ตรวจเอกสาร

1. กระบวนการพัฒนาการของพืช

กระบวนการพัฒนาการของพืช เป็นกระบวนการที่พืชเปลี่ยนแปลงภาวะต่าง ๆ เช่น จากเมล็ดเป็นต้นอ่อน เป็นระยะการเจริญทางใบ/ลำต้น เป็นระยะการเจริญทางสืบพันธุ์ และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นย้อนแล้วกลับไม่ได้ (อรรถชัย, 2539) การกำหนดและคาดการณ์ระยะพัฒนาการของพืชให้เป็นที่ยอมรับและถูกต้องแม่นยำ จะนำไปสู่การคาดการณ์ผลผลิตของพืชโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโต (Ellis et.al., 1992) และมีความสำคัญต่อการศึกษาถึงการปรับตัวของพันธุ์พืชเพื่อประโยชน์ในด้านปรับปรุงพันธุ์ ปัจจุบันได้มีการกำหนดหรือจำแนกระยะพัฒนาการของพืชแล้วในพืชบางชนิดโดยเฉพาะพืชเกษตรที่มีอายุสั้น เช่น ในถั่วเหลือง โดย Fehr et.al. (1971) ได้พัฒนาระบบจำแนกเดิมของ Kalton และคณะ ที่ใช้เลขรหัส 1-10 เป็นตัวจำแนก ผสมผสานเข้ากับระบบใหม่เพื่อใช้ได้กับถั่วเหลืองทุกพันธุ์และทุกสภาพแวดล้อม โดยแยกอธิบายพัฒนาการออกเป็น 2 ระยะหลัก คือ ระยะการพัฒนาทางลำต้น (vegetative development) และระยะพัฒนาด้านการสืบพันธุ์ (reproductive development) โดยให้สัญลักษณ์เป็นระยะ V และ R ตามลำดับ ระยะ V เริ่มจากการนับจำนวนข้อของถั่วเหลืองบนลำหลักโดย V_1 เป็นข้อแรกที่มีใบเดี่ยวของต้น (unifolilate node) ไปจนถึง V_n คือจำนวนข้อที่ n ระยะ R นั้นจะคาบเกี่ยวกับระยะ V ประมาณ V_8 เป็นต้นไป โดยแบ่งเป็นระยะ R_1, R_2 ซึ่งเริ่มจากระยะออกดอกของถั่วเหลือง R3, R4 เป็นระยะเจริญของฝัก R5, R6 เป็นระยะพัฒนาการของเมล็ด และ R7, R8 เป็นระยะการสุกแก่ การแบ่งระยะพัฒนาของถั่วเหลืองนี้จะคล้ายคลึงในการแบ่งระยะพัฒนาการของข้าวโพด (Hanway, 1963) และถั่วลิสง (Boote, 1985) ซึ่งให้สัญลักษณ์ของระยะพัฒนาการทางลำต้นเป็น V และระยะพัฒนาการทางสืบพันธุ์เป็น R เช่นเดียวกัน

ในธัญพืช ระบบการจำแนกระยะพัฒนาการที่เป็นที่ยอมรับคือ Feekes' scale (อ้างโดย Zadoks et.al., 1974) ต่อมาได้มีการแก้ไขและอธิบายเพิ่มเติมโดย Large (1954) โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่สามารถสังเกตุและจำได้ง่ายเป็นหลักในการจำแนก และใช้ตัวเลขตั้งแต่ 1-11 แทนระยะพัฒนาการตั้งแต่งอกจนถึงเมล็ดสุกแก่ ในบางระยะก็แบ่งย่อยออกไปโดย

อธิบายเพิ่มเติมในคอลัมน์ถัดไปหนึ่งหรือสองคอลัมน์ (ตารางภาคผนวก ง) แต่อย่างไรก็ตาม Feekes' scale ก็ใช้ได้ดีกับธัญพืชเมล็ดเล็กที่ปลูกในแถบตะวันตกเฉียงเหนือของยุโรปเท่านั้น ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมอื่นที่แตกต่างออกไป และการใช้เลข 4 หลักของ Feekes' scale ก็ยากสำหรับการจัดเก็บและคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ ในปี 1973 Huan ได้ศึกษาพัฒนาการเพิ่มเติมจาก Feekes' scale เน้นส่วนใบของข้าวสาลีโดยแบ่งออกเป็นระยะย่อยอย่างชัดเจน แต่การแบ่งระยะพัฒนาการของ Huan ก็ไม่แน่นอนและเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัญฐานวิทยาของพืชในแต่ละพันธุ์และในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (Bauer et.al., 1984) Zadoks et.al. (1974) ได้ปรับปรุงระบบการจำแนกของ Feekes' scale (ตารางภาคผนวก ง) โดยกำหนดหลักทั่วไปในการจำแนกระยะพัฒนา ซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้ทั่วไปในปัจจุบันคือ

1) ต้องจำแนกระยะพัฒนาการตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) ที่สามารถมองเห็นและสังเกตุได้ง่ายจากแปลงปลูกพืชโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือใด ๆ เข้าช่วย
2) ไม่ควรกำหนดระยะพัฒนาการเกิน 9 หรือ 10 ระยะ และจะต้องกำหนดเป็นสัญลักษณ์ เช่น ตัวเลข 0-9 ซึ่งเป็นที่ยอมรับของทุกภาษา
3) กำหนดระยะพัฒนาการออกเป็น 2 ระยะคือ primary ใช้สัญญลักษณ์เลข 1หลัก เช่น 0, 1, 2 และ secondary เพื่ออธิบายเพิ่มเติมระยะพัฒนาการหลัก (primary) โดยใช้เลข 2 หลัก เช่น 11, 12 ,21 , 22
4) ระยะพัฒนาการที่กำหนดจะต้องเป็นที่ยอมรับของนักวิชาการทุกแขนงรวมทั้งใช้ได้กับธัญพืชทุกชนิดในทุกสภาพแวดล้อม

ระยะพัฒนาการหลักที่ใช้ในปัจจุบันได้แบ่งออกเป็นรหัสตั้งแต่ 0-9 ตามตารางที่ 1

โดยระบบการจำแนกนี้ได้ใช้เป็นหลักในการจำแนกระยะพัฒนาการของ ข้าวฟ่าง (Vandelip and Reeves, 1972) ส่วนในข้าว (Singh, 1985) ได้เพิ่มรหัส T สำหรับระยะการย้ายปลูก (transplanting and recovery)

ตารางที่ 1 การจำแนกระยะพัฒนาการของธัญพืช

1 digit code	คำอธิบาย (Description)
0	ระยะงอก (Germination)
1	ระยะการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth)
2	ระยะการแตกกอ (Tillering)
3	ระยะการยืดและขยายตัวทางลำต้น (Stem elongation)
4	ระยะตั้งท้อง (Booting)ฟ
5	ระยะการปรากฏของดอก (Inflorescence emergence)
6	ระยะผสมเกสร (Anthesis)
7	ระยะเมล็ดสร้างน้ำนม (Milk development)
8	ระยะเมล็ดสร้างแป้งอ่อน (Dough development)
9	ระยะสุกแก่ (Ripening)
T	ระยะการย้ายปลูก สำหรับในข้าว (Transplanting and recovery, rice only)

Zadoks et.al. (1974)

ในอ้อยนั้นการศึกษาระยะพัฒนาการยังมีน้อยอยู่มาก เนื่องจากอ้อยเป็นพืชที่มีอายุยาว รวมถึงมีลักษณะพัฒนาการที่แตกต่างไปจากพืชพวก ถั่วเหลือง ข้าวโพด และธัญพืช จึงไม่สามารถนำระบบการจำแนกของพืชเหล่านี้มาดัดแปลงใช้ได้มากนัก อย่างไรก็ตามในอดีตที่ผ่านมาสถาบันวิจัยพืชไร่ (2537) ได้มีรายงานและแบ่งพัฒนาการของอ้อยออกเป็น 4 ระยะด้วยกัน คือ

1) ระยะงอก (germination period) เริ่มตั้งแต่ปลูกจนถึง 2-3 สัปดาห์

2) ระยะแตกหน่อหรือแตกกอ (tillering period) เริ่มตั้งแต่ 2-4 เดือนหลังปลูก

3) ระยะย่างปล้อง (elongation period) เริ่มตั้งแต่ 5 ถึง 6 เดือน เป็นต้นไป

4) ระยะสุกแก่ (maturity period) ระยะที่มีการสร้างช่อดอก

นอกจากนี้ยังมีระยะสะสมน้ำตาล (sucrose accumulation period) เป็นระยะที่คาบเกี่ยวระหว่างระยะย่างปล้องและระยะสุกแก่ ระยะต่าง ๆ ดังกล่าวนี้เป็นการแบ่งอย่างกว้าง ๆ เพื่อ

ประโยชน์ในการปฏิบัติและการสื่อสารระหว่างกลุ่มนักวิชาการเกษตร ยังไม่มีการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในระดับกระบวนการและนำความเข้าใจนั้นไปประกอบการคาดการณ์ระยะพัฒนาการ

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการของส่วนปลายยอดในอ้อย 2 พันธุ์ คือ K 84-200 และ U-Thong 2 โดย ลิลลี่และคณะ (2539) และได้จำแนกการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานออกได้เป็นระยะพัฒนาการทางด้านลำต้นของปลายยอด (Vegetative Apex, Vg) การยืดตัวของส่วนปลายยอด (Apex Elongation, AE) การกำเนิดช่อดอก (Inforescence Peduncle Initiation, P) การกำเนิดแกนช่อดอกย่อยที่ 1 (Primary Branch Primordia Initiation, 1^{o}BP) การกำเนิดแกนช่อดอกย่อยที่ 2 (Secondary Branch Primordia Initiation, 2^{o}BP) การกำเนิดช่อดอกย่อย (Spikelet Primordia Initiation, SP) การกำเนิดและพัฒนาโครงสร้างส่วนประกอบของดอกย่อย (Complete Spikelet, CS) และการยืดตัวของช่อดอกและดอกย่อย (Ear Development, ED) พบว่าการพัฒนาการที่กล่าวมานี้ของอ้อยทั้ง 2 พันธุ์ มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน แต่มีระยะเวลาของพัฒนาการที่แตกต่างกัน โดยพันธุ์ U-Thong 2 มีการเปลี่ยนแปลงของระยะพัฒนาการต่าง ๆ ที่เร็วกว่า อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ค่อนข้างจะศึกษาลึกเข้าไปในส่วนของการกำเนิดช่อดอก ซึ่งยังไม่ได้นำส่วนของใบและส่วนอื่น ๆ มาสร้างความสัมพันธ์ให้เกิดขึ้นกับพัฒนาการของอ้อย

2. สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการพัฒนาการของพืช

พัฒนาการของพืช (phenology) ที่แสดงออกขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมของพืช การศึกษาพัฒนาการของพืชจึงเป็นความพยายามที่จะทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัณฐานวิทยาของพืชที่ปรากฏขึ้นและสามารถสังเกตุเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและการจัดการ (Zadoks et.al., 1974) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่สำคัญของพืชคือ การงอก การสร้างช่อดอก การออกดอก และการสุกแก่ (Matthew et.al., 1983) ในพืชตระกูลหญ้านั้นพัฒนาการของใบ คือ การสร้างใบ (leaf production) และการปรากฏของใบ (leaf appearance) ซึ่งเป็นกระบวนการหลักของการพัฒนาการของพืช อัตราการปรากฏของใบและจำนวนใบบนลำหลักถือว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการคาดคะเนผลผลิตของพืช เพราะแสดง

ถึงการพัฒนาทรงพุ่มหรือพื้นที่ใบในการรับแสงและการสะสมน้ำแห้ง (Volk and Bugbee, 1991; Kerby and Perry, 1987 และ Hesketh et.al., 1969) รวมทั้งทำนายระยะพัฒนาการที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชเพื่อลดความเสียหาย (Tottman and makepeace, 1979) และจัดการทรัพยากรการผลิตอื่น ๆ ในแปลงปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Duncan and Hesketh, 1986) และการปรากฏใบจะมีความสัมพันธ์ร่วมกับการเกิดหน่อ โดยในข้าวสาลีนั้นจะเกิดหน่อเมื่อมีจำนวนใบประมาณ 3 ใบ ซึ่งจำนวนหน่อสามารถใช้เป็นตัวแปรในทำนายระยะพัฒนาร่วมกับการปรากฏใบได้ (Kirby and Perry, 1987) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอัตราการปรากฏใบ และการใช้อุณหภูมิสะสมในการสร้างใบหนึ่งใบ (phyllochron) นอกจากจะแตกต่างกันตามพันธุ์แล้ว ยังแตกต่างกันตามวันปลูก และเส้นละติจูด (Coa and Moss, 1989a) เนื่องจากมีปัจจัยสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการปรากฏใบและ phyllochron ของพืช คือ อุณหภูมิ ความยาววัน (Chase and Nanda, 1967; Duncan and Hesketh, 1968; Hesketh et.al., 1969; Stevenson and Goodman, 1972; Coa and Moss, 1989a, 1989b Ellis et.al., 1992 และ Acosta-Gallegos et.al., 1995) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความยาววัน (Coa and Moss, 1989c และ Volk and Bugbee, 1991) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความยาววัน (Kerby and Perry, 1987) ส่วนการจัดการน้ำหรือความชื้นในดินและไนโตรเจนในดินนั้น พบว่าไม่มีผลต่ออัตราการปรากฏใบและ phyllochron (Bauer et.al., 1984)

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบและอุณหภูมิ

การนับวันเพื่อใช้ในการทำนายระยะพัฒนาการของพืชนั้นเป็นวิธีที่ไม่มีความแม่นยำนักในการช่วยตัดสินใจในการใช้ทรัพยากรการผลิตในแปลง รวมถึงการคาดการณ์ระยะพัฒนาการและผลผลิตของพืชในแบบจำลองการเจริญเติบโต การคาดการณ์ระยะพัฒนาการโดยใช้อุณหภูมิสะสมพบว่าเป็นวิธีที่แม่นยำกว่า และพืชแต่ละชนิดจะต้องการอุณหภูมิสะสมตลอดอายุพืชที่แตกต่างกัน และการสร้างสมการของอุณหภูมิสะสมเพื่อใช้ในการทำนายพัฒนาการของพืชได้ทำกันมาแล้วหลายศตวรรษ เช่น การใช้สมการทำนายการเจริญเติบและพัฒนาการของพืช โดยเน้นในส่วน

ที่อยู่เหนือดินเป็นสมการแบบ empirical model และได้มีการทดสอบสมการของอุณหภูมิสะสมเปรียบเทียบในหลายพืช และเปรียบเทียบกับสมการในรูปแบบอื่น ๆ เช่น poikilotherm equation ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกัน (Cross and Zuber, 1972) แต่อย่างไรก็ตาม สมการทำนายพัฒนาการโดยใช้อุณหภูมิก็ใช้ได้ดี เพราะวัดง่ายและสะดวกต่อทุกสถานีทดลอง (Bauer et.al., 1984) Tollenaar et.al. (1979) ได้ศึกษาสมการที่ใช้คาดการณ์ผลของอุณหภูมิสะสมที่มีผลต่ออัตราพัฒนาการของข้าวโพดจากการปรากฏของใบเปรียบเทียบกับวิธีการนับวัน และเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณอุณหภูมิสะสม (Heat Unit, HU) แบบต่าง ๆ ทั้งหมด 4 วิธี คือ

วิธีการที่ 1 โดยวิธี Growing Degree Day โดยสมการที่ใช้คำนวณอุณหภูมิสะสมในแต่ละวัน (Daily HU) คือ

Daily HU = [(max + min) / 2] - base

ถ้า min < 10°C, min = 10°C

ถ้า max > 30°C max = 30°C

วิธีการที่ 2 โดยวิธี Ontario Com Heat Unit method (OCHU) สมการที่ใช้คำนวณ Daily HU คือ

Daily HU = (day + nigth) / 2 โดย

day = 3.33 (max - 10°C) - 0.084 (max - 10°C)

nigth = 1.85 (min - 4.4°C)

แต่ในวิธีการที่ 2 นี้ ถ้า min < 4.4 การคำนวน Daily HU จะเปลี่ยนไปใช้วิธีการที่ 1

โดยวิธีการที่ 1 และ 2 นั้น max หมายถึง อุณหภูมิสูงสุด min หมายถึง อุณภูมิต่ำสุด และ base หมายถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่กระบวนการพัฒนาการหยุด จากการศึกษาใช้อุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส

วิธีการที่ 3 โดยวิธี Thermal Leaf Unit (max/min) สมการที่ใช้คำนวน Daily HU คือ

Daily HU = $(R_{max} + R_{min}) / 2$

โดย R_{max} และ R_{min} คืออัตราการปรากฏใบที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละวัน ตามลำดับ โดย

R_{max} = $0.0997 - [0.0360\ Max] + [0.00362\ Max^2] - [0.000639 Max^3]$

R_{min} ใช้สูตรเดียวกันแต่เปลี่ยนอุณหภูมิสูงสุด (Max) เป็นอุณหภูมิต่ำสุด (Min)

วิธีการที่ 4 Themal Leaf Units (Sine Wave) สมการที่ใช้คำนวน Daily HU คือ

$$\text{Daily HU} = (R_1 + R_2 + ...+R_{24}) / 24$$

โดย R_n ใด ๆ คืออัตราการปรากฏใบเฉลี่ยทุก ๆ ชั่วโมง จากชั่วโมงที่ 1 (R_1) ถึงชั่วโมงที่ 24 (R_{24}) โดยใช้สูตรจากวิธีการที่ 3

ผลการทดลองเพื่อคาดการณ์อัตราการปรากฏใบของข้าวโพด พบว่าวิธีที่ 1 (Growing Degree Day) ใช้คาดการณ์ได้ผลแม่นยำกว่าการนับวัน แต่ได้ผลคล้ายคลึงกับวิธีการที่ 2, 3 และ 4 นอกจากนี้การใช้วิธีการที่หนึ่งในการคำนว่ณอุณหภูมิสะสมในแต่ละวันก็สะดวกและง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ และสามารถนำไปใช้ได้ในทุกสถานี

Gallagher (1979) และ Tollenaar and Hunter (1983) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบบนต้นหลักของข้าวสาลีกับอุณหภูมิมีลักษณะเป็นสมการเส้นตรง (linear regression) ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่สามารถใช้คาดการณ์อัตราการปรากฏของใบ และได้มีการรายงานว่าในข้าวบาร์เล่ย์และข้าวสาลีนั้นอัตราการปรากฏใบ (ใบ/องศาเซลเซียส) แตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ แต่มีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกวันปลูก โดยค่าอยู่ในช่วง 0.038-0.0132 0ใบ/องศาเซลเซียส (Gallagher, 1979) ซึ่งขัดแย้งจากการศึกษาของ Baker et.al. (1980) Kirby et.al. (1983) และ Kirby and Perry (1987) ซึ่งพบว่าอัตราการปรากฏของใบของข้าวสาลีจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละวันปลูก และสถานที่ปลูก (ละติจูด) สามารถยืนยันได้จากแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวสาลี โดยในการจำลองแบบจำลองทุกครั้งค่าของ phyllochron ที่ใส่เข้าไปจะแตกต่างไปตามพันธุ์ วันปลูก และละติจูด

Coa and Moss (1989a) ศึกษาพัฒนาการของใบของข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์ในห้องควบคุมสภาพแวดล้อมได้ค่าเฉลี่ยของ phyllochron ประมาณ 80 องศาเซลเซียส และได้ผลของพัฒนาการคล้ายคลึงกับ Tolenaar et.al. (1979) และ Warrington et.al. (1983) ที่ศึกษาในข้าวโพด คือ อัตราการปรากฏใบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้ว อัตราการปรากฏใบก็จะลดลง แต่ในข้าวโพดสมการทำนายอัตราการปรากฏใบที่ได้ เป็นสมการยกกำลังสาม (cubic function) ส่วนในข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์เป็นสมการกำลังสอง (quadratic funtion)

อัตราการปรากฏใบที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำในข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 0.012 และ 0.014 ใบ/วัน ในอุณหภูมิ 7.54 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาการของใบคือ 22.5 และ 21.0 องศาเซลเซียส จากข้อมูลนี้ก็สามารถอธิบายได้ว่าทำไม phyllochron หรือ อัตราการปรากฏใบจึงแตกต่างกันในแต่ละวันปลูกหรือเส้นละติจูด แต่อย่างไรก็ตามยังมีผลการทดลองที่ยืนยันว่าพัฒนาการของใบนั้นไม่ได้มีผลมาจากอุณหภูมิเพียงปัจจัยเดียว แต่ยังรวมถึงความยาววันหรือช่วงแสงด้วย (Acosta-Gallegos et.al., 1995)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบและความยาววัน

Ellis et.al. (1992) และ Rood and Major (1980) ได้รายงานว่าทั้งอุณหภูมิและความยาววันมีผลต่อพัฒนาการของพืช โดยอุณหภูมินั้นมีผลต่อระยะพัฒนาการ คือ อัตราการปรากฏของใบและ phyllochron แต่ความยาววันนั้นมีผลต่อจำนวนใบบนลำหลักเท่านั้น โดยสัมพันธ์กับการตอบสนองของพืชในการออกดอกที่แตกต่างกันไปในแต่พันธุ์ (Francis et.al., 1969; Stevenson and Goodman, 1972; Rood and Major, 1980; Kiniry et.al, 1983 และ McPhersson et.al., 1985) แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Coa and Moss (1989) พบว่าอัตราการปรากฏใบของข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงแสงหรือความยาววันสูงขึ้น หรือค่า phyllochron จะลดลงเมื่อความยาววันสูงขึ้น และมีค่าแตกต่างกันในแต่ละวันปลูก และยังพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการปรากฏใบของข้าวสาลี 8 พันธุ์ที่ทำการศึกษาเฉลี่ยเท่ากับ 0.163±0.008 ใบ/วัน ที่ความยาววันคงที่ 8 ชั่วโมง ถึง 0.234±0.0118 ใบ/วัน ที่ความยาววัน 24 ชั่วโมง โดยสมการทำนายที่ได้เป็นสมการ non linear คือ $Y = X / (a + bX)$ เมื่อ Y เท่ากับอัตราการปรากฏใบ X เท่ากับความยาววัน หรือ phyllochron เท่ากับ 92.4±4.5 และ 64.5±5.0 องศาเซลเซียส/ใบ และสมการที่ได้คือ $Y= (a+bX)/X$ ซึ่งผลที่ได้คล้ายคลึงกับการทดลองในข้าวโพดของ Warrington and Kanemasu (1983)

นอกจากจำนวนใบและอัตราการปรากฏของใบจะได้รับผลจากความยาววันแล้ว ก็ยังได้รับผลจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของความยาววัน (rate of change of daylength) ด้วย โดย

Bonhomme et.al. (1991) พบว่าการตอบสนองต่อช่วงแสงของข้าวโพดนั้นจะพบในพันธุ์ข้าวโพดเขตร้อนมากกว่าพันธุ์ข้าวโพดเขตหนาว และจำนวนใบของข้าวโพดในเขตร้อนจะลดลง 0.2-0.5 ใบ/ต้น เมื่อมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความยาววันเพิ่มขึ้นใน 1 นาที/วัน ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก Kerby and Perry (1987) ศึกษาในข้าวสาลีจำนวนหลายพันธุ์และทำการปลูกในหลายวันปลูกเป็นเวลา 3 ปี พบว่าสามารถใช้สมการของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความยาววันในการทำนายการปรากฏของใบเมื่ออุณหภูมิคงที่ คือ

อัตราการปรากฏใบ = 0.00949 + 0.000988 (ΔDL)

โดย ΔDL เท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาววัน ($min.day^{-1}$)

และพบว่าในออสเตรเลียการปลูกข้าวสาลีปลายเดือนมิถุนายน มี ΔDL เท่ากับ 0 จะได้สูตรการคาดการณ์โดยใช้อุณหภูมิ ได้อัตราการปรากฏใบเท่ากับ 105 องศาเซลเซียสต่อใบ

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบและปฏิสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความยาววัน

จากการทดลองของ Cao and Moss (1989a, 1989b) ในข้าวสาลี และข้าวบาร์เล่ย์พบว่าทั้งอุณหภูมิและความยาววันมีผลต่อพัฒนาการของใบ ในปีเดียวกันจึงทำการศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยเพื่อยืนยันผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าในห้องควบคุมสภาพแวดล้อมนั้นความสัมพันธ์ะหว่าง phyllochron และ Thermo/photo ratio เป็นสมการเส้นตรงในทุก ๆ อุณหภูมิและความยาววัน ถ้าหากผลที่ได้เป็นเช่นเดียวกับในสภาพแวดล้อมที่ปลูกพืชจริง ก็สามารถอธิบายถึงค่าของ phyllochron ที่แตกต่างกันในแต่ละวันปลูกได้ และได้ทำการทดสอบสมมุติฐานนี้อีกครั้งโดยการปลูกข้าวบาร์เล่ย์ในสองวันปลูกและสภาพแปลงปลูกจริง พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง phyllochron และ Thermo/photo ratio นั้นเป็นสมการเส้นตรงเช่นเดียวกับในห้องควบคุมสภาพแวดล้อม ซึ่งได้ผลการทดลองและอธิบายได้เช่นเดียวกับการทดลองของ Baker et.al. (1980) และ Kirby et.al. (1982) ว่าความแตกต่างของ phyllochron ในแต่ละวันปลูกได้รับ

จากอุณหภูมิและความยาว โดยไม่เกี่ยวข้องกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความยาววัน และพบว่าข้าวบาร์เล่ย์มีการตอบสนองต่อปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความยาววันมากกว่าข้าวสาลี

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้รายงานว่า phyllochron ของข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์จะมีค่าคงที่ตลอดระยะพัฒนาการ (Gallagher, 1979 และ Bauer et.al., 1984) แต่การทดลองอื่น ๆ ก็ยืนยันว่า phyllochron จะแตกต่างกันในแต่ละวันปลูก (Kirby and Perry, 1987) และผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาววันที่มีผลต่ออัตราการปรากฏใบก็ยังไม่ชัดเจนและไม่สามารถอธิบายได้มากนัก การศึกษาของ Coa and Moss (1989a, 1989b, 1989c) ก็ยืนยันว่า อุณหภูมิ ความยาววัน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความยาววัน มีผลต่อพัฒนาการทางใบของข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์ โดยที่ความชื้นในดินหรือการจัดการน้ำ ธาตุอาหารในดิน (ไนโตรเจน) ไม่มีผลต่อพัฒนาการของใบ (Bauer et.al., 1984) แต่อย่างไรก็ตาม Volk and Bugbee (1991) ได้รายงานว่าความเข้มแสง (โมลต่อตารางเมตรต่อวัน) ก็มีความสำคัญต่อพัฒนาการของใบในระดับที่มีแสงน้อยถ้าหากสารสังเคราะห์ที่ได้ไม่เพียงพอสำหรับการแบ่งและขยายตัวของเซลล์พืช ก็จะทำให้อัตราการปรากฏของใบต่ำลง Friend et.al. (1962) พบว่า อัตราการปรากฏใบจะลดลง 30% เมื่อความเข้มแสงลดลง จาก 43 เป็น 3 โมลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งเป็นจุดที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงเท่ากับอัตราการหายใจ อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ผ่านมาก็ไม่สามารถที่จะอธิบายเหตุและผลได้อย่างชัดเจนนัก ดังนั้นการศึกษาในห้องควบคุมสภาพแวดล้อมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการยืนยันผลการศึกษาดังกล่าว