Journal of Agr. Research & Extension 30(1): 19-26

การศึกษาความเครียดน้ำในพืชโดยใช้กล้องถ่ายภาพรังสีความร้อน 2 แบบ เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดความนำปากใบ

346154

The Study on Crop Water Stress by Two Infrared Thermo-cameras in Comparison with a Porometer

วันวิสาข์ จันทิกา[1*] สมชาย องค์ประเสริฐ[1] โวลฟรัม สแปร์[2] และจีราภรณ์ อินทสาร[1]

Wanwisa Jantika[1*], Somchai Ongprasert[1], Wolfram Spreer[2] and Jiraporn Inthasan[1]

[1]สาขาปฐพีศาสตร์ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Soil Science Program, Department of Soil Resources and Environment, Faculty of Agricultural Production Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

[2]Inst. of Agricultural Engineering, Tropics and Subtropics Group, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany

*Corresponding author: wanwisa945-wan@hotmail.com

Abstract

The study was measured plant stress with two different thermo camera systems of different resolution and prices in comparison with respect to their suitability for monitoring. *Ipomoea aquatic* Forssk. cv. Reptan was drip irrigated at field capacity until complete soil cover. For conducting water stress, irrigation was stopped on one segment. Then a control treatment on another segment was kept well watered. Weather data were collected on site and matric potential was monitored with Tensiometers. Stomatal conductance (gs) was determined once a day using a Porometer (Decagon SC-1) and thermal images were acquired with both Thermo-cameras following gs measurement. It was revealed that Crop Water Stress Index (CWSI) calculated from canopy temperature by both Thermo-cameras was better in indicating crop water status than stomatal conductance measurement by Porometer. The cheaper and lower price Thermo-camera, InfraCAM SD (FLIR, Sweden) was better in measuring plant canopy for the calculation of CWSI than VarioCAM HiRes 384 sl (Infratec, Germany) for this study.

Keywords: Crop Water Stress Index (CWSI), water morning glory, stomatal conductance, thermography thermal imaging

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบผลการวัดความเครียดของน้ำในพืช โดยกล้องถ่ายภาพรังสีความร้อน 2 แบบ ที่มี resolution และราคาต่างกัน เปรียบเทียบกับการวัดความนำปากใบ พืชที่ใช้ในการศึกษาคือ ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatic* Forssk. cv. Reptan) ที่ปลูกโดยให้น้ำชลประทานแบบน้ำหยดที่ระดับความชื้นดินที่ความจุในสนาม (field capacity) จนกระทั่งโตคลุมดินได้โดยสมบูรณ์ หลังจากนั้นงดให้น้ำโดยสิ้นเชิงแก่พืชทดลองส่วนที่ถูกกำหนดให้ได้รับภาวะเครียดจากการขาดน้ำ (stress) ขณะที่ยังให้น้ำปกติ

กับพืชอีกส่วนหนึ่งที่ใช้เป็นส่วนควบคุม (control) ในขณะที่ทำการศึกษามีการบันทึกข้อมูลภูมิอากาศและค่าเมททริกของน้ำในดินในแปลงทดลองพร้อมๆ กันไปด้วย หลังจากเริ่มงดให้น้ำได้วัดความนำปากใบ (stomatal conductance, gs) วันละครั้งโดย Porometer (Decagon SC-1) และถ่ายภาพรังสีความร้อนด้วยกล้องทั้ง 2 แบบทันที หลังจากวัดค่า gs จากผลการทดลองสรุปได้ว่าดัชนีความเครียดของน้ำในพืช (Crop Water Stress Index, CWSI) ที่คำนวณจากอุณหภูมิเรือนยอดของพืชที่วัดโดย Thermo-camera ทั้ง 2 รุ่น แสดงสถานะความเครียดของน้ำในพืชได้ดีกว่าความนำปากใบ (stomatal conductance) ที่วัดโดย Porometer กล้อง Thermo-camera รุ่น InfraCAM SD (FLIR, Sweden) ซึ่งมี resolution ต่ำและราคาถูกกว่ามาก สามารถวัดอุณหภูมิเรือนยอดสำหรับคำนวณ CWSI ในพื้นที่แปลงทดลองขนาดเล็กในการศึกษาครั้งนี้ได้ดีกว่ารุ่น VarioCAM HiRes 384 sl (Infratec, Germany) ที่มี resolution และราคาสูงกว่า

คำสำคัญ: ดัชนีความเครียดน้ำของพืช ผักบุ้งจีน ความนำปากใบ รังสีความร้อน ภาพถ่ายความร้อน

คำนำ

ความต้องการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมแต่ละสาขามีมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณประชากรและระดับการพัฒนาที่เพิ่มขึ้น การเกษตรเป็นกิจกรรมที่ใช้น้ำมากที่สุด โดยคิดเป็นประมาณร้อยละ 70 ของความต้องการน้ำทั้งหมด ทำให้มีแนวคิดถึงการเกษตรที่มีการใช้ปัจจัยต่างๆ รวมถึงน้ำตามความต้องการอย่างแท้จริงและแม่นยำ (precision agriculture) การกำหนดเวลาการให้น้ำชลประทานเป็นองค์ประกอบสำคัญประการหนึ่งของการใช้น้ำชลประทานอย่างแม่นยำและเหมาะสม อุณหภูมิใบหรืออุณหภูมิเรือนยอดของพืชโดยรวมสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงความเครียดของน้ำในพืช โดยสมมุติฐานที่ว่า การคายน้ำของใบพืชมีผลให้อุณหภูมิใบลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ แต่เมื่อพืชมีความเครียดจากการขาดแคลนน้ำ การคายน้ำของพืชลดลง อุณหภูมิใบหรือเรือนยอดของพืชโดยรวมจะสูงขึ้นกว่าพืชที่ไม่มีความเครียดจากการขาดแคลนน้ำ

ได้มีความพยายามที่จะวัดอุณหภูมิใบพืชด้วยวิธีการต่างๆ มากว่าหนึ่งศตวรรษครึ่งแล้ว แต่ยังมีข้อจำกัดของวิธีการทำให้ต้องวัดแยกเป็นใบๆ (Tanner, 1963) เมื่อมีการพัฒนาวิธีวัดอุณหภูมิของวัตถุใดๆ จากการแผ่รังสีอินฟราเรด การถ่ายภาพรังสีความร้อนของใบหรือเรือนยอดของพืชที่ปลูก จึงเป็นวิธีการที่นิยมในการตรวจจับจุดเริ่มต้นภาวะความเครียดจากการขาดน้ำของพืช เพื่อกำหนดเวลาการให้น้ำที่แม่นยำ (Yuan *et al.*, 2004; Alon *et al.*, 2009; Alchanatis *et al.*, 2010)

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการศึกษาทางวิชาการว่าวิธีการดังกล่าวสามารถใช้ได้จริง แต่ในทางปฏิบัติยังไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในวิธีการนี้ยังมีราคาแพงมาก ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการใช้กล้องถ่ายภาพรังสีความร้อน 2 แบบ เปรียบเทียบกับ Porometer ในการศึกษาความเครียดน้ำของพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

สถานที่และการจัดแปลงทดลอง

การทดลองนี้ดำเนินการในแปลงทดลองที่เป็นกระบะขนาดใหญ่ คือ กว้าง 1 เมตร ยาว 8 เมตร และลึก 1 เมตร ทำด้วยอิฐบล็อก จำนวน 3 กระบะ ที่อยู่ในโรงเรือนพลาสติก ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ แต่ละกระบะบรรจุดินร่วนลึก 0.8 เมตร โดยพยายามจัดเรียงชั้นดินใหม่เหมือนในธรรมชาติ ใช้ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatic* Forssk. cv. Reptan) เป็นพืชทดลอง ในแต่ละกระบะแบ่งเป็นแปลงปลูกพืช 2 แปลง ยาวแปลงละ 3.9 เมตร โดยมีแนวกันชนระหว่างแปลง 0.2

เมตร แต่ละแปลงปลูกพืช 3 แถว และให้น้ำโดยระบบน้ำหยด (Figure 1) และได้ติดตั้งสถานีวัดข้อมูลอากาศไว้ที่แปลงเพื่อเก็บข้อมูลอากาศบริเวณแปลงทดลอง ติดตั้งฉาดวัดการคายระเหยของน้ำเพื่อวัดน้ำระเหยรายวัน และติดตั้ง Tensiometer ที่ระดับความลึก 5 ซม. ในแต่ละแปลงเพื่อเก็บข้อมูลความเครียดเมททริกของดิน

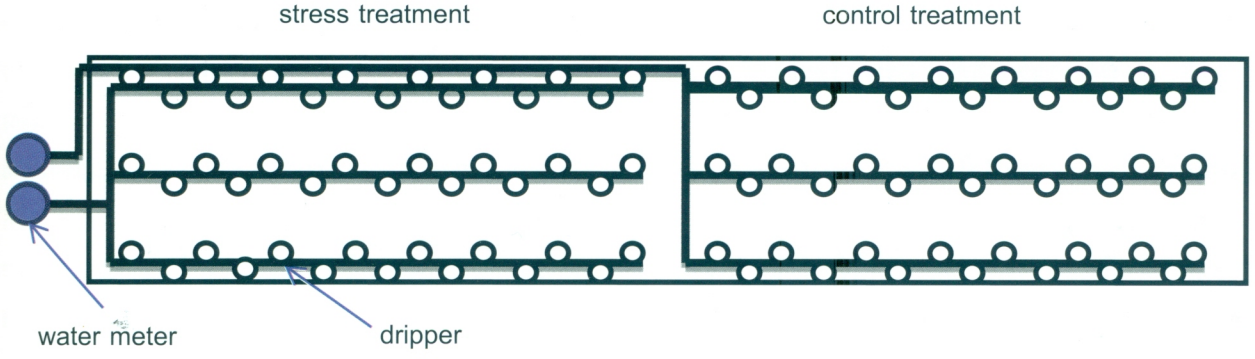

Figure 1 The arrangement of experimental plots and drip irrigation lines

การปลูกพืชและจัดกรรมวิธีการทดลอง (treatments)

ปลูกผักบุ้งในแปลงทดลองทั้ง 6 แปลง เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2554 ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดเมื่อความเครียดของความชื้นดินที่ระดับความลึก 5 ซม. สูงขึ้นถึง 15 kPa จำนวน 45 ลิตรต่อครั้ง จนถึงวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554 เมื่อผักบุ้งโตเต็มที่คลุมดินโดยสมบูรณ์ จึงจัดกรรมวิธีทดลองให้กับผักบุ้ง โดยงดให้น้ำอย่างสิ้นเชิงแก่พืชกรรมวิธีวิกฤติ (stress) และให้น้ำต่อไปตามปรกติแก่พืชกรรมวิธีควบคุม (control)

การวัดภาวะความเครียดของพืช

หลังจากเริ่มงดให้น้ำกับพืชในกรรมวิธีวิกฤติ ได้วัดดัชนีภาวะความเครียดของพืช 2 ดัชนี คือ ความนำปากใบ (stomatal conductance) และอุณหภูมิของใบกับพืชทั้ง 2 กรรมวิธี ในช่วง 12.00-14.00 น. ทุกวันจนกระทั่งพืชกรรมวิธีวิกฤติเหี่ยวจัดจึงหยุดการทดลอง เมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2555 การวัดความนำปากใบด้วย Porometer (Decagon SC-1) โดยวัดกับใบผักบุ้งที่โดนแดดโดยตรงทีละใบ จำนวน 5 ใบ ในแต่ละซ้ำของแต่ละกรรมวิธี จากนั้นวัดอุณหภูมิของใบพืชโดยการถ่ายภาพรังสีความร้อนด้วยเครื่อง Thermo-camera ทันที ทั้ง 2 แบบ ที่มีราคาแตกต่างกัน ได้แก่ InfraCAM SD (FLIR, Sweden) ราคาประมาณ 5,000 ยูโร และ Vario CAM HiRes 384 sl (Infratec, Germany) ราคาประมาณ 25,000 ยูโร ซึ่งแต่ละแปลงได้มีพืชอ้างอิงที่อุณหภูมิสูงสุดเมื่อใบพืชไม่สามารถคายน้ำได้ โดยการเคลือบใบพืชด้วยวาสลีนเพื่อปิดกั้นการระเหยน้ำโดยสมบูรณ์ และอุณหภูมิต่ำสุดของเรือนยอดที่เป็นไปได้ เมื่อมีการพ่นน้ำเป็นละอองให้เปียกเรือนยอดทั้งหมด เพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิพืชปกติ และนำไปใช้ในสมการคำนวณดัชนีความเครียดน้ำของพืช

การคำนวณดัชนีความเครียดจากการขาดน้ำจากการถ่ายภาพรังสีความร้อน

คำนวณ ดัชนีความเครียดจากการขาดน้ำโดยสูตรของ Jones (1999)

$$CWSI = \frac{(T_l - T_{wet})}{(T_{dry} - T_{wet})}$$

เมื่อ

T_l คือ ค่าอุณหภูมิเรือนยอดพืชที่วัดได้ตามสภาพของแต่ละกรรมวิธี

T_{wet} คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดของเรือนยอดที่เป็นไปได้ เมื่อมีการพ่นน้ำเป็นละอองให้เปียกเรือนยอดทั้งหมด

T_{dry} คือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดของเรือนยอดเมื่อใบพืชไม่สามารถคายน้ำได้ คือ ใบพืชถูกเคลือบด้วยวาสลีน ปิดกั้นการระเหยน้ำโดยสมบูรณ์

ผลการทดลองและวิจารณ์

ดัชนีความเครียดของน้ำในพืช (Crop Water Stress Index, CWSI)

ดัชนีความเครียดของน้ำในพืชที่คำนวณจากอุณหภูมิเรือนยอดของผักบุ้งที่วัดโดย Thermo-camera รุ่น InfraCAM SD (FLIR, Sweden) และรุ่น VarioCAM HiRes 384 sl (Infratec, Germany) แสดงใน Figure 2 และ 3 เห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยรายวันของดัชนีความเครียดของน้ำในผักบุ้งที่ได้รับน้ำทุกวัน (control) ที่วัดได้จากกล้องทั้ง 2 รุ่น ค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.30-0.44 และ 0.15-0.35 ตามลำดับ ขณะที่ค่าเฉลี่ยของใบผักบุ้งที่ถูกงดให้น้ำ (stress) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเกือบตลอดเวลาของการทดลอง 9 วัน ทำให้ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายวันของดัชนีความเครียดของน้ำในใบพืช ระหว่างพืชที่ให้น้ำทุกวันและที่ถูกงดให้น้ำแตกต่างกันมากขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ากล้องถ่ายภาพรังสีความร้อน ทั้ง 2 รุ่น สามารถใช้วัดอุณหภูมิใบพืช เพื่อประเมินดัชนีความเครียดของน้ำในพืชได้เป็นอย่างดี

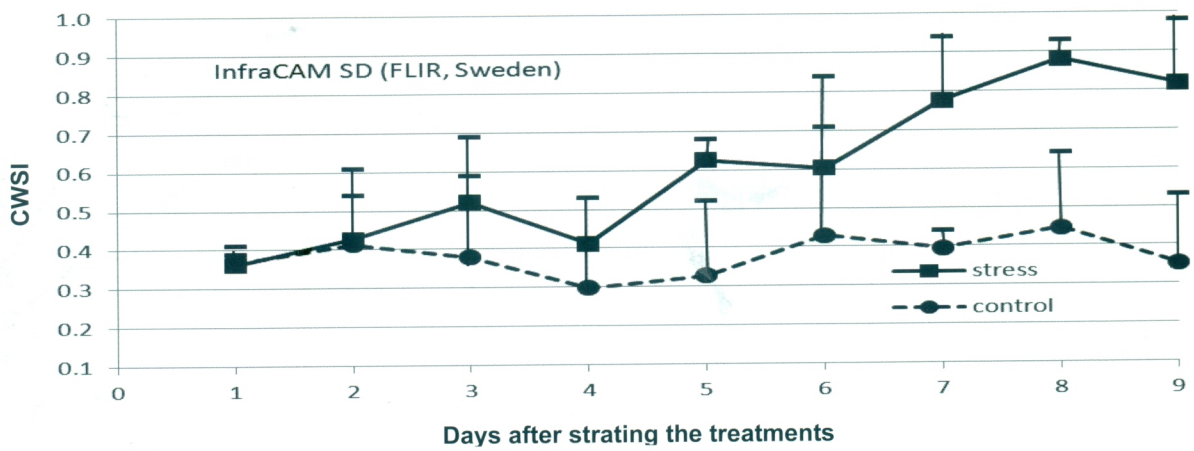

Figure 2 Crop Water Stress Index (CWSI) measured by InfraCAM SD (FLIR, Sweden)

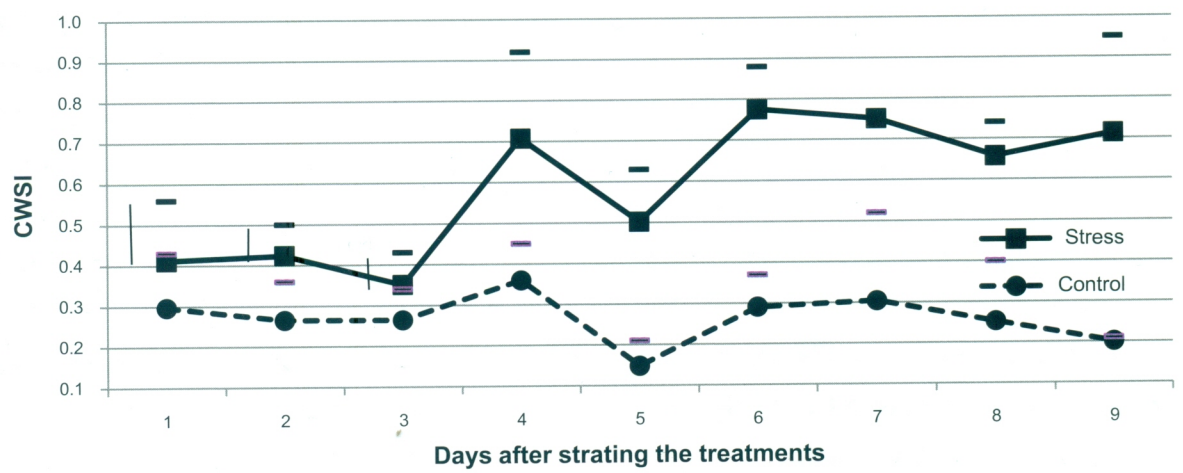

Figure 3 Crop Water Stress Index (CWSI) measured by VarioCAMHiRes 384 sl (Infratec, Germany)

ความนำปากใบ (stomatal conductance)

ความนำปากใบวัดโดย Porometer (Decagon SC-1) แสดงใน Figure 4 เห็นได้ว่า ความนำของปากใบของผักบุ้งที่ให้น้ำทุกวัน (control) และที่ถูกงดให้น้ำ (stress) มีความแตกต่างกันเล็กน้อย (อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ) ในช่วง 6 วันแรกของการทดลอง และในช่วงวันที่ 7 และ 8 ของการทดลองมีความแตกต่างกันมากขึ้น แต่ความแตกต่างนี้ยังน้อยกว่าความผันแปรของค่าเฉลี่ยรายวันที่ผันแปรระหว่างวัน แสดงให้เห็นว่าความนำของปากใบที่วัดโดย Porometer รุ่น Decagon SC-1 กับใบผักบุ้งที่โดนแสงแดดโดยตรงทีละใบ จำนวน 5 ใบ ในแต่ละซ้ำของแต่ละวิธีการให้น้ำนั้น ผันแปรตามสภาวะแวดล้อมในขณะนั้นของอากาศในโรงเรือนแต่ละวัน มากกว่าความเครียดของน้ำในพืช Jones (2004) กล่าวว่า การวัดความนำปากใบตอบสนองต่อความเครียดน้ำของพืชดีมาก และสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดสถานะน้ำในพืชได้ดีกว่าการวัดศักย์ของน้ำในต้นและใบ อย่างไรก็ตาม การวัดความนำปากใบตอบสนองต่อปัจจัยอื่นๆ และมีความต้องการการคายระเหยของอากาศเป็นข้อจำกัดในการวัด ดังนั้นการวัดความนำปากใบจึงผันแปรตามสภาวะแวดล้อมของอากาศในขณะนั้นด้วย (Hsiao, 1990)

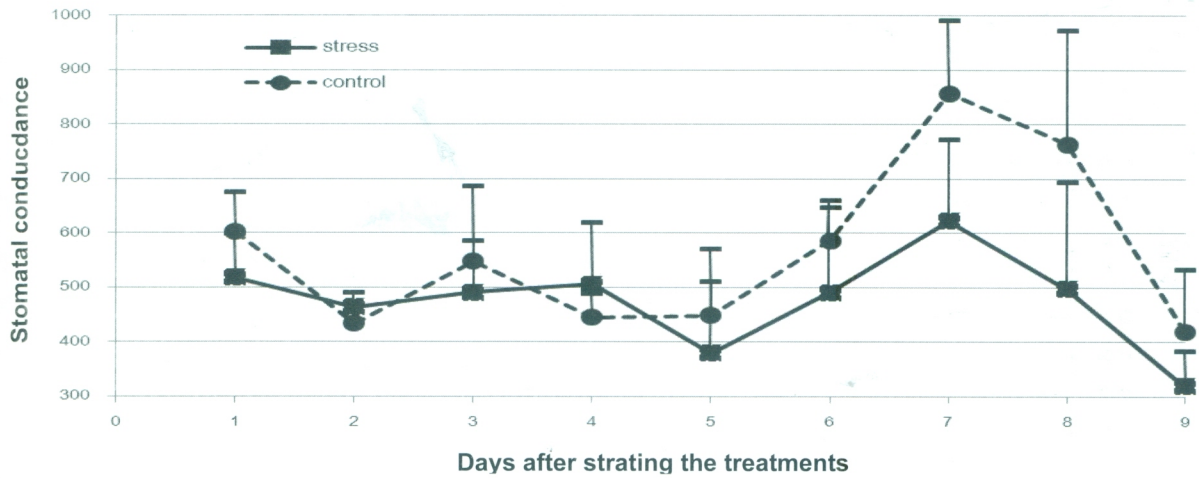

Figure 4 Stomatal conductance measured by Porometer (Decagon SC-1)

ศักย์เมททริกของน้ำในดิน (matric potential of soil water)

ศักย์เมททริกของน้ำในดินของแปลงพืชที่ถูกงดให้น้ำ แสดงใน Figure 5 ใน 3 วันแรกหลังจากงดให้น้ำ (stress) ศักย์เมททริกของน้ำในดินยังคงอยู่ที่ประมาณ -10 kPa คือ ประมาณระดับใกล้เคียงกับความจุในสนาม (field capacity) หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับสูงสุดที่ Tensiometer จะวัดได้ คือ ประมาณ -80 kPa ในวันที่ 8 เนื่องจากแปลงที่หยุดการให้น้ำ ทำให้น้ำในดินส่วนหนึ่งถูกใช้ไปโดยพืช และอีกส่วนหนึ่งระเหยไปในอากาศทางผิวดิน ซึ่งในส่วนนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความต้องการคายระเหยของอากาศด้วย (Nielsen *et al.*, 1972) เมื่อสูญเสียน้ำในดินจึงทำให้ความชื้นในดินค่อยๆ ลดลง ดัง Figure 5 ทั้งหมดนี้สอดคล้องกับ CWSI ที่วัดโดยกล้องถ่ายภาพรังสีความร้อนทั้ง 2 รุ่น ของผักบุ้งที่ถูกงดให้น้ำ (stress) ที่เริ่มสูงกว่าผักบุ้งที่ได้รับน้ำทุกวัน (control) ตั้งแต่วันที่ 4 หลังจากงดให้น้ำ

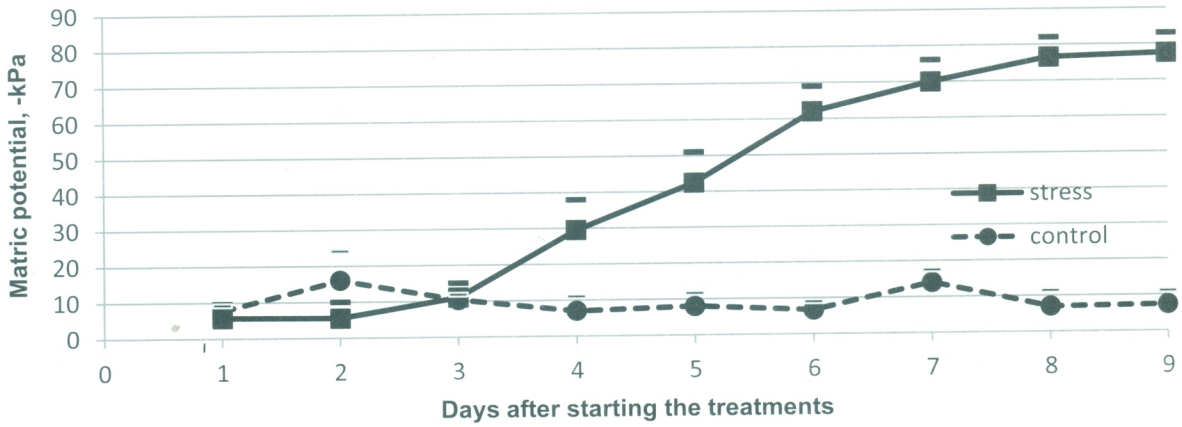

Figure 5 Matric potential of soil water of the experimental plots

สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเครียดของน้ำในพืช (Crop Water Stress Index) กับศักย์เมททริกของน้ำในดิน (matric potential of soil water)

Figure 6 และ 7 แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเครียดของน้ำในพืช (CWSI) ที่คำนวณจากอุณหภูมิเรือนยอดของผักบุ้งที่วัดโดย Thermo-camera ทั้ง 2 รุ่น กับศักย์เมททริกของน้ำในดิน พบว่า CWSI ของ Thermo-camera รุ่น InfraCAM SD (FLIR, Sweden) มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($r=0.718$, $p<0.01$) ขณะที่รุ่น VarioCAMHiRes 384 sl (Infratec, Germany) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($r=0.363$, $p>0.10$) อาจเนื่องจากในการศึกษานี้เป็นการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็ก Thermo-camera รุ่น VarioCAM HiRes 384 sl ซึ่งมี resolution สูงกว่า จะวัดอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงในพื้นที่ขนาดใหญ่ ในขณะที่แปลงที่ทำการทดลองมีพื้นที่ขนาดเล็ก ทำให้กล้องที่มี resolution สูงตรวจวัดค่าอุณหภูมิไม่ละเอียดเท่าที่ควร อย่างไรก็ตาม Alchanatis *et al.* (2010) รายงานว่า Thermo-camera ที่มี resolution ต่ำสามารถใช้ทำแผนที่แสดงศักย์ของน้ำในพืช (leaf water potential) ในสภาพสนามได้ดีเท่ากับกล้องที่มี resolution สูง โดยเฉพาะในแปลงทดลองที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ในภาคสนาม

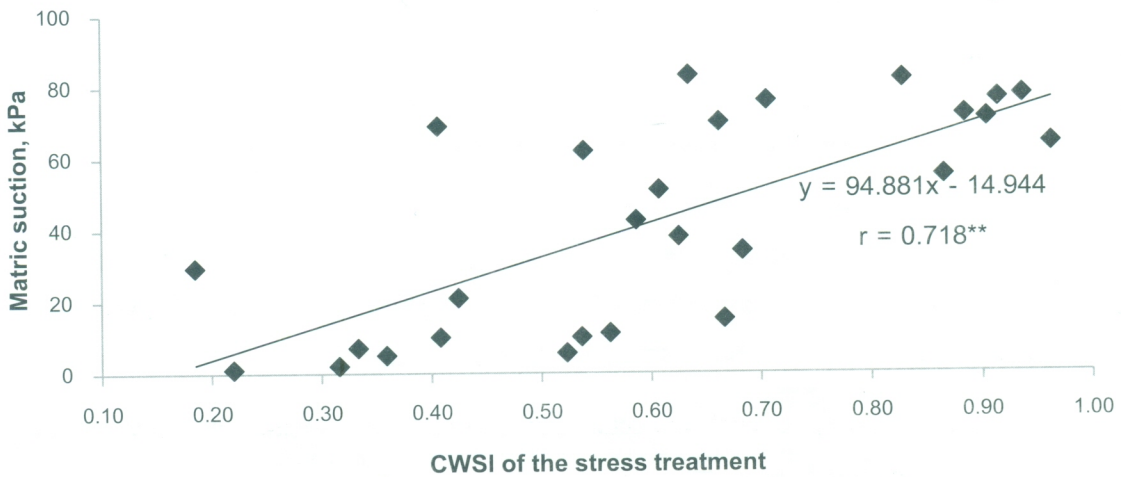

Figure 6 Correlation between Crop water stress Index (CWSI) measured by InfraCAM SD with matric potential of soil water of stress plots

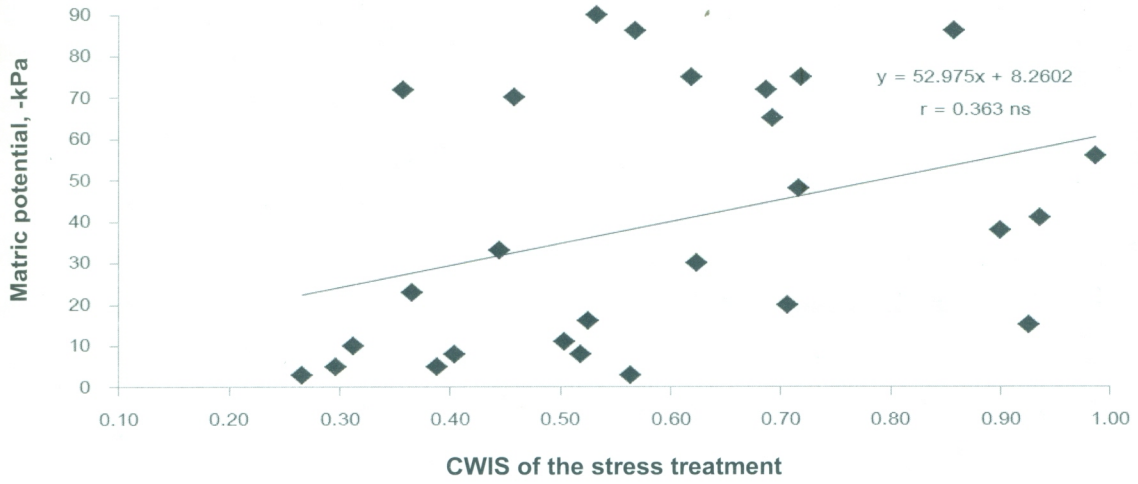

Figure 7 Correlation between Crop Water Stress Index (CWSI) measured by VarioCAM HiRes 384 sl with matric potential of soil water of stress plots

Figure 8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความนำปากใบที่วัดโดย Porometer (Decagon SC-1) กับค่าเมททริกของน้ำในดิน ซึ่งจะให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการทดลองในครั้งนี้ เนื่องจากการวัดความนำปากใบโดย Porometer ที่ต้องวัดกับใบที่โดนแดดโดยตรงทีละใบ ทำให้ค่าที่ได้ผันแปรตามสภาวะแวดล้อมในขณะนั้น ของอากาศในแต่ละจุดมากกว่าการวัดอุณหภูมิเรือนยอดของพืชที่วัดอุณหภูมิใบจำนวนมากโดยเฉลี่ย

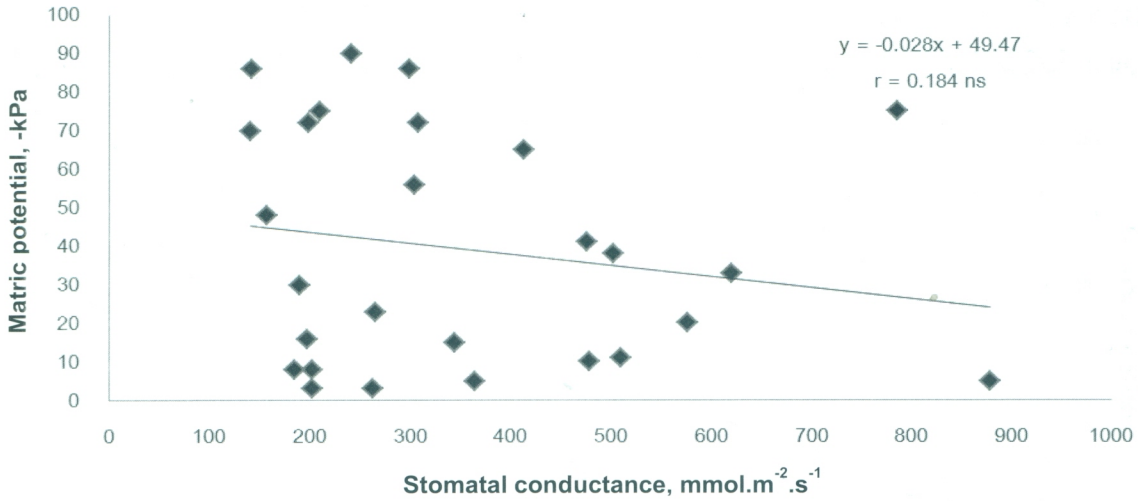

Figure 8 Correlation between stomatal conductance measured by Porometer with matric potential of soil water of stress plots

สรุปผลการทดลอง

การวัดอุณหภูมิเรือนยอดของพืชโดย Thermo-camera ทำได้สะดวกกว่าการวัดความนำปากใบที่ต้องวัดครั้งละใบ ดัชนีความเครียดของน้ำในพืช (CWSI) ที่คำนวณจากอุณหภูมิเรือนยอดของพืชที่วัดโดย Thermo-camera ทั้ง 2 รุ่น แสดงสถานะความเครียดของน้ำในพืชได้ดีกว่าความนำปากใบ (stomatal conductance) และดัชนีความเครียดน้ำของพืช (CWSI) ที่วัดโดยใช้กล้อง InfraCAM SD (FLIR, Sweden) ซึ่งมีราคา และ resolution ต่ำกว่า แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่ากล้อง VarioCAM HiRes 384 sl (Infratec, Germany) สำหรับการทดลองที่ดำเนินการในพื้นที่ขนาดเล็ก

เอกสารอ้างอิง

Alchanatis, V., Y. Cohen and E. Sela. 2010. Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging. **Precision Agriculture.** 11: 27-41.

Alharthi, A. and J. Lanje. 1987. Soil water saturation: dielectric determination. **Water Resources Research.** 23(4): 591-595.

Alon, B.G., A. Nurit and D. Arnon. 2009. Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil water status, tree water status, and thermal imagery. **Irrigation Science.** 27: 367-376.

Hsiao, T.C. 1990. Measurements of plant water status. *In*: Stewart, B.A. and D.R. Nielsen (eds.) **Irrigation of agricultural crops.** Madison, WI: American Society of Agronomy Inc. pp. 243-279.

Jones, H.G. 1999. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. **Journal of Agricultural and Forest Meteorology.** 95: 139-149.

Jones, H.G. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Journal of Experimental Botany.** 55: 2427-2436.

Nielsen, D.R., R.D. Jackson and D.D. Evans. 1972. **Soil Water.** American Society of Agronomy Soil Science Society of America. 175 p.

Tanner, C.B. 1963. Plant temperatures. **Agronomy Journal.** 55: 210-219.

Yuan, G., Y. Luo and D. Tang. 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. **Agricultural Water Management.** 64: 29-40.