ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวและหญ้าข้าวนก ในระยะต้นกล้า

Effect of Heat Stress on Plant Growth and Physiological Changes in Seedling Stage of Thai Rice and Barnyard Grass

ศิริพร ศรีภิญโญวณิชย์[1] และรัฐธิภา ธนารักษ์[2]
Siriporn Sripinyowanich[1] and Ratthipha Thanaruksa[2]

บทคัดย่อ

การศึกษาความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงของข้าวไทย (*Oryza sativa* L.) 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 80 เทียบกับหญ้าข้าวนก (*Echinochoa crus-galli* L.) ซึ่งเป็นวัชพืชร้ายแรงในนาข้าว ด้วยการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช ในระยะต้นกล้า พบว่าภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความยาวต้นภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนกสูงกว่าภาวะอุณหภูมิปกติ ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงจึงสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก แต่มีเพียงข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 เท่านั้นที่สามารถรักษาน้ำภายในเซลล์ไว้ได้ นอกจากนี้ ภาวะอุณหภูมิสูงกว่าปกติทั้งที่ระดับ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางราก โดยความยาวรากของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนกไม่แตกต่างจากภาวะอุณหภูมิปกติที่ความเชื่อมั่น 95% ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงชักนำให้เกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน สาเหตุของความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งพบสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ในเซลล์ต้นกล้าหญ้าข้าวนกปริมาณสูงกว่าต้นกล้าข้าว และพบว่าในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง ต้นกล้าหญ้าข้าวนกมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ในระดับที่ต่ำกว่าต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 ณ ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการทดลอง แสดงถึงความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงของต้นกล้าหญ้าข้าวนกที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับข้าวไทย

คำสำคัญ : ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง ข้าว หญ้าข้าวนก ปริมาณรงควัตถุ มาลอนไดอัลดีไฮด์

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จ.ศรีสะเกษ 33000
[1] Department of Agricultural Technology, Faculty of Liberal Arts and Sciences, Sisaket Rajabhat University, Sisaket 33000
[2] ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000
[2] Surin Rice Research Center, Surin, 3200

Abstract

The heat-tolerant ability on growth and physiological characteristics of two cultivars of Thai rice (*Oryza sativa* L.); Khao Dawk Mali 105 and Pathumthani 80, in seedling stage was investigated in comparison with the noxious weed in rice field or Barnyard grass (*Echinochoa crusgalli* L.) seedlings. The results were shown that heat stress at 45oC could stimulate the growth of shoot of both Thai rice and Barnyardgrass seedlings by enhance the percentage of shoot length after treated with heat stress higher than that of normal condition, but only Pathumthani 80 seedlings could maintain water in cell. In addition, heat stress exposure at 40 and 45oC had no any effect on the growth of roots which it could be explained by non-significantly difference ($p>0.05$) on root length of heat-treated and control seedlings. Furthermore, cause of oxidation stress in plant cells or lipid peroxidation was taken into consideration by measuring malondialdehyde (MDA) content. Heat stress (45 C) treated Barnyard grass exhibited an increase in MDA content and strongly decrease in photosynthetic pigment contents (chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid) throughout the experiment. These results revealed that when higher temperature or heat stress attacked to plant seedlings, Thai rice could perform their tolerant ability higher than Barnyard grass.

Keywords : Heat stress, rice, barnyardgrass, pigment content, malondialdehyde

บทนำ

ผลกระทบของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จัดเป็นประเด็นสำคัญต่อการเกษตรทั้งในระดับชาติและนานาชาติ (Wahid *et al*., 2007) ซึ่งทำให้ผลผลิตข้าวปี พ.ศ. 2548 ในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้เสียหายถึง 45.5% เมื่อเปรียบเทียบกันกับผลผลิตในสภาพภูมิอากาศปกติ (วิเชียร และคณะ, 2548) และมีแนวโน้มว่าอุณหภูมิพื้นผิวโลกที่สูงขึ้นจะทำให้ผลผลิตของข้าวทั่วโลกลดลง 41% ในปลายศตวรรษที่ 21 (Ceccarelli *et al*., 2010) อุณหภูมิที่สูงกว่าปกติหรือภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงอาจส่งผลกระทบต่อระบบการเพาะปลูกข้าวของประเทศไทย ที่ยังคงอาศัยน้ำฝนและสภาพอากาศตามฤดูกาลเป็นหลัก อีกทั้งมีการคาดการณ์ไว้ว่าจำนวนวันที่มีอากาศร้อนในเขตพื้นที่เพาะปลูกข้าวของประเทศไทยในช่วงต้นศตวรรษนี้จะยาวนานถึง 5-6 เดือนต่อปี และในบางพื้นที่อาจนานมากถึง 7-8 เดือนต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

Rosenzweig and Parry (1993) รายงานว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงทำให้การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชผิดปกติ เกิดได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอก การออกดอกและติดผล และส่งผลต่อกระบวนการสำคัญต่าง ๆ ภายในเซลล์พืช เช่น การเจริญเติบโต การสังเคราะห์ด้วยแสง การสังเคราะห์โปรตีน กระบวนการเมแทบอลิซึมของชีวโมเลกุล และรวมไปถึงรูปแบบการแสดงออกของยีนหลายประการ (Farooq *et al*., 2009) เป็นต้น ความผิดปกติเหล่านี้อาจทำให้ผลผลิตพืชลดลง (Cushman and Bohnart, 2000) และเซลล์ตายในที่สุด (Munns, 2002) โดยทั่วไปเมื่อพืชได้รับความเครียดจะสร้างอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาและจะแย่งชิงอิเล็กตรอนจากสารอื่น (อนันต์, 2551) ทำให้เกิดสารพิษกับเซลล์พืช เช่น มา

ลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde หรือ MDA) ที่ทำปฏิกิริยากับไขมันที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ส่งผลทำให้ผนังเซลล์สูญเสียความเป็นเยื่อเลือกผ่าน เกิดการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ออกจากเซลล์ (นิศาชล และคณะ, 2555) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจึงลดลง การเจริญเติบโตจะถูกจำกัด พืชเกิดการขาดน้ำ ต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต พืชที่ทนต่อภาวะที่ไม่เหมาะสมดังกล่าวต้องสามารถรักษากลไกในการป้องกันตัวเองให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้ภาวะเครียดและสามารถซ่อมแซมระบบที่ถูกทำลายจากภาวะเครียดให้กลับมาทำงานได้เป็นปกติในระยะเวลาอันสั้น เช่น การรักษาระดับปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือการรักษาสมดุลของระบบเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน เป็นต้น

แหล่งผลิตข้าวของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงหรือพื้นที่วิกฤติที่จะได้รับผลกระทบจากภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง นักวิจัยได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบอย่างกว้างขวางในข้าวหลายสายพันธุ์ แต่ยังไม่พบรายงานใดที่ศึกษาถึงความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง เชิงเปรียบเทียบระหว่างข้าวไทย (*Oryza sativa* L.) กับวัชพืชในนาข้าว โดยเฉพาะหญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* L.) ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีคุณลักษณะพิเศษในแง่ของการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี (Harper, 1977) และเป็นวัชพืชร้ายแรงในนาข้าวที่ความหนาแน่นเพียง 5 ต้น/ตารางเมตร อาจทำให้ผลผลิตข้าวลดได้มากถึง 60% (อัมพร, 2540) ทั้งนี้สามารถศึกษาผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อพืช ด้วยการคาดคะเนความสามารถในการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (Kaฑa *et al*., 2004; Kim *et al*., 2004) การทดลองนี้จึงทำการศึกษาผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde หรือ MDA) ในข้าวไทย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 80 เทียบกับหญ้าข้าวนกในระยะต้นกล้า ซึ่งเป็นระยะที่อ่อนไหวต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น หากทราบถึงความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ เชิงเปรียบเทียบของข้าวไทยกับหญ้าข้าวนก ในระยะต้นกล้า จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญเพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงของข้าวไทย และเพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงพันธุ์ สำหรับรับมือกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อไป

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการปลูก และการควบคุมการเจริญเติบโต

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ โดยเพาะต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 80 และหญ้าข้าวนก ในกระบะทราย เมื่อได้ต้นกล้าพืชอายุประมาณ 7 วัน จึงย้ายลงปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP No.2 (Vajrabhaya and Vajrabhaya, 1991) เลี้ยงในโรงเรือนทดลองที่ได้รับแสงตามธรรมชาติ และอยู่ภายใต้ภาวะอุณหภูมิปกติ จนได้ต้นกล้าอายุ 21 วัน จึงนำไปใช้สำหรับการทดลอง

การวัดการเจริญเติบโต

แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 40 และ 45 องศาเซลเซียส และภาวะปกติที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส โดยทำการควบคุมการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชตลอดการทดลองด้วยตู้ควบคุมการเจริญเติบโตรุ่น KK 1200 TOP+ (Vytautas Simonaitis, ประเทศอิตาลี) จากนั้นเก็บตัวอย่างพืชในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ของการทดลอง โดยตัดแยกส่วนใบของทั้งลำต้น (ประกอบด้วยส่วนของกาบใบและแผ่นใบ) และราก นำมาวัดความยาวต้น (ทำการวัดจากบริเวณส่วนโคนต้นที่ติดกับรากจนถึงปลายแผ่นใบสุดท้าย บริเวณยอดที่ยังมีสีเขียวอยู่) และความยาวราก (ทำการวัดจากส่วนที่ติดกับโคนต้นจนถึงปลายของรากที่ยาวที่สุด) ด้วยตลับเมตร และชั่งน้ำหนักในแต่ละส่วนและบันทึกค่า

การชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) ภายหลังจากการบันทึกค่าน้ำหนักสดต้นและราก จะนำตัวอย่างแต่ละส่วนของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก ทั้งในส่วนของต้นและราก ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า

การวัดเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความยาวต้นและน้ำหนักสดต้น เป็นการวัดอัตราส่วนความยาวต้นและน้ำหนักสดต้นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของการทดลองที่เปลี่ยนแปลงไปทุก 3 วัน ภายหลังจากได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่ได้รับอุณหภูมิปกติที่ 35 องศาเซลเซียส โดยคิดเป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เทียบกับความยาวต้นและน้ำหนักสดต้น ณ จุดเริ่มต้นของการทดลอง (Lacerda *et al*., 2003)

การสกัดและวัดปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde)

นำต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนกอายุ 21 วันที่ผ่านการปลูกภายใต้ภาวะอุณหภูมิปกติ มาปลูกที่ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 45 องศาเซลเซียส และภาวะอุณหภูมิปกติที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 3, 6 และ 9 วัน จากนั้น เก็บตัวอย่างใบสดน้ำหนัก 0.25 กรัมต่อตัวอย่าง บดในโกร่งด้วยสารละลาย trichloracetic acid 0.1% จำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนของสารละลายใส่หลอดใหม่ แบ่งสารละลายที่ได้จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมสาร thiobarbituric acid (ละลายใน trichloracetic acid 20%) เข้มข้น 0.5% จำนวน 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา แช่ในน้ำแข็งทันที นำไปหมุนเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 532 และ 600 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (ดัดแปลงจากวิธีการของ Tao *et al*., 2005)

การสกัดและวัดปริมาณรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์

เก็บเนื้อเยื่อใบพืชน้ำหนัก 0.1 กรัมต่อตัวอย่าง ภายหลังจากได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 3, 6 และ 9 วัน เทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่ปลูกภายใต้ภาวะอุณหภูมิปกติ ทำการบดตัวอย่างพืชในไนโตรเจนเหลว สกัดด้วยอะซิโตนเข้มข้น 80% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงรุ่น Spectonic GENESYS 20 Spectrophotometer (Thermo Electron Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 470, 647 และ 663 นาโนเมตร คำนวณหาค่าความเข้มข้นของปริมาณรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช โดยใช้สูตรของ Lichtenthaler (1987)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลผลการทดลอง มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS

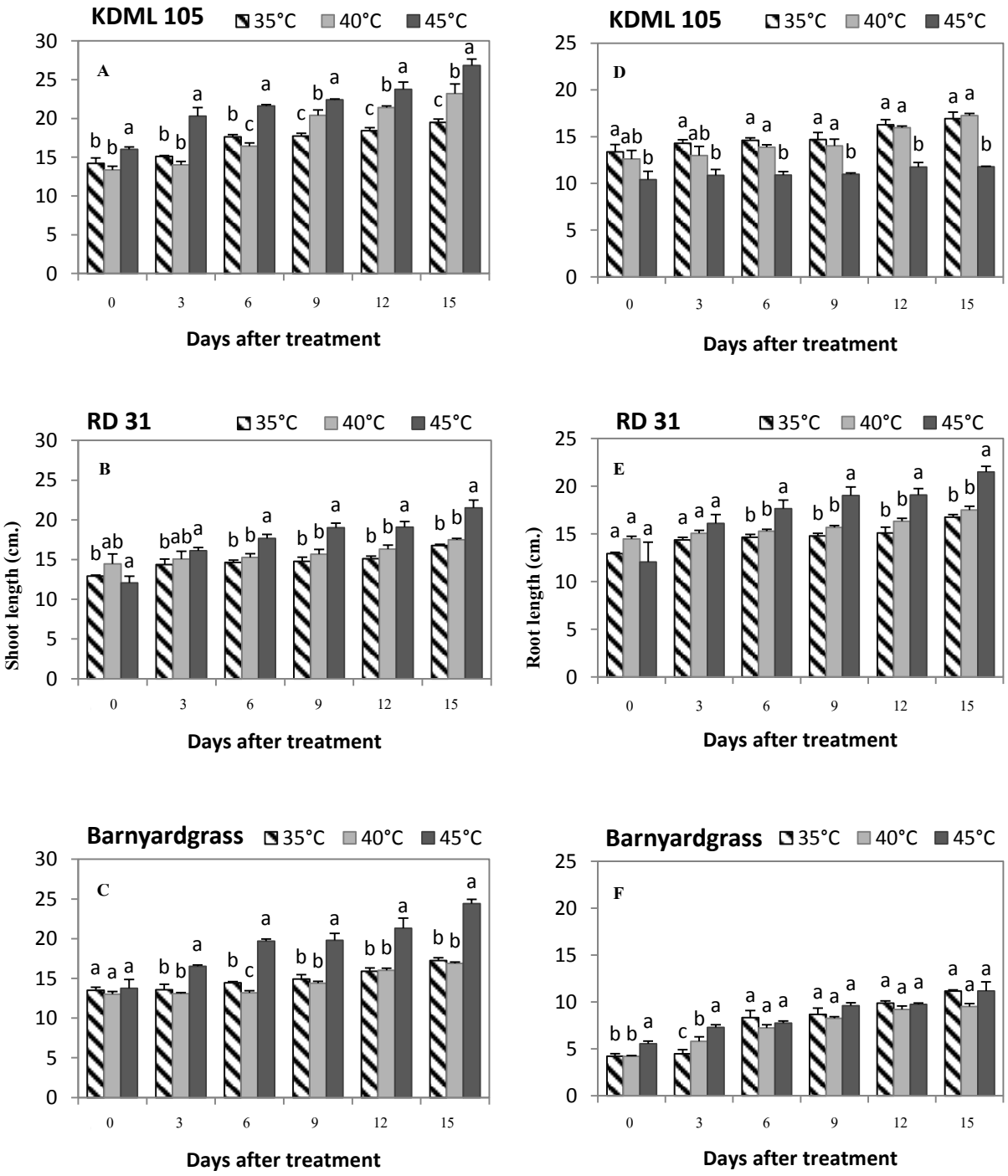
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก

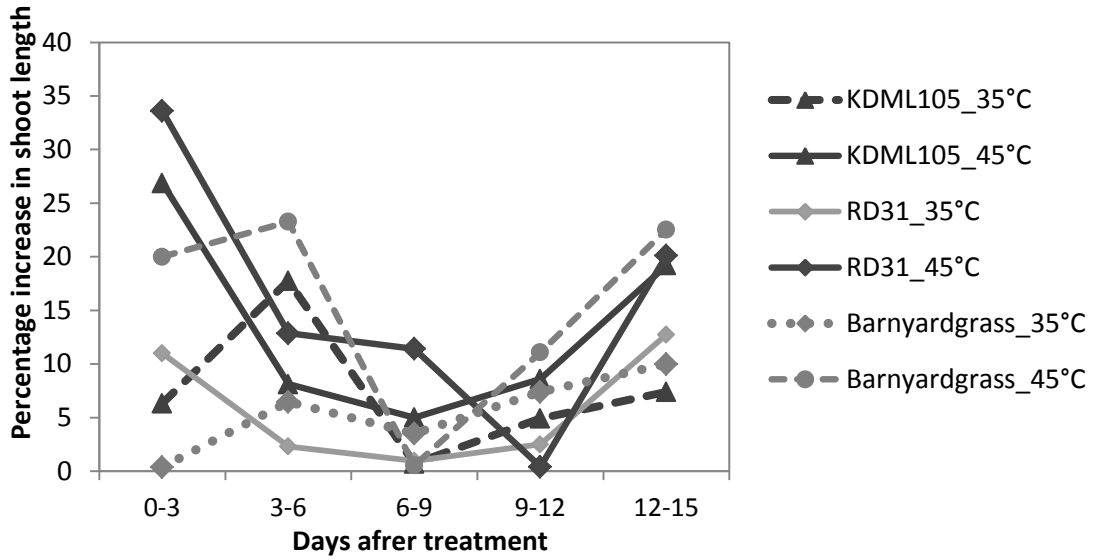
เมื่อต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนกได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) สายพันธุ์ปทุมธานี 80 (RD 31) และหญ้าข้าวนก มีความยาวต้นเพิ่มขึ้นจากภาวะอุณหภูมิปกติที่ 35 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 1A-1C) คล้ายคลึงกับการทดลองของ นเรศและคณะ (2553) ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับอุณหภูมิในธรรมชาติในช่วงการปลูกส่งผลกระตุ้นความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในทุกระยะของการเจริญเติบโต และรายงานของสุภัทร์และคณะ (2550) ที่พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มระดับความยาวต้นของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 80 และต้นกล้าหญ้าข้าวนก ระหว่างภาวะอุณหภูมิปกติและภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความยาวต้นภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส ทั้งต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนกสูงกว่าภาวะปกติทั้งสิ้น โดยเฉพาะในระยะแรกของการทดลอง (0-3 วัน) ของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่เพิ่มขึ้นถึง 33.61% ภาวะอุณหภูมิปกติ ความยาวต้นของต้นกล้า

ข้าวปทุมธานี 80 เพิ่มขึ้นเพียง 11% (ภาพที่ 2) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความยาวต้นของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหญ้าข้าวนก ที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง เท่ากับ 26.88% และ 20% ตามลำดับ อุณหภูมิที่สูงกว่าปกติยังกระตุ้นการเจริญเติบโตทางรากของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 (ภาพที่ 1E) ตลอดการทดลอง แต่ไม่มีผลกระทบต่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหญ้าข้าวนก (ภาพที่ 1D และ 1F) โดยที่ความยาวต้น ความยาวราก การสะสมน้ำหนักสดต้นและรากของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก ที่ปลูกภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ (ภาพที่ 1 และ 4) อีกทั้งผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง ทำให้พบว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการสะสมน้ำภายในลำต้นและรากของทั้งต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก (ภาพที่ 5) ดังนั้น จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก โดยต้นกล้าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูงสุด รองลงมาได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหญ้าข้าวนก ตามลำดับ

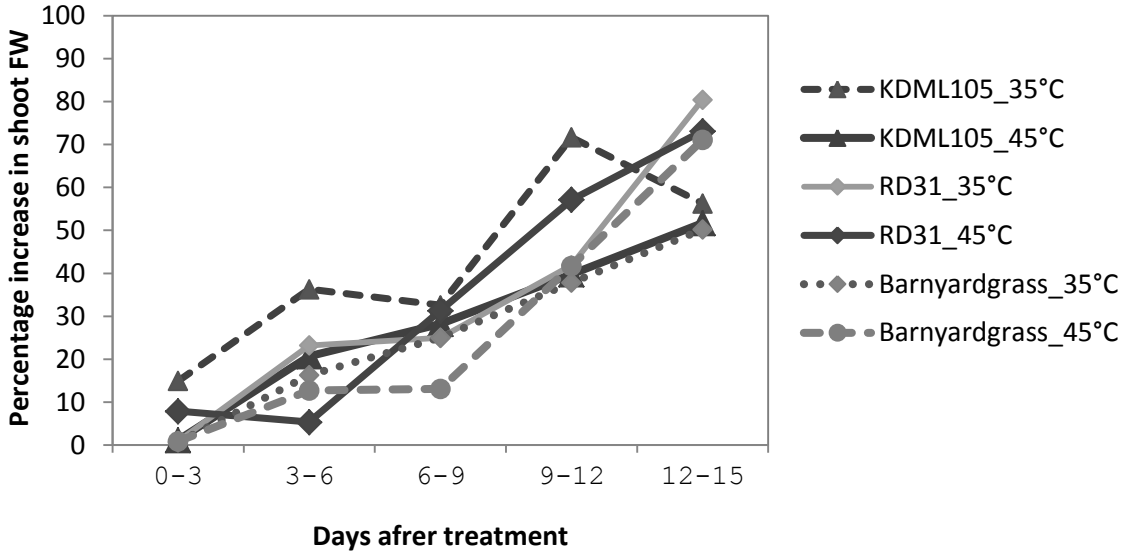
ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต้น และค่าน้ำหนักสดต้น สนับสนุนผลการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าพืชที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยพบว่า ในต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ที่ได้รับอุณหภูมิสูงกว่าปกติที่ 45 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 3) และค่าน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 4B) เพิ่มสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 มีความสามารถทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ดี อาจมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ (Mahajan and Tuteja, 2005) หรือมีกลไกที่ช่วยรักษาสมดุลของน้ำ โดยการสะสมตัวถูกละลาย เช่น โพรลีน น้ำตาลซูโครส ทำให้รักษาน้ำให้อยู่ภายในเซลล์ได้ (Cabuslay *et al*., 2002) ในทางตรงกันข้าม พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 3) และน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ภาพที่ 4A) และหญ้าข้าวนก (ภาพที่ 4C) ที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงจะต่ำกว่าน้ำหนักสดต้นที่ปลูกในภาวะปกติ ทั้งที่ถูกกระตุ้นการเจริญเติบโตทางลำต้นจากภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงก็ตาม อาจเนื่องมาจากต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหญ้าข้าวนกไม่สามารถรักษาระดับน้ำภายในเซลล์ไว้ได้ (ภาพที่ 5) แต่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 อาจจะมีกลไกในการป้องกันตนเองจากความร้อน โดยทำให้มีการกระตุ้นการสังเคราะห์สารบางประเภท เช่น การสร้างมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น (กณิตา และโอรส, 2551)



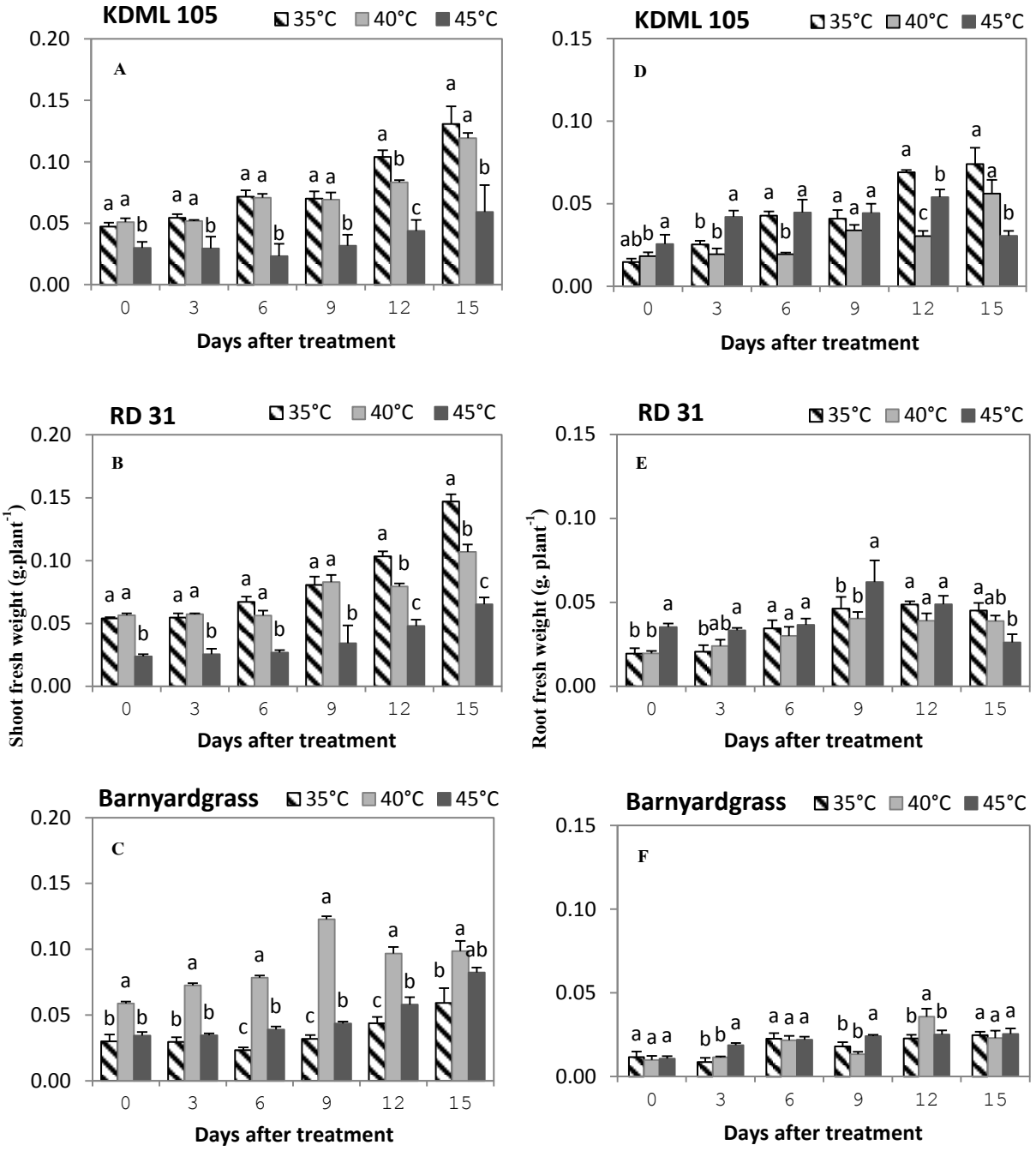
ภาพที่ 1 อิทธิพลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40 และ 45 องศาเซลเซียส) ต่อความยาวต้นและความยาวราก ของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ข้าวปทุมธานี 80 (RD 31) และหญ้าข้าวนก (Barnyardgrass) ที่ปลูกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 15 วัน เทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติที่ 35 องศาเซลเซียส โดยมีระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 95%



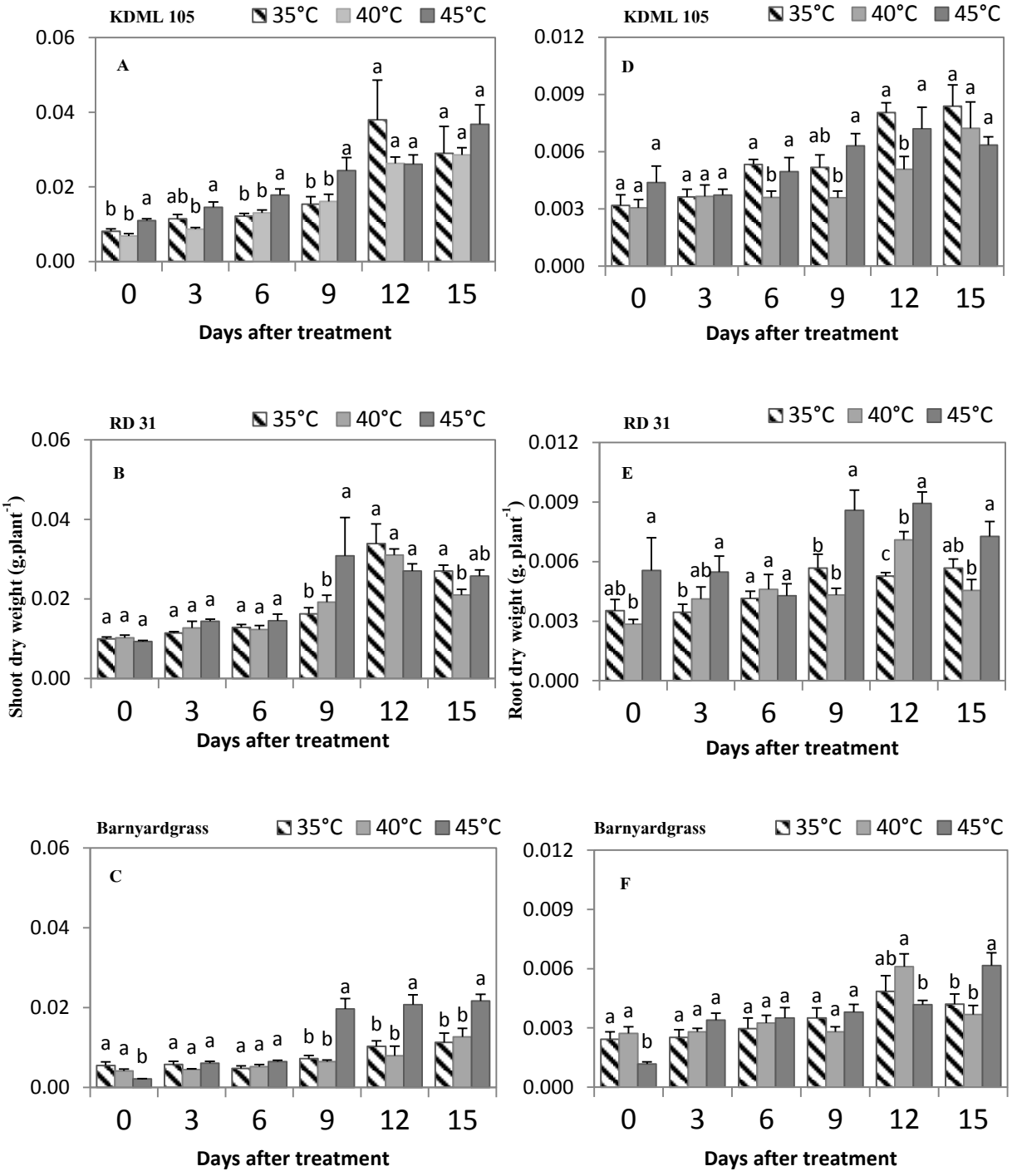
ภาพที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความยาวต้นที่เพิ่มขึ้น ของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ข้าวปทุมธานี 80 (RD 31) และหญ้าข้าวนก (Barnyardgrass) ที่ปลูกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส เทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติที่ 35 องศาเซลเซียส โดยมีระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 95% (p = 0.05)



ภาพที่ 3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดต้นที่เพิ่มขึ้น ของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ข้าวปทุมธานี 80 (RD 31) และหญ้าข้าวนก (Barnyardgrass) ที่ปลูกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส เทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติที่ 35 องศาเซลเซียส โดยมีระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 95% (p = 0.05)



ภาพที่ 4 อิทธิพลของอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ (40 และ 45 องศาเซลเซียส) ต่อน้ำหนักสดต้นและรากของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ข้าวปทุมธานี 80 (RD 31) และหญ้าข้าวนก (Barnyardgrass) ที่ปลูกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 15 วัน โดยมีระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 95% (p = 0.05)

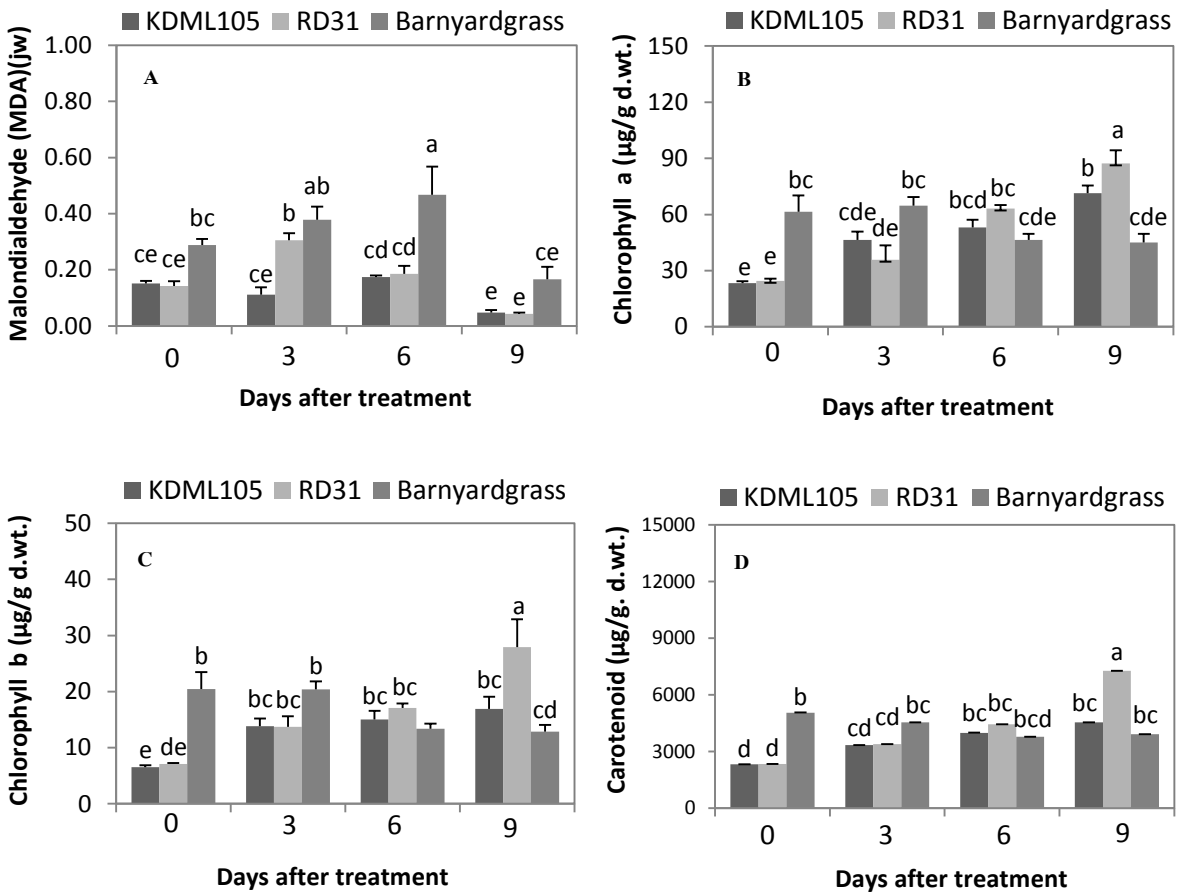


ภาพที่ 5 อิทธิพลของอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ (40 และ 45 องศาเซลเซียส) ต่อน้ำหนักแห้งต้นและรากของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ข้าวปทุมธานี 80 (RD 31) และหญ้าข้าวนก (Barnyardgrass) ที่ปลูกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 15 วัน โดยมีระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 95% (p = 0.05)

การสะสมปริมาณรงควัตถุ และสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก

จากการคาดคะเนความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิ ผ่านการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ รงควัตถุหลักในการสังเคราะห์ด้วยแสง คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุเสริม ในต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 80 และหญ้าข้าวนก พบว่าเซลล์ต้นกล้าหญ้าข้าวนกสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ลดลงภายหลังจากที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 3 วัน และลดลงอย่างต่อเนื่องในวันที่ 6 และ 9 ของการทดลอง (ภาพที่ 6B-6D) ซึ่ง Kaushik and Inderjit (2006) รายงานไว้ว่าเมื่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ทำให้เกิดความเสียหายระดับเซลล์ และ Oelmuller (1989) และ Ramel *et al*. (2012) พบว่าในสภาวะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชลดลง จะทำให้พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และการลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายของคลอโรฟิลล์ยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระ เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากแสง (photooxidation) อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง แสดงให้เห็นว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงอาจทำให้ต้นกล้าหญ้าข้าวนกอยู่ในสภาวะที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และมีปริมาณอาหารจำกัด ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าหญ้าข้าวนกในระยะยาว

จากการทดสอบผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงต่อการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน ของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde หรือ MDA) พบว่าต้นกล้าหญ้าข้าวนกมีการสะสมปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์เพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 6A) ภายหลังจากได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง รวมถึงปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ที่ตรวจพบในต้นกล้าหญ้าข้าวนก ยังมีปริมาณสูงกว่าที่ตรวจพบในต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภายหลังจากได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 6 วัน (ภาพที่ 6A) แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าหญ้าข้าวนกมีแนวโน้มที่จะได้รับความเสียหายจากภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงมากกว่าต้นกล้าข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ สอดคล้องกับรายงานการศึกษาที่ว่าพืชกลุ่มที่ไม่ต้านทานต่อความเค็มจะมีสารมาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มที่ต้านทานต่อความเค็ม (Chutipaijit *et al*., 2011) สรุปได้ว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงมีโอกาสทำให้ต้นกล้าหญ้าข้าวนก เกิดความเสียหายของเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดการทำลายเยื่อเมมเบรนจนอาจมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าต้นกล้าข้าว



ภาพที่ 6 อิทธิพลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง ต่อปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (A) ปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ (B) คลอโรฟิลล์ บี (C) และแคโรทีนอยด์ (D) ของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ข้าวปทุมธานี 80 (RD 31) และหญ้าข้าวนก (Barnyardgrass) ที่ปลูกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 9 วัน โดยมีระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 95% (p = 0. 05)

จากผลการทดลองทั้งหมดกล่าวได้ว่า ต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 มีความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ระดับ 40 และ 45 องศาเซลเซียสได้ดี โดยรักษาปริมาณรงควัตถุสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงไว้ได้ และถึงแม้เซลล์จะมีการสะสมปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ในระดับที่สูงกว่าที่สะสมในภาวะอุณหภูมิปกติ แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าปริมาณที่ตรวจพบในต้นกล้าหญ้าข้าวนก อย่างไรก็ตาม การที่ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว อาจจะไม่ส่งผลเชิงบวกต่อผลผลิต จากรายงานของเจษฎา และคณะ (2553) ที่กล่าวไว้ว่าอุณหภูมิสูงในระยะแพร่พันธุ์ทำให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดลดลง ผลผลิตข้าวเสียหาย แต่หากปรับระบบการเพาะปลูกหรือพัฒนาสายพันธุ์ข้าวให้ทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยเน้นระยะการแพร่พันธุ์ จึงจะอยู่รอดภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงของต้นกล้าข้าวไทยเทียบกับหญ้าข้าวนก ด้วยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช ในระยะต้นกล้า พบว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส กระตุ้นการเจริญเติบโตทางลำต้นของพืช โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความยาวต้นภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง ทั้งต้นกล้าข้าวและ

หญ้าข้าวนกสูงกว่าภาวะปกติ ซึ่งต้นกล้าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูงสุด รองลงมาได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหญ้าข้าวนก ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ในเซลล์ สรุปได้ว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงชักนำให้เกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์ ในต้นกล้าหญ้าข้าวนกระดับที่สูงกว่าต้นกล้าข้าว และพบว่าในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง ต้นกล้าหญ้าข้าวนกมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ในระดับที่ต่ำกว่าต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 ณ ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงทำให้ต้นกล้าหญ้าข้าวนกอยู่ในสภาวะที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดต่ำลง ซึ่งอาจส่งผลให้การเจริญเติบโตและความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงต่ำ เมื่อเทียบกับต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเต้นกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองและห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

กณิตา ธนเจริญชณภาส และ โอรส รักชาติ. 2551. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการจำลองสภาวการณ์โลกร้อนในพื้นที่ปลูกข้าวเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่ออัตราผลผลิต คุณภาพสารอาหาร และการเปลี่ยนแปลงในระดับพันธุกรรมของข้าวหอมมะลิไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เจษฎา จงใจดี, สิทธิชัย ลอดแก้ว, สาวิกา กอนแสง, ศันศนีย์ จำจด และเบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2553. ผลของอุณหภูมิสูงต่อความมีชีวิตของละอองเรณูและการปฏิสนธิในพันธุ์ข้าวไทย. วารสารเกษตร. 26 (suppl. 4), 29-35.

นเรศ ขำเจริญ, โอรส รักชาติ และกณิตา ธนเจริญชณภาส. 2553. ผลของอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นระหว่างระยะการเจริญเติบโตต่างๆ กันที่มีต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60. หน้า 1-10. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิศาชล แจ้งพรมมา, ประสิทธิ ใจศิล, พัชริน ส่งศรี, ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, ศักดา ดาดวง และสมปอง ธรรมศิริรักษ์. 2555. การประเมินการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์และระดับมาลอนไดแอลดีไฮด์ของใบอ้อย 10 สายพันธุ์ ภายใต้สภาวะขาดน้ำ. แก่นเกษตร. 40 (ฉบับพิเศษ), 74-82.

วิเชียร เกิดสุข, วชิราพร เกิดสุข และสมศักดิ์ สุขจันทร์. 2548. การประเมินผลกระทบและการปรับตัวของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ: การศึกษาความเปราะบางและการปรับตัวของเกษตรกรชาวนาในทุ่งกุลาร้องไห้ต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย. ขอนแก่น: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, อโนมา ดงแดนสุข, รวมชาติ แต่พงษ์โสรัถ และธีระยุทร นาคแดง. 2550. ความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศกับการเจริญเติบโตของยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ที่ปลูกภายใต้ระบบการให้น้ำ. แก่นเกษตร. 35, 118-125.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. สถิติการเกษตรของประเทศไทย 2550. ค้นเมื่อ 22 มิถุนายน 2557, จาก http://www.oae.go.th/statistic/yearbook50/.

อัมพร สุวรรณเมฆ. 2540. บทบาทวัชพืชกับการพัฒนาการเกษตร. วิทยาสารวัชพืช 2537-2540. (ฉบับพิเศษ), 1-4.

อนันต์ สกุลกิม. 2551. อนุมูลอิสระ สารอันตรายต่อสุขภาพและร่างกาย. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 8 (1), 28-33.

อาทิตย์ กุคำอู และพิสิฐ พรหมนารถนาท. 2545. การจัดการวัชพืชในนาข้าว. เอกสารประกอบการบรรยาย การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ส่งเสริมและเกษตรกรผู้นำการจัดการวัชพืชในนาข้าว. ปทุมธานี: ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.

Cabuslay, G.S., O. Ito and A. A. Alejar. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Science. 163, 815–827.

Ceccarelli, S., S. Grando, M. Maatougui, M. Michael, M. Slash, R. Haghparast, M. Rahmanian, A. Taheri, A. Al-Yassin, A. Benbelkacem, M. Labdi, H. Mimoun. and M. Nachit. 2010. Plant breeding and climate changes. J. Agri. Sci. 148, 627–637.

Chutipaijit, S., S. Cha-um. and Sompornpailin, K. 2011. High contents of proline and anthocyanin increase protective responses to salinity in *Oryza sativa* L. spp. *Indica*. Aust. J. Crop Sci. 5 (10), 1191–1198.

Cushman, J. and H. J.Bohnert. 2000. Genomic approaches to plant stress tolerance. Curr. Opin. Plant Biol. 3,117-124.

Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29, 185–212.

Harper, J.L. 1977. Population Biology of Plants. Academic Press, London.

Kaňa, R., M. Špundová, P. Ilík, D. Lazár, K Klem, P. Tomek, J. Nauš and O. Prášil. 2004. Effect of herbicide clomazone on photosynthetic processes in primary barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. Pest Biochem. Physiol. 78, 161-170.

Kaushik, S.. 2006. Phytotoxicity of selected herbicides to mung bean (*Phaseolus aureux* Roxb.). Environ. Exp. Bot. 55(1),: 41-48.

Kim, J-S., B. W. Yun, J. S. Choi, T. J. Kim, S. S. Kwak and K. Y. Choa. 2004. Death mechanisms caused by carotenoid biosynthesis inhibitors in green and in undeveloped plant tissues. Pest Biochem. Physiol. 78, 127-139.

Lacerda, C.F., J. Cambraia, M. A. Oliva, H. A. Ruiz. and J. T. Prisco. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environ. Exp. Bot. 49 (2), 107-120.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148, 350-382.

Mahajan, S. and N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. Arch. Biochem. Biophys. 444, 139-158.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25 (2), 239-250.

Oelmuller, R. 1989. Photooxidative destruction of chloroplasts and its effect on nuclear gene expression and extraplastidic enzyme levels. Photochem. Photobiol. 49, 229-239.

Ramel, F., S. Birtic, S. Cuine, C. Triantaphylides, J. L. Ravanat. and M. Havaux. 2012. Chemical quenching of singlet oxygen by carotenoids in plants. Plant Physiol. 158, 1267-1278.

Rosenzweig, C. and M. L. Parry. 1993. Potential Impact of climate change on world food supply: A summary of a recent international study. In: Agricultural Dimensions of Global Climate Change. Florida: St. Lucie Press.

Tao, J., S. Chen, C. Qin, Y. Li, T. Li and K. Zhang. 2005. Influences of salt - alkali stress on MDA and protective enzyme activity of popular varieties. J. Northeast For. Univ. 33, 13-15.

Vajrabhaya, M. and T. Vajrabhaya. 1991. Somaclonal variation of salt tolerance in rice. Biotechnol. Agric. For. 14, 368-382.

Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf and M. R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environ. Exp. Bot. 61,199–223.