บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถานการณ์ปัญหาภาวะโลกร้อนและผลกระทบต่อทรัพยากรอาหารของโลก

ปัญหาสภาวะโลกร้อน (Global Warming) เกิดจากกลุ่มก๊าซซึ่งเรียกว่าก๊าซเรือนกระจกกลุ่มหนึ่งซึ่งสะสมในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์และสามารถดึงพลังงานคลื่นแสงอินฟราเรด เก็บไว้ในโมเลกุล และสะท้อนรังสีกลับออกมาสู่ระดับชั้นพื้นดิน (surface level) อีกครั้ง ทำให้ภาคพื้นดิน ภาคพื้นน้ำ และ ชีวมวล ของโลก เก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้มากขึ้นจนทำให้ความร้อนสุทธิของโลกสูงขึ้นจนเกิดปรากฏการณ์ การเพิ่มอุณหภูมิของโลก (Global Climate Change) (Horel and Geisler, 1997; Jacobson, 2002) กลุ่มก๊าซเหล่านี้ถูกเรียกว่าก๊าซเรือนกระจก กลุ่มก๊าซเรือนกระจกหลักของโลก อาทิเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเธน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์(N_2O) และ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CF_2Cl_2) (Horel and Geisler, 1997) ปัจจุบันกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ขององค์กร IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ได้ระบุว่า CO_2 เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกมากที่สุด (IPCC, 2006; IPCC, 2007) เนื่องมาจากมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆและเพิ่มขึ้นประมาณ 35 % ในช่วงระหว่าง ก่อนยุคอุตสาหกรรมโลกจนถึงปี 2002 (Keeling and Whorf, 2003) ซึ่งมีการคาดการณ์โดย IPCC ว่า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในศตวรรษนี้ (IPCC, 2001) ซึ่งย่อมส่งผลทางตรงการต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกอย่างแน่นอน

ผลกระทบที่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกให้ความตระหนักเป็นอย่างมาก คือปัญหาด้านความเสี่ยงต่อการขาดแคลนอาหารของโลกในอนาคต เนื่องมาจาก ผลการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆทั่วโลกในประเด็นผลกระทบของสภาวะโลกร้อนที่มีต่อ ระบบนิเวศเกษตรในประเทศต่างๆ พบว่าในช่วงระยะ 10 ปีที่ผ่านมานี้ศักยภาพในการให้ผลผลิตของพืชการภาคการเกษตรในหลายประเทศลดลงรวมทั้งประเทศในภูมิภาคเอเชียซึ่งคาดว่าเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และ อาจส่งผลต่อการขาดแคลนน้ำมากขึ้นและถี่ขึ้น ส่งผลทำให้เกิดการระบาดของโรคพืชมากขึ้น รวมทั้งฤดูกาลที่ผิดเพี้ยนไป การเสื่อมโทรมของดิน น้ำท่วมชายฝั่งทะเล และ การรุกล้ำของน้ำเค็ม เข้าไปในแหล่งน้ำ ได้มีการทำนายไว้ว่าผลผลิตในเอเชียใต้จะลดลงไปประมาณ 4-10% ในสิ้นศตวรรษนี้ (IPCC, 2006) รวมทั้งผลกระทบโดยตรงของระดับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มีผลต่อเชิงสรีรวิทยาของจนนำไปสู่การลดผลผลิตของพืชเกษตรต่างๆ (กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ,

2551; กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ, 2552; Jones, 1992; Wheeler, et al., 1993; Newton, et al., 1994; Wurr, et al., 1996; Nijs, et al., 1996 ; Hollister and Webber, 2000)

งานวิจัยในหลายประเทศได้ยืนยันข้อมูลนี้และพบว่าอัตราผลผลิตของพืชไร่ในโลกมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ กับสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก และส่งผลต่อสภาวะเศรษฐกิจของโลก Adams (1998) มีข้อมูลยืนยันว่าผลผลิตของพืชไร่ในหลายพื้นที่ของโลกในปัจจุบัน ลดลงได้สูงสุดใต้สภาวะที่บรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นจริง ซึ่งทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการเพิ่มผลผลิตพืชทางการเกษตรเหล่านี้ ประเทศในภูมิภาคเอเชียเช่น ประเทศใต้หวันก็ได้ศึกษาปัญหานี้เช่นเดียวกัน โดย Chang (2002) ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศและสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้นที่มีต่อพืชไร่ 60 ชนิด โดยสัมพันธ์กับข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณ พบว่าปรากฏการณ์โลกร้อนร่วมกับความแปรปรวนของภูมิอากาศเป็นปัจจัยร่วมกันส่งผลต่อการลดผลผลิตของพืชทางการเกษตร นอกจากนั้นยังมีข้อมูลยืนยันจากกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่ได้มีการประเมินความเสียหายในเชิงเศรษฐกิจจากการสูญเสียพืชพรรณในเขตพื้นที่อนุรักษ์ของแอฟริกาเป็นจำนวนเงินถึง 74.5 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2100 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการประเมินผล และยังมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ.2065 มูลค่าความเสียหายจะสูงกว่านี้อีกมาก (Velarde, et al., 2005)

นอกจากสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วยังพบว่าสภาวะอากาศแปรปรวนหรือระดับอุณหภูมิทั้งสูงขึ้นกว่าปกติและต่ำกว่าระดับปกติในฤดูกาลปลูก เนื่องจากการวิจัยผลกระทบของสภาวะภูมิอากาศแปรปรวนที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตรพบผลการศึกษาที่สอดคล้องกันนั่นคือการปลูกพืชเกษตรภายใต้สภาวะภูมิอากาศแปรปรวนส่งผลต่อการลดคุณค่าผลผลิตอาหารจากการเกษตร (Cure and Acock, 1986) ยิ่งกว่านั้นเมื่อประยุกต์ใช้การศึกษาและพยากรณ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าแนวโน้มการเพิ่มระดับอุณหภูมิ และ การเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลต่อการลดอัตราผลผลิตทางการเกษตรของโลกในอนาคต (Cure and Acock, 1986; Mall, et al., 2004 ; Tan and Shinasaki, 2003) และที่น่าสนใจคือข้อมูลจากรายงานของกลุ่ม IPCC ซึ่งได้สรุปประเด็นที่น่าสนใจว่าของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศอันเนื่องมากจากสภาวะโลกร้อนในเอเชียในช่วงระยะ 10 ปีที่ผ่านมานี้ ส่งผลต่อการลดศักยภาพผลิตของพืชเศรษฐกิจการเกษตรในเกือบทุกประเทศในเอเชีย ซึ่งคาดว่าผลผลิตในเอเชียใต้จะลดลงไปประมาณ 4-10% ในสิ้นศตวรรษ (Tan and Shinasaki ,2003; IPCC, 2007)

กลไกการเปลี่ยนแปลงเชิงสรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง

สภาวะเครียดมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช

สภาวะเครียด คือ สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาในพืชอันเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาด้านการเจริญเติบโต พัฒนา และการให้ผลผลิตของพืช ซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันไป ดังนี้

1. Elastic effect หมายถึง ผลที่มีต่อพืชทันที เมื่อสภาวะเครียดนั้นๆ หมดไปแล้ว พืชสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้

2. Plastic effect เป็นผลเนื่องจากสภาพเครียดที่พืชมีพัฒนาการผิดปกติไป และไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ เมื่อสภาวะเครียดนี้มีความรุนแรง พืชอาจได้รับความเสียหายหรือตายในที่สุด

3. Hardenning effect เป็นปฏิกิริยาที่เมื่อพืชได้รับสภาวะเครียดไม่รุนแรงจนถึงกลับตายได้ แต่จะได้รับทีละเล็กทีละน้อยๆ จนทำให้พืชเกิดความต้านทานต่อสภาวะเครียดนั้นๆ ได้ดีขึ้น

4. Carried over effect เป็นผลของการได้รับความเครียดที่เป็นปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับยีนที่ถ่ายถอดไปยังรุ่นลูก

โดยปกติแล้วแล้วสภาพแวดล้อมมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของการลำเลียงน้ำ และอาหาร การเติบโต และพัฒนาการของพืช แต่ในสภาวะที่มีความเครียดอย่างรุนแรงนั้น พืชที่ทนทานมีชีวิตรอดได้ย่อมมีกลไกลพิเศษที่มีความซับซ้อนทางสรีรวิทยาของขบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องในระดับฮอร์โมนและการตอบสนองในรูปของการเติบโตและพัฒนาการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุกรรมพืชด้วย (ลิลลี่ กาวีตัะ, 2546)

สาเหตุของสภาวะเครียด

สภาวะเครียดส่วนใหญ่ที่พืชได้รับ เป็นสภาวะเครียดทางด้านกายภาพจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมและพืชได้รับความเครียดจากปัจจัยทางชีวภาพ เช่นการเกิดโรค และการแข่งขันระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกัน เช่น ระหว่างปลูกพืช หรือวัชพืช สำหรับสภาวะเครียดทางกายภาพนั้นอาจแบ่งได้ 3 สาเหตุ คือ 1) สภาพภูมิอากาศที่จำกัดอย่างรุนแรง (extreme climatic stresses) 2) สภาพภูมิศาสตร์ หรือ แหล่งที่อยู่ (geographic or physical stresses) 3)ความเป็นพิษ (toxic effects) เนื่องจากสภาพธรรมชาติ เช่นการได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต หรือจากมลพิษ (ลิลลี่ กาวีตัะ, 2546)

กลไกลความต้านทานต่อสภาวะเครียด

โดยทั่วไปแล้ว ความต้านทานของพืชที่มีต่อสภาวะเครียด (stress resistance) ไม่ได้เป็นปรากฏการณ์ง่ายๆ หรือมีเพียงกลไกเดียวในการแสดงความต้านทานออกมา หากแต่มีกลไกที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการตอบสนองของพืชที่ต่อสภาวะเครียดหนึ่งๆ นั้น พบว่าพืชจะแสดงความต้านทานออกมา 2 รูปแบบ คือ การหลีกเลี่ยงสภาวะเครียด และความทนทานต่อสภาวะเครียด ซึ่งการตอบสนองของพืชต่อสภาวะเครียดทั้ง 2 รูปแบบนี้ ต่างมีพื้นฐานทางชีวเคมี และ กลไกทางสรีรวิทยา โดยมิได้หมายความว่าพืชหรือส่วนใดส่วนหนึ่งเป็นตัวตัดสินหรือบ่งบอกว่ามีรูปแบบกลไกการตอบสนองได้เอง กล่าวคือ

1. การหลีกเลี่ยงสภาวะเครียด (Stress avoidance) กลไกนี้พืชสามารถสร้างสภาวะแวดล้อมขึ้นภายในต้นพืชเอง เพื่อทำให้เซลล์เนื้อเยื่อ หรือ อวัยวะ หลีกเลี่ยงหรือไม่ตกอยู่ในสภาวะเครียดที่ได้รับ ถึงแม้ว่าสภาวะแวดล้อมภายนอกจะมีความเครียดอย่างมากก็ตาม เช่น ใบที่สามารถหลีกเลี่ยงสภาวะเครียดจากการได้รับอุณหภูมิสูง โดยกลไกของกระบวนการคายน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิใบให้ต่ำลง

2. ความทนทานต่อสภาวะเครียด (Stress tolerance) เป็นความสามารถของพืชในการทนทานต่อสภาวะเครียด โดยยังคงมีชีวิตอยู่ได้แม้ภายในเซลล์ เนื้อเยื่อ หรืออวัยวะเกิดความเครียดเช่นเดียวกับสภาพแวดล้อมภายนอก

สภาวะเครียดจากระดับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมและผลกระทบที่มีต่อพืช

ปัจจุบันปัญหาเรื่องโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ นอกจากส่งผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นแล้ว ยังมีผลต่อการผลิตพืชเกษตร ซึ่งทำให้การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชผิดปกติ ซึ่งเกิดได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่ เมล็ดเริ่มงอก การออกดอกและติดผล และมีลักษณะอาการผิดปกติหลายประการ ได้แก่ ลำต้นและยอดอ่อนไหม้ หรือ necrotic lesions เกิดเป็นรอยที่ใบ และเกิดความผิดปกติของคลอโรฟิลล์ (chlorotic mottling) และที่สุดทำให้พืชตายได้ สำหรับสาเหตุที่อุณหภูมิสูงทำให้พืชเกิดการผิดปกตินั้น มาจากการหายใจที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้อาหารสะสมไม่เพียงพอ นอกจากนี้อุณหภูมิสูงยังมีผลต่อโปรตีน เอ็มไซม์ และเมมเบรนในพืชด้วย ซึ่งเอ็มไซม์แต่ละชนิดจะมีความจำเพาะและมีแอคติวิตี (activity) เมื่อมีอุณหภูมิเหมาะสม การเสื่อมสภาพและความผิดปกติของโปรตีนเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง เช่นเดียวกับ เมมเบรนถ้าหมดภาพก็จะทำให้ activity ของ enzymes เปลี่ยนแปลงการผ่านเข้าออกของไอออนและน้ำ รวมทั้งสารละลายอินทรีย์ก็จะเกิดปัญหา ซึ่งอุณหภูมิที่สูง lipid ที่

เป็นองค์ประกอบของ เมมเบรนจะเปลี่ยนสภาพทำให้ความหนืดเปลี่ยนหรือทำให้มีลักษณะเป็นของไหล (fluid) มากขึ้น อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการใช้สารเคมีบางชนิดทำให้พืชเพิ่มความต้านทานต่อ อุณหภูมิสูง และพืชนั้นมีสัดส่วนของ ไขมันอิ่มตัว:ไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้น (increase ratio of saturated to unsaturated fatty acids) (ลิลลี่ กาวีต๊ะ, 2546)

อุณหภูมิที่สูงเกินไปในลักษณะที่เรียกว่า high temperature stress นอกจากมีอิทธิพลต่อปริมาณการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การหายใจ และมีผลต่อเมมเบรน โปรตีน เอ็มไซม์ ไขมัน แล้วยังส่งผลต่อการออกดอก ติดผล และ คุณภาพของผลผลิตอีกด้วย (อรพิน เกิดชูชื่น, 2548) อุณหภูมิที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าปกติ จะมีผลกระทบโดยตรงต่อพลังงานอิสระของโมเลกุลของสารต่างๆ พลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างพันธะของโมเลกุล รวมไปถึงลักษณะโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ และความต้องการพลังงานจะนำไปใช้ในกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ยอมที่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย พืชแต่ละชนิดนั้นมีความทดทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ต่างกันไป การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างค่อยเป็นค่อยไปนั้นพืชอาจมีกลไกลปรับเปลี่ยนเซลล์โครงสร้างต่างๆ อยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่เกิดความเสียหายต่อสรีรวิทยาพืช แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลันหรือเกินกว่าที่พืชจะรักษาสมดุลได้ โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์นั้นก็จะเสีย และถูกทำลายจนกระทั่งเซลล์ตายในที่สุด (Wahid, et al., 2007)

ได้มีการศึกษานำแบบจำลองทางคณิศาสตร์มาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายที่เกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่อผลผลิตทางการเกษตร อาทิเช่น

ในประเทศไต้หวันได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศและสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้นที่มีต่อพืชไร่ 60 ชนิดโดยสัมพันธ์กับข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณ (Chang, 2002) พบว่าปรากฏการณ์โลกร้อนร่วมกับความแปรปรวนของภูมิอากาศเป็นปัจจัยร่วมกันในการเกิดผลกระทบต่อการลดผลผลิตของพืช ทางการเกษตร

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Seasonal Ricardian mode ศึกษาผลกระทบของภาวะการณ์เปลี่ยนทางภูมิอากาศที่มีต่ออัตราผลผลิตพืชไร่ในประเทศเคนยาพบว่าผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบในเชิงลบต่ออัตราผลผลิตของพืชไร่ และ จะส่งผลอย่างต่อเนื่องในเชิงลบต่อไปในอนาคตในสภาวะอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และ ยังแสดงผลที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งว่า ผลของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าผลจากภาวะโลกร้อนมีผลกระทบต่ออัตราผลผลิตของพืชไร่มากว่าผลจากปริมาณน้ำฝนในประเทศ (Mariara and Karanja, 2007)

การศึกษาเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำและสร้างฐานข้อมูลของสภาวะโลกร้อนและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับพืชในสถานการณ์จริงโดยการวิจัยในภาคสนามนั้นมีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน การศึกษาวิจัยของ(Wheeler, et al., 1993) ซึ่งสร้างสถานการณ์เพิ่มระดับอุณหภูมิโดยใช้เครื่องพ่นความร้อนส่งผ่านท่อโพลีเอทธิลีนในแนวราบทั้งควบคู่กับการปรับระดับก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อผักชนิดต่างๆ ต่อมา (Newton, et al., 1994) ได้สร้างสภาวะจำลองสถานการณ์อุณหภูมิสูงขึ้นโดยการให้ความร้อนในแปลงทดลองข้าวไรย์และพบว่าผลผลิตได้ลดลงในสภาวะในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น ต่อมาการศึกษาของ (Wurr, et al., 1996) นักวิทยาศาสตร์ในประเทศอังกฤษ ได้ศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่ตามแนวโน้มของภาวะโลกร้อน ต่อพืชทางการเกษตร 3 ชนิดคือ ผักกาดหอม (Iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.)) กระเทียม (Leek (*Allium ampeloprasum* L.)) และ กระหล่ำดอก (Roscoff cauliflower(*Brassica oleracea var. botrytis* L.)) โดยการจำลองสถานการณ์บรรยากาศที่มีระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยใช้ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ระดับบรรยากาศจริงในชุดควบคุมและ ใช้ท่อส่งความร้อนในแนวลาด ที่มีความกว้าง 8.7 m เมตร ความยาว 31.9 m ส่งผ่านอุณหภูมิ ในพื้นที่ทดลองเพื่อปรับระดับอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าระดับเฉลี่ย 4 °C ในชุดทดลองเปรียบเทียบ การศึกษาพบว่า กลุ่มทดลองที่ให้ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นเร่งระยะเวลาช่วงเก็บผลได้ของผักกาดหอมให้สั้นขึ้นแต่ยืดระยะเวลาของการเก็บผลได้ของกระหล่ำดอกเกิน 49 วัน และยังเพิ่มจำนวนใบของกระหล่ำดอกอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาในประเทศสวิตเซอร์แลนด์โดย (Nijs, et al., 1996) ซึ่งให้ความสนใจศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อข้าวไรย์ โดยในการวิจัย คณะผู้วิจัย ได้สร้างสภาวะจำลองโลกร้อนโดยการใช้เครื่องทำความร้อนร่วมกับแสงอินฟราเรด (1500 w IR lamp) โดยใช้ระบบอิเลคโทรนิคควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ให้สูงกว่าปกติประมาณ 2.5 °C โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งได้รับอุณหภูมิปกติ พบว่าในแปลงทดลองพบว่าชุดทดลองซึ่งได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้มวลชีวภาพส่วนเหนือดินซึ่งวัดโดยน้ำหนักแห้งลดลงถึง 52% และลดอัตราผลผลิตลงถึง 48% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Tan and Shinasaki (2003) ได้ทำนายผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตร ในปี ค.ศ.2010 2020 2030 และ 2040 ผลที่ได้คือพบว่าผลผลิตทางการเกษตรหลายประเทศส่วนใหญ่ของพื้นที่ในโลกจะลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยผลกระทบของภาวะโลกร้อน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) และ IE (Inference Engine) ในการคาดการณ์ดังกล่าว

Mall, et al. (2004) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ วิธี CROPGRO โดยเฝ้าติดตามสังเกตการณ์ผลผลิตของถั่วเหลือง พบว่าลดลง 10-20% ซึ่งมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิร่วมกับการเพิ่มขึ้นของ CO_2 ในบรรยากาศรอบๆ ของแต่ละพื้นที่ทั่วประเทศ และอาจมีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคต อันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นของแต่ละพื้นที่ด้วย

การประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนมีกันอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาโดยกลุ่มคณะวิจัยของ Norby, et al. (1997) ประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นร่วมกับการเพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อไม้ยืนต้น กลุ่มนักวิจัยได้ควบคุมอุณหภูมิใน Open Top Chamber ควบคุมโดยใช้ท่อส่งความร้อนเพื่อปรับให้อุณหภูมิสูงขึ้น และ พัดลมเป่าเพื่อปรับลดระดับอุณหภูมิ ซึ่งในการทดลองนั้นใช้ระบบ controlled-ventilation open-top chamber (CVOTC) เปรียบเทียบกับระบบ open-top chamber(OTC) แบบเดิมอีกด้วย

การศึกษาในระบบนิเวศในเขตทุนดรา โดย Hollister และ Webber (2000) พบว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี เช่น การศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นในระบบนิเวศอื่นๆ โดยการประยุกต์ใช้ Open Top Chamber เพื่อปรับอุณหภูมิในพื้นที่ทุ่งหญ้าอัลไพน์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการแพร่พันธุ์ของพืชพรรณชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศทุ่งหญ้าแถบอัลไพน์ และในการศึกษา Kudernatsch, et al. (2007) ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มพืชที่ได้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงขึ้นมีสภาวะการเติบโตและแพร่พันธุ์เพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้มีการตรวจวัดธาตุอาหารทั้งในพืช และในดินแต่อย่างใด

กลุ่มนักวิทยาศาสตร์แถบยุโรปและอเมริกาเหนือได้มีความสนใจในการวิจัยผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตรเช่นเดียวกัน อาทิเช่น การศึกษาในข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.)) โดย Chowdhury and Wardlaw (1978) ได้ศึกษาในภาคสนามโดยปลูกใน Chamber ภาคสนาม ในเขตเทกซัส สหรัฐอเมริกา พบว่า ผลผลิตของเมล็ดข้าวฟ่างลดลงถึง 50 % ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 33/28 °C เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองซึ่งปลูกภายใต้ สภาวะอุณหภูมิ 30/25 °C ซึ่งมีข้อมูลที่แสดงผลสอดคล้องกัน คือ การทดลองของ Prasad, et al. (2006) นักวิจัยกลุ่มนี้ ศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่มีต่อผลผลิตของข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.)) โดยการปลูกใน Chamber เพื่อทดลองในภาคสนามเช่นเดียวกัน โดยการควบคุมอุณหภูมิ ให้มีความแตกต่างกันโดยการ ผลการศึกษาพบว่าการปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่า 36/26 °C ส่งผลต่อการลดการผลิตเกสรอย่างมีนัยสำคัญ และลดการผลิตเมล็ดข้างฟ่างถึง 10% เมื่อเปรียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งปลูกภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 32/22 °C

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
18 ต.ค. 2555
วันที่.....
เลขทะเบียน.....250034
เลขเรียกหนังสือ.....

สำหรับประเทศไทย ได้มีการศึกษาในประเด็นนี้เช่นเดียวกัน โดย กณิตา ธนเจริญชณภาส และโอรส รักชาติ(2551) ได้สร้างแบบจำลองสภาวการณ์โลกร้อนในพื้นที่นาข้าว เพื่อปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในจังหวัดพิษณุโลกโดยประยุกต์ใช้ Open Top Chamber ผนังโปร่งใส เพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับคือ 30 °C 35 °C และ 40 °C โดยตั้งระบบระบบอิเลคโทรนิคควบคุมระบบการปล่อยน้ำเป็นละอองฝอยอัตโนมัติตามระดับอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับ 35 °C เป็นอุณหภูมิที่กระตุ้นให้ต้นข้าวโตเร็วและมีมวลชีวภาพที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ชุดการศึกษา แต่กลับพบว่ามีปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิ 30 °C และ 40 °C ผลการศึกษาในปัจจัยอัตราผลผลิตพบว่าชุดการทดลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงสุดที่ 40 °C มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ได้ผลผลิตดี / รวง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีระดับอุณหภูมิ 30 °C และ 35 °C โดยลดลง 9.7 % และ 12.3 % ผลการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเบื้องต้นโดยวิธี RAPDพบว่าการปลูกข้าวภายใต้ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิสูงสุด 3 ระดับ ในระยะยาวส่งผลต่อการจำแนกแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างออกเป็น 3 กลุ่มอย่างชัดเจน

ณภัศศรณ์ (2547) ทำการศึกษาผลร่วมของภาวะอุณหภูมิสูง (ร้อน) และภาวะแล้งต่อการเจริญเติบโตต่อถั่วเหลือง 2 สายพันธุ์ คือ มข.35 และ สจ.5 โดยให้รับภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 25 องศาเซลเซียส 35 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส และได้รับภาวะแล้งจากสารละลายธาตุอาหารที่มีโพลีเอธิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้น 0 และ5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0 วัน 3 วัน และ 6 วัน และหลังได้กลับมารับน้ำกับอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน พบว่าภาวะอุณหภูมิสูงร่วมกับภาวะแล้งส่งผลให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ การเจริญเติบโต ได้แก่ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ความสูง ปริมาณรงควัตถุในถั่วเหลืองทั้งสองสายพันธุ์ต่ำลง โดยภาวะแล้งร่วมกับภาวะอุณหภูมิสูงที่ระดับ 40 องศาเซลเซียสส่งผลให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ การเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสงลดลงมากที่สุด

ความสำคัญของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดอยู่ใน family Leguminosae, sub – family Papalionoideae and tribe phaseoleae (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Glycine max* (L.) Merrill และชื่อสามัญ Soybean ถั่วเหลืองเป็นพืชที่สำคัญของประเทศไทยที่มีคุณค่าทางด้านสารอาหารสูง เช่น ปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองมีประมาณ 40 และ 20 ตามลำดับ โดยเมล็ดถั่วเหลืองสามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันพืชสำหรับบริโภค ส่วนกากถั่วเหลืองยังเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญสำหรับผลิตอาหารสัตว์อีกด้วย นอกจากนี้ถั่วเหลืองมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรม

ของประเทศ มีการแปรรูปจากถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น น้ำนม ถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าเจี้ยว แป้งถั่วเหลืองแปรรูป เป็นอาหารเจประเภทต่างๆ ตลอดจนซอสปรุงรสต่างๆ มากมาย จากคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองที่เป็นที่มาของแหล่งโปรตีน ที่มาของน้ำมันพืชที่มีประโยชน์ ช่วยในการลดปริมาณคลอเลสเตอรอล ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดไขมันอุดตันในเส้นเลือดได้ทำให้คนไทยได้ตระหนักถึงความสำคัญและหันมาบริโภคถั่วเหลืองกันมากขึ้น ในด้านเศรษฐกิจของถั่วเหลือง พบว่าผลผลิตของถั่วเหลืองที่เกษตรกรขายได้ระหว่างปี 2547-2548 มีมูลค่าประมาณ 3,600 ล้านบาทต่อปี และมีการนำเข้าทั้งกากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง และน้ำมันถั่วเหลือง มูลค่ารวมปีละประมาณ 25,000-35,000 ล้านบาท นอกจากนี้ยังมีการส่งออกน้ำมันถั่วเหลืองและซอสถั่วเหลือง มูลค่ารวมปีละประมาณ 600 ล้านบาท (สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, สรุปรายงานผลงานวิจัยพืชไร่, 2548) ในขณะที่ความต้องการใช้ ถั่วเหลืองเพื่อการบริโภค และการสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 15 เปอร์เซ็นต์ แต่ประเทศไทยสามารถผลิตถั่วเหลืองได้เพียง 30 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการใช้ภายในประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 7 ปี พ.ศ. 2537-2539 จึงต้องนำเข้าถั่วเหลืองจากประเทศจีน ซึ่งทำให้ประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก

ถั่วเหลืองนับว่าเป็นพืชไร่ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปัจจุบันแหล่งผลิตถั่วเหลืองได้กระจายไปทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุดคือ 425,086 ไร่ คิดเป็น 69.66 เปอร์เซ็นต์ มีพื้นที่รองลงมาได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคอื่นๆ คิดเป็น 17.31 เปอร์เซ็นต์ 11.73 เปอร์เซ็นต์ และ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2545)

ระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เมล็ดงอกจนสุกแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตมีปัจจัยต่างๆ เกี่ยวข้องอย่างมาก โดยการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะใหญ่ๆ (Fehr and Caviness, 1979 อ้างอิงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543) คือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stages) และ ระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive stages)

1. ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น เป็นระยะตั้งแต่ต้นอ่อนโผล่พ้นดินมีใบเลี้ยง ใบจริงและใบประกอบ ซึ่งเจริญตรงข้อของลำต้น การแบ่งระยะอาศัยการเกิดข้อเป็นตัวกำหนด เนื่องจากข้อเป็นส่วนหนึ่งของลำต้นที่เกิดใบ เมื่อใบหลุดจะเกิดรอยแผลสังเกตได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้จำนวนข้อเป็นลักษณะที่คงที่ที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การนับจำนวนข้อจะนับเฉพาะบนลำต้นหลักเท่านั้น

และข้อนั้น ๆ จะต้องมีใบที่คลี่กางเต็มที่ โดยระยะการเจริญเติบโตกำหนดด้วยตัวอักษร V ตามด้วยตัวอักษร E, C และตัวเลขระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลือง ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นของถั่วเหลืองตั้งแต่เริ่มงอกจนถึงระยะก่อนออกดอก

ระยะ	ระยะ	ข้อสังเกต
VE	ระยะเริ่มงอก (emergence stage)	ระยะที่ใบเลี้ยงกำลังโผล่พ้นดิน
VC	ระยะใบเลี้ยง (cotyledon stage)	มีเฉพาะใบเลี้ยงและใบจริง (ใบประกอบ) คู่แรกเริ่มปรากฏ โดยใบจริงเริ่มคลี่กาง และขอบใบประกอบไม่แตะกัน
V1	ระยะข้อที่ 1 (first node stage)	ใบจริงคู่แรกที่เกิดจาก unifoliate node เจริญเติบที่ในข้อที่ 1
V2	ระยะข้อที่ 2 (second node stage)	มีใบจริงที่ 1 คลี่กางออกในข้อที่ 2
V3	ระยะข้อที่ 3 (third node stage)	ต้นถั่วเหลืองมี 3 ข้อบนลำต้น และในข้อที่ 3 จะมีใบจริงที่ 2 คลี่กางออก
:	:	:
Vn	ระยะข้อที่ N (N^{th} node stage)	มีใบประกอบเท่ากับลำดับข้อบนลำต้นที่มีใบจริงคลี่กางเต็มที่

ที่มา: Fehr and Caviness, 1977 อ้างอิงใน อภิรดี ก.ศรีสุวรรณ, 2551

2. ระยะการเจริญพันธุ์ เริ่มตั้งแต่ระยะดอกแรกบาน มีการสร้างฝัก และสร้างเมล็ดจนถึงระยะสุกแก่ โดยระยะการเจริญพันธุ์ กำหนดด้วยตัวอักษร R ตามด้วยตัวเลข ซึ่งแสดงระยะต่าง ๆ ในระยะเจริญพันธุ์ ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ของถั่วเหลืองตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงเมล็ดสุกแก่เต็มที่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว

ระยะ	ระยะ	ข้อสังเกต
R1	ระยะเริ่มออกดอก (beginning bloon stage)	ดอกแรกในข้อใดข้อหนึ่งของลำต้นหลักบาน
R2	ระยะออกดอกเต็มที่ (full bloon stage)	ดอกในข้อใดข้อหนึ่งของสองข้อที่อยู่บนสุดของลำต้นหลักบาน
R3	ระยะเริ่มติดฝัก (beginning pod stage)	ฝักที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อสุดท้ายที่อยู่บนสุดของลำต้นหลักยาว ประมาณ 1 มิลลิเมตร
R4	ระยะติดฝักเต็มที่ (full pod stage)	ฝักที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อสุดท้ายที่อยู่บนสุดของลำต้นหลักยาว ประมาณ 2 มิลลิเมตร
R5	ระยะเริ่มติดเมล็ด (beginning seed stage)	ฝักที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อสุดท้ายที่อยู่บนสุดของลำต้นหลักยาว ประมาณ 3 มิลลิเมตร
R6	ระยะเมล็ดพัฒนาเต็มที่ (full seed stage)	ฝักที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อสุดท้ายที่อยู่บนสุดของลำต้นหลักมีเมล็ดสีเขียว โตเต็มฝัก
R7	ระยะสุกแก่ (beginning maturity stage)	ฝักใดฝักหนึ่งในลำต้นหลัก เริ่มเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว
R8	ระยะสุกแก่เต็มที่ (full maturity stage)	ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ของฝักเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว

ที่มา: Fehr and Caviness, 1977 อ้างอิงใน อภิรดี ก.ศรีสุวรรณ, 2551

ความต้องการใช้ถั่วเหลืองในประเทศไทย

ความต้องการใช้ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ในประเทศ แบ่งเป็น

1. เมล็ดถั่วเหลือง ในปัจจุบันความต้องการใช้เมล็ด คาดว่ามีปริมาณปีละ 1,700,000–1,800,000 ตันเมล็ด โดยเป็นความต้องการเนื่องมาจากความต้องการใช้กากถั่วเหลืองและน้ำมันถั่วเหลือง โดยพิจารณาให้กากถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์หลัก (main product) ซึ่งอยู่ในระดับ 1,350,000–1,380,000 ตันกาก คิดเป็นเมล็ดประมาณ 1,700,000–1,800,000 ตันเมล็ด หรือ ถ้าพิจารณาจากความต้องการใช้น้ำมันถั่วเหลือง 110,000–120,000 ตัน คิดเป็นเมล็ดประมาณ 770,000–840,000 ตัน เมล็ดพันธุ์ 30,000–40,000 ตัน การบริโภคภายในครัวเรือนและอุตสาหกรรมอาหารมากกว่า 200,000 ตันซึ่งประกอบด้วยน้ำนมถั่วเหลือง 28,000 ตัน เต้าหู้ 168,000 ตัน ซีอิ้วและเต้าเจี้ยว 7,700 ตัน (โครงการศึกษาและพัฒนาระบบข้อมูลถั่วเหลืองและน้ำมันพืช, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2540 อ้างอิงใน อภิพรรณ พุกภักดี, 2546, หน้า 15)

2. น้ำมันถั่วเหลือง ความต้องการใช้น้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ปี พ.ศ. 2542 คาดว่ามีประมาณ 110,000-120,000 ตัน โดยสามารถจำแนกเป็นความต้องการในครัวเรือน 60 เปอร์เซ็นต์ และความต้องการใช้ในภาคอุตสาหกรรม ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เช่น อุตสาหกรรมปลากระป๋อง สีหมึกพิมพ์ เรซิน และอื่นๆ

3. กากถั่วเหลือง ความต้องการใช้กากถั่วเหลืองในปี พ.ศ. 2541 ประมาณ 1,380,000 ตัน แต่ในปี พ.ศ. 2542 ประมาณการว่าจะน้อยกว่าปีที่แล้ว คือ ประมาณ 1,350,000 ตันกาก ถั่วเหลือง (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546, หน้า 15)

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

เป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่ให้ผลผลิตและคุณค่าทางด้านสารอาหารสูง คือ มีโปรตีน 43.8 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 20.2 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมัน 12.75 เปอร์เซ็นต์ สเตียริค 3.78 เปอร์เซ็นต์ โอเลอิก 19.75 เปอร์เซ็นต์ ไลโนเลอิก 53.53 เปอร์เซ็นต์ และไลโนเลนิก 9.57 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเด่นของสายพันธุ์คือ ทนทานต่อโรคราสนิม โรคใบด่าง และไวรัสใบด่าง ดังแสดงในภาพ 1 (กรมวิชาการเกษตร, 2555) และนิยมปลูกในภาคเหนือตอนล่างมากที่สุด โดยเฉพาะจังหวัดพิษณุโลก

ภาพ 1 ลักษณะถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

ที่มา: ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2555

องค์ประกอบทางโภชนาการของถั่วเหลือง

องค์ประกอบที่สำคัญของเมล็ดถั่วเหลือง ได้แก่ โปรตีนละน้ำมัน ตามปกติพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ ผลผลิตสูงจะมีโปรตีนในเมล็ดประมาณ 40-42 เปอร์เซ็นต์ และ มีปริมาณ 20-22 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง โปรตีนจากถั่วเหลืองนับว่าเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นของมนุษย์ (essential amino acid) ค่อนข้างสูง ตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Weingarten, 1987) ดังแสดงในตาราง 3 สำหรับโปรตีนในถั่วเหลืองนั้นพบว่า กรดอะมิโนที่มีกรดกำมะถัน เป็นส่วนประกอบ เช่น methionine และ cystine จะมีความเข้มข้นในระดับต่ำ ในทางตรงกันข้าม lysine และ leusine จะมีความเข้มข้นสูง ในขณะที่โปรตีนในธัญพืชจะอยู่ในลักษณะตรงข้าม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการผสมธัญพืชและถั่วเหลืองในการประกอบอาหารจะทำให้มนุษย์ได้รับโปรตีนที่สมดุลและมีคุณภาพอีกด้วย (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

ตาราง 3 กรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในเมล็ดถั่วเหลือง แป้งถั่วเหลือง และอาหารข้น (concentrate) เมื่อเทียบกับปริมาณที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) กำหนดเป็นมาตรฐานของอาหารที่มีคุณภาพดี

กรดอะมิโน	มาตรฐาน FAO	ปริมาณ (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)		
		เมล็ดถั่วเหลือง	แป้งถั่วเหลือง	อาหารข้น
Cystine	4.2	1.3	1.6	1.6
Isoleusine	4.2	4.5	4.7	4.8
Leusine	4.8	7.8	7.9	7.8
Lysine	4.2	6.4	6.3	6.3
Methionine	2.2	1.3	1.4	1.4
Phenylalanine	2.8	4.9	5.3	5.2
Theonine	2.8	3.9	3.9	4.2
Tryptophan	1.4	1.3	1.3	1.5
Tyrosine	2.8	3.1	3.8	3.9
Valine	4.2	4.8	5.1	4.9

ที่มา: Weingarten, 1987

จากการวิเคราะห์ถั่วเหลืองที่ปลูกตามแหล่งต่างๆ ของไทยพบว่า ปริมาณโปรตีนและไขมันมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ในส่วนของปริมาณของไขมันตามแหล่งปลูกต่างๆ ได้พบว่าพันธุ์ สจ.2 ให้ปริมาณของไขมันสูงกว่าพันธุ์ สจ.4 ส่วนในด้านของโปรตีนพบว่าพันธุ์ที่ให้โปรตีนสูงของไทยเป็นพันธุ์ สจ.4 ให้โปรตีนสูงถึง 44.6-48.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนับว่าเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นอาหาร ในส่วนสายพันธุ์ที่มีไขมันสูงคือ สจ.2 ให้ไขมันอยู่ในช่วง 23.3-24.8 เปอร์เซ็นต์ เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการใช้ใน อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืช (ภาณุวรรณ จันทวรรณกูร, 2543)

การตอบสนองต่ออุณหภูมิของถั่วเหลือง

อุณหภูมิของอากาศและดินมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนากระบวนการตรึงไนโตรเจน คุณภาพของเมล็ด ปริมาณโปรตีน และน้ำมัน ร่วมถึงการเข้าทำลายของโรคและแมลงด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดและการยืดตัวของ hypocotyle อยู่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์แสงอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดสำหรับการงอกเมล็ดคือ 5 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเจริญเติบโตและกิจกรรมของกระบวนการต่างๆ ภายในต้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป จนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมอุณหภูมิดินที่สูงเกินไปจะทำให้ไรโซเบียมตายได้ (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542)

อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณภาพของเมล็ดหลังการเก็บเกี่ยว เมล็ดจะจะมีชีวิตอยู่ได้นานขึ้นถ้ารักษาเก็บไว้ในสภาพที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ความงอกของเมล็ดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าอุณหภูมิสูงว่า 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงในระหว่างการเจริญเติบโตของพืช อาจทำให้โรคและแมลงบางชนิดระบาดมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้พื้นที่ใบ คุณภาพของเมล็ดและผลผลิตลดลงในที่สุด โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองมักจะเหมาะสมแก่การระบาดของโรค และแมลงศัตรูที่สำคัญเช่นกัน แต่อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะช่วยลดกิจกรรม หรือความรุนแรงของการระบาดหรือการทำลายของโรคและแมลง เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในระหว่างฤดูปลูกถั่วเหลืองระหว่างเขตร้อนกับเขตอบอุ่นจะพบว่ามีความแตกต่างค่อนข้างมาก กล่าวคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของฤดูปลูกในเขตร้อนค่อนข้างสูงและไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการระบาดของแมลงได้ดี (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542)

อุณหภูมิยังมีผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีบางอย่างในเมล็ดเช่นอุณหภูมิที่สูงมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 20-40 วัน ก่อนพืชแก่อุณหภูมิยังมีความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก และ กรดไขมันไลโนเลอิก ในเมล็ดแต่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณ methionine แต่ปริมาณโปรตีนและน้ำมันจะมีความสัมพันธ์ในทางลบ กล่าวคือ โปรตีนเพิ่มมากขึ้นปริมาณน้ำมันจะลดลง เป็นที่กล่าวกันว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในเขตร้อนจะมีความสมดุลของ กรดอะมิโนต่างๆดีกว่าเขตอบอุ่น (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542)

การศึกษาวิจัยของกลุ่มนักวิจัยในหน่วยงาน USDA (United States Department of Agriculture) ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยเริ่มศึกษาตั้งแต่ระยะ V คือระยะการงอกจนถึงช่วงก่อนออกดอก ระยะการออกดอกคือระยะ R และศึกษาจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า ถั่วเหลืองซึ่งปลูกใน Open Top Chamber ที่ระดับ 18-27 °C และ ระดับ 30-37 °C มีผลการศึกษาชี้ชัดว่า ถั่วเหลืองเกิดสภาวะ

ความเครียดจากระดับความร้อนในบรรยากาศ(heat-stressed) โดยแสดงผลชัดเจนที่ช่วงการเจริญระยะ R เป็นต้นไป และยิ่งแสดงผลชัดเจนในการลดคุณภาพในเมล็ดถั่วเหลืองถ้าได้รับสภาวะนี้ในระยะยาวคือตั้งแต่ระยะ R5 จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (Chengwei, et al., 2005)

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