

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

(1) ข้อมูลทางด้านพฤกษศาสตร์ของพืช

1.1 ถั่วเขียว (mung bean)

1.1.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วเขียว (เฉลิมพล, 2542)

ถั่วเขียวเป็นพืชที่ปลูกอย่างแพร่หลายในเอเชียตอนใต้ เช่น พม่า ไทย และฟิลิปปินส์ รวมทั้งสามารถปลูกได้ในหลายพื้นที่ของทวีปแอฟริกา รวมถึงเขตร้อนของทวีปอเมริกา เช่นในรัฐโอกลาโฮมาของประเทศสหรัฐอเมริกา ถั่วเขียวนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์ โดยบริโภคในส่วนเมล็ดหรือนำมาเพาะเป็นถั่วงอก บางครั้งอาจนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยพืชสด นำมาเป็นอาหารสัตว์ หรือนำมาปลูกเป็นพืชหมุนเวียนหลังจากนาข้าว ข้าวสาลี หรือฝ้าย

เมล็ดถั่วเขียวมีโปรตีนอยู่ประมาณ 24% ซึ่งมักใช้เป็นอาหารเสริมพวกธัญพืช และพืชแป้งต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่ก็เช่นเดียวกับพืชตระกูลถั่วอื่นๆ ที่ขาดแคลนอะมิโนแอซิด โดยเฉพาะพวกเมทไธโอนีนและซิสติน ในขณะที่พวกธัญพืชมีเมทไธโอนีนและซิสตินสูง ถั่วเขียวสามารถทดแทนเนื้อสัตว์ได้เป็นอย่างดี และมีคาร์โบไฮเดรตที่ประมาณ 58% ทำให้ถั่วเขียวมีคุณค่าทางอาหารสูง สะดวกในการปรุงอาหาร และไม่ทำให้เกิดอาการท้องอืด นอกจากนี้ยังมีฟอสฟอรัส แคลเซียม และวิตามิน ที่เหมาะแก่การบริโภคได้เป็นอย่างดี

ถั่วเขียวที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในเมืองไทย คือ ถั่วเขียวผิวดำ พันธุ์ที่ใช้แนะนำส่งเสริมมี 2 พันธุ์ คือ พิชณุโลก 2 และอุทุมพร 2 ถั่วเขียวพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด คือ ถั่วเขียวผิวดำพันธุ์ พิชณุโลก 2 โดยถั่วเขียวพันธุ์นี้มีลักษณะเด่น คือ ขนาดเมล็ดใหญ่ ทรงต้นโปร่ง ตั้งตรง ไม่เลื้อย อายุเก็บเกี่ยวสั้น ผลผลิตสูงเมื่อปลูกในฤดูแล้ง และฝักไม่แตกง่าย แหล่งที่ปลูกถั่วเขียวผิวดำพันธุ์ พิชณุโลก 2 และถั่วเขียวผิวดำพันธุ์อื่นๆ ได้แก่ นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ อุทัยธานี ลพบุรี กำแพงเพชร พิจิตร พิชณุโลก สุโขทัย และอุดรดิตถ์ โดยช่วงปลูกที่เหมาะสมคือ ฤดูแล้ง ควรปลูกในช่วงระหว่าง 1-15 มกราคม (หลังการเก็บเกี่ยวข้าว) และฤดูฝน ควรปลูกในช่วงระหว่าง 1-30 สิงหาคม (หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด)

1.1.2 อนุกรมวิธานของถั่วเขียว

ถั่วเขียว มีชื่อสามัญว่า mung bean หรือ green gram มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek สามารถจัดจำแนกถั่วเขียวตามขั้นตอนทางพฤกษศาสตร์ได้ดังนี้ (USDA Plants, 2009)

Kingdom Plantae

Subkingdom Tracheobionta

Superdivision Spermatophyta

Division Magnoliophyta

Class Magnoliopsida

Subclass Rosidae

Order Fabales

Family Fabaceae

Genus *Vigna*

Species *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek

1.1.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเขียว (วีรชัย, 2537)

ลำต้น (stem) ถั่วเขียวเป็นพืชล้มลุกมีลำต้นตั้งตรง (แต่อาจมีถั่วเขียวบางพันธุ์ที่มีลำต้นเลื้อย) มีการแตกกิ่งก้านเป็นพุ่ม ความสูงของทรงพุ่มตั้งแต่ 30-150 เซนติเมตร ส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือใบเลี้ยงขึ้นมามีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีขนอ่อนปกคลุมทั่วลำต้น

ใบ (leaf) ใบถั่วเขียวเป็นแบบใบประกอบ (compound leaves) (ภาพ 2.1) เมื่อถั่วเขียวเริ่มออกใบแรกที่ปรากฏให้เห็นคือ ใบเลี้ยง (cotyledon) ซึ่งมี 2 ใบ ขี้อัดไปเกิดใบจริงแบบ unifoliate leaves คู่แรกอยู่ตรงกันข้ามกัน ขี้อัดๆ ไปจากใบจริงคู่แรกเป็นใบประกอบแบบ trifoliate leaves มีใบย่อย 3 ใบ เกิดสลับบนลำต้น (alternate leaves) แต่ละใบย่อยมีความกว้าง 1.5-12 เซนติเมตร และยาว 2-20 เซนติเมตร มีขนปกคลุมอยู่ทั่วไป รูปร่างของใบมีหลายแบบขึ้นอยู่กับพันธุ์ ใบประกอบแบบ trifoliate leaves ของถั่วเขียวประกอบด้วยก้านใบรวม (petiole) ที่โคนก้านใบรวมมีหูใบ (stipule) 2 อัน ใบย่อยปลาย (terminal leaflet) มีก้านใบย่อย (petiole) และมีหูใบย่อย (stipule) ที่โคน 2 อัน ส่วนใบย่อยด้านข้าง (terminal leaflet) มีก้านใบย่อยสั้นมาก และมีหูใบย่อยที่โคนข้างละ 1 อัน



ภาพ 2.1 ลักษณะใบของถั่วเขียว (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek)

ราก (root) ถั่วเขียวมีรากแบบระบบรากแก้ว (tap root system) รากอันแรกเจริญออกมาจากรากฐาน ซึ่งอยู่ภายในเมล็ด เรียกว่า รากแก้ว (primary root หรือ tap root) รากที่แตกแยกออกมาจากรากแก้ว เรียกว่า รากแขนง (secondary root) ตามรากแขนงมีขนราก (root hair) เจริญออกมาจำนวนมาก ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและธาตุอาหาร บนรากของถั่วเขียวมีปม (nodule) เกิดขึ้นซึ่งเกิดจากแบคทีเรียพวกไรโซเบียม (*Rhizobium* sp.) เข้าไปอาศัยอยู่ในราก ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ถั่วเขียวนำมาใช้ประโยชน์ได้ การอยู่ร่วมกันระหว่างถั่วเขียวกับแบคทีเรียพวกนี้เรียกว่าการอยู่ร่วมกันแบบภาวะพึ่งพาอาศัยกัน (mutualism)

ดอก (flower) ถั่วเขียวมีดอกเป็นช่อ (inflorescences) แบบ raceme ดอกทยอยบานจากส่วนล่างของลำต้นขึ้นไปข้างบน ช่อดอกแตกออกจากตาระหว่างมุมใบ (axillary bud) และตาที่ปลายยอด (terminal bud) แต่ละช่อดอกมีดอกย่อยจำนวน 10-25 ดอก ดอกย่อยเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) คือมีเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน มักผสมตัวเองก่อนดอกบาน (cleistogamy) มีเปอร์เซ็นต์การผสมข้ามต่ำมาก การผสมเกสรของดอกเกิดในเวลากลางวัน ดอกที่ผสมแล้วจะบานตอนเช้า และบานจนถึงประมาณเที่ยงก็จะหุบและเริ่มเหี่ยว

ส่วนประกอบต่างๆ ของดอกถั่วเขียวมีดังนี้

1. ก้านช่อดอก (peduncle) มีความยาวประมาณ 2-13 เซนติเมตร มีขนปกคลุม
2. กลีบประดับ (bracteole) มี 2 กลีบ อยู่บนยอดสุดของดอก มีขนาดเล็ก สีเขียว และมีขนปกคลุม
3. กลีบเลี้ยง (sepal) อยู่ชั้นถัดเข้าไป บริเวณฐานเชื่อมติดกันเป็นหลอดเรียก tubular calyx ปลายแยกเป็น 5 แฉก มีสีเขียว และมีขนปกคลุม
4. กลีบดอก (petal) จำนวน 5 กลีบ ไม่มีขน อาจมีสีเหลือง สีม่วง และสีขาว ขึ้นอยู่กับพันธุ์

กลีบนอกสุดมี 1 กลีบ เรียกว่า standard petal มีขนาดใหญ่ที่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-1.7 เซนติเมตร ถัดไปเป็น wing petals มีจำนวน 2 กลีบ ประกบกันอยู่ และกลีบดอกที่อยู่ด้านในสุด เรียกว่า keel petals มีจำนวน 2 กลีบ ประกบกัน มีขนาดเล็กที่สุด ทำหน้าที่ห่อหุ้มรังไข่ เกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมีย

5. เกสรตัวผู้ (stamen) จำนวน 10 อัน ละอองเรณูจำนวน 9 อันแบบ diadelphous stamen คือ ก้านชูเกสรตัวผู้ (filament) เชื่อมติดกันเป็นแผ่นหุ้มรังไข่ ส่วนปลายแยกออกเป็นแฉก 9 แฉก และมี อับเกสรตัวผู้ (anther) อยู่แฉกละ 1 อัน ส่วนก้านชูเกสรตัวผู้ที่เหลืออีก 1 อัน แยกอยู่เป็นอิสระ เรียกว่า free stamen เมื่อถึงเวลาผสมพันธุ์ อับเกสรตัวผู้แตกออกเป็น 2 แฉก ภายในมีละอองเกสร (pollen grain) สีเหลือง ละอองเกสรที่ตกบนยอดเกสรตัวเมีย (stigma) จะงอกเป็นหลอด (pollen tube) แทะผ่านก้านชูเกสรตัวเมีย (style)

6. เกสรตัวเมีย (pistil) ประกอบด้วย ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) และรังไข่ (ovary) ส่วนยอดของก้านชูเกสรตัวเมีย เรียกว่า stigma มียางเหนียวๆ ทำหน้าที่รองรับละอองเกสรที่มาตก รังไข่อยู่ ส่วนฐานของดอก ผนังรังไข่มีขนเกิดขึ้นทั่วไป ภายในรังไข่มีไข่อ่อน (ovule) จำนวน 10-15 อัน เมื่อ ดอกได้รับการผสมแล้ว ไข่อ่อนเจริญเป็นเมล็ด และรังไข่เจริญเป็นฝักของถั่วเขียว

ฝัก (pod) ถั่วเขียวมีฝักรูปทรงเรียวยาว ส่วนปลายโค้งงอเล็กน้อย มีขนปกคลุมทั่วไป ฝักแก่มี เปลือกของฝัก (pericarp) ตั้งแต่ สีดำ สีเทา และสีน้ำตาล จนถึงน้ำตาลแก่ ความยาวฝักประมาณ 5-10 เซนติเมตร แต่ละฝักมีเมล็ดประมาณ 10-15 เมล็ด

เมล็ด (seed) เมล็ดถั่วเขียวมีรูปร่างกลม (globular) ขนาดเมล็ดค่อนข้างเล็ก (ภาพ 2.2) เมล็ด จำนวน 100 เมล็ด มีน้ำหนักประมาณ 4-8 กรัม เมล็ดประกอบด้วย

1. เปลือกนอกเมล็ด (seed coat) มีสีต่างๆ กัน เช่น เขียว เหลือง และดำ ขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์โดยทั่วไปมักมีสีเขียว ทางด้านหนึ่งของเมล็ดมีรอยแผล (hilum) ลักษณะยาวแบน และ สีขาว ภายในเมล็ดประกอบด้วยใบเลี้ยง (cotyledon) 2 อัน ทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร

2. ยอดอ่อน (plumule) เป็นส่วนยอดของต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด จะเจริญเป็นใบจริงคู่แรก 2 ใบ (primary leaf หรือ unifoliate leaf)

3. Hypocotyls-radicle axis เป็นแกนกลางของต้นอ่อนในเมล็ด มีอยู่ 1 อัน เมื่อเมล็ดงอกจะเจริญเป็นราก และส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ใบเลี้ยงลงมา



ภาพ 2.2 เมล็ดถั่วเขียว (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek)

1.2 ถั่วแดงหลวง (kidney bean)

1.2.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วแดงหลวง (ปิยะพงษ์, 2540)

ถั่วแดงหลวง เป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง ใช้บริโภคเมล็ดแก่ มีรูปร่างคล้ายไต เรียกว่า “kidney bean” และถ้ามีเมล็ดสีแดงด้วยเรียกว่า red kidney bean เป็นพืชที่รากมีปมสำหรับช่วยในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้เป็นอาหาร ประเทศในเขตร้อนโดยทั่วไปปลูกถั่วชนิดนี้เพื่อการผลิตเมล็ดแห้ง แต่ในเขตอบอุ่นปลูกเพื่อผลิตผักสดและผักแช่แข็ง พื้นที่ที่มีการปลูกถั่วชนิดนี้มากที่สุดคือ อเมริกาใต้ และคาริเบียน รองลงมา คือ แอฟริกา จีน อเมริกาเหนือ และยุโรป ประเทศไทยนำถั่วแดงหลวงมาปลูกเพื่อทดแทนพื้นที่ใช้ไถ่ผลในการลดพื้นที่ปลูกฝิ่นบนที่สูงทางภาคเหนือ ที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย น่าน และแม่ฮ่องสอน เป็นต้น แหล่งปลูกถั่วแดงหลวงที่ใหญ่ที่สุดอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ คือ ประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ของถั่วแดงหลวงที่ปลูกในประเทศไทย

ถึงแม้ถั่วชนิดนี้เป็นพืชสำหรับเขตอบอุ่น แต่พืชชนิดนี้ก็มีการปลูกในสภาพอากาศในช่วงต่างๆ อย่างกว้างขวาง ในเขตอบอุ่นโดยทั่วไปให้ผลผลิตสูงกว่าเขตร้อน แต่ในเขตอบอุ่นก็จะปลูกถั่วชนิดนี้ในฤดูที่มีอุณหภูมิสูง 80 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตทั้งหมด ถั่วชนิดนี้ในประเทศลาตินอเมริกาผลิตได้จากเขตที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูปลูกตั้งแต่ 18-25 องศาเซลเซียส ในดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส เมล็ดงอกได้ไม่ดี ถ้าอุณหภูมิของดินอยู่ในช่วง 10-11 องศาเซลเซียส เมล็ดถั่วจะงอกได้ใช้เวลาถึง 17 วัน แต่ถ้าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 13-14 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 6-8 วัน และถ้าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 15-16 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพียง 5 วัน อุณหภูมิที่เหมาะสมของการงอกอยู่

ในช่วงระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 30 องศาเซลเซียสในช่วงออกดอก การเกิดตาและดอกจะลดลง และทำให้ผลผลิตต่ำ ถ้าวณินนี้ไม่ทนต่อ frost หากถั่วอยู่ในที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าแม้เป็นเพียงช่วงเวลาสั้นก็ทำให้เนื้อเยื่อของถั่วตาย

ถั่วแดงหลวงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีโปรตีนและมีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี โดยต้องนำเมล็ดถั่วแดงหลวงไปต้มให้เปื่อยก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ ซึ่งการนำเอาเมล็ดถั่วแดงหลวงไปเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้ต้องระมัดระวังอย่าให้สัตว์กินมากเกินไป เพราะจะทำให้สัตว์ท้องอืดได้ง่าย นอกจากนี้แล้วถั่วแดงหลวงยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์ได้ทั้งที่เป็นผักสดและเมล็ดแห้งซึ่งในต่างประเทศแถบยุโรปหรืออเมริกา นิยมบริโภคเมล็ดถั่วแดงหลวงกันมาก ทั้งอาหารคาวและหวาน เช่น ถั่วแดงคัมน้ำตาล หมูบถั่วแดง ถั่วแดงอบ ห่อหมก แกงถั่วโอสถ และซุบถั่วแดง เป็นต้น อีกทั้งยังใช้ประโยชน์ในด้านใช้เป็นอาหารลดความอ้วน และเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานได้ดีอีกด้วย

พันธุ์ถั่วแดงหลวงที่ส่งเสริมให้เกษตรกรชาวไทยปลูกแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1. พันธุ์สีแดงเข้ม มีหลายพันธุ์ เช่น Monicalm California และ Royal ซึ่งสั่งเข้ามาจากประเทศเคนยาและสหรัฐอเมริกา ขนาดของเมล็ดแต่ละพันธุ์จะเท่าๆ กัน มีสีแตกต่างกันเล็กน้อยในด้านการให้ผลผลิตปรากฏว่าพันธุ์ Royal ให้ผลดีกว่าพันธุ์อื่นๆ มีสีสวยและเป็นที่ต้องการของตลาดเป็นที่แพร่หลายกว่าพันธุ์อื่นๆ

2. พันธุ์สีชมพู ปัจจุบันมีปลูกเพียงพันธุ์เดียวคือ Moniton 1 ขนาดของเมล็ดโตกว่าชนิดแรกเล็กน้อย ให้ผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างสูง มีความต้านทานต่อโรคแอนแทรกคโนส แต่มีข้อเสีย คือ สีของเมล็ดไม่เป็นที่ต้องการของตลาดมากนัก

1.2.2 อนุกรมวิธานของถั่วแดงหลวง

ถั่วแดงหลวง มีชื่อสามัญว่า red kidney bean มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Phaseolus vulgaris* L. สามารถจัดจำแนกถั่วเขียวตามขั้นตอนทางพฤกษศาสตร์ได้ดังนี้ (USDA Plants, 2009)

Kingdom Plantae

Subkingdom Tracheobionta

Superdivision Spermatophyta

Division Magnoliophyta

Class Magnoliopsida

Subclass Rosidae

Order Fabales

Family Fabaceae

Genus *Phaseolus* L.

Species *Phaseolus vulgaris* L.

1.2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วแดงหลวง (เฉลิมทศพล, 2548)

ลำต้น (stem) เป็นพืชล้มลุกสูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นเลื้อยและมีขน

ใบ (leaf) เป็นใบประกอบแบบ trifoliate leaves มีใบย่อย 3 ใบ เกิดสลับบนลำต้น (alternate leaves) มีขนปกคลุมอยู่ทั่วไป (ภาพ 2.3)

ดอก (flower) ถั่วเขียวมีดอกเป็นช่อ (inflorescences) มีสีเหลือง

ฝัก (pod) มีลักษณะเหมือนถั่วเขียวแต่ยาวกว่าเล็กน้อย เมื่อแก่ฝักจะมีสีน้ำตาลอ่อนหรือสีดำ ฝักจะห้อยลงจากช่อเหมือนนิ้วมือ ฝักที่มีสีดำเมล็ดโตกว่าฝักสีน้ำตาลอ่อนเล็กน้อย ฝักของถั่วแดงหลวง เมื่ออายุ 15-25 วัน หลังดอกบานจะมีสีเขียว และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่ออายุ 30-35 วัน หลังดอกบาน เมื่อมีอายุครบ 40 วันหลังดอกบานฝักจะมีสีน้ำตาล โดยมีน้ำหนักฝักสดสูงสุด 4.53 กรัม ที่อายุ 25 วันหลังดอกบาน ขนาดฝักของถั่วแดงหลวง มีความยาวของฝักสูงสุด 9.09-9.22 เซนติเมตร ความกว้างฝักสูงสุด 1.30 เซนติเมตร



ภาพ 2.3 ลักษณะใบของถั่วแดงหลวง (*Phaseolus vulgaris* L.)

เมล็ด (seed) เมล็ดถั่วแดงหลวงที่อายุ 15 วันหลังดอกบานมีสีแดงปนเขียว และเปลี่ยนเป็นสีแดงอ่อน สีแดงและสีแดงเข้ม เมื่อฝักมีอายุมากขึ้นเป็น 20, 25 และ 30-40 วัน ตามลำดับ เมล็ดถั่วแดงหลวงที่อายุ 30 วันหลังดอกบาน มีความกว้างสูงสุด 0.88 เซนติเมตร ร่องลงมาคือ อายุ 25, 20, 35, 40 และ 15 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ (ภาพ 2.4)



ภาพ 2.4 เมล็ดถั่วแดงหลวง (*Phaseolus vulgaris* L.)

1.3 ถั่วดำ (black gram)

1.3.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วดำ (เฉลิมทศพล, 2548)

ถั่วดำเป็นพืชล้มลุก มีขนสีน้ำตาล ดอกเป็นช่อสีเหลือง ฝักแห้งแตก เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ เมื่อแก่ออกดอกและผลเกือบตลอดปี มีเจริญเติบโตแบบเลื้อย (climbing) หรือ indeterminate สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด และขึ้นในพื้นที่ด้านในของป่าชายเลนที่น้ำท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ ให้ผลผลิตประมาณ 760-2,800 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตได้ดีเมื่อมีระดับน้ำฝน 20-25 เซนติเมตร ในช่วงของการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต (Rachie and Robert, 1974) มีสารพวกแอนโทไซยานินใช้แต่งสีขนม โดยต้มเกี่ยวกับน้ำหรือบดผสมกับแป้ง ในทางสมุนไพรมีรสหวาน บำรุงเลือด ขับของเหลวในร่างกาย ขับลม ขจัดพิษ บำรุงไต ขับเหงื่อ แก้อ่อนใน บำรุงสายตา เหมาะสำหรับผู้ที่มีอาการบวมน้ำ เหน็บชา ดีซ่าน ไตเสื่อม และปวดเอว ถั่วดำมีสารอาหารพวกโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคลโรทีน ในอะซิน วิตามินบี 1 และบี 2 และสารที่ช่วยบรรเทาอาการปวดลำไส้เล็ก นอกจากนี้ยังพบว่าถั่วดำอุดมไปด้วยแร่ธาตุ เช่น โฟเลต แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี เซลีเนียม กรดแอลฟาไลโนลิก วิตามินบี 6 และเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใย ในถั่วดำ มีปริมาณสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทั้งหมด ในขณะที่ โฟเลต มีประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ การบริโภคถั่วดำเป็นที่นิยมและเป็นอาหารหลักพื้นเมืองของชาวลาตินอเมริกัน และชาวฮิสพานิก (hispanics) ถ้ารับประทานถั่วดำเป็นประจำจะช่วยป้องกันการเป็นมะเร็ง ลดระดับคอเลสเตอรอล และกลูโคสในเลือด

1.3.2 อนุกรมวิธานของถั่วดำ

ถั่วดำ มีชื่อสามัญว่า black gram มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna mungo* (L.) Hepper ชื่ออื่นๆ ได้แก่ ถั่วทะเล (ระนอง) รังกะเท้ (ใต้) ถังกะไค นังกะไค (มลายู-ใต้) สามารถจัดจำแนกถั่วเขียวตามขั้นตอนทางพฤกษศาสตร์ได้ดังนี้ (USDA Plants, 2009)

Kingdom Plantae

Subkingdom Tracheovbionta

Superdivision Spermatophyta

Division Magnoliophyta

Class Magnoliopsida

Subclass Rosidae

Order Fabales

Family Fabaceae

Genus *Vigna savi*

Species *Vigna mungo* (L.) Hepper

1.3.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วดำ (เฉลิมทศพล, 2548)

ลำต้น (stem) เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก-กลาง สูง 10-20 เมตร ผิวเปลือกบริเวณโคนต้น มีจุดสีขาวเต็ม เรือนยอดแคบกลมรูปปิระมิด สีเขียวอมเหลือง เปลือกสีเทาหรือสีน้ำตาลเข้ม เรียบถึงแตกเป็นเกล็ด มีช่องอากาศเล็กๆ ไม่เด่นชัด

ราก (root) มีระบบรากแก้ว (tap root system) เจริญลงไปได้ผิวดินค่อนข้างลึก และแตกแขนงมากทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความชื้นจัด และอาจมีแบคทีเรียพวกไรโซเบียม (*Rhizobium* spp.) อาศัยอยู่ในรากสร้างปม และตรึงไนโตรเจนได้ด้วย และมีรากหายใจยาว 15-20 เซนติเมตร เหนือผิวดิน

ใบ (leaf) ออกเป็นกระจุกที่ปลายกิ่ง เรียงตรงข้ามสลับทิศทาง แผ่นใบรูปรี ขนาด 3-5 x 7-15 เซนติเมตร ปลายใบแหลม ฐานใบรูปลิ้น แผ่นใบสีเขียวอมเขียว เกือบทั้งสองด้าน เส้นใบบาง 7 คู่ เห็นทั้งสองด้าน ก้านใบยาว 1.5-2 เซนติเมตร หูใบยาว 3-6 เซนติเมตร สีเหลืองอมเขียว (ภาพ 2.5)

ดอก (flower) ออกเป็นช่อกระจุกที่ง่ามใบ ช่อละ 3-7 ดอก ก้านช่อดอกยาว 1.8-2.2 เซนติเมตร สีเหลืองอมเขียว ก้านดอกย่อยยาว 0.6-1.5 เซนติเมตร วงกลีบเลี้ยงเป็นหลอดยาว 0.7-0.9 เซนติเมตร สีเหลืองอมเขียว มีสันปลายแยกเป็นแฉกๆ 8 แฉก กลีบดอก 8 กลีบ รูปขอบขนาน ยาว 0.1-0.2 เซนติเมตร ขอบกลีบมีขน ปลายกลีบมีขนแข็ง 3 เส้น

ผล (fruit) เป็นผลแบบงอกตั้งแต่ยังติดอยู่บนต้น รูปทรงกระบอก ยาว 1.3-2.5 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงหุ้มผลตรงลำต้นได้ใบเลี้ยง หรือฝัก รูปทรงกระบอก เรียงตรงขนาด 0.3-0.6 x 8-18 เซนติเมตร เมื่อยังอ่อนสีเขียว และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเขียวเมื่อแก่



ภาพ 2.5 ลักษณะใบของถั่วดำ (*Vigna mungo* (L.) Hepper)

เมล็ด (seed) มีสีน้ำตาลหรือสีดำ กลมรี มีจำนวน 5-10 เมล็ด อยู่ภายในฝัก ดังภาพ 2.6



ภาพ 2.6 เมล็ดถั่วดำ (*Vigna mungo* (L.) Hepper)

(2) ความสำคัญของน้ำ

น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์พืช ช่วยละลายแร่ธาตุและอาหารต่างๆ ในระหว่างการเจริญเติบโต น้ำมีความสำคัญในเมแทบอลิซึม เช่น เป็นสารตั้งต้นของกระบวนการสังเคราะห์แสง ตลอดทั้งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ภายในเซลล์ต้องอาศัยน้ำ น้ำช่วยรักษาสภาพความเต่งของเซลล์เป็นผลทำให้เซลล์คงรูปร่างอยู่ได้ การเคลื่อนที่ของน้ำเข้าออกเซลล์พืช มีผลช่วยแลกเปลี่ยนก๊าซมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการหายใจระดับเซลล์ภายในและภายนอกเซลล์ และน้ำช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในเซลล์พืช เป็นผลทำให้กิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์พืชดำเนินไปได้ตามปกติ นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยควบคุมผลผลิตพืช (สมบุญ, 2548)

เมื่อพืชอยู่ในสภาวะการขาดน้ำ เช่น ในกรณีที่ดินขาดน้ำ ศักย์ของน้ำ (water potential; Ψ_w) ในพืชจะต่ำลง และพืชจะมีการตอบสนองต่อสภาวะความเครียดดังกล่าวอย่างเป็นลำดับขั้น ได้แก่ มีการขยายขนาดของเซลล์ การสังเคราะห์โปรตีน และการสังเคราะห์แสงลดต่ำลง แต่พบว่าการสะสมกรดแอบไซซิกซึ่งมีผลทำให้ปากใบของพืชปิด และสารบางชนิด เช่น โพรลีน เพิ่มขึ้น (Taiz and Zeiger, 2006)

2.1 น้ำในดิน (Soil water) (สายัณต์, 2534)

การจำแนกน้ำในดิน เพื่อให้ทราบถึงระดับน้ำที่มีอยู่ในดินจึงมีการใช้กฎเกณฑ์ในการวัดโดยใช้ค่า "ศักย์ของน้ำ" ซึ่งแสดงถึงสภาวะพลังงานอิสระของน้ำ การจำแนกน้ำในดินที่มีประโยชน์พิจารณาจากปริมาณน้ำที่สัมพันธ์กับน้ำที่พืชนำไปใช้ได้ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

- 1) น้ำอิสระ (gravitational water หรือ free water) คือ น้ำที่ถูกแรงยึดเหนี่ยวของดินมากกว่า $-1/3$ bars น้อยกว่าแรงดึงดูดของโลกทำให้น้ำไหลลงสู่ที่ต่ำกว่าอย่างอิสระ ในดินทรายค่านี้อยู่ระหว่าง -0.1 ถึง -0.2 bars
- 2) น้ำที่พืชนำไปใช้ได้ (plant available water) คือ น้ำในดินส่วนที่รากสามารถดูดไปได้เร็ว คือ ถูกดินดึงดูดไว้ด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง $-1/3$ ถึง -15 bars
- 3) น้ำที่ field capacity คือระดับความชื้นของดินซึ่งระดับศักย์ของน้ำน้อยกว่า $-1/3$ bars เป็นน้ำที่มากที่สุดที่ดินเก็บไว้ได้
- 4) น้ำที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) คือ ความชื้นของดินที่ถูกแรงดึงดูดน้อยกว่า -15 bars น้ำในส่วนนี้พืชดูดไปใช้ได้ยากจนทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยว

นอกจากนี้ยังมีส่วนของน้ำซัพ (capillary water) คือ น้ำที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในดินเพราะความต่างศักย์ของน้ำ (water potential gradient) 2 ตำแหน่งในดิน คือ น้ำมีการเคลื่อนที่จากที่มีศักย์ของน้ำสูงไปยังที่มีศักย์ของน้ำต่ำกว่า ในบางสภาพที่ดินแห้งมากน้ำจะถูกแรงดึงดูดจากดินให้ยึดติดแน่นกับอนุภาคดินและไม่สามารถทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดูดซัพ เรียกว่าน้ำซึ่งติดแน่นกับดินนี้ว่า น้ำเยื่อ (hygroscopic water)

คุณสมบัติการเก็บน้ำในดิน (soil water retention) คุณสมบัตินี้ขึ้นกับลักษณะของเนื้อดิน สารอินทรีย์หรือฮิวมัสในดิน ช่องว่างในดินที่มีขนาดใหญ่จะปล่อยให้น้ำถูกระบายออกจากดินได้ง่าย ตรงกันข้ามช่องว่างดินขนาดเล็กจะมีแรงดูดซัพน้ำได้สูงกว่า ดังนั้นดินเหนียวที่มีฮิวมัสสูงสามารถเก็บน้ำไว้ในปริมาณสูงกว่าดินทราย

การวัดน้ำในดิน สามารถทำการวัดได้ทั้งทางตรงและโดยอ้อม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีใหญ่ๆ คือ

1) Gravimetric method เป็นวิธีที่นิยมทั่วไปโดยการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาน้ำหนักดินเปียก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักแห้งของดินคงที่ จึงนำไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักดินเปียก} - \text{น้ำหนักดินอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}}$$

2) Tensiometric method เป็นการวัดศักย์ของน้ำโดยวัดแรงดึงน้ำของดินโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า tensiometer ปักลงไปดินที่ต้องการวัดหลังจากนั้น 3-4 วันจึงเริ่มทำการวัด เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับการวัดความชื้นจากระดับอ้อมตัวถึง -8.5 bars

3) การวัดโดยใช้แท่งยิปซัม วิธีนี้ใช้แท่งยิปซัมที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วอยู่ภายใน ผึงลงในดินที่ต้องการวัด โดยใช้หลักการของการลดความเป็นตัวนำไฟฟ้าเมื่อความชื้นดินลดลง เป็นการวัดที่เหมาะสมสำหรับช่วงความชื้นของดินแห้ง ตั้งแต่ -0.5 ถึง -15 bars หลังจากทำการฝังแท่งยิปซัมลงในดินแล้วประมาณ 1 สัปดาห์เพื่อให้มีการปรับสภาพความชื้นในแท่งยิปซัมจนถึงระดับสมดุล จึงทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดความชื้น (soil moisture tester) จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินเปรียบเทียบกับปริมาณฝนในแต่ละเดือน

4) การวัดโดย neutron probe หรือบางทีเรียกว่า hydroprobe โดยมีหลักการทำงานคือปล่อยรังสีที่เคลื่อนที่เร็ว (fast neutron) ออกจาก probe ที่หย่อนลงไปดินที่เจาะรูไว้ในระดับความลึกต่างๆ เมื่อรังสีเคลื่อนที่เร็วนี้ไปกระทบกับไฮโดรเจนไอออนของโมเลกุลน้ำหรือความชื้นในดิน

มีผลทำให้นิวตรอนอ่อนกำลังลงเป็นนิวตรอนเคลื่อนที่ช้าและสะท้อนมาที่ probe ค่าที่อ่านได้สูง แสดงว่ามีปริมาณน้ำในดินสูง จัดว่าเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดได้รวดเร็วและสามารถทำการวัดอย่างต่อเนื่องได้

2.2 น้ำในพืช (water in plants) (สมบุญ, 2548)

น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในส่วนต่างๆ ของพืช และมีความจำเป็นต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ในสภาพธรรมชาตินั้นปริมาณน้ำที่มีอยู่ในพืชมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ถูกดูดไปจากดินผ่านต้นพืชและสูญเสียออกไปโดยการคายน้ำ สภาพที่น้ำในพืชมีการเปลี่ยนแปลงจนลดลงต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมจะมีผลทำให้พืชสูญเสียความเต่งของเซลล์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และถ้าสภาวะขาดน้ำนี้ยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะทำให้พืชเหี่ยวตายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาปริมาณน้ำในพืชเพื่อเป็นตัวบ่งชี้การเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการหาปริมาณน้ำในพืชกระทำได้หลายวิธี ดังเช่น

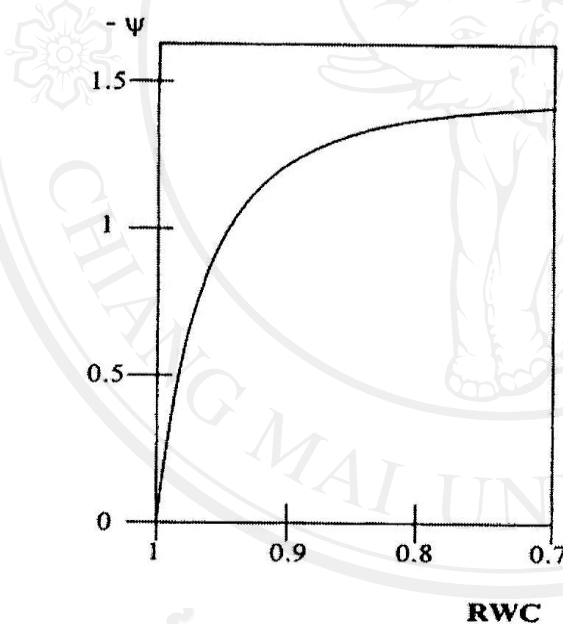
1) ศักย์ของน้ำ (water potential ; Ψ_w) คือ พลังงานอิสระของน้ำ ซึ่งใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดิน พืช และบรรยากาศ ซึ่งหมายถึงความแตกต่างของศักย์ทางเคมีต่อหน่วยปริมาตรระหว่างน้ำที่ต้องการศึกษากับน้ำอิสระบริสุทธิ์ (pure water) ที่อุณหภูมิเดียวกัน หน่วยศักย์ของน้ำที่นิยมใช้ คือ bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 0.987 \text{ atm} = 0.1 \text{ MPa}$) ปกติศักย์ของน้ำอิสระ ที่บริสุทธิ์มีค่าเป็นศูนย์ แต่ศักย์ของน้ำในเซลล์พืช มีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย คือ มีอิทธิพลของตัวถูกละลาย และแรงดัน เป็นต้น ตัวถูกละลายที่เจือปนในน้ำมีผลทำให้พลังงานอิสระของน้ำ (Ψ_w) ลดลง เรียกว่า osmotic potential (Ψ_s) และแรงดันที่มีผลให้ค่า Ψ_w เปลี่ยนแปลงไป เรียกว่า pressure potential (Ψ_p)

ดังนั้นศักย์ของน้ำในเซลล์จึงหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

ซึ่งการวัดค่า Ψ_w ในเซลล์พืชสามารถทำได้หลายวิธี ใช้เครื่องวัดโดยตรง เช่น เครื่อง plant moisture vessel หรือหาโดยวิธีอ้อม เช่น หาค่า Ψ_w ของสารละลายภายนอกพืช แล้วเทียบกลับไปเป็นค่า Ψ_w ในเซลล์พืช การเปลี่ยนแปลงของค่า Ψ_w ที่ต่ำลงในพืชจะนำไปสู่การตอบสนองของพืชเป็นลำดับขั้น โดยพบว่าการขยายตัวของเซลล์ลดลง อีกทั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์ การสังเคราะห์โปรตีน และการสังเคราะห์แสงลดต่ำลงอีกด้วย และเกิดการสะสมของกรดแอบไซซิกซึ่งมีผลทำให้ปากใบของพืชปิด และท้ายที่สุดมีการสะสมสารบางตัว เช่น โพรลีน เพิ่มขึ้น (Taiz and Zeiger, 2006)

2) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในพืช (relative water content ; RWC) สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความแข็งแรงของเซลล์พืช เพราะในสภาพปกติเซลล์พืชต่างๆ ไป มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า 80% Troughton (1969) รายงานว่าปริมาณน้ำในพืชที่ลดลงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ($RWC \leq 90\%$) มีผลกระทบต่อการปิดเปิดปากใบและทำให้การเติบโตของเซลล์ลดลง ปริมาณน้ำที่ลดลง 10-20 % ($RWC = 80-90\%$) มีผลกระทบต่อการกระบวนการหายใจและกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และปริมาณน้ำที่ลดลงมากกว่า 20% ($RWC \leq 80\%$) สามารถยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง และเมแทบอลิซึมภายในพืชได้ โดยที่ค่า RWC มีความสัมพันธ์กับค่า Ψ_w ดังกราฟด้านล่าง (Gonzalez and Gonzalez-Vilar, 2001) ซึ่งการหาค่า RWC นั้น กระทำได้ง่ายกว่าการหาค่า Ψ_w ที่ต้องใช้เครื่องมือหรือการคิดเทียบที่ซับซ้อนกว่า วิธีนี้จึงนิยมนำมาใช้ในการหาปริมาณน้ำภายในพืช มากกว่าการหาค่า RWC สามารถหาได้โดยใช้สูตร ดังนี้



$$RWC = \frac{(FW-DW)}{(TW-DW)} \times 100$$

เมื่อ FW คือ น้ำหนักสดของพืช
DW คือ น้ำหนักแห้งของพืช
TW คือ น้ำหนักสดของพืชที่
เต่งเต็มที่

ภาพ 2.7 ความสัมพันธ์ของค่า Ψ_w และค่า RWC

จากหลักเกณฑ์ในการวัดปริมาณน้ำในพืชโดยใช้ค่าศักย์ของน้ำ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการศึกษาสภาวะน้ำในพืชเพื่อให้สามารถทำได้รวดเร็วและมีค่าถูกต้องขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวัดศักย์ของน้ำ วิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือวิธีใช้ pressure chamber โดยนำใบพืชที่มีก้านใบใส่ใน chamber โดยให้ก้านใบโผล่ออกมาแล้วให้ความดันจนถึงระดับที่ขับน้ำออกมาจากก้านใบ ความดันที่ระดับนี้มีค่าเท่ากับศักย์ของน้ำในใบพืช หรือการวัดค่า osmotic potential เป็นการวัดโดยใช้เครื่องมือ vapour pressure osmometer เพื่อวัดปริมาณ solute ที่มีอยู่ในน้ำในใบพืช หรือการวัดค่า turgor pressure สามารถวัดโดยตรงโดยใช้เครื่อง pressure probe แต่ในทางปฏิบัติมักจะใช้วิธีประมาณการจากค่าศักย์ของน้ำและ osmotic potential โดยใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s$$

2.3 ผลของสภาวะขาดน้ำ (effect of water deficit) ที่มีต่อพืช (ภาคภูมิ, 2550)

สภาวะขาดน้ำ คือ สภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืช เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในพืชลดลงจนมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช ซึ่งพืชจะมีการตอบสนองแตกต่างกันอยู่กับระดับความรุนแรงของการขาดน้ำ และช่วงเวลาของการขาดน้ำ

1) การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชปลูกต่อสภาวะขาดน้ำ

1.1 การพัฒนาพื้นที่ใบ เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของใบ การแก่ของใบ และการร่วงของใบ นับเป็นกระบวนการที่ช่วยให้พืชอยู่รอดได้ และจัดว่าเป็นกระบวนการตอบสนองที่เร็วที่สุด

1.2 การปิดเปิดของปากใบและการสังเคราะห์แสง สภาวะขาดน้ำมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช โดยขึ้นกับความรุนแรงของสภาวะการขาดน้ำ สภาวะการขาดน้ำส่งผลให้มีการปิดของปากใบและทำให้การใช้ CO_2 ลดลงด้วย เพราะ CO_2 จะผ่านเข้าออกทางปากใบ

1.3 การตอบสนองของพืชทั้งต้นและการสะสมคาร์บอนภายใต้สภาวะการขาดน้ำ พบว่ามีการตอบสนองในสองระดับคือ ระดับใบพืชหรือกระบวนการภายในเซลล์พืช ดังนั้นการตอบสนองจึงเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนก๊าซต่อสภาพแวดล้อม ระดับความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับการใช้น้ำของพืช ซึ่งเกี่ยวข้องถึงกระบวนการ carbon assimilation ของพืช การผลิตอาหารของพืชไม่เพียงแต่กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอน แต่เชื่อมโยงไปถึงการไหลเวียนของน้ำและธาตุอาหารพืช ตลอดจนกระบวนการสะสมอาหารในพืช

1.4 ฮอร์โมนพืช พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนหลายตัวเกิดขึ้น ภายใต้สภาวะขาดน้ำอันส่งผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช ดังนี้

- IAA (indoleacetic acid) สภาวะขาดน้ำทำให้การแพร่กระจายของ IAA ในพืชลดลง มีผลเร่งให้เกิดการแก่และร่วงของใบซึ่งส่งผลให้พื้นที่ใบลดลง

- ABA (abscisic acid) สภาวะขาดน้ำเร่งให้มีการสะสม ABA เพิ่มขึ้นเพื่อช่วยให้พืชมีความต้านทานต่อสภาพขาดน้ำ โดยทำให้มีการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำของพืช

- CK (cytokinins) ช่วยชะลอการแก่และร่วงของใบ แต่เมื่อพืชขาดน้ำจะมีผลทำให้การสร้าง CK จากรากมีปริมาณลดลง ซึ่งมีผลต่อการปิดของปากใบ เพราะการปิดเปิดของปากใบขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ ABA/CK เมื่ออัตราส่วนนี้มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้มีการปิดของปากใบ

- Ethylene สภาวะขาดน้ำของพืชมีผลชักนำให้เกิดการสังเคราะห์ ethylene เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการแก่และร่วงของใบเร็วขึ้น

- GA (gibberellins) พบว่าสภาวะขาดน้ำของพืช มีผลทำให้ปฏิกิริยาของ GA ในใบพืชลดลงฮอร์โมนพืชเหล่านี้มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ในสภาวะขาดน้ำ คือ ABA และ ethylene จะถูกสังเคราะห์มากขึ้นในสภาวะขาดน้ำ แต่ในทางตรงกันข้าม IAA, CK และ GA มีแนวโน้มลดลงในสภาวะขาดน้ำ

1.5 การเจริญเติบโตของรากและการทำงานของรากปกติ ในสภาพที่พืชได้รับน้ำสม่ำเสมอระบบรากส่วนใหญ่อยู่ที่ผิวดินชั้นบน แต่เมื่อความชื้นที่ผิวดินลดลงเพราะสภาวะขาดน้ำจะมีผลทำให้การเจริญของรากที่ผิวดินชั้นบนลดลง แต่พืชจะมีการเจริญของรากขนานไปผิวดินชั้นล่างเพื่อหาน้ำขึ้นมารักษาความสมดุลของน้ำในต้นพืช นอกจากสภาวะขาดน้ำมีผลโดยตรงต่อการปรับตัวของระบบรากแล้ว ยังพบว่ายังมีผลทำให้การดูดธาตุอาหารของพืชลดลงด้วย

2) การปรับตัวของพืชต่อสภาวะขาดน้ำ

พืชมีกลไกการปรับตัวต่อสภาวะการขาดน้ำ ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 3 แบบใหญ่ๆ คือ

2.1 การหนีแล้ง (drought escape)

- การพัฒนาอย่างรวดเร็ว (rapid phenological development) เป็นความสามารถของพืชที่ทำให้พืชเจริญครบวงจรได้รวดเร็วขึ้น เมื่อพืชได้รับผลกระทบจากสภาวะขาดน้ำ

- การขยายเวลาช่วงออกดอกติดผล (plasticity) เป็นความสามารถของพืชในการขยายระยะเวลาของการออกดอกออกไปได้เมื่อพืชได้รับน้ำ หรือมีฝนตกภายหลังจากผ่านช่วงแล้ง คือ ทำให้พืชพื้นตัวและออกดอกให้ผลผลิตได้ คุณสมบัตินี้เป็นประโยชน์กับพืชที่มีการเจริญแบบ indeterminate เช่น พืชตระกูลถั่ว

2.2 การทนแล้ง (drought tolerance) โดยลดศักยภาพของน้ำ

- รักษาความเต่งของเซลล์ กลไกหลัก คือ osmotic adjustment คือการสะสมของ solute ในสภาวะขาดน้ำ เพื่อให้ค่า osmotic potential สูงขึ้น ทำให้ค่า turgor pressure เพิ่มขึ้นด้วย

- ความทนทานต่อการสูญเสีย น้ำ คือ สภาพที่พืชทนต่อสภาพแห้ง (desiccation) คือ พืชจะตายในสภาพที่น้ำในพืชลดต่ำลงมาก หรือเรียกว่า low lethal water status

2.3 การทนแล้งโดยรักษาศักยภาพของน้ำ ความสามารถนี้เกี่ยวข้องกับกลไกที่ลดการสูญเสียและรักษาระดับในการกักน้ำดังต่อไปนี้

- ลดการสูญเสีย น้ำ โดยการปิดปากใบ การม้วนใบ การสะท้อนของใบ และการลดพื้นที่ใบ

- รักษาระดับการกักน้ำ เกี่ยวข้องกับการเจริญของรากที่เพิ่มขึ้นเมื่อการเจริญทางยอดลดลง รากพืชที่ยังเล็กและแพร่กระจายได้ดี ช่วยให้พืชสามารถกักน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency)

ในสภาวะแล้งหรือขาดน้ำพืชจะมีการพยายามปรับตัวเพื่อการอยู่รอด ซึ่งมีผลทำให้พืชมีการใช้น้ำอย่างประหยัด ขณะเดียวกันสามารถรักษาระดับการสร้างอาหารเอาไว้ด้วย หรือมีการให้ผลผลิตอย่างเหมาะสม ซึ่งหมายถึงการที่พืชสามารถนำน้ำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อการสังเคราะห์แสงและมีการเคลื่อนย้ายอาหารที่สร้างไปสร้างผลผลิตได้ ดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชในสภาวะการขาดน้ำจะเป็นประโยชน์ในการคัดเลือกพืชทนแล้ง

(3) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) (ภาควิชา, 2550)

คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช พบมากที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผลและรากที่มีสีเขียว และยังพบได้ในสาหร่ายทุกชนิด นอกจากนี้ยังพบได้ในแบคทีเรียบางชนิด คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมีโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต คลอโรฟิลล์อยู่ในเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ของคลอโรพลาสต์ (chloroplast)

โครงสร้างทางเคมี

คลอโรฟิลล์ละลายได้ดีในอะซิโตนและแอลกอฮอล์ โครงสร้างอาจแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ตรงกลางสร้างพันธะกับไนโตรเจน ส่วนหัวนี้มีขนาดประมาณ 1.5×1.5 อังสตรอม ส่วนหางของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม มีความยาวประมาณ 2 อังสตรอม คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงคลื่นของแสงสีม่วง สีน้ำเงิน และสีแดง แต่ดูดกลืนช่วงแสงสีเหลืองและเขียวได้น้อย ดังนั้นเมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีม่วง น้ำเงิน และสีแดงไว้ ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ดูดกลืนจึงสะท้อนออกมาทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว ในธรรมชาติมีคลอโรฟิลล์อยู่หลายชนิดด้วยกันซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกันคือ วงแหวนไพโรล 4 วง แต่โซ่ข้าง (side chain) ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดมีลักษณะที่ต่างกันออกไป เช่น คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) มีโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้นที่วงแหวนไพโรลวงที่สองของคลอโรฟิลล์ เอ มีโซ่ข้างเป็นหมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) ส่วนของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ ($-\text{CHO}$) ซึ่งการที่โครงสร้างที่ต่างกันนี้ก็ทำให้คุณสมบัติแตกต่างกันด้วย โดยเฉพาะด้านการละลายโดยที่หมู่เมทิลของคลอโรฟิลล์ทำให้โมเลกุลมีขั้ว ดังนั้นจึง

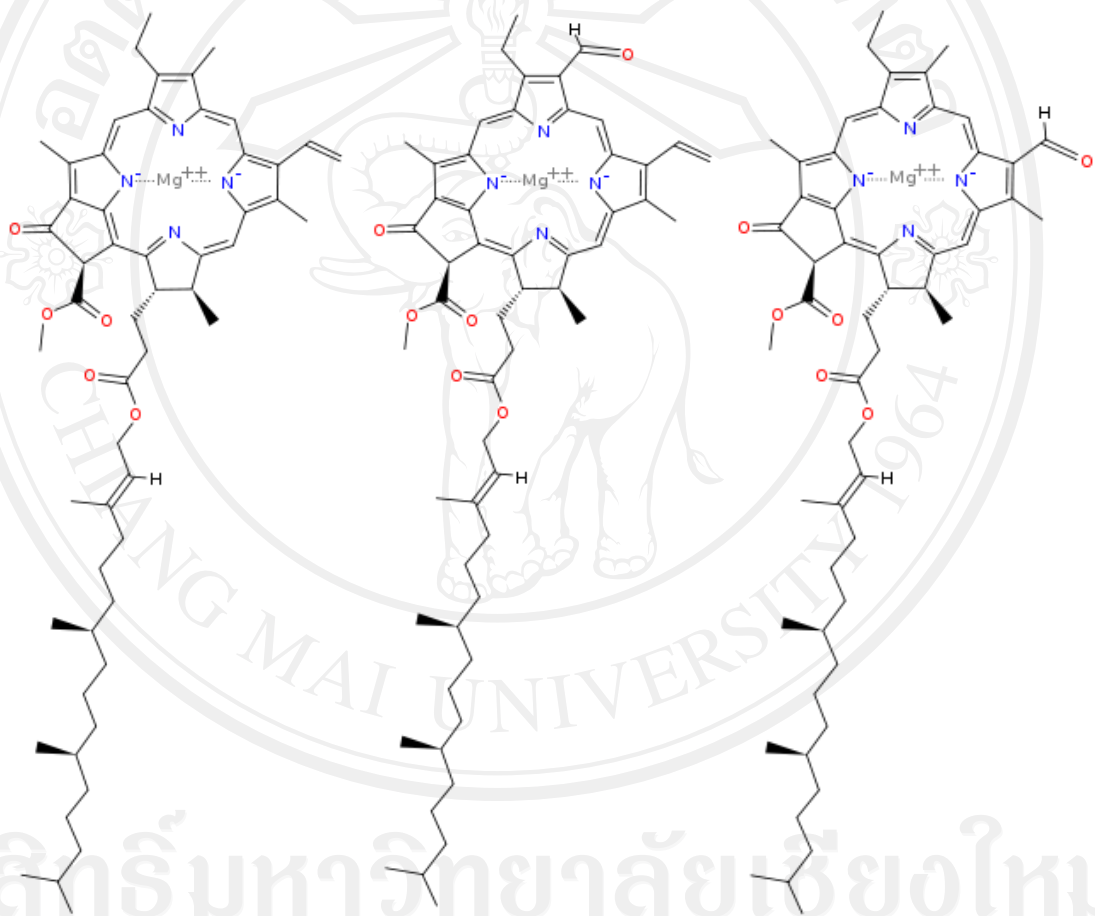
ละลายได้ดีในสารละลายที่มีขั้ว เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ (polarity index=5.1) ส่วนหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งมีสภาพขั้วน้อยกว่าหมู่เมทิล จึงทำให้คลอโรฟิลล์ บี ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่สภาพขั้วน้อยกว่า เมทิลแอลกอฮอล์ เช่น ปิโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether, polarity index=0.1) รวมทั้งคุณสมบัติการดูดกลืนแสงก็ต่างกันด้วย และทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ มีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวน้อยกว่า ในพืชพบว่าคลอโรฟิลล์เอ ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) ดูดแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวช่วงคลื่นซึ่งมีศูนย์กลางปฏิกิริยาที่ 680 และ 760 นาโนเมตร เรียกว่า P680 และ P760 ตามลำดับ สำหรับคลอโรฟิลล์บี ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) สามารถดูดแสงได้ดีในหลายความยาวคลื่น ได้แก่ 480, 640 และ 650 นาโนเมตร ส่วนคลอโรฟิลล์ซีดูดแสงที่มีความยาวช่วงคลื่น 645 นาโนเมตรได้ดีที่สุด

ตาราง 2.1 ความแตกต่างของสูตรและโครงสร้างโมเลกุลในคลอโรฟิลล์แต่ละชนิด (สมาน, 2544)

	Chlorophyll <i>a</i>	Chlorophyll <i>b</i>	Chlorophyll <i>c1</i>	Chlorophyll <i>c2</i>	Chlorophyll <i>d</i>
สูตรโมเลกุล	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$	$C_{35}H_{30}O_5N_4Mg$	$C_{35}H_{28}O_5N_4Mg$	$C_{54}H_{70}O_6N_4Mg$
หมู่ C3	-CH = CH ₂	-CH = CH ₂	-CH = CH ₂	-CH = CH ₂	-CHO
หมู่ C7	-CH ₃	-CHO	-CH ₃	-CH ₃	-CH ₃
หมู่ C8	-CH ₂ CH ₃	-CH ₂ CH ₃	-CH ₂ CH ₃	-CH = CH ₂	-CH ₂ CH ₃
หมู่ C17	- CH ₂ CH ₂ COO- Phytyl	- CH ₂ CH ₂ COO- Phytyl	-CH = CHCOOH	-CH = CHCOOH	-CH ₂ CH ₂ COO- Phytyl
พันธะ C17-C18	เดี่ยว	เดี่ยว	คู่	คู่	เดี่ยว
พบได้	พืชและสาหร่ายทุกชนิด	พืชและสาหร่ายสีเขียว	สาหร่ายสีน้ำตาล	สาหร่ายสีน้ำตาลแกมเหลือง	แบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ (cyanobacteria)

พืชชั้นสูงพบคลอโรฟิลล์เอ และบีมาก ส่วนในพืชชั้นต่ำพบคลอโรฟิลล์ชนิดอื่นๆ และรงควัตถุอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคอีริทรินอยู่มาก

สำหรับรงควัตถุประกอบพวก แคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคอีริทริน สามารถดูดกลืนแสงและผ่านพลังงานแสงไปยังคลอโรฟิลล์เอ ทำให้คลอโรพลาสต์เก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งคลอโรฟิลล์เอไม่สามารถดูดกลืนไว้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอไม่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพทุกช่วงคลื่น (สมบุญ, 2548)



โครงสร้างของ chlorophyll a

โครงสร้างของ chlorophyll b

โครงสร้างของ chlorophyll d

ภาพ 2.8 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ บี และดี ตามลำดับ (Vernon and Seely, 1966)

(4) ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขาดน้ำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของพืช

Cruz *et al.* (1985) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของลำต้นและรากของต้นข้าวต่อการขาดน้ำในพื้นที่ลุ่มที่ต้องอาศัยน้ำฝน พบว่าการขาดน้ำอย่างรุนแรงในระยะแตกกอของข้าว มีผลทำให้จำนวนหน่อตอกอ ดังนี้พื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณไนโตรเจนในใบ การสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนยอดและราก และความหนาแน่นของรากลดลงอย่างมาก

Castrillo and Calcagno (1989) ได้ศึกษาผลกระทบของการขาดน้ำและการรดน้ำกลับต่อการทำงานของเอนไซม์ Ribulose biphosphate carboxylase rubisco, ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณโปรตีนของมะเขือเทศ 2 สายพันธุ์ พบว่าสภาวะความเครียดที่เกิดจากการขาดน้ำส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ Rubisco ลดลง ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชลดลงด้วย เมื่อศักย์ของน้ำในใบลดลงจนกระทั่งถึง -3.0 MPa มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของคลอโรฟิลล์ลดลงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ แต่หลังจากให้น้ำแก่พืชอีกครั้งพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ ค่าศักย์ของน้ำในใบและการทำงานของเอนไซม์ Rubisco เพิ่มขึ้น

ประทีป (2536) ศึกษาการตอบสนองเมื่ออยู่ในสภาวะการขาดน้ำของหม่อน 5 พันธุ์ คือ บุรีรัมย์ 60 น้อย คุณไฟ ตาก และ ใหญ่บุรีรัมย์ โดยวัดการสะสมปริมาณกรดอะมิโน โพรลีน อินซูลูเบลโปรตีน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่าหม่อนพันธุ์ต่างๆ มีการตอบสนองต่อสภาวะการขาดน้ำ โดยสะสมปริมาณกรดอะมิโน โพรลีน และอินซูลูเบลโปรตีน เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพร้อมกับที่ต้นหม่อนแสดงอาการเหี่ยว แต่เมื่อเปลี่ยนกลับมาให้น้ำตามปกติ ผลการทดลองทั้งหมดจะกลับตรงกันข้าม โดยพันธุ์คุณไฟ เป็นพันธุ์ที่ทนแล้งได้ดีที่สุด

Sdoodee and Singhabumrung (1996) ทำการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นลองกองอายุ 10 ปี เมื่อเกิดสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำ โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 วิธีการทดลอง คือ 1) ให้น้ำทุกวัน (กลุ่มควบคุม) 2) ให้น้ำทุก 3 วัน (สภาวะความเครียดปานกลาง) 3) ให้น้ำทุก 6 วัน (สภาวะความเครียดมาก) ใช้เวลาในการทดลอง 18 วัน พบว่าวิธีทดลองที่มีการให้น้ำทุก 3 วัน และ 6 วัน ทำให้ค่าศักย์ของน้ำในใบลดลง โดยหลังจากครบ 18 วัน ค่าศักย์ของน้ำในใบของกลุ่มที่ให้น้ำทุกๆ 3 วัน และ 6 วัน มีค่า -2.8 MPa, -3.4 MPa ตามลำดับ ส่วนกลุ่มทดลองที่ให้น้ำทุกวันมีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ -1.5 MPa

อัญชลี (2543) ศึกษาการตอบสนองต่อสภาวะแล้งในต้นกล้าถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 โดยเลี้ยงต้นกล้าในสารละลายธาตุอาหารที่มีโพลีเอทรีลีนไกลคอล (PEG) 4000 ความเข้มข้น 0, 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0, 3 และ 6 วัน และหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน พบว่าเมื่อต้นกล้าได้รับสภาวะแล้ง 3 วัน เฉพาะถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

เท่านั้นที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ไม่ต่างจากชุดควบคุม แต่หลังจากได้รับสถานะแล้ง 6 วัน ต้นกล้าที่อยู่ในสารละลาย PEG 2.5 และ 5% มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ น้ำหนักแห้งของรากและต้นรวมทั้งปริมาณรงควัตถุลดลง โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน ใบแก่ของ สจ.5 สามารถฟื้นตัวกลับไปสร้างรงควัตถุได้ดีกว่าอีก 2 พันธุ์ ในขณะที่ใบอ่อนของทั้ง สจ.5 และ มข.35 สามารถฟื้นตัวกลับไปสร้างรงควัตถุได้ดีกว่าว.1 โดยพันธุ์ สจ.5 มีความสามารถในการทนแล้งมากที่สุด ในขณะที่ ว.1 มีความทนแล้งน้อยที่สุด

อุบลรัตน์ (2544) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของต้นข้าวเจ้าพันธุ์ไม่วางแสง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในสภาวะการขาดน้ำ เมื่อข้าวอายุ 25, 40, 55, 70 และ 85 วัน พบว่าการงดให้น้ำทุกช่วงอายุของข้าวไม่มีอิทธิพลต่อความสูง และความยาวใบ แต่มีผลทำให้น้ำหนักสดของต้นและราก น้ำหนักแห้งของต้นและราก อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ และขนาดของเซลล์ในใบของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ลดลง โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีแนวโน้มที่ทนทานต่อสภาพการขาดน้ำได้ดีกว่าข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1

พรทิพย์ (2548) วัดปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ของใบตองกองในช่วงที่ได้รับสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำ ซึ่งทำการศึกษากับต้นตองกองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ 1) ให้น้ำทุกวัน 2) ให้น้ำ 1 ครั้งในวันที่ 7 3) งดการให้น้ำ ทำการทดลองเป็นเวลา 14 วัน ผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นในดินลดลงตามระยะเวลาที่ทำการงดน้ำโดยในวันที่ 14 ของการทดลองพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินต่ำที่สุด ส่วนสำคัญของน้ำในใบมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลางดการให้น้ำเพิ่มขึ้น และค่าสำคัญของน้ำในใบของต้นตองกองที่งดการให้น้ำเป็นเวลา 14 วันมีค่าต่ำที่สุด และสภาวะเครียดจากการขาดน้ำมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบตองกองลดลง

Smita and Nayyar (2005) ทำการศึกษาผลกระทบของการขาดน้ำที่ชักนำโดย PEG 6000 ต่อต้นกล้าถั่วหัวช้าง (*Cicer arietinum*) โดยการให้ PEG 6000 ที่มีค่า Ψ_w -0.5 MPa เป็นเวลา 15 วัน พบว่าค่าสำคัญของน้ำในใบมีค่าลดลง ขณะที่ปริมาณโพลินและ MDA เพิ่มขึ้น

Mohsenzadeh *et al.* (2006) ได้ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวโมเลกุลของหญ้า (*Aeluropus lagopoides*) ภายใต้สภาวะการขาดน้ำ โดยเริ่มงดการให้น้ำในวันที่ 5, 11 และ 18 พบว่าค่า RWC ลดลง 5%, 10% และลดต่ำลงมากกว่า 20% ตามลำดับ ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ อัตราการเจริญเติบโต การดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และโปรตีนลดลง และเพิ่มขึ้นเมื่อรดน้ำกลับเป็นเวลา 4 วัน

Oukarroum *et al.* (2007) ศึกษาการตอบสนองของข้าวบาร์เลย์ 10 พันธุ์ ที่มีต้นกำเนิดมาจากโมร็อกโกโดยคลอโรฟิลล์เรืองแสง OLKJIP ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งและการรดน้ำกลับ โดยงดการให้น้ำหลังจากต้นข้าวมีอายุได้ 2 สัปดาห์ พบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลง 61–78.2% และเมื่อรดน้ำกลับเป็นเวลา 1 สัปดาห์ปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเป็น 65.1–94.1% ขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละสายพันธุ์

Martinez *et al.* (2007) ศึกษาผลกระทบจากสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำในการปรับออสโมติก ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ และปริมาณเซลล์ในถั่ว 6 พันธุ์ คือ Orfeo, Arroz Tuscola, Barvuchio, Coscorr'on, Pinto และ Tortola โดยให้น้ำแก่ต้นถั่วทุกสายพันธุ์เป็นเวลา 7 วัน และงดการให้น้ำเป็นเวลา 21 วัน พบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (RWC) มีค่าลดลง พันธุ์ Orfeo มีค่า RWC ลดลง 15% ซึ่งทนต่อสภาวะการขาดน้ำได้ดีที่สุด และพันธุ์ Arroz Tuscola มีค่า RWC ลดลงมากที่สุดถึง 22% ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ทนต่อสภาวะการขาดน้ำน้อยที่สุด ดังนั้นค่า RWC จึงเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้บ่งบอกความทนทานต่อสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำของพืช

Efeoglu *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวโพด 3 พันธุ์ คือ Doge, Vero และ Luce ในสภาวะการขาดน้ำ โดยงดให้น้ำเป็นเวลา 12 วัน พบว่าใบของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ศักย์ของน้ำในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ลดลง แต่มีปริมาณแอนโทไซยานิน โปรตีนเพิ่มขึ้น เมื่อรดน้ำกลับเป็นเวลา 6 วัน พบว่าปริมาณน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ศักย์ของน้ำในใบเพิ่มขึ้น

Lobato *et al.* (2008) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของถั่วเหลืองในระยะ vegetative phase ภายใต้สภาวะการขาดน้ำ โดยนำต้นถั่วเหลืองอายุ 40 วัน มางดให้น้ำ 0, 2, 4 และ 6 วัน พบว่าค่าศักย์ของน้ำในใบมีค่าลดลงเมื่อจำนวนวันงดให้น้ำเพิ่มขึ้น ขณะที่โปรตีนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

Zhou *et al.* (2011) ศึกษาผลรวมของการสะสมไนโตรเจน และสภาวะการความเครียดการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโต และการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชทะเลทราย 2 พันธุ์ คือ *Malcolmia africana* (L.) R. Br. และ *Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntz พบว่าน้ำหนักสดของราก จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดต่อต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์ และโปรตีนลดลง ซึ่งตรงข้ามกับสภาวะที่พืชได้รับไนโตรเจน