บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการและทฤษฎี

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ จัดอยู่ใน Family Leguminosae, Sub-family Papalionoideae และ Tribe Phaseoleaes, Sub-tribe Glycininae, Genus Glycine, Sub-genus Soja, Species max มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Glycine max (L.) Merrill (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

ถั่วเหลืองมีชื่อสามัญเรียกแตกต่างกันไปเช่น Sojabean, Soyabean, Chinese bean, Manchurian bean และ Soybean ซึ่งชื่อ Soybean เป็นชื่อที่นิยมเรียกมากที่สุด

ถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุก (Annual) มีอายุเพียงฤดูปลูกเดียว มีการผสมเกสรด้วยตัวเอง (Self-pollination crop) (อัจฉรา อุทโยภาศ และคณะ, 2547) มีลักษณะต่างๆดังนี้

1. ราก เป็นระบบรากแก้ว (Tap root system) รากถั่วเหลืองมีปมรากช่วยตรึงธาตุไนโตรเจน รากถั่วเหลืองจะแพร่กระจายออกทางด้านข้างประมาณ 30-40 เซนติเมตร และหยั่งลึกไปในดิน 100 – 120 เซนติเมตร ปมรากมีลักษณะเป็นก้อนกลม เจริญขึ้นมาจากรากโดยมีเชื้อแบคทีเรียที่ชื่อไรโซเบียม (Rhizobium japonicum) อาศัยอยู่ในปมรากทำหน้าที่ตรึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศมาเก็บไว้ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (อาร์ เค แพนดี้, วิชัย ปทุมชาติพัฒน์ แปล, 2532)

2. ไฮโปคอททิล (Hypocotyl) คือส่วนของต้นกล้าที่อยู่ระหว่างโคนรากแก้วกับข้อของใบเลี้ยง (Cotyledon node) เป็นส่วนที่ยืดตัวดึงเอาใบเลี้ยงให้โผล่ขึ้นเหนือผิวดิน ภายในมีท่อน้ำท่ออาหารทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร น้ำ และ แร่ธาตุจากรากสู่ลำต้นและขนย้ายอาหารที่สร้างจากส่วนของลำต้นลงไปสู่ราก

3. ใบเลี้ยง (Cotyledon) เป็นส่วนหนึ่งของคัพพะ เมื่อเมล็ดงอกใบเลี้ยงของเมล็ดเป็นส่วนแรกของต้นกล้าที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง หน้าที่สำคัญคือ การสร้างอาหารให้กับต้นกล้าในระยะแรกของการเจริญเติบโต จนกว่าใบจริงจะทำหน้าที่สร้างอาหารเอง

4. อิพิคอททิล (Epicotyl) คือส่วนของต้นกล้าที่อยู่ระหว่างข้อของใบเลี้ยงกับยอดอ่อนหรือใบจริงคู่แรก มีท่อน้ำท่ออาหารเชื่อมต่อระหว่างท่อน้ำท่ออาหารในไฮโปคอททิลกับท่อน้ำท่ออาหารในส่วนของยอดอ่อนหรือใบอ่อน (จวงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529)

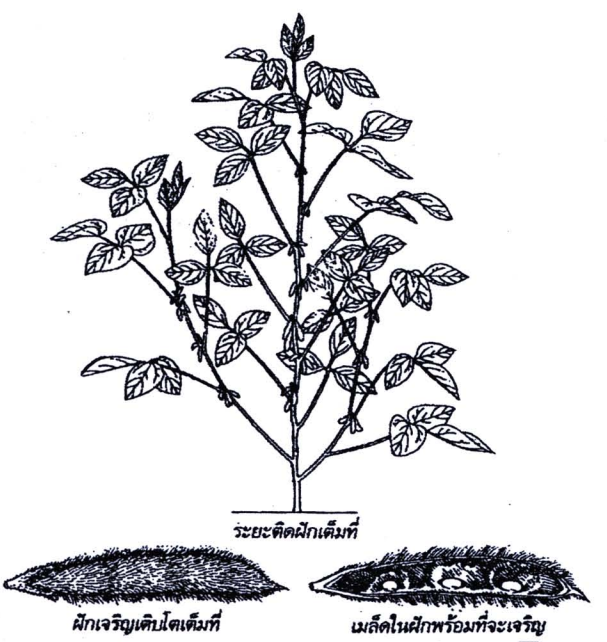
5. ลำต้น ส่วนใหญ่ลำต้นถั่วเหลืองมีรูปเป็นทรงพุ่ม มีส่วนสูงประมาณ 50-75 เซนติเมตร บนต้นของถั่วเหลืองจะมีขน (Subescent หรือ Hair หรือ Trichone) ปกคลุมอยู่ทั่วไป ยกเว้นส่วนของใบเลี้ยงและกลีบดอกจะไม่มีขน

6. ใบ ใบจริงคู่แรกจะเป็นใบเดี่ยว (Unifoliate) ใบต่อไปเป็นใบประกอบที่มีใบย่อย 3 ใบ (Trifoliate) เกิดขึ้นทีละข้อๆละใบ เรียงสลับกันไป (Alternate) รูปร่างของใบ จะกลมทางด้านโคน และแหลมทางด้านปลาย บางพันธุ์อาจมีใบย่อย 4-5 ใบ

7. ดอก พัฒนามาจากตาข้าง โดยตาแต่ละข้างจะสร้างกลุ่มของดอก (Flower cluster) ซึ่งมีดอกประมาณ 2-35 ดอกต่อกลุ่ม โดยปกติการติดดอกจะเริ่มจากข้อที่ 5 ของลำต้น (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546) ช่อดอกเรียงแบบ Raceme ช่อละ 3-15 ดอก ดอกมีสีขาวหรือม่วง เมื่อบานเต็มที่มีขนาด 3-8 มิลลิเมตร กลีบดอก (Corolla หรือ Pedal) มี 5 กลีบซึ่งอาจมีสีขาวหรือม่วง และไม่มีขน

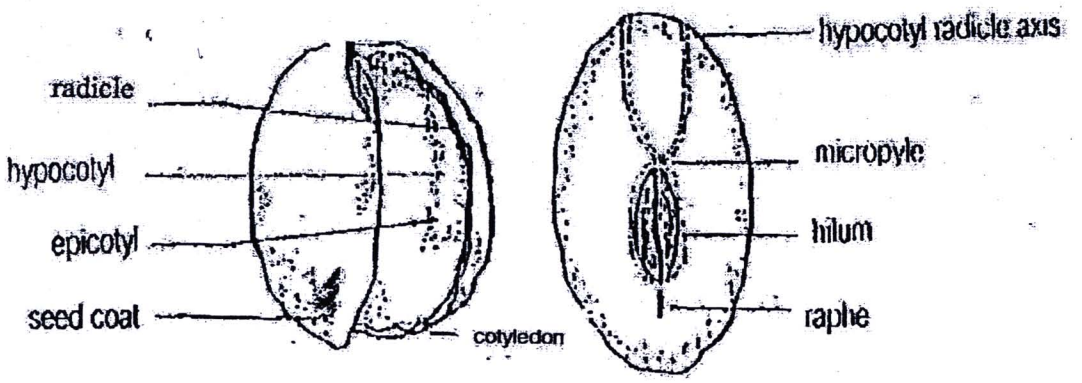
8. ฝัก (Pod) หลังผสมเกสรแล้วดอกจะร่วง รังไข่ (Ovary) จะขยายตัวออกมาเป็นฝัก เปลือกหุ้มรังไข่จะกลายเป็นฝักโดยมีฝา 2 ชิ้นประกบกันอยู่ ฝักอาจมีลักษณะตรง หรือโค้งเล็กน้อย มีความยาวตั้งแต่ 2-7 เซนติเมตร

9. เมล็ด มีรูปร่างกลมรี ด้านหนึ่งเว้าเข้า มีจมูกหรือตาติดอยู่ เมล็ดอาจมีขนาดน้ำหนักแตกต่างกันไปตามพันธุ์ โดยมีน้ำหนักแตกต่างกันตั้งแต่ 5-45 กรัม ต่อ 100 เมล็ด ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดจะมี ลำต้น ราก ใบเลี้ยง 2 ใบ (Dicotyledon) ระหว่างใบเลี้ยงจะมีใบอ่อน 1 คู่ ถั่วเหลืองมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 90 – 130 วันขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม (ณรงค์เดช สุคนธมาน และทวีลาภ เมฆาสุวรรณดำรง, 2538)



รูปที่ 2.1 ต้นถั่วเหลืองและการติดฝัก (อาร์ เค แพนดี้, วิชัย แปล, 2532)

เมล็ดถั่วเหลือง เกิดขึ้นในฝัก ซึ่งฝักหนึ่งๆจะมีเมล็ดไม่เกิน 3 เมล็ด เมล็ดถั่วเหลืองมีลักษณะกลมรีคล้ายไต เมล็ดถั่วเหลืองส่วนใหญ่มีสีเหลืองฟางมองจากภายนอกเมล็ดจะเห็นรอยแผลเป็น เรียกว่า ตา หรือขั้วเมล็ด (Hilum) ซึ่งเป็นส่วนที่เมล็ดติดกับฝัก และมีรูเล็กๆ ที่เป็นจุดที่เชื้อเพศผู้ผสมกับไข่ เรียกว่า Micropile ถัดไปจะเป็นรอยนูนของ ส่วนที่จะเจริญไปเป็นลำต้นและราก (Hypocotyl-radicle axis) ปลายอีกด้านหนึ่งของ ขั้วเมล็ด จะเป็นร่องเล็กๆที่เรียกกันว่า Raphe (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546) ซึ่งพัฒนามาจากท่อน้ำท่ออาหารใน ขณะที่เมล็ดกำลังพัฒนา (ชยพร แอคะรัจน์, 2546)



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเหลือง (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

เมล็ดถั่วเหลือง ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.2 ได้แก่

เปลือกเมล็ด (Seed coat) ต้นอ่อน (Embryo) และเนื้อเยื่อที่สะสมอาหาร (Storage tissue หรือ Supporting tissue)

1. เปลือกเมล็ดนั้นเป็นส่วนนอกสุด ทำหน้าที่โอบอุ้มและห่อหุ้มส่วนประกอบภายในให้คงรูปเป็นเมล็ดและป้องกันอันตรายให้กับส่วนที่อยู่ภายในมิให้ถูกทำลายโดยเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย เปลือกเมล็ดเจริญพัฒนาจากส่วนหนึ่งของเปลือกหุ้มไข่ (Integument) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อหุ้มไข่อ่อน (Ovule) หากเปลือกเมล็ดชำรุดหรือถูกทำลายโอกาศของการงอกของเมล็ดก็จะเป็นไปโดยยากลำบาก

2. ต้นอ่อน (Embryo หรือ Embryonic) ต้นอ่อนของถั่วเหลืองประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกของลำต้น (Epicotyl), ส่วนชูใบเลี้ยง (Hypocotyl) และ ส่วนของราก (Radicle) ส่วนต่างๆของต้นอ่อนอยู่ภายใต้เปลือกเมล็ดตำแหน่งใต้ Hilum

3. เนื้อเยื่อที่สะสมอาหาร (Storage tissue หรือ Supporting tissue) ได้แก่ใบเลี้ยง (Cotyledon) ซึ่งทำหน้าที่เก็บและจ่ายอาหารตลอดจนผลิตเอ็มไซม์ต่างๆให้แก่ต้นอ่อนในหนึ่งสัปดาห์แรกของการเจริญเติบโต ใบเลี้ยงเป็นส่วนในเมล็ดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและหนักที่สุด หาก

เมล็ดถั่วเหลืองเล็กใบเลี้ยงก็มีขนาดเล็กด้วย ในขณะเดียวกันหากเมล็ดถั่วเหลืองมีขนาดใหญ่ ใบเลี้ยงก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

การเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อเพาะปลูก ควรจะเลือกพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี ต้านทานต่อโรคหรือทนทานต่อโรคที่สำคัญ และเจริญเติบโตดีเหมาะกับสภาพดินฟ้าอากาศ

1. พันธุ์ สจ.5 ดอกสีม่วง ผลผลิต 275 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนัก 13-15 กรัมต่อ 100 เมล็ด มีน้ำมัน 19 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ ทนทานต่อโรคราสนิม เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนบนและ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2. พันธุ์ เชียงใหม่ 60 ดอกสีขาว ผลผลิต 300 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนัก 15-17 กรัมต่อ 100 เมล็ด มีน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานต่อโรคใบจุดนูนและไวรัสใบด่าง และทนทานต่อโรคราสนิม เหมาะสำหรับปลูกในทุกภาคของประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2545ข)

พันธุ์ สจ.5 มีข้อด้วยคืออ่อนแอต่อโรคราน้ำค้าง โรคใบจุดนูน และโรคไวรัสใบด่าง แต่มีข้อดี คือความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์สูง ต่างจากพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีข้อดีคือต้านทานต่อโรคทั้ง 3 ข้างต้นแต่มีข้อด้อยคือ ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ค่อนข้างต่ำ (อัจฉรา อุทโยภาศ และคณะ, 2547)

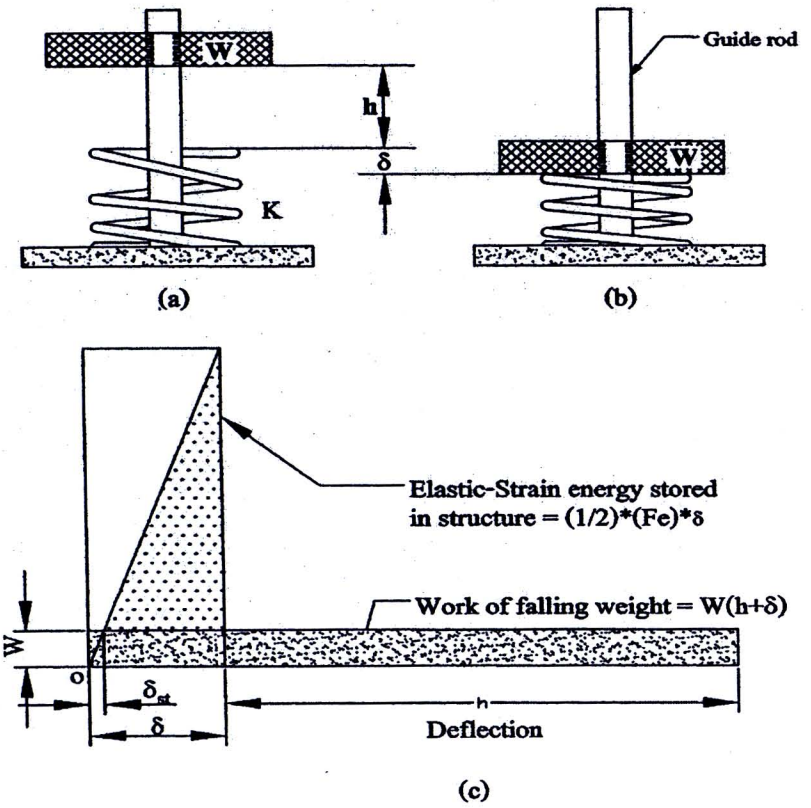
3. พันธุ์ เชียงใหม่ 1 (ถั่วเหลืองฝักสด) ดอกสีม่วง อายุเก็บเกี่ยวฝักสด 75-78 วัน ผลผลิตฝักสด 950 กิโลกรัม/ไร่ ปลูกได้ทุกภาคของประเทศ ศุภชัย แก้วมีชัย (2537) น้ำหนักเมล็ดสด 542 กรัมต่อฝักสด 1 กิโลกรัม น้ำหนักเมล็ด 56 กรัมต่อ 100 เมล็ด มีน้ำมันในเมล็ดสด 9.56 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันในเมล็ดแห้ง 26.23 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนในเมล็ดสด 11.19 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนในเมล็ดแห้ง 30.69 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2545ก)

2.1.2 ทฤษฎีการกระแทก (Impact loading)

แรงที่กระทำกับวัตถุแบบพลศาสตร์นั้นจะเป็นแรงกระทำแปรค่ากับเวลาเช่น การชนของวัตถุหรือที่เรียกว่า แรงกระทำแบบกระแทก (Impact loading) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระแทกที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหนึ่งชนกับอีกวัตถุหนึ่งในเวลาอันสั้น (บุรฉัตร ฉัตรวีระ, 2545)

ถ้าไม่คิดการสูญเสียพลังงานที่เกิดการกระแทกสามารถศึกษาพฤติกรรมของการกระแทกโดยใช้หลักการอนุรักษ์พลังงาน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.3 เมื่อมวลถูกปล่อยและตกลงมาเป็นระยะ h กระทบกับสปริงและอัดสปริงเป็นระยะ δ (m) ก่อนที่จะกลับมาอยู่ในสภาวะอยู่นิ่ง จะได้แรงที่เกิดขึ้นคือ $F_e = k\delta$ โดยมีค่าคงที่ของสปริง k (N/m) และถ้าน้ำหนัก W (N) กระทำกับสปริงแบบสถิตศาสตร์ทำให้สปริงเกิดการยุบตัว $\delta_{st} = W/k$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.3 หลักการการกระแทก (Juvinall and Marshek, 1991)

พิจารณากฎของพลังงาน

จากรูปที่ 2.3 ภาพ C สมการสมดุลพลังงานระหว่าง พลังงานที่เกิดจากแรงยืดหยุ่นและน้ำหนักที่ตกลงบนผิวงาน ของโครงสร้างสปริงซึ่งจะมีค่าเท่ากันนั้น

$$W(h+\delta) = \frac{1}{2} F_e \delta \qquad (1)$$

จากคำจำกัดความ $F_e = k\delta$ และ $k = W/\delta_{st}$ $(W = k\delta_{st})$

จะได้ค่า $F_e = (\delta/\delta_{st})W$ หรือ $\delta/\delta_{st} = F_e/W$ (2)

แทนสมการ (2) ในสมการ (1) จะได้

$$W(h+\delta) = \frac{1}{2}\frac{\delta^2}{\delta_{st}}W \qquad (3)$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 1 ส.ค. 2554
เลขทะเบียน 242738
เลขเรียกหนังสือ

สมการที่ (3) เป็นสมการ ของ δ^2 ซึ่งแก้สมการจะได้ค่า

$$\delta = \delta_{st}(1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{st}}}) \qquad (4)$$

และแทนสมการ (2) ในสมการ (4) จะได้

$$F_e = W(1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{st}}}) \qquad (5)$$

เมื่อ F_e = ขนาดของแรงกระแทก (N)

W = คือน้ำหนักของมวลกระแทก (N)

h = คือระยะความสูงระหว่างสปริงและมวลกระแทก (mm)

δ = คือระยะยุบตัวมากที่สุดของสปริงเมื่อเกิดการกระแทก (mm)

δ_{st} = คือระยะยุบตัวของสปริงแบบสถิตศาสตร์จากน้ำหนักมวลกระแทก (mm)

เนื่องจากโครงสร้างของสปริงจะยืดหยุ่นและตอบสนองแรงที่มากระทบ ความเค้นที่เกิดขึ้นกับภาระนี้จากสมการ 4 และ 5 จึงเรียกว่า องค์ประกอบแรงกระแทกและในบางครั้ง สมการที่ 4 และ 5 จะมีความเร็ว v (m/s) ของการกระแทก เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งจะแทนด้วยความสูงที่ตกลงมา h

จาก $v^2 = 2gh$ หรือ $h = v^2/2g$ เมื่อ g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) แทนค่าในสมการ 4 และ 5 จะได้ว่า

$$\delta = \delta_{st}(1+\sqrt{1+\frac{v^2}{g\delta_{st}}}) \qquad (6)$$

และ

$$F_e = W(1+\sqrt{1+\frac{v^2}{g\delta_{st}}}) \qquad (7)$$

เมื่อ v คือความเร็วของมวลกระแทก (m/s)

g คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

2.1.3 พลังงานจลน์กระแทก

เมื่อน้ำหนักที่ตกลงมาจากที่สูงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกมากระทบกับวัตถุ จะทำให้เกิดพลังงานการกระแทกขึ้น โดยคำนวณได้จาก (ปิยะพงษ์ สิทธิคง, 2546)

$$U_i = \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{(J)} \qquad (8)$$

เมื่อ U_i คือ พลังงานจาก กระแทก (J)

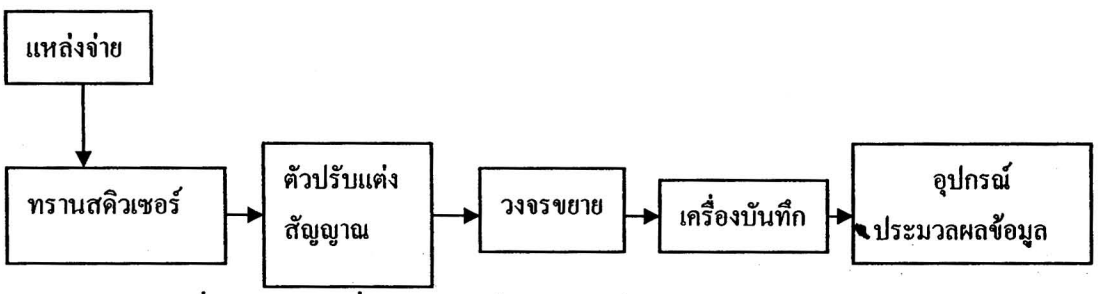
m คือ มวลของลูกตุ้มกระแทก (kg)

v คือ ความเร็วของตุ้มกระแทก (m/s)

2.1.4 การวัดและแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการวัด

2.1.4.1 ระบบเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์

ระบบเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สมบูรณ์โดยทั่วๆ ไปประกอบด้วยส่วนย่อยอย่างน้อย 6 ส่วน ดังแสดงในรูป 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ (สมนึก บุญพาไสว, 2545)

- ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกล หรือ ปริมาณทางความร้อนเป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณที่สามารถวัดค่าได้ เช่นปริมาณทางไฟฟ้า

- แหล่งจ่ายกำลัง (Power supply) เป็นอุปกรณ์จ่ายพลังงานให้กับส่วนต่างๆ ของระบบเครื่องมือวัด

- วงจรปรับแต่งสัญญาณ (Signal conditioners) ให้มีปริมาณทางไฟฟ้ามากพอที่จะนำไปใช้งานได้ เช่น Wheatstone bridge, Filters ฯลฯ

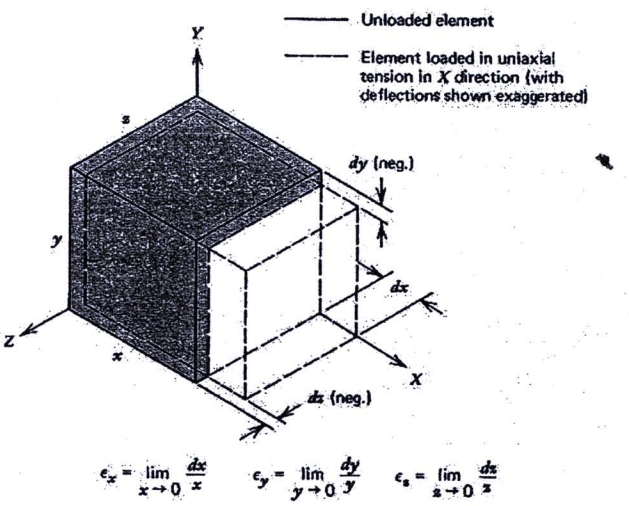
- วงจรขยาย (Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ใช้ในระบบที่แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่ส่งออกจากทรานสดิวเซอร์ หรือวงจรปรับแต่งสัญญาณมีปริมาณน้อย (ขนาด mV หรือ น้อยกว่า) ขยายสัญญาณให้สามารถอ่านค่าได้

- เครื่องบันทึก (Recorder) เป็นอุปกรณ์วัดแรงดันใช้แสดงผลในรูปที่สามารถอ่านและแปลผลได้ อาจเป็นแบบอะนาลอก (Analog) หรือดิจิตอล (Digital)

- อุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล (Data processor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับระบบเครื่องมือวัดทำงานร่วมกับตัวแปลงสัญญาณ อะนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to digital converters, ADC) ทำให้สัญญาณออก (Output signal) อยู่ในรูปของรหัสดิจิตอล จากนั้นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลจะทำการประมวลผลข้อมูล และแสดงผลออกมาเป็นกราฟ หรือตาราง (สมนึก บุญพาไสว, 2545)

2.1.4.2 ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

ทรานสดิวเซอร์จะใช้สเตรนเกจ (Strain gage) เป็นตัวรับรู้ เมื่อมีแรงดึงหรือแรงกดจะทำให้พื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปและจะทำให้คุณสมบัติการต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วยดังรูปที่ 2.5 โดยมีลักษณะเป็นกริดทำจากโลหะแผ่นบางมีรูปแบบต่างๆดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7 สามารถยึดติดกับผิวของส่วนประกอบเครื่องจักรกล หรือโครงสร้าง เมื่อส่วนประกอบเครื่องจักรกลหรือโครงสร้างรับภาระ (Load) ความเครียดจะเกิดขึ้น และส่งผ่านไปยังสเตรนเกจ ความต้านทานของสเตรนเกจจะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับภาระที่เหนี่ยวนำให้เกิดความเครียด ความไวต่อความเครียดของโลหะอธิบายได้โดยการวิเคราะห์อย่างง่าย ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดเมื่อมีแรงดึง (Juvinall and Marshek, 1991)

ความต้านทาน R ของโลหะตัวนำสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

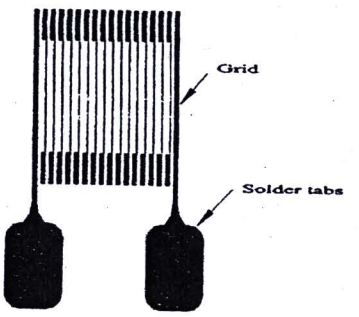
$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (9)$$

เมื่อ ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของโลหะ (Ω/m)

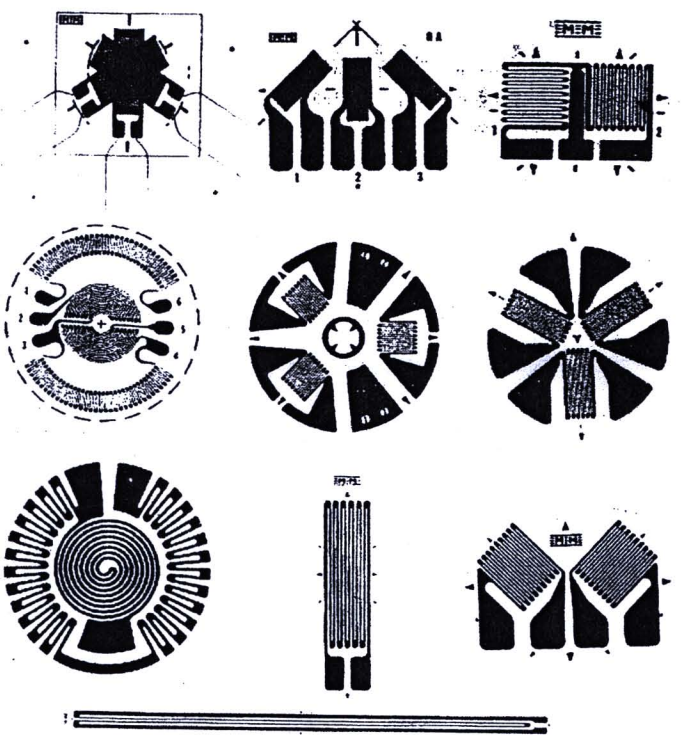
L คือ ความยาวของตัวนำ (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (m^2)

ชนิดของสเตรนเกจที่ใช้กันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือแบบเส้นหรือไม่ยึดติด (Unbonded) และแบบยึดติด (Bonded) ส่วนใหญ่ทำจากโลหะหรืออัลลอย สเตรนเกจที่นิยมใช้มากที่สุดทำมาจากอัลลอยทองแดงนิกเกิล โลหะผสมชนิดนี้มักเรียกว่า Advance หรือ คอนสแตนเตน (Constantan) ช่วงอุณหภูมิทำงานจะอยู่ระหว่าง $10^{0}C$ ($50^{0}F$) ถึง $204^{0}C$ ($400^{0}F$) (สมนึก บุญพาไสว, 2545)

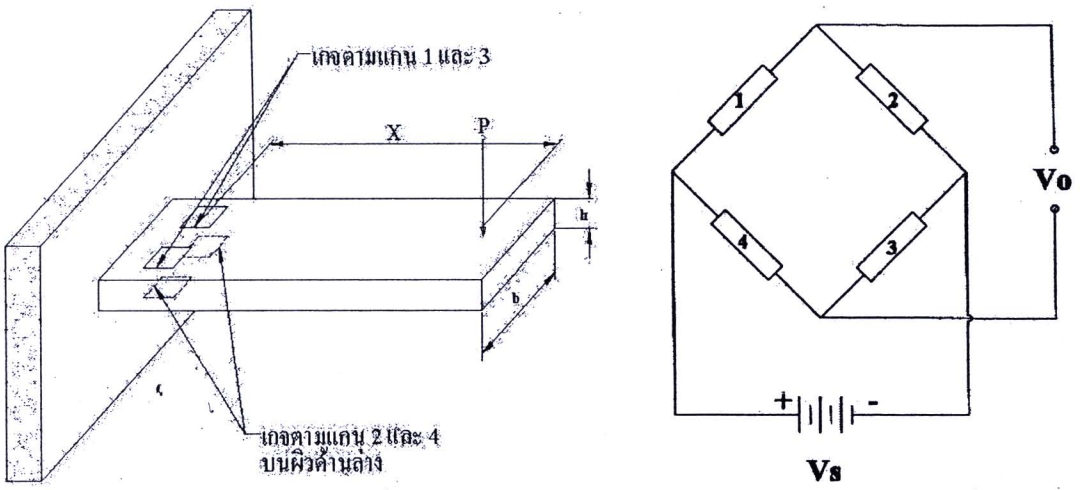


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของสเตรนเกจ (ปิยะเทพ วิริยะเขตต์, 2541)



รูปที่ 2.7 สเตรนเกจแบบต่าง ๆ (สมนึก บุญพาไสว, 2545)

2.1.4.3 โหลดเซลล์แบบคาน



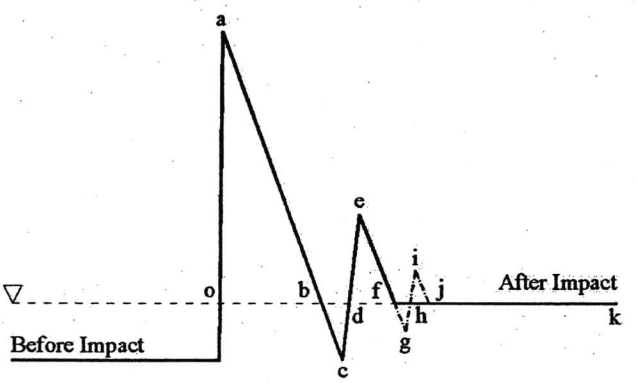
(ก) (ข)

รูปที่ 2.8 โหลดเซลล์แบบคานกับสเตรนเกจ (Doebelin, 1990)

โหลดเซลล์แบบคาน (Beam–type load cell) จากรูปที่ 2.8 (ก) เป็นรูปคานยื่นที่มี สเตรนเกจติดอยู่ ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนยืดหยุ่นซึ่งมีสเตรนเกจ 2 อัน ติดอยู่ที่ผิวด้านบน และอีก 2 อัน ติดที่ผิวด้านล่างทั้งหมดติดอยู่ในแนวขนานกับแกนของคาน ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้แรงที่กระทำโดยสเตรนเกจต่อกันเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์ดังรูปที่ 2.8 (ข) (สมนึก บุญพาไสว, 2545)

2.1.5 กราฟการกระแทก

เมื่อวัสดุตกลงมากระแทกโหลดเซลล์ ทำให้คานโหลดเซลล์แอ่นตัว เกิดการเปลี่ยนความต้านทานในเส้นลวดของสเตรนเกจ ส่งสัญญาณผ่านวงจรบริดจ์ เปลี่ยนแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดน้อยมาก จากนั้นแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกขยายสัญญาณขึ้น โดยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ให้ได้สัญญาณที่มีขนาดเหมาะสม และอยู่ในขอบเขตของเครื่องมือที่จะวัดค่าได้ เมื่อขยายสัญญาณแล้วจะส่งเข้าไปยังออสซิลโลสโคปเพื่อประมวลผลเป็นรูปกราฟสัญญาณไฟฟ้าระหว่างเวลาและแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (คติวัฒน์ กันธา, 2547)



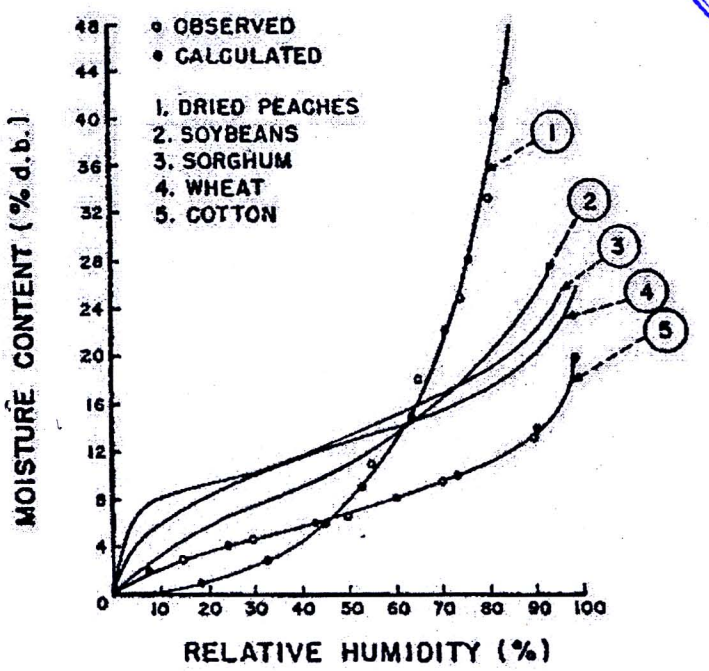
รูปที่ 2.9 กราฟการกระแทก (คติวัฒน์ กันธา, 2547)

จากรูปที่ 2.9 ลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าในช่วงแรกเป็นเส้นตรง (Before Impact) เนื่องจากยังไม่มีภาระกระทำกับโหลดเซลล์ ทำให้ยังไม่เกิดการยืดตัวของสเตรนเกจของโหลดเซลล์ หรืออาจยืดตัวอยู่แล้วแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ขณะเกิดการกระแทกมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าทันทีทันใด โดยค่าแรงดันไฟฟ้าพุ่งขึ้นสูง จากตำแหน่งเดิมเมื่อยังไม่เกิดการกระแทก สังเกตเห็นมีลักษณะเหมือนลูกคลื่นประมาณสองลูกอย่างชัดเจน (จุด o ถึง f) เกิดจากผลของแรงกระแทก และการสั่นของคานโหลดเซลล์ ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายสปริงเพราะเกิดจากการที่โหลดเซลล์พยายามจะปรับตัวเข้าสู่สมดุล บางกรณีเกิดลูกคลื่นถึง 3 ลูก หรือมากกว่า (จุด f ถึง j) เนื่องมาจากความเครียดคงค้างในตัวโหลดเซลล์ เมื่อเกิดการกระแทกติดต่อกันหลายๆครั้ง จากนั้นกราฟจะเข้าสู่สภาวะเส้นตรงอีกครั้ง หลังจากโหลดเซลล์ปรับเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าครั้งก่อนการกระแทก (เส้นตรง f ถึง k) เนื่องจากผลของน้ำหนักมวลกระแทกกดอยู่ด้านบนโหลดเซลล์ (Death Load) (คติวัฒน์ กันธา, 2547)

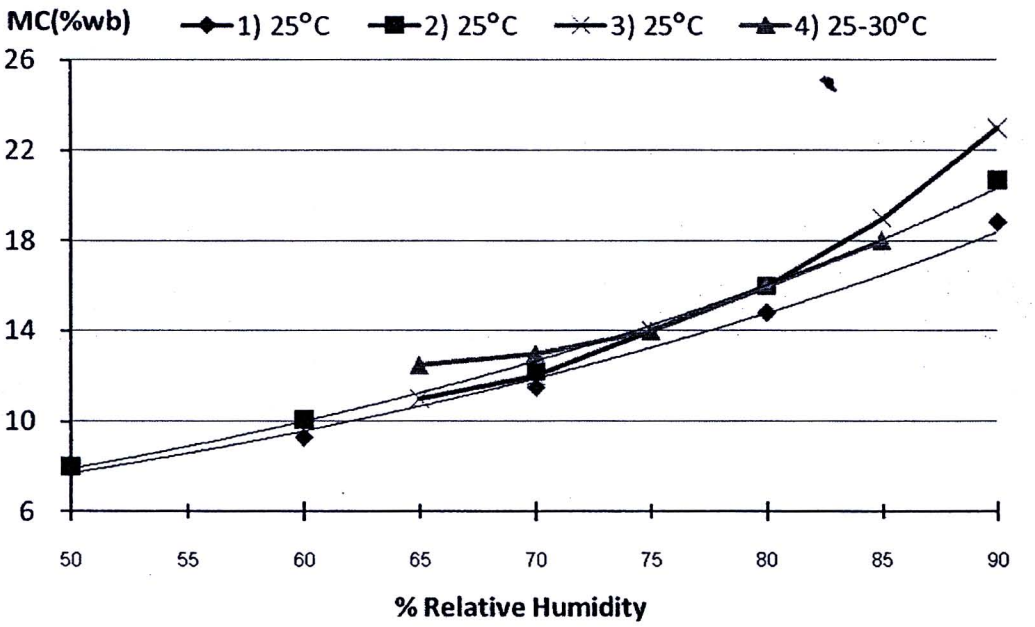
2.1.6 การสมดุลความชื้นของธัญพืช (Grain Equilibrium Moisture content)

การสมดุลความชื้นเป็นการที่ผลผลิตพืชจะเพิ่มหรือลดความชื้นภายใต้สภาวะอุณหภูมิและ ความชื้นสัมพัทธ์ ต่างๆกัน ผลผลิตพืชจะสมดุลกับสภาวะแวดล้อมเมื่ออัตราการสูญเสียความชื้นให้กับสภาวะแวดล้อมเท่ากับอัตราการดูดซับความชื้นจากสภาวะแวดล้อม การที่สภาวะแวดล้อมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อความชื้นผลผลิตพืชสมดุลกับสภาวะแวดล้อมจะเรียกความชื้นผลผลิตพืชนั้นว่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, EMC) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของผลผลิตพืช กับ การสมดุลต่อความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆกันสามารถแสดงออกมาได้ในรูปกราฟการสมดุลความชื้น (Hall, 1980) ดังรูปที่ 2.10 และ 2.11

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.10 การสมดุลความชื้นของธัญพืชที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆกัน (Mohsenin, 1986)



1), 2) Hall (1980)

3) Suaer (1992)

4) Golob et al. (2002)

รูปที่ 2.11 การสมดุลความชื้นของถั่วเหลืองที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆกัน

การทำให้ผลผลิตพืชสมดุลความชื้น มี 2 วิธีคือ 1) Static method โดยให้ผลผลิตพืชสมดุลกับสภาวะแวดล้อมเอง ซึ่งอาจจะใช้เวลาเป็นอาทิตย์ 2) Dynamic method ซึ่งทำสมดุลได้เร็วกว่าโดยใช้เวลา 2-3 วันหรือน้อยกว่าโดยให้อากาศที่มีความชื้นตามที่ต้องการไหลผ่าน การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทำได้โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของเกลือ (Saturated salt solution) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 หรือ สารละลายของกรดที่ความเข้มข้นต่างๆกัน (Hall, 1980) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (%) เหนือสารละลายอิ่มตัวของเกลือบางอย่าง ที่อุณหภูมิต่างๆกัน (Gustafson อ้างใน Brooker et al., 1982)

อุณหภูมิ °C	LiCl	$MgCl_2.6H_2O$	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	NaCl	$(NH_4)_2SO_4$	KNO_3	K_2SO_4
10	13.3	34.2	57.8	75.4	81.8	95.5	97.9
32.2	11.9	32.6	51.9	75.6	80.0	90.0	96.5
48.9	11.5	31.6	47.3	74.8	79.1	85.3	95.8
68.3	11.1	30.3	42.2	73.2	78.0	78.0	95.0

ตารางที่ 2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (%) เหนือกรดที่ระดับความเข้มข้นและ อุณหภูมิต่างๆกัน (Hall, 1980)

Acid	Temperature	Acid by weight, %							
	(°C)	10	20	30	40	50	60	70	80
H_2SO_4 (sulphuric)	– 17.8		87.3		55.7		15.0		3.14
	10		87.4		56.6		15.8		3.88
	20		87.7		56.7		16.3		4.76
	30		87.5		56.6		17.0		5.75
	40		87.6		57.5		17.8		6.88
	44		88.8		58.2		18.8		8.20
HNO_3 (nitric)	– 17.8		89.2	78.4	65.3	45.7			
	10		86.7	77.0	63.0	45.6			
	20		86.6	75.2	61.5				
	30		86.6	74.9	61.3				
	40		85.9	74.1	60.5				
	44		86.5	74.6					
	60		86.9	75.6					

2.1.7 วิธีตรวจสอบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

มีการพัฒนาวิธีการวัดความชื้นของธัญพืชและผลิตภัณฑ์ของธัญพืชหลายวิธี วิธีที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ 1) อบแห้ง (Oven drying) 2) อบแห้งสุญญากาศ (Vacuum oven drying) 3) การต้มกลั่น (Brown-Duvel distillation) 4) ปฏิกริยาทางเคมี (Chemical reaction) 5) อุปกรณ์อิเลกโทรนิค (Electronic devices or moisture meter) 6) Nuclear magnetic resonance (NMR) และ 7) Near-infrared (NIR) Spectrophotometry (Sauer, 1992)

ความชื้นของธัญพืชเป็นตัวบงชี้ คุณภาพและการเก็บรักษาเพื่อไม่ให้เสียหาย ความชื้นในธัญพืชมี 2 รูปแบบ คือ 1) แบบน้ำเป็นส่วนประกอบ หรือที่เรียกว่าน้ำถูกดูดกลืนไว้ในเซลล์ของพืช และ 2 น้ำอยู่ที่ ผิวของธัญพืชโดยไม่ได้อยู่ภายในเซลล์

โดยปกติการแสดงความชื้นจะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในธัญพืชโดยมี วิธีแสดงเปอร์เซ็นต์ 2 วิธีคือ 1) ฐานเปียก (Wet basis) และ 2) ฐานแห้ง (Dry basis)

ความชื้นของธัญพืชแบบฐานเปียก (Wet basis) แสดงเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำกับน้ำหนักทั้งหมดของธัญพืชโดยแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ ซึ่งนำมาใช้ในการค้าและยังใช้กันทั่วไปโดยเกษตรกร นักวิชาการทางการเกษตร และพ่อค้า วิธีนี้ให้เกณฑ์ที่ไม่ค่อยถูกต้องนักเมื่อใช้กับการอบแห้งเพราะทั้งความชื้นและฐานเปียกจะเปลี่ยนแปลงในกระบวนการอบแห้ง ด้วยเหตุนี้ความชื้นฐานแห้งจึงถูกนำมาใช้ (Bala, 1997)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก MC(wb)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก} = \left(\frac{\text{น้ำหนักน้ำ}}{\text{น้ำหนักน้ำ} + \text{น้ำหนักแห้ง}} \right) \times 100\% \quad (10)$$

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง MC(db)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง} = \left(\frac{\text{น้ำหนักน้ำ}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \right) \times 100\% \quad (11)$$

เปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการแบ่งชั้นคุณภาพของถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีมากกว่า 13% ความชื้นส่วนที่มากกว่านี้เป็นส่วนที่ไม่ต้องการทางเศรษฐศาสตร์ เพราะมีผลกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ไม่ต้องการระหว่างการเก็บซึ่งจะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว หน่วยงานของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (United States

Department of Agriculture, USDA) ที่ชื่อ Official Air Oven Method of Determination Moisture กำหนดการหาความชื้นโดยสุ่มจากถั่วเหลืองที่บดละเอียดแล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh ของ Intermediate-size Wiley mill ที่มีจำนวน 20 ช่องต่อความยาว 1 นิ้ว แต่ละช่อง มีช่องว่างกว้าง 0.85 มิลลิเมตร และยาว 0.85 มิลลิเมตร ซึ่งต้องระวังเรื่องการระเหยของความชื้น โดยใช้ตัวอย่างถั่วเหลืองบดผ่านตะแกรง ชั่งแล้วอบแห้งที่ 130°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเอามารอให้เย็นใน Desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก การอบแห้งขั้นที่ 2 จะปฏิบัติเมื่อถั่วเหลืองมีความชื้นมากกว่า 13.0%wb วิธีนี้ต้องใช้ปริมาณถั่วเหลืองมากกว่าขั้นที่ 1 อย่างไรก็ตาม วิธีการอบแห้งของ USDA สำหรับถั่วเหลืองกำหนดที่ 130°C 1 ชั่วโมง ตามตารางที่ 2.3 เนื่องจากการสูญเสียความชื้นจากการอบแห้งระหว่างชั่วโมงที่ 1 และ 2 มีเพียง 0.1% (Markley, 1950)

ตารางที่ 2.3 การวัดความชื้นแบบอบแห้งกับธัญพืชชนิดต่างๆ (Suaer, 1992)

Oven Methods of the U.S. Department of Agriculture,

Federal Grain Inspection Service

Seed	Temperature (°C)	Time (hr)	Sample Weight (g)
Oil seeds			
Flax	103	4	5-7
Safflower	130	1	10
Soybeans	130	1	2-3
Sunflower	130	3	10
Starchy seeds			
Barleys[a]	130	1	2-3
Oats[a]	130	1	2-3
Rice[b]	130	1	2-3
Wheat[a]	130	1	2-3
Corn[c]	103	72	15

[a] If moisture content is over 16%wb, use two-stage procedure.

[b] If moisture content is over 13%wb, use two-stage procedure.

[c] If moisture content is over 25%wb, use 100 g sample.

2.1.8 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

ในการตรวจสอบสุขภาพของเมล็ดพันธุ์พืช (Seed health test) จะต้องตรวจสอบตัวอย่างวิเคราะห์ (Working sample) ของเมล็ดพันธุ์พืชซึ่งมีจำนวนไม่น้อยกว่า 400 เมล็ดหรือมีน้ำหนักเท่ากับตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชที่ส่งเข้ามาตรวจสอบ หรือที่เรียกว่า ตัวอย่างตรวจสอบ (Submitted sample) ปกติแล้วใช้การสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืช ตามกฎของ ISTA (International Seed Testing Association, 1966) ข้อ 2.4 ว่าด้วยการสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชให้ได้มาซึ่งตัวอย่างตรวจสอบและตัวอย่างวิเคราะห์ (Working sample) ซึ่งเป็นตัวแทนของเมล็ดพันธุ์พืชทั้งกอง (Seed lot)

วิธีการและเครื่องมือสุ่มตัวอย่างตรวจสอบ (Submitted sample)

1) สุ่มตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือ

1.1) หลาวชนิด Stick trier หรือ Sleeve type trier เครื่องมือชนิดนี้เป็นกระบอก 2 ชั้น โดยมากทำด้วยทองเหลือง ชั้นนอกมีช่องหน้าต่าง 6-9 ช่อง ชั้นในทำเป็นรางครึ่งวงกลมหมุนได้รอบตัว เมื่อหมุนรางชั้นในให้ด้านที่เว้าเป็นร่องตรงกับช่องหน้าต่างของโครงด้านนอก เมล็ดก็จะไหลลงไปเต็มช่องและหมุนรางด้านในไปครึ่งวงกลมรางด้านในก็จะปิดช่องของ Stick trier

1.2) หลาวชนิด Noble trier หรือ Thief trier หลาวชนิดนี้มีรูปร่างหลากหลาย ซึ่งทำขึ้นเพื่อให้เหมาะกับเมล็ดพันธุ์พืชแต่ละชนิดอาจมีขนาดเมื่อแทงเข้าไปแล้วถึงตรงกลางถุงหรือกระสอบ ปลายหลาวแหลม มีด้ามจับและมีร่องอยู่ใกล้ปลายด้ามถือความยาวทั้งหมดอาจยาวประมาณ 500 มิลลิเมตร ด้ามยาว 100 มิลลิเมตร ส่วนแหลมยาว 60 มิลลิเมตร ส่วนที่เป็นร่องยาวประมาณ 340 มิลลิเมตร สำหรับใช้กับเมล็ดธัญพืช หลาวจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของร่องกว้าง 14 มิลลิเมตร แต่ถ้าใช้กับเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วกว้าง 10 มิลลิเมตร หลาวชนิดนี้เหมาะสำหรับสุ่มเมล็ดพันธุ์พืชที่บรรจุอยู่ในถุงหรือกระสอบ

2) สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชขณะที่ทำความสะอาด การสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชอาจทำได้ขณะที่ทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์พืช โดยที่เครื่องมือสุ่มจะผ่านเข้าไปรับเมล็ดพันธุ์พืช ขณะที่เมล็ดไหล ควรป้องกันไม่ให้เมล็ดพันธุ์พืชไหลเข้าไปในเครื่องสุ่มซ้ำสอง เครื่องมือนี้อาจสุ่มเมล็ดพันธุ์พืชได้โดยใช้เครื่องมือหรือโดยเครื่องอัตโนมัติ

3) สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชด้วยมือ เมล็ดพันธุ์พืชบางชนิดมีขน ผิวขรุขระไหลเข้าเครื่องมือสุ่มไม่ได้สะดวก การสุ่มก็ต้องทำโดยใช้มือ ปัญหาในการสุ่มด้วยวิธีนี้ก็คือ ความหนาของเมล็ดพันธุ์พืช ถ้ากองหนาและลึกเกินกว่า 40 เซนติเมตร จะเป็นการยากในการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้ไม่ได้เมล็ดพันธุ์พืชที่อยู่ทางด้านก้นของถุงหรือในยุ้งฉางถ้าเป็นเช่นนี้สำหรับเมล็ดพันธุ์พืชในถุงอาจจะต้องเทเมล็ดพันธุ์พืชออกมาทั้งถุง หรือเทออกมาบางส่วนเพื่อทำการสุ่มได้ง่ายขึ้นแล้วจึงบรรจุเมล็ดพันธุ์พืชเข้าไปดังเดิม ข้อควรระวังคือต้องกำมือให้แน่นไม่ให้เมล็ดร่วงหล่นไป

4) สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชด้วยเครื่องดูด เครื่องดูดเมล็ดพันธุ์พืชนี้มักใช้กับเมล็ดพันธุ์พืชที่กองไว้เป็นจำนวนมาก มือหรือหลาวธรรมดาไม่สามารถเข้าไปถึงส่วนกลางของกองหรือก้นกองได้ และเครื่องมือนี้มักใช้ดูดเก็บตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชที่เก็บไว้ในยุ้งฉาง หรือโรงเก็บใหญ่ (จวง จันทร์ ดวงพัตรา, 2521)

2.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการแตกเสียหายทางกายภาพของเมล็ดถั่วเหลือง จากแรงที่มาจากการตกของหัวกระแทก ตามปัจจัยตัวแปรต่างๆกัน

2.2.2 เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระแทกกับการเสียหายของเมล็ดถั่วเหลือง

2.3 ขอบเขตของงานวิจัย

2.3.1 ชุดหัวกระแทกแบบตกกระทบโลหะอลูมิเนียมยึดเหล็กน้ำหนัก 275 กรัม

2.3.2 **พันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ดีที่ราชการส่งเสริมให้ปลูก 3 พันธุ์ คือ 1) เชียงใหม่ 1, 2) เชียงใหม่ 60 และ 3) สจ.5**

2.3.3 **ตั้งความสูงหัวกระแทก 6 ระดับคือ 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 มิลลิเมตร** โดยทดลองตัวอย่างละ 20 ครั้ง

2.3.4 **ความชื้นประมาณ 10, 14 และ 18%wb**

2.3.5 การวางถั่วเหลืองให้รับแรงกระแทก

1) วางนอนตามธรรมชาติ (ขั้วเมล็ดอยู่ด้านข้าง)

2) วางให้ขั้วเมล็ดอยู่ด้านบน

3) วางโดยตั้งให้ด้านยาวของถั่วเหลืองเป็นความสูง

2.3.6 คำนวณแรงกระแทกที่ทำให้เมล็ดถั่วเหลืองเสียหาย จากสมการความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างแรง (N) จากเครื่อง Universal Testing Machine และแรงดันของไฟฟ้า (mV) จากโหลดเซลของเครื่องทดสอบการกระแทก

2.3.7 ศึกษาลักษณะของการแตกเสียหายของเมล็ดถั่วเหลืองหลังจากกระแทก แล้วแจกแจงการแตกเสียหายเป็น 5 ระดับคือ 1) บุบหรือร้าวเล็กน้อย 2) ร้าวทั้งเมล็ด 3) เมล็ดแตกแยกเป็น 2 ส่วนหรือเสียรูปทรงปานกลาง 4) เมล็ดแตกแยกมากกว่า 2 ส่วนหรือเสียรูปมาก และ 5) เมล็ดแตกประลัยหรือเสียรูปโดยสิ้นเชิง

2.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

2.4.1 ทำให้ทราบความสามารถในการรับแรงกระแทกของเมล็ดถั่วเหลือง จนเสียหายที่สภาวะต่างๆกัน ตามตัวแปรต่อไปนี้ 1) พันธุ์ต่างกัน 2) ความชื้นถั่วเหลืองต่างกัน และ 3) ด้านที่รับแรงกระแทกของถั่วเหลือง ต่างกัน

2.4.2 เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดถั่วเหลือง เพื่อที่จะใช้แรงกระทำที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือเกิดความเสียหายน้อยที่สุด ในระหว่างการเก็บเกี่ยว การลำเลียงขนถ่าย การคัดขนาด การแยกสิ่งเจือปน หรือกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.4.3 สามารถนำเครื่องทดสอบและแนวทางการทดสอบไปหาความแข็งแรงของเมล็ดพืชอื่นๆ ได้