

การประเมินระยะพัฒนาการของถั่วเหลืองในสภาพแล้ง<sup>1/</sup>  
Assessment of Soybean Growth Stages in Response to Drought Stress<sup>1/</sup>

ผู้ทำสัมมนา  
อาจารย์ที่ปรึกษา

ณัฐริกา รื่นเริง<sup>2/</sup>  
ดร. ภัทร์ลดา สุธรรมวงศ์<sup>3/</sup>

บทคัดย่อ

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ซึ่งการเพาะปลูกถั่วเหลืองของหลายประเทศต้องอาศัยน้ำฝนมากกว่า 90% แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก รูปแบบการตกของฝนที่ไม่สม่ำเสมอได้สร้างภัยคุกคามอย่างยิ่งต่อการผลิตถั่วเหลือง การศึกษานี้จึงวิเคราะห์ผลกระทบของความเครียดแล้งในระยะพัฒนาการต่างๆของถั่วเหลือง ได้แก่ ผลกระทบการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ พบว่าความสูงของต้นลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และไม่สามารถฟื้นตัวได้หลังพ้นช่วงความแห้งแล้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงในปีแรกและเพิ่มขึ้นในปีที่สอง อัตราส่วนฟลูออเรสเซนซ์ของคลอโรฟิลล์ลดลงในปีแรกและฟื้นตัวในปีที่สอง ค่าอุณหภูมิความร้อนของใบเพิ่มขึ้นในปีแรกและลดลงในปีถัดมา ผลกระทบในช่วงระยะออกดอก พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงในช่วง 15-45 วันหลังออกดอก ชีวมวลของลำต้นและน้ำหนักเมล็ดลดลง ความแห้งแล้งในระยะกลางถึงปลายของการพัฒนาเมล็ดส่งผลให้ปริมาณแป้งในใบลดลง แต่ปริมาณซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคสในใบเพิ่มขึ้น ส่วนผลกระทบในระยะติดเมล็ด พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์และพื้นที่ใบจำเพาะลดลง อีกทั้งยังส่งผลให้จำนวนฝักและน้ำหนักเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงกันข้ามเมล็ดที่ติดฝักจะได้รับอาหารสะสมมากขึ้น น้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นแต่จำนวนเมล็ดลดลง อย่างไรก็ตาม การพัฒนาพันธุ์ถั่วเหลืองให้มีความทนทานต่อความแห้งแล้ง และการจัดการน้ำในระยะที่สำคัญของถั่วเหลืองจึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองในพื้นที่ที่ต้องเผชิญกับภัยแล้ง

คำสำคัญ ถั่วเหลือง; ความเครียดแล้ง; ระยะพัฒนาการ; สรีรวิทยา

<sup>1/</sup>เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

<sup>2/</sup>นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<sup>3/</sup>อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

## บทนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) เป็นแหล่งโปรตีนและน้ำมันที่สำคัญสำหรับการบริโภคของมนุษย์และสัตว์ ถั่วเหลืองมีบทบาทสำคัญในระบบการเกษตรและเศรษฐกิจโลก เนื่องจากมีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนในดิน ช่วยปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและลดการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ยังรวมถึงเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารและพลังงานชีวภาพ อีกทั้งถั่วเหลืองยังเป็นพืชที่มีการปลูกมากรองมาจากข้าวโพด โดยประเทศที่มีการปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ บราซิล ซึ่งครองพื้นที่ปลูก 39% ของการผลิตทั้งโลก (USDA, 2023) ในขณะที่ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองประมาณ 86,413 ไร่ และผลผลิตรวมประมาณ 23,482 ตัน คิดเป็นพื้นที่ปลูกประมาณ 0.01% ของการผลิตทั่วโลก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในประเทศจึงต้องมีการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศในปริมาณที่สูง เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และการผลิตน้ำมันพืชอยู่ที่ประมาณ 3.28 ล้านตัน (ประชาชาติ, 2567) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งมีลักษณะเป็นฝนตกไม่สม่ำเสมอเป็นภัยคุกคามอย่างรุนแรงต่อความมั่นคงทางอาหาร และทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบที่มีความสัมพันธ์กันต่อห่วงโซ่อาหาร ความเครียดจากความแห้งแล้งเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ซับซ้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาหลายประการในทุกช่วงการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ตลอดจนส่งผลกระทบต่อผลผลิตของถั่วเหลืองในหลายภูมิภาคของโลก ในการเพาะปลูกถั่วเหลืองของหลายประเทศทั่วโลกต้องอาศัยน้ำฝนมากกว่า 90% แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก รูปแบบการตกของฝนที่ไม่สม่ำเสมอได้สร้างภัยคุกคามอย่างยิ่งต่อการผลิตถั่วเหลือง (Poudel *et al.* 2023) สัมมนาฉบับนี้จึงเป็นการรวบรวมข้อมูลการศึกษาผลกระทบของความเครียดจากสภาพแล้งในระยะพัฒนาการต่าง ๆ ของถั่วเหลือง เพื่อพัฒนากลยุทธ์การจัดการน้ำและปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองให้มีความทนทานต่อสภาพแล้ง สามารถรักษาเสถียรภาพของผลผลิตในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในอนาคต

## 2. ถั่วเหลืองและความสำคัญทางเศรษฐกิจ

ถั่วเหลือง เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลกรองจากข้าวโพด เนื่องจากเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนและปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูง เมล็ดของถั่วเหลืองสามารถนำมาสกัดน้ำมัน และนำไปแปรรูปเป็นอาหารได้หลายชนิดและกากถั่วเหลืองยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังสามารถปลูกเป็นพืชบำรุงดินได้เป็นอย่างดี (ฐิติพร และคณะ, 2558) ประเทศบราซิลเป็นผู้ผลิตถั่วเหลืองรายใหญ่ที่สุดของโลก และเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ของถั่วเหลืองคิดเป็นกว่า 90% ของผลผลิตเมล็ดพืชน้ำมันในประเทศบราซิล ในขณะที่ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองประมาณ 86,413 ไร่ และผลผลิตรวมประมาณ 23,482 ตัน คิดเป็นพื้นที่ปลูกประมาณ 0.01% ของการผลิตทั่วโลก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในประเทศจึงต้องมีการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศในปริมาณที่สูง เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และการผลิตน้ำมันพืชอยู่ที่ประมาณ 3.28 ล้านตัน (ประชาชาติ, 2567) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพื้นที่การปลูกและการผลิตถั่วเหลืองกลับมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ทั้งนี้ เนื่องมาจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีปัญหาโรคและแมลง ต้องการการดูแลมากกว่าพืชไร่ชนิดอื่นๆ และมีผลผลิตต่อไร่ต่ำ ทำให้การปลูกไม่คุ้มค่ากับการ

ลงทุน เกษตรกรจึงนิยมปลูกพืชไร่ชนิดอื่นที่ให้ผลตอบแทนมากกว่าเป็นพืชหลัก (ฐิติพร และคณะ, 2558) ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก ทำให้ฝนตกไม่สม่ำเสมอและได้ก่อให้เกิดสภาพแห้งแล้งตามมา ส่งผลกระทบไปกับทั่วทุกพืชที่อาศัยน้ำฝนไม่เว้นแม้แต่การผลิตถั่วเหลือง (Poudel *et al.* 2023) ดังนั้นการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองภายใต้ความเครียดจากความแห้งแล้งจึงมีความสำคัญในการพัฒนากลยุทธ์การจัดการน้ำและปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองให้มีความทนทานต่อสภาพแล้งที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

**ระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง** ประกอบด้วย 2 ระยะ คือ ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (Vegetative growth stages) และระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive growth stage)

### 1. ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (Vegetative growth stages)

การพิจารณาถึงระยะการเจริญเติบโตในช่วง Vegetative growth นั้นถือเอาลำดับของข้อเป็นสำคัญ ข้อ (node) ได้แก่ ส่วนหนึ่งของลำต้นที่ใบมีการพัฒนาขึ้น เมื่อหลุดร่วงก็จะพบเป็นแผลเป็น (scar) การที่ข้อถูกใช้เป็นตัวกำหนดระยะการเจริญเติบโต ก็เนื่องมาจากที่มันปรากฏอยู่ที่ลำต้นเสมอ (อภิพรณ, 2546)

**ตารางที่ 2.1** ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (Vegetative growth stages)

| Growth stages | ระยะการเจริญเติบโต          | รายละเอียด                                                                     |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| VE            | ระยะโผล่พื้นดิน (emergence) | ใบเลี้ยงเพ่งโผล่และอยู่เหนือผิวดิน                                             |
| VC            | ระยะใบเลี้ยง (cotyledon)    | ใบประกอบเริ่มคลี่กางและขอบใบประกอบไม่แตะกัน                                    |
| V1            | ระยะข้อที่ 1 (first node)   | ใบประกอบที่กางเต็มที่ในข้อที่ 1                                                |
| V2            | ระยะข้อที่ 2 (second node)  | ใบจริงที่ 1 (1 <sup>st</sup> trifoliolate leaf) คลี่กางออกในข้อที่ 2           |
| V3            | ระยะข้อที่ 3 (third node)   | ต้นถั่วเหลืองมีข้อ 3 ข้อแล้วบนลำต้น และในข้อที่ 3 จะมีใบจริงที่ 2 คลี่กางออกมา |
| V4            | ระยะข้อที่ 4 (fourth node)  | ต้นถั่วเหลืองมีข้อ 4 ข้อแล้วบนลำต้น และในข้อที่ 4 จะมีใบจริงที่ 3 คลี่กางออกมา |
| V5            | ระยะข้อที่ 5 (fifth node)   | ต้นถั่วเหลืองมีข้อ 5 ข้อแล้วบนลำต้น และในข้อที่ 5 จะมีใบจริงที่ 4 คลี่กางออกมา |
| Vn            | ระยะข้อที่ (n) (n-node)     | (n) เท่ากับลำดับของข้อบนลำต้นที่มีใบจริงคลี่กางออกเต็มที่                      |

ที่มา : Fehr and Caviness (1977 อ้างโดย อภิพรณ, 2546)

### 2. ระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive growth stage)

ระยะเจริญพันธุ์ หรือ Reproductive stage นั้นเริ่มตั้งแต่ถั่วเหลืองเริ่มออกดอก ออกฝัก และเมล็ดมีการพัฒนา ตลอดจนการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดและการสุกแก่

ตารางที่ 2.2 ระยะการเจริญเติบโตของระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive stage) ในถั่วเหลือง

| Growth stages | ระยะการเจริญเติบโต               | รายละเอียด                                                 |
|---------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| R1            | เริ่มออกดอก (beginning bloom)    | มีดอกบาน 1 ดอกบนข้อใด ๆ ก็ตามบนลำต้น                       |
| R2            | ออกดอกเต็มที่ (full bloom)       | มีดอกทุกข้อยกเว้นข้อที่ 1 และข้อที่ 2 จากยอด               |
| R3            | เริ่มติดฝัก (beginning pod)      | ฝักในข้อที่ 1 หรือข้อที่ 4 จากยอดมีขนาด 0.05 cm.           |
| R4            | ติดฝักเต็มที่ (full pod)         | ฝักในข้อที่ 1 หรือข้อที่ 4 จากยอดมีขนาด 2 cm.              |
| R5            | เริ่มติดเมล็ด (beginning seed)   | เมล็ดจากฝักในข้อที่ 1 หรือข้อที่ 4 จากยอดมีขนาดเมล็ด 3 mm. |
| R6            | เมล็ดพัฒนาเต็มที่ (full seed)    | ฝักในข้อที่ 1 หรือข้อที่ 4 จากยอดมีขนาดเมล็ดโตเต็มที่      |
| R7            | เริ่มสุกแก่ (beginning maturity) | ฝักแก่เริ่มเปลี่ยนสี หรือฝักใดฝักหนึ่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล  |
| R8            | สุกแก่เต็มที่ (full maturity)    | ฝัก 95 เปอร์เซ็นต์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล                      |

ที่มา : Fehr and Caviness (1977 อ้างโดย อภิพรณ, 2546)

### 3. การขาดน้ำและการกระทบแล้ง

ภัยแล้งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมทั่วโลก โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่ปลูกถั่วเหลืองโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ภัยแล้งเกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำฝนลดลงต่ำกว่าค่าปกติเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการผลิตทางการเกษตร (วิไลลักษณ์ และคณะ, 2564) การขาดน้ำ เช่น ฝนทิ้งช่วง ปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ ดินเก็บความชื้นต่ำ ปริมาณน้ำใต้ดินน้อย (ศิริวรรณ และคณะ, 2567) ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง การสะสมน้ำหนักราก และการพัฒนาโครงสร้างของต้นถั่วเหลือง ส่งผลให้การสะสมพลังงานและสารอาหารในเมล็ดลดลง ทั้งนี้พืชมีกลไกการตอบสนองต่อสภาวะดังกล่าว เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตและขยายพันธุ์ได้กลไกการตอบสนอง ของพืชแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

**3.1 การหลบหลีกความแล้ง** หมายถึง ความสามารถของพืชในการปรับตัวเพื่อหลีกเลี่ยงการเผชิญกับสภาวะแห้งแล้ง โดยการปรับวัฏจักรชีวิตให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีความชื้นเพียงพอ เช่น การเร่งการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ให้เสร็จสิ้นก่อนที่สภาวะแห้งแล้งจะเกิดขึ้น (biology, 2017)

**3.2 การหลีกเลี่ยงความแล้ง** หมายถึง การปรับตัวของพืชเพื่อรักษาสมดุลของน้ำในต้นพืช แม้ในสภาวะความชื้นของดินต่ำ โดยพืชสามารถปิดปากใบเร็ว มีรากลึก ใบหนาเพื่อลดการคายน้ำ

และสะสมน้ำในเนื้อเยื่อก็จะเพิ่มโอกาสรอดในสภาวะแล้ง (Chaves *et al.*, 2016; Fang *et al.*, 2017)

**3.3 การทนทานต่อความแล้ง** หมายถึง ความสามารถของพืชในการรักษาการทำงานของเซลล์และเนื้อเยื่อในช่วงที่มีความแห้งแล้ง โดยพืชจะมีการสะสมสารป้องกัน เช่น โปรลีน (proline) และน้ำตาล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุล

#### 4. การตอบสนองในระยะพัฒนาการของถั่วเหลืองต่อความเครียดในสภาพแล้ง

##### 4.1 ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ

Elsalahy and Reckling (2022) ศึกษาความสามารถในการฟื้นตัวและความทนทานต่อความแล้งของถั่วเหลือง โดยเน้นการฟื้นตัวของลักษณะการสังเคราะห์แสงในช่วงการเจริญเติบโตต่าง ๆ ใช้แผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) ในแปลงใหญ่ขนาด  $9 \times 35$  เมตร แบ่งเป็นแปลงย่อย 4 แปลง ( $6 \times 6$  เมตร) ทดลองการให้น้ำ 4 แบบ ได้แก่ การให้น้ำตามปกติ (irrigated) อาศัยน้ำฝน (rainfed) การขาดน้ำในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (V-stage) และระยะเริ่มออกดอก (F1-stage) โดยแต่ละแปลงย่อยแบ่งเป็น 3 บล็อกเพื่อสุ่มตัวอย่างซ้ำ และเก็บข้อมูล 2 ลักษณะ ได้แก่

**1) การเจริญเติบโตทางด้านลำต้น** Elsalahy and Reckling (2022) พบว่าในระยะการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ (V-stage) การขาดน้ำส่งผลกระทบต่อความสูงของต้นถั่วเหลือง โดยกลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำตามปกติ (irrigated) มีการเจริญเติบโตสูงสุด กลุ่มที่อาศัยน้ำฝน (Rainfed) มีความสูงลดลงเล็กน้อย แต่ไม่กระทบต่อโครงสร้างต้น อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่ขาดน้ำในระยะ V-stage ความสูงของต้นถั่วเหลืองลดลง 20% เมื่อเทียบกับกลุ่มที่อาศัยน้ำฝน (Rainfed) และความสูงของต้นถั่วเหลืองลดลง 25% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำตามปกติ (irrigated) โดยไม่มีการฟื้นตัวของความสูงหลังจากการขาดน้ำในทุกระยะการเจริญเติบโต

##### 2) ลักษณะการสังเคราะห์แสง ได้แก่

**2.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlc)** Elsalahy and Reckling (2022) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้งในระยะ V-stage โดยในปีแรก (2020) ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น 10% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และในปีที่สอง (2021) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น 40% หลังสิ้นสุดความแห้งแล้ง โดยถั่วเหลืองมีการฟื้นตัวผ่านการสร้างคลอโรฟิลล์ใหม่ (ภาพที่ 4.1)

**2.2) สัดส่วนฟลูออเรสเซนซ์คลอโรฟิลล์ (ChlF ratio)** Elsalahy and Reckling (2022) พบว่า สัดส่วนฟลูออเรสเซนซ์คลอโรฟิลล์ ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของคลอโรพลาสต์และระบบการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น 4% ในปีแรก (2020) เมื่อเผชิญความแห้งแล้งในระยะ V-stage และในปีที่สอง (2021) สัดส่วนฟลูออเรสเซนซ์คลอโรฟิลล์ฟื้นตัวเพิ่มขึ้น 35% หลังจากได้รับน้ำ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่ขาดน้ำในระยะ F1-stage ส่วนกลุ่มควบคุมและกลุ่มอาศัยน้ำฝนแสดงค่าที่คงที่และมีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในระยะ V-stage ที่ไม่มีการขาดน้ำ ระบบการสังเคราะห์แสงทำงานได้อย่างเต็มที่และไม่มีการลดลงของสัดส่วนฟลูออเรสเซนซ์คลอโรฟิลล์ (ภาพที่ 4.1)

### 2.3) ค่าอุณหภูมิความร้อนของใบ (Leaf Surface Temperature or LST)

Elsalahy and Reckling (2022) พบว่า ค่าอุณหภูมิความร้อนของใบซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความเครียดจากน้ำในพืช มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันระหว่างปีการทดลอง ในปีแรก (2020) ค่าอุณหภูมิความร้อนของใบไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญจนกระทั่งหลังการขาดน้ำในระยะ V-stage ซึ่งทำให้ค่าอุณหภูมิความร้อนของใบเพิ่มขึ้น 45% สัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราส่วนฟลูออเรสเซนซ์คลอโรฟิลล์ ในปีที่สอง (2021) ค่าอุณหภูมิความร้อนของใบเพิ่มขึ้น 9% หลังการขาดน้ำในระยะ V-stage แม้การเพิ่มขึ้นจะไม่รุนแรงเท่าปีแรกของการทดลอง (2020) แต่กลับสะท้อนถึงผลกระทบจากความแห้งแล้งที่ทำให้ถั่วเหลืองไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิใบได้ รวมถึงส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (ภาพที่ 4.1)

## 4.2 ระยะออกดอก

Du *et al.* (2020) ศึกษาผลกระทบของความเครียดจากภัยแล้งในระยะ R2–R6 ของถั่วเหลืองต่อการเผาผลาญซูโครสในใบและเมล็ดของถั่วเหลือง โดยพิจารณาความสามารถในการสังเคราะห์และสะสมสารอาหารภายใต้สภาวะแล้ง วางแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) 3 ซ้ำ แบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำตามปกติ (ความชื้นในดิน 70–80%) และกลุ่มที่ถูกจำกัดน้ำ (ความชื้นในดิน 35–40%) โดยการจำกัดน้ำจะดำเนินไปเป็นเวลา 45 วัน เริ่มจากระยะ R2 (ดอกบานเต็มที่) และเก็บข้อมูล 2 ลักษณะ ได้แก่

**1) ผลของความเครียดจากภัยแล้งต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ชีวมวลของลำต้น และน้ำหนักเมล็ด** Du *et al.* (2020) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของถั่วเหลืองทั้งสามสายพันธุ์ที่ศึกษา ได้แก่ CV.SN17, CV.SN8 และ CV.SN12 ลดลงโดยเฉลี่ย 63.93% ภายใต้ความเครียดจากการได้รับน้ำแบบจำกัดในช่วง 15–45 วันหลังออกดอก (ภาพที่ 4.2A) นอกจากนี้ ชีวมวลของลำต้นถั่วเหลืองทั้งสามสายพันธุ์ที่อยู่ภายใต้ความแห้งแล้งลดลง 19.77% ที่ 15 วันหลังออกดอก 32.44% ที่ 30 วันหลังออกดอก และ 48.37% ที่ 45 วันหลังออกดอก คิดเป็นค่าเฉลี่ยลดลง 33.53% (ภาพที่ 4.2B) ขณะที่น้ำหนักเมล็ดในช่วงแรกของการพัฒนาเมล็ด (15 วันหลังออกดอก) ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับน้ำแบบจำกัดไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม น้ำหนักเมล็ดลดลง 41.65% ภายใต้กลุ่มที่ได้รับน้ำแบบจำกัดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในช่วงกลางถึงปลายของการพัฒนาเมล็ด (30–45 วันหลังออกดอก) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 4.2C)

### 2) ผลของความเครียดจากภัยแล้งต่อปริมาณน้ำตาลในใบและการพัฒนาเมล็ด

Du *et al.* (2020) พบว่า ภาวะความแห้งแล้งทำให้ปริมาณแป้งที่สะสมในใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยลดลง 15.13% ขณะเดียวกันปริมาณซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคสในใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 33.40%, 61.59%, และ 15.50% ตามลำดับ ภายใต้สภาวะการได้รับน้ำแบบจำกัดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในช่วง 15–45 วันหลังออกดอก (ภาพที่ 4.3A–D) สำหรับเมล็ดที่กำลังพัฒนาพบว่า ภายใต้สภาพการควบคุมและสภาพที่ได้รับน้ำแบบจำกัด ปริมาณแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณฟรุคโตสและกลูโคสลดลงตามระยะการพัฒนาที่ศึกษา (ภาพที่ 4.3E, G, H) ในช่วงแรกของการพัฒนาเมล็ด (15 หลังออกดอก) ไม่พบความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแป้ง ฟรุคโตส หรือกลูโคสระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ในสภาพถูกจำกัดน้ำ แต่ในช่วงกลางและปลายของการพัฒนาเมล็ด (30–45 หลังออกดอก) กลุ่มทดลองในสภาพถูกจำกัดน้ำทำให้ปริมาณแป้ง ฟรุคโตส และกลูโคสลดลงอย่างมีนัยสำคัญในถั่วเหลือง ทั้งสามสายพันธุ์ (ภาพที่ 4.3E, G, H) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ปริมาณซูโครสในเมล็ดภายใต้ กลุ่มทดลองที่ถูกจำกัดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญถึง 48.24% ในช่วง 15–45 หลังออกดอก (ภาพที่ 4.3F)

### 4.3 ระยะการติดเมล็ด

Poudel *et al.* (2023) ศึกษาผลกระทบของความเครียดจากสภาพแล้งในระยะการออกดอก จนถึงติดเมล็ด (R1–R6) โดยประเมินความแตกต่างในการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลกระทบของความเครียดต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดถั่วเหลือง วางแผนการทดลองแบบแยกแปลงในบล็อกกลุ่ม สมบูรณ์ (Split-Plot RCBD) 10 ซ้ำ แบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมได้รับน้ำเต็มที่ (100% ความต้องการน้ำ) และกลุ่มที่ได้รับน้ำแบบจำกัด (50% ความต้องการน้ำ) เก็บข้อมูล 2 ลักษณะ ได้แก่

#### 1) ผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะแห้งแล้งในระยะการติดเมล็ดและ ระยะเมล็ดพัฒนาเต็มที่ (R3–R6)

1.1) ปริมาณเม็ดสีรงควัตถุในใบ (Leaf Pigments) Poudel *et al.* (2023) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยลดลง 9% ภายใต้กลุ่มที่ได้รับน้ำแบบจำกัด โดยเฉพาะในพันธุ์ S48XT90, G4620RX, และ P46A86X ที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งแสดงถึงความเสียหายต่อ กระบวนการสังเคราะห์แสงในถั่วเหลืองบางพันธุ์ (ภาพที่ 4.4a)

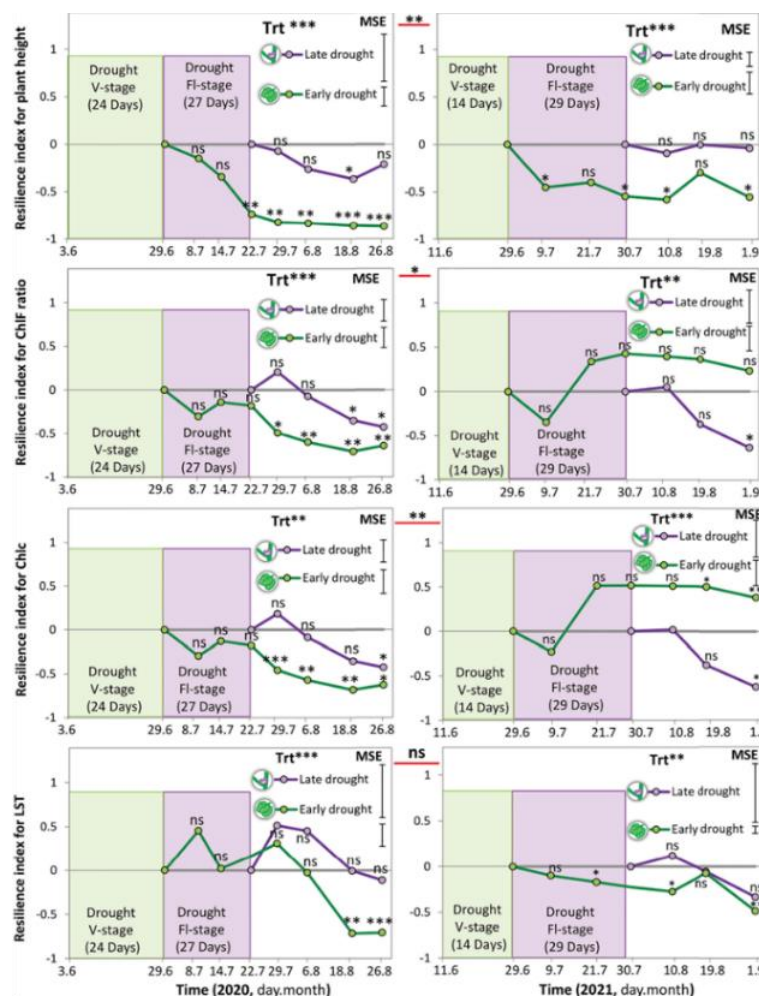
1.2) พื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area; SLA) Poudel *et al.* (2023) พบว่า พื้นที่ใบจำเพาะลดลงเฉลี่ย 24% ในกลุ่มที่ได้รับน้ำแบบจำกัด โดยพันธุ์ G4620RX มีการลดลงของ พื้นที่ใบจำเพาะสูงที่สุด ซึ่งแสดงถึงการลดลงของความหนาแน่นของใบ และอาจสัมพันธ์กับการลดลง ของคลอโรฟิลล์เฉพาะใบ (ภาพที่ 4.4b)

1.3) ประสิทธิภาพระบบโฟโตซิสเต็ม II (Photosystem II Efficiency;  $\Phi_{PSII}$ ) Poudel *et al.* (2023) พบว่า ประสิทธิภาพของระบบโฟโตซิสเต็ม II ลดลงเฉลี่ย 12% ในกลุ่มที่ได้รับ น้ำแบบจำกัด โดยพันธุ์ R15-2422 และ R01-416F มีการลดลงมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) ซึ่งแสดงถึง ผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืชที่ไวต่อความเครียด ในทางกลับกัน พันธุ์ DM45X61 มีค่า ประสิทธิภาพระบบโฟโตซิสเต็ม II ที่คงที่มากกว่า แม้จะอยู่ในกลุ่มที่ได้รับน้ำแบบจำกัด (ภาพที่ 4.4c)

#### 2) ผลของความเครียดจากสภาพแล้งต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดถั่วเหลือง

Poudel *et al.* (2023) พบว่าความเครียดในสภาพแล้งจากสภาวะได้รับน้ำแบบจำกัด ในระยะการติด เมล็ดและระยะเมล็ดพัฒนาเต็มที่ (R3–R6) มีผลให้จำนวนเมล็ดและน้ำหนักเมล็ดของถั่วเหลืองลดลง อย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อต้นถั่วเหลืองลดลง 45% และน้ำหนักเมล็ดลดลง 35% เมื่อ เทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 4.5a และ 4.5b) นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะที่ได้รับน้ำแบบจำกัด ส่งผล ต่อคุณภาพของเมล็ด โดยปริมาณโปรตีนในเมล็ดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4% ขณะที่ปริมาณน้ำมันในเมล็ดลดลง 2% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 4.3) อีกทั้งยังพบว่าพันธุ์ถั่วเหลืองตอบสนองต่อความเครียด

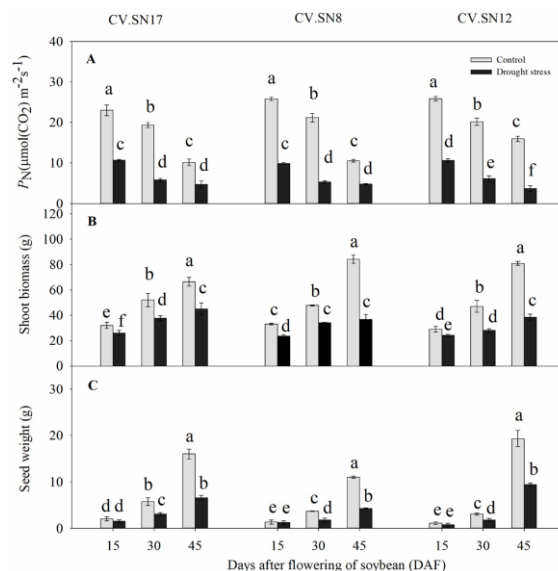
แตกต่างกัน พันธุ์ที่มีความทนทานต่อความเครียดแล้งสูง อย่างพันธุ์ LS5009XS และ G4620RX สามารถรักษาสภาพผลิตเมล็ดได้ดีกว่าพันธุ์อื่น โดยเฉพาะในแง่ของน้ำหนักเมล็ดและจำนวนเมล็ด (รูปที่ 4.5b) อย่างไรก็ตาม พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างจำนวนเมล็ดและน้ำหนักเมล็ด โดยในสภาวะที่ได้รับน้ำแบบจำกัด เมล็ดที่เหลือรอดจะได้รับอาหารสะสมที่มากขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยต่อร้อยละเมล็ดเพิ่มขึ้น แต่ต้องแลกมากับจำนวนเมล็ดที่ลดลง (ภาพที่ 4.5c)



ที่มา: Elsalahy and Reckling (2022)

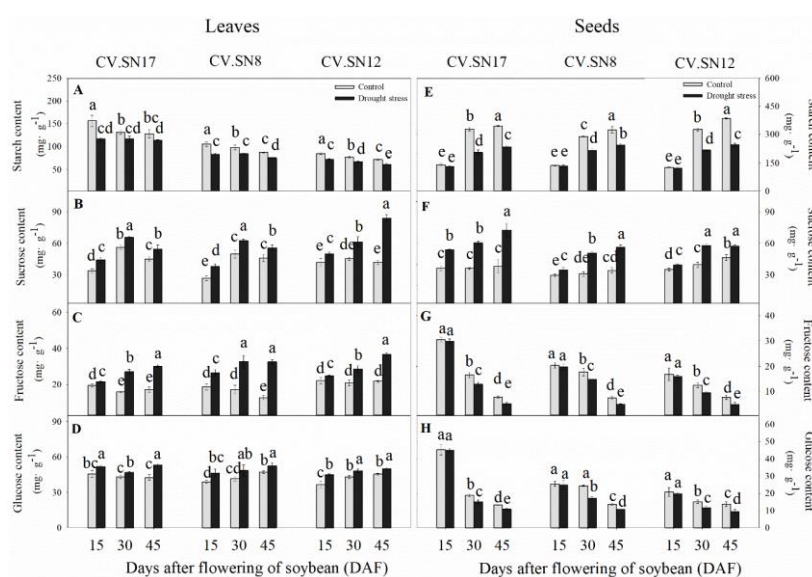
**ภาพที่ 4.1** แสดงดัชนีความสามารถในการฟื้นตัวทางด้านความสูงของพืช (A, B) สัดส่วนฟลูออเรสเซนซ์คลอโรฟิลล์ (C, D) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (E, F) และค่าอุณหภูมิความร้อนของใบ (G, H) ของถั่วเหลืองภายใต้สภาพการทดลองทั้ง 4 กลุ่ม ในปี 2020 (A, C, E, และ G) และปี 2021 (B, D, F, H) พื้นที่ที่ถูกทำเครื่องหมายด้วยสี่เหลี่ยม แสดงถึงระยะเวลาของสภาพการขาดน้ำในระยะต้นของการเจริญเติบโต (V-stage) และพื้นที่ที่ถูกทำเครื่องหมายด้วยสี่วง แสดงถึงระยะเวลาของสภาพการขาดน้ำในระยะออกดอก (Fl-stage) เส้นแนวตั้งแสดงถึงการทดสอบทางสถิติ Tukey's HSD ( $p < 0.05$ ) ของค่าเฉลี่ยแปรปรวนมาตรฐาน ( $n = 3$ ) และ Trt\*\* หมายถึง ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่างความสามารถในการฟื้น

ตัวจากสภาพการขาดน้ำในระยะ V-stage และสภาพการขาดน้ำในระยะออกดอก (F1-stage)



ที่มา: Du *et al.* (2020)

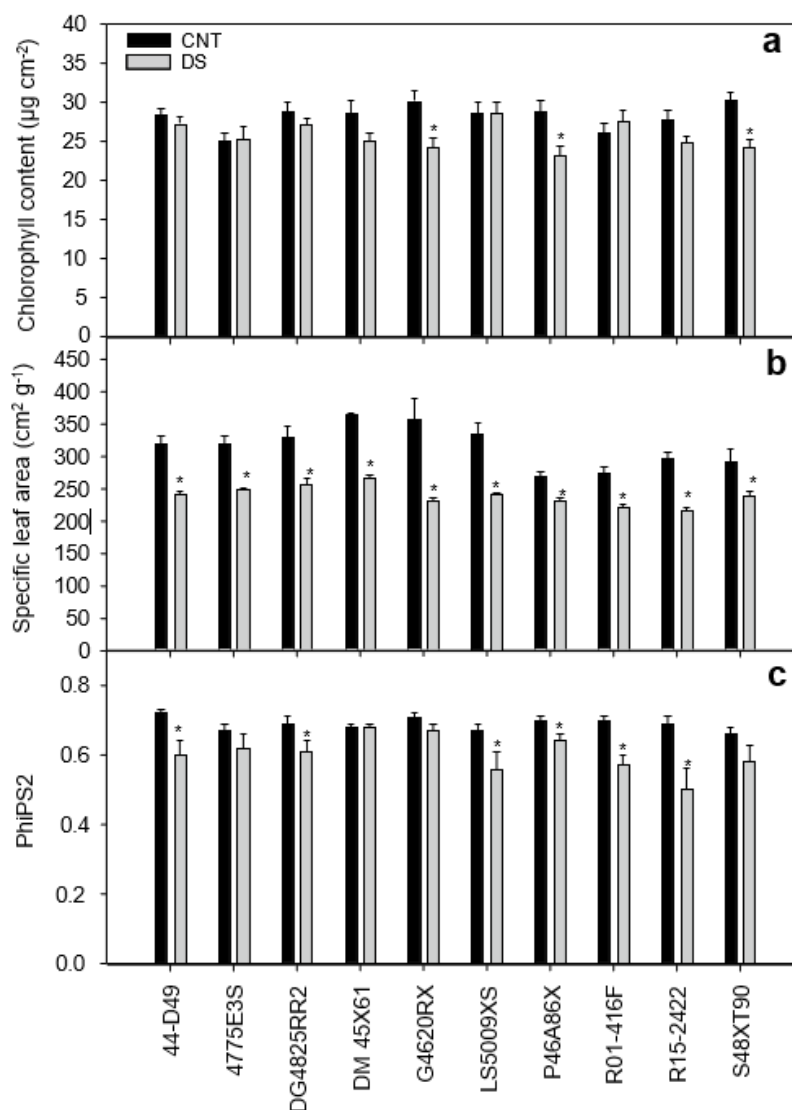
ภาพที่ 4.2 แสดงผลกระทบของความเครียดจากความแห้งแล้งต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ชีวมวลของลำต้น และน้ำหนักเมล็ดในถั่วเหลืองสายพันธุ์ต่าง ๆ (A) คือ อัตราการสังเคราะห์แสง (B) คือ ปริมาณชีวมวลของลำต้น และ (C) คือ น้ำหนักเมล็ดของถั่วเหลืองสายพันธุ์ CV.SN17, CV.SN8 และ CV.SN12 ตัวอักษรที่แตกต่างกันเหนือแถบกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับ ( $p < 0.05$ )



ที่มา: Du *et al.* (2020)

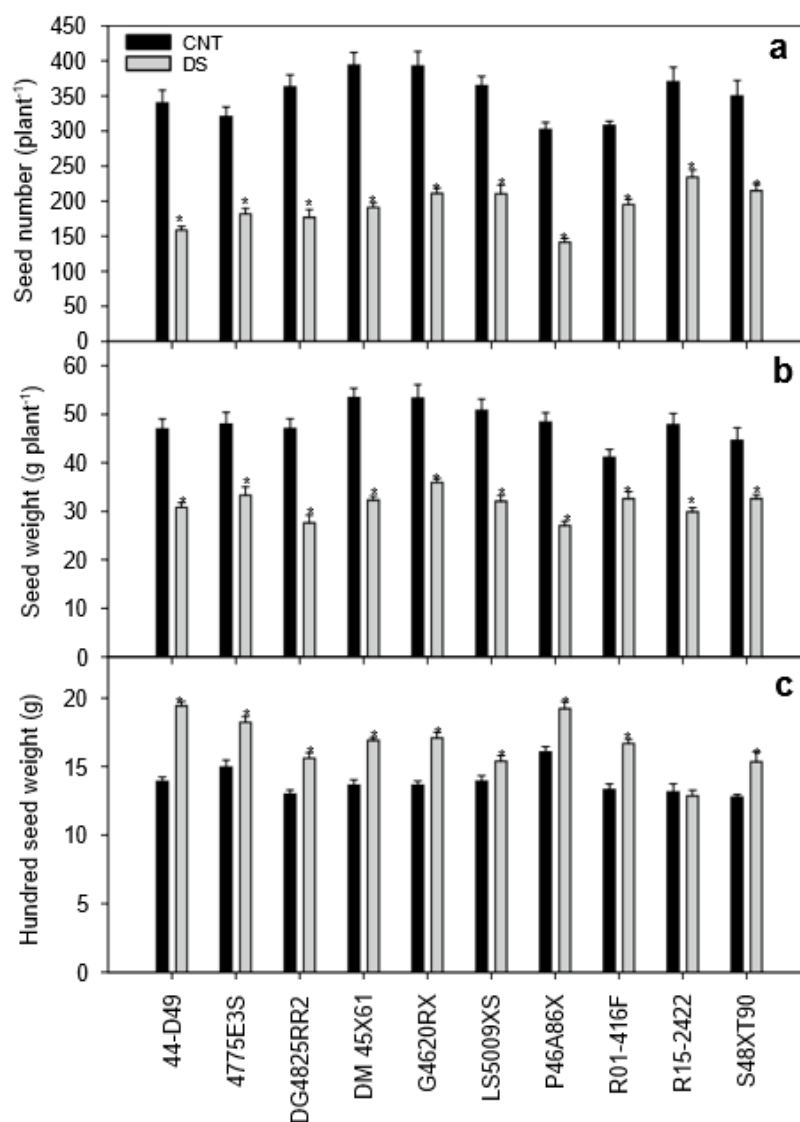
ภาพที่ 4.3 แสดงผลกระทบของความเครียดจากความแห้งแล้งต่อปริมาณแป้ง ซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคสในใบและเมล็ด (A, E) ปริมาณแป้ง (B, F) ปริมาณซูโครส (C, G) ปริมาณฟรุคโตส

(D, H) ปริมาณกลูโคส ตัวอักษรที่แตกต่างกันเหนือแถบกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับ ( $p < 0.05$ )



ที่มา: Poudel *et al.* (2023)

**ภาพที่ 4.4** ผลของความเครียดจากภาวะแห้งแล้งต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ (a) เนื้อที่ใบจำเพาะ (b) และประสิทธิภาพของระบบโฟโตซิสเต็ม II (PhiPS2, c) ในระยะออกดอกจนถึงติดเมล็ดในระยะแรก แถบแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 10 ซ้ำ ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) เครื่องหมาย \* แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสภาวะควบคุม (CNT) และความเครียดจากภาวะแห้งแล้ง (DS) สำหรับพันธุ์นั้น ๆ ที่ระดับนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )



ที่มา: Poudel *et al.* (2023)

ภาพที่ 4.5 แสดงจำนวนเมล็ด (เมล็ดต่อพืช, a) น้ำหนักเมล็ด (กรัมต่อพืช, b) และน้ำหนักเมล็ดต่อ 100 เมล็ด (กรัม, c) ของถั่วเหลือง 10 พันธุ์ ภายใต้สภาวะควบคุม (CNT) และความเครียดจากภาวะแห้งแล้ง (DS) แถบแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 10 ซ้ำ  $\pm$  ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) เครื่องหมาย \* แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสภาวะควบคุมและสภาวะแห้งแล้งสำหรับพันธุ์นั้น ๆ ที่ระดับนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.3 ความแปรผันในปริมาณโปรตีนและน้ำมันของเมล็ดถั่วเหลือง 10 พันธุ์ที่ปลูกภายใต้สภาวะควบคุมและความเครียดจากสภาวะแห้งแล้ง

| Cultivars | Protein (%)           |                       |        | Oil (%)               |                       |        |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------|-----------------------|-----------------------|--------|
|           | CNT                   | DS                    | Change | CNT                   | DS                    | Change |
| 44-D49    | 38.9±0.3 <sup>b</sup> | 41.3±0.2 <sup>a</sup> | 6.3    | 21.6±0.2 <sup>a</sup> | 20.2±0.2 <sup>b</sup> | -6.6   |
| 4775E3S   | 38.8±0.5 <sup>b</sup> | 41.6±0.3 <sup>a</sup> | 7.3    | 21.6±0.4 <sup>a</sup> | 20.8±0.3 <sup>a</sup> | -3.4   |
| DG4825RR2 | 37.4±0.2 <sup>b</sup> | 38.4±0.4 <sup>a</sup> | 2.5    | 22.2±0.2 <sup>a</sup> | 22.3±0.2 <sup>a</sup> | 0.9    |
| DM 45X61  | 38.4±0.2 <sup>b</sup> | 39.5±0.2 <sup>a</sup> | 2.9    | 22.2±0.3 <sup>a</sup> | 21.6±0.2 <sup>a</sup> | -2.3   |
| G4620RX   | 38.4±0.2 <sup>b</sup> | 40.7±0.3 <sup>a</sup> | 6.0    | 21.2±0.3 <sup>a</sup> | 20.7±0.3 <sup>a</sup> | -2.2   |
| LS5009XS  | 39.3±0.4 <sup>a</sup> | 39.6±0.4 <sup>a</sup> | 1.0    | 22.1±0.3 <sup>a</sup> | 22.2±0.3 <sup>a</sup> | 0.5    |
| P46A86X   | 36.9±0.2 <sup>b</sup> | 40.4±0.4 <sup>a</sup> | 9.5    | 22.7±0.2 <sup>a</sup> | 21.5±0.4 <sup>b</sup> | -5.2   |
| R01-416F  | 39.7±0.4 <sup>a</sup> | 39.7±0.6 <sup>a</sup> | 0.1    | 20.7±0.3 <sup>a</sup> | 20.8±0.3 <sup>a</sup> | 0.6    |
| R15-2422  | 40.6±0.6 <sup>a</sup> | 39.6±0.4 <sup>b</sup> | -2.3   | 22±0.3 <sup>a</sup>   | 22.3±0.3 <sup>a</sup> | 1.6    |
| S48XT90   | 37.6±0.5 <sup>b</sup> | 40.3±0.5 <sup>a</sup> | 7.3    | 22.5±0.4 <sup>a</sup> | 21.5±0.2 <sup>b</sup> | -4.5   |

<sup>1/</sup>ค่าต่าง ๆ แสดงค่าเฉลี่ย (n = 10) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) สำหรับพารามิเตอร์คุณภาพของถั่วเหลือง 10 พันธุ์ภายใต้สภาวะควบคุม (CNT) และความเครียดจากสภาวะแห้งแล้ง (DS)

<sup>2/</sup>ตัวอักษรที่แตกต่างกันในตำแหน่งยกกำลัง แสดงถึงผลกระทบที่มีนัยสำคัญของการทดลองที่แตกต่างกัน

<sup>3/</sup>พารามิเตอร์ที่กำหนดระหว่างการทดลอง ค่าลบแสดงถึงการลดลงในเปอร์เซ็นต์ และค่าบวกแสดงถึงการเพิ่มขึ้นในเปอร์เซ็นต์ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแห้งแล้งเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ที่มา: Poudel *et al.* (2023)

## 5. สรุป

เมื่อถั่วเหลืองได้รับความเครียดจากสภาพแล้ง พบว่าในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (V-stage) ทำให้ความสูงของต้นถั่วเหลืองลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และไม่สามารถฟื้นตัวได้หลังจากพ้นช่วงความแห้งแล้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นในปีแรกและในปีที่สองของการทดลอง อัตราส่วนฟลูออเรสเซนซ์คลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในปีแรกและเริ่มฟื้นตัวในปีที่สอง ค่าอุณหภูมิความร้อนของใบเพิ่มขึ้นในปีแรกและลดลงในปีถัดไป ในช่วงระยะออกดอก อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงในช่วง 15-45 วันหลังออกดอก เช่นเดียวกันกับที่ชีวมวลของลำต้นลดลง น้ำหนักเมล็ดลดลงในช่วงกลางถึงปลายของการพัฒนาเมล็ด ปริมาณแป้งในใบลดลง แต่ปริมาณซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคสในใบเพิ่มขึ้น และในช่วงระยะติดเมล็ดของถั่วเหลือง ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลง พื้นที่ใบจำเพาะลดลง และความแห้งแล้งยังส่งผลให้จำนวนฝักและน้ำหนักเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมล็ดที่เหลืองจะได้รับอาหารสะสมมากขึ้น น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยต่อเมล็ดเพิ่มขึ้น แต่จำนวนเมล็ดจะลดลง อย่างไรก็ตามการปรับปรุงพันธุ์ที่ทนทานต่อความแห้งแล้ง และการจัดการน้ำในระยะสำคัญของถั่วเหลือง จะเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มผลผลิตในพื้นที่ที่ต้องเผชิญกับภัยแล้ง

## 6. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2566. กรมส่งเสริมการเกษตรเดินทางเพิ่มปริมาณเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง สร้างความมั่นคงอาหารของประเทศ. แหล่งที่มา: <https://www.doae.go.th/กรมส่งเสริมการเกษตรเดินทางเพิ่มปริมาณเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง-สร้างความมั่นคงอาหารของประเทศ-6/>. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม 2567.
- ฐิติพร มาซิโกวา, สุดชล วุ่นประเสริฐ และพรรณลดา ติตตะบุตร. 2558. การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนในสภาพที่มีไนโตรเจนสูง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. 65 น.
- ประชาชาติ. 2567. ถั่วเหลืองในประเทศไม่เพียงพอ ปี'66 นำเข้า 3.28 ล้านตัน มูลค่าเกือบ 7 หมื่นล้าน. แหล่งที่มา: <https://www.prachachat.net/economy/news-1714854>. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม 2567.
- ทิพย์รัตน์ พันธุ์ธ. 2555. การศึกษาการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสดในฤดูปลายฝนปี 2552 และ 2553. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 125 น.
- วิไลลักษณ์ นิยมมณีนรัตน์, อิชณิกา ศิวยพรพรมณ์, ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์, ชาลิดา อ่อนไสว, พิชชา กันต์ธนะเดชา และธรรมนัญญา ศักดิ์เจริญ. 2564. แนวทางการศึกษาผลกระทบของภัยแล้งต่อระบบนิเวศทางน้ำ. วารสารสิ่งแวดล้อม. 25(2). แหล่งที่มา : <https://thaienvi.com/article/view/311>. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม 2567.
- ศิริวรรณ รื่นรมย์, รังสรรค์ เกตุอ็อต และนิติ เอี่ยมชื่น. 2567. การประเมินความแห้งแล้งแบบหลายฉากทัศน์ด้วยดาวเทียมโดยใช้ดัชนีความเครียดของน้ำในพืช ในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำสุก อำเภอมะนัง จังหวัดยะลา.วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาบัณฑิตกรรมเชิงพื้นที่. 5(3): 93–105.
- อภิพรรณ พุกภักดี. 2546. ถั่วเหลือง:พืชของไทย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 264 น.
- Biology. 2017. ความเครียดของพืช (plant stress). สาขาชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. แหล่งที่มา [https://biology.ipst.ac.th/?p=3361&utm\\_source=com](https://biology.ipst.ac.th/?p=3361&utm_source=com). สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2567.
- Chaves, M. M., J. Flexas and C. Pinheiro. 2016. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. 103(4): 551–560.
- Du, Y., Q. Zhao, L. Chen, X. Yao, H. Zhang, J. Wu and F. Xie. 2020. Effect of drought stress during soybean R2–R6 growth stages on sucrose metabolism in leaf and seed. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(618): 1-19.
- Elsalahy, H. H. and M. Reckling. 2022. Soybean resilience to drought is supported by partial recovery of photosynthetic traits. *Frontiers in Plant Science*. 13(971893): 1-17.
- Fang, Y., L. Xiong and J. K. Zhu. 2017. A systems approach to understand drought stress tolerance in plants. *Nature Communications*. 8(1): 1143.

- Poudel, S., R. R. Vennam, A. Shrestha, K. R. Reddy, N. K. Wijewardane, K. N. Reddy and R. Bheemanahalli. 2023. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. *Scientific Reports*. 13(1277): 1-13.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). 2023. Foreign Agricultural Service. แหล่งที่มา: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม 2567.