



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชไร่นา	พืชไร่นา
สาขา	ภาควิชา

เรื่อง การจำแนกความแตกต่างทางพันธุกรรมต่อการทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว
จากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน

Determination of Genetic Variation in Drought and Heat Tolerance by
Cellular Membrane Thermostability in *Vigna* spp.

นามผู้วิจัย นางสาวสิรินรี บุกบุญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์วิจิตร ใจอารีย์, Dr.rer.agr.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์รังสฤษดิ์ กาวิตะ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์มาลี ณ นคร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์รังสฤษดิ์ กาวิตะ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำแนกความแตกต่างทางพันธุกรรมต่อการทนแล้งและร้อน
ของถั่วเขียวจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน

Determination of Genetic Variation in Drought and Heat Tolerance
by Cellular Membrane Thermostability in *Vigna* spp.

โดย

นางสาวสิรินรี นุกบุญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2551

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.วิศิษฐ์ ใจอารีย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ รังสฤษดิ์ กาวิตะ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่ได้ช่วยแนะนำการทำงานวิจัยและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์มาลี ณ นคร กรรมการที่ปรึกษาวิชารองที่ช่วยแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ปริยานุช จุลกะ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลอง ขอขอบคุณพี่วริทธิ์ พี่สนั่น พี่บี พี่เป็ก ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้าน รวมถึงพี่ๆ ที่ทำงานภายในศูนย์วิจัยฯ ทุกคน ที่ช่วยทั้งร่างกายและแรงใจ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ อำนวย บุกบุญ คุณแม่ สมัย บุกบุญ ที่คอยเป็นแรงใจสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาฯ ทุกคนที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

สิรินรี บุกบุญ

มิถุนายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	16
อุปกรณ์	16
วิธีการ	17
ผลและวิจารณ์	23
สรุปผลการทดลอง	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ภาคผนวก	59
ประวัติการศึกษา	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ต่างกัน 5 ระดับ ของถั่วเขียว 3 สายพันธุ์	23
2	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า จากการทดสอบความทนแล้งและร้อน 5 วิธีการของถั่วเขียวที่มีค่าสูงและต่ำกลุ่มละ 15 สายพันธุ์ จากการทดสอบทั้งหมด 100 สายพันธุ์	26
3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเซลล์เมมเบรนต่อความทนแล้งและร้อนระหว่าง 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกถั่วเขียวทนแล้งและร้อนจำนวน 100 สายพันธุ์	27
4	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความทนแล้งและร้อนจาก 5 วิธีการ ที่ใช้ทดสอบความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว 30 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างใ้หน้าและงคใ้หน้า	29
5	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า จากการทดสอบความทนแล้งและร้อน 5 วิธีการในถั่วเขียวพันธุ์ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อน 30 สายพันธุ์	30
6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า ของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกถั่วเขียวทนแล้งและร้อน จำนวน 30 สายพันธุ์	32
7	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความทนแล้งและร้อนจาก 5 วิธีการ ที่ใช้ในการทดสอบความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียวในกลุ่มสายพันธุ์ที่ทนทานและอ่อนแอ	34
8	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า ของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกถั่วเขียวทนแล้งและร้อน จำนวน 6 สายพันธุ์	35
9	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ ใ้หน้า จากการทดสอบความทนแล้งและร้อน 5 วิธีการ ของถั่วเขียวจากการทดลองที่1-3	39
10	ค่าเฉลี่ยของผลผลิตต่อต้นถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ใ้หน้าและงคใ้หน้าและเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า	42
11	ค่าเฉลี่ยของความสูงถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ใ้หน้าและงคใ้หน้าและเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า	43
12	ค่าเฉลี่ยของจำนวนฝักต่อต้นถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ใ้หน้าและงคใ้หน้าและเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
13 ค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดต่อฝักถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำและงดให้น้ำ และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำ	45
14 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก 100 เมล็ดของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ในกลุ่มที่ให้น้ำและงดให้น้ำ และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำ	46
15 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ	47
16 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่งดให้น้ำ	48
17 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำ ของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเขียว 6 สายพันธุ์	49
ตารางผนวกที่	
1 สภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนประจำปี 2548	60
2 สภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนประจำปี 2549	61
3 สภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนประจำปี 2550	62

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สมการการเกิดปฏิกิริยาของ triphenyl tetrazolium chloride	15
2 ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ต่างกัน 5 ระดับของถั่วเขียว 3 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำปกติ	24
3 ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ต่างกัน 5 ระดับของถั่วเขียว 3 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่งดให้น้ำ	24
4 เปอร์เซ็นต์ความทนแล้งและร้อนของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกลักษณะความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว 100 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ	25
5 เปอร์เซ็นต์ความทนแล้งและร้อนของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกลักษณะความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว 30 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ	29
6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความทนแล้งและร้อนของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกลักษณะความทนแล้ง และร้อน เปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการให้น้ำ 4 ระดับ ของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์	33
7 เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ	36
8 เปอร์เซ็นต์ปฏิกิริยาของ TTC ต่อความทนร้อนของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ	37
9 เปอร์เซ็นต์ปฏิกิริยาของ TTC ต่อความทนแล้งถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ	37
10 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเซลล์เมมเบรนต่อความทนร้อนของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ	38
11 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเซลล์เมมเบรนต่อความทนแล้งของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ	38
12 ผลผลิตของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ	42
13 ความสูงต้นของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ	43
14 จำนวนฝักต่อต้นของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ	44
15 จำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ	45
16 น้ำหนัก 100 เมล็ดของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ	46

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CMT = Cell membrane thermostability

RWC = Relative water content

TTC = Triphenyl tetrazolium chloride

PEG = Polyethylene glycol

การจำแนกความแตกต่างทางพันธุกรรมต่อการทนแล้งและร้อน
ของถั่วเขียวจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน

**Determination of Genetic Variation in Drought and Heat Tolerance by Cellular
Membrane Thermostability in *Vigna* spp.**

คำนำ

ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยปลูกเป็นพืชหลักและพืชหมุนเวียนในระบบการปลูกพืช เนื่องจากเป็นพืชที่มีอายุสั้น เก็บเกี่ยวผลผลิตได้เมื่ออายุเพียง 65-80 วัน นอกจากนี้ใช้เมล็ดเป็นแหล่งอาหาร โปรตีนที่ย่อยง่ายแล้ว ยังสามารถปลูกเป็นพืชบำรุงดิน และพืชอาหารสัตว์ได้ด้วย แต่การปลูกถั่วเขียวบางครั้งประสบปัญหาจากความแห้งแล้ง เนื่องจากขาดความชื้นในดินและอากาศ อุณหภูมิสูง เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลผลิตถั่วเขียวของไทยยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ 120-130 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549) ดังนั้นในการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเขียว ให้มีลักษณะที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (stress environment) ได้แก่ ทนต่อสภาพแล้ง (drought tolerance) ทนต่อความร้อน (heat tolerance) อาจช่วยลดการสูญเสียของผลผลิตจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวได้

ในการปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีความทนทานต่อสภาพแล้งและร้อนนั้น มีรายงานว่าประสบความสำเร็จใน ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ถั่วเหลือง และถั่วลิสง โดยแยกความทนทานต่อสภาพแล้งและร้อน โดยอาศัยคุณสมบัติของเซลล์เมมเบรน จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารอิเล็กโทรไลต์ที่รั่วไหลออกมาจากเซลล์ (electrolyte leakage conductivity: EC) ซึ่งในพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ จะมีค่า EC ที่แตกต่างกัน จากค่า EC ที่วัดได้ สามารถนำไปคำนวณหาเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (cell membrane thermostability: CMT) และจัดระดับของพืชได้ออกเป็นกลุ่มที่ทนทาน (tolerance) และอ่อนแอ (susceptible) ซึ่งวิธีการคัดแยก (screening) จากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรนนี้ อาจสามารถช่วยคัดขั้นต้นในการคัดแยกและคัดเลือกสายพันธุ์พืช และลดขั้นตอนในโปรแกรม การปรับปรุงพันธุ์พืชได้

วัตถุประสงค์

1. จำแนกลักษณะความแตกต่างทางพันธุกรรมของถั่วเขียวที่ทนแล้งและร้อน โดยอาศัยคุณสมบัติความคงตัวของเซลล์เมมเบรน (cellular membrane thermostability)
2. ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมต่อการคัดเลือกถั่วเขียวที่ทนแล้งและร้อน
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว

การตรวจเอกสาร

ถั่วเขียว

ถั่วเขียว จัดอยู่ในสกุล *Vigna* ซึ่งพืชในสกุล *Vigna* มีทั้งสิ้น 7 subgenus มีถิ่นกำเนิด อยู่ใน 3 ทวีป ได้แก่ ทวีปเอเชีย แอฟริกา และอเมริกา โดยถั่วในสกุล *Vigna* ที่มีความสำคัญประกอบด้วย ถั่วเขียวผิวมัน (*V. radiata*) ถั่วเขียวผิวดำ (*V. mungo*) ถั่วนี้้วนางแดง (*V. umbellata*) ถั่วอัคสุกิ (adzuki bean; *V. angularis*) และถั่วมอท (moth bean; *V. aconitifolia*) โดย 3 ชนิดแรก มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยมากที่สุด (พีระศักดิ์, 2542) ถั่วเขียว ที่ปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย มี 2 ชนิดด้วยกัน คือ ถั่วเขียวผิวมัน มีชื่อสามัญว่า mungbean และ ถั่วเขียวผิวดำ มีชื่อสามัญว่า black gram ถั่วเขียวทั้ง 2 ชนิด มีความสัมพันธ์ใกล้ชิด Rue (1929) รายงานว่าถั่วเขียวผิวมันและผิวดำ มีจำนวน โครโมโซม $2n=24$ Poehlman and Borthakur (1969) รายงานว่าจำนวน โครโมโซมของถั่วเขียวเป็นได้ทั้ง $2n=22$ และ 24

ถั่วเขียวเป็นพืชเขตร้อน (tropic) และกึ่งร้อน (sub-tropic) ปลูกได้ตั้งแต่ที่ระดับละติจูด 30 องศาเหนือ ถึง 30 องศาใต้ ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 20-40 องศาเซลเซียส เป็นพืชที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำ โดยอุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature) ของถั่วเขียวอยู่ที่ระดับ 15 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่ ถั่วเขียวเจริญได้อยู่ที่ระดับ 20-22 องศาเซลเซียส (Poehlman, 1978) อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส ถั่วเขียวจะแสดงอาการแคระแกร็นถ้าได้รับอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 18 องศาเซลเซียส ถ้าระดับอุณหภูมิสูงกว่า 28 องศาเซลเซียส จะทำให้การหายใจเพิ่มขึ้น ลดกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตช้าลง ถั่วเขียวที่ได้รับอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจะออกดอกเร็ว แต่อาจทำให้ดอกร่วงได้ ถ้าสภาพอื่นๆ ไม่เหมาะสม เช่น สภาพที่บรรยากาศมีความชื้นต่ำ และอุณหภูมิสูง (Aggarwal and Poehlman, 1977)

ความยาวช่วงแสง มีอิทธิพลต่ออายุการออกดอกของถั่วเขียว แต่ถั่วเขียวพันธุ์ต่างๆ จะตอบสนอง ต่อช่วงแสงแตกต่างกัน โดยทั่วไป ถั่วเขียวต้องการช่วงแสงประมาณ 12-13 ชั่วโมง Mackenzie *et al.* (1975) ได้ศึกษาถั่วเขียว 1,602 สายพันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง แต่ Aggarwal and Poehlman (1977) รายงานว่า ถั่วเขียวเป็นพืชวันสั้น Rachie and Roberts (1974) รายงานว่าสามารถแยก ถั่วเขียวออกเป็นพวกวันสั้น และพวกไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง AVRDC (1983) รายงานว่าสายพันธุ์ถั่วเขียวเกือบทั้งหมดที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ที่ AVRDC ได้ เปลี่ยนเป็นพวกไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง

การบานของดอกและการผสมเกสร ดอกถั่วเขียวเป็นแบบ papilionaceous ดอกเกิดเป็นช่อแบบ condensed raceme ดอกย่อยช่อละ 10-25 ดอก ก้านดอกยาวประมาณ 2-15 เซนติเมตร เกสรตัวผู้มี 10 อัน โดย 9 อันจะอยู่ติดกัน และอีก 1 อันแยกเป็นอิสระ ถั่วเขียวเป็นพืชผสมตัวเอง แต่โดยธรรมชาติจะเกิดการผสมข้ามได้ประมาณ 2-13 เปอร์เซ็นต์ (Empig *et al.*, 1970) การผสมเกสรเกิดในเวลากลางวัน โดยเริ่มประมาณ 21.00-22.00 น. และจะสมบูรณ์ประมาณตอนเที่ยงคืน (Bose, 1939) ดอกจะบานในเช้าวันถัดมาเวลาประมาณ 6.30 น. ในฤดูร้อน และ 8.30 น. ในฤดูหนาว (Sen and Ghosh, 1959) ดอกจะบานอยู่จนถึงบ่าย และเริ่มโรยเมื่อเวลาประมาณ 14.00-16.00 น. โดยทั่วไปการร่วงของดอกถั่วเขียวจะเกิดขึ้นเสมอโดยอาจร่วงได้ร้อยละ 45-60 ของดอกทั้งหมด

Singh and Malhotra (1975) รายงานว่า การผสมข้ามโดยมนุษย์ สามารถทำได้โดยการดึงเกสรตัวผู้ออก (emasculation) ในตอนเย็นเวลาประมาณ 16.00-18.30 น. และทำการผสมในวันรุ่งขึ้น เวลาประมาณ 8.00-10.00 น. ซึ่ง 60 เปอร์เซ็นต์ ของฝักที่ติดจะติดเมล็ดเฉลี่ย 6 เมล็ดต่อฝัก (Park and Yang, 1978)

ความทนทานต่อสภาวะแห้งแล้ง (drought tolerance)

ภาวะเครียดในพืชที่เกิดจากความแห้งแล้งอาจมาจากหลายสาเหตุ เช่น ปริมาณน้ำในดินน้อยเกินไป อัตราการระเหยของน้ำสูง สภาพอากาศที่แห้ง ปริมาณน้ำฝนน้อย สภาพดินเค็ม หรือน้ำในดินกลายเป็นน้ำแข็งซึ่งเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในเขตหนาว ซึ่งล้วนแล้วแต่ทำให้พืชอยู่ในภาวะที่ขาดน้ำทั้งสิ้น โดยทั่วไปสาเหตุของความแห้งแล้งมักเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่น้อยเกินไป ร่วมกับการเกิดอัตราการระเหยของน้ำที่สูง ดังนั้นในสภาวะที่พืชขาดน้ำย่อมจะมีความผิดปกติต่างๆ เกิดขึ้น เช่น แรงดันเต่งภายในเซลล์ลดลงทำให้เกิดปรากฏการณ์ plasmolysis ขึ้น และพืชจะแสดงอาการเหี่ยว ในทางสรีรวิทยาพบว่า ขณะที่เกิดภาวะขาดน้ำ เมื่อแรงดันเต่งลดลง พืชจะพยายามหาทางรักษาภาวะสมดุลเอาไว้ การทนแล้ง (drought tolerance) เป็นความสามารถของพืชที่จะมีชีวิตอยู่รอดได้เมื่อประสบกับสภาพแล้ง กลไกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ การสร้างสารประกอบไนโตรเจนและคาร์โบไฮเดรต ที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้นในเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาลเพื่อลดค่าศักย์ภายในเซลล์ และทำให้เกิดการออสโมซิสของน้ำกลับเข้ามาในเซลล์ให้มากขึ้นเพื่อชะลอการไม่ให้แรงดันเต่งลดลง ทำให้เซลล์รักษาสภาพเอาไว้ได้ (ชุมพล, 2549)

ความต้านทานต่อสภาพแล้ง (drought resistance) ของพืช

ความต้านทานต่อสภาพแล้งแล้ง เป็นลักษณะที่ต้นพืชสามารถปรับตัวเข้ากับสภาวะที่เกิดการขาดน้ำ ซึ่งความสามารถต้านทานแล้ง แบ่งออกได้เป็น 4 แบบ (O' Toole and Chang 1978; ซัยฤกษ์, 2523; Levit, 1972) ได้แก่

1. การหนีแล้ง (drought escape)

1.1 การพัฒนาอย่างรวดเร็ว (rapid phenological development) เป็นความสามารถของพืชที่ทำให้พืชเจริญครบวงจรได้รวดเร็วขึ้น เมื่อพืชได้รับผลกระทบจากสภาวะขาดน้ำ

1.2 การขยายเวลาช่วงออกดอกติดผล (plasticity) เป็นความสามารถของพืชในการขยายระยะเวลาของการออกดอกออกไปได้เมื่อพืชได้รับน้ำ หรือมีฝนตกภายหลังจากผ่านช่วงแล้ง คือทำให้พืชฟื้นตัวและออกดอกให้ผลผลิตได้ คุณสมบัตินี้เป็นประโยชน์กับพืชที่มีการเจริญแบบ indeterminate เช่น พืชตระกูลถั่ว

2. การเลี่ยงแล้ง (drought avoidance) เป็นลักษณะของพืชที่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ ด้วยการลด ความสูญเสียภายในต้นพืช เมื่อประสบกับสภาวะความแห้งแล้ง ด้วยกลไกต่างๆ เช่น การม้วนของใบ การควบคุมการปิดปากใบให้เร็วขึ้น การมีไข (wax) เคลือบใบ เป็นต้น

3. การทนแล้ง (drought tolerance)

3.1 การทนแล้งโดยการลดศักย์ของน้ำ

3.1.1 รักษาความเต่งของเซลล์ กลไกหลักคือ osmotic adjustment คือการสะสมของ solute ในสภาวะขาดน้ำ ดังนั้นทำให้ค่า osmotic potential สูงขึ้น ทำให้ค่า turgor pressure เพิ่มขึ้นด้วย

3.1.2 ความทนทานต่อการสูญเสียน้ำ คือ สภาพที่พืชทนต่อสภาพแห้ง (desiccation) คือ พืชจะตายในสภาพที่น้ำในพืชลดต่ำลงมาก หรือเรียกว่า low lethal water status

3.2 การทนแล้งโดยการรักษาศักยภาพของน้ำ ความสามารถนี้เกี่ยวข้องกับกลไกที่ลดการสูญเสียน้ำและรักษาระดับในการดูดน้ำ คือ

3.2.1 ลดการสูญเสียน้ำ โดยการปิดปากใบ การม้วนใบ การสะท้อนของใบ และการลดพื้นที่ใบ

3.2.2 รักษาอัตราการดูดน้ำ เกี่ยวข้องกับการเจริญของรากที่เพิ่มขึ้นเมื่อการเจริญทางยอดลดลง รากพืชที่ยังเล็กและแพร่กระจายได้ดี ช่วยให้พืชสามารถดูดน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การฟื้นตัวจากแล้ง (drought recovery) เป็นลักษณะที่ต้นพืชสามารถฟื้นตัวใหม่หลังจากประสบภาวะแห้งแล้ง ซึ่งอาจทำให้ส่วนใดส่วนหนึ่งเหี่ยวแห้งไป และเมื่อได้รับน้ำใหม่ก็สามารถฟื้นตัวได้แตกกิ่งแตกหน่อใหม่ และเจริญเติบโตไปได้

drought avoidance และ drought tolerance เป็นความต้านทานแล้งที่แท้จริง และถ้าสามารถปรับปรุงให้มีลักษณะทั้งสองก็จะทำให้มีความต้านทานแล้งสูงด้วย (Levitt, 1972)

ผลกระทบของการขาดน้ำที่มีต่อพืช

การขาดน้ำมีผลกระทบต่อพืชดังนี้ (เฉลิมพล, 2542)

1. การเจริญเติบโตของพืช การขาดน้ำในดินของพืชจะทำให้ขนาดของต้นพืชลดลง เนื่องจากการขาดน้ำมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำภายในพืช และทำให้ความเต่งของเซลล์ลดลง ความเต่งของเซลล์มีความสำคัญต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช ทั้งทางด้านกายภาพ สันฐานวิทยา สรีรวิทยา และชีวเคมี การขาดน้ำมีอิทธิพลซับซ้อนต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ทำให้ปากใบของพืชปิด ดังนั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพืชกับอากาศจึงหยุดลง ซึ่งส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายอาหารลดลง ทำให้การเจริญเติบโตลดลง

การขาดน้ำนอกจากจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลงแล้ว ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของต้นพืชด้วย เช่น ขนาดของเซลล์ ปริมาณช่องว่างระหว่างเซลล์ ปริมาณสารเคลือบผิวใบ (cutin) ความหนาแน่นของเส้นใบ พื้นที่ใบ ความถี่ในการปิดเปิดปากใบ

2. ผลผลิตพืช ปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลผลิตของพืชคือ ช่วงเวลาการขาดน้ำ นักวิทยาศาสตร์หลายท่าน พบว่าการขาดน้ำในช่วงใดช่วงหนึ่งของการเจริญเติบโต มีผลทำให้ผลผลิตแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะใช้น้ำเท่ากันก็ตาม โดยพืชขาดน้ำในระยะออกดอก ส่งผลให้ผลผลิตของพืชลดลงมากที่สุด

สภาวะขาดน้ำ (water deficit) คือ สภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืช เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในพืชลดลงจนมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช ซึ่งการตอบสนองที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการขาดน้ำและช่วงเวลาของการขาดน้ำ (สายัณห์, 2537) ใน สภาพที่อุณหภูมิของอากาศไม่สูงเกินไป ปริมาณน้ำที่พืชดูดขึ้นมา และถูกปล่อยออกจากใบโดยกระบวนการหายใจและการคายน้ำจะสมดุล แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การสูญเสียน้ำทางปากใบจะสูงขึ้น อัตราการหายใจจะสูงขึ้นจนทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงผิดปกติไป ผลจากการขาดน้ำและอุณหภูมิอากาศสูงเกินไป จะทำให้น้ำที่พืชดูดขึ้นมาจากดินไม่เพียงพอที่จะใช้ในกระบวนการต่างๆ ที่มีความจำเป็น ต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชเกิดอาการเหี่ยว (wilt) การสร้างอาหารเป็นไปได้ไม่เต็มที่ การเจริญเติบโตชะงัก และหากประสบสภาพเช่นนี้เป็นเวลานานก็จะแห้งตายได้ในที่สุด (นพพร, 2543)

ความแห้งแล้ง เป็นปัจจัยสำคัญต่อผลผลิตพืชที่ปลูกในเขตร้อนชื้น พืชตระกูลถั่วเป็นพืชไร่ที่ได้รับผลกระทบอย่างมาก ถ้าปลูกก่อนฤดูทำนาข้าว มักประสบปัญหาของสภาวะแล้งในช่วงที่มีการเจริญทางต้นและใบ ถ้าปลูกหลังฤดูทำนาข้าวภายใต้สภาพที่พืชมีการใช้น้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้พืชเกิดการขาดน้ำในช่วงเจริญพันธุ์ เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชอาศัยเพียงความชื้นที่สะสมอยู่ในดินเท่านั้น ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และถั่วพุ่ม มักประสบปัญหาจากสภาวะแล้งที่ทำให้ผลผลิตตกต่ำ เนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณและการกระจายตัวของฝนที่ไม่แน่นอน (สายัณห์, 2537)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่มีผลกระทบต่อผลผลิตเมื่อขาดน้ำ

Boyer (1982) กล่าวว่า ผลกระทบที่สำคัญที่สุดของการขาดน้ำต่อพืชคือ การลดลงของการเจริญเติบโต การขาดน้ำใน 2 ช่วง จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตอย่างรุนแรงคือ ในช่วงเริ่มต้นการเจริญเติบโตและช่วงการติดเมล็ดของพืช การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่มีผลกระทบต่อผลผลิตเมื่อขาดน้ำ ได้แก่

1. กระบวนการสังเคราะห์แสง การปิดปากใบทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง เมื่อพืชขาดน้ำปากใบจะถูกปิดเพื่อเป็นการลดการคายน้ำ แต่เมื่อปากใบปิดพืชก็ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนของ O_2 กับ CO_2 ทำให้พืชไม่ได้รับ CO_2 ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงของพืช ลดลง (Farquahar *et al.*, 1982)

2. การปรับแรงดันออสโมติก (osmotic adjustment) การลดลงของความดันเต่งในเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโต การดูดน้ำในพืชจะถูกขับเคลื่อนโดยความแตกต่างของ water potential จากรากไปสู่ส่วนเนื้อเยื่อที่เจริญเติบโตอื่นๆ water potential จะสูงสุดที่ราก (ส่วนเนื้อเยื่อเจริญจะมี water potential ต่ำที่สุด) น้ำเข้าไปสู่เซลล์ที่กำลังเจริญเติบโต ทำให้เซลล์เกิดแรงดันเต่ง มีผลให้ผนังเซลล์ขยายขนาด เมื่อเกิดความเครียดจากการขาดน้ำก็จะเพิ่มความแตกต่างของ water potential ที่เนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโตและแหล่งที่ส่งน้ำมา ในท้ายที่สุดจะถึงระดับหนึ่งซึ่งไม่เพียงพอที่จะรักษาการเจริญเติบโตไว้ได้ พืชต้องการน้ำมากขณะที่แหล่งน้ำน้อยลง ทำให้น้ำไม่เพียงพอ พืชสามารถจัดการกับการขาดน้ำของเนื้อเยื่อ โดยการปรับ osmotic potential ในแต่ละจุดซึ่งกระบวนการนี้เกิดจากการสะสมสารละลายในเซลล์ ซึ่งจะทำการค่า osmotic potential ต่ำลง และช่วยรักษาความเต่งของทั้งยอดและรากในขณะที่เกิดการขาดน้ำ (Ludlow and Muchow, 1990)

3. การสังเคราะห์โปรตีน การลดลงของการสังเคราะห์โปรตีนในเนื้อเยื่อภายใต้สภาพการขาดน้ำ โดยการสังเคราะห์โปรตีนจะเกิดขึ้นพร้อมกับการแตกสลายของ polysome ในสภาพที่ขาดน้ำ มากขึ้น การแตกสลายของ polysome จะลดลง โดยเฉพาะในเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่วนเนื้อเยื่อที่มีอายุมากกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของ polysome น้อย อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์โปรตีน อาจเกี่ยวข้องกับระยะหลังของการเจริญเติบโต เนื่องจากการสังเคราะห์โปรตีนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตที่มีออกซิเจนเป็นตัวกระตุ้น การไม่รวมตัวกันของพวก polysome พบมาก ในส่วนของเนื้อเยื่อที่เจริญเติบโตได้เร็ว และในส่วนของเนื้อเยื่อที่แก่จะไม่ค่อยพบความเปลี่ยนแปลงของ polysome มากนัก (Nguyen and Joshi, 1992)

4. ฮอโมนพืช พบว่ามีฮอโมนหลายตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ภายใต้สภาวะขาดน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช คือ

4.1 IAA (indoleacetic acid) สภาวะขาดน้ำทำให้การแพร่กระจายของ IAA ในพืชลดลง ดังนั้นมีผลทำให้เกิดการแก่และร่วงของใบซึ่งส่งผลให้พื้นที่ใบลดลง

4.2 ABA (abscisic acid) มีบทบาทสำคัญต่อพืชในสภาวะขาดน้ำ คือช่วยให้พืชมีความต้านทานต่อสภาพขาดน้ำ เพราะมีผลทำให้มีการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำของพืช ABA มีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในราก และเพิ่มแรงดันเต่งของ root tip ลดการยืดตัวในส่วนของต้น เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ ยับยั้งความสามารถในการสังเคราะห์แสง (Nguyen and Joshi, 1992)

4.3 CK (cytokinins) ช่วยชะลอการแก่และร่วงของใบ แต่เมื่อพืชขาดน้ำจะมีผลทำให้การสร้าง CK จากรากมีปริมาณลดลง ซึ่งจะมีผลต่อการปิดของปากใบ เพราะการปิดเปิดของปากใบขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ ABA/CK เมื่ออัตราส่วนนี้มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้มีการปิดของปากใบ

4.4 Ethylene พบว่าสภาวะขาดน้ำของพืชมีผลชักนำให้เกิดการสังเคราะห์ ethylene ซึ่งทำให้เกิดการแก่และร่วงของใบเร็วขึ้น

4.5 GA (gibberellins) พบว่าสภาวะขาดน้ำของพืชมีผลทำให้ปฏิกิริยาของ GA ในใบพืชลดลง

ฮอร์โมนพืชเหล่านี้มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ในสภาวะขาดน้ำ คือ ABA และ ethylene จะถูกสังเคราะห์มากขึ้นในสภาวะขาดน้ำ แต่ในทางตรงกันข้าม IAA, CK และ GA มีแนวโน้มลดลงในสภาวะขาดน้ำ

การปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานแล้ง

ในการปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานแล้ง จะปรับปรุงความสามารถในการต้านทานแล้ง 3 แบบ (Chang *et al.*, 1982) คือ

1. การหนีแล้ง เป็นการคัดเลือกพืชที่มีอายุการสุกแก่สั้นลง เพื่อลดปริมาณการสูญเสียน้ำจากการคายระเหย (evapotranspiration) หรือเพื่อให้พืชติดดอกออกผลก่อนที่จะเกิดการกระทบแล้ง

2. การเลี้ยงแล้ง เป็นการคัดเลือกเซลล์ที่สามารถรักษาความเต่งของเซลล์ไว้ได้ในสภาวะขาดน้ำ หรือเซลล์ที่สามารถปรับแรงดันออสโมติกได้ Ludlow and Muchow (1990) พบว่าการปรับแรงดันออสโมติก เกิดจากการสะสมสารต่างๆ ภายในเซลล์ ทำให้แรงดันออสโมติกต่ำลง ช่วยรักษา

ความเต่งของเซลล์ราก และยอดพืชที่ประสบภาวะขาดน้ำ ซึ่งการปรับแรงดันออสโมติกนี้จะทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ เช่น การปิดเปิดของปากใบ และการยืดยาวของยอด ฯลฯ ลักษณะของการปรับแรงดันออสโมติก และลักษณะความจุของการปรับแรงดันออสโมติก (capacity to adjust) เมื่อพืชอยู่ในสภาวะขาดน้ำ สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้

มีการค้นพบยีนที่ควบคุมลักษณะการปรับแรงดันออสโมติกในพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ฝ้าย ข้าว เป็นต้น ในข้าวสาลีมีการค้นพบว่ามียีนด้อยเพียง 1 คู่ หรือน้อยคู่ ที่ควบคุมลักษณะการปรับแรงดันออสโมติกอยู่ (Ludlow and Muchow, 1990) ส่วนในข้าวพบว่า การปรับแรงดันออสโมติกถูกควบคุมด้วยยีนน้อยคู่ (oligogenic) (Fukai and Cooper, 1994)

3. การทนแล้ง เป็นการคัดเลือกพืชที่มีความทนทานต่อการสูญเสียน้ำ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากเซลล์เมมเบรน (cell membrane) เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมันให้ต้านทานการสูญเสียน้ำจากเซลล์ โดยในพืชแต่ละชนิดหรือแต่ละพันธุ์ จะมีระดับความทนทานต่อการสูญเสียน้ำแตกต่างกัน (Blum, 1982)

ระดับความทนทานต่อสภาพแล้งของเนื้อเยื่อพืช

ระดับความทนทานต่อสภาพแล้งของเนื้อเยื่อพืช (tissue drought tolerance) มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของกระบวนการทางสรีรวิทยา ในพันธุ์ที่ต้านทานและอ่อนแอ (Blum, 1979) Beweley (1979) ได้รายงานถึงความสำคัญของเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (cell membrane stability) เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการขาดน้ำว่าเป็นกลไกที่สำคัญของการทนทานความแห้งแล้ง โดยพบว่าอัตราของความเสียหายหรือการเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน วัดได้จากความสามารถในการนำไฟฟ้าด้วย electrical conductivity meter

เซลล์เมมเบรนประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ คือ ไขมันและโปรตีน ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของสารละลายหรือไอออนต่างๆ เมื่อเซลล์เมมเบรนเสถียรภาพจากการขาดน้ำหรือได้รับอุณหภูมิสูง เซลล์เมมเบรนจะสูญเสยสภาพการกักเก็บสารต่างๆ ส่งผลให้สารอิเล็กโทรไลต์เหล่านั้น เช่น กรดอะมิโน น้ำตาลโปรตีน และสารอินทรีย์อื่นๆ รั่วไหลออกมาจากเซลล์ การตรวจสอบโดยวิธีนำไฟฟ้า เป็นการวัดปริมาณสารที่รั่วไหลออกมาจากเซลล์ (electrolyte leakage conductivity)

(Martineau *et al.*, 1979) ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบการเสื่อมสภาพของเมล็ด โดยนำเมล็ดไปแช่น้ำ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการแช่เมล็ดพืชที่เสื่อมสภาพจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูง (จวงจันทร, 2529)

เทคนิคการคัดเลือกพืชทนแล้งโดยใช้ polyethylene glycol (PEG)

การทดสอบและคัดเลือกพันธุ์พืชทนแล้งในระดับเซลล์ สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารละลาย PEG เป็นตัวควบคุมให้พืชอยู่ในสภาวะเครียดในระดับต่างๆ ตามที่ต้องการได้ การศึกษาในข้าวโพด (Ratanadilok and Hussain, 1980) ข้าวสาลี (Blum *et al.*, 1980) PEG มีชื่อทางการค้าว่า Carbowaxes มีสูตรโครงสร้าง $\text{HOCH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$ มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ตั้งแต่ 300-20,000 (Jackson, 1962) เป็นสารที่มีพิษต่อคนและสัตว์น้อยมาก (Smyth *et al.*, 1955) PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 6000 นั้น ไม่สามารถซึมผ่านเมมเบรนได้ สารละลาย PEG6000 ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีผลทำให้ osmotic potential ลดลงทำให้พืชได้รับสภาวะเครียด จากที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 5% ระดับ osmotic potential อยู่ที่ -0.5 MPa และเพิ่มความเข้มข้นเป็น 45% ทำให้ osmotic potential ลดลง ถึง -1.76 MPa (Michel and Kaufmann, 1973) PEG สามารถชักนำให้พืชเกิดการขาดน้ำ (water deficit) ในการคัดเลือกพันธุ์พืชทนแล้ง สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยการเพาะเลี้ยงเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ในอาหารเพาะเลี้ยง ที่เติมสาร osmoticum บางชนิด เช่น polyethylene glycol (PEG) mannitol และ glucose เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้ จะทำหน้าที่ลด osmotic potential ของสารละลายอาหารที่อยู่รอบๆ เซลล์หรือกลุ่มเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการขาดน้ำ (Bressan *et al.*, 1981)

ตัวอย่างการศึกษา Masyhudi and Ambarwati (1993) คัดเลือกพันธุ์ข้าวทนแล้งโดยใช้ PEG เป็น selective agent และได้คัดเลือกโดยใช้ข้าว indica พันธุ์ IR36, IR64, Kapuas, Sentain และข้าว javanica พันธุ์ Pandanwangi และ Rojolele มาเลี้ยงในสูตร LS medium ที่ชักนำให้เกิดแคลลัส เติม 2,4-D 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ kinitin 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้แคลลัสแล้วนำมาคัดเลือกการทนแล้งในสภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยย้ายลงอาหารชักนำให้เกิดต้นสูตร LS medium ที่เติม BAP 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ PEG ที่ระดับ 0, 10, 20, 40 และ 80 กรัมต่อลิตร พบว่าพันธุ์ Sentain เป็นพันธุ์ที่สามารถทนต่อ PEG ได้สูงสุด

ประภา (2538) ได้ทำการคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนทานต่อสภาพแล้งโดยใช้สารละลาย PEG พบว่าแคลลัสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม PEG 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการรอดชีวิต (70.1%) สูงกว่า แคลลัสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติม PEG (67.9 %) และเมื่อความเข้มข้นของ PEG มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราการรอดชีวิตจะลดลง และตายหมดเมื่อความเข้มข้น PEG เพิ่มขึ้นเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากคัดเลือกแคลลัสที่รอดชีวิตแล้ว ย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม PEG ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีอัตราการพัฒนาไปเป็นต้นเพียง 1.3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนแคลลัสที่คัดเลือกบนอาหารที่เติม PEG ความเข้มข้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถพัฒนาไปเป็นต้นได้

Blum *et al.* (1980) ได้ศึกษาวิธีการคัดเลือกพันธุ์ข้าวสาธิตทนแล้งในระยะกล้า ด้วย สารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่าข้าวสาธิตสายพันธุ์ต่างๆ มีความสามารถในการงอกได้แตกต่างกัน ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG ในระดับเดียวกัน และในข้าวสาธิตสายพันธุ์เดียวกันเมื่อนำมาทดสอบความแห้งแล้งในระดับความเข้มข้นของสารละลาย PEG ที่ต่างกัน ก็แสดงความ สามารถในการเจริญเติบโต และการมีชีวิตอยู่รอดได้แตกต่างกัน

ความทนทานต่อสภาพร้อน (heat tolerance)

อุณหภูมิที่สูงมากเกินกว่าปกติ จะมีผลกระทบโดยตรงต่อพลังงานอิสระของโมเลกุลของสารต่างๆ พลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างพันธะของโมเลกุล รวมไปถึงลักษณะโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ และความต้องการพลังงานที่จะนำไปใช้ในกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ย่อมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย พืชแต่ละชนิดจะมีระดับความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หากเกิดอย่างค่อยเป็นค่อยไป พืชอาจมีกลไกที่สามารถปรับให้เซลล์หรือโครงสร้างหรือ อวัยวะต่างๆ อยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่เกิดอันตราย แต่หากการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดอย่างเฉียบพลันหรือเกิดขึ้นมากในระดับที่เกินกว่าที่พืชจะสามารถรักษาสมดุลไว้ได้ โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์จะค่อยๆ เสื่อมสภาพหรือถูกทำลายจนกระทั่งเซลล์ตายในที่สุด (ชุมพล, 2549)

ในแต่ละถิ่นอาศัย โดยเฉพาะในเขตร้อน (tropic) ของโลก อุณหภูมิที่สูงขึ้นนอกจากจะเกิดจากแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับแล้ว ยังอาจเกิดจากกระแสลมร้อน (hot air current) ที่พัดผ่านมา ไฟฟ้า รวมไปถึงพลังงานความร้อนจากใต้พิภพ เช่น จากภูเขาไฟ อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจมีผลกระทบต่อระบบการสืบพันธุ์ของพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าว มะเขือเทศ บร็อคโคลี่ คენัว กะหล่ำ กวางตุ้ง และถั่วต่างๆ (Takeda *et al.*, 1999) มีการศึกษาพบว่าหากพืช

ได้รับความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้นมาก ในช่วงระยะที่พืชเริ่มสร้างดอกหรือกำลังติดผล มักจะส่งผลให้ละอองเรณู (pollen) เป็นหมัน หรือมีผลผลิตที่ต่ำลงตามลำดับ (ชุมพล, 2549) Konsens *et al.* (1991) รายงานว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 17 °C ไปเป็น 27 °C มีผลทำให้ผลผลิต ขนาดฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่ว (snap bean) ลดต่ำลง ซึ่งอุณหภูมิที่ทำความเสียหายต่อพืชจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดและพันธุ์พืช หรือขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อพืชที่ได้รับอุณหภูมิสูงนั้นๆ โดยตรง ในพืชเมืองหนาว อุณหภูมิในช่วง 23-25 °C ถือว่าเป็นอุณหภูมิที่อาจเป็นอันตราย (killing temperature) ของพืช และอาจทำให้พืชแสดงอาการผิดปกติได้ (ลิลลี่, 2546)

Aggarwal and Poehlman (1977) รายงานว่า ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 28 °C จะทำให้ถั่วเขียวหายใจเพิ่มขึ้น ลดกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตช้าลง ถั่วเขียวที่ได้รับอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจะออกดอกเร็ว แต่อาจทำให้ดอกร่วงได้ถ้าสภาพอื่นๆ ไม่เหมาะสม เช่น สภาพ ที่บรรยากาศมีความชื้นต่ำ

Dickson (1993) รายงานว่า อุณหภูมิสูงจะทำความเสียหายให้กับบร็อกโคลี่ ในช่วง 3-4 สัปดาห์ก่อนถึงระยะเก็บเกี่ยว ส่วนพันธุ์ลูกผสมสามารถทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ และคุณภาพของผลผลิตไม่ลดลง แต่จะไม่ทนต่อการสุกแก่ที่เร็ว

ระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์และโครงสร้างของโปรตีน และเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ในคลอโรพลาสต์นั้นก็เป็นโครงสร้างที่ไวต่อภาวะความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิที่สูงมาก และมักจะเสียหายไปทำให้ในภาวะที่อุณหภูมิสูงผิดปกติ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบแสงสอง (photosystem II) ในปฏิกิริยาแสง (light reaction) จะหยุดทำงาน (Petkova *et al.*, 2007) ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคัลวินเสียสมดุล (ชุมพล, 2549) เช่นเดียวกัน อุณหภูมิสูงในช่วงที่ใกล้จะเป็นอันตรายต่อพืช (sub-lethal temperature) มีผลต่อการลดปริมาณแป้งและโปรตีนที่พืชสะสมไว้ ดังนั้นการเติบโตและพัฒนาการของพืชซึ่งขึ้นอยู่กับอาหารเหล่านี้จึงชะงักลง อุณหภูมิดังกล่าวนี้จะทำให้พืชสูญเสียเสียน้ำและเกิดสภาวะขาดน้ำ ดังนั้นกลไกความต้านทานต่อการขาดน้ำจึงมักมีผลทำให้เกิดความต้านทานหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ด้วยเช่นกัน การที่อุณหภูมิสูงไปมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียโครงสร้างและการตกตะกอนของโปรตีน เช่นเดียวกันกับการขาดน้ำ ฉะนั้นพืชที่มีคุณสมบัติทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้จึงน่าจะมีกลไกที่สามารถสร้างโปรตีนหรือเอ็นไซม์ที่คงตัว (stable) หรือสร้างได้ทันกับส่วนที่สูญเสียไป (ลิลลี่, 2546)

Weaver *et al.* (1985) รายงานว่า การให้อุณหภูมิสูงกับละอองเกสรในดอก สามารถจำแนกสายพันธุ์ที่อ่อนแอ และทนทานต่อสภาพร้อนได้

Hall (1990) พบว่า ความทนทานต่อสภาพร้อนในระยะการพัฒนาดอกของพืชสกุล *Vigna* ถูกควบคุมด้วยยีนด้อย (recessive gene) และในระยะการพัฒนาละอองเกสรเพศผู้ (anther) ถูกควบคุมด้วยยีนเด่น (dominant gene)

การทดสอบความทนแล้งและร้อนด้วยการวัดค่าการนำไฟฟ้า

Abdelbagi and Anthony (1999) ได้ศึกษาวิธีการคัดแยก (screening) ลักษณะความทนร้อน (heat tolerance) จากอุณหภูมิที่มีผลต่อเสถียรภาพของเมมเบรน (membrane thermostability) ในการเจริญเติบโตของถั่วพุ่มในระยะเจริญพันธุ์ 2 ระยะ คือ ในระยะก่อนออกดอก (early flowering stage) และในระยะ ติดฝัก (pot set) โดยเสถียรภาพของเมมเบรน วัดได้จากความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ ที่รั่วไหลออกมาจากเซลล์ ที่อุณหภูมิ 25 เซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง สามารถจัดกลุ่มของความทนร้อน (heat tolerance) ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สายพันธุ์ที่ทนร้อนทั้งในระยะก่อนออกดอกและระยะติดฝัก สายพันธุ์ที่ทนร้อนในระยะก่อนออกดอก แต่ไม่ทนร้อนในระยะติดฝัก สุดท้ายสายพันธุ์ที่อ่อนแอเมื่อได้รับความร้อนทั้งในระยะออกดอกและติดฝัก พบว่าในกลุ่มแรก คือสายพันธุ์ที่ทนร้อนในระยะก่อน ออกดอก และระยะติดฝัก มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำคือ 31-53% และต่ำกว่าอีก 2 กลุ่ม คือในกลุ่มที่ทนร้อน ในระยะก่อนออกดอกแต่ไม่ทนร้อนในระยะติดฝัก กับสายพันธุ์ที่อ่อนแอเมื่อได้รับความร้อน ทั้งในระยะออกดอกและติดฝัก ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 62-87.5 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองดังกล่าว สามารถแยกลักษณะของความทนทานและอ่อนแอต่อความร้อนได้

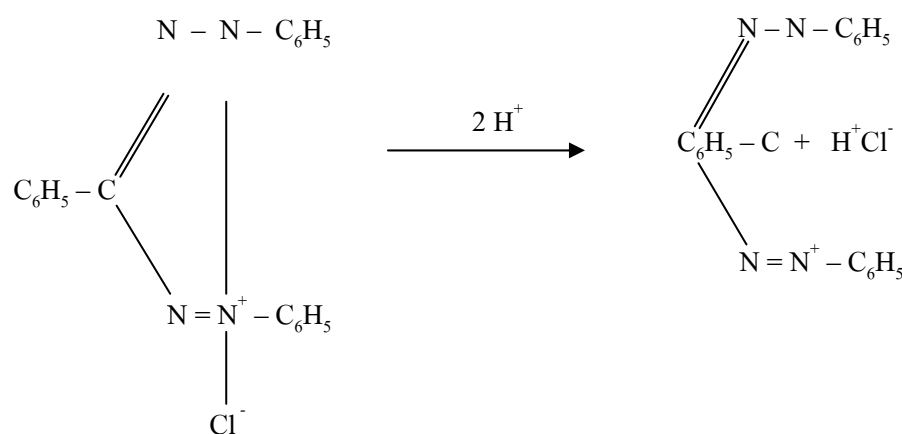
การหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative Water Content: RWC)

วิธีการนี้ใช้หาปริมาณน้ำในพืช ซึ่งสามารถที่จะบอกถึงสภาวะขาดน้ำของเซลล์พืชได้ ในพืชทั่วไปที่ได้รับน้ำอย่างเพียงพอจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ RWC ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพืชที่แสดงการขาดน้ำสังเกตได้จากใบพืชจะแสดงอาการเหี่ยวเฉา (wilting) ซึ่งจะมีเปอร์เซ็นต์ RWC ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ในการวัดปริมาณน้ำในพืช ค่าที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบ คือน้ำหนักที่พืชเต่งตัวเต็มที่ (fully turgid weight; TW) เปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักสด (fresh weight: FW) และน้ำหนักแห้ง (dry weight: DW) ของใบพืช (Barrs and Weatherley, 1962)

การคัดเลือกพืชทนแล้งและร้อนจากการปฏิกิริยาของ Triphenyl tetrazolium chloride (TTC)

เกลือเตตราโซเดียมคลอไรด์ (2,3,5- triphenyl tetrazolium chloride, TTC) เป็นสารที่มีผลสีขาว ถึงเหลืองอ่อน ละลายในน้ำได้สารละลายใสไม่มีสี และสามารถแพร่หรือเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่อได้ทำปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) กับอนุมูลไฮโดรเจน (H^+) สารนี้จะถูกรีดิวซ์ให้เปลี่ยนเป็นสารชื่อฟอร์มามาเซน (formazan) ซึ่งมีสีแดง ไม่ละลายน้ำ และไม่แพร่กระจาย (Towell และ Mazur, 1974)

การทดสอบนี้อาศัยหลักการพื้นฐานทางชีวเคมีจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ dehydrogenase ซึ่งมีอยู่ในเซลล์ที่มีชีวิต เอนไซม์นี้จะเกี่ยวข้องกับการหายใจ และปลดปล่อย H^+ ออกมา เซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ย่อมต้องมีการหายใจอยู่ เมื่อ H^+ ทำปฏิกิริยากับสารละลายเกลือเตตราโซเดียม (2,3,5- triphenyl tetrazolium chloride (TTC) ซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีสีและแพร่กระจายได้ จะเปลี่ยนรูปเป็นสารใหม่คือ ฟอร์มามาเซน (formazan) ที่มีสีแดง ดังนั้นเซลล์ที่มีชีวิตหลังการทำปฏิกิริยากับสารละลายนี้แล้วจะติดสีแดง ในขณะที่เซลล์ที่ไม่มีชีวิตหรือเซลล์ที่ตายแล้ว จะยังคงเป็นสีเขียวหรือไม่ติดสี เราจึงสามารถแยกความมีชีวิตและไม่มีชีวิตออกจากกันได้ และสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถวัดได้โดยสกัดจากใบพืชด้วยแอลกอฮอล์ 95% เซลล์ที่มีชีวิตหลังจากการทำปฏิกิริยากับสาร TTC เมื่อสกัดออกมาแล้วจะมีสีแดง ส่วนเซลล์ที่ไม่มีชีวิตจะได้สีเขียวของคลอโรฟิลล์ จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร (Porter *et al.*, 1994)



2,3,5 – triphenyl tetrazolium chloride

สารละลายที่ไม่มีสี

2,3,5 – triphenyl tetrazolium formazan

ฟอร์มามาเซน (formazan) ที่มีสีแดง

ภาพที่ 1 สมการการเกิดปฏิกิริยาของ triphenyl tetrazolium chloride

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ถั่วเขียวผิวมัน (*Vigna radiate* (L.) Wilzeck.: Mungbean) และถั่วเขียวผิวดำ (*Vigna mungo*: Blackgram) 100 สายพันธุ์ จาก AVRDC- The world vegetable center
2. กระจกพลาสติกเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว
3. ดินปลูก
4. เหล็กเจาะ (Punch) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร
5. หลอดทดลอง (Test tube)
6. ขวดแก้วขนาด 2 ออนซ์
7. ถาดพลาสติกสี่เหลี่ยม
8. สาร polyethylene glycol 6000 (PEG 6000)
9. สาร 2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride (TTC)
10. สาร di-sodium hydrogen orthophosphate (Na_2HPO_4)
11. Tween20
12. แอลกอฮอล์ 95 %
13. Water bath
14. Incubator
15. Electrical conductivity meter
16. Spectrophotometer
17. pH meter
18. Autoclave

วิธีการ

คัดแยกถั่วเขียวทนแล้งและร้อนด้วย 5 วิธีการ

1. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช (relative water content) สัญลักษณ์คือ RWC
2. ทดสอบความทนร้อนและแล้งจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) สัญลักษณ์ คือ
 - 2.1 ทดสอบความทนร้อนจากวิธี CMT สัญลักษณ์คือ HCMT
 - 2.2 ทดสอบความทนแล้งจากวิธี CMT สัญลักษณ์คือ DCMT
3. ทดสอบความทนร้อนและแล้งจากปฏิกิริยาของเตตราโซเลียม (TTC reduction)
 - 3.1 ทดสอบความทนร้อนจากวิธี TTC reduction สัญลักษณ์ คือ HTTC
 - 3.2 ทดสอบความทนแล้งจากวิธี TTC reduction สัญลักษณ์ คือ DTTC

วิธีการที่ 1 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative Water Content: RWC)

นำใบข้าง (lateral leaflet) สายพันธุ์ละ 3 ใบ ชั่งน้ำหนักสด (fresh weight: FW) จากนั้น นำใบที่ชั่งแล้ว วางลงในถาดที่มีกระดาษชุบน้ำรองก้นถาดปิดด้วยพลาสติก บ่ม (incubate) ที่ อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจาก incubator มาชั่งจะได้น้ำหนักที่ใบพืชเต่ง ตัวเต็มที่ (fully turgid weight: TW) นำใบพืชไปอบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เอาออก จากตู้อบมาชั่ง จะได้น้ำหนักแห้ง (dry weight: DW) กำหนดหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในพืชตามวิธีการ ของ Turner (1986) จากสูตร

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

วิธีการที่ 2 ทดสอบความทนร้อนและแล้งจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT)

เจาะใบของถั่วเขียว ใบกลาง ด้วยเหล็กเจาะ (punch) ให้เป็นชิ้นวงกลมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ล้างด้วยน้ำกลั่น (de-ionized water) ใส่งในหลอดทดลอง หลอดละ 3 ชิ้น

2.1 ทดสอบความทนร้อนจากวิธี CMT (สัญลักษณ์คือ HCMT)

ทดสอบความทนร้อนโดยนำตัวอย่างใบที่เจาะแล้วใส่ลงในหลอดทดลองหลอดละ 3 ชิ้น จากนั้นทดสอบความทนต่อสภาพร้อนโดยนำไปใส่ลงใน water bath ที่อุณหภูมิ 54 °C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อเป็นการจำลองสภาพความร้อนให้แก่พืช ตามวิธีการของ Sullivan (1972) นำออกจาก water bath แล้วเติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลอง 30 มิลลิลิตร

2.2 ทดสอบความทนแล้งจากวิธี CMT (สัญลักษณ์คือ DCMT)

หาความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ที่เหมาะสมในการคัดแยกถั่วเขียวทนแล้งด้วยวิธี CMT จากถั่วเขียว 3 สายพันธุ์ ที่ระดับความเข้มข้น 5 ระดับ คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์

ทดสอบความทนแล้งโดยเติมสารละลาย polyethylene glycol 6000 (PEG6000) ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการจำลองสภาพความแห้งแล้งให้แก่พืช แช่ไว้ 8 ชั่วโมง ล้างสารละลาย PEG ออก แล้วเติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองหลอดละ 30 มิลลิลิตร

ในส่วนของ control นำตัวอย่างใบที่เจาะแล้วใส่ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 3 ชิ้น เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร นำตัวอย่างทั้งหมด (2.1, 2.2 และ Control) เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง

วัดค่าการนำไฟฟ้าของสารอิเล็กโทรไลต์ที่รั่วไหลออกมา (electrolyte leakage conductivity: EC) ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (electrical conductivity meter) ที่อุณหภูมิ 25 °C ก่อน (EC1) และหลัง (EC2) ทำลายสภาพใบโดยการนำไปนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะได้ค่า EC1 และ EC2 ของ Treatment (T1/T2) และ Control (C1/C2) ตามลำดับ

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (Cell Membrane Thermostability: CMT) ของ ถั่วเขียวในแต่ละสายพันธุ์เมื่อได้รับสภาพแล้งและร้อน ตามวิธีการของ Sullivan (1972) จากสูตร

$$\text{CMT (\%)} = \frac{1 - (T1/T2)}{1 - (C1/D2)} \times 100$$

วิธีการที่ 3 ทดสอบความทนร้อนและแสงจากปฏิกิริยาของเตตราไซเคียม (TTC reduction)

เตรียมสารละลาย TTC 0.6% ละลายใน 0.05 M Na₂HPO₄ ปรับ pH 7.4 เตรียมตัวอย่างไบฟิซโดยการจำลองสภาพแสงและร้อน เช่นเดียวกับทดสอบความทนร้อนและแสง จากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน

3.1 ทดสอบความทนร้อนจากวิธี TTC reduction (สัญลักษณ์ คือ HTTC)

ทดสอบความทนร้อนโดยนำตัวอย่างไบที่เจาะแล้วใส่ลงในหลอดทดลองหลอดละ 3 ซึ้น จากนั้นทดสอบความทนต่อสภาพร้อนโดยนำไปใส่ลงใน water bath ที่อุณหภูมิ 54 °C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อใช้ในการจำลองสภาพความร้อนให้แก่พืช ตามวิธีการของ Sullivan (1972) นำออกจาก water bath แล้วเติมเตรียมสารละลาย TTC 0.4% หลอดละ 3 มิลลิลิตร

3.2 ทดสอบความทนแสงจากวิธี TTC reduction (สัญลักษณ์ คือ DTTC)

ทดสอบความทนแสงโดยเติมสารละลาย polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) ความเข้มข้น 50 % เพื่อใช้ในการจำลองสภาพความแห้งแล้งให้แก่พืช แช่ไว้ 8 ชั่วโมง ล้างสารละลาย PEG ออก แล้วเติมเตรียมสารละลาย TTC 0.4% หลอดละ 3 มิลลิลิตร ในส่วนของ control นำตัวอย่างไบที่เจาะแล้วใส่ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 3 ซึ้น เติมเตรียมสารละลาย TTC 0.4% หลอดละ 3 มิลลิลิตร นำตัวอย่างทั้งหมด (3.1, 3.2 และ Control) เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง ในที่มืด เพื่อให้สารละลาย TTC ทำปฏิกิริยากับไบฟิซ ไบที่ไม่ถูกทำลายจากการแช่สารละลาย PEG และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 54 °C เป็นเวลา 15 นาที เมื่อทำปฏิกิริยากับ TTC จะมีสีแดง ในส่วนที่ถูกทำลายหรือส่วนที่ไม่มีชีวิตจะไม่มีสี จากนั้นนำตัวอย่างไบทั้งหมดล้างสารละลาย TTC ออก เติมแอลกอฮอล์ 95% ลงไป 4 มิลลิลิตร นำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง จากนั้นนำเฉพาะสารที่สกัดออกมาได้จากตัวอย่างไบฟิซ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร วัดปฏิกิริยาของ TTC ตามวิธีการของ Steponkus and Lanphear (1967) จากสูตร

$$\text{TTC (\%)} = 1 - \frac{\text{OD}_t}{\text{OD}_c} \times 100$$

โดยที่
 OD_t = ค่าการดูดกลืนแสงของ Treatment
 OD_c = ค่าการดูดกลืนแสงของ Control

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง

การทดลองที่ 1 คัดแยกถั่วเขียวทนแล้งและร้อนจาก 100 สายพันธุ์ จาก 5 วิธีการ

แปลงทดลอง วางแผนการทดลองแบบ Split Plot in Completely Randomize Design 3 ซ้ำ ให้รูปแบบการให้น้ำเป็น Main plot คือให้น้ำปกติ และงดให้น้ำในระยะก่อนออกดอกเป็นเวลา 7 วัน และให้สายพันธุ์ถั่วเขียวจำนวน 100 สายพันธุ์ เป็น Sub plot ปลูกถั่วเขียวลงในกระถางและถอนแยกให้เหลือ 3 ต้นต่อกระถาง คูแตรคนน้ำ ใส่ปุ๋ยจนถั่วเขียวเจริญเติบโต ถึงระยะออกดอกอายุประมาณ 25-30 วันหลังงอก หยดให้น้ำในกลุ่มที่งดให้น้ำ

ห้องปฏิบัติการ เก็บตัวอย่างใบ จากใบที่เพิ่งงอกเต็มที่จากลำต้นหลัก (main stem) ในระยะออกดอก (flowering stage) ซึ่งมีอายุประมาณ 35-40 วันหลังงอก เก็บสายพันธุ์ละ 3 ใบ

การทดลองที่ 2 คัดแยกถั่วเขียวทนแล้งและร้อนจาก 30 สายพันธุ์ ด้วย 5 วิธีการ

คัดเลือกถั่วเขียวการทดสอบความทนร้อนและแล้งของถั่วเขียวด้วยจากการทดสอบทั้ง 5 วิธีการ ที่มีค่าเฉลี่ยสูงและต่ำสุดกลุ่มละ 15 สายพันธุ์ รวม 30 สายพันธุ์ ทำการทดสอบความทนร้อนและแล้ง ของถั่วเขียวด้วย 5 วิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลจากการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 3 ทดสอบความทนแล้งและร้อนในถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ จาก 5 วิธีการ

คัดเลือกสายพันธุ์ถั่วเขียวที่ให้ค่าเฉลี่ยสูงและต่ำสุด กลุ่มละ 3 สายพันธุ์รวม 6 สายพันธุ์ ทำซ้ำด้วยทั้ง 5 วิธีการ ที่ใช้ทดสอบความทนร้อนและแล้งอีกครั้งเพื่อยืนยันผลจากการทดลองที่ 1 และ 2 โดยแบ่งการให้น้ำเป็น 4 ระดับคือ

- | | | |
|----|-----|--|
| C | คือ | การให้น้ำแก่พืชอย่างเพียงพอ |
| D1 | คือ | การให้น้ำเพียงครึ่งหนึ่งของ C |
| D2 | คือ | การให้น้ำเพียงครึ่งหนึ่งของ D1 |
| D3 | คือ | งดให้น้ำในระยะก่อนออกดอกเป็นเวลา 7 วัน |

การทดลองที่ 4 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของถั่วเขียวทันทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้ง

เก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตเปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ ในระยะก่อนออกดอกเป็นเวลา 7 วัน ในสายพันธุ์ที่ทนแล้งและร้อนรวม 6 สายพันธุ์ เพื่อทดสอบว่าสายพันธุ์ที่ทนแล้งที่คัดเลือกจากการทดสอบทั้ง 5 วิธีการ ในการทดลองที่ 1-3 สามารถให้ผลผลิตได้ในสภาพแล้ง โดยเก็บข้อมูล 4 ลักษณะ (กรมวิชาการเกษตร, 2547) คือ

1. น้ำหนักผลผลิตต่อต้น (yield per plant) เฉลี่ยจากน้ำหนัก 10 ต้น ภายหลังจากลดความชื้นแล้ว
2. ความสูงต้น (plant height) วัดเป็นเซนติเมตร โดยเฉลี่ยจาก 10 ต้น
3. จำนวนฝักต่อต้น (pot per plant) บันทึกจำนวนฝักทั้งหมด โดยเฉลี่ยจาก 10 ต้น
4. จำนวนเมล็ดต่อฝัก (seed per pod) บันทึกจำนวนเมล็ดทั้งหมด โดยเฉลี่ยจาก 10 ฝัก
5. น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (1,000 seed weight) เฉลี่ยจากน้ำหนัก 100 เมล็ด 2 ครั้ง คุณด้วยสิบ

วางแผนการทดลองแบบ Split Plot in Completely Randomize Design 3 ซ้ำ จัดรูปแบบการให้น้ำเป็น main plot และถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เป็น sub plot ปลูกถั่วเขียวลงในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว ถอนแยกให้เหลือ 3 ต้นต่อกระถาง เก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของถั่วเขียว

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย

1. ศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
2. ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน จ. นครปฐม

ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มการทดลองเดือนกรกฎาคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2550

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

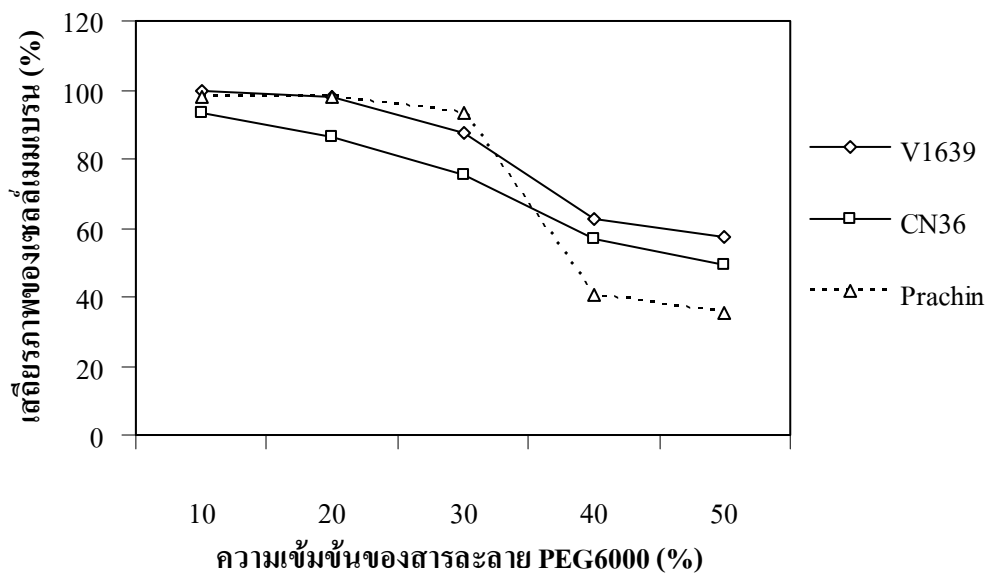
หาความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ที่เหมาะสมต่อการคัดแยกถั่วเขียวทนแล้งจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) โดยทดสอบที่ความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ คือ 10, 20, 30 ,40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ (ภาพที่ 2) และงดให้น้ำ (ภาพที่ 3) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย PEG เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ CMT จะลดลง เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Michel and Kaufmann (1973) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย PEG ทำให้ osmotic potential มีค่าลดลงและต่ำกว่าภายในเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดสภาวะเครียด

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ต่างกัน 5 ระดับ ของถั่วเขียว 3 สายพันธุ์ พบว่าค่าเฉลี่ยของ CMT ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 10 (99.47) และ 20 (97.43) เปอร์เซ็นต์นั้น มีค่าสูงที่สุด โดย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ รองลงมาคือ ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ที่ 30 (91.30), 40 (66.86) และ 50 (54.50) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการจำลองสภาพแล้ง มีความเป็นไปได้เริ่มที่ 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองนี้เลือกใช้ความเข้มข้นที่ 50 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากมีค่าเฉลี่ย CMT ต่ำที่สุด และลดลงถึง 54.50 % (ตารางที่ 1)

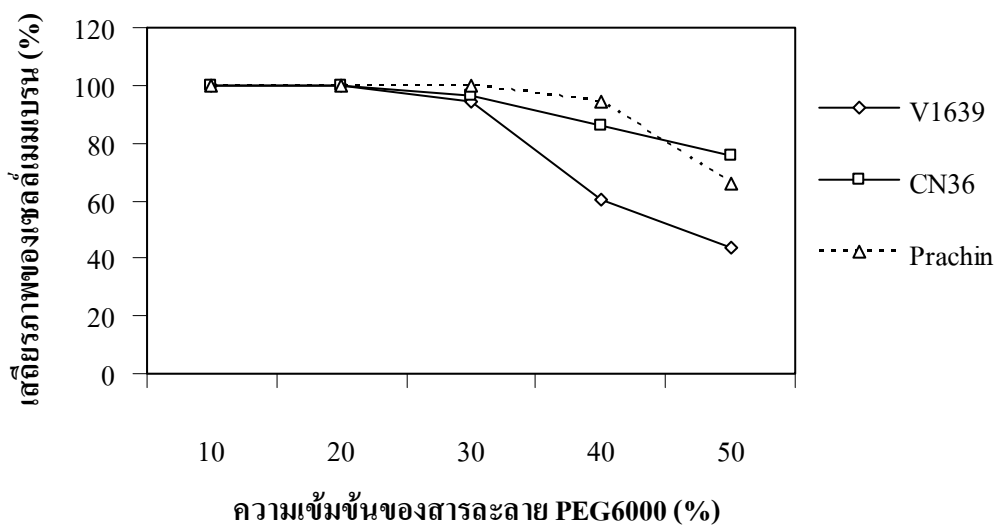
ตารางที่ 1 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ของถั่วเขียว 3 สายพันธุ์ ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ต่างกัน 5 ระดับ

ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 (%)	เสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (%)
10	99.47 a ^{1/}
20	97.43 a
30	91.30 b
40	66.86 c
50	54.50 d
CV (%)	12.80

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี DMRT

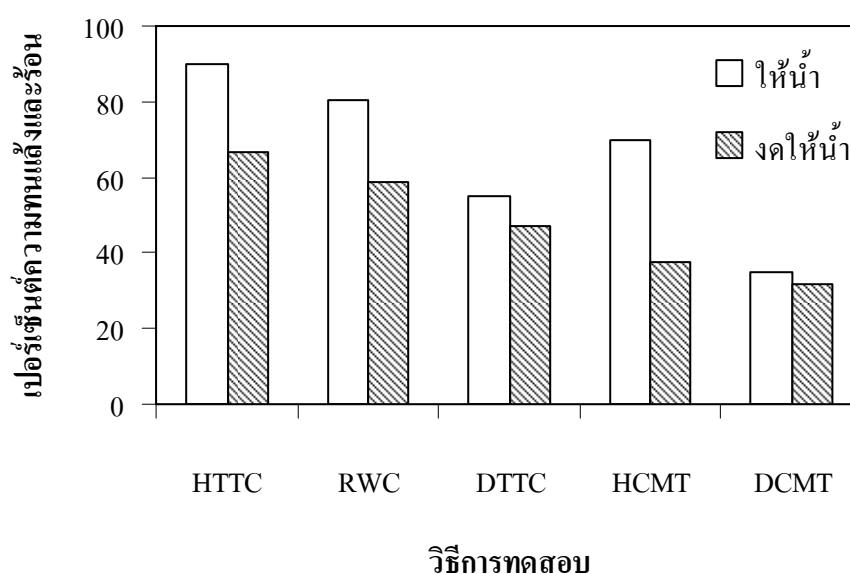


ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ต่างกัน 5 ระดับของถั่วเขียว 3 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำปกติ



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ต่างกัน 5 ระดับ ของถั่วเขียว 3 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่งดให้น้ำ

จำแนกความแตกต่างทางพันธุกรรมของถั่วเขียวที่ทนแล้งและร้อน จากการวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช (RWC) ทดสอบจากปฏิกิริยาของเตตราโซเลียม (TTC) ต่อความทนแล้ง (DTTC) และทนร้อน (HTTC) ทดสอบจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) ต่อความทนแล้ง (DCMT) และทนร้อน (HCMT) รวม 5 วิธีการ จากถั่วเขียวทั้งหมด 100 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงดให้น้ำ พบว่ากลุ่มที่ให้น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่งดให้น้ำ จากการทดสอบทั้ง 5 วิธี มีความแตกต่างกัน โดยทดสอบด้วยวิธี HTTC มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากวิธีการอื่น รองลงมาคือ RWC, HCMT และ DTTC ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ส่วน DCMT มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ทั้งในกลุ่มที่ให้น้ำ และงดให้น้ำ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความทนแล้งและร้อนของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกลักษณะความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว 100 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ

ทดสอบความทนแล้งและร้อนจากทั้ง 5 วิธีการ ของถั่วเขียวทั้งหมด 100 สายพันธุ์ คัดเลือกจากที่ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำที่สุดกลุ่มละ 15 สายพันธุ์ รวม 30 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยสูงทั้ง 5 วิธี พบ 1 สายพันธุ์ คือ V2191 ให้ค่าเฉลี่ยสูง 4 วิธี พบ 5 สายพันธุ์ คือ PSU1, NM1, V2808, V1578-1, V1968, KPS2 และ V1595-2 ให้ค่าเฉลี่ยสูง 3 วิธี พบ 9 สายพันธุ์ คือ V1410, V3490-1, V3096, V1323, V1377, V6009, V1016, V2787 และ V2565 ในกลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยต่ำทั้ง 5 วิธี พบ 3 สายพันธุ์ คือ UT1, Mash33-40 และ V2802 ให้ค่าเฉลี่ยต่ำ 4 วิธี พบ 5 สายพันธุ์ คือ V1735, CN36, V1103 Prachin และ KAB4 ให้ค่าเฉลี่ยต่ำ 3 วิธี พบ 3 สายพันธุ์ คือ V4758, Mash36 และ V1947 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปรอ์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำ จากการทดสอบความทนแล้งและร้อน 5 วิธีการ
ของถั่วเขียวที่มีค่าสูงและต่ำกลุ่มละ 15 สายพันธุ์ จากการทดสอบทั้งหมด 100 สายพันธุ์

Lines	Origin	Species	HTTC	RWC	DTTC	HCMT	DCMT
PSU1	Thailand	VM	91.92	75.45	49.98	64.32	32.89
NM1	Pakistan	VR	91.90	80.13	63.88	62.29	13.56
V2808	Taiwan	VR	91.19	69.30	72.45	58.52	38.87
V1410	Philippines	VR	87.37	72.73	78.68	42.39	20.57
V2191	Philippines	VR	87.29	78.06	67.23	63.66	37.43
V1578-1	India	VR	86.53	71.53	74.03	59.95	28.38
V3490-1	USA	VR	85.88	73.29	73.17	35.40	22.34
V3096	Korea	VR	85.88	69.73	33.44	58.83	54.52
V1323	Taiwan	VR	84.76	77.30	68.54	54.91	27.49
V1377	Philippines	VR	84.55	71.28	34.08	64.95	22.17
V1968	USA	VR	84.49	78.71	70.46	58.99	23.30
KPS2	Thailand	VR	83.35	76.08	66.36	50.25	32.12
V1595-2	China	VR	83.05	81.56	77.01	60.02	28.51
V6009	Philippines	VR	82.38	77.41	69.56	45.02	25.96
V1016	Thailand	VR	82.17	71.29	76.07	47.47	23.72
V3131	Thailand	VR	81.80	69.83	36.13	74.24	26.97
UT1	Thailand	VM	79.89	61.34	42.31	57.23	20.06
V4758	Indonesia	VR	78.540	69.71	72.38	49.67	30.83
V3388	India	VR	75.84	65.97	70.47	64.20	26.40
V1735	India	VR	74.96	68.07	36.73	37.51	44.31

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Lines	Origin	Species	HTTC	RWC	DTTC	HCMT	DCMT
CN36	Thailand	VR	74.16	69.82	43.94	55.90	41.55
Mash36	Pakistan	VM	73.61	63.13	44.89	62.03	35.08
V1103	India	VR	72.48	63.79	37.48	47.04	41.34
V2787	India	VR	72.46	77.16	26.32	63.67	49.43
Mash33-40	Pakistan	VM	72.17	49.56	37.72	48.15	24.25
V2802	Philippines	VR	66.41	68.97	28.05	55.34	23.60
Prachin	Thailand	VM	66.02	53.01	23.52	40.56	46.25
V1947	Philippines	VR	65.86	67.21	41.55	60.60	65.15
V2565	India	VR	63.56	65.40	58.06	74.83	33.71
KAB4	Thailand	VM	59.19	58.41	35.52	58.45	62.19
Means			78.34	69.62	51.09	53.89	33.30

VR = *Vigna radiata*

VM = *Vigna mungo*

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเซลล์เมมเบรนต่อความทนแล้งและร้อนจาก 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกถั่วเขียวทนแล้งและร้อนจำนวน 100 สายพันธุ์

Methods	HTTC	RWC	DTTC	HCMT
RWC	0.630 **			
DTTC	0.278 **	0.300 **		
HCMT	0.533 **	0.503 **	0.136 **	
DCMT	0.036 ns	0.051 ns	-0.143 **	0.222 **

ns = ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ

** = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.01

จากการหาความสัมพันธ์ของ 5 วิธีการที่ใช้ประเมินถั่วเขียวที่ทนแล้งและร้อน 100 สายพันธุ์ พบว่าทุกวิธีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ HTTC กับ RWC มีความสัมพันธ์กันสูงสุด ($r = 0.630$) รองลงมาคือ HTTC กับ HCMT ($r = 0.533$) และ RWC กับ HCMT ($r = 0.503$) ส่วน DCMT ไม่มีความสัมพันธ์กับ HTTC และ RWC แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ DTTC และมีความสัมพันธ์กับ HCMT (ตารางที่ 3) จากการทดสอบพบความสัมพันธ์ของความทนร้อนและแล้ง เมื่อทดสอบด้วยปฏิกิริยาของเตตราโซเลียม พบว่า HTTC กับ DTTC มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ($r = 0.278$) และทดสอบความทนร้อนและแล้ง จากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน HCMT กับ DCMT มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ($r = 0.222$) (ตารางที่ 3)

การทดลองที่ 2

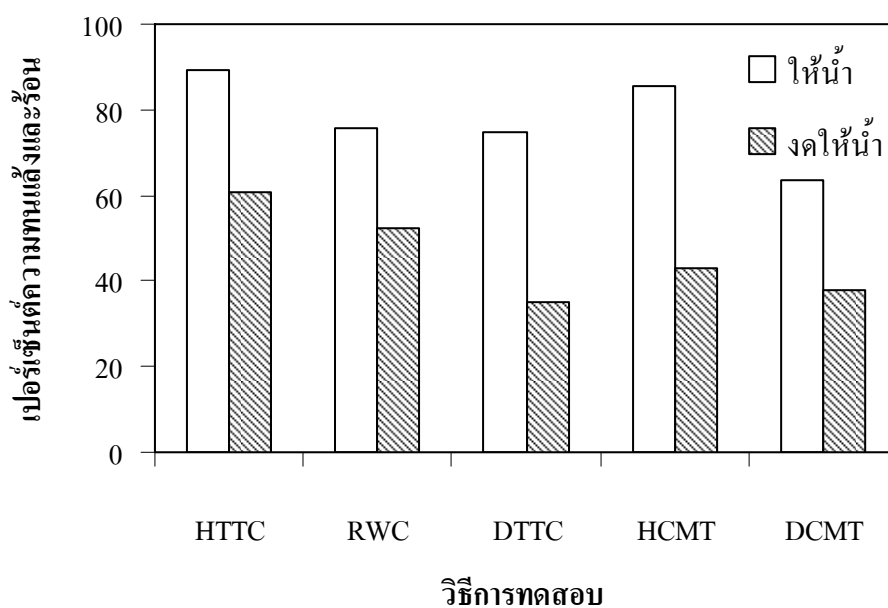
จากการทดลองที่ 1 จำแนกความแตกต่างทางพันธุกรรมของถั่วเขียวที่ทนแล้งและร้อน ทั้งหมด 100 สายพันธุ์ คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 15 สายพันธุ์ และต่ำสุด 15 สายพันธุ์ (ตารางที่ 2) รวม 30 สายพันธุ์ ทำการทดลองซ้ำ โดยมีวิธีการทดสอบความทนแล้งและร้อนของ ถั่วเขียวทั้งหมด 5 วิธีการ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงดให้น้ำ พบว่ากลุ่มที่ให้น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่งดให้น้ำ จากการทดสอบทั้ง 5 วิธี โดย HTTC มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ทั้งในกลุ่มที่ให้น้ำและ งดให้น้ำ เช่นเดียว กันกับการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 4) รองลงมาคือ RWC, HCMT และ DTTC ตามลำดับ ส่วน DCMT มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในกลุ่มที่ให้น้ำซึ่งมีผลการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ DTTC มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในกลุ่มที่งดให้น้ำ (ภาพที่ 5)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติจาก 5 วิธีการ ที่ใช้ทดสอบความทนแล้งและร้อน เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำในถั่วเขียว 30 สายพันธุ์ พบว่าในกลุ่มที่ให้น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่างดให้น้ำ มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกวิธีการทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบความทนแล้งจากเปอร์เซ็นต์ RWC ในข้าวสาลีด้วยของ Irada (2007) และวิธี CMT ของ Renu และ Devarshi (2007) พบว่าในกลุ่มที่ให้น้ำและงดให้น้ำนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกพันธุ์ของ ข้าวสาลี ผลจากการทดลองนี้พบว่า HTTC มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ทั้งในกลุ่มที่ให้น้ำ (89.22) และงดให้น้ำ (60.63) รองลงมาคือ การทดสอบความทนร้อนจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (HCMT) (64.46), RWC (64.02) และ DTTC (54.74) ตามลำดับ ส่วนการทดสอบความทนแล้งจากเสถียรภาพของ เซลล์เมมเบรน (DCMT) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการคัดแยกถั่วเขียวทนแล้ง (50.68) (ตารางที่ 4) แสดงว่าการทดสอบความ ทนร้อนจากปฏิกิริยาของเตตราโซเลียม (HTTC) มีประสิทธิภาพในการ คัดแยกถั่วเขียวทนร้อนสูงที่สุด และ การทดสอบความทนแล้งจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (DCMT) มีประสิทธิภาพในการคัดแยกถั่วเขียวทนแล้งต่ำที่สุด

ตารางที่ 4 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความทนแล้งและร้อนจาก 5 วิธีการ ที่ใช้ทดสอบความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว 30 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ

รูปแบบการให้น้ำ	HTTC	RWC	DTTC	HCMT	DCMT
ให้น้ำ	89.22 a ^{1/}	75.58 a	74.56 a	85.74 a	63.62 a
งดให้น้ำ	60.63 b	52.45 b	34.92 b	43.18 b	37.74 b
ค่าเฉลี่ย	74.92	64.01	54.74	64.46	50.68

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 5 เปอร์เซนต์ความทนแล้งและร้อนของ 5 วิธีการที่ใช้คัดเลือกลักษณะความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว 30 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำ จากการทดสอบความทนแล้งและร้อน 5 วิธีการ
ในถั่วเขียวพันธุ์ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อน 30 สายพันธุ์

Lines	Origin	Species	HTTC	RWC	DTTC	HCMT	DCMT
Tolerance							
PSU1	Thailand	VM	91.92	75.45	<u>49.98</u>	64.32	32.89
NM1	Pakistan	VR	91.90	80.13	63.88	62.29	<u>13.56</u>
V2808	Taiwan	VR	91.19	<u>69.30</u>	72.45	58.52	38.87
V1410	Philippines	VR	87.37	72.73	78.68	<u>42.39</u>	<u>20.57</u>
V2191	Philippines	VR	87.29	78.06	67.23	63.66	37.43
V1578-1	India	VR	86.53	71.53	74.03	59.95	<u>28.38</u>
V3490-1	USA	VR	85.88	73.29	73.17	<u>35.40</u>	<u>22.34</u>
V3096	Korea	VR	85.88	<u>69.73</u>	<u>33.44</u>	58.83	54.52
V1323	Taiwan	VR	84.76	77.30	68.54	<u>54.91</u>	<u>27.49</u>
V1377	Philippines	VR	84.55	71.28	<u>34.08</u>	64.95	<u>22.17</u>
V1968	USA	VR	84.49	78.71	70.46	58.99	<u>23.30</u>
KPS2	Thailand	VR	83.35	76.08	66.36	<u>50.25</u>	32.12
V1595-2	China	VR	83.05	81.56	77.01	60.02	<u>28.51</u>
V6009	Philippines	VR	82.38	77.41	69.56	<u>45.02</u>	<u>25.96</u>
V1016	Thailand	VR	82.17	71.29	76.07	<u>47.47</u>	<u>23.72</u>

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Lines	Origin	Species	HTTC	RWC	DTTC	HCMT	DCMT
Susceptible							
V3131	Thailand	VR	<u>81.80</u>	69.83	<u>36.13</u>	74.24	<u>26.97</u>
UT1	Thailand	VM	<u>79.89</u>	<u>61.34</u>	<u>42.31</u>	<u>57.23</u>	<u>20.06</u>
V4758	Indonesia	VR	<u>78.54</u>	<u>69.71</u>	72.38	<u>49.67</u>	30.83
V3388	India	VR	<u>75.84</u>	<u>65.97</u>	70.47	64.20	<u>26.40</u>
V1735	India	VR	<u>74.96</u>	<u>68.07</u>	<u>36.73</u>	<u>37.51</u>	44.31
CN36	Thailand	VR	<u>74.16</u>	<u>69.82</u>	<u>43.94</u>	<u>55.90</u>	41.55
Mash36	Pakistan	VM	<u>73.61</u>	<u>63.13</u>	<u>44.89</u>	62.03	35.08
V1103	India	VR	<u>72.48</u>	<u>63.79</u>	<u>37.48</u>	<u>47.04</u>	41.34
V2787	India	VR	<u>72.46</u>	77.16	<u>26.32</u>	63.67	49.43
Mash33-40	Pakistan	VM	<u>72.17</u>	<u>49.56</u>	<u>37.72</u>	<u>48.15</u>	<u>24.25</u>
V2802	Philippines	VR	<u>66.41</u>	<u>68.97</u>	<u>28.05</u>	<u>55.34</u>	<u>23.60</u>
Prachin	Thailand	VM	<u>66.02</u>	<u>53.01</u>	<u>23.52</u>	<u>40.56</u>	46.25
V1947	Philippines	VR	<u>65.86</u>	<u>67.21</u>	<u>41.55</u>	60.60	65.15
V2565	India	VR	<u>63.56</u>	<u>65.40</u>	58.06	74.83	33.71
KAB4	Thailand	VM	<u>59.19</u>	<u>58.41</u>	<u>35.52</u>	<u>58.45</u>	62.19
Means			74.92	64.01	54.73	64.45	50.68

VR = *Vigna radiata*

VM = *Vigna mungo*

ทดสอบความทนแล้งและร้อนจากทั้ง 5 วิธีการของถั่วเขียวทั้งหมด 30 สายพันธุ์ คัดเลือกที่ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำที่สุดกลุ่มละ 15 สายพันธุ์ รวม 30 สายพันธุ์ ทดสอบความทนแล้งและร้อนจาก 5 วิธีการ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูล ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า V1595-2, V1410, NM1 และ V1947 ให้ค่าเฉลี่ยสูง 4 วิธี จากการทดสอบทั้งหมด 5 วิธี ซึ่งประเมินได้ว่า ทั้ง 4 สายพันธุ์ เป็นสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาพแล้งและร้อน สายพันธุ์ Mash36

ให้ค่าเฉลี่ยต่ำ 5 วิธี ส่วน KAB4 และ Mash33-40 ให้ค่าเฉลี่ยสูง 4 วิธี จากการทดสอบทั้งหมด 5 วิธี ซึ่งประเมินได้ว่าทั้ง 3 สายพันธุ์เป็นสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อน (ตารางที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Craufurd *et al.*, 2003 ใช้วิธี CMS แยกความแตกต่างของถั่วลิสงพันธุ์ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพร้อน พบความแตกต่างกันของทั้งสองกลุ่ม (ทนทานและอ่อนแอ) และรายงานว่าการทดสอบในระยะออกดอกได้ผล ดีที่สุด

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของค่าเปอร์เซ็นต์ตัดส่วนงคใ้หน้า/ใ้หน้า ของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกถั่วเขียวทนแล้งและร้อนจำนวน 30 สายพันธุ์

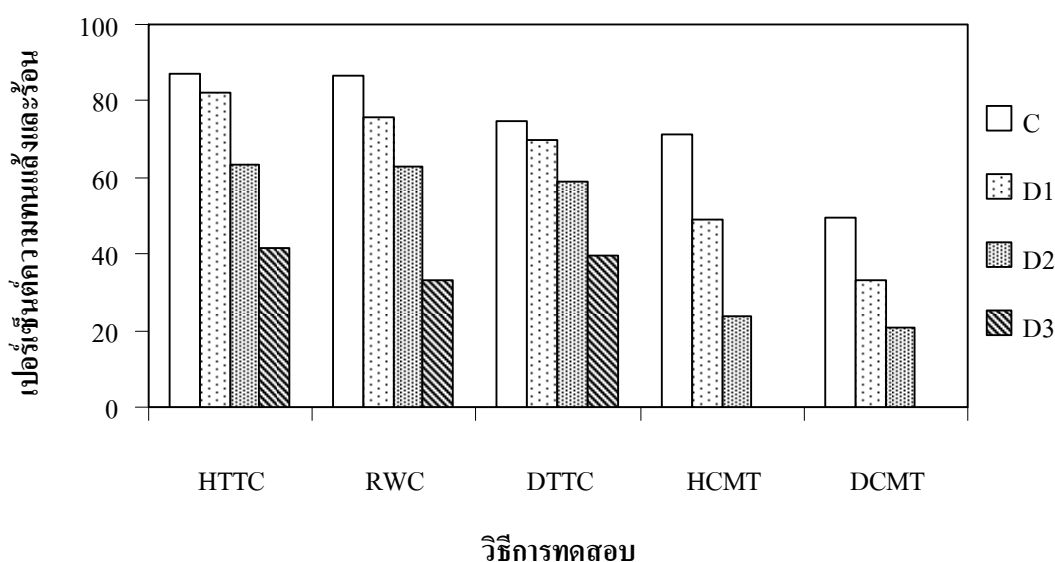
Methods	HTTC	RWC	DTTC	HCMT
RWC	0.825 **			
DTTC	0.751 **	0.740 **		
HCMT	0.416 **	0.421 **	0.624 **	
DCMT	0.189 *	0.270 **	0.432 **	0.603 **

* และ ** = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

จากการหาความสัมพันธ์ของ 5 วิธีการ ที่ใช้ประเมินถั่วเขียวที่ทนแล้งและร้อน 30 สายพันธุ์พบว่าทุกวิธีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ HTTC กับ RWC มีความสัมพันธ์กันสูงสุด ($r = 0.825$) รองลงมาคือ HTTC กับ DTTC ($r = 0.751$) และ RWC กับ DTTC ($r = 0.740$) ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถประเมินได้ว่า วิธี RWC มีความสัมพันธ์เป็นไปในทางเดียวกันกับ HTTC และมีค่าสูงที่สุด และมีผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ซึ่งสามารถใช้วิธี RWC ประเมินความทนร้อนของพืชแทนการวัดด้วยวิธี TTC ได้ (ตารางที่ 6) และ HTTC กับ DCMT มีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด ($r = 0.189$) หาความสัมพันธ์ของความทนร้อนและแล้ง จากปฏิกิริยาของเตตราโซเลียม พบว่า HTTC กับ DTTC มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ($r = 0.751$) และทดสอบความทนร้อนและแล้ง จากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน HCMT กับ DCMT มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ($r = 0.603$) (ตารางที่ 6) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 (ตารางที่ 4) แสดงว่าลักษณะความทนร้อนและแล้งนั้นมีความสัมพันธ์กัน

การทดลองที่ 3

จากการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อนของถั่วเขียวจำนวน 6 สายพันธุ์ โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลองที่ 2 ทำให้สามารถคัดเลือกได้พันธุ์ที่ทนทาน 3 สายพันธุ์ คือ NM1, V1410 และ V1595-2 พันธุ์ที่อ่อนแอ 3 สายพันธุ์ คือ KAB4, Mash33-40 และ Mash 36 โดยมีวิธีการทดสอบความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียวทั้งหมด 5 วิธีการ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2 โดยจัดรูปแบบการให้น้ำแบ่งออกเป็น 4 ระดับคือ กลุ่มที่ให้น้ำปกติ (C) ให้น้ำเพียงครั้งหนึ่งของ C (D1) ให้น้ำเพียงครั้งหนึ่งของ D1 (D2) และงดให้น้ำ (D3) พบว่ากลุ่ม C มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ D1, D2 และ D3 ตามลำดับ จากการทดสอบทั้ง 5 วิธี ค่าที่ได้จึงมีแนวโน้มลดลงจาก C ถึง D3 ซึ่งเป็นในทิศทางเดียวกันทั้ง 5 วิธี (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความทนแล้งและร้อนของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกลักษณะความทนแล้งและร้อน เปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการให้น้ำ 4 ระดับ ของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์

ตารางที่ 7 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความทนแล้งและร้อนจาก 5 วิธีการ ที่ใช้ในการทดสอบความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียวในกลุ่มสายพันธุ์ที่ทนทานและอ่อนแอ

Lines	Origin	Species	HTTC	RWC	DTTC	HCMT	DCMT	Means
V1410	Philippines	VR	77.38 a ^{1/}	71.61 a	70.51 a	63.95 a	44.61 a	66.87
NM1	Pakistan	VR	71.60 b	70.87 a	65.88 a	57.01 ab	43.28 a	63.02
V1595-2	China	VR	74.37 ab	70.47 a	64.63 a	52.64 b	42.02 a	62.33
KAB4	Thailand	VB	61.98 c	60.33 b	54.91 b	40.96 c	31.75 b	51.50
Mash33-40	Pakistan	VB	65.43 c	57.80 b	55.21 b	41.29 c	24.38 c	50.60
Mash36	Pakistan	VB	60.51 c	55.45 b	53.29 b	32.24 d	21.48 c	46.57
F-Test			68.55 **	64.42 **	60.74 **	48.01 **	34.59 **	
CV (%)			8.82	11.16	12.40	17.97	19.06	

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสมรภูมิเดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี DMRT

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเป็นไปได้ 0.01

จากการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อนของถั่วเขียวจำนวน 6 สายพันธุ์ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของทั้ง 5 วิธี พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทนทานและอ่อนแออย่างชัดเจน โดยในกลุ่มที่ทนแล้งและร้อน 3 สายพันธุ์ เมื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติพบว่า V1410 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดจากทั้ง 5 วิธีการที่ใช้ทดสอบ รองลงมาคือ NM1 และ V1595-2 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4 วิธีการ เมื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติ พบว่า Mash 36 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดจากทั้ง 5 วิธีการที่ใช้ทดสอบ รองลงมาคือ Mash33-40 และ KAB4 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดจากทั้ง 4 วิธีการที่ใช้ทดสอบ และพันธุ์ที่ทนทาน 3 สายพันธุ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ 3 สายพันธุ์ที่อ่อนแอ (ตารางที่ 7) สังเกตได้ว่า ในกลุ่มพันธุ์ที่ทนแล้งและร้อนทั้ง 3 สายพันธุ์ เป็นถั่วเขียวผิวมันทั้งหมด และกลุ่มพันธุ์ที่อ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อนทั้ง 3 สายพันธุ์ เป็นถั่วเขียวผิวดำทั้งหมด

จากการหาความสัมพันธ์ของ 5 วิธีการ ที่ใช้ประเมินถั่วเขียวทนแล้งและร้อนจำนวน 6 สายพันธุ์พบว่าทุกวิธีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ HTTC กับ RWC มีความสัมพันธ์กันสูงสุด ($r = 0.929$) รองลงมาคือ HTTC กับ HCMT ($r = 0.878$) และ RWC กับ DTTC ($r = 0.848$) จากผลการทดลองสามารถประเมินได้ว่า วิธี RWC มีความสัมพันธ์เป็นไปในทางเดียวกันกับ

HTTC และมีค่าสูงที่สุด และมีผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2 อาจใช้วิธี RWC ประเมินความทนร้อนของพืชแทนการวัดด้วยวิธี TTC ได้ (ตารางที่ 5) และ HTTC กับ DCMT มีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด ($r = 0.618$) ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกับ ผลจากการทดลองที่ 2 (ตารางที่ 8)

จากการทดสอบพบความสัมพันธ์ของความทนร้อนและแล้ง เมื่อทดสอบด้วยปฏิกิริยาของเตตราโซเลียม พบว่า HTTC กับ DTTC มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ($r = 0.846$) และทดสอบความทนร้อนและแล้งจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน HCMT กับ DCMT มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ($r = 0.815$) (ตารางที่ 8) แสดงว่าความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 และ 2

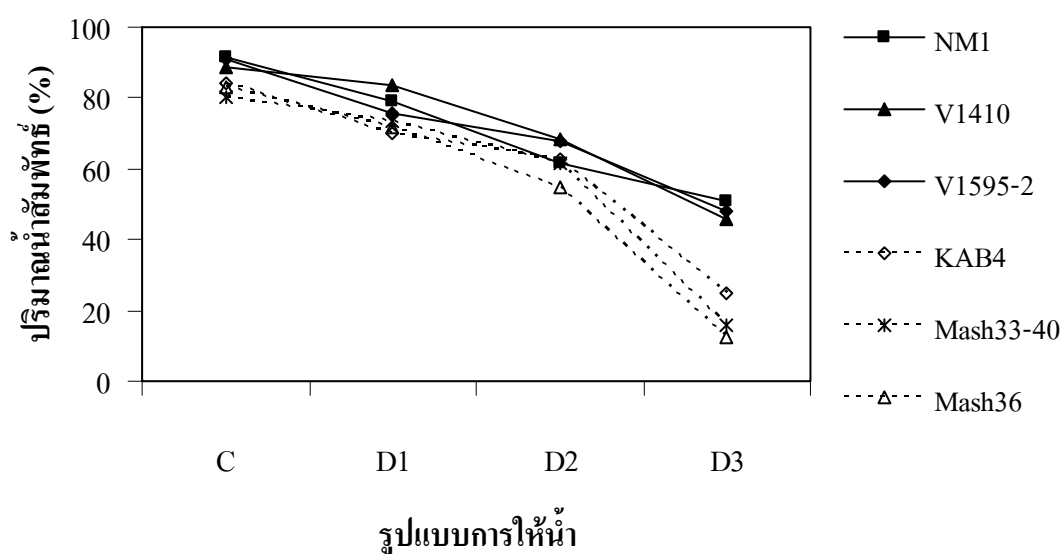
ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคิให้น้ำ/ให้น้ำ ของ 5 วิธีการ ที่ใช้คัดเลือกถั่วเขียวทนแล้งและร้อน จำนวน 6 สายพันธุ์

Methods	HTTC	RWC	DTTC	HCMT
RWC	0.929 **			
DTTC	0.846 **	0.848 **		
HCMT	0.833 **	0.878 **	0.597 **	
DCMT	0.618 **	0.790 **	0.547 **	0.815 **

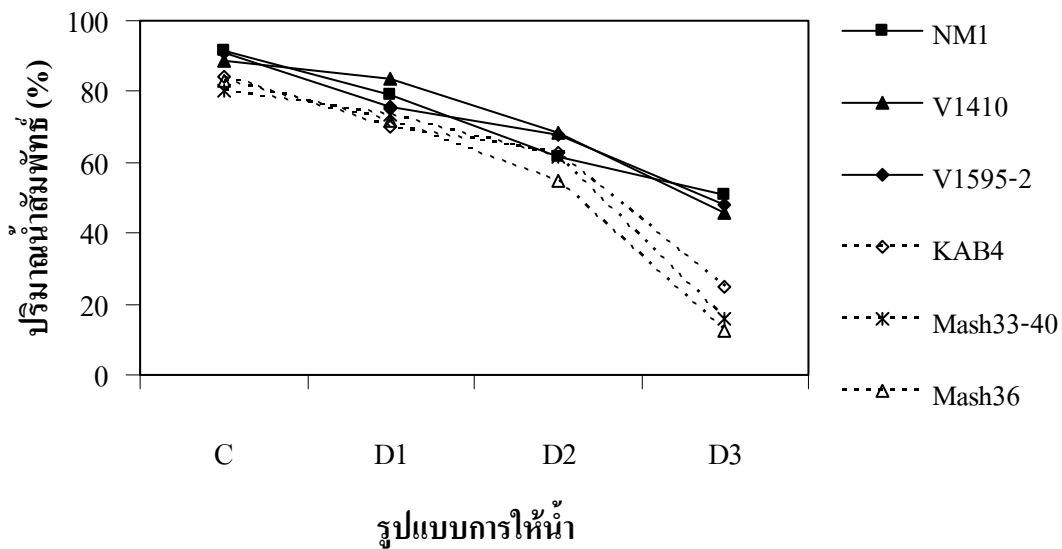
** = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.01

จากการทดสอบความทนทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อนของถั่วเขียวทั้ง 5 วิธี ในถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ กับรูปแบบการให้น้ำที่ต่างกัน 4 ระดับ พบว่าเมื่อพืชได้รับน้ำน้อยลง ค่าที่ได้จากการทดสอบทั้ง 5 วิธีมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 7-11) และจาก RWC (ภาพที่ 7) HTTC (ภาพที่ 8) และ DTTC (ภาพที่ 9) ในระดับ D3 พบความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างกลุ่มที่ทนทานและอ่อนแอ ส่วนวิธี HCMT (ภาพที่ 10) และ DCMT (ภาพที่ 11) นั้นจากการทำการทดลองในระดับ D3 นั้น ไม่สามารถวัดความแตกต่างได้ อาจเนื่องจากการงคิให้น้ำในระดับ D3 พืชอยู่ในสภาวะขาดน้ำที่ระดับสูงที่สุดแล้ว และเมื่อทดสอบด้วยวิธี DCMT คือเติมสารละลาย PEG6000 ลงไปในตัวอย่างพืชอีก ทำให้พืชไม่ตอบสนองต่อสาร และเมื่อนำมาวัดค่าการนำไฟฟ้า จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างของ Control กับ Treatment ได้

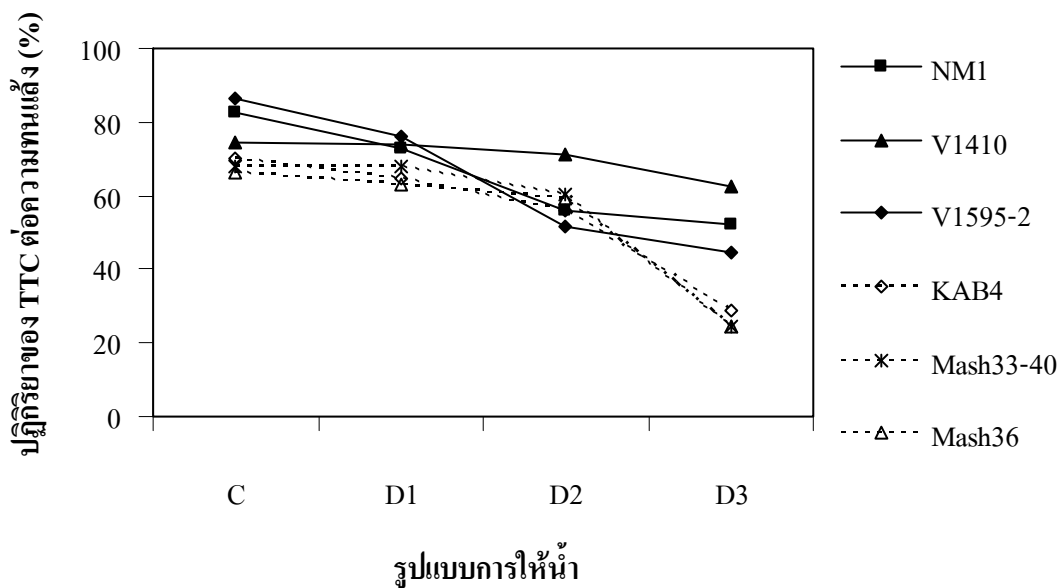
ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สัดส่วนคให้น้ำ/ให้น้ำ ในการทดลองที่ 1 พบว่า ทั้ง 5 วิธีการ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย HTTC (78.42) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ RWC (69.61), HCMT (53.73), DTTC (51.05) และ DCMT (33.24) ตามลำดับ ในการทดลองที่ 2 HTTC (74.92) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติจากวิธีการอื่น รองลงมาคือ RWC (64.01) กับ HCMT (64.45) และ DTTC (51.35) กับ DCMT (50.68) นั้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในการทดลองที่ 3 พบว่าทั้ง 5 วิธีการ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดย HTTC (68.55) มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ RWC (64.42), DTTC (64.74), HCMT (48.01) และสุดท้ายคือ DCMT (34.59) จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง พบว่าวิธีการทดสอบความทนร้อนของถั่วเขียวจากการวัดปฏิกิริยาของ TTC (HTTC) นั้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สัดส่วนคให้น้ำ/ให้น้ำ ของความทนร้อนสูงที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีการอื่นทั้ง 3 การทดลอง และวิธีการทดสอบความทนแล้งของถั่วเขียวจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (DCMT) มีค่าเฉลี่ยของความทนแล้งและร้อนต่ำที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีการอื่นทั้ง 3 การทดลอง (ตารางที่ 9)



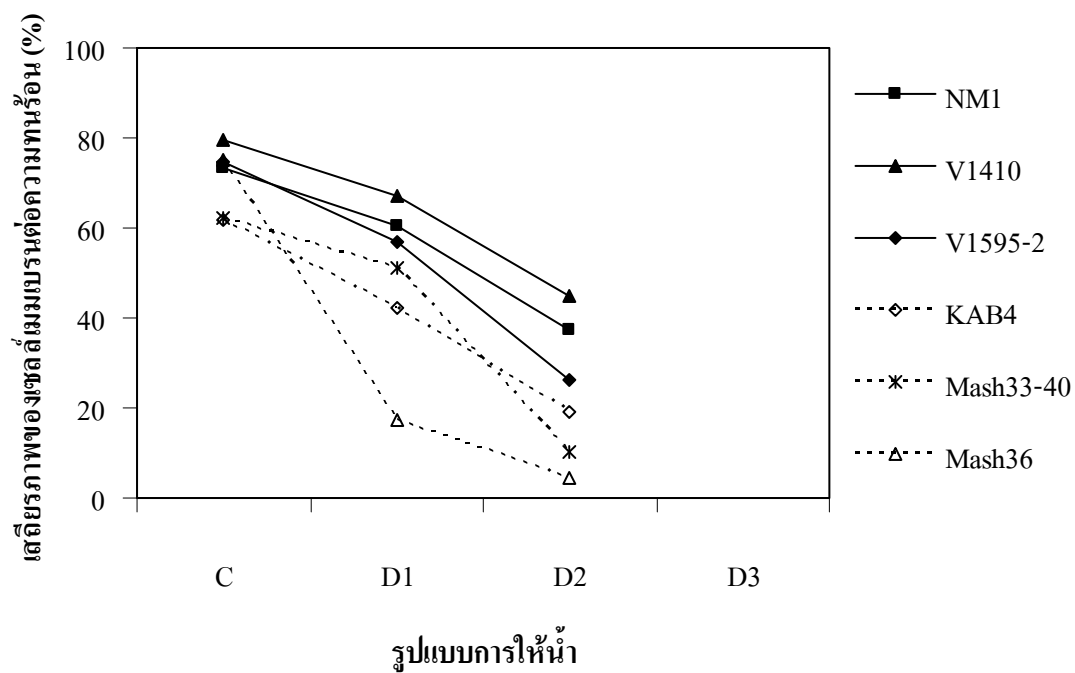
ภาพที่ 7 เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ



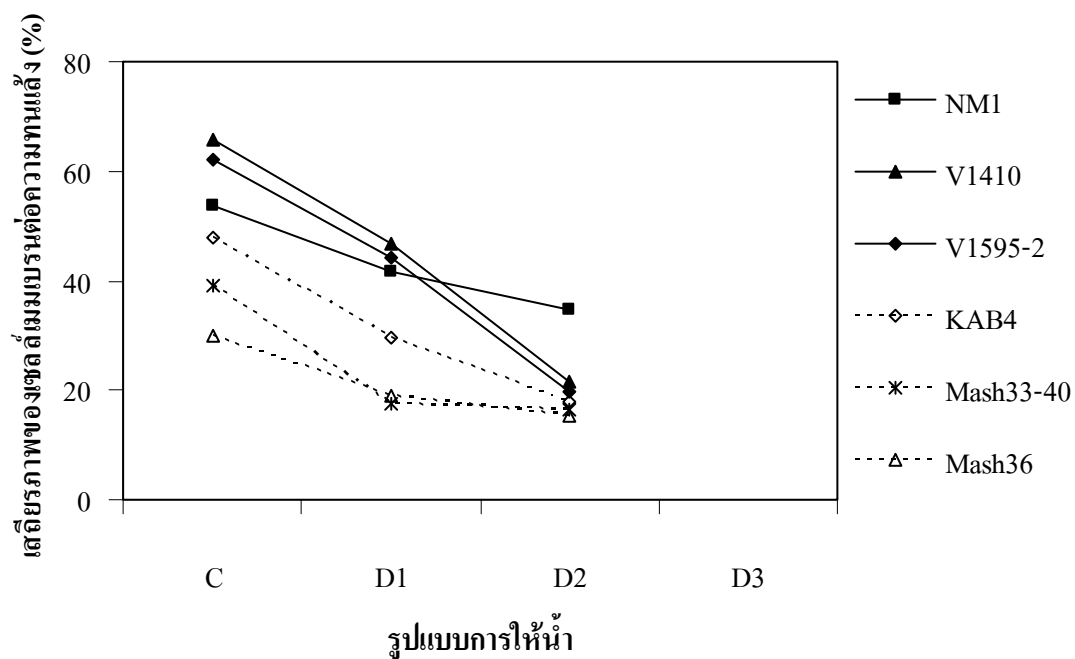
ภาพที่ 8 เปอร์เซนต์ปฏิกิริยาของ TTC ต่อความทนร้อนของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ



ภาพที่ 9 เปอร์เซนต์ปฏิกิริยาของ TTC ต่อความทนแสงของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ



ภาพที่ 10 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเซลลูล์สมเบรนต่อความทร้อนของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์
ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ



ภาพที่ 11 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเซลลูล์สมเบรนต่อความทนแล้งของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์
ที่ให้น้ำต่างกัน 4 ระดับ

ตารางที่ 9 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สัดส่วนวงคี่ให้น้ำ/ให้น้ำ จากการทดสอบ ความทนแล้งและร้อน 5 วิธีการ ของถั่วเขียวในการทดลองที่ 1-3

วิธีการทดสอบ	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
HTTC	78.42 a ^{1/}	74.92 a	68.55 a
RWC	69.61 b	64.01 b	64.42 b
HCMT	53.73 c	64.45 b	48.01 d
DTTC	51.05 d	51.35 c	60.74 c
DCMT	33.24 e	50.68 c	34.59 e
CV (%)	24.96	24.47	17.17

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี DMRT

การทดสอบความทนร้อนของถั่วเขียวมีประสิทธิภาพการจำแนกความแตกต่างของถั่วเขียวสูงกว่าการทดสอบความทนแล้ง เนื่องจากการทดสอบความทนร้อนได้นำชิ้นส่วนพืชให้ได้รับความร้อนโดยตรง โดยนำไปแช่ใน water bath ซึ่งต่างจากการทดสอบความทนแล้ง โดยในการทดสอบความทนแล้งได้นำพืชไปแช่ในสารละลาย PEG6000 ที่ความเข้มข้น 50 % ซึ่งสารละลายนี้เป็นตัวชักนำให้เกิดสภาพแล้ง และสาร PEG6000 ไม่ได้ทำลายสภาพของชิ้นส่วนพืชโดยตรง

การทดสอบความทนแล้งและร้อนจากการวัดปฏิกิริยาของ TTC นั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าการวัดจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) เนื่องจากการวัดปฏิกิริยาของ TTC เป็นการทดสอบความมีชีวิตของเซลล์พืช เซลล์ที่มีชีวิตจะติดสีแดง เซลล์ที่ไม่มีชีวิตจะไม่ติดสีนั้น เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างชิ้นส่วนพืชโดยตรง และสามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยเครื่อง spectrophotometer ส่วนการวัดจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (CMT) เป็นการวัดค่าจากการนำไฟฟ้าของสารอิเล็กโทรไลต์ที่รั่วออกมาจากเซลล์พืช ด้วยเครื่องวัด EC การวัดด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง ได้แก่ 1. ความสมบูรณ์ของตัวอย่างพืช ต้องไม่มีโรค หรือมีแมลงกัดกิน 2. เทคนิคการเจาะตัวอย่างชิ้นส่วนของใบพืช หากเครื่องเจาะไม่คมแล้วจะทำให้บริเวณขอบชิ้นส่วนพืชมีรอยชำ เมื่อนำไปแช่น้ำทิ้งไว้เพื่อเตรียมวัด EC อาจทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างนั้นสูงกว่าปกติได้ 3. ความสะอาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่น ขวดแก้ว หลอดทดลอง หากล้างไม่สะอาดก็จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่วัดเพิ่มสูงขึ้น 4. การนำไปนั่งทำลายสภาพตัวอย่างใบเพื่อวัด EC2

ใช้ขวดแก้วปิดด้วยฝาพลาสติก และนึ่งที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เช่นเดียวกับการนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อ ฝาพลาสติกเมื่อถูกความร้อนเกิดการขยายตัว บวกกับระดับความดันดังกล่าว อาจทำให้น้ำที่อยู่ด้านนอกเข้าไปในขวดที่ทำการทดลองได้ เมื่อนำมาวัดค่า EC ทำให้ค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง ทั้งหมดต่างก็มีผลทำให้ค่า EC สูงกว่าความเป็นจริง ซึ่งค่าที่ได้นั้น ไม่ได้มาจากสภาพแล้งเมื่อได้รับสารละลาย PEG เพียงอย่างเดียว ซึ่งการวัดจากค่า EC มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้สูงกว่าวิธีอื่น การทดสอบความทนแล้งและร้อนจากปฏิกิริยาของ TTC ได้ผลดีกับบางพืชขึ้นกับลักษณะทางสัณฐานทางวิทยาของใบพืช และได้ผลไม่ดีกับพืชในวงศ์หญ้า เช่น ข้าว ใบของข้าวเมื่อตัดมาแช่สาร TTC จะไม่จมน้ำเนื่องจากมี wax และขน ทำให้ตัวอย่างพืชไม่ได้ทำปฏิกิริยากับ TTC ส่วนการวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช (RWC) เป็นวิธีที่ง่ายและสามารถจำแนกความทนทานและอ่อนแอต่อการขาดน้ำของพืชได้ เมื่อพืชได้รับสภาพแล้งในระดับเดียวกัน โดยสายพันธุ์ที่ทนแล้งจะมีค่า RWC สูงกว่าพันธุ์ที่อ่อนแอ

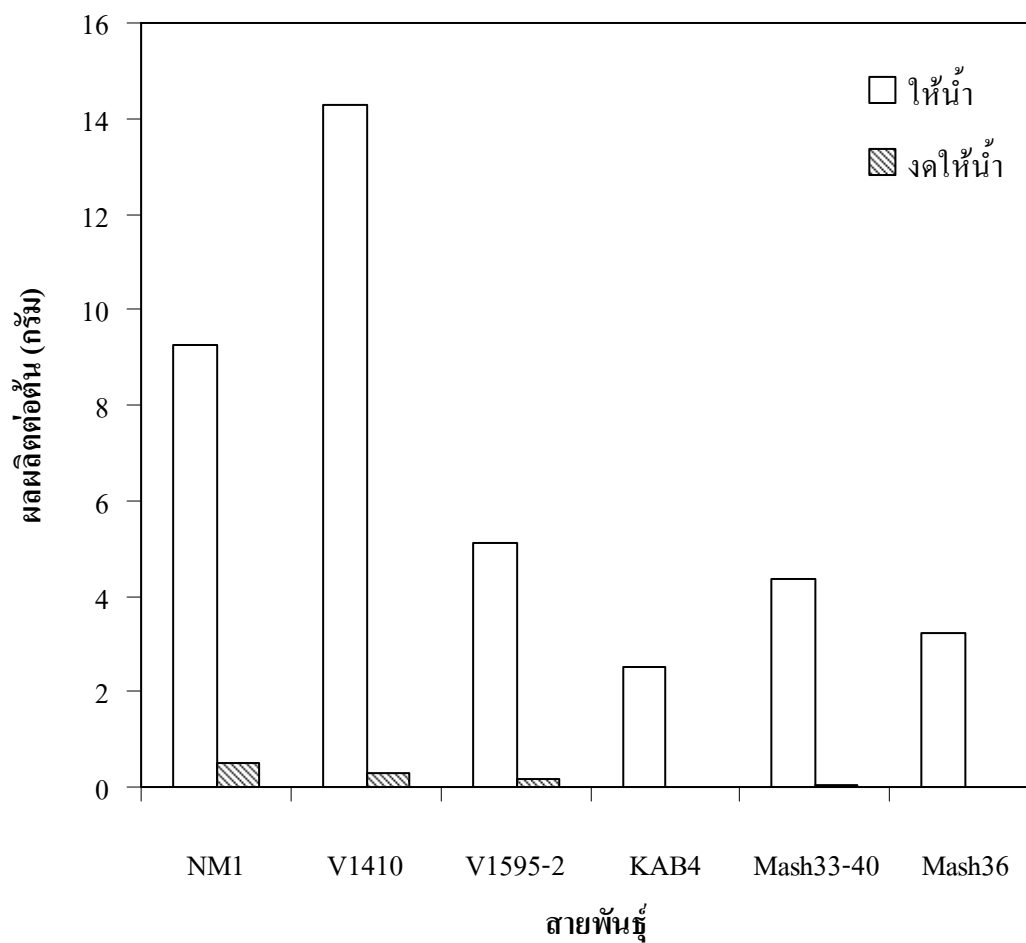
จากการทดลองสามารถประเมินได้ว่า วิธีการทดสอบความทนร้อนของถั่วเขียวจากปฏิกิริยาของ TTC (HTTC) มีประสิทธิภาพในการคัดแยกถั่วเขียวทนทานและอ่อนแอต่อสภาพร้อนได้สูงที่สุด และวิธีการทดสอบความทนแล้งของถั่วเขียวจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (DCMT) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ซึ่งในการคัดแยกถั่วเขียวทนทานและอ่อนแอต่อสภาพร้อน วิธีการทดสอบความทนร้อนของถั่วเขียวจากปฏิกิริยาของ TTC (HTTC) นั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด และจากการหาความสัมพันธ์ของ 5 วิธีการ ที่ใช้ทดสอบความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียว พบว่า วิธีการทดสอบความทนร้อนของถั่วเขียวจากปฏิกิริยาของ TTC (HTTC) มีความสัมพันธ์กับการวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช (RWC) มากที่สุด หากมีข้อจำกัดในด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวัดจากปฏิกิริยาของ TTC วิธีการวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช (RWC) นั้นเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินความทนแล้งและร้อนของถั่วเขียวในขั้นต้นได้

การทดลองที่ 4

จากการวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำ และงดให้น้ำของสายพันธุ์ที่ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพร้อนและแล้งรวม 6 สายพันธุ์ พบว่ากลุ่มที่ให้น้ำมีผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ ความสูง จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด สูงกว่ากลุ่มที่งดให้น้ำ (ภาพที่ 12-16) โดยในกลุ่มที่ให้น้ำสายพันธุ์ V1410 (14.30 กรัมต่อต้น) ให้ผลผลิตสูงสุดรองลงมาคือ NM1(9.25 กรัมต่อต้น) และ V1595-2 (5.12 กรัมต่อต้น) สายพันธุ์ KAB4 (2.5 กรัมต่อต้น) ให้ผลผลิตต่ำที่สุด รองลงมาคือ Mash36 (3.23 กรัมต่อต้น) และ

Mash33-40 (3.37 กรัมต่อตัน) ตามลำดับ ในกลุ่มที่งคให้น้ำ NM1 มีผลผลิตสูงสุด (0.50 กรัมต่อตัน) รองลงมาคือ V1595-2 (0.15 กรัม ต่อตัน) และ V1410 (0.80 กรัมต่อตัน) ตามลำดับ Mash36 (0.00 กรัมต่อตัน) ไม่สามารถให้ผลผลิตได้เมื่อได้รับสภาพแล้งในระดับเดียวกันกับสายพันธุ์อื่น KAB4 (0.02 กรัมต่อตัน) และ Mash33-40 (0.04 กรัมต่อตัน) เมื่อหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของผลผลิตถั่วเขียว พบว่า NM1 (5.36) มีค่าสูงสุด คือ มีความแตกต่างของผลผลิตถั่วเขียวระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงคให้น้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ V1595-2 (3.02) และ V1410 (1.99) ตามลำดับ สายพันธุ์ Mash36 (0.00) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของผลผลิต ถั่วเขียวต่ำที่สุด คือ มีความแตกต่างของผลผลิตถั่วเขียวระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงคให้น้ำมากที่สุด รองลงมาคือ KAB4 (0.78) และ Mash33-40 ซึ่งพบว่า 3 สายพันธุ์ที่ทนทาน มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ ให้น้ำ สูงกว่าสายพันธุ์ที่อ่อนแอ (ตารางที่ 10)

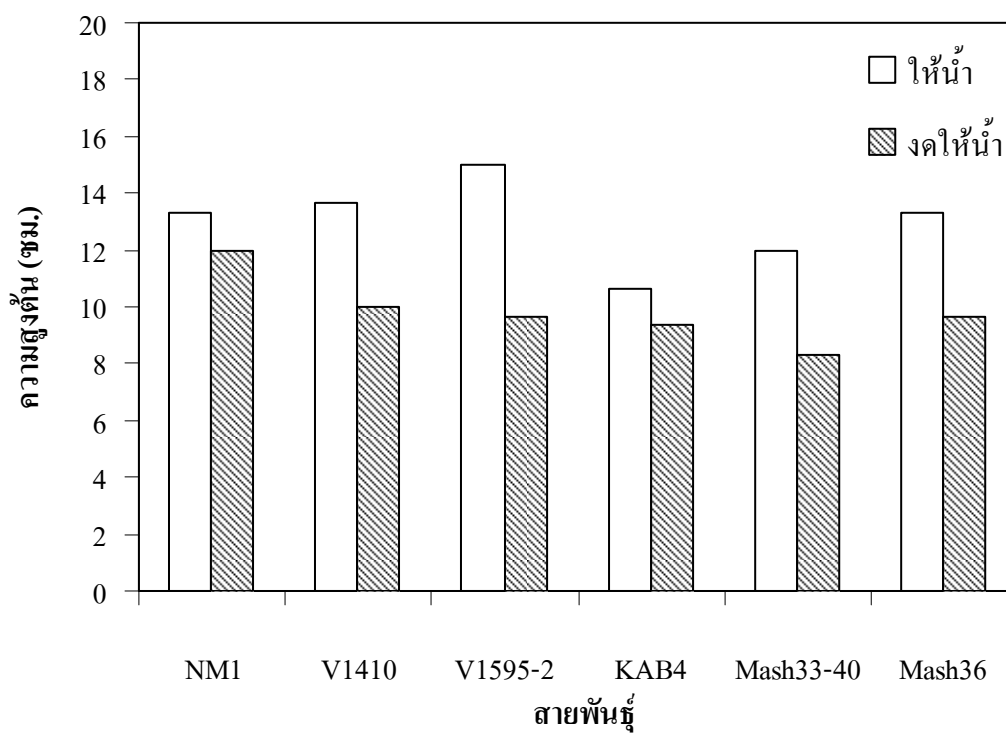
ความสูงต้นของถั่วเขียวในกลุ่มที่งคให้น้ำ มีความสูงเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มที่งคให้น้ำทุกสายพันธุ์ (ภาพที่ 13) ในกลุ่มที่ให้น้ำความสูงเฉลี่ยของถั่วเขียวสายพันธุ์ V1410 (15.00) มีความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ V1595-2 (13.67), NM1 (13.33), Mash36 (13.33), Mash33-40 (12.00) ตามลำดับ และ KAB4 (10.67) มีความสูงน้อยที่สุด ในกลุ่มที่งคให้น้ำ NM 1 (12.00) มีความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ V1410 (10.00), V1595-2 (9.667), Mash36 (9.67), KAB4 (9.33) ตามลำดับ และ Mash33-40 (8.33) มีความสูงน้อยที่สุด เมื่อหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของผลผลิตถั่วเขียว พบว่า NM1 (90.00) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของความสูงต้นมากที่สุด คือ มีความแตกต่างของความสูงต้นของถั่วเขียวระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงคให้น้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ KAB4 (87.50), V1410 (73.17), Mash36 (72.50), Mash33-40 (69.44) ตามลำดับ และ V1595-2 (64.44) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของความสูงต้นน้อยที่สุด คือ มีความแตกต่างของความสูงต้นของถั่วเขียวระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงคให้น้ำมากที่สุด (ตารางที่ 11)



ภาพที่ 12 ผลผลิตของข้าว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตต่อต้นข้าว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ งดให้น้ำ และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของให้น้ำ/งดให้น้ำ

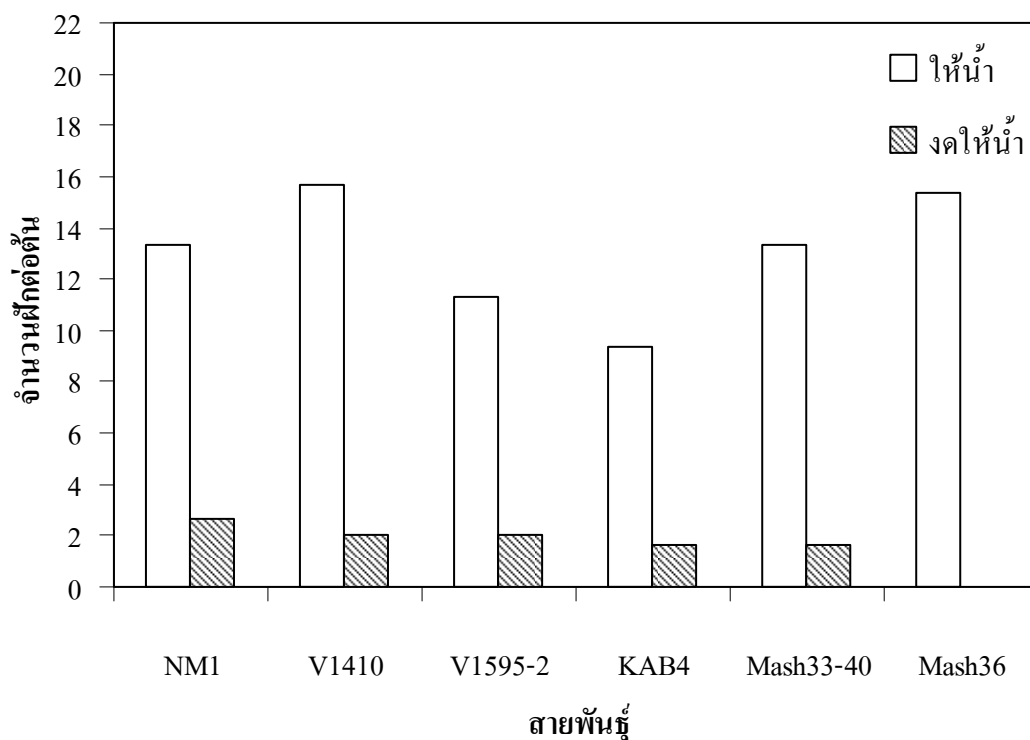
สายพันธุ์	NM1	V1410	V1595-2	KAB4	Mash33-40	Mash36
ให้น้ำ	9.25	14.30	5.12	2.51	3.37	3.23
งดให้น้ำ	0.50	0.28	0.15	0.02	0.04	0.00
งดให้น้ำ/ให้น้ำ (%)	5.36	1.99	3.02	0.78	1.20	0.00



ภาพที่ 13 ความสูงต้นของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยของความสูงถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ งดให้น้ำ และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของให้น้ำ/งดให้น้ำ

สายพันธุ์	NM1	V1410	V1595-2	KAB4	Mash33-40	Mash36
ให้น้ำ	13.33	13.67	15.00	10.67	12.00	13.33
งดให้น้ำ	12.00	10.00	9.67	9.33	8.33	9.67
งดให้น้ำ/ให้น้ำ (%)	90.00	73.17	64.44	87.50	69.44	72.50



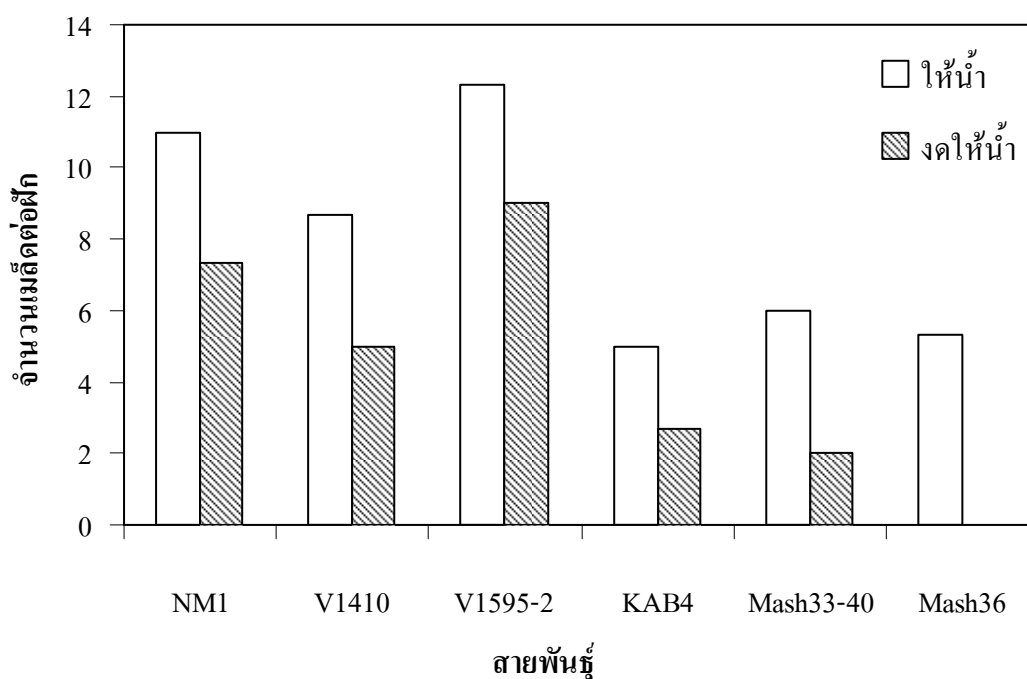
ภาพที่ 14 จำนวนฝักต่อต้นของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยของจำนวนฝักต่อต้นถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ งดให้น้ำ และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของให้น้ำ/งดให้น้ำ

สายพันธุ์	NM1	V1410	V1595-2	KAB4	Mash33-40	Mash36
ให้น้ำ	13.33	15.67	11.33	9.33	13.33	15.33
งดให้น้ำ	2.67	2.00	2.00	1.17	1.67	0.00
งดให้น้ำ/ให้น้ำ (%)	20.00	12.76	17.65	17.86	12.50	0.00

จำนวนฝักต่อต้นในกลุ่มที่ให้น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่งดให้น้ำในทุกสายพันธุ์ (ภาพที่ 13) ในกลุ่มที่ให้น้ำ V1410 (15.67) มีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ Mash36 (15.33), NM1 (13.33), Mash33-40 (13.33), V1595-2 (11.33) ตามลำดับ และ KAB4 (9.33) มีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ย น้อยที่สุด ในกลุ่มที่งดให้น้ำ NM1 (2.67) มีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ V1410 (2.00), V1595-2 (2.00), Mash33-40 (1.67), KAB4 (1.17) และ Mash36 (0.00) ไม่สามารถ

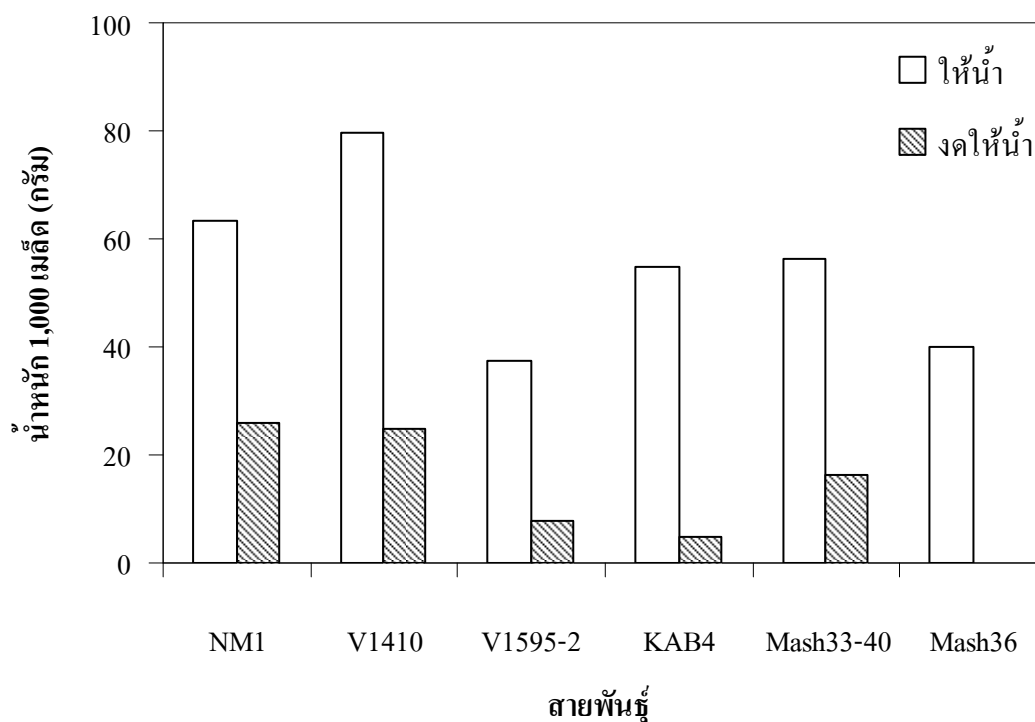
ให้ผลผลิตได้ เมื่อได้รับสภาพแสงในระดับเดียวกันกับสายพันธุ์อื่น เมื่อหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของจำนวนฝักต่อต้น พบว่า NM1 (20.00) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของจำนวนฝักต่อต้นสูงที่สุด คือ มีความแตกต่างของจำนวนฝักต่อต้นระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงคให้น้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ KAB4 (17.86), V1595-2 (17.65), V1410 (12.76), Mash33-40 (12.50) และ Mash36 (0.00) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคให้น้ำ/ให้น้ำของจำนวนฝักต่อต้นต่ำที่สุด (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 15 จำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงคให้น้ำ

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดต่อฝักถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ งคให้น้ำ และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของให้น้ำ/งคให้น้ำ

สายพันธุ์	NM1	V1410	V1595-2	KAB4	Mash33-40	Mash36
ให้น้ำ	11.00	8.67	12.33	5.00	6.00	5.33
งคให้น้ำ	7.33	5.00	9.00	2.67	2.00	0.00
งคให้น้ำ/ให้น้ำ (%)	67.63	59.31	73.33	52.22	33.97	0.00



ภาพที่ 16 น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำ

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ของถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ งดให้น้ำ และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของให้น้ำ/งดให้น้ำ

สายพันธุ์	NM1	V1410	V1595-2	KAB4	Mash33-40	Mash36
ให้น้ำ	63.37	79.80	37.33	54.73	56.13	39.90
งดให้น้ำ	26.10	24.70	7.73	4.90	16.30	0.00
งดให้น้ำ/ให้น้ำ (%)	41.19	30.95	20.71	8.95	29.12	0.00

จำนวนเมล็ดต่อฝัก ในกลุ่มที่ให้น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่งดให้น้ำในทุกสายพันธุ์ (ภาพที่ 15) ในกลุ่มที่ให้น้ำ V1595-2 (12.33) มีจำนวนจำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ NM1 (11.00), V1410 (8.67), Mash33-40 (6.00), Mash36 (5.33) และ KAB4 (5.00) มีจำนวนจำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยน้อยที่สุด ในกลุ่มที่งดน้ำ V1595-2 (9.00) มีจำนวนจำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ NM1 (7.33), V1410 (5.00), KAB4 (2.67), Mash33-40 (2.00) และ Mash 36 (0.00) ไม่สามารถให้ผลผลิตได้ เมื่อได้รับสภาพแสงในระดับเดียวกันกับสายพันธุ์อื่น เมื่อหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงดให้น้ำ/ให้น้ำของจำนวนจำนวนเมล็ดต่อฝัก พบว่า V1595-2 (73.33) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วน

งดให้น้ำ/ให้น้ำของจำนวนเมล็ดต่อฝักสูงที่สุด รองลงมาคือ NM1 (67.63), V1410 (59.31), KAB4 (52.22), Mash33-40 (33.97) และ Mash 36 (0.00) เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงดให้น้ำ/ให้น้ำของจำนวนฝักต่อต้นต่ำที่สุด (ตารางที่ 13)

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ในกลุ่มที่ให้น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่งดให้น้ำในทุกสายพันธุ์ (ภาพที่ 16) ในกลุ่มที่ให้น้ำ V1410 (79.80) มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเฉลี่ยมากที่สุด คือมีขนาดเมล็ดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือ NM1 (63.37), Mash33-40 (56.13), KAB4 (54.73), Mash36 (39.90) และ V1595-2 (37.33) มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือมีขนาดเมล็ดเล็กที่สุดในกลุ่มที่งดให้น้ำ NM1 (26.10) มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ V1410 (30.95), Mash 33-40 (29.12), V1595-2 (20.71), KAB4 (8.95) และ Mash36 (0.00) ไม่สามารถให้ผลผลิตได้ เมื่อได้รับสภาพแล้งในระดับเดียวกันกับสายพันธุ์อื่น เมื่อหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงดให้น้ำ/ให้น้ำของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดพบว่า NM1 (41.19) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงดให้น้ำ/ให้น้ำของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงที่สุด คือ มีความแตกต่างของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำและงดให้น้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ V1410 (30.95), Mash33-40 (29.12), V1595-2 (20.71), KAB4 (8.95) และ Mash36 (0.00) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงดให้น้ำ/ให้น้ำของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดต่ำที่สุด (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่ให้น้ำ

สายพันธุ์	ผลผลิต (กรัม/ต้น)	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวน ฝักต่อต้น	จำนวน เมล็ดต่อฝัก	นน. 1,000 เมล็ด (กรัม)
NM1	9.25 b ^{1/}	13.33 ab	13.33 ab	11.00 ab	63.37 b
V1410	14.30 a	13.67 ab	15.67 a	8.67 b	79.80 a
V1595-2	5.12 c	15.00 a	11.33 ab	12.33 a	37.33 d
KAB4	2.51 c	10.67 c	9.33 b	5.00 c	54.73 c
Mash33-40	4.37 c	12.00 bc	13.33 ab	6.00 c	56.13 c
Mash36	3.23 c	13.33 ab	15.33 a	5.33 c	39.90 d
ค่าเฉลี่ย	6.46	13.00	13.05	8.06	55.21

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ถั่วเขียว ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้งรวม 6 สายพันธุ์ เมื่อได้รับน้ำอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต พบว่าผลผลิตต่อต้นในสายพันธุ์ที่ทนแล้ง คือ NM1, V1410 และ V1595-2 ให้ผลผลิตต่อต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากความแตกต่างทางพันธุกรรม โดย V1410 (14.30 กรัม/ต้น) ให้ผลผลิต สูงที่สุด รองลงมาคือ NM1 (9.25 กรัม/ต้น) ในสายพันธุ์ที่อ่อนแอทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ KAB4 (2.51 กรัม/ต้น), Mash33-40 (3.23 กรัม/ต้น) และ Mash 36 (4.37 กรัม/ต้น) ตามลำดับ ให้ผลผลิตต่อต้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ความสูงต้นเมื่อได้รับน้ำอย่างเพียงพอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ใน 4 สายพันธุ์ คือ V1595-2 (15.00 ซม.), V1410 (13.67 ซม.), NM (13.33 ซม.) และ Mash 36 (13.33 ซม.), Mash33-40 (12.00 ซม.) ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ Mash 36 ส่วน KAB4 (10.67 ซม.) มีความสูงน้อยที่สุด จำนวนฝักต่อต้น V1410 (15.67 ฝัก) และ Mash36 (15.33 ฝัก) มีจำนวนฝักต่อต้นสูงที่สุด รองลงมาคือ NM1 (13.33 ฝัก), Mash33-40 (13.33 ฝัก) และ V1595-2 (11.33 ฝัก) ตามลำดับ ส่วน KAB4 (9.33 ฝัก) มีจำนวนฝักต่อต้นน้อยที่สุด จำนวนเมล็ดต่อฝัก V1510-2 (12.33 เมล็ด) และ NM1 (11.00 เมล็ด) มีจำนวนเมล็ดต่อฝักสูงที่สุด รองลงมาคือ V1410 (8.67 เมล็ด) ส่วน Mash33-40 (6.00 เมล็ด), Mash36 (5.33 เมล็ด) และ KAB4 (5.00 เมล็ด) มีจำนวนเมล็ดต่อฝักน้อยที่สุด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด V1410 (79.80 กรัม) มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงที่สุด คือมีขนาดเมล็ดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือ NM1 (63.37 กรัม) รองลงมาอีกคือ Mash33-40 (56.13 กรัม) และ KAB4 (54.73 กรัม) ซึ่งมีขนาดเมล็ดเฉลี่ยไม่ต่างกัน สายพันธุ์ Mash36 (39.90 กรัม) และ V1510-2 (37.33 กรัม) มีขนาดเมล็ดเล็กที่สุด (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเขียว 6 สายพันธุ์ ในกลุ่มที่งดให้น้ำ

สายพันธุ์	ผลผลิต (กรัม/ต้น)	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวน ฝักต่อต้น	จำนวน เมล็ดต่อฝัก	นน. 1,000 เมล็ด (กรัม)
NM1	0.50 a ^{1/}	12.00	2.67 a	7.33 ab	26.10 a
V1410	0.18 c	10.00	2.00 b	5.00 bc	24.70 c
V1595-2	0.15 b	9.67	2.00 ab	9.00 a	7.73 d
KAB4	0.02 d	9.33	1.67 b	2.67 cd	4.90 e
Mash33-40	0.04 cd	8.33	1.67 b	2.00 d	16.30 b
Mash36	0.00 d	9.67	0.00 c	0.00 d	0.00 f
ค่าเฉลี่ย	0.15	9.83	1.67	4.33	11.62

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสครมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเขียว ทนทานและอ่อนแอต่อสภาพแล้งรวม 6 สายพันธุ์ ภายใต้สภาพแล้ง (งดให้น้ำในระยะก่อนออกดอก เป็นเวลา 7 วัน) พบว่า NM1(0.5 กรัม/ต้น) ให้ผลผลิตต่อต้นสูงที่สุด รองลงมาคือ V1595-2 (0.15 กรัม/ต้น), V1410 (0.08 กรัม/ต้น) และ Mash33-40 (0.04 กรัม/ต้น) ตามลำดับ สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต ต่อต้นน้อยที่สุดคือ KAB4 (0.02 กรัม/ต้น) และ Mash36 (0.00 กรัม/ต้น) ซึ่งเป็นไปในทิศทาง เดียวกันกับการทดลองในถั่วเขียวของ Thomas *et al.*, (2004) โดยการปลูกถั่วเขียวในช่วงเวลา ต่างกัน แต่ให้น้ำหลังปลูกครั้งแรกในวันเดียวกันพบว่า ถั่วที่ปลูกก่อนและได้รับในสภาวะแล้งนาน กว่า จะให้ผลผลิตต่ำกว่าที่ปลูกทีหลัง ความสูงต้นเฉลี่ยเมื่อพืชขาดน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากวัดความสูงต้นในระยะวัดสุดท้ายจึงให้น้ำ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนฝักต่อ ต้น NM1 (2.67 ฝัก) มีจำนวนฝักต่อต้นมากที่สุด รองลงมาคือ V1510-2 (2.00 ฝัก), Mash33-40 (1.67 ฝัก), KAB4 (1.67 ฝัก) และ V1410 (1.33 ฝัก) ตามลำดับ ส่วน Mash36 (0.00) ไม่สามารถให้ ผลผลิตได้เมื่อได้รับสภาพแล้งระดับเดียวกันกับสายพันธุ์อื่น ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวน เมล็ดต่อฝัก V1510-2 (9.00 เมล็ด) และ NM1 (7.33 เมล็ด) มีจำนวนเมล็ดต่อฝักสูงที่สุด รองลงมาคือ V1410 (5.00 เมล็ด), KAB4 (2.67 เมล็ด) ส่วน Mash33-40 (2.00 เมล็ด) และ Mash36 (0.00) มี จำนวนเมล็ดต่อฝักน้อยที่สุด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีค่าเฉลี่ยในทุกสายพันธุ์มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดย NM1 (26.10 กรัม) มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงที่สุด คือมีขนาดเมล็ด

ตารางที่ 17 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงดให้น้ำ/ให้น้ำ ของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเขียว 6 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ผลผลิต	ความสูงต้น	จำนวน ฝักต่อต้น	จำนวน เมล็ดต่อฝัก	นน. 1,000 เมล็ด
NM1	5.36 a ^{1/}	90.00 a	20.00 a	67.63 a	41.19 a
V1410	1.99 c	73.17 a	12.76 a	59.31 ab	30.95 b
V1595-2	3.02 b	64.44 a	17.65 a	73.33 a	20.71 c
KAB4	<u>0.78 d</u>	87.50 a	17.86 a	52.22 ab	8.95 d
Mash33-40	<u>1.20 d</u>	69.44 a	12.50 a	33.97 b	29.12 b
Mash36	<u>0.00 e</u>	72.50 a	0.00 b	0.00 c	0.00 e
ค่าเฉลี่ย	2.06	76.18	13.46	47.74	21.82

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสมคม์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี DMRT

ใหญ่ที่สุด โดย NM1 (26.10 กรัม) มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงที่สุด คือมีขนาดเมล็ดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือ Mash33-40 (16.30 กรัม), V1410 (24.70 กรัม), V1510-2 (7.73 กรัม), KAB4 (4.90 กรัม) ตามลำดับ ส่วน Mash36 (0.00) ไม่สามารถให้ผลผลิตได้เมื่อได้รับสภาพแสงระดับเดียวกันกับ สายพันธุ์อื่น (ตารางที่ 16)

จากการทดลองพบว่า กลุ่มที่ทนแล้งที่ได้จากการคัดเลือกโดยทดสอบด้วยวิธีต่างๆ 3 สายพันธุ์และอ่อนแอ 3 สายพันธุ์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคิให้น้ำ/ให้น้ำของผลผลิตถั่วเขียว กลุ่มที่ทนทาน 3 สายพันธุ์ คือ NM1, V1410 และ V1595-2 ให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มที่อ่อนแอ คือสายพันธุ์ KAB4, Mash33-40 และ Mash36 โดย NM 1 (5.36) มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคิให้น้ำ/ให้น้ำสูงที่สุด สามารถประเมินได้ว่ามีความทนแล้งสูงที่สุด รองลงมาคือ V1595-2 (3.02) และ V1410 (1.99) ตามลำดับ ส่วน Mash36 อ่อนแอต่อสภาพแล้งมากที่สุดรองลงมา Mash33-40 (1.20) และ KAB4 (0.78) ตามลำดับ (ตารางที่ 17) ถั่วเขียวพันธุ์ทนแล้งและร้อน 3 สายพันธุ์ ที่ได้คัดเลือกจาก 5 วิธีการ ที่ใช้ทดสอบถั่วเขียว ทนแล้งและร้อนจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรนจากการทดลองที่ 3 นำมาปลูกเปรียบเทียบระหว่างให้น้ำ และงดให้น้ำ (การทดลองที่ 4) พบว่า พันธุ์ที่ทนทานจากการทดลองที่ 3 สามารถให้ผลผลิตได้ในสภาวะแล้งซึ่งผลผลิตที่ได้สูงกว่าพันธุ์อ่อนแอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อได้รับสภาพแล้งในระดับเดียวกัน (ตารางที่ 17) ซึ่งผลทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Hafeez *et al.* (2004) คือ จากการศึกษาความทนร้อนของฝ้ายในระยะติดผล (fruiting stage) โดยใช้เทคนิค CMT พบว่า การศึกษาในเรือนทดลองและสภาพไร่ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกสายพันธุ์ โดยพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในพันธุ์ที่ทนทานและอ่อนแอ ความสูงต้นของถั่วเขียว พบว่า เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคิให้น้ำ/ให้น้ำของความสูงต้นของทั้ง 6 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จำนวนฝักต่อต้น เปอร์เซ็นต์สัดส่วนงคิให้น้ำ/ให้น้ำของจำนวนฝักต่อต้นของทั้ง 5 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด หรือขนาดเมล็ด พบว่า สายพันธุ์ NM1 (41.19) ขนาดเมล็ดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างให้น้ำและงดให้น้ำมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด คือ NM1 ยังคงสามารถให้ผลผลิต และยังคงเจริญเติบโตจนมีเมล็ด และเมล็ดนั้นมีขนาดแตกต่างกับกลุ่มที่ให้น้ำปกติน้อยกว่าสายพันธุ์อื่นๆ เมื่อได้รับสภาพแล้งเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 7)

สรุปผลการทดลอง

1. ถั่วเขียวสายพันธุ์ NM1, V1595-2 และ V1410 เป็นสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาพแล้งและร้อน สายพันธุ์ Mash33-40, KAB4 และ Mash36 เป็นสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อสภาพแล้งและร้อน จากการทดสอบความทนแล้งและร้อนทั้งหมด 5 วิธี โดยที่ NM1 มีความทนแล้งสูงสุด รองลงมาคือ V1595-2 และ V1410 ตามลำดับสายพันธุ์ Mash36 มีความอ่อนแอต่อสภาพแล้งมากที่สุด รองลงมา KAB4 และ Mash33-40 ตามลำดับจากการหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนให้น้ำ/งดให้น้ำ ของผลผลิต ถั่วเขียว
2. ทดสอบความทนร้อนจาก TTC reduction (HTTC) เป็นวิธีการที่ใช้ประเมินลักษณะความทนร้อนของถั่วเขียวได้ดีที่สุด รองลงมาคือ วัดจากปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช (RWC) ทดสอบความทนร้อนจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (HCMT) ทดสอบความทนแล้งจาก TTC reduction (DTTC) และการทดสอบความทนแล้งจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (DCMT) ตามลำดับ และวิธี DCMT เป็นวิธีการประเมินลักษณะความทนแล้งของถั่วเขียวที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด
3. พบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะความทนแล้งและทนร้อนของถั่วเขียว จากการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของทั้ง 5 วิธีการ
4. เมื่อวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของถั่วเขียว พบว่าสายพันธุ์ที่ทนทานมีผลผลิตสูงกว่าสายพันธุ์อ่อนแอต่อสภาพแล้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2547. **ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืช: ถั่วเขียว/ถั่วเขียวพิวดำ**. กรมวิชาการเกษตร. ชุมชนสหกรณ์การเกษตร แห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **บทปฏิบัติการเทคโนโลยีของเมล็ดพันธุ์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชัยฤกษ์ มณีพงษ์. 2523. **ธัญพืชทนแล้ง**. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 13(3): 247-251.
- ชุมพล คุณวาลี. 2549. **การตอบสนองและการควบคุมภายในพืช**. เอกสารประกอบการสอนวิชาชีววิทยา. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นพพร สายัมพล. 2543. **เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์พืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประภา ศรีพิจิตต์. 2538. **การคัดเลือกพันธุ์ข้าว (*Oryza sativa* L.) ทนทานต่อสภาพแล้งโดยใช้สารเคมี polyethylene glycol**. วารสารวิชาการเกษตร 13(2): 117-124.
- พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2542. ถั่วเขียว, น. 143-156. ใน นพพร สายัมพล, เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, รังสฤษดิ์ กาวีตะ และ สนธิชัย จันทร์เปรม, บรรณาธิการ. **พืชเศรษฐกิจ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ลิลลี่ กาวีตะ. 2546. **การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและพัฒนาการของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สายัณฑ์ สดุดี. 2537. **สภาวะขาดน้ำในการผลิตพืช**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2549. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 49.

แหล่งที่มา: <http://oae.go.th/mis/predict/sugarcane.htm>, 3 มกราคม 2550

Abdelbagi, M.I. and A.E. Hall. 1999. Reproductive-stage heat tolerance, leaf membrane thermostability and plant morphology in cowpea. **Crop Sci.** 39: 1762-1768.

Aggarwal, V.D. and J.M. Poehlman. 1977. Effects of photoperiod and temperature on flowering in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Euphytica** 26: 207-219.

AVRDC. 1983. **AVRDC Progress Report 1982**. Taipei.

Barrs, H.D. and P.E. Weatherley. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Aust. J. Biol. Sci.** 15: 413-428.

Bewley, J.D. 1979. Physiological aspects of desiccation tolerance. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 30: 195-238.

Blum, A. 1979. Genetic improvement of drought resistance in crop plants : a case for Sorghum, pp. 113-126. *In* H. Mussell and R. Staples, ed. **Stress Physiology in Crop Plants**. John Wiley & Sons, Inc., N.Y.

_____. 1982. Evidence of genetic variability in drought resistance and its implications for plant breeding, pp. 53-70. *In* M.R. Vega, ed. **Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice**. IRRI, Manila.

_____, B. Sinmina and O. Ziv. 1980. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening test in wheat. **Euphytica** 29: 727-736.

Bose, R.D. 1939. Studies in Indian pulses. Contributions to the genetics of mungbean (*Phaseolus radiatus* Linn., Syn. *Phaseolus aureus*. Roxb.). **Indian J. Agric. Sci.** 9: 575-594.

- Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. **Science** 218: 443-448.
- Bressan, R.A., P.M. Hasegawa and A.R. Handa. 1981. Resurgence of cultured higher plant cell to polyethylene glycol induced water stress. **Plant Sci. Lett.** 21: 23-30.
- Chang, T.T., G.C. Loresto, J.C. O'Toole and J.L. Armenta-soto. 1982. Strategy and metrology of breeding rice for drought prone area, pp. 214-244. *In* M.R. Vega, ed. **Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice**. IRRI, Manila.
- Craufurd, P.Q., P.V.V. Prasad, V.G. Kakani, T.R. Wheeler and S.N. Nigam. 2003. Heat Tolerance in Groundnut. **Field Crops Research** 80: 63-67
- Dickson, M.H., R. Petzoldt and J. Bamard. 1993. Genetics and breeding for heat tolerance in beans in the humid north east. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 28:730-731.
- Empig, L.T., R.M. Lantican and P.B. Escuro. 1970. Heritability estimates of quantitative characters in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.). **Crop Sci.** 10: 240-241.
- Faquahar, G.D., M.H. O'Leary and J.A. Berry. 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular CO₂ concentration in leaves. **Aust. J. Plant Physiol.** 9: 121-137.
- Fukai, S. and M. Cooper. 1994. Stress physiology in relation to breeding for drought resistance : a case study of rice, pp. 123-149. *In* **Physiology of Stress Tolerance in Rice**. Proceeding of International Conference on Stress Physiology of Rice. 28 February-5 March. 1996, Luckow.
- Hafeez, U.R., S.A. Malikb and M. Saleem, 2004. Heat tolerance of upland cotton during the fruiting stage evaluated using cellular membrane thermostability. **Field Crops Research** 85 : 149–158.

- Hall, A.E. 1990. Breeding for heat tolerance – An approach based on wholeplant physiology. **Hort. Sci.** 25: 17-19.
- Irada, M.H., Y.S. Saftar and A.A. Jalal. 2007. Structural–functional state of thylakoid membranes of wheat genotypes under water stress. **Biochem. Biophys. Acta.** 6: 869-875.
- Jackson, W.T. 1962. Use of carbowaxes (polyethylene glycols) as osmotic agents. **Plant Physiol.** 37: 513–519.
- Konsens, I., M. Ofir and J. Kigel. 1991. The effect of temperature on the production and abscission of flowers and pods in snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ann. Bot.** 67: 391-399.
- Levitt, J. 1972. **Responses of Plants to Environmental Stresses.** Academic Press, New York.
- Ludlow, M.F. and R.C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environment. **Adv. Agron.** 43:107-153.
- Mackenzie, D.R., L. Ho, T.D. Liu, H.B.F. Wu and E.B. Oyer. 1975. Photoperiodism of Mungbean and four related species. **Hort. Sci.** 10: 486-487.
- Martineau, J.R., J.E. Specht, J.H. Williams, and C.Y. Sullivan. 1979. Temperature tolerance in soybeans. I. Evaluation of a technique for assessing cellular membrane thermostability. **Crop Sci.** 19: 75-78.
- Masyhudi, M.F. and A.D. Ambarwati. 1993. Somaclonal variation of indica and javanica rice. **Penelitian Pertanian (Indonesia)** 13(2): 45-51.
- Michel, B.E. and M.R. Kaufmann. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiol.** 51: 914-916.

- Nguyen, H.T. and C.P. Joshi. 1992. Physiological effects of water stress, pp. 6-8. *In* C.G. Kuo, ed. **Adaptation of Food Crop to Temperature and Water Stress**. Proceeding of an International Symposium, Taiwan.
- O' Tool, J.C. and T.T. Chang. 1978. **Drought and Rice Improvement in Perspective**. IRRI Reserch Paper Series. International Rice Research Institute, LOS Banos Philippienes.
- Park, H.G. and C.N. Yang. 1978. The mungbean breeding program at the Asian Vegetable Research and Development Center, pp. 214-216. *In* Proc. 1st **International Mungbean Symposium**. Los Banos, The Philippines.
- Petkova, V., I.D. Denev, D. Cholakov and I. Porjazov. 2007. Field screening for heat tolerant mommon bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) by measuring of chlorophyll fluorescence induction parameters. **Sci. Hort.** 111: 101-106.
- Poehlman, J.M. 1978. What we have learned from the International Mungbean Nurseries, pp. 37-100. *In* Proc. 1st **International Mungbean Symposium**. Los Banos, The Philippines.
- Poehlman, J.M. and D. Borthakur. 1969. Breeding Pulses, pp. 300-307. *In* **Breeding Asian Field Crops**. Oxford and I.B.H. Pub. Co., Calcatta.
- Porter, D.R., Nguyen, H.T., Burke and J.J. 1994. Quantifying acquired thermal tolerance in winter wheat. **Crop Sci.** 34: 1686-1689.
- Ratanadilok, N. and S.A. Hussain. 1980. **Performance of some Corn Cultivars under Drought Condition**. Paper for Partial Fulfillment in USAID Training at Agronomy Department, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

- Renu, K.C. and S.S. Devarshi. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions. **Envir. Exp. Bot.** 60: 276–283
- Rue, N.S. 1929. Further contributions to the cytology of some crop plants of South India. **J. Indian Bot. Soc.** 8: 201-206.
- Sen, N.K. and A.K. Ghosh. 1959. Genetic studies in greengram. **Indian J. Genet. Pl. Br.** 19: 210-227.
- Singh, T.P. and R.S. Malhotra. 1975. Crossing technique in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.). **Curr. Sci.** 44: 64-65.
- Smyth, H.F., Jr. C.P. Carpenter and C.B. Shaffer. 1955. The chronic oral toxicology of the polyethylene glycol. **J. Am. Pharm. Assoc. (Sci. ed.)** 44: 27-30.
- Steponkus, P.L. and Lanphear F.O. 1967. Refinement of the triphenyltetrazolium chloride method of determining cold injury. **Plant Physiol.** 42: 1423–1426.
- Sullivan, C.Y. 1972. Mechanisms of heat and drought resistance in grain sorghum and methods of measurement, pp. 247-246. In N.G.P. Rao and L.R. House, ed. **Sorghum in the Seventies.** Oxford & IBH Publ. Co., New Delhi, India.
- Takeda, H., U. Cenkudee, Y. S. Chauhan, S. Ancha, M.M. Hossain, M.H. Rashad, L. Baiqing H.S. Talwar, T. Senboku, S. Yashima, S. Yanagihara and M. Shono. 1999. Studies in heat tolerance of brassica vegetables and legumes at the international collaboration research section from 1992 to 1996, pp. 17-19. In **Proceedings of workshop on heat tolerance of crops.** Japan international research center for agricultura sciences, Okinawa subtropical station, Japan.

Thomas, M.J. Robertson, S. Fukai, M.B. Peoples. 2004. The effect of timing and severity of water deficit on growth, development, yield accumulation and nitrogen fixation of mungbean.

Field Crops Research 86: 67–80.

Towell, L.E. and P. Mazur. 1974. Studies on the reduction of 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride as a viability assay for plant tissue cultures. **Can J. Bot.** 53: 1097-1102.

Turner, N.C. 1986. Crop water deficit: a decade of progress. **Adv. Agron.** 39:1–51.

Weaver, M.L., H. Timm, M.J. Silbernagel and D.W. Burke. 1985. Pollen staining and high temperature tolerance of bean. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 110: 797-799.

ภาคผนวก

การเตรียมสารละลาย PEG6000 ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

1. ชั่ง PEG6000 500 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ คนสารให้ละลาย
3. ปรับปริมาตร โดยเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตร
4. คนสารละลายให้เข้ากัน เก็บในขวดแก้ว

การเตรียมสารละลาย 2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride (TTC) 0.4 เปอร์เซ็นต์

1. เตรียม Buffer Na_2HPO_4 0.05 M โดยการชั่งสาร Na_2HPO_4 7.098 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร
2. ชั่ง TTC 4 กรัม ละลายใน 0.05 M Na_2HPO_4
3. คนให้เข้ากัน หยด Tween 20 ลงไป 2 มิลลิลิตร
4. ปรับ pH ให้ได้ 7.4 ด้วย pH meter
5. เก็บในขวดแก้วทึบแสง

ตารางผนวกที่ 1 สภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนประจำปี 2548

เดือน	อุณหภูมิอากาศ		เปอร์เซ็นต์ความชื้น		ปริมาณน้ำฝน (มม.)	การระเหยของน้ำ (มม.)	แสงอาทิตย์ (ชม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด			
ม.ค.	31.55	19.26	96.71	48.10	0.24	3.32	7.15
ก.พ.	34.83	23.16	95.57	45.25	0.41	4.56	8.72
มี.ค.	34.43	23.34	94.61	49.00	3.60	5.03	8.08
เม.ย.	36.14	25.54	94.47	49.87	0.13	5.26	8.26
พ.ค.	36.11	25.72	95.06	50.52	2.67	5.44	7.73
มิ.ย.	34.74	25.36	94.57	55.57	2.20	4.73	5.56
ก.ค.	33.78	24.65	93.61	57.77	3.03	4.39	4.71
ส.ค.	33.74	24.48	93.81	56.74	1.09	4.42	4.51
ก.ย.	32.89	24.42	93.80	61.73	10.01	4.04	4.50
ต.ค.	31.76	23.83	94.06	63.39	8.95	4.01	5.97
พ.ย.	31.06	23.08	93.07	59.33	1.62	3.83	6.08
ธ.ค.	28.60	20.26	92.68	54.68	0.68	3.87	5.20
เฉลี่ย	33.30	23.59	94.33	54.33	2.88	4.41	6.37

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (2549)

ตารางผนวกที่ 2 สภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนประจำปี 2549

เดือน	อุณหภูมิอากาศ		เปอร์เซ็นต์ความชื้น		ปริมาณน้ำฝน (มม.)	การระเหยของน้ำ (มม.)	แสงอาทิตย์ (ชม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด			
ม.ค.	31.81	18.75	92.87	41.84	0.09	3.92	8.39
ก.พ.	33.20	22.54	93.39	48.32	0.59	4.51	8.57
มี.ค.	35.21	24.43	92.97	46.71	0.75	5.44	8.17
เม.ย.	35.93	25.04	94.53	45.83	1.29	5.35	8.21
พ.ค.	33.96	24.81	94.48	56.39	3.90	4.64	6.09
มิ.ย.	33.89	24.63	94.93	60.03	5.42	5.01	5.80
ก.ค.	33.53	25.07	94.87	60.26	2.48	4.75	3.97
ส.ค.	32.78	24.48	94.32	61.19	3.00	4.23	2.49
ก.ย.	33.35	24.21	93.30	58.70	11.27	5.00	6.36
ต.ค.	32.33	24.22	92.39	59.48	3.80	4.05	7.13
พ.ย.	32.80	22.43	93.33	49.90	0.19	4.08	8.67
ธ.ค.	29.91	19.40	92.94	47.45	0.24	4.07	7.56
เฉลี่ย	33.22	23.33	93.69	53.01	2.75	4.59	6.78

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (2550)

ตารางผนวกที่ 3 สภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนประจำปี 2550

เดือน	อุณหภูมิอากาศ		เปอร์เซ็นต์ความชื้น		ปริมาณน้ำฝน (มม.)	การระเหยของน้ำ (มม.)	แสงอาทิตย์ (ชม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด			
ม.ค.	30.55	19.67	94.39	0.23	7.00	3.81	7.50
ก.พ.	33.28	21.02	94.04	0.00	0.00	4.44	8.99
มี.ค.	36.20	24.55	93.48	0.56	16.90	5.44	9.01
เม.ย.	35.94	24.94	93.33	5.04	151.30	5.93	8.20
พ.ค.	33.51	24.77	93.81	8.67	260.00	4.99	6.22
มิ.ย.	34.88	25.22	93.87	4.97	149.20	5.08	6.60
ก.ค.	33.34	24.52	94.39	4.87	146.20	4.68	5.32
ส.ค.	32.88	24.67	95.00	6.10	183.10	4.20	3.92
ก.ย.	33.25	24.56	93.87	3.34	100.20	4.40	5.59
ต.ค.	31.47	23.66	93.97	5.49	164.60	4.16	4.60
พ.ย.	29.56	20.11	94.67	0.48	14.40	3.92	6.67
ธ.ค.	31.82	20.70	95.00	0.00	0.00	3.92	8.04
เฉลี่ย	33.06	23.20	94.15	3.31	99.41	4.58	6.72

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (2551)

ประวัติการศึกษา

ชื่อ-นามสกุล

สิรินรี บุกบุญ

วัน เดือน ปี ที่เกิด

2 มีนาคม 2524

สถานที่เกิด

ต.หนองพิกุล อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. เกษตรศาสตร์ (พืชไร่นา) สถาบัน

เทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต พระนครศรีอยุธยา หันตรา