

วิชาสัมมนา (1201-480)

อิทธิพลของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

Influence of water deficit on growth and yield of rice.

โดย

นางสาวศิริลักษณ์ พลพงษ์

รหัสนักศึกษา 61120041450

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. สุรีพร เกตุงาม

ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาคการศึกษาที่ 1/2564

วันที่ 9 เดือน ตุลาคม พ.ศ.2564

เรื่อง : อิทธิพลของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว
Influence of water deficit on growth and yield of rice.
ผู้สมมนา : นางสาวศิริลักษณ์ พลพงษ์
ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา : พืชไร่
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. สุวีพร เกตุงาม

บทคัดย่อ

ปัญหาการขาดน้ำเป็นปัญหาสำคัญในการปลูกข้าวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งส่วนมากเป็นพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวของน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว ดังนั้นบทความนี้จะอภิปรายเกี่ยวกับความต้องการน้ำของข้าว การขาดน้ำที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าว กลไกการทนทานต่อความแห้งแล้งของข้าว การขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว และพันธุกรรมของข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะแล้ง ตลอดจนอิทธิพลของการขาดน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว ข้าวเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำในการเจริญเติบโตสูง เมื่อได้รับสภาวะการขาดน้ำข้าวจึงมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถมีชีวิตรอดได้ เช่น การเปิดปิดปากใบของพืชเพื่อลดการคายน้ำ มีการสังเคราะห์ฮอร์โมน เช่น กรดแอบไซซิก (abscisic acid) เพิ่มขึ้น หรือแม้กระทั่งการสะสมตัวถูกละลายบางชนิด เช่น โพรลีน น้ำตาลแอลกอฮอล์ หรือน้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อรักษาสมดุลของน้ำในเซลล์ เมื่อข้าวได้รับสภาวะขาดน้ำจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต เมล็ดดีต่อรวงลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดลีบมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตที่มีการให้น้ำในระดับปกติกับการงดให้น้ำเพื่อทดสอบความสามารถในการทนทานต่อความแห้งแล้งเมื่อข้าวได้รับสภาวะขาดน้ำ พบว่าพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการขาดน้ำที่แตกต่างกัน พันธุ์ข้าวที่สามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดีจะมีการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่สูงกว่าพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอ การใช้พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะแล้งถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งข้าวพันธุ์ทนแล้งจะสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในสภาพที่มีน้ำน้อยหรือขาดน้ำ

คำสำคัญ: ข้าว, การขาดน้ำ, การเจริญเติบโต, ผลผลิต, กลไกการทนแล้ง

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งต่อการเพาะปลูกข้าวเพื่อให้ได้รับผลผลิตและคุณภาพสูง เพราะน้ำเป็นส่วนประกอบของทุกเซลล์ในต้นพืช อีกทั้งยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของข้าว และเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการงอกของเมล็ดข้าว เป็นตัวทำละลายสารอาหารและเกลือแร่ต่างๆ ที่มีอยู่ในดินเพื่อช่วยให้รากดูดซึมและลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ เช่น ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ช่วยในการเจริญเติบโตโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโต ถ้าขาดน้ำจะทำให้เซลล์ยืดตัวไม่เต็มที่ ต้นจะแคระแกร็น และถ้าขาดน้ำรุนแรง ข้าวจะแสดงอาการเหี่ยวและเน่าตายไปในที่สุด นอกจากนี้ข้าวเป็นพืช semi-aquatic plant จึงมีความต้องการน้ำมากกว่าพืชชนิดอื่นที่ทำการเพาะปลูกเกือบทุกชนิด ข้าวต้องการน้ำสำหรับการคายน้ำและการระเหยประมาณ 450-700 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและอายุการเจริญเติบโตของข้าว ข้าวนอกจากจะใช้น้ำในกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและสร้างเมล็ดแล้วยังต้องการน้ำเพื่อหล่อเลี้ยงลำต้น ปรับสภาพดินและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืชอีกด้วย ชาวนาจึงมักจะปล่อยน้ำขังแปลงนาตลอดฤดูการปลูก ระดับน้ำที่เหมาะสมโดยทั่วไปควรลึกประมาณ 10-20 เซนติเมตร แต่ถ้าสามารถปรับระดับพื้นที่นาได้ดีระดับน้ำเพียง 5 เซนติเมตร ก็นับว่าเพียงพอกับการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของข้าว (ทวีป, 2526 อ้างโดย พงศ์ศักดิ์ และคณะ, 2555)

พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกข้าวแบบอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ปัญหาที่ประสบอยู่เสมอซึ่งเป็นผลมาจากการกระจาบน้ำของน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเพาะปลูกข้าว ได้แก่ ภัยแล้ง ฝนทิ้งช่วง น้ำท่วมฉับพลัน แต่ทั้งนี้เนื่องด้วยสภาพดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายและดินทรายปนร่วน ซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้น้อย เมื่อประสบปัญหาภัยแล้ง (drought) จึงส่งผลทำให้ต้นข้าวได้รับปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการหรือทำให้ต้นข้าวขาดน้ำ ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว โดยเฉพาะเมื่อต้นข้าวขาดน้ำในระยะกล้าและระยะออกดอก จะส่งผลทำให้ผลผลิตลดลงทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ (บุญหงส์ และคณะ, 2557) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของบทความนี้จะอภิปรายเกี่ยวกับความต้องการน้ำของข้าว การขาดน้ำที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าว กลไกการทนทานต่อความแห้งแล้งของข้าว การขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว และพันธุกรรมของข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะแล้ง ตลอดจนอิทธิพลของการขาดน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

ความต้องการน้ำของข้าว

ความต้องการน้ำของข้าว หมายถึง ปริมาณน้ำรวมที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการคายน้ำของข้าวและการระเหยน้ำจากผิวดินรวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการซึมผ่านเขตรากและไหลไปตามผิวดิน ข้าวต้องการน้ำสำหรับการคายระเหยประมาณ 450-700 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและอายุการเจริญเติบโตทั้งหมดของข้าว การคายระเหยจะลดลงได้บ้างถ้าน้ำท่วมผิวดินเพียงตื้นๆ หรือผิวดินแห้งเป็นครั้งคราว การคายระเหยน้ำจะเพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญโตทาง ลำต้นแล้วค่อยๆเพิ่มมากขึ้นจนสูงสุดในระยะแตกกอสูงสุดและระยะสร้างเมล็ด ความต้องการน้ำของข้าวจะผันแปรไปตามพันธุ์ข้าว ระยะการเจริญเติบโต ความหนาแน่นของต้นข้าวที่ปลูก ฤดูปลูก วิธีการปลูก เนื้อดิน ระดับของแปลงนา สภาพลมฟ้า อากาศ สภาพพื้นดิน และระดับน้ำในดิน (สุริย์, 2526 อ้างโดย พงศ์ศักดิ์ และคณะ, 2555) การใช้น้ำของข้าวประกอบด้วยหลายส่วนโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างการเพาะปลูกข้าว ซึ่งประกอบด้วย การระเหย การคายน้ำ การซึมลงใต้ดิน คิดเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียรวมทั้งสิ้น 5.6-20.4 มิลลิเมตร/วัน หากการปลูกข้าวแต่ละครั้งใช้เวลาในการเพาะปลูก ประมาณ 110 วัน ต้องใช้น้ำในการเพาะปลูกข้าว ประมาณ 616–2,244 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำที่ใช้ในแปลงนา เช่น การเตรียมแปลงตกกล้า เตรียมแปลงปลูก ใช้ในแปลงปลูก คิดเป็นปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 1,240 มิลลิเมตร เพราะฉะนั้น ในการเพาะปลูกข้าวแต่ละครั้งจะต้องมีน้ำอย่างน้อย 1,856 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ต้องเตรียมไว้ให้กับต้นข้าวที่เพาะปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ประมาณ 2,969 ลูกบาศก์เมตร (ทวีป, 2526 อ้างโดย พงศ์ศักดิ์ และคณะ, 2555)

การขาดน้ำที่มีผลต่อสรีรวิทยาของข้าว

การขาดน้ำ (Water deficit) เป็นความเครียดที่เกิดขึ้นในข้าวเกือบตลอดเวลา และเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว เมื่อการขาดน้ำเกิดขึ้นพลังงานศักย์ของน้ำ (water potential) จะลดลงซึ่งสาเหตุของการขาดน้ำเนื่องมาจาก การระเหยของน้ำในบรรยากาศสูง ปริมาณน้ำในดินลดลง การดูดซึมน้ำของรากพืช กระบวนการหมุนเวียนน้ำภายในเนื้อเยื่อและ ภายนอกเซลล์เกิดการแข็งตัวของน้ำแข็ง ผลกระทบโดยตรงจากการขาดน้ำ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว เช่น อัตราการเจริญเติบโตต่ำลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำลง ในขณะเดียวกันเมื่อข้าวขาดน้ำข้าวจะมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถมีชีวิตรอดได้เมื่อได้รับภาวะขาดน้ำ เช่น การเปิดปิดปากใบของพืชเพื่อลดการคายน้ำ มีการสังเคราะห์ฮอร์โมน เช่น กรดแอบไซซิก (abscisic acid) เพิ่มขึ้น หรือแม้กระทั่งการสะสมตัวกลูโคสลายบางชนิด เช่น โพรลีน น้ำตาลแอลกอฮอล์ หรือน้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้น เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในเซลล์ (ตุลาพร และ วัฒนา , 2549; Wang *et al.*, 2001)

สภาวะขาดน้ำยังก่อให้เกิดสภาวะเครียดจากค่าศักย์ออสโมติกภายในของต้นข้าว ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสัมพันธ์ของน้ำภายในข้าวและการรอดชีวิตของข้าวที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ ทั้งนี้ความสามารถในการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของข้าวภายใต้สภาวะขาดน้ำ พิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อการรอดชีวิตของข้าว เช่น การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุ และปริมาณโปรตีน (Cha-um *et al.*, 2010)

ตารางที่ 1 การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบและรากของข้าวในสภาวะปกติและสภาวะขาดน้ำ

พันธุ์ข้าว	สภาวะขาดน้ำ (วัน)	การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (เปอร์เซ็นต์)			
		ราก	(% เพิ่มขึ้น)	ใบ	(% เพิ่มขึ้น)
ปทุมธานี 1	0	56.71 f ^{1/}	(0.0)	41.27 h	(0.0)
	10	71.83 cd	(26.7)	86.75 b	(110.2)
ขาวดอกมะลิ 105	0	52.82 f	(0.0)	60.36 g	(0.0)
	10	66.65 e	(26.2)	76.58 d	(26.9)
กข 31	0	56.97 f	(0.0)	70.85 f	(0.0)
	10	74.20 bc	(30.2)	88.63 b	(25.1)
กข 41	0	64.90 e	(0.0)	74.47 e	(0.0)
	10	81.05 a	(24.9)	92.24 a	(23.9)
กข 47	0	68.13 de	(0.0)	83.48 c	(0.0)
	10	76.51 b	(12.3)	94.04 a	(12.6)
Significant level					
พันธุ์ข้าว x สภาวะขาดน้ำ			**		**
สภาวะขาดน้ำ			**		**
พันธุ์ข้าว			*		**

หมายเหตุ: *,** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ^{1/} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

ที่มา: คงเอก (2558)

การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์บ่งบอกถึงความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ภายในของข้าวเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำซึ่งการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สามารถนำมาใช้ในการประเมินความสามารถในการรอดชีวิตและการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำของข้าวได้ ทั้งนี้พบว่าการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบจะเพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของสภาวะขาดน้ำที่ได้รับ คงเอก (2558) ได้ทำการศึกษาการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในข้าว 5 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 ขาวดอกมะลิ 105 กข 31 กข 41 และ กข 75 โดยทำการทดลองโดยให้น้ำปกติและงดการให้น้ำ 10 วัน พบว่าสภาวะขาดน้ำ

มีผลต่อการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบและในรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การให้น้ำปกติ

ตารางที่ 2 Chlorophyll a (Chl_a), chlorophyll b (Chl_b), total chlorophyll (TC) and total carotenoids (C_{x+c}) contents of rice cultivars grown under iso-osmotic mannitol and salt stress for 7 days.

Rice cultivars	Osmotic potential (MPa)	Chl_a ($\mu\text{g g}^{-1}\text{FW}$)	Chl_b ($\mu\text{g g}^{-1}\text{FW}$)	TC ($\mu\text{g g}^{-1}\text{FW}$)	C_{x+c} ($\mu\text{g g}^{-1}\text{FW}$)
RD6	-0.23 (Control)	177.1bc	174.3ab	351.4abc	103.6a
	-0.42 Mannitol	168.2c	170.1ab	338.3bcd	95.4ab
	-0.42 NaCl	96.2d	97.1bc	193.3ef	75.5bc
	-0.94 Mannitol	106.8d	110.5bc	217.3ef	68.9c
	-0.94 NaCl	46.3e	49.2c	95.5f	34.9d
HJ	-0.23 (Control)	250.0a	261.3a	511.3a	75.6bc
	-0.42 Mannitol	249.8a	212.6ab	462.4bc	72.6c
	-0.42 NaCl	218.6ab	136.9bc	355.5abc	71.8c
	-0.94 Mannitol	214.1abc	136.6bc	350.7bc	66.1c
	-0.94 NaCl	214.8abc	122.9bc	337.7bcd	63.9c
PT1	-0.23 (Control)	229.3a	174.9ab	404.2ab	73.9bc
	-0.42 Mannitol	206.0abc	128.5bc	334.5bcd	63.1c
	-0.42 NaCl	105.9d	47.5c	153.4ef	29.8d
	-0.94 Mannitol	201.1 abc	88.6bc	289.7cde	61.5c
	-0.94 NaCl	ND	ND	ND	ND
Significant level					
Cultivar		**	**	**	**
Osmotic		**	**	**	**
Cultivar x Osmotic		**	*	**	**

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$ (**) โดย Duncan's New การทดสอบหลายช่วง (DMRT) และ ND ไม่สามารถทำการตรวจสอบได้

ที่มา: Cha-um *et al.*, (2010)

ปริมาณรงควัตถุบ่งบอกถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ของข้าว โดยพบว่าเมื่อข้าวได้รับสภาวะขาดน้ำจะส่งผลให้ปริมาณรงควัตถุภายในใบลดลง การลดลงของปริมาณรงควัตถุเป็นผลมาจากสภาวะขาดน้ำชักนำให้รงควัตถุภายในใบเกิดการสูญเสียสภาพและส่งผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของรงควัตถุที่เกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์ทั้งหมด โดย Cha-um *et al.*, (2010) รายงานว่าปริมาณรงควัตถุในใบข้าวพันธุ์หอมจันทร์ ปทุมธานี 1 และ กข 6 มีปริมาณลดลงเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ โดยพบว่าข้าวหอมจันทร์ และ กข 6 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด ลดลงน้อยกว่าข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 1 เมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำเป็นเวลา 7 วัน ส่งผลให้ข้าวพันธุ์หอมจันทร์ และ กข 6 มีการเจริญเติบโตในส่วนของความสูง ความยาวราก และพื้นที่ใบน้อยกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (ตารางที่ 2)

โพสลินเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญในกลไกการควบคุมค่าศักย์ออสโมติกภายในเซลล์ เมื่อพืชเจริญภายใต้สภาวะขาดน้ำ ทั้งนี้กลไกการควบคุมค่าศักย์ออสโมติกมีความสำคัญต่อการควบคุม ค่าศักย์ของน้ำและสมดุลของน้ำภายในพืช ส่งผลให้พืชสามารถดำรงชีวิตรอดได้เมื่อได้รับสภาวะขาด น้ำ ทั้งนี้พบว่าข้าวที่มีการสะสมโพสลินในปริมาณมากจะส่งผลให้มีผลผลิตสูงกว่าข้าวที่มีการสะสมของ ปริมาณโพสลินน้อย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพสลินภายใต้สภาวะขาดน้ำสามารถพบได้ในข้าวหลาย พันธุ์ เช่น หอมจันทร์ ปทุมธานี 1 และ กข 6 (Caballero *et al.*, 2005; Cha-um *et al.*, 2010)

กลไกการทนทานต่อความแห้งแล้งของข้าว

กลไกความทนแล้ง หมายถึงความสามารถในการให้ผลผลิตที่สูงสุดของพืชภายใต้ สภาพแวดล้อมที่มีการขาดน้ำ ลักษณะทนแล้ง เป็นลักษณะที่มีความซับซ้อน เนื่องจากมีอิทธิพลและ ความสัมพันธ์กับลักษณะสัณฐานวิทยา ชีวเคมี และการตอบสนองทางสรีรวิทยา สำหรับข้าวนั้นจะมีการตอบสนองต่อสภาวะแล้งด้วยการม้วนใบ การปิดปากใบ และเพิ่มกระบวนการสังเคราะห์ฮอร์โมน แอ็บไซซิก อย่างไรก็ตาม นักสรีรวิทยารายงานว่า ความทนแล้งของข้าวนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการ ใช้น้ำ (water use efficiency) ซึ่งเป็นการใช้น้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดสำหรับการสร้างผลผลิตที่สูงสุด และ osmotic adjustment ที่ทำให้ข้าวสามารถคงความเต่งของเซลล์ เพื่อปกป้องเนื้อเยื่อเจริญ กลไกการ ทนแล้งมี 3 กลไก ได้แก่ การหนีแล้ง การเลี่ยงแล้ง และการทนแล้ง การปรับตัวของพืชเพื่อความทน แล้งจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานทางโมเลกุล และ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยา (Fukai and Cooper, 1995)

การหนีแล้ง (Drought escape)

การหลบหนีจากภัยแล้งถูกกำหนดให้เป็นความสามารถของข้าวในวงจรชีวิตของมันให้ สมบูรณ์ก่อนการเกิดสภาวะขาดน้ำในดินอย่างรุนแรง โดยพื้นฐานแล้วพืชล้มลุกที่มีอายุปีเดียว (annual plant) เมื่อได้รับสภาวะแล้ง พืชเหล่านี้จะหลบหนี (escape) โดยมีการพักตัวอยู่ในรูป ของเมล็ดในฤดูแล้ง เมื่อมีฝนตกลงมาและได้รับปริมาณน้ำเพียงพอที่จะทำให้ดินมีความชื้น เมล็ดที่มีการ พักตัวอยู่ในขณะนั้นจะงอกและเจริญเติบโตจนแก่และให้ผลผลิตก่อนที่ความชื้นในดิน จะหมด ลง พืชกลุ่มนี้ยังไม่ได้ถือว่าอยู่ในกลุ่มที่อยู่ในสภาวะขาดน้ำอย่างแท้จริง คือการมี water potential

ที่ต่ำมากและไม่ได้ปรับตัวให้ทนต่อสภาวะขาดน้ำ พืชในกลุ่มนี้ทนอยู่ในสภาวะแห้งแล้งได้ด้วยการหลบหนีเท่านั้น (นวลรัตน์, 2558)

การหลีกเลี่ยงภัยแล้ง (Drought avoidance)

การหลีกเลี่ยงภัยแล้ง คือ ความสามารถของข้าว ในการรักษาค่าศักย์ของน้ำภายในเนื้อเยื่อภายใต้สภาวะแล้ง ในข้าว จะมีกลไกการหลีกเลี่ยงภัยแล้ง อยู่ 2 ลักษณะผ่าน abscisic acid biosynthesis ที่เป็นกระบวนการทางชีวเคมี และการปรับโครงสร้างของรากให้ลึก และมีการสร้างขนราก ให้สามารถเพิ่มพื้นที่การจับกับโมเลกุลของน้ำในอนุภาคดิน นอกจากนี้ข้าวยังมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาต่างๆ เช่น การม้วนใบ การปิดปากใบ การสร้างคิวติน

ความทนทานต่อภัยแล้ง (Drought tolerance)

ความสามารถในการมีชีวิตรอดของข้าว ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณน้ำภายในเนื้อเยื่อน้อย ลักษณะการทนแล้งถูกควบคุมด้วยยีนหลายยีน ที่เกี่ยวข้องกับ morpho-physiological mechanisms เช่น การรักษาความเต่งของเซลล์ เพิ่มความยืดหยุ่นเซลล์ ลดขนาดเซลล์ เพิ่มความแข็งแรงของเซลล์ไธผนัง เป็นต้น ซึ่งยีนที่ทนทานต่อภัยแล้ง ได้แก่ *DRO1* ทำหน้าที่กระตุ้นการยืดตัวของรากและการหยั่งรากลึก *OsPYL/RCAR5* กระตุ้นการปิดปากใบควบคุมน้ำหนักสดของใบ *TLOsm* รักษาการเจริญเติบโตรักษาปริมาณน้ำและความสมบูรณ์ของเมมเบรนให้สูงขึ้นและเพิ่มอัตราการอยู่รอด *OsDREB1A/OsCOIN* เพิ่มความทนทานต่อความเครียดจากความแห้งแล้งโดยการเพิ่มโพรลีนในข้าว และ *AtMYB60/AtMYB6* ควบคุมรูปร่างของปากใบและความทนทานต่อความแห้งแล้งในข้าว (Panda *et al.*, 2021)

การขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

ข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการขาดน้ำที่แตกต่างกัน ปัญหาภัยแล้งจึงถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญที่ทำให้ผลผลิตข้าวทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิตมีความแปรปรวน อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อความแห้งแล้งมักจะมีการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่สูงกว่าพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอ ต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะขาดน้ำในระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจะทำให้ผลผลิตลดลงประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ แต่หากต้นข้าวขาดน้ำที่ระยะการสร้างรวงอ่อนจนถึง รวงแก่เต็มที่จะส่งผลให้ผลผลิตลดลงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ (ธวัชชัย, 2526) นอกจากนี้ผลของการขาดน้ำมักมีผลกระทบที่รุนแรงต่อระยะการสร้างรวงมากกว่าระยะการเจริญเติบโต ซึ่งนอกจากการขาดน้ำจะส่งผลต่อการสร้างรวงที่ลดลงแล้ว ยังมีผลทำให้มีอัตราการเกิดเมล็ดลีบมีค่าสูงขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อความล่าช้าในการออกดอกอีกด้วย (Liu *et al.*, 2006)

อรประภา (2559) รายงานการศึกษาผลของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอม 6 พันธุ์ ได้แก่ หอมคลองหลวง 1 ขาวดอกมะลิ 105 กข 33 หอมสุพรรณบุรี กข 15 และปทุมธานี 1 โดยทำการให้น้ำในอัตราที่แตกต่างกัน 5 อัตรา คือ ให้น้ำ 100 (ให้น้ำตามปกติ) 50 25 12.5 และ 0 เปอร์เซ็นต์ (งดให้น้ำ) ในช่วงระยะต้นกล้าและระยะแตกกอของข้าว ผลการวิจัยพบว่า การขาดน้ำในระดับที่แตกต่างกันในระยะกล้าและระยะแตกกอของข้าวหอมทั้ง 6 พันธุ์ มีผลต่อความสูงและจำนวนต้นตอก และยังพบว่าข้าวมีปฏิสัมพันธ์กับอัตราการให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งระดับน้ำที่ลดลงส่งผลให้ความสูงของข้าวบางพันธุ์มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะข้าวหอมพันธุ์สุพรรณบุรีและ กข 33 พบว่าการให้น้ำในปริมาณที่ลดลงตั้งแต่ 25 เปอร์เซ็นต์ ไปจนถึงงดให้น้ำ ส่งผลทำให้ความสูงมีค่าน้อยกว่าการให้น้ำที่อัตรา 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3) สำหรับผลของจำนวนต้นตอก จากตารางยังไม่พบความแตกต่างที่เด่นชัดในผลของระดับการให้น้ำต่อจำนวนต้นตอกของข้าวแต่ละพันธุ์ ยกเว้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่พบว่าเมื่อให้น้ำที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วส่งผลให้ข้าวมีจำนวนต้นตอกมากกว่าสิ่งทดลองที่งดการให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญ และข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง 1 ที่พบว่าในทุกๆอัตราการให้น้ำที่ลดลงทำให้จำนวนต้นตอกมีค่ามากขึ้นกว่าการให้น้ำที่ระดับปกติ

ส่วนการเจริญเติบโตของรากข้าวแต่ละพันธุ์เมื่อมีการให้น้ำในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าพันธุ์ข้าวมีผลต่อน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ลักษณะการเจริญเติบโตของรากไม่ขึ้นอยู่กับระดับการให้น้ำ แต่เมื่ออัตราการให้น้ำลดลงพบว่าน้ำหนักแห้งของรากข้าวพันธุ์ กข 15 และ กข 33 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะที่น้ำหนักแห้งของรากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหอมสุพรรณบุรีมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรีที่พบว่าการงดให้น้ำ ทำให้น้ำหนักแห้งของรากข้าวมีค่าน้อยกว่าพันธุ์ข้าวที่ได้รับน้ำในอัตรา 100 และ 50 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการให้น้ำที่แตกต่างกันต่อจำนวนรวงตอกของข้าวแต่ละพันธุ์ พบว่าอัตราการให้น้ำที่ลดลงส่งผลให้จำนวนรวงตอกของข้าวหอมพันธุ์ กข 33 หอมสุพรรณบุรี และปทุมธานี 1 มีแนวโน้มลดลงและลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อทำการงดให้น้ำ โดยเฉพาะข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรีและ กข 33 ที่พบว่าเมื่องดให้น้ำ ทำให้จำนวนรวงตอกมีค่าน้อยกว่าการให้น้ำอัตราปกติอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในจำนวนรวงตอกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หอมคลองหลวง 1 และ กข 15 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการให้น้ำที่แตกต่างกัน

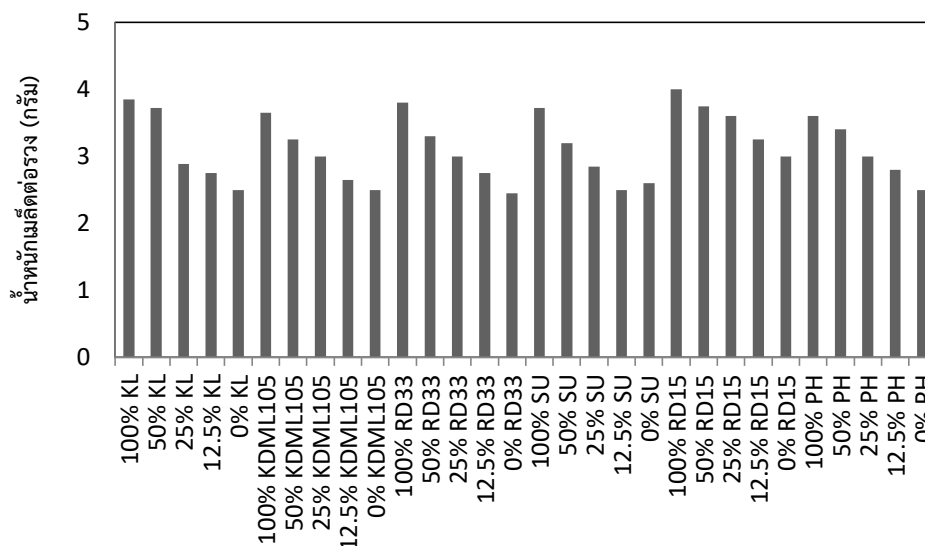
ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของข้าวหอม 6 พันธุ์ ภายใต้ระดับการให้น้ำที่ต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนต้นตอก (ต้น/กอ)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)	จำนวนรวงตอก (รวง/กอ)
พันธุ์ข้าว (A)				
หอมคลองหลวง 1	94.09±4.10 d ¹	19.20±2.20 b	12.16±3.20 cd	15.96±2.28 a
ขาวดอกมะลิ 105	114.37±4.82 b	17.98±1.69 c	18.62±3.62 a	12.53±2.06 b
กข 33	126.98±7.11 a	18.14±1.53 c	14.96±3.01 b	13.98±2.98 b
หอมสุพรรณบุรี	100.21±9.60 c	20.59±1.28 a	12.93±4.00 bc	13.71±3.04 b
กข 15	117.06±6.31 b	19.26±1.27 b	12.44±4.52 cd	14.00±2.12 b
ปทุมธานี 1	98.64±4.78 c	20.67±1.54 a	10.50±1.77 d	17.11±3.39 a
ระดับการให้น้ำ (B)				
100%	112.43±14.34 a	18.41±2.38 b	14.29±5.05	15.70±2.95 a
50%	112.73±13.92 a	19.90±1.76 a	13.55±4.06	15.85±2.07 a
25%	105.16±11.06 b	20.06±1.51 a	14.11±4.86	15.68±2.95 a
12.50%	107.69±14.11 b	19.56±1.76 a	13.50±3.04	13.34±2.78 b
0%	104.81±12.01 b	18.61±1.48 b	12.56±4.27	12.17±2.57 b
F-test				
พันธุ์ข้าว (A)	**	**	**	**
ระดับการให้น้ำ (B)	**	**	ns	**
A x B	**	**	**	**
C.V.(%)	4.09	6.62	20.48	13.42

หมายเหตุ: ¹ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT *มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %; **มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่มา: อรประภา (2559)

สำหรับผลของระดับการให้น้ำที่ต่างกันต่อองค์ประกอบผลผลิต พบว่าน้ำหนักเมล็ดต่อรวงของข้าวหอมทุกพันธุ์มีแนวโน้มลดลงเมื่อลดอัตราการให้น้ำลงโดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักเมล็ดต่อรวงของสิ่งทดลองที่ให้น้ำปกติกับการงดให้น้ำ พบว่าสามารถเรียงลำดับการลดลงของน้ำหนักเมล็ดต่อรวงจากน้อยไปมาก คือ ข้าวพันธุ์ กข 15 ปทุมธานี 1 ขาวดอกมะลิ 105 หอมสุพรรณบุรี หอมคลองหลวง 1 และ กข 33 ตามลำดับ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 น้ำหนักเมล็ดต่อรวงของข้าวหอมทั้ง 6 พันธุ์ ที่ได้รับระดับน้ำที่แตกต่างกัน [พันธุ์ข้าว หอมคลองหลวง 1 (KL) ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) กข 33 (KD33) ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี (SU) กข 15 (KD15) และปทุมธานี 1 (PH);ระดับการให้น้ำ 100 (การให้น้ำปกติ) 50 25 12.5 และ 0 % (งดให้น้ำ)]

ที่มา: อรประภา (2559)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวงของข้าวแต่ละพันธุ์ที่ได้รับผลจากการลดระดับการให้น้ำ พบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อรวงของข้าวทุกพันธุ์มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบต่อรวงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อลดอัตราการให้น้ำลง (ตารางที่ 4) โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ กข 33 ที่พบว่ามีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูงที่สุด เมื่อได้รับระดับน้ำที่ลดลงที่ระดับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ของระดับน้ำปกติเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ให้น้ำปกติกับสิ่งทดลองที่งดการให้น้ำ พบว่าการงดการให้น้ำในระยะต้นกล้าและระยะออกรวงทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง ขาวดอกมะลิ 105 และหอมสุพรรณบุรี มีค่ามากกว่าการให้น้ำในระดับปกติอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ กข 15 และปทุมธานี 1 มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบต่อรวงไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับการให้น้ำปกติ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอม 6 พันธุ์ ภายใต้สภาวะระดับการให้น้ำที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	น้ำหนักเมล็ดต่อรวง (เมล็ด)	เมล็ดดีต่อรวง (%)	เมล็ดลีบต่อรวง (%)	ปริมาณผลผลิตต่อ ต้น (กรัม)
พันธุ์ข้าว (A)				
หอมคลองหลวง 1	3.15±0.60 b ¹	78.23±9.25 b	25.44±8.56 b	50.33±11.99 a
ขาวดอกมะลิ 105	2.96±0.42 bc	75.11±6.84 c	24.91±6.85 b	37.71±10.80 b
กข 33	2.97±0.58 bc	67.91±4.43 d	31.96±4.45 a	42.23±14.54 b
หอมสุพรรณบุรี	2.89±0.53 c	83.56±5.05 a	16.36±5.13 d	40.89±15.78 b
กข 15	3.51±0.44 a	82.76±3.29 a	17.33±3.27 d	49.53±11.35 a
ปทุมธานี 1	2.82±0.43 c	79.69±5.28 b	20.94±4.69 c	48.15±11.21 a
ระดับการให้น้ำ (B)				
100%	3.72±0.36 a	81.83±6.34 a	18.10±6.13 c	58.13±10.39 a
50%	3.28±0.41 b	81.55±6.32 a	19.34±6.08 c	51.77±7.72 b
25%	2.97±0.32 c	78.91±7.24 b	23.76±7.23 b	46.14±7.82 c
12.50%	2.77±0.33 d	73.92±8.24 c	26.10±8.29 ab	37.36±10.46 d
0%	2.51±0.33 e	73.18±7.26 c	26.82±7.26 a	30.62±8.52 e
F-test				
พันธุ์ข้าว (A)	**	**	**	**
ระดับการให้น้ำ (B)	**	**	**	**
AxB	ns	**	**	*
C.V. (%)	8.92	4.28	15.93	16.07

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT *มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %; **มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่มา: อรประภา (2559)

นอกจากนี้ระดับการให้น้ำที่ลดลงยังมีผลทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือปริมาณผลผลิตต่อต้นของข้าวทั้ง 6 พันธุ์ มีค่าลดลงเมื่อให้ระดับน้ำที่ลดลง (ตารางที่ 4) นั้นแสดงให้เห็นว่าระดับน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของข้าวซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพิเชษฐ และคณะ (2560) รายงานผลของข้าวพื้นเมืองที่ปลูกในสภาวะขาดน้ำและให้น้ำปกติ เมื่อข้าวได้รับผลกระทบแล้งพบว่าจำนวนหน่อต่อกอของข้าวพื้นเมืองพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในสภาพขาดน้ำในช่วงต้นฤดูปลูกมีความแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 5) ข้าวที่ปลูกในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูกส่วนใหญ่มีจำนวนหน่อ

ต่อกลดลงเมื่อเทียบกับข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขาดน้ำข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีการแตกกอมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์เหลืองบุญมา กุหลาบดำ น้ำสะกวย 19 กู้เมืองหลวง และข้าวดอกตามลำดับ ส่วนในสภาพขาดน้ำ พันธุ์ข้าวที่มีจำนวนหน่อต่อกอมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์ขาวปากหม้อ สัมพันธ์แดง เหลืองบุญมา เจ้าแดง กุหลาบดำ และอิน้อย ตามลำดับ เมื่อนับจำนวนรวงข้าวเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกทั้งในสภาพไม่ขาดน้ำและในสภาพขาดน้ำมีจำนวนรวงแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 5) ในสภาพไม่ขาดน้ำข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีจำนวนรวงต่อกอมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์เหลืองบุญมา หอมสกล กำดำเตี้ย สัมพันธ์แดง กุหลาบดำ และน้ำสะกวย 19 และเมื่อนับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบ พบว่าข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขาดน้ำมีจำนวนเมล็ดดี (55.0-108.6 เมล็ด/รวง) และจำนวนเมล็ดลีบ (15.6-66.5 เมล็ด/รวง) แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกันกับข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูกที่มีจำนวนเมล็ดดี (43.6-131.2 เมล็ด/รวง) และจำนวนเมล็ดลีบ (12.8-57.4 เมล็ด/รวง) แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ส่วนน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวพันธุ์ต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในสภาพไม่ขาดน้ำและในสภาพที่ขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูก (ตารางที่ 6) ในสภาพไม่ขาดน้ำพันธุ์ข้าวที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด คือ ข้าวพันธุ์นางนก รองลงมา คือ ข้าวพันธุ์สันป่าตอง หอมดง หวิดหนี กอเดียว อิน้อย ขาวใหญ่ น้ำสะกวย 19 และ ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ สำหรับในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูก พันธุ์ข้าวที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด คือ ข้าวพันธุ์นางนก ขาวใหญ่ ข้าวดอก หวิดหนี และ สันป่าตอง ตามลำดับ ซึ่งมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากกว่าข้าวพันธุ์ กข 6 ในส่วนผลผลิตนั้น ผลผลิตข้าวพันธุ์ พื้นเมืองมีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขาดน้ำและในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูก (ตารางที่ 6) ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ให้ผลผลิตสูงในสภาพไม่ขาดน้ำ ได้แก่ พันธุ์หวิดหนี หินกอง เหลืองบุญมา อิน้อย ข้าวดอก และกำดำเตี้ย ตามลำดับ ซึ่งข้าวพันธุ์ดังกล่าวให้น้ำหนักเมล็ด ไม่แตกต่างไปจากข้าวพันธุ์ กข 6 และขาวดอกมะลิ 105 ส่วนในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ให้ผลผลิตสูง ได้แก่ ข้าวดอก นางนก หวิดหนี อิน้อย เหลืองบุญมา และสันป่าตอง ตามลำดับ แต่ผลผลิตข้าวพันธุ์ดังกล่าวไม่แตกต่าง ไปจากผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 6 สำหรับน้ำหนักฟางแห้ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ในทางสถิติทั้งข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขาดน้ำและในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูก มีน้ำหนักฟางแห้งอยู่ในช่วง 36.6- 53.0 และ 25.2-43.3 กรัม/กระถาง ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ในขณะที่น้ำหนักรากแห้งของข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขาดน้ำ และในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูกมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 จำนวนหน่อ จำนวนรวง จำนวนเมล็ดดี และจำนวนเมล็ดลีบของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์
เปรียบเทียบที่ปลูกในสภาพ ไม่ขาดน้ำและในสภาพขาดน้ำช่วงต้นฤดูปลูกระหว่างเดือน
มิถุนายน - ธันวาคม พ.ศ. 2557

พันธุ์ข้าว	จำนวนหน่อ (หน่อ/กอ)		จำนวนรวง (รวง/กอ)		จำนวนเมล็ดดี (เมล็ด/รวง)		จำนวนเมล็ดลีบ (เมล็ด/ รวง)	
	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ
โสมมาลี	12.5 ^{b-e1/}	8.9 ^{d-g}	7.6 ^{b-g}	7.3 ^{a-f}	79.2 ^{ab}	49.1 ^{de}	34.4 ^{bcd}	57.4 ^a
ขาวใหญ่	9.3 ^{def}	6.5 ^{f-i}	5.4 ^{ghi}	4.4 ^g	76.3 ^{ab}	77.3 ^{bcd}	32.3 ^{bcd}	20.0 ^c
กุหลาบดำ	14.3 ^{ab}	11.8 ^{a-d}	8.9 ^{abc}	7.4 ^{a-e}	64.2 ^b	61.5 ^{b-e}	33.9 ^{bcd}	18.0 ^c
หวิดหนี	9.9 ^{b-f}	9.0 ^{c-g}	7.4 ^{b-h}	6.5 ^{a-g}	81.9 ^{ab}	84.7 ^{bc}	46.8 ^{a-d}	19.3 ^c
อีน้อย	11.0 ^{b-f}	11.0 ^{b-e}	8.3 ^{a-e}	8.4 ^{ab}	82.8 ^{ab}	72.5 ^{b-e}	21.2 ^{cd}	17.7 ^c
กำกาดำ	6.6 ^f	5.0 ^{hi}	4.0 ⁱ	4.4 ^g	108.6 ^a	131.2 ^a	50.2 ^{abc}	24.2 ^c
ขาวปากหม้อ	13.0 ^{b-e}	13.9 ^a	6.3 ^{d-h}	6.8 ^{a-g}	62.9 ^b	43.6 ^e	32.4 ^{bcd}	32.9 ^{bc}
เจ้าแดง	13.4 ^{a-d}	11.9 ^{abc}	8.3 ^{a-e}	7.5 ^{a-d}	93.6 ^{ab}	66.6 ^{b-e}	18.4 ^{cd}	16.5 ^c
รากไฟ	11.0 ^{b-f}	7.9 ^{fg}	6.0 ^{e-i}	6.4 ^{b-g}	55.0 ^b	79.4 ^{bcd}	60.8 ^{ab}	18.5 ^c
น้ำสะกวย 19	14.3 ^{ab}	8.4 ^{efg}	8.8 ^{abc}	6.5 ^{a-g}	60.0 ^b	69.0 ^{b-e}	26.2 ^{cd}	27.6 ^c
กำดำเตี้ย	12.4 ^{b-e}	9.5 ^{c-f}	9.3 ^{ab}	8.0 ^{abc}	72.5 ^{ab}	60.3 ^{b-e}	19.3 ^{cd}	30.0 ^{bc}
สันป่าตอง	9.9 ^{b-f}	8.9 ^{d-g}	5.6 ^{f-i}	5.4 ^{d-g}	93.5 ^{ab}	87.8 ^b	26.4 ^{cd}	12.8 ^c
ผาแดง	8.8 ^{ef}	7.6 ^{fgh}	6.8 ^{c-h}	6.3 ^{b-g}	78.2 ^{ab}	89.4 ^b	39.1 ^{a-d}	26.1 ^c
หอมดง	9.1 ^{def}	6.4 ^{ghi}	6.8 ^{c-h}	6.1 ^{b-g}	69.2 ^{ab}	83.3 ^{bc}	21.4 ^{cd}	21.1 ^c
ส้มพันธุ์แดง	13.4 ^{a-d}	13.0 ^{ab}	9.1 ^{ab}	7.6 ^{a-d}	57.6 ^b	77.4 ^{bcd}	38.2 ^{a-d}	26.8 ^c
ข้าวดอก	14.0 ^{abc}	8.5 ^{efg}	8.5 ^{a-d}	6.5 ^{a-g}	82.4 ^{ab}	88.8 ^b	22.7 ^{cd}	12.8 ^c
แก่นดู่	9.8 ^{c-f}	8.5 ^{efg}	7.6 ^{b-g}	5.9 ^{c-g}	55.9 ^b	58.3 ^{b-e}	66.5 ^a	50.4 ^{ab}
หีนกอง	12.6 ^{b-e}	8.4 ^{efg}	8.0 ^{a-d}	7.1 ^{a-f}	92.7 ^{ab}	70.1 ^{b-e}	17.7 ^{cd}	31.5 ^{bc}
นางทก	7.0 ^f	4.9 ⁱ	5.3 ^{hi}	4.9 ^{fg}	73.1 ^{ab}	87.7 ^b	24.2 ^{cd}	19.9 ^c
กอดียว	9.0 ^{def}	8.4 ^{efg}	6.8 ^{c-h}	5.0 ^{efg}	75.7 ^{ab}	85.3 ^{bc}	32.6 ^{bcd}	23.5 ^c
เหลื่องบุญมา	17.0 ^a	12.4 ^{ab}	10.0 ^a	8.9 ^a	68.3 ^{ab}	61.2 ^{b-e}	15.6 ^d	14.6 ^c
หอมสกล	9.8 ^{b-f}	7.9 ^{fg}	9.4 ^{ab}	7.0 ^{a-f}	71.3 ^{ab}	67.8 ^{b-e}	28.7 ^{bcd}	27.1 ^c
กุ่มี้องหลวง	14.3 ^{ab}	10.9 ^{b-e}	7.4 ^{b-h}	6.0 ^{b-g}	67.6 ^{ab}	54.2 ^{cde}	33.3 ^{bcd}	33.9 ^{bc}
ขาวดอกมะลิ 105	8.8 ^{ef}	9.1 ^{c-g}	8.8 ^{abc}	8.3 ^{abc}	68.8 ^{ab}	78.0 ^{bcd}	34.4 ^{bcd}	28.0 ^c
กข 6	11.5 ^{b-e}	9.5 ^{c-f}	7.9 ^{a-f}	7.8 ^{a-d}	96.3 ^{ab}	79.0 ^{bcd}	18.3 ^{cd}	27.8 ^c
F-test	**	**	**	**	*	**	*	*
C.V. (%)	23.2	19.2	17.8	21.1	32.5	25.6	30.9	33.1

หมายเหตุ: *, ** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วย

อักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี

Duncan's Multiple range Test (DMRT)

ที่มา: พิเชษฐ และคณะ (2560)

ตารางที่ 6 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักฟางแห้ง น้ำหนักรากแห้ง และดัชนีเก็บเกี่ยว
ของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์เปรียบเทียบกับปลูกในสภาพไม่ขาดน้ำและในสภาพขาดน้ำ
ช่วงต้นฤดูปลูกระหว่างเดือนมิถุนายน – ธันวาคม พ.ศ. 2557

พันธุ์ข้าว	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)		น้ำหนักเมล็ด (กรัม/กระถาง)		น้ำหนักฟางแห้ง (กรัม/กระถาง)		น้ำหนักรากแห้ง (กรัม/กระถาง)		ดัชนีเก็บเกี่ยว	
	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ	ไม่ขาดน้ำ	ขาดน้ำ
โสมมาลี	26.4 ^{bcd}	23.5 ^{f-i}	15.0 ^{abc}	5.9 ^{efg}	45.7	30.3	7.4 ^{a-e}	7.3 ^{abc}	0.22 ^{a-e}	0.14 ^{def}
ขาวใหญ่	29.4 ^{bc}	34.7 ^b	14.3 ^{abc}	10.7 ^{a-g}	53.0	38.3	7.5 ^{a-e}	7.0 ^{abc}	0.20 ^{b-e}	0.20 ^{b-f}
กุหลาบดำ	27.6 ^{bcd}	24.9 ^{e-h}	13.5 ^{abc}	10.6 ^{a-g}	34.2	35.0	6.8 ^{a-e}	6.5 ^{abc}	0.23 ^{a-e}	0.21 ^{b-f}
หวิดหนี	30.4 ^{bc}	31.7 ^{bcd}	19.3 ^a	16.9 ^a	44.5	25.2	8.1 ^{a-e}	6.4 ^{bc}	0.28 ^{abc}	0.37 ^a
อิน้อย	29.7 ^{bc}	29.7 ^{b-f}	18.1 ^a	15.8 ^{ab}	43.6	39.7	9.3 ^{abc}	8.0 ^{abc}	0.28 ^{abc}	0.24 ^{bcd}
กำกาดำ	23.8 ^{bcd}	24.1 ^{f-i}	8.5 ^c	12.4 ^{a-f}	43.3	35.8	6.0 ^{cde}	5.9 ^{bc}	0.16 ^{de}	0.23 ^{b-e}
ขาวปากหม้อ	26.9 ^{bcd}	24.4 ^{f-i}	9.3 ^{bc}	5.3 ^{fg}	41.8	39.9	6.3 ^{cde}	5.3 ^c	0.17 ^{de}	0.11 ^f
เจ้าแดง	22.5 ^{b-e}	21.5 ^{hi}	16.6 ^{abc}	10.6 ^{a-g}	50.8	44.3	7.3 ^{a-e}	7.0 ^{abc}	0.22 ^{a-e}	0.17 ^{c-f}
รากไผ่	22.4 ^{b-e}	29.1 ^{b-g}	11.9 ^{abc}	13.8 ^{a-d}	51.0	39.5	7.9 ^{a-e}	6.4 ^{bc}	0.19 ^{cde}	0.23 ^{bcd}
น้ำสะกย 19	28.9 ^{bcd}	28.1 ^{c-h}	14.2 ^{abc}	12.2 ^{a-f}	46.0	32.2	6.8 ^{b-e}	5.1 ^c	0.22 ^{a-e}	0.23 ^{bcd}
กำดำเตี้ย	26.2 ^{bcd}	23.7 ^{f-i}	17.0 ^{abc}	8.9 ^{b-g}	43.6	33.5	5.7 ^{cde}	4.4 ^c	0.25 ^{a-d}	0.19 ^{c-f}
สันป่าตอง	32.5 ^b	31.1 ^{b-e}	15.3 ^{abc}	14.8 ^{a-d}	40.5	41.4	10.2 ^{ab}	8.2 ^{abc}	0.23 ^{a-e}	0.22 ^{b-e}
ผาแดง	20.7 ^{cde}	26.0 ^{d-h}	13.2 ^{abc}	11.4 ^{a-g}	49.4	43.8	6.5 ^{b-e}	9.4 ^{ab}	0.20 ^{b-e}	0.18 ^{c-f}
หอมดง	30.8 ^{bc}	28.4 ^{b-g}	14.5 ^{abc}	13.9 ^{a-d}	44.5	34.9	8.5 ^{a-d}	10.3 ^a	0.22 ^{a-e}	0.24 ^{bcd}
ส้มพันธุ์แดง	13.9 ^e	14.3 ^j	8.9 ^{bc}	7.7 ^{d-g}	48.7	44.3	7.5 ^{a-e}	8.2 ^{abc}	0.14 ^e	0.12 ^{ef}
ข้าวดอ	26.8 ^{bcd}	32.7 ^{bc}	17.2 ^{ab}	17.7 ^a	40.4	32.6	6.3 ^{cde}	6.0 ^{bc}	0.27 ^{abc}	0.31 ^{ab}
แก่นคู่	19.1 ^{de}	18.1 ^{ij}	8.4 ^c	5.0 ^g	48.9	32.3	7.5 ^{a-e}	6.3 ^{bc}	0.14 ^e	0.11 ^f
หินกอง	25.5 ^{bcd}	25.1 ^{d-h}	19.0 ^a	12.1 ^{a-f}	43.1	32.9	6.5 ^{b-e}	8.1 ^{abc}	0.27 ^{abc}	0.23 ^{b-e}
นางทก	44.0 ^a	41.1 ^a	15.7 ^{abc}	17.3 ^a	33.6	33.5	4.6 ^e	4.6 ^c	0.29 ^{ab}	0.31 ^{ab}
กอดเดียว	30.0 ^{bc}	29.9 ^{b-f}	16.4 ^{abc}	11.8 ^{a-g}	41.2	31.2	7.9 ^{a-e}	6.8 ^{abc}	0.26 ^{abc}	0.24 ^{bcd}
เหลียงบุญมา	27.2 ^{bcd}	28.6 ^{b-g}	18.6 ^a	15.0 ^{abc}	40.1	32.9	5.3 ^{de}	7.0 ^{abc}	0.29 ^{ab}	0.27 ^{bc}
หอมสกล	23.8 ^{bcd}	27.6 ^{c-h}	15.6 ^{abc}	13.1 ^{a-d}	40.1	32.9	10.5 ^a	5.8 ^{bc}	0.25 ^{a-d}	0.23 ^{bcd}
กุ่มืองหลวง	27.7 ^{bcd}	28.5 ^{b-g}	12.0 ^{abc}	8.2 ^{c-g}	51.7	33.2	9.2 ^{abc}	7.7 ^{abc}	0.17 ^{de}	0.18 ^{c-f}
ขาวดอกมะลิ 105	28.4 ^{bcd}	25.6 ^{d-h}	17.2 ^{ab}	15.0 ^{abc}	36.4	35.1	6.5 ^{b-e}	5.2 ^c	0.30 ^a	0.27 ^{bc}
กข 6	25.5 ^{bcd}	22.5 ^{ghi}	18.6 ^a	12.6 ^{a-e}	43.9	36.1	7.6 ^{a-e}	7.8 ^{abc}	0.26 ^{abc}	0.23 ^{b-e}
F-test	**	**	*	**	ns	ns	*	*	**	**
C.V. (%)	21.8	14.4	34.0	35.1	22.1	23.5	29.7	33.5	23.1	29.4

หมายเหตุ: *, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษร

ต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's

Multiple range Test (DMRT)

ที่มา: พิเชษฐ และคณะ (2560)

พันธุ์กรรมของข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะแล้ง

ปัญหาภัยแล้งเป็นปัญหาที่สำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการให้ผลผลิตข้าวทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิตมีความแปรปรวน พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อความแห้งแล้งมักมีการเจริญเติบโตและมีการให้ผลผลิตที่สูงกว่าพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอ ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหาคือการหาพันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะแล้งนอกเหนือจากการใช้ระบบการจัดการชลประทานแล้ว การใช้พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะแล้งถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งข้าวพันธุ์ทนแล้งจะสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในสภาพที่มีน้ำน้อยหรือขาดน้ำในบางช่วงเวลา จึงมีการวิจัยเพื่อประเมินความต้านทานต่อสภาพแล้งในข้าวพื้นเมืองเพื่อหาความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะการทนแล้ง เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้มาช่วยประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ทนทานต่อสภาพแล้งและมีผลผลิตสูงต่อไป โดยพันธุ์ข้าวที่มีการค้นพบว่ามีความสามารถในการทนทานต่อสภาพแล้งได้ดี ได้แก่ ข้าวตอ นางทก หวิดหนี และอิน้อย (พิเชษฐ์, 2560)

นอกจากข้าวพื้นเมืองที่มีความสามารถทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งได้ดีแล้วนั้น ยังพบว่ามีข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เป็นข้าวที่มีลักษณะทนแล้งได้ดี เป็นที่นิยมปลูกไว้บริโภคและจำหน่ายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีลักษณะหอม นุ่ม นารับประทาน ยังพบว่ามียีน *SKIPa* ที่ทำให้เซลล์สามารถปรับตัวต่อสภาวะเครียดได้ดี จึงช่วยทำให้ข้าวสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้แม้อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาวะแห้งแล้ง สุภาวดีและคณะ (2559) ได้ทำการโคลนและวิเคราะห์ยีน *OsSKLPa* ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยโคลนยีน *OsSKIPa* จากจีโนมิกดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์ KDML105 พบว่ายีนที่สังเคราะห์ได้มีขนาด 2,353 คู่เบส โครงสร้างของยีนมีส่วนประกอบครบทั้งยีน มีลำดับนิวคลีโอไทด์ในส่วนที่มีการแสดงออก (ORF) จำนวน 1,824 คู่เบส สามารถแปลรหัสเป็นลำดับเปปไทด์ของยีน *OsSKIPa* จำนวน 607 amino acid และยีนที่ได้มีความเหมือนอย่างสูงกับยีน *OsSKIPa* ที่พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวคือ ข้าว (*Oryza sativa* L.) ในกลุ่ม Japonica Group ส่วนของ SNW/SKI-interacting protein-like ที่พบในข้าวป่า (*Oryza brachyantha*) และส่วนของ SNW/SKI-interacting protein, transcript variant X1, transcript variant X2 และ transcript variant X3 ในพืชวงศ์หญ้า (*Brachypodium distachyon* L.) โดยมีค่า % Max Identity เท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ 94 เปอร์เซ็นต์ และ 86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การสร้างพลาสมิดสายผสม โดยการเชื่อมต่อยีน *OsSKIPa* ขนาด 1,824 คู่เบส เข้ากับ plant expression vector (pCAMBIA2300) ภายใต้การควบคุมของโปรโมเตอร์ 35SCaMV และเทอร์มิเนเตอร์ NOS พบว่า ได้พลาสมิดสายผสมที่มีความสมบูรณ์ pCAMBIA2300-*OsSKIPa* มีขนาดประมาณ 11.5 กิโลเบส จำนวน 4 โคลน ผลของงานวิจัยที่ได้ครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อโดยการนำยีน *OsSKIPa* ที่พัฒนาได้ในรูปของพลาสมิดสายผสมที่มีความสมบูรณ์ไปถ่ายฝากเข้าสู่พืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ เพื่อช่วยในการเร่งรัดกระบวนการปรับปรุงพันธุ์พืชให้ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในภาวะโลกร้อนต่อไปในอนาคต

สรุป

ข้าวเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตมากกว่าพืชชนิดอื่น เนื่องจากข้าวเป็นพืช semi-aquatic plant เมื่อข้าวได้รับสภาวะการขาดน้ำ จึงส่งผลกระทบทางด้านสรีรวิทยา เช่น อัตราการเจริญเติบโตต่ำลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำลงในขณะเดียวกัน เมื่อพืชขาดน้ำพืชจะมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถมีชีวิตรอดได้เมื่อได้รับภาวะขาดน้ำ นอกจากนี้ยังมีกลไกหลายอย่างที่พืชสามารถปรับตัวให้เข้ากับความเสี่ยงจากภัยแล้งได้ กล่าวคือการหนีแล้ง (drought escape) การหลีกเลี่ยงความแห้งแล้ง (drought avoidance) และความทนทานต่อความแห้งแล้ง (drought tolerance) และที่สำคัญเมื่อข้าวได้รับสภาวะขาดน้ำนั้นจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวมีปริมาณลดต่ำลง การใช้พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะแล้งถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งข้าวพันธุ์ทนแล้งจะสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในสภาพที่มีน้ำน้อยหรือขาดน้ำ

เอกสารอ้างอิง

- คงเอก ศิริงาม. 2558. ผลของสภาวะขาดน้ำต่อการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโปรตีน และการเจริญเติบโตของข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 4(2): 133-146.
- ตุลาพร แก้วแก่น และวัฒนา พัฒนากุล. 2549. ผลของสภาวะขาดน้ำจากความแล้งและความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวระยะต้นกล้า. วารสารวิจัย มข. 11 (4): 260-268.
- ธวัชชัย ณ นคร. 2526. ความสัมพันธ์ระหว่างดินน้ำและพืช. วารสารวิชาการเกษตร. 1(3): 185-195.
- นวรรตน์ อุดมประเสริฐ. 2558. สรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะเครียด. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 237 หน้า.
- บุญหงษ์ จงคิด, จารุมณ สุขสร, พนิดา ชูเวท และวุฒิชัย แดงทอง. 2557. ผลของการขาดน้ำในระยะกล้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 สายพันธุ์กลายพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 3(2): 123-128.
- พิเชษฐ นาเมือง, สำราญ พิมราช และเหล็กไหล จันทะบุตร. 2560. การเจริญเติบโตผลผลิตองค์ประกอบผลผลิตและลักษณะทนแล้งต่อการขาดน้ำในช่วงต้นฤดูปลูกของข้าวพื้นเมือง. วารสารเกษตรพระวรุณ. 14(1): 10-21.
- พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์, รัตนา ตั้งวงศ์กิจ, บพิตร ตั้งวงกิจ, ชูติ ม่วงประเสริฐ และสมชาย หล่อมหัทรกุล. 2555. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตข้าว. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 ในวันที่ 4-5 เมษายน 2555 ณ จังหวัดเชียงใหม่. หน้า 696-704.
- สุภาวดี จ้อเหรียญ, พงศกร สรรค์วิทยากุล, ธรณี สว่างศรี, รุ่งนภา พิทักษ์ตันสกุล, ภูมิรินทร์ วนิชชนานันท์ และหทัยรัตน์ อุไรรงค์. 2559. การโคลนและวิเคราะห์ยีน *OsSKIPa* ของข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105. วารสารวิชาการเกษตร. 34(1): 13-27.
- อรประภา อนุกุลประเสริฐ. 2559. ผลของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอม 6 พันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 24(3): 443-455.
- Caballero, J.I., Verduzco, C.V., Galan, J. and Jimenez, E.S.D. 2005. Proline accumulation as asymptom of drought stress in maize: A tissue differentiation requirement. Journal of Experimental Botany. 39: 889-897.
- Cha-um, S., Nhung, N.T.H. and Kirdmanee, C. 2010. Effect of mannitol-and salt-induced iso-osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of rice cultivars (*Oryza sativa* L. spp. indica) Pak. Journal of Botany. 42(2): 927-941.
- Fukai, S. and Cooper, M. 1995. Development of drought-resistant cultivars using physiological traits in rice. Field Crops Research. 40, 67-86.

- Liu, J.X., Liao, D.Q., Oane, R., Estenor, L., Yang, X.E., Li, Z.C. and Bennett, J. 2006. Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. *Field Crops Research*. 97: 87-100.
- Panda, D., Mishra, S.S. and Behera, P.K. 2021. Drought tolerance in rice: focus on recent mechanisms and approaches. *Rice Science*. 28(2): 119-132.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. 2001. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations, *Acta Horticulturae*. 560: 285-292.

