประกอบประเภทต่างที่เป็นพิษ ซึ่งโดยภาพรวมจะเป็นผลเสียต่อพืชอย่างต่อเนื่องด้วย (Wahid et al., 2007; Schöffl et al., 1999; Howarth, 2005) อายุรักษ์ตามพบร่วมกับว่าพืชมีกลไกป้องตัวเองจากสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยพบว่าที่ระดับอุณหภูมิกินระดับวิกฤตในพืชชนิดนั้น (มักเกินระดับ 40 °C) ทำให้พืชเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน และจะกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์โปรตีนที่เรียกว่า heat shock proteins (HSPs) ขนาด 15-18 kDa ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อป้องเซลล์ไม่ให้ได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากการร้อน และปริมาณ HSPs ที่เพิ่มขึ้นนี้ยังสัมพันธ์กับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ อาร์เอ็นเอนำรหัส (mRNA) ภายในเวลาเพียง 3-5 นาที ซึ่ง mRNA นี้เป็น RNA ที่ทำหน้าที่ช่วยในการสร้างโปรตีน ซึ่งถือว่าเป็นกลไกหนึ่งในการป้องเซลล์จากภาวะอุณหภูมิสูงอีกประการหนึ่ง (Ho and Sachs, 1989)

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชนั้น เป็นปฏิกริยาที่มีoenไซม์ควบคุมและการทำงานของoenไซม์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นสำคัญ ข้อมูลการศึกษาพบว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชประเภท C3 เช่นแคร์เพลสิ่ง ข้าวเจ้า จะมีความไวต่อการตอบสนองในทางลบต่อภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงมากกว่าพืช C4 เช่นข้าวสาลี และกระบวนการตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียดของอุณหภูมนั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการสร้างพลังงานอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงกลไกกรรมการทำงานของoenไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการนำคาร์บอนมาใช้ในกระบวนการสร้างอาหาร เช่น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงoenไซม์ rubisco ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการตรึง CO₂ ให้จับกับ RuBp ในกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง และส่งผลอย่างต่อเนื่องจนนำไปสู่การลดผลผลิต (Salvucci and Crafts-Brandner, 2004)

งานวิจัยในลักษณะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และงานวิจัยภาคสนามที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของสภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงต่อรัญพืช

นอกจากการศึกษาในเชิงสรีรวิทยาแล้ว ยังได้มีการศึกษาในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อให้ได้คำตอบในประเด็นผลกระทบหรือการตอบสนอง ของพืชทางเกษตรที่มีต่อสภาวะปัจจัยภูมิอากาศแปรปรวน โดยมีทั้งการศึกษาในรูปแบบการทำนายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ หรือการวิจัยศึกษาในภาคสนามโดยจำลองสถานการณ์ให้เกิดขึ้นเสมือนจริง โดยนักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้ที่เน้นศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิโลกที่สูงขึ้นที่มีต่อพืชพรรณทางการเกษตร และได้มีการศึกษาอย่างจริงจังและต่อเนื่องจนมาถึงปัจจุบันผลการศึกษาในภาพรวมทั่วโลก พบว่าอัตราผลผลิตของพืชไร่ในโลกมีความสัมพันธ์เป็นอย่างยิ่งกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก และส่งผลต่อสภาวะเศรษฐกิจของโลก และรายงานเพิ่มเติมว่าผลผลิตของพืชไร่ในหลายพื้นที่ของโลกในปัจจุบัน ลดลงได้สูงสุดต่อสภาวะที่บรรยายค่าอุณหภูมิสูงขึ้นจริง ซึ่งทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการเพิ่มผลผลิตพืชทางการเกษตรดังกรณีศึกษาดังนี้ถ้าเหลือเป็นพืชการเกษตรที่สำคัญประเภทหนึ่งซึ่งเติบโตและมีผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพภายใต้การปลูกในช่วงระหว่างอุณหภูมิ 25-30 °C (Whigham, 1983) การวิจัยผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมที่ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองได้ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน อาทิเช่น การวิจัยในประเทศไทยเดียว ได้ศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิของต้นระดับที่แตกต่างกัน ที่มีต่อการออกซิเจนเม็ดถั่วเหลือง ซึ่งการทดลองของ Tyagi and Tripathi

(2005) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลืองภายใต้สภาวะอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ $24.2 - 32.8^{\circ}\text{C}$, $24.3 - 30.4^{\circ}\text{C}$, $24.5 - 29^{\circ}\text{C}$ และ $23.0^{\circ}\text{C} - 38.4^{\circ}\text{C}$ พบว่าการปลูกในดินที่มีระดับอุณหภูมิระหว่าง $24.2 - 32.8^{\circ}\text{C}$ มีความเหมาะสมต่อการออกมากที่สุด

การศึกษาวิจัยของกลุ่มนักวิจัยในหน่วยงาน USDA (United States Department of Agriculture) ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยเริ่มศึกษาตั้งแต่ระดับ V คือระยะการออกจนถึงช่วงก่อนออกดอก ระยะการออกดอกคือระดับ R และศึกษาจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า ถั่วเหลืองซึ่งปลูกใน Open Top Chamber ที่ระดับ 18-27 และระดับ $30-37^{\circ}\text{C}$ มีผลการศึกษาซึ่ดว่า ถั่วเหลืองเกิดสภาวะความเครียดจากการดับความร้อนในบรรยายกาศ (heat-stressed) โดยแสดงผลขัดเจนที่ ช่วงการเจริญระยะ R เป็นต้นไป และยังแสดงผลขัดเจนในการลดคุณภาพในเม็ดถั่วเหลืองถ้าได้รับสภาวะนี้ในระยะยาวคือตั้งแต่ระดับ R5 จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (Chengwei et al., 2005)

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) และ IE (Inference Engine) โดยกลุ่mvijayของ Tan and Shinasaki (2003) เพื่อคำนวณผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตร ในปี ค.ศ.2010 ค.ศ.2020, ค.ศ.2030 และ ค.ศ.2040 ผลที่ได้คือพบว่าผลผลิตทางการเกษตรรายปีจะลดลงในพื้นที่ในโลกจะลดลงอย่างเนื่องด้วยผลกระทบของภาวะโลกร้อน

ประเทศไทยเดียวกับประเทศไทยที่มีต่อผลผลิตของข้าวสาลีโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CSIRO's Global atmosphere model คำนวณสภาวะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับการเพิ่มระดับก๊าซ CO_2 ในบรรยายกาศพบว่า ผลผลิตข้าวสาลีจะลดลง 29 % ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตในเงื่อนไข การไม่เพิ่มระดับก๊าซcarbon dioxide แต่หากอยู่ภายใต้สภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิร่วมกับการเพิ่มระดับก๊าซ CO_2 ผลผลิตข้าวสาลีจะลดลง 25% (Anwar et al., 2007) การศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตทางการเกษตรในภาคสนาม เป็นงานวิจัยอีกประเด็นหนึ่งซึ่งได้มีการศึกษามาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน อาทิเช่น การวิจัยของ Wheeler et al. (1993) ได้ทำการทดลองภาคสนาม โดยใช้เครื่องพ่นความร้อนส่งผ่านท่อโพลีเอทธิลีนในแนวราบทั้งควบคู่กับการปรับระดับก๊าซ carbon dioxide เพื่อศึกษาผลกระทบต่อผักชนิดต่างๆ ต่อมานewton (1994) ได้สร้างสภาวะจำลองสถานการณ์อุณหภูมิสูงขึ้นโดยการให้ความร้อนในแปลงทดลองข้าวไรย์ และพบว่าผลผลิตได้ลดลงในสภาวะในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น ต่อมากำกับ Wurr et al. (1996) นักวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย ได้ศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่ตามแนวโน้มของภาวะโลกร้อน ต่อพืชทางการเกษตร 3 ชนิดคือ ผักกาดหอม (*Iceberg lettuce* (*Lactuca sativa* (L.))) กระเทียม (*Leek* (*Allium ampeloprasum* (L.))) และกระหลาดอก (*Roscoff cauliflower* (*Brassica oleracea* var. *botrytis* (L.))) โดยการจำลองสภาวะการณ์บรรยายกาศที่มีระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยใช้ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ระดับบรรยายกาศจริงในชุดควบคุมและใช้ท่อส่งความร้อนในแนวลาด ที่มีความกว้าง 8.7 m เมตร ความยาว 31.9 m ส่งผ่านอุณหภูมิในพื้นที่ทดลองเพื่อปรับระดับอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าระดับเฉลี่ย 4°C ในชุดทดลองเปรียบเทียบ การศึกษาพบว่า กลุ่มทดลองที่ให้

ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นเร่งระยะเวลาช่วงเก็บผลไดของผักกาดหอมให้สั้นขึ้น แต่ยังคงระยะเวลาของการเก็บผลไดของกระหลาดออกเกิน 49 วัน และยังเพิ่มจำนวนใบของกระหลาดออกอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาเพื่อวิจัยผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อผลผลิตของ ข้าวไรซ์ชั่งเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญโดย Nijs (1996) ในสวิตเซอร์แลนด์ ได้ผลการศึกษาที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง โดยในการวิจัย คณะผู้วิจัยได้สร้างสภาพจำลองโลกร้อนโดยการใช้ เครื่องทำความร้อนร่วมกับแสงอินฟราเรด (1500 w IR lamp) โดยใช้ระบบอิเลคทรอนิกควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ให้สูงกว่าปกติประมาณ 2.5°C โดยเปรียบเทียบ กับชุดควบคุมซึ่งได้รับอุณหภูมิปกติ ผลการศึกษาในแปลงทดลองพบว่าชุดทดลองซึ่งได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้มวลชีวภาพส่วนเหนือดินซึ่งวัดโดยน้ำหนักแห้งลดลงถึง 52% และลดอัตราผลผลิตลง ถึง 48% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

การประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนมีกันอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาโดยกลุ่มคณะวิจัยของ Norby et al. (1997) ประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาพอุณหภูมิที่สูงขึ้นร่วมกับการเพิ่มระดับก๊าซ CO_2 มีต่อไม้ยืนต้น กลุ่มนักวิจัยได้ควบคุม อุณหภูมิใน Open Top Chamber ควบคุมโดยใช้ท่อส่งความร้อนเพื่อบรรบให้อุณหภูมิสูงขึ้น และ พัดลมเป่า เพื่อปรับลดระดับอุณหภูมิ และการศึกษาในระบบบินเวกในเขตทุน dra โดย Hollister และ Webber (2000) ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี เช่น การศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่ สูงขึ้นในระบบบินเวกอื่นๆ โดยการประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อปรับอุณหภูมิในพื้นที่ทุ่งหญ้าอัลไพน์ เพื่อศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์ของพืชพรรณชนิด ต่างๆในระบบบินเวกทุ่งหญ้าแบบอัลไพน์ ในการศึกษา Kudernatsch et al. (2007) ผลการศึกษาพบว่ากลุ่ม พืชที่ได้อัญในสภาพอุณหภูมิสูงขึ้นมีสภาพการเติบโตและแพร่พันธุ์เพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้มีการตรวจธาตุอาหารทั้ง ในพืชและในดินแต่อย่างใด

พบว่ากลุ่มนักวิทยาศาสตร์แบบบูรณาและอเมริกาเหนือได้มีความสนใจในการวิจัยผลกระทบของการ เพิ่มอุณหภูมิที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตรเช่นเดียวกัน อาทิเช่น การศึกษาในข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.)) โดย Chowdhury and Wardlaw (1978) ได้ศึกษาในภาคสนามโดยปลูกใน Chamber ภาคสนาม ในเขตเทกซัส สหรัฐอเมริกา พบว่า ผลผลิตของเมล็ดข้าวฟ่างลดลงถึง 50 % ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ $33/28^{\circ}\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองซึ่งปลูกภายใต้ สภาวะอุณหภูมิ $30/25^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีข้อมูลที่แสดงผลสอดคล้องกัน คือการทดลองของ Prasad et al. (2006) นักวิจัยกลุ่มนี้ ศึกษาผลกระทบของสภาพอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นใน บริยากาชที่มีต่อผลผลิตของข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.)) โดยการปลูกใน Chamber เพื่อทดลองใน ภาคสนามเช่นเดียวกัน โดยการควบคุมอุณหภูมิ ให้มีความแตกต่างกันโดยการ ผลการศึกษาพบว่าการปลูก ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่า $36/26^{\circ}\text{C}$ ส่งผลต่อการลดการผลิตเกร porrอย่างมีนัยสำคัญ และ ลดการผลิต เมล็ดข้าวฟ่าง ถึง 10 % เมื่อเปรียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิ $32/22^{\circ}\text{C}$

การศึกษาประเด็นปัญหานี้ในประเทศไทยได้ดำเนินการระยะหนึ่งแล้ว โดยการศึกษาด้วยการ สร้างสภาพการณ์จำลองสถานการณ์ความแปรปรวนของระดับอุณหภูมิ ที่มีอิทธิพล ต่อข้าว และพืช ถัวเหลือง อาทิเช่น การศึกษาโดย กนิษฐา ธนาเจริญชนกานต์ และโอลิฟ รักษา (2551 และ 2552) ได้สร้าง

แบบจำลองสภาพการณ์โลกร้อนในพื้นที่นาข้าว เพื่อปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในฤดูการปลูกจริงในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกโดยประยุกต์ใช้ Open Top Chamber ลักษณะปोร์สเพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับคือ 30°C , 35°C และ 40°C ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับ 35°C เป็นอุณหภูมิที่กระตุ้นให้ต้นข้าวโตเร็วและมีมวลข้าวภาพที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ชุดการศึกษา แต่กลับพบว่ามีปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิ 30°C และ 40°C ผลการศึกษาในปัจจัยอัตราผลผลิตพบว่า ชุดการทดลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงสุดที่ 40°C มี เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ได้ผลผลิตดี/รวม ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีระดับอุณหภูมิ 30°C และ 35°C โดยลดลง 9.7 % และ 12.3 % ผลการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเบื้องต้นโดยวิธี RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) พบว่าการปลูกข้าวภายใต้ความแห้งต่างของระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับ ในระยะยาวส่งผลต่อการจำแนกแบบเดียวกันที่แตกต่างออกเป็น 3 กลุ่มอย่างชัดเจน

จากนั้นในปี พ.ศ. 2552-2554 ได้ทำการศึกษาปัญหาในรูปแบบเดียวกันนี้ในถ้ำเหลืองพัฒนรุ่นเยาว์ใหม่ 60 ชีวุปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่แปรปรวนในฤดูการปลูกที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ $30\text{-}33^{\circ}\text{C}$, $33\text{-}36^{\circ}\text{C}$ และ $37\text{-}40^{\circ}\text{C}$ ในช่วงระยะเวลา 2 รุ่นผลผลิต ผลการศึกษาพบว่า ถ้ำเหลืองแสดงการตอบสนองในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อสภาวะอุณหภูมิสูงกว่าระดับธรรมชาติในด้านการเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มระดับความสูง แต่ไม่พบความแตกต่างในด้านผลผลิตในระยะเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม พบว่าเมล็ดถ้ำเหลืองซึ่งได้รับการปลูกภายใต้อุณหภูมิ $37\text{-}40^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นสภาวะที่อุณหภูมิสูงที่สุดมีระดับไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในผลผลิตรุ่นที่ 2 และ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางพันธุกรรมโดย AFLPs พบว่า กลุ่มการศึกษาในระดับอุณหภูมิที่ต่ำและสูงที่สุดมีลักษณะทางพันธุกรรมแยกประเภทออกจาก 2 กลุ่มอย่างชัดเจน ในผลผลิตรุ่นที่ 2 เช่นเดียวกัน (Thanacharoenchanaphas and Rungchati, 2011; ณิทา และ คณะ, 2554)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในประเทศไทย

จากรายงานการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคตของ Chinvanno and Snidvongs (2007) กล่าวว่า การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยในช่วงระยะเวลาซึ่งได้ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2546-2548 โดยการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตข้างหน้าโดยศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัย และฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SEA START RC) ได้รวมมือกับทางหน่วยงาน Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) ประเทศออสเตรเลีย ทำการศึกษาและจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ซึ่งรวมถึงประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM) ภายใต้โครงการนำร่องศึกษาในชุดโครงการ Assessment of Impact and Adaptation to Climate Change in Multiple Sectors and Multiple Regions (AIACC) ภายใต้การศึกษาวิจัยภายใต้โครงการนำร่องดังกล่าว ได้มีการจัดทำสถานการณ์จำลองสภาพภูมิอากาศ โดยใช้เงื่อนไข ระดับกําช CO₂ ซึ่งเป็นกําชเรือนกระจกที่สำคัญในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นจาก 360 ppm เป็น 540 ppm และ 720 ppm หรือ

เพิ่มขึ้นประมาณหนึ่งเทาครึ่งและส่องเทาจากช่วงทศวรรษที่ 1980 ซึ่งเป็นช่วงปัจจุบันที่ใช้ในการศึกษา (ซึ่งพิจารณาจากแนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO₂ ตามสถานการณ์จำลองทางคณิตศาสตร์ CCAM climate model คำนวณสภาพอากาศรายวันของภูมิภาค เป็นเวลา 10 ปี ในแตละเงื่อนไขของสภาพความเขมข้นของก๊าซ CO₂ ในบรรยากาศ โดยทำการคำนวณในความละเอียดเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูง (10x10 km) ได้ผลสรุปว่า ทิศทางและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยในอนาคตจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่มีฝนมากขึ้นในเกือบทุกภาคของประเทศไทย swollen อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดในประเทศไทยจะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก อาจเพิ่มสูงขึ้น หรือลดลง ประมาณ 1-2 °C แต่การเปลี่ยนแปลงปัจจัยอุณหภูมิที่สำคัญ ประการหนึ่งคือ จำนวนวันที่อากาศเย็นในรอบปีลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ประเมินว่าจำนวนวันที่มี “อากาศเย็น” โดยเฉลี่ยรายปี (วันที่มีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่า 15 °C) ในหลายจังหวัดมีจำนวนวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าจังหวัดในเขตภาคเหนือ และภาคเหนือตอนล่าง ล้วนแต่ได้รับผลกระทบดังกล่าว เช่น จังหวัดตากมีการคาดการณ์ว่า จำนวนวันที่มีอากาศเย็นจากปัจจุบัน 97 วัน/ปี จะเหลือ 52 วัน/ปี ในอนาคต 40 ปีข้างหน้า และจะเหลือเพียง 18 วัน/ปี ในอนาคตอีก 80 ปีข้างหน้า ส่วนผลการศึกษาในจังหวัดพิษณุโลกคาดการณ์ว่าจำนวนวันที่มีอากาศเย็นจากปัจจุบัน 90 วัน/ปี จะเหลือ 80 วัน/ปี ในอนาคต 40 ปีข้างหน้า และจะเหลือเพียง 43 วัน/ปี ในอนาคตอีก 80 ปีข้างหน้า ส่วนจำนวนวันที่มีอุณหภูมิกึ่งระดับ 33 °C จะเพิ่มจำนวนวันในจังหวัดพิษณุโลกเช่นเดียวกัน นั่นคือจากปัจจุบัน 73 วัน/ปี เพิ่มเป็น 67 วัน/ปีในอนาคตอีก 40 ปีข้างหน้า และเพิ่มเป็น 102 วันในอนาคต 80 ปีข้างหน้า

กล่าวโดยสรุป จากข้อมูลในเบื้องต้นได้กล่าวถึงไปแล้วว่า สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกและการเพิ่มระดับอุณหภูมิ จากการเพิ่มขึ้นและการคงอยู่ของก้าวเรือนกระจาก จะยังคงดำเนินอยู่ต่อไป อีกหลายทศวรรษและประเทศไทยเป็นพื้นที่หนึ่งที่จะได้รับผลกระทบในลักษณะดังกล่าวต่อเนื่องอีกหลายสิบปี เช่นกัน ดังนั้นการวิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นต่อภาคการเกษตรกรรม ซึ่งหมายถึงความมั่นคงทางอาหารของคนไทยในอนาคตนั้น เป็นการทำความเข้าใจต่อปัญหาที่จะเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างฐานข้อมูลที่แม่นยำเพื่อเป็นประโยชน์ต่อคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับธุรกิจพืชที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต จะช่วยให้ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรสามารถดำเนินการจัดการเชิงนโยบายเพื่อการวางแผนเตรียมตัว หรือปรับตัวเพื่อรับมือกับ สถานการณ์ในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

7. ระเบียบวิธีวิจัย

7.1 พื้นที่วิจัย

กำหนดพื้นที่วิจัย เพื่อปลูกถั่วเหลือง ณ พื้นที่แปลงวิจัยคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ประมาณ 600 ตารางเมตร สำหรับถั่วเหลือง และวางแผนอุปกรณ์ชุดทดลองในพื้นที่ทั้งหมด

7.2 การจัดการปลูกถั่วเหลือง

(1) การคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลือง

ในการศึกษา เลือกศึกษาในถั่วเหลืองสายพันธุ์ดีเด่น (Soybean Promising Lines) ของภาคเหนือ ซึ่งได้รับการคัดเลือกพันธุ์มาแล้ว 1 พันธุ์ คือ เชียงใหม่ 60 เป็นถั่วเหลืองที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างถั่วเหลืองพันธุ์ William ซึ่งมีลำต้นแข็งแรงมีจำนวนฝักต่อต้นมาก เป็นพันธุ์แม่ กับพันธุ์สจ.4 ซึ่งเป็นพันธุ์พ่อให้ผลผลิตสูงทนทานต่อ โรคราสนิม เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ทนทานต่อโรคราสนิม เหมาะสมที่จะเป็นพันธุ์มาตรฐาน (ศูนย์วิจัยพืชเชียงใหม่, 2558)

(2) การจัดการระบบปลูกในแปลงวิจัย

ใช้ระบบการปลูกในฤดูกาลปลูก ในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน 2560

2.1 ทำการเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกถั่วเหลืองโดยการไถพรวน ปรับลงดินที่มีคุณภาพร่วมกับการใส่ปุ๋ยเตรียมพร้อมสำหรับปลูก

2.2 กำหนดช่วงการปลูกในช่วงเดือน กalgo เดือนมกราคม- ต้นเดือนเมษายน เมื่อเมล็ดแสดงการเจริญอายุ 15 วัน (15 DAE; day after emergence) จะเริ่มควบคุมปัจจัยสภาพอากาศ ตามแผนการวิจัย จนกระทั่งเก็บเกี่ยว

2.3 ทำการยกแปลงปลูกที่มีระยะห่าง 20×40 เซนติเมตร โดย 1 สิ่งทดลอง (treatment) จะใช้พื้นที่พื้นที่เท่ากับโรงเรือนขนาด สี่เหลี่ยมจัตุรัส 1.5×1.5 ตารางเมตร

7.3 การควบคุมระดับอุณหภูมิในผู้ทดลองระบบเปิดระบบอากาศด้านบน (Open Top Chambers)

ในการวิจัยครั้งนี้มีการควบคุมระดับอุณหภูมิให้มีความแตกต่างกันภายใต้ระบบโรงเรือนระบบเปิดด้านบน Open Top Chambers ซึ่งจะควบคุมระดับอุณหภูมิให้แตกต่างกัน 4 ระดับ หรือ 4 สิ่งทดลอง ตามการคาดการณ์จากสภาพอากาศ RCP (ย่อมาจาก Representative Concentration Pathways) ที่ระบุตัวเลขแสดงค่าการแพร่รังสีความร้อน หน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตรดังนี้ (IPCC, 2013)

CT	สิ่งทดลองควบคุมระดับอุณหภูมิเทียบเท่า ตามแนวโน้มสภาพอากาศที่มีการแพร่รังสีความร้อนที่ภายนอก โรงเรือน	ระดับ 2.6 W/m^2 (RCP2.6)
HT1	สิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ในช่วง $1.1-2.6^\circ\text{C}$	ระดับ 4.5 W/m^2 (RCP4.5)
HT2	สิ่งทดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT	ตามแนวโน้มสภาพอากาศที่มีการแพร่รังสีความร้อนที่

ในช่วง $1.4\text{--}3.1^{\circ}\text{C}$	ระดับ 6.0 W/m^2 (RCP6.0)
HT3 สิ่งทึ่ดลองที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า CT ตามแนวโน้มสภาพอากาศที่มีการแพร่รังสีความร้อนที่ในช่วง $2.6\text{--}4.8^{\circ}\text{C}$	ระดับ 8.5 W/m^2 (RCP8.5)

ลักษณะของโรงเรือนระบบเปิดด้านบน (OCT: Open Top Chamber) เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $1.5 \text{ เมตร} \times 1.5 \text{ เมตร} \times 2 \text{ เมตร}$ และหุ้มด้วยพลาสติกใส มีช่องระบายอากาศด้านบนและมีการใช้ระบบไฟฟ้า (หลอดไฟสีเขียวเพิ่มระดับอุณหภูมิ และเครื่องปรับอากาศลดระดับอุณหภูมิ) ในการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ทดลอง โดยจะมีการใช้ระบบควบคุมไฟฟ้าเวลาปิดและเปิดอัตโนมัติเป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน (ช่วงเวลา 07.00 - 17.00) ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และบันทึกระดับอุณหภูมิต่อเนื่อง 4 ครั้งต่อวันตลอดระยะเวลาในการปลูกตัวเหลือง 4 เดือน



ภาพที่ 2 ภาพตู้ทดลองระบบเปิดด้านบนภาคสนามซึ่งประยุกต์มาจากการวิจัยในปีงบประมาณ 2556 จาก กนิษฐา รุนเจรูญชณากас และ โอลิฟ รักษา (2558)

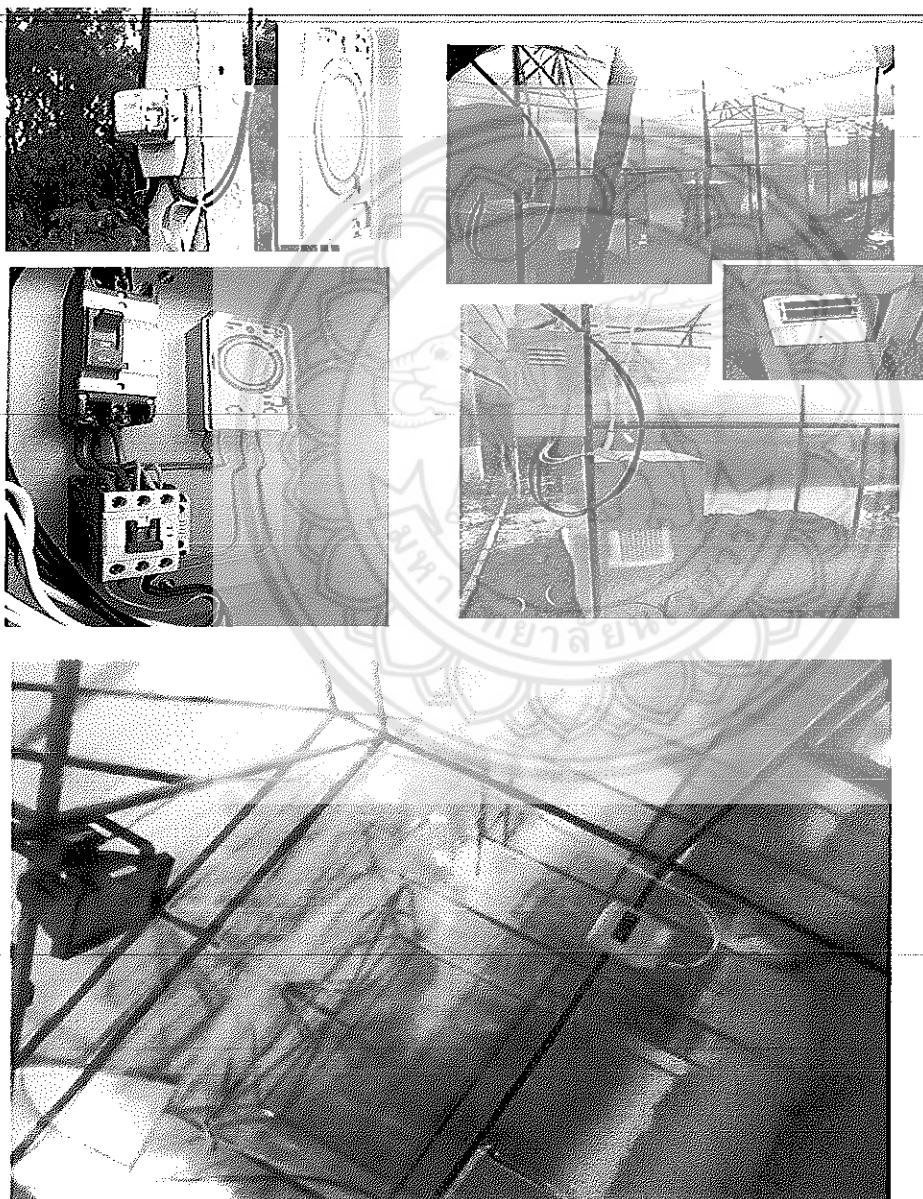
7.4 การวางแผนการวิจัย

(1) การวางแผนการทดลอง

กำหนดวางแผนการทดลองในหน่วยการทดลองเป็นแบบ Random Completed Block Design (RCBD) 4 ชั้า (4 replications)

(2) สิ่งทดลอง (Treatment)

กำหนดจำนวนสิ่งทดลอง ทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง และมี 4 ชั้า โดยการกำหนดชุดทดลองดังกล่าว ขึ้นกับ ปัจจัยระดับอุณหภูมิ 4 ระดับตั้งที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 6.3 โดยจัดพื้นที่ในการปลูก 1 แปลง เท่ากับ 12 ต้น (12 ต้น /1 แคร = 1 ชั้า) และ จัดการพื้นที่ให้ปลูกได้ 2 แคร = 2 ชั้า ใน 1 ตู้ทดลองระบบเปิด)



ภาพที่ 3 คุณไฟฟ้าเพื่อการควบคุมระดับอุณหภูมิในตู้ทดลองภาคสนาม

7.5 การเก็บผลการทดลองและวิเคราะห์ผลด้านคุณภาพผลผลิตสารอาหาร

ทำการวิเคราะห์ ด้วยชีวัตทางด้านสุริวิทยาบางประการ, ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตดังนี้

(1) ประเมินคุณภาพผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง ในระยะ Full Maturity Stage โดยกำหนดด้วยชีวัตบ่งชี้ ผลกระทบในด้านผลผลิต ดังนี้

1) จำนวนฝัก/ต้น

2) จำนวนเมล็ดทั้งหมด /ต้น

3) จำนวนจำนวนผลผลิตทั้งหมด /พื้นที่ 1.5×1.5 ตารางเมตร

(2) การประเมินผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณรงค์วัตถุในใบ ด้วยชีวัตบ่งชี้ ผลกระทบในด้านผลกระทบ ดังนี้

1) รงค์วัตถุ ชนิดคลอร็อฟิลล์ เอ

1.1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

1.2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสีบพันธุ์

2) รงค์วัตถุ ชนิดคลอร็อฟิลล์ บี

2.1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

2.2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสีบพันธุ์

3) คลอร์ฟิลล์ทั้งหมด

3.1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

3.2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสีบพันธุ์

4) รงค์วัตถุ ชนิดแคโรทีนอยด์

4.1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

4.2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสีบพันธุ์

(3) การประเมินผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณในโตรเจนทั้งหมดในใบ ด้วยชีวัตบ่งชี้ ผลกระทบในด้านผลกระทบ ดังนี้

1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

2) ระยะการเจริญเติบโตทางการสีบพันธุ์

(4) การประเมินการผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิต ด้วยชีวัตบ่งชี้ผลกระทบในด้านผลกระทบ ดังนี้

1) ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid)

1.1 กรดอะมิโน ชนิด Threonine

1.2 กรดอะมิโน ชนิด Valine

- 1.3 กรดอะมิโน ชนิด Methionine
- 1.4 กรดอะมิโน ชนิด Isoleucine
- 1.5 กรดอะมิโน ชนิด Phenylalanine
- 1.6 กรดอะมิโน ชนิด Tryptophan
- 1.7 กรดอะมิโน ชนิด Lysine
- 1.8 กรดอะมิโน ชนิด Leucine
- 1.9 กรดอะมิโน ชนิด Arginine
- 1.10 กรดอะมิโน ชนิด Histidine

2) ปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non- Essential amino acid)

- 2.1 กรดอะมิโน ชนิด Aspartic
- 2.2 กรดอะมิโน ชนิด Aerine
- 2.3 กรดอะมิโน ชนิด Glutamic
- 2.4 กรดอะมิโน ชนิด Proline
- 2.5 กรดอะมิโน ชนิด Glycine
- 2.6 กรดอะมิโน ชนิด Alanine
- 2.7 กรดอะมิโน ชนิด Tyrosine
- 2.8 กรดอะมิโน ชนิด Cystine

7.6 การตรวจปัจจัยทางกายภาพและในบรรยายกาศ

ตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพและเคมีในบรรยายกาศในโรงเรือนทั้ง 14 โรงเรือน ตลอดระยะเวลาการ
วิจัยดังนี้

- 1) ระดับอุณหภูมิ เคลื่อน สูงสุด และต่ำสุด / วัน

7.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

(1) วิเคราะห์สหสัมพันธ์ วิเคราะห์ในเชิงคณิตศาสตร์เพื่อประเมินความสัมพันธ์และทิศทางระหว่างการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิเชิงเส้นตรงและปริมาณผลผลิตในแต่ละองค์ประกอบ และ ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ โดยการคำนวณ สหสัมพันธ์อย่างง่าย (r) เพื่อหาความสัมพันธ์และทิศทางแนวโน้มของความสัมพันธ์ และ สัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) เพื่อสร้างสมการทำนาย
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) (r) หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย
การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยรีสัน

ในการคำนวณหาค่า r สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

โดย r = แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อ่อนย่างจ่ายระหว่าง X กับ Y

$\sum X$ = ผลรวมทั้งหมดของคะแนนชุด X

$\sum Y$ = ผลรวมทั้งหมดของคะแนนชุด Y

$\sum X^2$ = ผลรวมทั้งหมดของกำลังสองของคะแนนชุด X

$\sum Y^2$ = ผลรวมทั้งหมดของกำลังสองของคะแนนชุด Y

$\sum XY$ = ผลรวมทั้งหมดของผลคูณระหว่าง X กับ Y แต่ละคู่

N = จำนวนสมาชิกในกลุ่ม

การทดสอบสมมติฐาน

ใช้วิธีเปิดจากตารางค่าวิกฤตของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อ่อนย่างจ่าย

ในการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติยังสามารถนำค่า r ที่คำนวณได้ไปเทียบกับค่าวิกฤตของ r ได้จากตารางค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์เพียร์สันได้โดยตรง

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ/ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination) (r^2)

ค่า R-Squared คือตัวสถิติที่ใช้วัดว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้นี้มีความสมรูปกับข้อมูลมากน้อยอย่างไร หรือรู้จักกัน ในอีกความหมายหนึ่งว่าเป็น ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ค่า R-Squared ถือเป็นค่าที่นำมาใช้วัดว่าตัวแบบสมการเชิงเส้นที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ การคำนวณจะได้สมการการทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง x และ y ซึ่งในการวิจัยก่อนที่จะตัดสินใจใช้สมการการทำนายจะต้องประเมินค่า R-Squared เสียก่อนว่าเหมาะสมที่จะใช้ประเมินสมการหรือไม่ โดยมีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยคำนวณจากสูตร

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \\ &= \frac{b^2 [\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n]}{\sum y_i^2 + \frac{(\sum y_i)^2}{n}} \\ &= \frac{SSR}{SST} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และสัมประสิทธิ์การกำหนดจะต้องนำมาพิจารณารวมกับสถิติอื่นๆ เช่นค่าความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งทดลอง ดังแสดงใน 6.7.2

(2) นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเลือกใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่าง 7 สิ่งทดลอง แบบ F-Test ตามลำดับและเลือกวิเคราะห์ปัจจัยเดียวแบบ One Way ANOVA และเลือกวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทดสอบเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทุกกลุ่มทดลอง

8. ผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่อง การจำลองสถานการณ์โดยร้อนด้วยระบบตู้ทดลองภาคสนามเพื่อการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มระดับอุณหภูมิบรรยายกาศในลักษณะเชิงเส้นตรง และผลผลิตรวมทั้งปริมาณสารอาหารประเภทกรดอะมิโนของถั่วเหลือง และผลการศึกษาในรายงานฉบับนี้มีดังนี้

ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

8.1 ระดับปัจจัยทางกายภาพในบรรยายกาศ

ระดับปัจจัยทางกายภาพในบรรยายกาศใน 4 ชุดการทดลอง

ตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพและเคมีในบรรยายกาศในโรงเรือนทั้ง 16 หลังตลอดระยะเวลา การวิจัยดังนี้

8.1.1 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ย

8.2 ผลกระทบของสภาพบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง

8.2.1 จำนวนฝักทั้งหมด /ต้น

8.2.2 จำนวนเมล็ดทั้งหมด/ต้น

8.2.3 น้ำหนัก 100 เมล็ด

8.3 ผลกระทบของสภาพบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในใบ

8.3.1 รงควัตถุ ชนิดคลอรโฟิลล์ เอ

-ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

-ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

8.3.2 รงควัตถุ ชนิดคลอรโฟิลล์ บี

-ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

-ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

บค
กส 1
ก. ๖๕๖
ก ๑๙๒๘
ก ๕๖๑



8.3.3 คลอร์ฟีลล์ทั้งหมด

- ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น
- ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

8.3.4 วงศ์ตฤณ ชนิดแคร์ทีนอยด์

- ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น
- ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

8.4 ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบ

8.4.2 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

8.4.3 ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

8.5 ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิต

8.5.2 บริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น(Essential amino acid)

- 8.5.2.1 กรดอะมิโน ชนิด Threonine
- 8.5.2.2 กรดอะมิโน ชนิด Valine
- 8.5.2.3 กรดอะมิโน ชนิด Methionine
- 8.5.2.4 กรดอะมิโน ชนิด Isoleucine
- 8.5.2.5 กรดอะมิโน ชนิด Phenylalanine
- 8.5.2.6 กรดอะมิโน ชนิด Tryptophan
- 8.5.2.7 กรดอะมิโน ชนิด Lysine
- 8.5.2.8 กรดอะมิโน ชนิด Leucine
- 8.5.2.9 กรดอะมิโน ชนิด Arginine
- 8.5.2.10 กรดอะมิโน ชนิด Histidine

8.5.3 ปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non- Essential amino acid)

- 8.5.3.1 กรดอะมิโน ชนิด Aspartic
- 8.5.3.2 กรดอะมิโน ชนิด Aerine
- 8.5.3.3 กรดอะมิโน ชนิด Glutamic
- 8.5.3.4 กรดอะมิโน ชนิด Proline
- 8.5.3.5 กรดอะมิโน ชนิด Glycine
- 8.5.3.6 กรดอะมิโน ชนิด Alanine
- 8.5.3.7 กรดอะมิโน ชนิด Tyrosine

8.5.3.8 กรดอะมิโน ชนิด Cystine

8.1 ระดับปัจจัยทางกายภาพในบรรยายกาศใน 4 ชุดการทดลอง

8.1.1 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในบรรยายกาศของตู้ทดลอง

จากการศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิอากาศในบรรยายกาศในช่วงระยะเวลา 4 เดือนที่ทำการปลูกถั่วเหลือง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2560 – เดือนพฤษจิกายน 2560 พบว่าสามารถควบคุมระดับอุณหภูมิให้มีความแตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลองดังนี้

จากการกำหนดขอบเขตการศึกษา จะควบคุมระดับอุณหภูมิตั้งแต่เวลา 7.00-17.00 น. ซึ่งผลการศึกษาระดับอุณหภูมิผู้ร่วมข้อนำเสนอตัวอย่างค่าเฉลี่ย ตั้งแต่ระยะเวลา 7.00 น. จนถึงระยะเวลา 17.00 น. ตลอดระยะเวลาของการปลูก 96 วัน เนื่องจากการควบคุมระดับอุณหภูมิในการทดลองภาคสนามนั้นจะผันแปรไปตามอุณหภูมิกายณอกห้องทดลองด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะมีความแตกต่างกันในรอบ 10 ชั่วโมง ช่วงกลางวัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 9

ผลการควบคุมระดับอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิในตู้ทดลองระบบปิดของ 4 สิ่งทดลอง (4 treatments) ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในระยะเวลา 10 ชั่วโมงที่ควบคุมโดยระบบอิเลคโทรนิก (ตั้งแต่เวลา 7.00 น.-17.00 น.) โดยตรวจวัด 4 ครั้งในรอบ 1 วัน คือที่เวลา 08.00 น., 11.00 น., 14.00 น. และ 17.00 น. ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการควบคุมระดับอุณหภูมิของ 4 สิ่งทดลอง ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ 4 ระดับได้จริง

โดยสิ่งทดลอง HT1 ซึ่งควบคุมให้อุณหภูมิสูงกว่าระดับธรรมชาติ 1 ระดับ พบว่ามีระดับสูงกว่าชุดควบคุม (CT) อยู่ในช่วงประมาณ 1 – 2 ° ซึ่งภาพที่ 4 (a) ได้แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนช่วงเวลาที่ควบคุมให้มีระดับสูงที่สุดอยู่ ในช่วงระยะเวลา 11.00-17.00 น.

ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสิ่งทดลอง HT2 ซึ่งต้องการควบคุมให้มีระดับสูงกว่าระดับธรรมชาติ 2 ระดับ นั้นพบว่า สามารถทำให้มีระดับอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าชุดควบคุมได้จริง คือสูงกว่าชุดควบคุม (CT) ที่ระดับประมาณ 1 – 3 °C ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดพบว่าอยู่ในช่วงระยะเวลา 11.00-14.00 น.

ส่วนระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสิ่งทดลอง HT3 ซึ่งต้องการควบคุมให้มีระดับสูงสุดนั้นพบว่า สามารถทำให้มีระดับอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าชุดควบคุมได้จริง คือสูงกว่าชุดควบคุม (CT) ที่ระดับประมาณ 1-4 °C และ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดพบว่าอยู่ในช่วงระยะเวลา 11.00-14.00

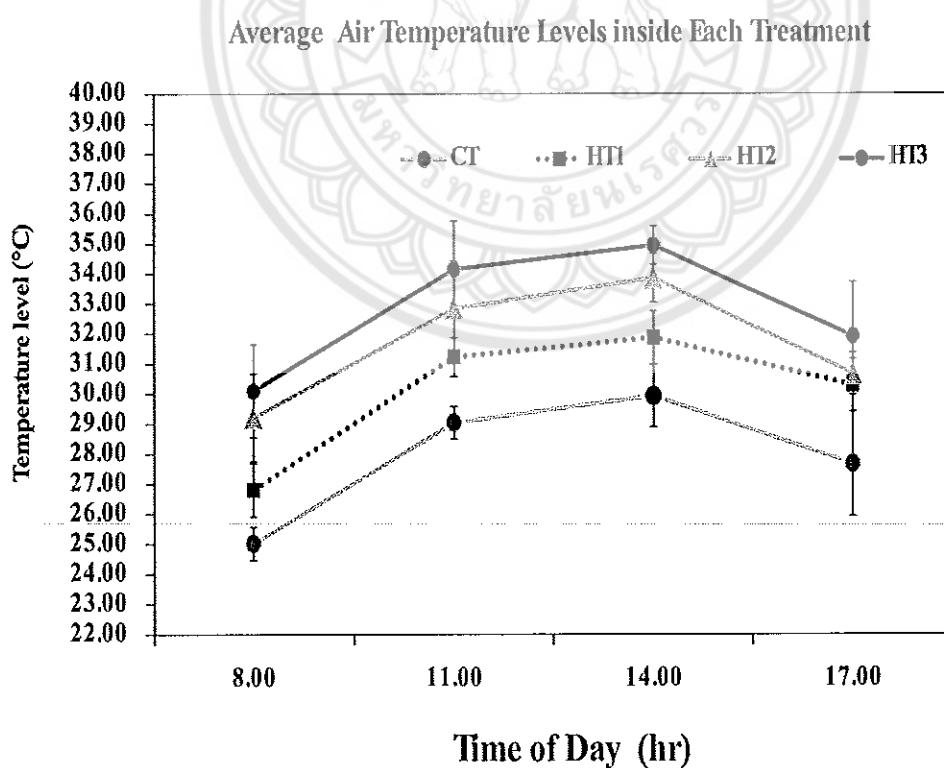
ข้อมูลผลการศึกษาซึ่งแสดงในภาพที่ 4 แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่าง 4 สิ่งทดลองอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงทุกสิ่งทดลองในช่วงระยะเวลาระหว่าง 11.00-17.00 น. ตามที่ได้ตั้งกรอบการดำเนินไว้ในเบื้องต้น

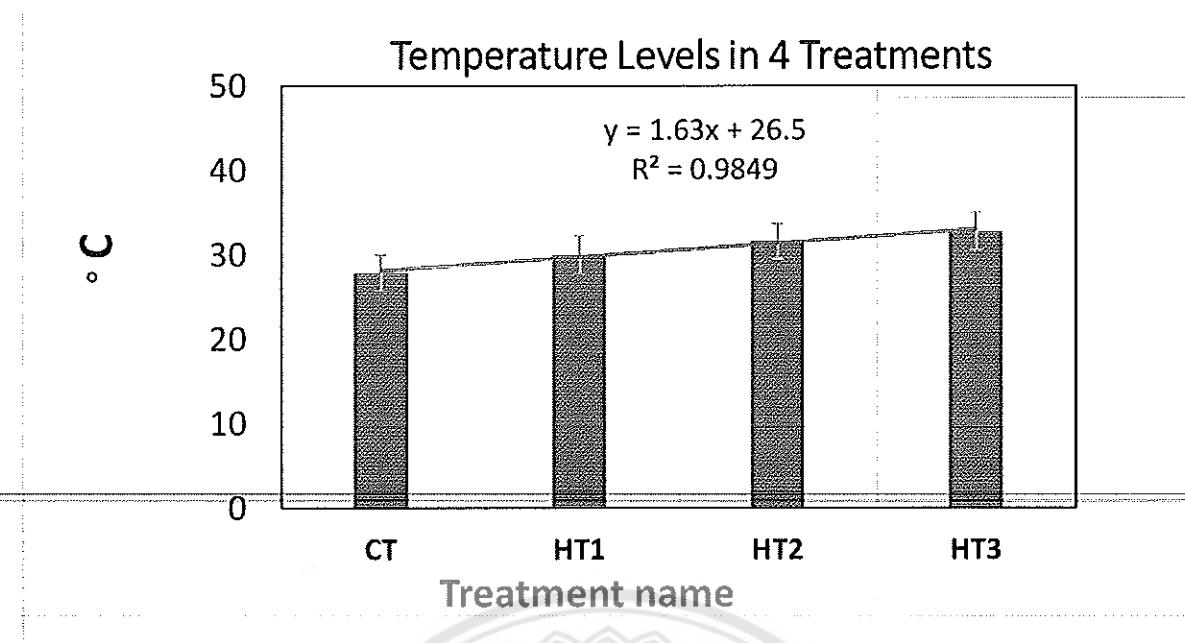
ตั้งนั้นผลการควบคุมระดับอุณหภูมิในการวิจัยครั้งนี้ สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิกายในตู้ให้เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน 4 ระดับตามแนวโน้มการคาดการณ์จากภาพฉายอนาคต คือระดับอุณหภูมิที่ 27.9 ± 2.14 °C, 30 ± 2.23 °C, 31.6 ± 2.1 °C และ 32.8 ± 2.2 °C ในสิ่งทดลอง CT (ชุดควบคุม), HT1, HT2 และ HT3

ตามลำดับ พบร่วมตัวอุณหภูมิในสิ่งที่ทดลอง HT1, HT2 และ HT3 สูงกว่าสิ่งทดลอง CT ประมาณ 2.0°C , 3.6°C และ 4.8°C ซึ่งแสดงถึงว่าในมีการเพิ่มระดับอุณหภูมิของสภาพอากาศ RCP4.5, RCP6.0 และ RCP8.5 ตามที่ได้กำหนดไว้ในการวิจัย และเมื่อทดสอบโดยสหสมันพันธ์เชิงกำหนดพบว่า มีค่า R^2 สูงถึง 0.9 (ภาพที่ 4 (b) และตารางที่ 2) ซึ่งหมายความว่า เป็นเส้นตรงสามารถใช้คาดการณ์ผลกระทบที่ระดับอุณหภูมิในช่วงที่แตกต่างจากการทดลองในครั้งนี้ได้ เช่น การคาดการณ์ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C หรือในช่วง 3°C เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิในรายวันที่ตรวจวัดของ 4 สิ่งทดลอง (4 ระดับอุณหภูมิ)

สิ่งทดลอง	เวลา / ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)			
	8.00 น.	11.00 น.	14.00 น.	17.00 น.
CT	25.02	29.04	29.94	27.67
HT1	26.81	31.22	31.87	30.28
HT2	29.21	32.84	33.87	30.67
HT3	30.10	34.14	34.95	31.92





ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิ ในตู้ทดลองระบบปิดของ 4 สิ่งทดลอง ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในระยะเวลา 10 ชั่วโมง

- a. ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 4 ระยะเวลาในรอบวันในตู้ทดลองระบบปิดของ 4 สิ่งทดลอง
- b. ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบวันในตู้ทดลองระบบปิดของ 4 สิ่งทดลอง และแสดงค่า R^2 เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 1 มาเฉลี่ยค่าในรอบ 1 วัน (ที่ตรวจวัด) ได้ค่าเฉลี่ยรายวันในช่วงกลางวันที่ทำการวิจัยดังนี้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นกว่าระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลองควบคุม ในช่วงระยะเวลาของการปลูกและเพียบเท่ากับสภาพอากาศ RCP (IPCC, 2013)

สิ่งทดลอง	ปัจจัยทางกายภาพในบรรยากาศใน โรงเรือนทดลอง	ระดับอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้นสูงกว่า สิ่งทดลอง CT ($^{\circ}\text{C}$)	เพียบเท่ากับ สถานการณ์ RCP
	ระดับอุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)		
CT	27.90 ± 2.14	0.0°C	
HT1	30.00 ± 2.25	2.0°C	RCP4.5
HT2	31.60 ± 2.10	3.6°C	RCP6.0
HT3	32.80 ± 2.20	4.8°C	RCP8.5

8.2 ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลือง

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ต่างระดับกัน ที่มีต่อคุณภาพของผลผลิตของถั่วเหลืองนั้นได้ตรวจสอบคุณภาพผลผลิตโดยกำหนดเก็บพารามิเตอร์ในการตรวจวัด 3 ชนิดคือ จำนวนฝักทั้งหมด / ต้น, จำนวนเมล็ดทั้งหมด/ต้น และ น้ำหนัก 100 เมล็ด ซึ่งตารางที่ 3 ได้แสดงผลการศึกษาในภาพรวมขององค์ประกอบผลผลิต และแสดงผลโดยละเอียดในหัวข้อ 8.2.1 – 8.2.3

ตารางที่ 3 ผลกระทบทั้งหมดขององค์ประกอบผลผลิตถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ชั่งปลูกภายในพื้นที่สภาวะปัจจัยด้านอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ระดับ

สิ่งทดลอง	พันธุ์เชียงใหม่ 60		
	ฝักทั้งหมด/ต้น	เมล็ดทั้งหมด/ต้น	น้ำหนัก 100 เมล็ด
CT	18.63±5.08 a	32.97±9.45 a	14.7±1.00 c
HT1	18.79±5.26 a	34.28±10.11 a	11.8±0.30 b
HT2	21.65±8.88 a	38.96±16.33 a	10.8±1.40 ab
HT3	21.22±4.15 a	37.96±8.24 a	10.2±0.80 a

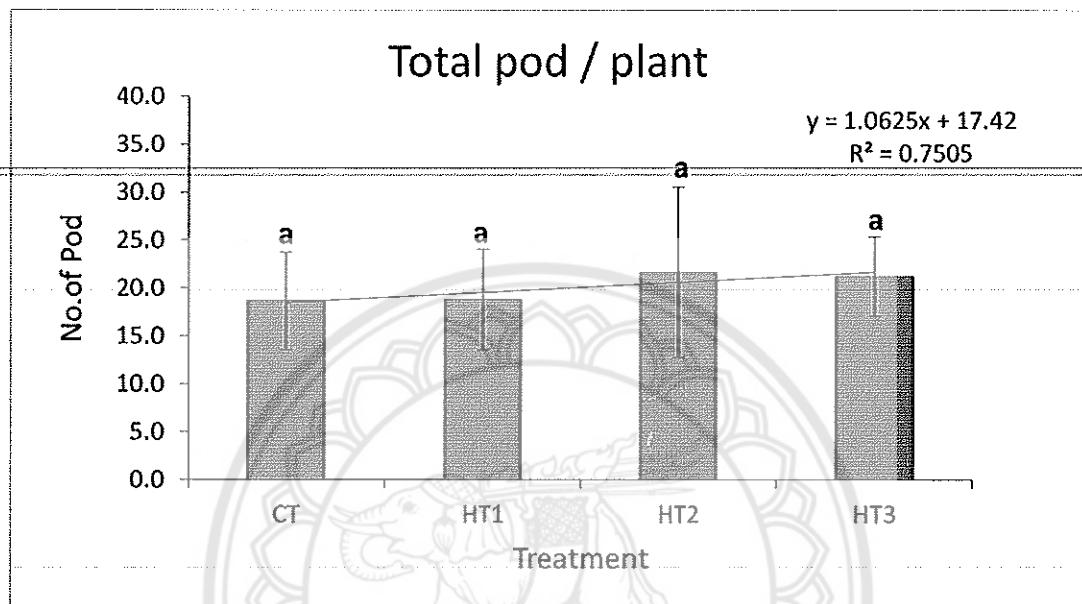
หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.2.1 ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองในองค์ประกอบผลผลิตด้านปัจจัยจำนวนฝักทั้งหมด / ต้น ของ พันธุ์เชียงใหม่ 60

ผลการศึกษา ในด้านจำนวนฝักทั้งหมด / ต้น ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 5 ดังนี้

ค่าเฉลี่ยของจำนวนฝักทั้งหมด / ต้น ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 18.63, 18.79, 21.65 และ 21.22 ฝัก/ต้น (ตารางที่ 3) ในชุดการทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 (ภาพที่ 5)

เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงโดยใช้จำนวนฝักในสิ่งทดลอง CT เป็นตัวเลขฐาน เปรียบเทียบ พบร่วมจำนวนฝัก/ต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีจำนวนเพิ่มขึ้น 13.90 % ในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วม มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7505 ซึ่ง บ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยจำนวนฝักทั้งหมด/ต้น



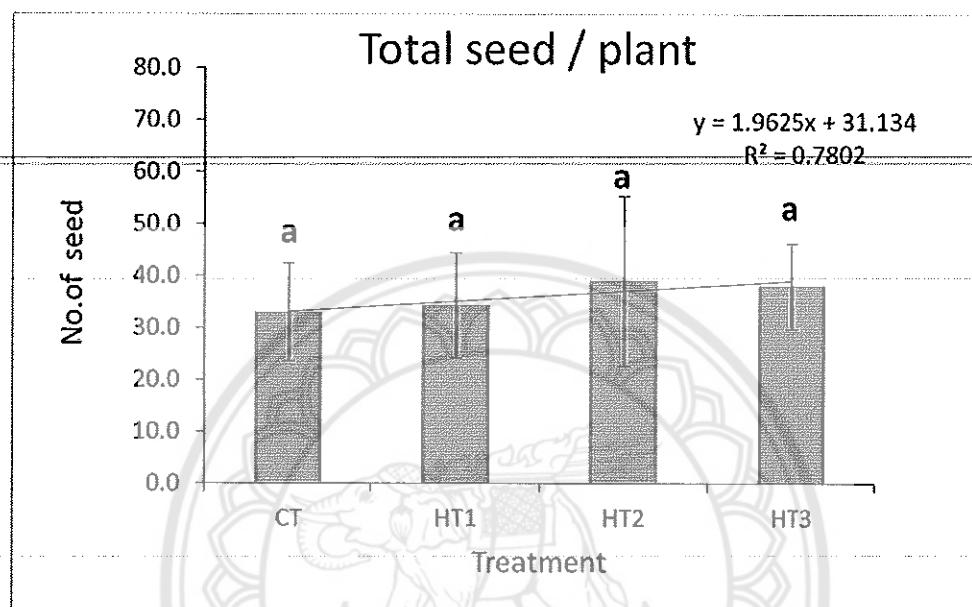
ภาพที่ 5 ผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านจำนวนฝักทั้งหมด / ต้น ของ พันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ
หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.2.2 ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านจำนวนเมล็ดทั้งหมด / ต้น ของ พันธุ์เชียงใหม่ 60

ผลการศึกษาองค์ประกอบผลผลิตในด้านชนิดจำนวนเมล็ดทั้งหมด / ต้น มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 6 ดังนี้

ค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดทั้งหมด / ต้น ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 32.97, 34.28, 38.96 และ 37.96 เมล็ด/ต้น (ตารางที่ 3) ในชุดการทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบว่าผลการศึกษาสอดคล้องกับองค์ประกอบผลผลิตของจำนวนฝัก/ต้น เนื่องจากไม่พบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 เช่นเดียวกันในลักษณะการเพิ่มขึ้นของเมล็ดโดยรวมในสิ่งทดลอง HT3 เมื่อเปรียบเทียบกับ CT โดยพบร่วมผลผลิตเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง

เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นโดยใช้จำนวนเมล็ดในสิ่งทดลอง CT เป็นตัวเลขฐานเปรียบเทียบ พบว่าจำนวนฝัก/ต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีจำนวน 15.11 % ในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7802 ซึ่งปัจจุบัน ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยเมล็ดทั้งหมด / ต้น



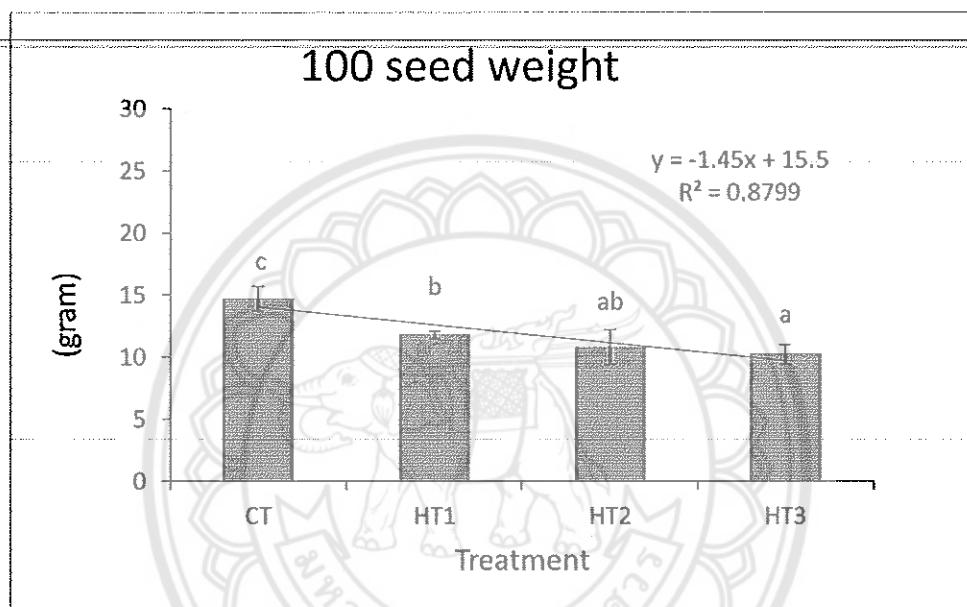
ภาพที่ 6 ผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองปัจจัยด้านจำนวนเมล็ดทั้งหมด / ต้น ของ พันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายในสภาพอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.2.3 ผลกระทบของสภาพบรรยากาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านน้ำหนัก 100 เมล็ด ของ พันธุ์เชียงใหม่ 60

ผลการศึกษาในองค์ประกอบผลผลิตใน น้ำหนัก 100 เมล็ด (เพื่อวัดขนาดของเมล็ดทางอ้อม) (ตารางที่ 3 รวมทั้ง ภาพที่ 7) ผลการศึกษา พบว่า น้ำหนัก 100 เมล็ด โดยเฉลี่ย ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่าเท่ากับ 14.7, 11.8, 10.8 และ 10.2 กรัม ในสิ่งทดลอง CT / HT1 / HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับ สิ่งทดลอง HT1/ HT2 และ HT3 โดยมีลักษณะการลดลงของผลผลิตในสิ่งทดลองทั้ง 3 ตั้งกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับ CT โดยพบว่าผลผลิตลดลงมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 รองลงมาคือ HT2 และ HT1 (ภาพที่ 7)

เมื่อคำนวณเบอร์เซ็นต์การลดลงโดยใช้น้ำหนัก 100 เมล็ด ในสิ่งทดลอง CT เป็นตัวเลขฐานเปรียบเทียบ พบว่าน้ำหนัก 100 เมล็ด ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีจำนวนลดลง 19.73 % , 26.53 % และ 30.61 % ในสิ่งทดลอง HT1 /HT2 และ HT3 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8799 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพถ่ายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านน้ำหนัก 100 เมล็ด และส่งผลชัดเจนว่าทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 19.73 %, 26.53 % และ 30% ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองในปัจจัยด้านน้ำหนัก 100 เมล็ด ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภาคใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ
หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.3 ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในใบ

โดยการศึกษาจากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีโนอิลด์ ของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 3 ระดับในช่วงการปลูกที่ระยะ V3 และ R1 ซึ่งเป็นช่วงอายุที่ 28 และ 33 วัน ตามลำดับ โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

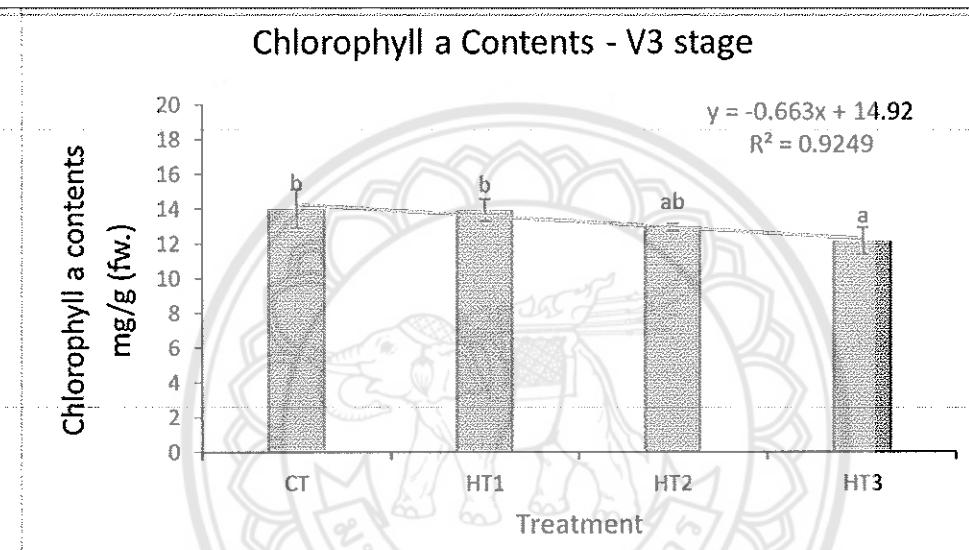
8.3.1 รงควัตถุ ชนิดคลอโรฟิลล์ เอ

8.3.1.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำดับ

ผลการศึกษาในระยะ V3 ซึ่งเป็นระยะข้อที่ 3 (third node) มีผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 8 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 14.03 ± 1.12 13.93 ± 0.64 12.94 ± 0.21 และ 12.15 ± 0.78 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในสิ่งทดลอง HT3 เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลอง CT โดยพบว่าระดับคลอโรฟิลล์เอลดลง 15%

และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9249 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ



ภาพที่ 8 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

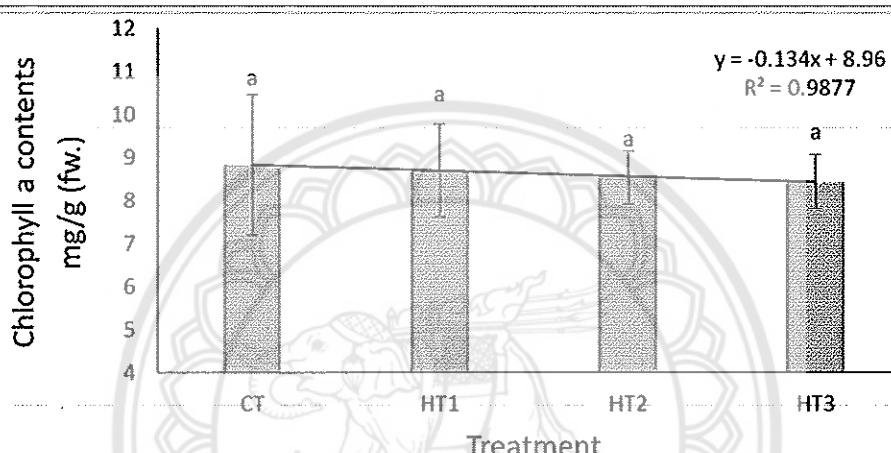
หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.3.1.2 ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาในระยะ R1 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก (beginning bloom) มีผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 9 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 8.83 ± 1.63 8.70 ± 1.08 8.53 ± 0.62 และ 8.44 ± 0.63 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางค้านสถิติความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลอง CT และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วม มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9877 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพชายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

Chlorophyll a Contents - R1 stage



ภาพที่ 9 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

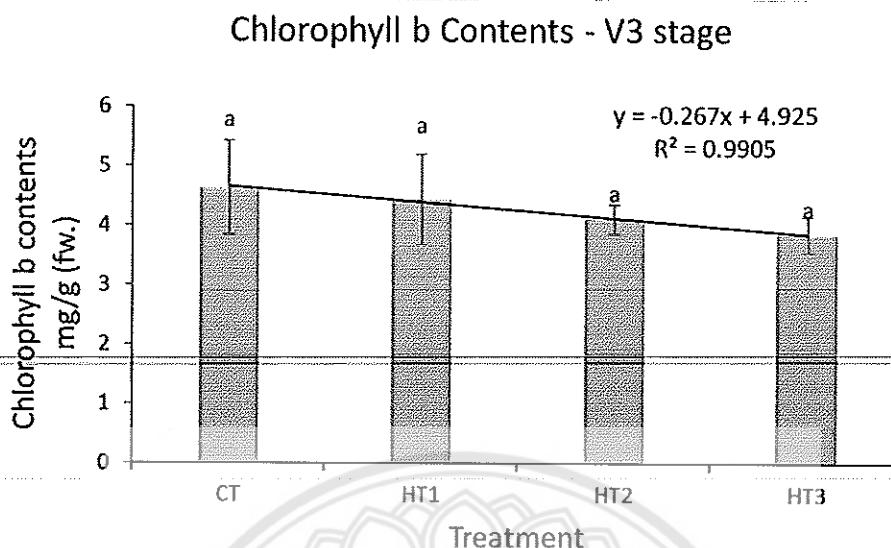
8.3.2 รงควัตถุ ชนิดคลอโรฟิลล์ บี

8.3.2.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ผลการศึกษาในระยะ V3 ซึ่งเป็นระยะข้อที่ 3 (third node) มีผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 10 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์บีโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 4.63 ± 0.79 4.44 ± 0.76 4.11 ± 0.25 และ 3.85 ± 0.30 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางค้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วม มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9905 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพ

ชายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ บี



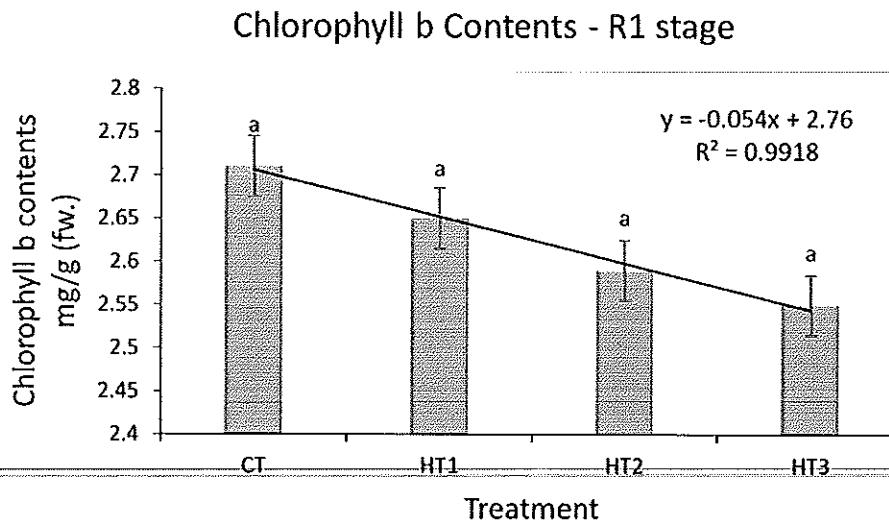
ภาพที่ 10 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์บี (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ: * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.3.2.2 ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาในระยะ R1 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก (beginning bloom) มีผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 11 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์บีโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 2.71 ± 0.42 , 2.65 ± 0.36 , 2.59 ± 0.34 และ 2.55 ± 0.24 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9918 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพชายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของคลอโรฟิลล์ บี



ภาพที่ 11 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์บ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

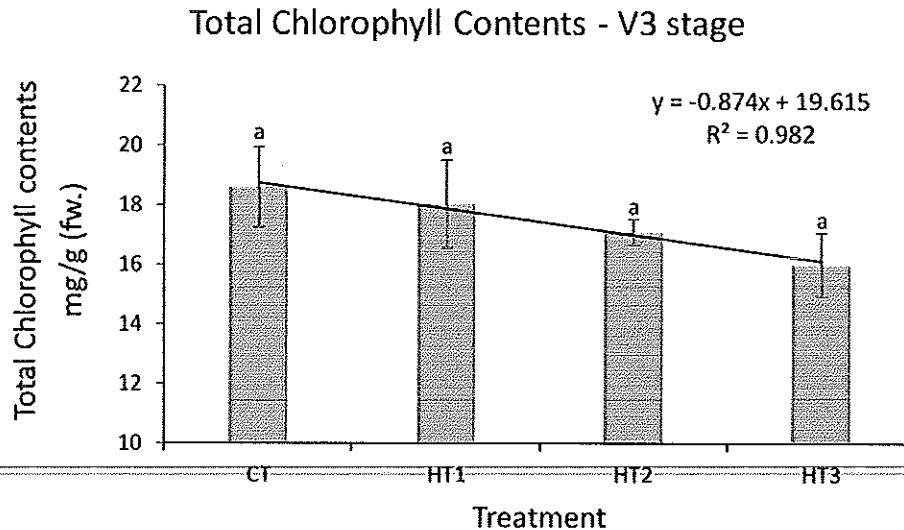
หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.3.3 คลอโรฟิลล์ทั้งหมด

8.3.3.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ผลการศึกษาในระยะ V3 ซึ่งเป็นระยะข้อที่ 3 (third node) มีผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 12 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 18.6 ± 1.35 18.03 ± 1.47 17.09 ± 0.43 และ 16.0 ± 1.07 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางค้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่า สัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วมกัน R^2 เท่ากับ 0.982 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด



ภาพที่ 12 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

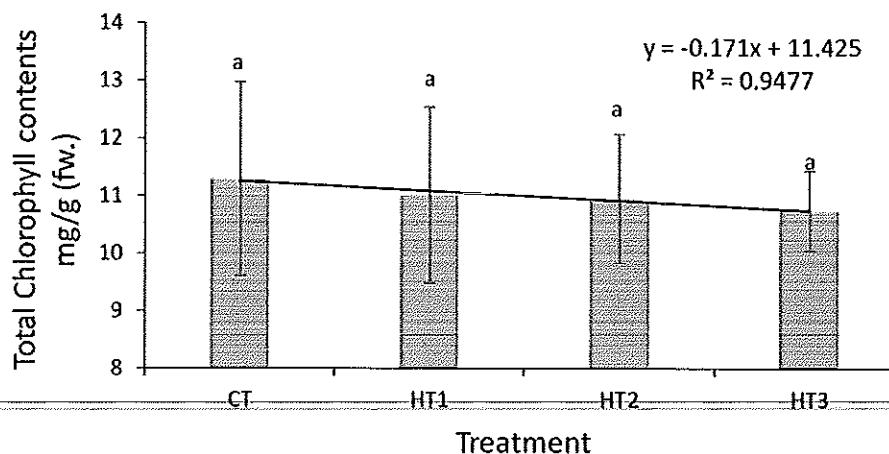
หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.3.3.2 ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาในระยะ R1 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก (beginning bloom) มีผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 13 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดโดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 11.29 ± 1.68 11.01 ± 1.53 10.95 ± 1.12 และ 10.74 ± 0.69 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่า สัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9477 ซึ่งเป็นบวกกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

Total Chlorophyll Contents - R1 stage



ภาพที่ 13 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

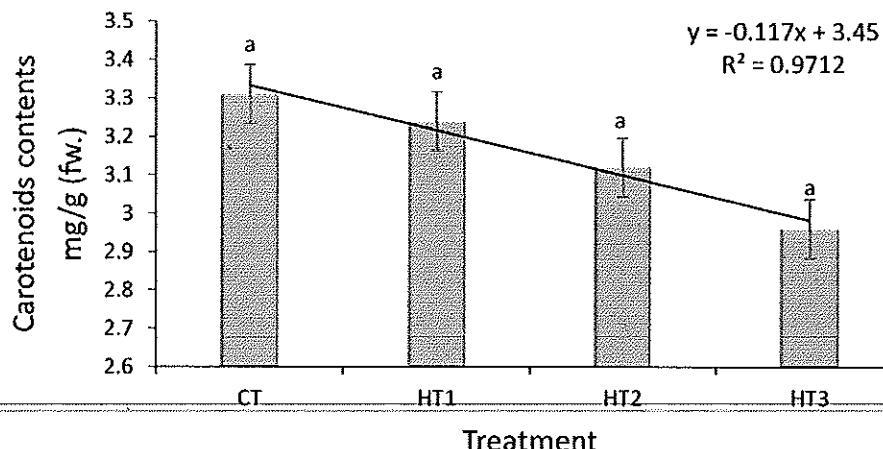
8.3.4 วงศ์ตฤณ ชนิดแครโตรีทินอยด์

8.3.4.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ผลการศึกษาในระยะ V3 ซึ่งเป็นระยะข้อที่ 3 (third node) มีผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 14 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณแครโตรีทินอยด์โดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 3.31 ± 0.17 , 3.24 ± 0.65 , 3.12 ± 0.14 และ 2.96 ± 0.45 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติก่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วม มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9712 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่ารัฐดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณแครโตรีทินอยด์

Carotenoids Contents - V3 stage

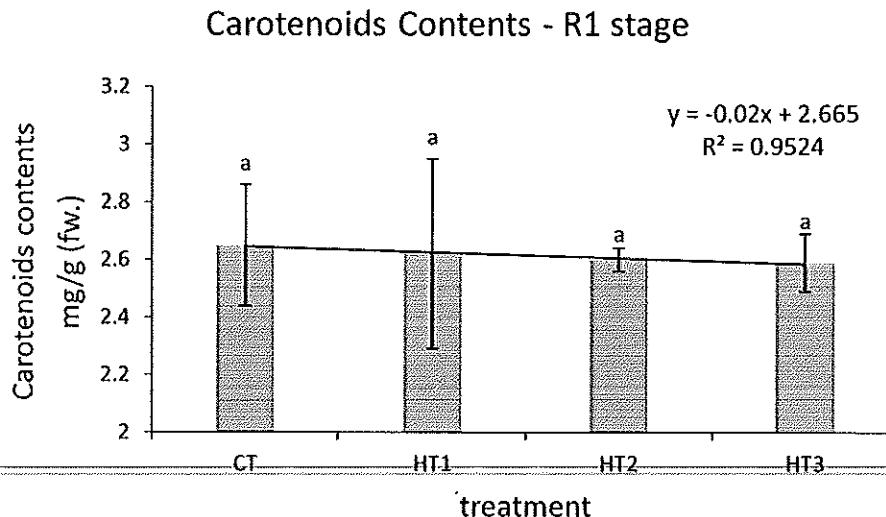


ภาพที่ 14 แสดงปริมาณแครอทีนอยด์ (mg/g (fw.)) ในใบตัวเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.3.4.2 ระยะการเจริญเติบโตทางการสีบพันธุ์

ผลการศึกษาในระยะ R1 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก (beginning bloom) มีผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 15 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณแครอทีนอยด์โดยเฉลี่ยในใบตัวเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 2.65 ± 0.21 , 2.62 ± 0.33 , 2.60 ± 0.04 และ 2.59 ± 0.10 mg/g (fw.) ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวินิเคราะห์ทางค้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9524 ซึ่งบ่งกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสีบพันธุ์ของปริมาณแครอทีนอยด์



ภาพที่ 15 แสดงปริมาณแครอตโนไซด์ (mg/g (fw.)) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.4 ผลกระทบของสภาพบรรจุภัณฑ์และปริมาณในต่อเจนท์หมดในใบ

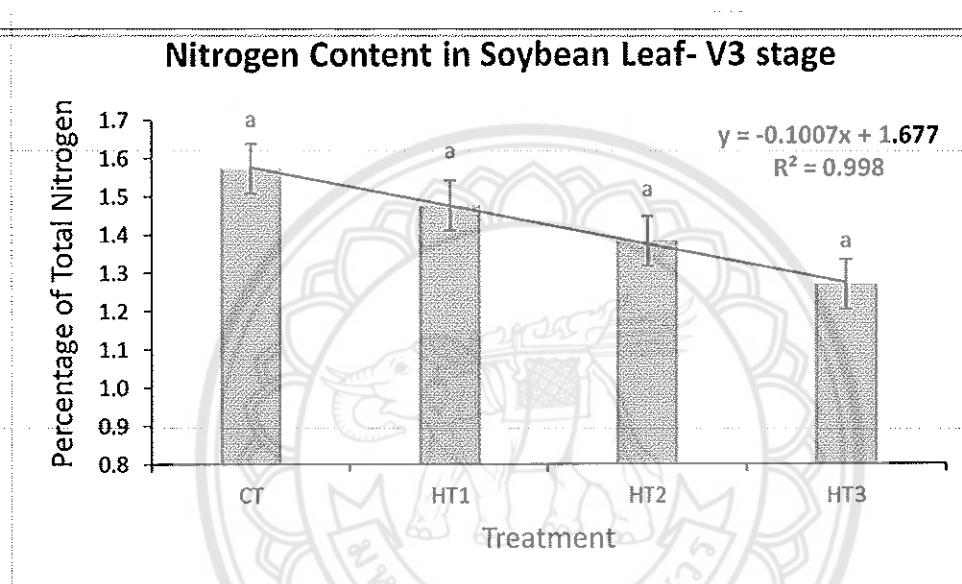
จากการศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามแนวโน้มสภาพโลกร้อนที่มีผลต่อร้อยละในต่อเจนท์หมดในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายใต้ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 3 ระดับ พบร่วมระยะ R1 ของการปลูกในสิ่งทดลองควบคุมให้สูงกว่าระดับอุณหภูมิธรรมชาติภายนอก ตู้ทดลอง 2 ระดับระหว่างการวิจัย (HT2) และในสิ่งทดลองควบคุมให้สูงกว่าระดับอุณหภูมิธรรมชาติภายนอกตู้ทดลอง 3 ระดับระหว่างการวิจัย (HT3) มีอัตราการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับระดับอุณหภูมิภายนอกตู้ทดลองระหว่างการวิจัย (CT)

8.4.1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (V3)

โดยการศึกษาจากปริมาณร้อยละในต่อเจนท์หมดของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 3 ระดับในช่วงการปลูกที่ระยะ V3 และ R1 ซึ่งเป็นช่วงอายุที่ 28 และ 33 วัน ตามลำดับ โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาในระยะ V3 ซึ่งเป็นระยะข้อที่ 3 (third node) มีผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 16 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 1.57 ± 0.27 1.48 ± 0.26 1.38 ± 0.08 และ 1.27 ± 0.16 ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างใด อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าระดับในโตรเจนลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นและเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วม มีค่า R^2 เท่ากับ 0.998 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของปริมาณในโตรเจนทั้งหมดในลักษณะลดลง (negative regression)



ภาพที่ 16 แสดงปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมด (Percentage of Total Nitrogen) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะ V3 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

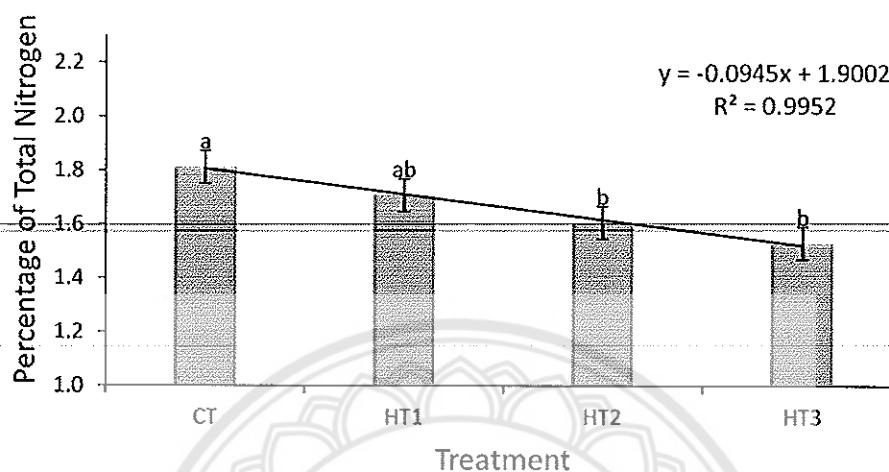
8.4.2. ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาในระยะ R1 ซึ่งเป็นระยะเริ่มออกดอก (beginning bloom) มีผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 17 และมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณร้อยละในโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยเฉลี่ยในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 1.81 ± 0.04 1.71 ± 0.03 1.61 ± 0.19 และ 1.53 ± 0.08 ในสิ่งทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในสิ่งทดลอง HT2 และ สิ่งทดลอง HT3 เมื่อเทียบกับสิ่งทดลอง CT โดยพบว่าระดับในโตรเจนลดลง เท่ากับ 11.0% และ 15.4% ในสิ่งทดลอง HT2 และ สิ่งทดลอง HT3 ตามลำดับ

และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 มีค่าสูงถึง 0.9952 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมี อิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

Nitrogen Content in Soybean Leaf- R1 stage



ภาพที่ 17 แสดงปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด (Percentage of Total Nitrogen) ในใบถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ระยะ R1 ที่มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5 ผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิต

ผลการศึกษาผลกระทบของสภาวะบรรยายกาศแปรปรวนที่มีต่อคุณภาพสารอาหารของผลผลิตใน เมล็ดถั่วเหลืองได้แบ่งผลการศึกษาตามชนิดของกรดอะมิโน โดยแบ่งเป็นกลุ่มกรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acid) 8 ชนิด และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-Essential amino acid) 10 ชนิด รวมที่ศึกษาใน งานวิจัยครั้งนี้ ทั้งหมด 18 ชนิด ดังนี้

8.5.1 ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น(Essential amino acid)

ผลการศึกษาในพารามิเตอร์ประเภทกรดอะมิโนที่จำเป็น 10 ชนิด ได้แก่ Threonine, Valine, Methionine, Isoleucine, Phenylalanine, Tryptophan, Lysine Leucine, Arginine และ Histidine ผลการศึกษาดังแสดงในภาพรวม ในตารางที่ 4 ซึ่งมีประเด็นที่น่าสนใจคือ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติของกรดอะมิโนในกลุ่มนี้ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในลำดับต่อไป

ตารางที่ 4 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น 10 ชนิด ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายใต้สถานการณ์อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ระดับใน 4 สิ่งทดลอง

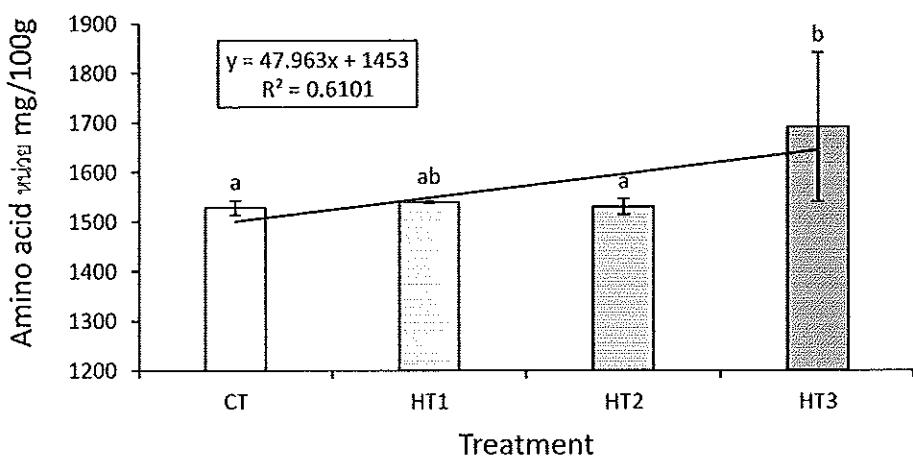
กรดอะมิโน ที่จำเป็น (mg/100 g)	สิ่งทดลองซึ่งมีความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ			
	CT	HT1	HT2	HT3
Threonine	1528.73±14.50a	1540.14±1.70ab	1531.17±15.98a	1691.60±150.37b
Valine	1643.79±43.40a	1725.05±59.51ab	1766.41±31.10b	1806.54±34.93b
Methionine	395.17±25.57c	362.66±3.14b	370.43±12.39b	346.40±32.59a
Isoleucine	1631.95±48.26a	1705.25±50.89ab	1758.40±31.01b	1785.01±37.99b
Phenylalanine	2000.69±2.42a	2039.43±5.36a	2083.23±3.50b	2094.00±36.18b
Tryptophan	394.22±15.65a	394.89±3.04a	369.86±26.86a	377.51±3.05a
Lysine	2377.30±16.58a	2414.03±18.40ab	2438.12±37.98b	2448.04±22.71b
Leucine	4201.93±107.60a	4407.12±156.64b	4516.83±80.75b	4619.96±90.22b
Arginine	2683.35±10.11a	2726.67±23.07a	1771.02±949.27b	2801.34±44.18b
Histidine	986.09±6.79a	1006.53±7.34b	1017.97±17.10b	1028.22±11.23b

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.1.1 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Threonine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Threonine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1528.73, 1540.14, 1531.17 และ 1691.60 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Threonine รวม ในสิ่งทดลอง HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่า เพิ่มขึ้น 10.65 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.6101 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพโดยอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Threonine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 18

Threonine

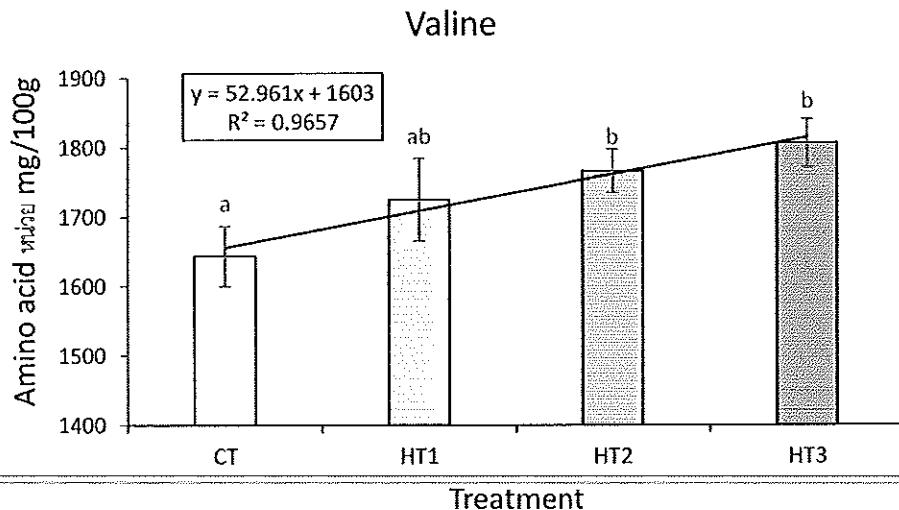


ภาพที่ 18 ปริมาณกรดอะมิโน Threonine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.5.1.2 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Valine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Valine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมี ค่าเท่ากับ 1643.79, 1725.05, 1766.41 และ 1806.54 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Valine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่า เพิ่มขึ้น 7.46 % และ 9.90 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่า สัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9657 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการ คาดการณ์ภาพขยายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรด อะมิโนจำเป็น ชนิด Valine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 19

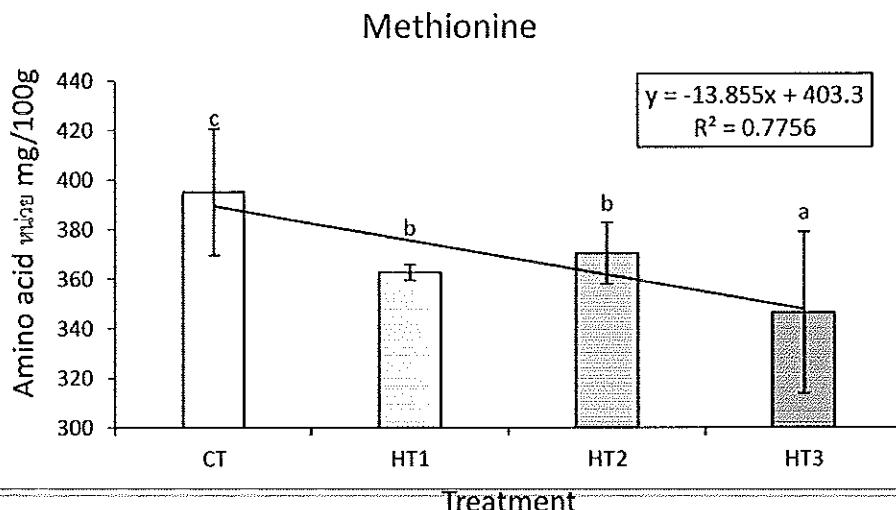


ภาพที่ 19 ปริมาณกรดอะมีโน Valine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.1.3 กรดอะมีโนจำเป็น ชนิด Methionine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมีโนชนิด Methionine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 395.17, 362.66, 370.43 และ 346.40 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอป่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับทุกสิ่งทดลอง โดยพบว่าปริมาณกรดอะมีโนชนิด Methionine รวม ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่า ลดลง 8.23 % , 6.26 % และ 12.34 % ตามลำดับ โดยลดลงมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วย สถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7756 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตาม ระดับการคาดการณ์สภาพอากาศ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้าน กรดอะมีโนจำเป็น ชนิด Methionine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 20

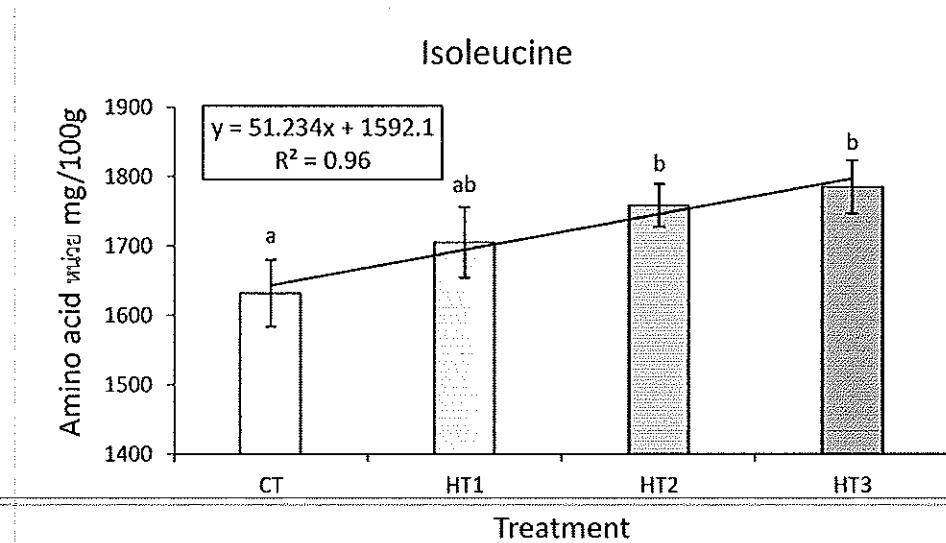


ภาพที่ 20 ปริมาณกรดอะมิโน Methionine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภัยใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.1.4 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Isoleucine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Isoleucine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1631.95, 1705.25, 1758.40 และ 1785.01 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Isoleucine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 7.75 % และ 9.38 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.96 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภพถ่ายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Isoleucine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 21



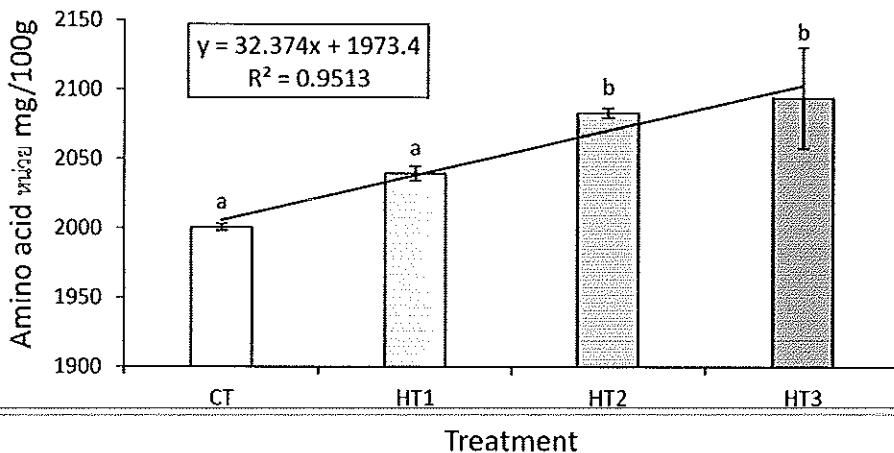
ภาพที่ 21 ปริมาณกรดอะมิโน Isoleucine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.5.1.5 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Phenylalanine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Phenylalanine ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2000.69, 2039.43, 2083.23 และ 2094.00 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Phenylalanine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 4.13 % และ 4.66 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9513 ซึ่งปัจจบวกว่า ค่าระดับ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพพยากรณ์ RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพล ต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Phenylalanine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 22

Phenylalanine



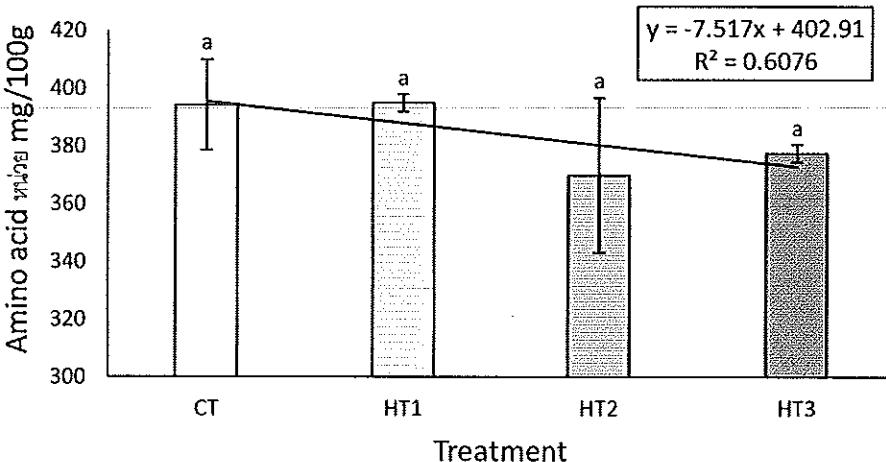
ภาพที่ 22 ปริมาณกรดอะมิโน Phenylalanine (mg/100 กรัม) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้ สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.1.6 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Tryptophan

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Tryptophan ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 394.22, 394.89, 369.86 และ 377.51 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับทุกสิ่งทดลอง และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิง กำหนด พบร่วม มีค่า R^2 เท่ากับ 0.6076 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพ ขยายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Tryptophan ผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 23

Tryptophan

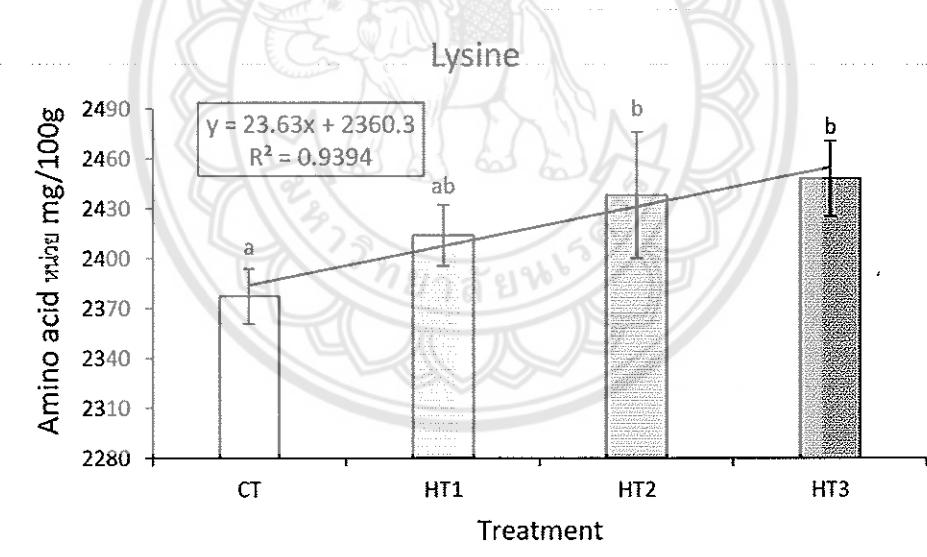


ภาพที่ 23 ปริมาณกรดอะมิโน Tryptophan (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P>0.05$

8.5.1.7 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Lysine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Lysine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2377.30, 2414.03, 2438.12 และ 2448.04 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Lysine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 2.56 % และ 2.98 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9394 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Lysine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 24



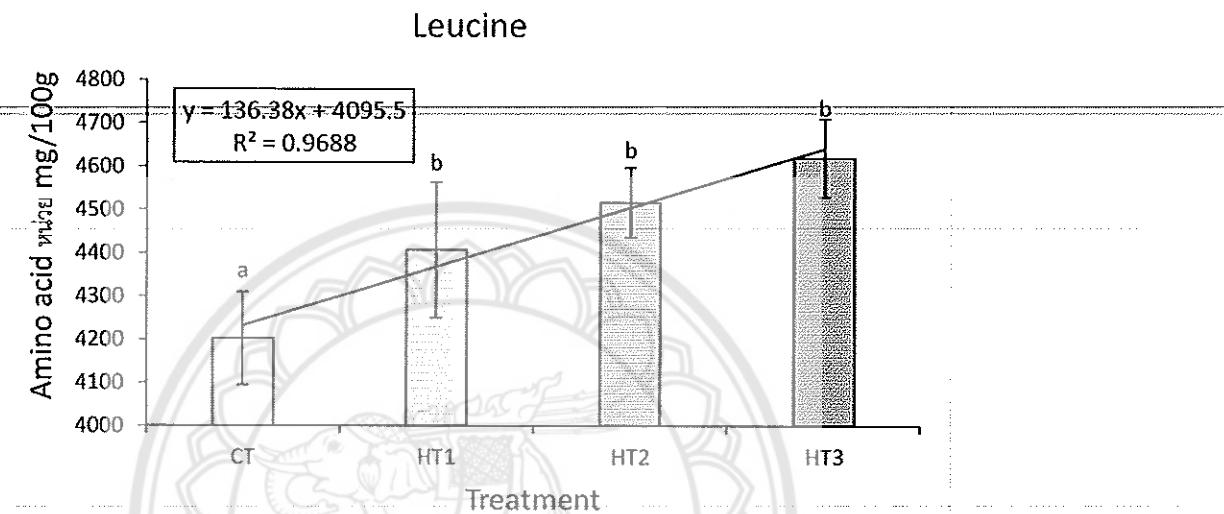
ภาพที่ 24 ปริมาณกรดอะมิโน Lysine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P>0.05$

8.5.1.8 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Leucine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Leucine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4201.93, 4407.12, 4516.83 และ 4619.96 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Leucine รวม ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 4.88 %, 7.49 % และ 9.95 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9688 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Leucine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 25

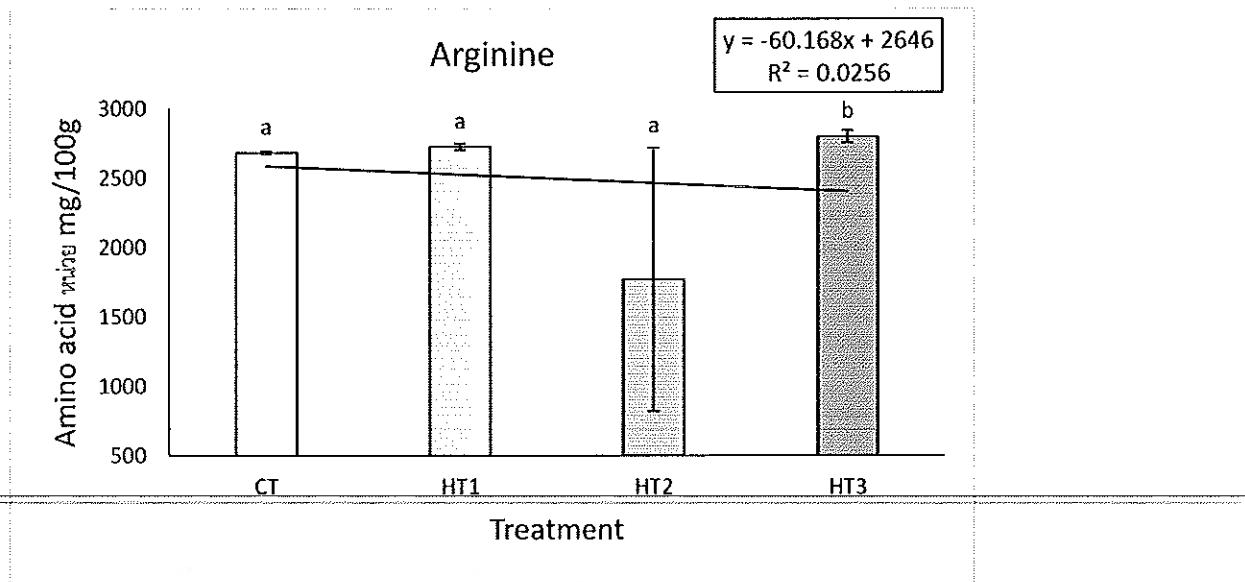


ภาพที่ 25 ปริมาณกรดอะมิโน Leucine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภัยใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.1.9 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Arginine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Arginine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2683.35, 2726.67, 1771.02 และ 2801.34 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Arginine รวม ในสิ่งทดลอง HT1 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 4.40 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.0256 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Arginine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 26

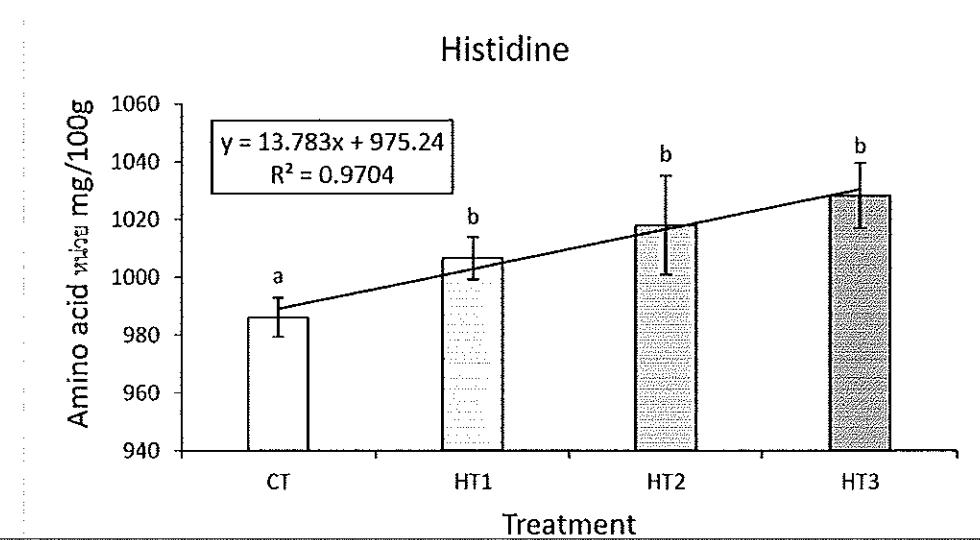


ภาพที่ 26 ปริมาณกรดอะมิโน Arginine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภัยได้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.1.10 กรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Histidine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Histidine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 986.09, 1006.53, 1017.97 และ 1028.22 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Histidine รวม ในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 2.07 %, 3.23 % และ 4.27 % ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในสิ่งทดลอง HT3 และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9704 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพชายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนจำเป็น ชนิด Histidine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ปริมาณกรดอะมิโน Histidine (mg/100 g) ของพืชรุ่งเชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.5.2 ปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น(Non-Essential amino acid)

ผลการศึกษาในพารามิเตอร์ประเททกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น 8 ชนิด ได้แก่ Aspatic, Serine, Glutamic, Proline, Glycine, Alanine, Tyrosine, และ Cystine แสดงผลการศึกษาในภาพรวม ในตารางที่ 5 และแสดงรายละเอียดดังนี้ ประเด็นที่น่าสนใจ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในลำดับต่อไป

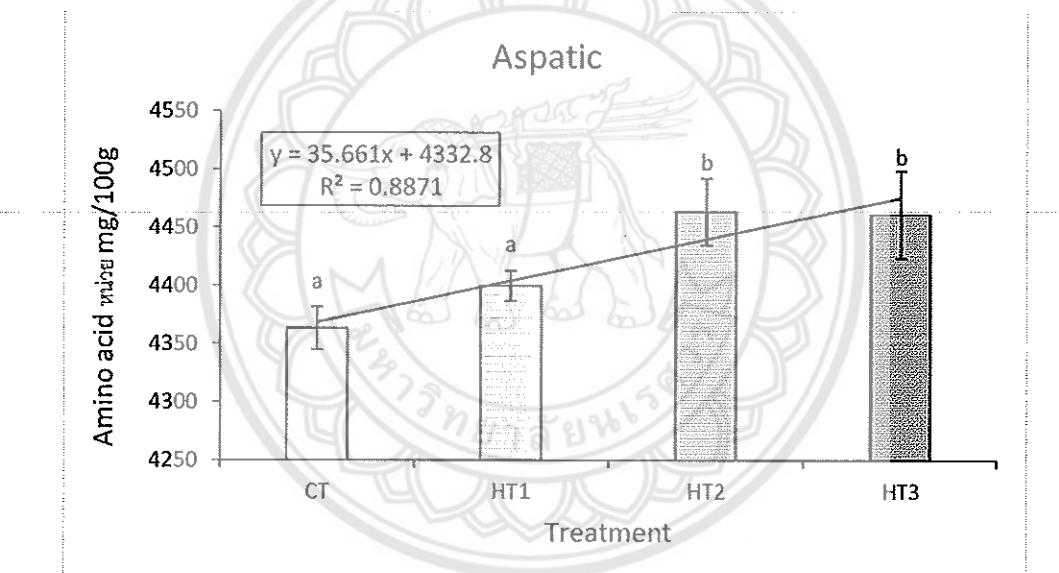
ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น 8 ชนิด ของถั่วเหลืองพืชรุ่งเชียงใหม่ 60 ภายใต้สถานการณ์อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ระดับใน 4 สิ่งทดลอง

กรดอะมิโน ที่ไม่จำเป็น (mg/100 g)	สิ่งทดลองซึ่งมีความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ			
	CT	HT1	HT2	HT3
Aspatic	4363.45±18.37a	4399.83±12.89a	4463.45±28.69b	4461.11±37.56b
Serine	2011.33±3.69b	2022.55±24.02b	2019.83±18.57ab	2005.57±17.99a
Glutamic	7033.90±6.28a	7071.55±28.91a	7149.95±82.92b	7174.66±91.28c
Proline	1895.18±8.21a	1910.59±0.02ab	1928.42±18.48b	1923.40±23.21ab
Glycine	1676.52±9.77a	1680.19±7.43ab	1701.95±16.10c	1700.63±8.19bc
Alanine	1648.09±32.63b	1616.51±8.39a	1613.05±17.87a	1631.99±11.15ab
Tyrosine	1777.26±3.71b	1740.98±10.33a	1775.01±3.41b	1782.69±15.76b
Cystine	426.76±12.66b	433.66±9.47ab	394.58±4.43a	403.61±0.18ab

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.5.2.1 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Aspartic

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Aspartic ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4363.45, 4399.89, 4463.45 และ 4461.11 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Aspartic รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 2.29 % และ 2.24 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติกារสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8871 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพชายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Aspartic ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 28



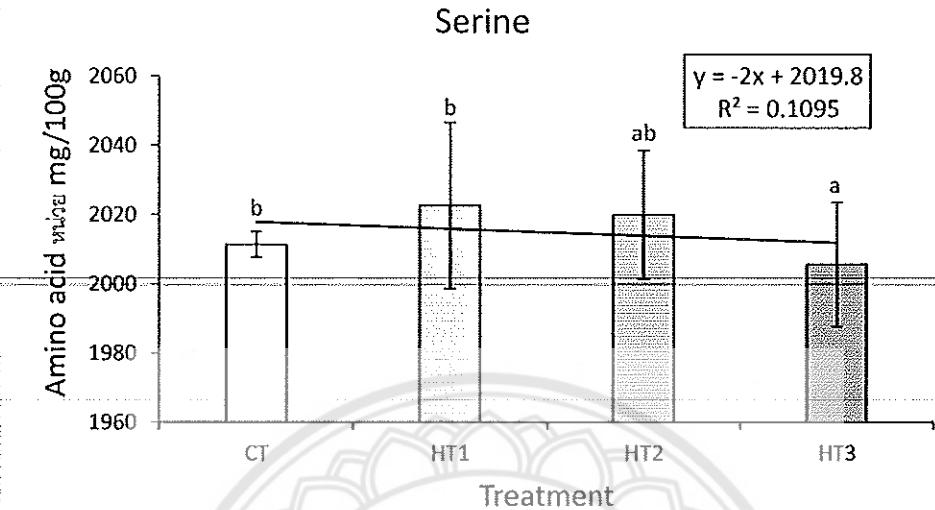
ภาพที่ 28 ปริมาณกรดอะมิโน Aspartic (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

8.5.2.2 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Serine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Serine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2011.33, 2022.55, 2019.83 และ 2005.57 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Serine รวม ในสิ่งทดลอง HT3 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าลดลง 0.29 % และ

เมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.1095 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภพชายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Serine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 29

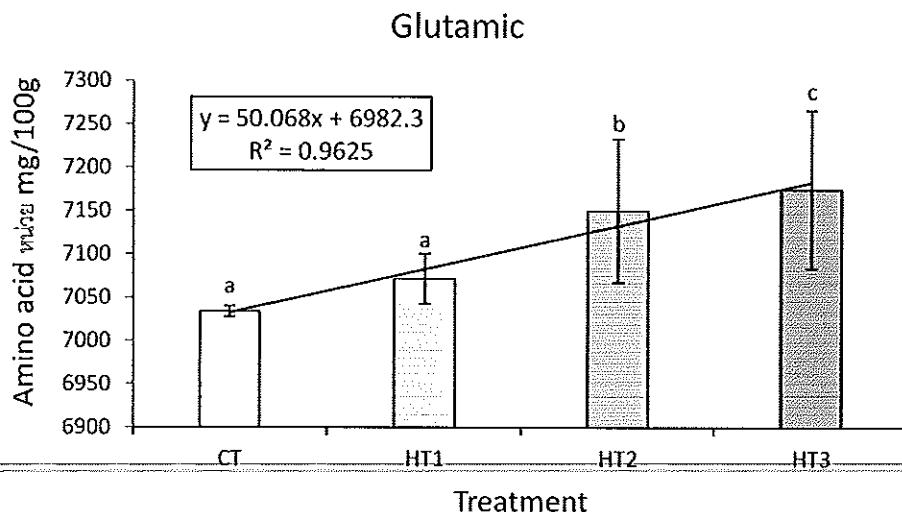


ภาพที่ 29 ปริมาณกรดอะมิโน Serine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.2.3 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glutamic

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glutamic ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7033.90, 7071.55, 7149.95 และ 7174.66 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glutamic รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 1.65 % และ 2.00 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9625 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภพชายอนากต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glutamic ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 30

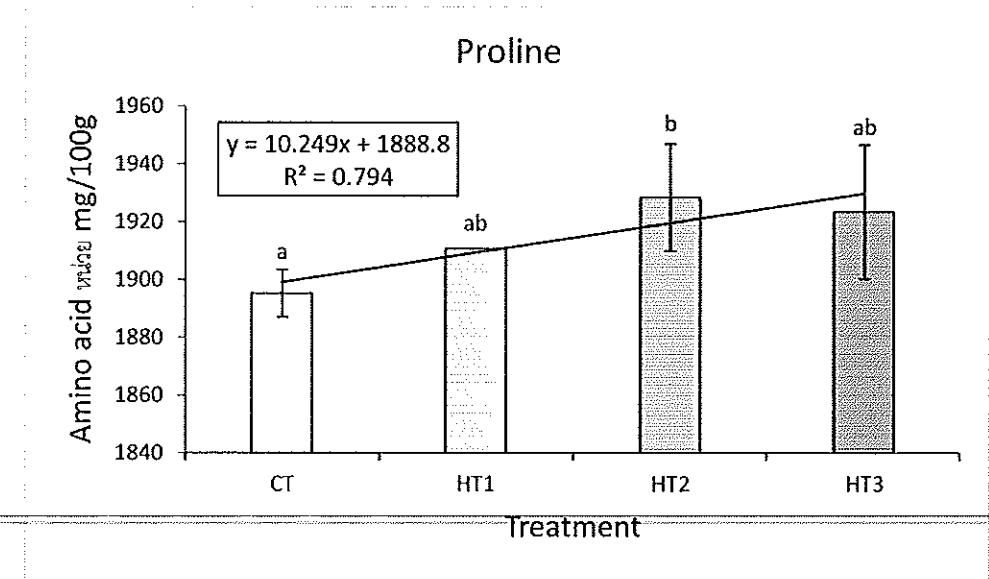


ภาพที่ 30 ปริมาณกรดอะมิโน Glutamic (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.2.4 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Proline

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Proline ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่ง มีค่าเท่ากับ 1895.18, 1910.59, 1928.42 และ 1923.40 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Proline รวม ในสิ่งทดลอง HT2 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 1.75 % และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วมค่า R^2 เท่ากับ 0.794 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพขยายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพล ต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Proline ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 31

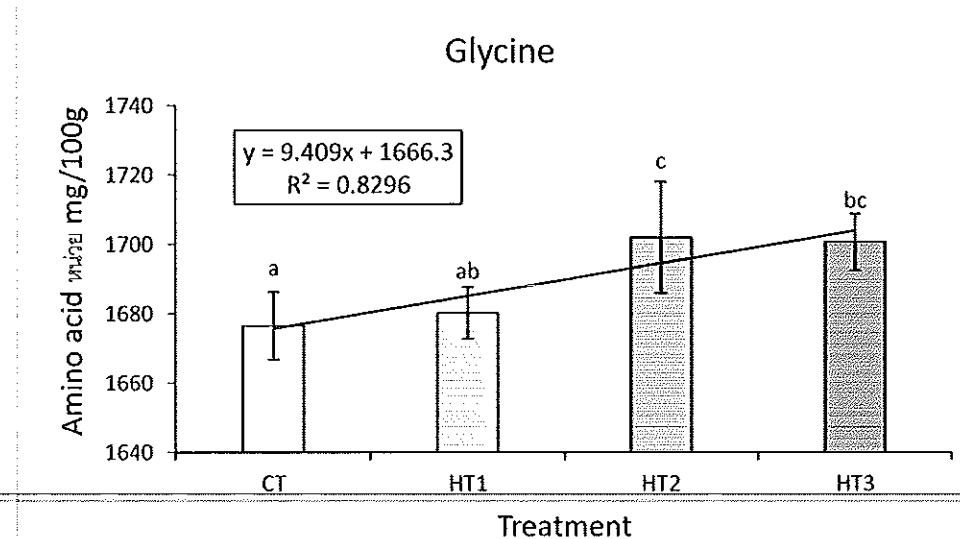


ภาพที่ 31 ปริมาณกรดอะมิโน Proline (mg/100 g) ของพืชเชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.2.5 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glycine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glycine ของถั่วเหลืองพืชเชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1676.52, 1680.19, 1701.95 และ 1700.63 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Glycine รวม ในสิ่งทดลอง HT2 และ HT3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าเพิ่มขึ้น 1.52 % และ 1.44 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8296 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นมีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Glycine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 32

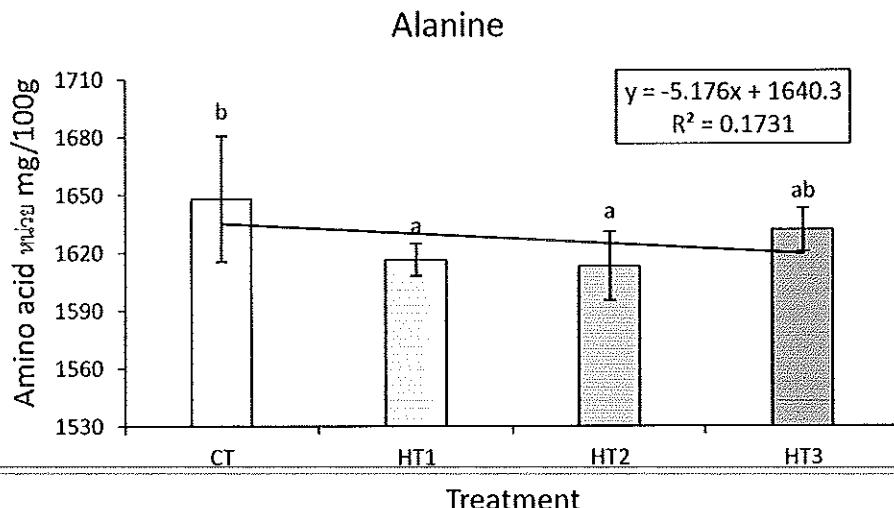


ภาพที่ 32 ปริมาณกรดอะมิโน Glycine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.2.6 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Alanine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Alanine ของก้าวเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่ง มีค่าเท่ากับ 1648.09, 1616.51, 1613.05 และ 1631.99 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1 และ HT2 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Alanine รวม ในสิ่งทดลอง HT1 และ HT2 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่า ลดลง 1.92 % และ 2.13 % ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วมกับ R^2 เท่ากับ 0.1731 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Alanine ซึ่งผล การศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 33

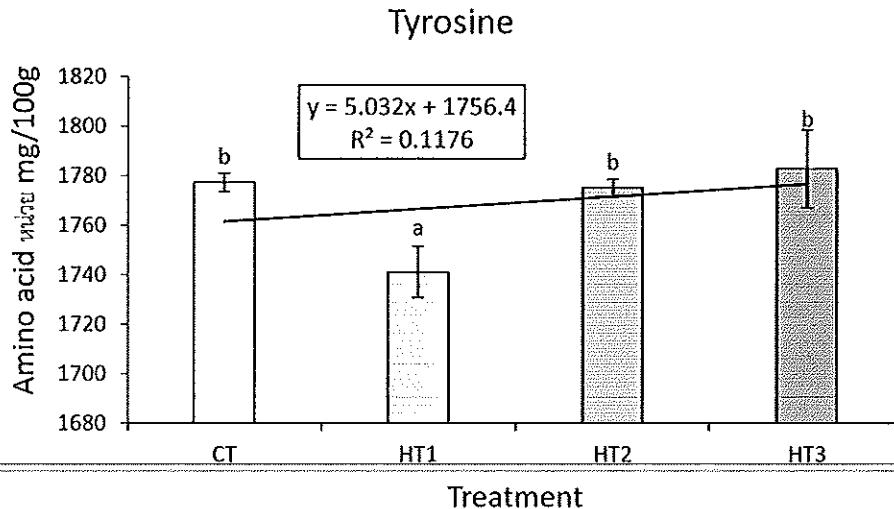


ภาพที่ 33 ปริมาณกรดอะมิโน Alanine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภัยใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.2.7 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Tyrosine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Tyrosine ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1777.26, 1740.28, 1775.01 และ 1782.69 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT1 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Tyrosine รวม ในสิ่งทดลอง HT1 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบร่วงลดลง 2.04 % และ เมื่อทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบร่วง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.1176 ซึ่งบ่งบอกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Tyrosine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 34

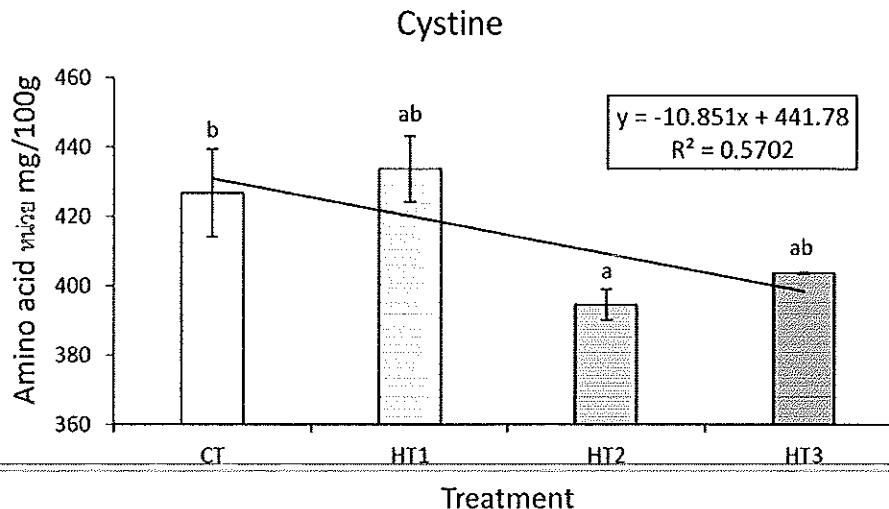


ภาพที่ 34 ปริมาณกรดอะมิโน Tyrosine (mg/100 g) ของพื้นฐุเชียงใหม่ 60 จากการปลูกภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ :* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

8.5.2.8 กรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Cystine

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดอะมิโนชนิด Cystine ของถั่วเหลืองพื้นฐุเชียงใหม่ 60 ซึ่ง มีค่าเท่ากับ 426.76, 433.66, 394.58 และ 403.61 mg/100g ในชุดการทดลอง CT, HT1, HT2 และ HT3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบความแตกต่างของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองชุดควบคุม (CT) กับสิ่งทดลอง HT2 โดยพบว่าปริมาณกรดอะมิโนชนิด Cystine รวม ในสิ่ง ทดลอง HT1 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าลดลง 7.54 % และเมื่อ ทดสอบด้วยสถิติค่าสัมประสิทธิ์เชิงกำหนด พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.5702 ซึ่งปั่งบวกกว่า ค่าระดับอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้นตามระดับการคาดการณ์ภาพฉายอนาคต RCP ตั้งแต่ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้นไม่มีอิทธิพลต่อ ผลผลิตในปัจจัยด้านกรดอะมิโนไม่จำเป็น ชนิด Cystine ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ชัดเจนในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ปริมาณกรดอะมิโน Cystine (mg/100 g) ของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากการปลูกภัยใต้สภาพ อุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ : * ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

จากการศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในฤดูกาลปลูกของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีต่อผลผลิตและระดับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ พบว่ามีการแสดงการตอบสนองในลักษณะที่แตกต่างกัน และ หลากหลาย ดังนั้นผู้วิจัยจึงแสดงผลการศึกษาในภาพรวมอีกครั้งแต่เป็นการสรุป ระดับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มหรือการลดระดับเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม (CT) โดยแสดงผลการศึกษา ในตารางที่ 6

พิจารณาภาพรวมในผลผลิต (ตารางที่ 6) พบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าธรรมชาติ ส่งผลกระทบทางลบต่อผลผลิตในทุกองค์ประกอบผลผลิต อย่างไรก็ตามพบว่า ผลการศึกษาในสิ่งทดลอง HT1 นั้นได้รับผลกระทบน้อยกว่าในสิ่งทดลอง HT1 และ HT2 เล็กน้อย ซึ่งบ่งบอกได้ว่าการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมน่าจะ ส่งผลกระทบในเชิงลบของผลผลิตในสิ่งทดลองได้

ตารางที่ 6 สรุปภาพรวมของระดับเบอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$) ขององค์ประกอบผลผลิตภายในตัวตั้บอุณหภูมิของ 3 สิ่งทดลอง โดยใช้ข้อมูลสิ่งทดลองชุดควบคุม CT เป็นฐานในการประเมิน)

ประเภทของ องค์ประกอบผลผลิต	ประเภทของสิ่งทดลอง		
	HT1	HT2	HT3
ฝักหั้งหมด/ตัน	-	-	+13.90%
เมล็ดหั้งหมด/ตัน	-	-	+15.11%
น้ำหนัก 100 เมล็ด	-19.73%	-26.53%	-30.61%

** หมายเหตุ การคำนวณเบอร์เซ็นต์ในตารางคิดคำนวณโดยใช้ข้อมูลในสิ่งควบคุม (CT) เป็นฐานในการคำนวณ

พิจารณาภาพรวมในกรดอะมิโน (ตารางที่ 7-8) พบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าธรรมชาติ นั้นส่งผลในภาพรวมลักษณะการตอบสนองเชิงบวกต่อกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นเกือบทุกชนิดในตารางที่ 7 โดยเฉพาะ Leucine และ Histidine เมื่อพิจารณาพบว่ากรดอะมิโนชนิด Methionine มีการตอบสนองเชิงลบต่อทุกสภาวะการทดลอง (HT1, HT2, HT3) และไม่พบผลกระทบหั้งเชิงบวกหรือเชิงลบในกรดอะมิโน ชนิด Tryptophan อีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นในตารางที่ 8 พบว่าผลกระทบมีลักษณะสอดคล้องกับกรดอะมิโนชนิดจำเป็นเนื่องจากว่าภาพรวมนั้นพบว่าสภาวะอุณหภูมิในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 นั้นส่งผลในภาพรวมลักษณะการตอบสนองเชิงบวกต่อกรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นเกือบทุกชนิด (ตารางที่ 8) และยังพบว่าการตอบสนองเชิงลบเกิดขึ้นชัดเจนในกรดอะมิโนชนิด Alanine เนื่องจากพบว่ามีการตอบสนองเชิงลบต่อทุกสภาวะ (HT1, HT2)

ตารางที่ 7 สรุปภาพรวมของระดับเบอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของกรดอะมิโนชนิดจำเป็นต่างๆภายใต้ระดับอุณหภูมิของ 3 สิ่งทดลอง (โดยใช้ข้อมูลสิ่งทดลองชุดควบคุม CT เป็นฐานในการประเมิน)

กรดอะมิโนจำเป็น	ประเภทของสิ่งทดลอง		
	HT1	HT2	HT3
Threonine	-	-	+10.65
Valine	-	+7.46	+9.90
Methionine	-8.23	-6.26	-12.34
Isoleucine	-	+7.75	+9.38
Phenylalanine	-	+4.13	+4.66
Tryptophan	-	-	-
Lysine	-	+2.56	+2.98
Leucine	+4.88	+7.49	+9.95
Arginine	-	-	+4.40
Histidine	+2.07	+3.23	+4.27

** หมายเหตุ การคำนวณเบอร์เซ็นต์ในตารางคิดคำนวณโดยใช้ข้อมูลในสิ่งควบคุม (CT) เป็นฐานในการคำนวณ

ตารางที่ 8 สรุปภาพรวมของระดับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นต่างๆภายใต้ระดับอุณหภูมิของ 3 สิ่งทดลอง (โดยใช้ข้อมูลสิ่งทดลองชุดควบคุม CT เป็นฐานในการประเมิน)

กรดอะมิโนไม่จำเป็น	ประเภทของสิ่งทดลอง		
	HT1	HT2	HT3
Aspartic	-	+2.29	+2.24
Serine	-	-	-0.29
Glutamic	-	+1.65	+2.00
Proline	-	+1.75	-
Glycine	-	+1.52	+1.44
Alanine	-1.92	-2.13	-
Tyrosine	-2.04	-	-
Cystine	-	-7.54	-

** หมายเหตุ การคำนวณเปอร์เซ็นต์ในตารางคิดคำนวณโดยใช้ข้อมูลในสิ่งควบคุม (CT) เป็นฐานในการคำนวณ

9. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาผลกระทบจากการระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากสภาพโลกร้อนซึ่งจำลองสถานการณ์ให้เกิดขึ้นจริงจากการควบคุมด้วยระบบโรงเรือนทดลองระบบเปิด (OTCs) ที่มีต่อถ้วนเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 นั้น จากการการควบคุมระดับอุณหภูมิในการวิจัยครั้งนี้ สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิภายในตู้ให้เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน 4 ระดับตามแนวโน้มการคาดการณ์จากภาพฉายอนาคต RCP โดยพบว่าระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลอง HT1, HT2 และ HT3 สูงกว่าสิ่งทดลอง CT ประมาณ 2.0°C , 3.6°C และ 4.8°C ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มระดับอุณหภูมิของภาพฉายอนาคต RCP4.5, RCP6.0 และ RCP8.5 ตามที่ได้กำหนดไว้ในการวิจัย และเมื่อทดสอบโดยสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (สัมประสิทธิ์เชิงกำหนด) พบว่า มีค่า R2 สูงถึง 0.9 ซึ่งหมายความว่าสามารถใช้สมการนี้คาดการณ์ผลผลกระทบที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆได้ในกรณีพารามิเตอร์เหล่านี้มีการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรง ซึ่งเมื่อได้ทำการศึกษาได้ผลสรุปดังนี้

9.1 ผลการศึกษาในผลผลิตพบว่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2.0° 3.6°C จนถึงระดับสูงสุดคือ 4.8°C ไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ต่อผลผลิตรวม แต่พบว่าส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดนั้นคือส่งผลทำให้ขนาดเมล็ดเล็กลงอย่างชัดเจนเมื่อทดสอบโดยชั่งน้ำหนัก 100 เมล็ด พบว่าค่าน้ำหนักในสิ่งทดลอง HT1,

HT2 และ HT3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมเท่ากับ 19.73 % , 26.53 % และ 30.61 % ในสิ่งทดลอง HT1 /HT2 และ HT3 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยสหสมัยพันธ์ เชิงเส้นทรงระหว่างระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลอง (ที่เรียงลำดับจาก CT, HT1, HT2 ถึง HT3) กับน้ำหนัก 100 เม็ด พบร่วมมีค่า R^2 สูงถึง 0.87 ซึ่งยืนยันได้ว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการลดขนาดเม็ดถึง 87 %

9.2 ผลการศึกษาในร่องวัตถุพบว่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุดคือ 4.8°C ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ต่อร่องวัตถุชนิดคลอร็อกลูโรฟิลล์เอเพียงชนิดเดียว ซึ่งพบว่าส่งผลกระทบทำให้ระดับคลอร็อกลูโรฟิลล์ลดลง 13.4 % เมื่อเปรียบเทียบกับ CT และมีอุทธสอดด้วยสหสมัยพันธ์ เชิงเส้นตรงระหว่างระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลอง (ที่เรียงลำดับจาก CT, HT1, HT2 ถึง HT3) กับคลอร็อกลูโรฟิลล์น้ำหนัก พบร่วมมีค่า R^2 สูงถึง 0.9249 ซึ่งยืนยันได้ว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการลดปริมาณคลอร็อกลูโรฟิลล์ถึง 87 %

9.3 ผลการศึกษาในระดับใบโตรเจนในใบพืช พบร่วมดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 3.6°C จนถึงระดับสูงสุดคือ 4.8°C ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ต่อระดับใบโตรเจนในใบถั่วเหลือง โดยพบว่าระดับใบโตรเจนในใบลดลง เท่ากับ 11.0% และ 15.4% ในสิ่งทดลอง HT2 และ สิ่งทดลอง HT3 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และยิ่งกว่านั้นเมื่อทดสอบด้วยสหสมัยพันธ์ เชิงเส้นตรงระหว่างระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลอง (ที่เรียงลำดับจาก CT, HT1, HT2 ถึง HT3) กับระดับใบโตรเจนในใบพบร่วมมีค่า R^2 สูงถึง 0.99 ซึ่งยืนยันได้ว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการลดระดับใบโตรเจนในใบในระดับสูงถึง 99 %

9.4 ผลการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่มีต่อระดับกรดอะมิโนนั้น ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบดังนี้

9.4.1 ผลกระทบที่ส่งผลทำให้กรดอะมิโน 4 ชนิดลดลง พบรั้ดเจนที่สุดในกรดอะมิโนชนิด Methionine เนื่องจากพบร่วมดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2.0°C 3.6°C จนถึงระดับสูงสุดคือ 4.8°C ส่งผลกระทบทำให้ methionine ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 8.23%, 6.26% และ 12.34% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในสิ่งทดลอง HT1 /HT2 และ HT3 ตามลำดับ (เมื่อเปรียบเทียบกับ CT) (เริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ระดับการเพิ่มอุณหภูมิที่ 2.0°C) และเมื่อทดสอบด้วยสหสมัยพันธ์ เชิงเส้นตรงระหว่างระดับอุณหภูมิในสิ่งทดลอง (ที่เรียงลำดับจาก CT, HT1, HT2 ถึง HT3) กับปริมาณ methionine พบร่วมมีค่า R^2 สูงถึง 0.77 ซึ่งยืนยันได้ว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการลดปริมาณ methionine ถึง 87 %

สำหรับผลกระทบของการเพิ่มระดับอุณหภูมิส่งผลต่อการลดลงของระดับกรดอะมิโนอีก 3 ชนิด เช่นกันคือ ชนิด serine, alanine และ cysteine แต่การลดลงเริ่มต้นที่ระดับอุณหภูมิที่ 3.6°C และลดลงในช่วง 2-7% ซึ่งเป็นร้อยละของผลกระทบที่น้อยกว่ากรดอะมิโนชนิด methionine อย่างไรก็ตาม ผล

การศึกษาใน serine ถึงแม้ว่าปริมาณจะลดลงตั้งแต่ระดับอุณหภูมิ 2.0°C จนถึงที่ระดับ 3.0°C แต่กลับไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ 4.8°C ทำให้ค่า R^2 มีค่าเพียง 0.1

9.4.2 ผลกระทบที่ส่งผลทำให้กรดอะมิโนจำนวน 14 ชนิดเพิ่มขึ้น กือกรดอะมิโนชนิด Threonine, Valinsoleucine, Phenylalanine, Tryptophan, Lysine, Leucine, Arginine ,Histidine, Aspartic, Glutamic, Proline, Glycine และ Tyrosine โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Threonine เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระดับ 10.65% ภายใต้ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 4.8°C

ผลสรุปในภาพรวม

ผลการศึกษาในภาพรวมบ่งชี้ว่าถ้าเปลี่ยนพันธุ์เชียงใหม่ 60 ชิงปลูกภายใต้สถานการณ์โลกร้อนที่มีระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ $2-5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งควบคุมให้เป็นไปตามระดับการคาดการณ์ภายใต้สภาพอากาศ RCP 4.5, 6.0 และ 8.5 นั้น ได้รับผลกระทบที่ค่อนข้างชัดเจนในด้านผลผลิตที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีจำนวนเมล็ดเพิ่มขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก 100 เมล็ด สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และแปรผันตามแนวโน้มระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบด้วยค่า R^2 (0.9) ผลการศึกษาที่มีลักษณะทิศทางเดียวกันคือผลกระทบที่มีต่อระดับคลอรอฟิลล์อี และ ระดับใบโตรเรนในใบลดลงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในกรดอะมิโนพบว่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบในลักษณะ 2 ทิศทางคือส่งผลกระทบทำให้ปริมาณกรดอะมิโนบางชนิดลดลงแต่ทำให้กรดอะมิโนบางชนิดเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาในภาพรวมบ่งชี้ว่าในอนาคตหากเกิดภาวะโลกร้อนในประเทศไทยตามแนวโน้มภาพอากาศ RCP ย่อมส่งผลกระทบต่อกุญแจพเมล็ดของถั่วเหลืองรวมทั้งเปลี่ยนแปลงสารอาหารในเมล็ดได้จริง

ผลการวิจัยมีลักษณะเข่นนื้อธงไบได้ด้วยกลไกทางสรีรวิทยาว่า ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาวะเดิมในฤดูกาลปลูกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงสรีรวิทยาตั้งแต่ช่วงระยะเติบโตทางลำต้น (V-stage) จนถึงระยะการสืบพันธุ์ (R-stage) จะส่งผลอย่างยิ่งต่อสรีรวิทยาในระยะการสร้างเมล็ดซึ่งส่งผลทำให้การสร้างเมล็ดไม่สมบูรณ์ กลไกต่างๆเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปเป็นอันตรายต่อกระบวนการทางเมtabolism ต่างๆ ของเนื้อเยื่อพืชซึ่งจะส่งผลต่อการยับยังกระบวนการดูดใช้ธาตุอาหาร (Nutrient uptake) และ การทำลายเซลล์พืช (Nxawe et al., 2010; Carrera et al., 2011) มีข้อมูลการศึกษาอีกนับว่าอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับเหมาะสมต่อการอยู่รอดของพืชชนิดนั้นๆ ตั้งแต่ 10°C ถึง 15°C มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับรงค์วัตถุในใบที่เป็นปัจจัยหลักต่อการสังเคราะห์แสง (Tewari and Tripathy, 1998) และส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการหายใจแสงและทำให้สูญเสียระดับ CO_2 และในใบพืชและส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชในที่สุด รวมทั้งยังส่งผลต่อเนื่องต่อการลดระดับการสังเคราะห์โปรตีนอย่างต่อเนื่องของพืช ซึ่งแน่นอนว่าในระยะสุดท้ายแล้วจะส่งผลต่อการลดผลผลิตของพืชชนิดนั้นๆ (Sharkey, 2001; Thanaharoenchanaphas and Rugchati, 2018) ได้มีการศึกษาในประเด็นนี้มาแล้ว เช่นเดียวกัน โดยพบว่า

เมื่อปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ สง 5 และ พันธุ์เขียงใหม่ 60 ภายใต้ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับอุณหภูมิในฤดูการปลูกประมาณ 10°C ส่งผลทำให้ผลผลิต (จำนวนเมล็ดตั้งหมด/ต้น) ลดลงถึง 54% และ 40% ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่ยืนยันว่าระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไป และระดับอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป ล้วนส่งผลกระทบต่อพืชและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ส่งผลกระทบเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของพืชประเภท C3 เนื่องจากพืชประเภท C3 เช่น ถั่วเหลือง ซึ่งปลูกในประเทศไทย จะมีความไวต่อการตอบสนองในเชิงลบต่อสภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงมากกว่าพืช C4 เช่นข้าวสาลี และเกิดกระบวนการการหายใจแสงได้ไวเมื่อสัมผัสกับสภาวะอุณหภูมิสูง และกระบวนการตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียดของอุณหภูมนี้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการสร้างพลังงานอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงกลไกกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการนำคาร์บอนมาใช้ในกระบวนการสร้างอาหาร เช่น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ rubisco ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการตึง CO_2 ให้จับกับ RuBp ในกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง และส่งผลอย่างต่อเนื่องจนนำไปสู่การลดผลผลิต ยิ่งกว่านั้นภายในสภาวะความเครียดจากสภาวะอุณหภูมิสูงยังส่งผลต่อการผลิตสารออกซิเดนท์ประเภท reactive oxygen species (ROS) ระดับ ROS จะเพิ่มขึ้นมากเมื่อเกิดสภาวะเครียด เช่นสภาวะเครียดจากอุณหภูมิรูปแบบ Heat stress ในช่วงขณะที่เกิดสภาวะความเครียดจากอุณหภูมนี้ ROS จะเพิ่มขึ้นสูงมากซึ่งนำไปสู่การทำลายโครงสร้างเซลล์ หรือนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารอาหารสำคัญของเมล็ดในที่สุด และปัจจัยร่วมระหว่างการเพิ่มระดับ CO_2 และ อุณหภูมิภายในสภาวะโลกร้อน ยังส่งผลต่อการลดผลผลิตของขัญพืชได้ เช่นเดียวกัน

ผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิสูงนำไปสู่สภาวะความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ของพืช ส่งผลทำให้เซลล์ตาย หรือเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของสารอาหารในเมล็ดพืชได้ เช่น ส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปของกรดอะมิโนบางประเภทโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนประเภทที่มีชั้ลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไม้เลกุล (sulfur amino acid) เช่น methionine ซึ่งจัดเป็นกรดอะมิโนชนิดอ่อนไหวต่อระดับอุณหภูมิสูง ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้ได้ผลตามสมมติฐานนี้ อย่างไรก็ตามมีการทดลองในกลุ่มนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น สมมติฐานได้ประการหนึ่งว่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นใน การศึกษาระดับนี้ยังไม่สูงพอที่จะทำลายกรดอะมิโนได้ และไม่ได้เป็นกรดอะมิโนชนิดชนิดอ่อนไหวต่อระดับอุณหภูมิสูง ยิ่งกว่านั้นการได้รับสัมผัสถักบาระดับอุณหภูมิที่สูงอย่างต่อเนื่องนั้นกลับทำให้ถั่วเหลืองเกิดกลไกป้องกันเองโดยการรักษาระดับปรตีนและส่งผลไปถึงการรักษาหรือการที่เพิ่มระดับกรดอะมิโนเพื่อรักษาสถานภาพ ซึ่งมีผลการศึกษาแสดงถ่องถักบาระดับอุณหภูมนี้โดย Jez (2008) ซึ่งศึกษาพบว่าในสภาวะอุณหภูมิสูงที่ส่งผลต่อการลดผลผลิตของถั่วเหลืองกลับพบว่าระดับปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นและส่งผลต่อการคงอยู่ของกรดอะมิโนในเมล็ดถั่วเหลืองถ้า

10. เอกสารอ้างอิง

กนิศา รัณเจริญชณภัส และ โอลรัส รักษาติ. 2551. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการจำลองสภาพภารณ์โลกร้อนในพื้นที่ป่าลูกข้าวเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่ออัตราผลผลิต คุณภาพสารอาหาร และการเปลี่ยนแปลงในระดับพื้นที่กรุงเทพของข้าวหอมมะลิไทย. เสนอต่อ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

กนิศา รัณเจริญชณภัส และ โอลรัส รักษาติ. 2552. ผลกระทบของสภาพภูมิภาคที่เพิ่มขึ้นในฤดูกาลปีกุหลาบปีที่มีต่อผลผลิตและอนุภาคเม็ดแป้งของข้าวหอมไทย (*Oryza sativa L.*) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 47 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 9 สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, วันที่ 17-20 มีนาคม 2552, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 282-290.

กนิศา รัณเจริญชณภัส โอลรัส รักษาติ และ นารศ ข้าเจริญ. 2554. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการสร้างสภาพภารณ์โลกร้อนในพื้นที่ไร่ถั่วเหลืองเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสารอาหาร และ การเปลี่ยนแปลงในระดับพื้นที่กรุงเทพของถั่วเหลืองพันธุ์สำคัญของประเทศไทย, เสนอต่อ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กนิศา รัณเจริญชณภัส. 2558. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก : ผลกระทบและการตอบสนองของศรีวิทยาระบบนิเวศ, โรงพยาบาลพิษณุโลกดอทคอม, พิษณุโลก, 274 หน้า.

กนิศา รัณเจริญชณภัส และ โอลรัส รักษาติ. 2558. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการจำลองสถานการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยสภาพภูมิอากาศแปรปรวนบางประการที่มีต่อผลผลิตคุณภาพของเมล็ดและความทนทานต่อสถานการณ์ของถั่วเหลืองสายพันธุ์ดีเด่นของภาคเหนือ, เสนอต่อ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กรมวิชาการเกษตร. 2552. ถั่วเหลือง : การผลิตการตลาด

<http://as.doa.go.th/fieldcrops/soy/oth/002.HTM>

ชวนพิศ แดงสวัสดิ์. 2544. ศรีวิทยาของพีช. นนทบุรีการพิมพ์และสำนักพิมพ์พัฒนาศึกษา, กรุงเทพฯ, 379 หน้า.

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

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

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 Research*, Vol. 104, pp. 139-147.

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.

- Carrera C.S., Reynoso C.M., Funes G.J., Martinez M.J., Dardanelli J. and Resnik S.L. 2011. Amino acid composition of soybean seeds as affected by climate variables. *Agrometeorology*. 46: 1579-1587.
- Chang, C.C. 2002. The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture, *Agricultural Economic*, Vol. 27, pp. 51-64.
- Chao, C., Guang-sheng, Z. and Li, ZHOU. 2014. Impacts of Climate Change on Rice Yield in China From 1961 to 2010 Based on Provincial Data, *Journal of Integrative Agriculture*, Vol.13, pp. 1555-1564.
- 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.
- Chinvanno, S. and Snidvongs, A. 2007. Assessment of Impact, Vulnerability and Adaptation to Climate Change: Lessons learned from pilot study in the lower Mekong River region during 2003 – 2006. SEA START RC Technical Report. Draft.
- 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.
- Clarke, L., Jiang, K., Akimoto, K., Babiker, M., Blanford, Fisher-Vanden, G., Hourcade, K. J., Krey, C., Kriegler, V.E., Löschel, A., McCollum, D., Paltsev, S., Rose, S., Shukla, P.R., Tavoni, M., van der Zwaan, B.C.C. and van Vuuren, D.P. 2014. Assessing Transformation Pathways. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Cline, W.R. 2007. Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Peterson Institute.
- Cure, J.D., Acock, B. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling-a literature survey. *Agric.Forest Meteorol.* Vol. 38, pp. 127-145.
- Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, Ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, Vol. 97, pp 1-20.

- Gerald C. Nelson, Mark W. Rosegrant, Jawoo Koo, Richard Robertson, Timothy Sulser, Tingju Zhu, Claudia Ringler, Siwa Msangi, Amanda Palazzo, Miroslav Batka, Marilia Magalhaes, Rowena Valmonte-Santos, Mandy Ewing, and David Lee. 2009. Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. Policy Report. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C. pp. 135-138.
- Greer, D.H. and Weston, C. 2010. Heat stress affects flowering, berry growth, sugar accumulationand photosynthesis of *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevines grown in a controlled environment, *Functional Plant Biology*, Vol. 37, pp. 206-214.
- Greer, D. H, and Weedon, M. M. 2012. Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant, Cell & Environment*, Vol.35, pp.1050-1064.
- Hall, A.E. 2001. Crop responses to Environment. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
- Hasanuzzaman M., Nahar K., Alam M.M., Roychowdhury R., and Fujita M. 2013. Physiological, Biochemical, and Molecular of heat stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.* 14(5): 9643-9684.
- 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.
- 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
- 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.
- 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). 2002. IPCC Technical Paper V : Climate change and biodiversity. 86 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse 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.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. IPCC Factsheet: How does the IPCC review process work? Geneva, Switzerland: IPCC. Retrieved 5 December 2013, www.climatechange2013.org/images/uploads/FS_review_process.pdf.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Geneva, Switzerland:
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Observations: atmosphere and surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. IPCC working group II contribution to AR5. Geneva, Switzerland: IPCC. in press www.ipcc-wg2.org.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R.

- Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- gov/AR5/.Intergovernmental Panel on Climate Change
- Irmak, S., Naeem, H.A., Lookhart, G. and MacRitchie, F. 2008. Effect of heat stress on wheat proteins during kernel development in wheat near-isogenic lines differing at Glu-D1. *Journal of Cereal Science*, Vol.48(2), pp. 513-516.
- Jacobson, M.Z., 2002. *Atmospheric Pollution; History, Science, and Regulation*. Cambridge University Press, UK. 399 p.
-
- Jez J. 2008. *Sulfur: A Missing link between soils, crops and nutrition*. Oxford: American Society of Agronomy, Inc. 238-239.
- John, T.C., Gregory, J.M.G., Ingram, W.J., Johnson, C.E., Jones, A., Lowe, J.A., Mitchell, J.F.B., Roberts, D.L., sexton, D.M.H., Stevenson, D.S. , Tett, S.F.B. and Woodage, M.J., 2003. Anthropogenic Climate Change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under update emissions scenarios. *Climate Dynamics*. Vol.20, pp 583-612.
- Jones, H.G. 1992. *Plants and microclimate : A quantitative approach to environmental plant physiology*, Cambridge University Press, Cambridge, 428 p.
- Kabubomariara, M. J. and Karanja, F. K. 2007. The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach. *Global and Planetary Change*. Vol. 57, pp. 319–330.
- 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.
- Lal, M., Singh, K.K., Srinivasan, G., Rathore, L.S., Naidu, D. and Tripathi, C.N. 1999. Growth and yield responses of soybean in Madhya Pradesh, India to climate variability and change , *Agriculture and Forest Meteorology*, Vol. 93, pp53-70.
-
- Mall, R.K., Lal,M., Bhatia, V.S., Rathore, L.S., Singh, R. 2004. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study, *Agriculture and Forest Meteorology*, Vol.121, pp 113-125.
-
- 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.

- 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.
- Mishra, A., Singh, R., Raghuwanshi, N.S., Chatterjee, C., Froebrich, J. 2013. Spatial variability of climate change impacts on yield of rice and wheat in the Indian Ganga Basin, *Science of the Total Environment*, Vol. 468-469, pp.132-138
- Newton, P.D.C., Clark, H., Bell, C.C., Glasgow, E.M., and Campbell, B.D. 1994. Effects of elevated CO₂ 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.
- Norby, R., Edwards, N., Riggs, J., Abner, C., Wullschleger, S., and Gunderson, C., 1997. Temperature-controlled open-top chambers for global. *Global Change Biology*. Vol. 3, pp. 259-267.
- Nxawe S., Ndakidemi P. A. and Laubscher C. P. 2010. Possible effects of regulating hydroponic water temperature on plant growth, accumulation of nutrients and other metabolite. *AFR. J. Biochem.* 9(54): 9128-9134.
- 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.
- Prather, M., C. Holmes, and J. Hsu. 2012. Reactive greenhouse gas scenarios: Systematic exploration of uncertainties and the role of atmospheric chemistry. *Geophysical Research Letters*, Vol.39, L09803. Physical and Engineering Data, January 1978 ed. The Hague: Shell International Petroleum Maatschappij BV, 1978.
- 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.

- Sharkey D. Thomas. 2001. Photorespiration. Encyclopedia of Life Sciences. 1 – 5.
- Stott, P.A., John, G. S., Lowe, J.A., Thorne, P., Durmam, C., Johns, T.C. and Thelen J.C., 2006. Transient Climate Simulations with the HadGEM1 Climate Model : Causes of Past Warming and Future Climate Change. *Journal of Climate*. Vol. 19, pp 2763-2782.
- 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
- Tewari A. K., and Tripathy B. C. 1998. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll. *Plant Physiol.* 117(3): 851-858.
-
- Thai Meteorological Department. 2016. Changes in Temperature and Rainfall over Thailand under Climate Change. Tech. Document. 551.577.
- Thanacharoenchanaphas, K. and Rugchati, K. 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.
- Thanacharoenchanaphas K. and Rugchati O. 2015. Impacts of Atmospheric Temperature – Humidity Changes on Yield Quality of Thai Soybean Cultivar. *Int. J. Environ. Rur. Development*. 6:115 – 120.
- Thanacharoenchanaphas K. and Rugchati O. 2018. Changes in Yield and Essential Amino Acid Composition Associated with Air Temperature Stress in Thai Soybean Seeds, Sor Jor 5 Cultivar. *J Fundam Appl Sci.* 10: 703-714.
- Tyagi, S.K. and Triathi R.D. 2005. Effect of Temperature on Soybean germination. *Plant and Soil*. Vol. 75(2) , pp 273-280
- 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., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Heat tolerance in plants: An Overview. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 61, pp. 199-223.
- 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.
- Whigham, D.K. 1983. Soybean. In: S. Yoshida (ed.) *Symposium on potential productivity of field crops under different environments*. IRRI, Philippines.
- 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.
- Zhai, F. and Zhuang, J. 2009. *Agricultural impact of climate change: A general equilibrium analysis with special reference to Southeast Asia*, Asian Development Bank Institute Working Paper Series 131, Manila Philippines: Asian Development Bank.
- Zhang, L., Zhu, L., Yu, M. and Zhong, M. 2016. Warming decreases photosynthates and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in the North China Plain. *The Crop Journal*. 6:139-146.

