Journal of Agr. Research & Extension 30(1): 1-13

# การวัดความเครียดของลำไยที่ปลูกแบบแบ่งรากภายใต้การให้น้ำที่แตกต่างกัน โดยใช้กล้อง Thermal Imaging

346143

# Monitoring of Drought Stress on Split Root Longan Trees under Different Irrigations Methods using Thermal Imaging

วินัย วิริยะอลงกรณ์[1*] ธนะชัย พันธ์เกษมสุข[1] สมชาย องค์ประเสริฐ[2] และโวลฟรัม สแปร์[3]

**Winai Wiriya-Alongkron[1*], Tanachai Pankasemsuk[1], Somchai Ongprasert[2] and Wolfram Spreer[3]**

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

[2]ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Department of Plant Science and Natural Resources, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

[2]Department of Soil Resources and Environment, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

[3]Institute of Agricultural Engineering, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany

*Corresponding author: cmuwinai54@hotmail.com, winai.w@mju.ac.th

## Abstract

Partial Root-zone Drying, (PRD) and Deficit Irrigation, (DI) is a new technique for the water saving and worldwide, successful attempts have been documented regarding. However, water saving irrigation is drought stress in plant. Water stress detection by thermal imaging, which is a non-invasive rapid assessment method, may be an interesting tool for improved irrigation planning. In this study split root longan trees under different irrigations were used. An experiment was arranged in a Completely Randomized Design (CRD) with 3 treatments of irrigation regimes and 5 replications. The treatments were as follows: 1) Full Irrigation (FI; with 100% of water) 2) Partial Root-zone Drying (PRD; with 50% of water as it was required) and 3) Deficit Irrigation (DI; with 50% of water as it was required). It was revealed that drought stress in split root longan trees could be detecting by thermal imaging. The Crop Water Stress Index (CWSI) of PRD and DI were higher than of FI and the long-term irrigated had been significant difference. Stomatal Conductance (SC) and Leaf Water Potential (LWP) was tend of CWSI. Leaves photosynthesis of longan had been significant difference in mid experiment but in the long-term irrigated did not significant difference. PRD and DI irrigation, it was found that CWSI was the best correlated to SC and LWP had been significant difference, while full irrigation did not significant difference.

**Keywords**: drought stress, partial root-zone drying, deficit irrigation, crop water stress index

## บทคัดย่อ

การให้น้ำแบบสลับข้างทีละครึ่งต้น (PRD) และแบบขาดแคลน (DI) เป็นเทคนิคการให้น้ำแบบประหยัดที่ใช้เป็นผลสำเร็จในหลายๆ ประเทศ อย่างไรก็ตาม การให้น้ำแบบประหยัดเป็นการทำให้ต้นไม้เกิดความเครียด สามารถตรวจวัดด้วยกล้อง Thermal imaging ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ทำอันตรายกับพืช และเป็นเครื่องมือที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะช่วยตัดสินใจในการให้น้ำในระบบการปลูกพืช ในการศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกต้นลำไยที่ปลูกแบบแบ่งรากอายุ 4 ปี ในกระถางซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม. สูง 50 ซม. 2 กระถางต่อต้น วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งเป็น 3 สิ่งทดลองของระดับการให้น้ำ คือ 1) ให้น้ำเต็มที่ (Full Irrigation; FI) 2) ให้น้ำแบบสลับข้างทีละครึ่งต้น (Partial Root-zone Drying, PRD) และ 3) ให้น้ำแบบขาดแคลน (Deficit Irrigation, DI) จำนวน 5 ซ้ำ พบว่า ความเครียดที่เกิดขึ้นกับต้นลำไยสามารถตรวจวัดได้ด้วยกล้อง Thermal imaging โดยที่การให้น้ำแบบสลับข้างทีละครึ่งต้น และแบบขาดแคลนมีค่าดัชนีความเครียดของพืช (CWSI) สูงกว่าต้นที่ให้น้ำเต็มที่ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อมีการให้น้ำแบบประหยัดนานขึ้น ส่วนการชักนำของปากใบพืชและค่าศักย์น้ำของใบให้ผลในทิศทางเดียวกับค่าดัชนีความเครียดของพืช (CWSI) และการสังเคราะห์แสงของลำไย พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติในช่วงกลางของการทดลอง แต่เมื่อให้น้ำนานขึ้นการสังเคราะห์แสงไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ การให้น้ำแบบสลับข้างทีละครึ่งต้นและแบบขาดแคลน ยังมีความสัมพันธ์กันระหว่าง CWSI กับอุณหภูมิและการชักนำของปากใบพืช โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ต้นที่ให้น้ำเต็มที่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ


**คำสำคัญ:** ความเครียด การให้น้ำแบบสลับข้างทีละครึ่งต้น การให้น้ำแบบขาดแคลน ดัชนีความเครียดของพืช

## คำนำ

ลำไย (*Dimocarpus longan* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย มีปลูกกันมากในแถบจังหวัดทางภาคเหนือ และบางพื้นที่ในภาคตะวันออก เช่น จังหวัดจันทบุรี ทำให้มีความหลากหลายทางนิเวศวิทยาทางด้านการเกษตร ปัจจุบันมีการผลิตทั้งในและนอกฤดูกาล โดยเฉพาะนอกฤดูกาลนั้นการเจริญเติบโตของผลอยู่ในช่วงแห้งแล้ง (มกราคม-พฤษภาคม) ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและการขยายตัวของพื้นที่ที่ใช้ในการทำสวนมีมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำที่มากขึ้น มีรายงานหลายประเทศยืนยันถึงผลสำเร็จในการประหยัดน้ำด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การให้น้ำแบบขาดแคลน (DI) และการให้น้ำแบบสลับข้างทีละครึ่งต้น (PRD) ต่อประสิทธิภาพของการใช้น้ำในพืชหลายชนิด (Arzani *et al*., 2000; Kang *et al*., 2002; Grant *et al*., 2004; Cifre *et al*., 2005; Tognetti *et al*., 2005) อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการให้น้ำแก่พืชแบบประหยัดทำให้พืชเกิดการเครียดน้ำ ซึ่งมีทั้งผลดีและผลเสีย ถ้าความเครียดอยู่ในระดับที่พอดีกับการเจริญเติบโตหรือระดับที่พืชสามารถสร้างสารที่เป็นประโยชน์ต่อผลผลิตได้ก็จะเป็นประโยชน์ แต่ถ้ามีความเครียดน้ำที่มากเกินไปอาจทำให้พืชตายได้

เทคนิคต่างๆ ที่ตรวจหาความเครียดของพืชมีอยู่หลายวิธี ซึ่งในการทดลองนี้เน้นการใช้กล้อง Thermal imaging ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ในการตรวจหาความเครียดน้ำของพืชที่ไม่ทำลายต้นพืช เป็นดัชนีชี้วัดความเครียดน้ำของต้นลำไย โดยปกติต้นพืชที่อยู่ในสภาวะความเครียดน้ำปากใบจะปิดเพื่อลดการคายน้ำ ถ้าการคายน้ำน้อยอุณหภูมิใบจะสูงขึ้น ผลกระทบนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยภาพถ่ายความร้อน ประโยชน์

จากการใช้กล้อง Thermal imaging เป็นการวิเคราะห์ความเครียดต้นไม้แบบกึ่งอัตโนมัติของพื้นที่ขนาดใหญ่ของทรงพุ่ม ซึ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อใช้คู่กับการวัดการเปิด-ปิดของปากใบพืชโดยเครื่อง Porometer (Jones *et al.*, 2002) ในการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า กล้อง Thermal imaging มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการชักนำของปากใบ (Jones *et al.*, 2002, Leinonen *et al.*, 2006) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าศักย์น้ำในใบ (LWP) (Cohen *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามสภาพอากาศในบางพื้นที่มีผลต่อการวัดพลังงานความร้อนภายในทรงพุ่ม การวิเคราะห์ภาพสามารถทำได้ทั้งในส่วนที่ได้รับแสงและไม่ได้รับแสงของทรงพุ่ม (Leinonen and Jones, 2004) พบว่า ภาพโดยรวมที่ได้จากกล้องและที่ได้จากการมองเห็นด้วยตาเปล่าสามารถปรับปรุงความแม่นยำได้ด้วยสูตรคำนวณของค่า CWSI และให้ข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับความเครียดของพืช และการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบพืช (Möller *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเฉลี่ยโดยทั่วๆ ไป ต่อพื้นที่ของทรงพุ่มลดลงเมื่อมีความแปรปรวนของมุมใบเกิดขึ้น (Grant *et al.*, 2007)

## อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกต้นลำไยจำนวน 15 ต้น อายุ 4 ปี ขนาดทรงพุ่มประมาณ 1 ม. (ตัดแต่งกิ่งทุกปี) ที่ปลูกในกระถางซีเมนต์คู่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม. สูง 50 ซม. แบบแบ่งรากออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน กระถางปลูกเป็นแบบก้นปิดแต่มีรูระบายน้ำกระถางละ 1 รู ที่ด้านข้างกระถางที่ปลูกภายในโรงเรือนพลาสติก ณ สาขาไม้ผล คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เริ่มทดลองในเดือนมกราคมถึงเมษายน พ.ศ. 2555 โดยมีทรายหยาบที่ล้างสะอาดแล้วเป็นวัสดุปลูกเลี้ยงต้นลำไยด้วยสารละลายธาตุอาหาร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 3 กรรมวิธีๆ ละ 5 ซ้ำ โดยให้ต้นลำไยเป็นซ้ำ ได้แก่

1. ให้น้ำเต็มที่ (Full Irrigation, FI) คือ ให้น้ำกระถางละ 5 ลิตร วันละ 1 ครั้ง ดังนั้น ต้นลำไยได้รับน้ำ 10 ลิตร/วัน ปริมาณการให้น้ำต่อวันมาจากการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำต่อวันของต้นลำไย โดยการให้น้ำที่คาดว่ามากเกินพอ คือ ให้น้ำ 12 ลิตร/ต้น/วัน โดยแบ่งให้กระถางละ 6 ลิตร ติดต่อกัน 10 วัน ในระหว่างนี้ได้วางภาชนะรองรับน้ำส่วนเกินที่อาจจะถูกระบายออกที่รูระบายน้ำ พบว่า มีน้ำถูกระบายออกวันละประมาณ 2 ลิตร จึงลดปริมาณน้ำให้เหลือ 10 ลิตร/ต้น/วัน และมีการให้น้ำต่อไปอีก 10 วัน พบว่า ไม่มีน้ำถูกระบายออก จึงกำหนดการให้น้ำ 10 ลิตร/ต้น/วัน โดยแบ่งให้กระถางละ 5 ลิตร เป็นปริมาณน้ำมาตรฐานสำหรับการให้น้ำแบบ Full Irrigation (FI)

2. ให้น้ำแบบสลับข้างทีละครึ่งต้น (Partial Root-zone Drying, PRD) คือ การให้น้ำเพียง 50% ของการให้น้ำเต็มที่ จึงกำหนดให้ในแต่ละวันให้น้ำ 5 ลิตร แก่กระถางปลูกเพียงกระถางเดียว ต่อเนื่องกัน 14 วัน ก่อนสลับไปให้น้ำแก่อีกกระถางหนึ่ง

3. ให้น้ำแบบขาดแคลน (Deficit Irrigation, DI) คือ การให้น้ำเท่ากับแบบ PRD แต่ให้ทั้งสองข้าง โดยให้กระถางละ 2.5 ลิตร วันละ 1 ครั้ง ต้นลำไยได้รับน้ำ 5 ลิตร/วัน

การประเมินความชื้นในวัสดุปลูก (กระถางปลูกลำไย) โดยการใช้เครื่องวัดความชื้นในดิน (Soil moisture) ใช้เครื่อง Tektronix รุ่น 1502 B ที่มีสายเคเบิลต่อเข้ากับหัววัดความชื้นในวัสดุปลูก (self-built probes) ทำการวัดความชื้นในวัสดุปลูกสัปดาห์ละครั้ง ที่ระดับความลึก 10-20 ซม. ก่อนการเก็บข้อมูลทุกครั้ง ตลอดช่วงการทดลอง และแสดงกราฟเพื่อเปรียบเทียบในแต่ละกรรมวิธี

การกำหนดความเครียดน้ำจากกล้อง Thermal imaging ดัชนีความเครียดของพืช (Crop Water Stress Index (CWSI) ที่ใช้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของทรงพุ่ม ($T_{canopy}$) อุณหภูมิสูงและต่ำของแหล่งที่อ้างอิง (Idso *et al.*, 1981) อุณหภูมิสูงที่อ้างอิงได้มาจากการทาวาสลีนเคลือบที่ผิวใบเพื่อให้มีการคายน้ำน้อยที่สุดหรือหยุดคายน้ำ ส่วนอุณหภูมิต่ำที่อ้างอิงใช้การพ่นน้ำที่ใบ 10 วินาที หลังจากนั้นจึงทำการใช้กล้องถ่ายภาพพลังงานความร้อนที่ผิวใบหรือบริเวณทรงพุ่ม (Jones, 1999) เพื่อวัดความเครียดที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่อง Infracam, FLIR systems จากประเทศเยอรมัน ที่เวลา 12.00 น. และนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$CWSI = \frac{T_{canapy} - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}}$$

การวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ทำการวัดข้อมูลสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยการวัดการซักนำของปากใบพืช โดยใช้เครื่อง Porometer (Decagon SC-1) จากประเทศอังกฤษ และวัดการสังเคราะห์แสงของใบด้วยเครื่อง LCA-4 รุ่น ADC จากประเทศอังกฤษ ทำการวัดในช่วงเวลา 11.30-12.30 น. การวัดศักย์ของน้ำในใบลำไย ทำการวัดในช่วงเช้า (pre-dawn) เวลา 05.00-06.00 น. โดยใช้เครื่อง Pressure bomb Model 1003 จากประเทศสหรัฐอเมริกา

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### ความชื้นในวัสดุปลูก

ระดับความชื้นของวัสดุปลูกของต้นลำไย ที่ให้น้ำแบบ FI มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างสม่ำเสมออย่างช้าๆ ตลอดระยะเวลาการทดลอง กล่าวคือ ลดลงจาก 7.8% โดยปริมาตร (ระดับความจุในสนาม) เมื่อเริ่มต้นการทดลองในเดือนมกราคม เป็น 6.0% เมื่อกลางเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงกลางฤดูร้อน (Figure 1) ทำให้พืชใช้น้ำมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่ให้เท่ากัน 5 ลิตรต่อวัน ตลอดการทดลอง อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของต้นลำไยในช่วงฤดูร้อน แต่ระดับความชื้นที่ลดลงต่ำสุดนี้ก็ยังสูงกว่าจุดเหี่ยวถาวร คือ ยังมีความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available moisture) เหลืออยู่ 38% ของความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available moisture capacity) ระดับความชื้นของวัสดุปลูกที่ให้น้ำแบบ FI ลดลงไม่ถึงระดับที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

ระดับความชื้นวัสดุปลูกของต้นลำไยที่ได้รับน้ำแบบ DI มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการทดลองเช่นเดียวกับการให้น้ำแบบเต็มที่ แต่มีแนวโน้มลดลงเร็วกว่า คือ ลดลงจากประมาณ 6.7% เมื่อเริ่มต้นการทดลอง เป็นประมาณ 5.2% (มีความชื้นที่เป็นประโยชน์เหลืออยู่ 10.3%) ตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ และลดลงเหลือ 4.3% ซึ่งต่ำกว่าจุดเหี่ยวถาวรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่า มีการขาดน้ำรุนแรงขึ้นในช่วงฤดูร้อน และระดับความชื้นของวัสดุปลูกลดต่ำลงจนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์

ระดับความชื้นของวัสดุปลูกของต้นลำไยที่ได้รับน้ำแบบ PRD ผันแปรสลับกันทันทีตามการให้น้ำและงดการให้น้ำอย่างชัดเจน ระดับความชื้นของวัสดุปลูกในกระถางด้านที่ได้รับน้ำ อยู่ในระดับใกล้เคียงกับวัสดุปลูกที่ได้รับน้ำแบบ DI แต่เมื่องดให้น้ำระดับความชื้นในวัสดุปลูกลดลงจนต่ำกว่าจุดเหี่ยวถาวร ในทุกรอบของการสลับข้างการให้น้ำ ระดับความชื้นที่ความผันแปรของวัสดุปลูกในกระถางแต่ละด้าน ต่างแสดงแนวโน้มการลดลงของระดับความชื้นเมื่อระยะเวลาการทดลองเข้าสู่ฤดูร้อน จนถึงความชื้นระดับต่ำที่สุดเพียง 2.2% ในรอบสุดท้ายของการให้น้ำแต่ละกระถาง แสดงให้เห็นว่า ระดับความชื้นของวัสดุปลูกในกระถางด้านที่ถูกงดให้น้ำลดลงจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่รอบแรกของการสลับข้างการให้น้ำ

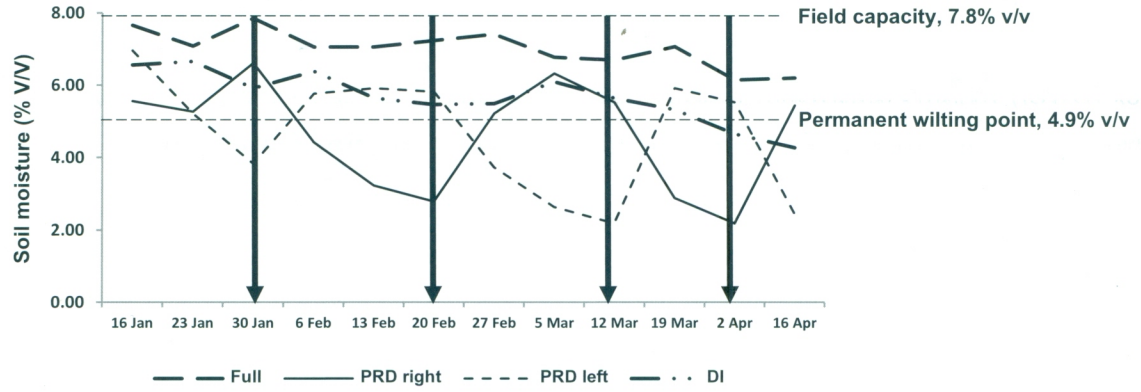


**Figure 1** Changes of media moisture during dry season under the different irrigation treatments during January-April 2012

**ดัชนีความเครียดของน้ำ (Crop Water Stress Index: CWSI)**

ค่า CWSI แสดงใน Figure 2 โดยคำนวณได้จากกล้อง Thermal imaging ที่มีการให้น้ำแตกต่างกัน พบว่า ในช่วงเดือนแรกของการทดลอง (เดือนมกราคม) การให้น้ำแบบ DI มีค่า CWSI สูงกว่าการให้น้ำแบบ PRD และแบบ FI หลังจากนั้น 3 สัปดาห์ ค่า CWSI ของการให้น้ำแบบ PRD จะมีค่ามากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ขณะที่การให้น้ำแบบ FI มีค่า CWSI ต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ หลังการให้น้ำที่แตกต่างกันนาน 1 เดือน ถึงสิ้นสุดการทดลอง ในสัปดาห์ที่ 5-9 ค่า CWSI ของการให้น้ำแบบ DI มีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามการให้น้ำแบบ DI และแบบ PRD ถึงแม้ว่ามีค่า CWSI สูงกว่าการให้น้ำแบบ FI ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 หลังการให้น้ำแตกต่างกัน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ในเดือนที่ 4 ของการทดลองการให้น้ำแบบ DI และแบบ PRD ยังมีค่า CWSI เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กับการให้น้ำแบบ FI แสดงให้เห็นว่า ค่า CWSI ที่ได้จากการคำนวณความเครียดน้ำจาก Thermal imaging สามารถบ่งบอกถึงความเครียดน้ำของลำไยได้ตั้งแต่เดือนที่ 4 ถึงแม้ว่าความเครียดน้ำจะมีแนวโน้มเกิดขึ้นตั้งแต่เดือนที่ 2 ของการทดลอง แต่ยังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งความแตกต่างค่อนข้างสอดคล้องกับการปิด-เปิดของปากใบ แม้ว่าจะเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติตั้งแต่เดือนที่ 3 ของการทดลอง แต่ก็มีแนวโน้มแสดงความเครียดน้ำของต้นลำไยในทิศทางเดียวกัน

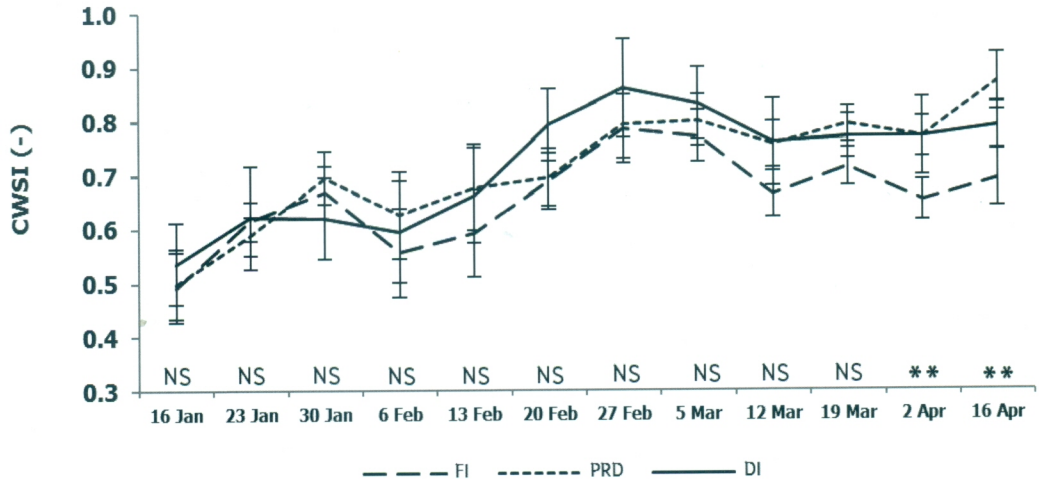


**Figure 2** Changes of CWSI under the different irrigation treatments during January–April 2012 Data points are the average of five trees, error bars represent±SD. Data points marked with "**" differ significantly from control at $\alpha$=0.01. Non-significant differences are marked with "ns".

**ค่าการชักนำของปากใบ (Stomatal Conductance: SC)**

จาก Figure 3 แสดงค่า SC หลังการให้น้ำแตกต่างกันตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 พบว่า การให้น้ำเต็มที่มีค่า SC ค่อนข้างคงที่ แต่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำที่ให้ไม่เพียงพอ ขณะที่การให้น้ำแบบ PRD หลังการให้น้ำประมาณ 1 สัปดาห์ พบว่า ค่า SC มีค่าลดลงมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้น ค่า SC เพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงอย่างช้าๆ และแสดงความแตกต่างกันทางสถิติตั้งแต่เดือนที่ 3 ของการทดลอง ส่วนการให้น้ำแบบ DI มีแนวโน้มของค่า SC ลดลงอย่างช้าๆ ในทำนองเดียวกับต้นลำไยที่ให้น้ำแบบ PRD และพบความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่เดือนที่ 3 ของการทดลองเช่นกัน แสดงให้เห็นว่า การให้น้ำแบบประหยัดทั้งสองวิธีทำให้ต้นลำไยแสดงความเครียดน้ำได้มากกว่าการให้น้ำแบบ FI สอดคล้องกับรายงานของ dos Santos *et al.* (2003); Kang and Zhang (2004) และ Zegbe *et al.* (2007) รายงานว่า เมื่อพืชมีการขาดน้ำเพียงบางส่วนของราก หรือได้รับน้ำไม่เพียงพอจะทำให้มีการส่งสัญญาณให้ปากใบปิด ทำให้การใช้น้ำและการเจริญเติบโตด้านกิ่งใบลดลง แต่มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อผลผลิต เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำมากยิ่งขึ้น (Dry *et al.*, 1996; Davies *et al.*, 2000)

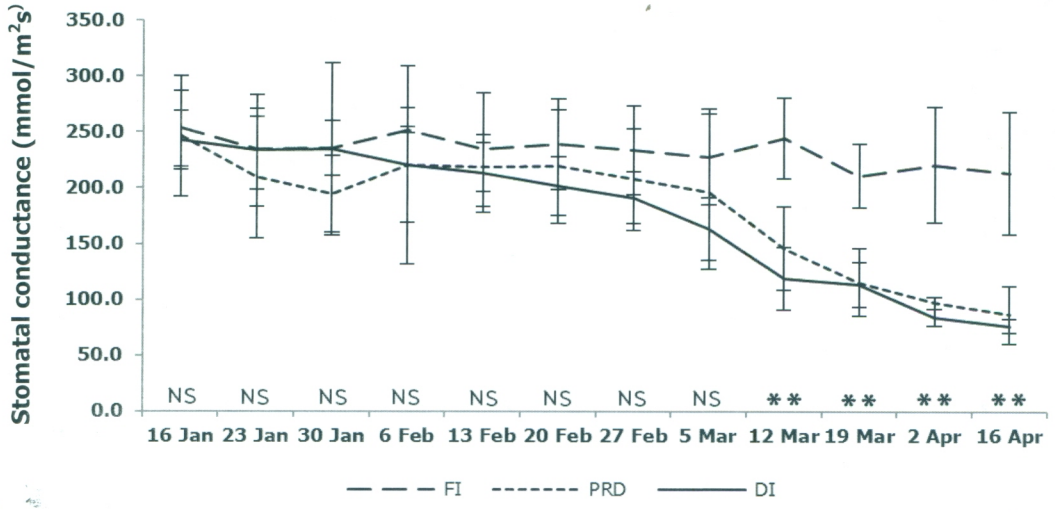


**Figure 3** Changes of stomatal conductance under the different irrigation treatments during January–April 2012 Data points are the average of five trees, error bars represent±SD. Data points marked with "**" differ significantly from control at $\alpha$=0.01. Non-significant differences are marked with "ns".

**ความสัมพันธ์ระหว่าง CWSI และอุณหภูมิเฉลี่ย**

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า CWSI ของวิธีการให้น้ำแบบต่างๆ และอุณหภูมิเฉลี่ย พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ทำให้ CWSI ที่วัดได้จากทรงพุ่มต้นลำไยมีค่าสูงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แม้ว่าในช่วงที่อุณหภูมิของอากาศลดต่ำลง แต่ค่า CWSI ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่า ความเครียดน้ำของลำไยยังคงสะสมมากขึ้น การให้น้ำแบบ PRD ทำให้ค่า CWSI มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงว่า ความเครียดน้ำของต้นลำไยที่ได้รับน้ำแบบ PRD มีความเครียดสะสมเพิ่มขึ้น แต่ต้นลำไยไม่แสดงอาการใบเหี่ยวแต่อย่างใด (Figure 4A) ขณะเดียวกันค่า CWSI ของการให้น้ำแบบ PRD มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยอย่างชัดเจน ($R^2$=0.6673**; Figure 4B) การให้น้ำแบบ FI ลำไยมีค่า CWSI ต่ำกว่าการให้น้ำแบบ PRD และแบบ DI ซึ่งในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าสูงอย่างเด่นชัด แสดงให้เห็นว่า สภาพอากาศที่หนาวซึ่งมีอุณหภูมิต่ำถึง 15°ซ ทำให้ลำไยเกิดความเครียดได้เช่นกัน หลังจากนั้นความเครียดค่อยๆ ลดลงอยู่ในระดับต่ำกว่าทุกกรรมวิธี (Figure 4C) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า CWSI กับอุณหภูมิเฉลี่ยไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($R^2$=0.1979$^{ns}$; Figure 4D) ส่วนการให้น้ำแบบ DI ค่า CWSI เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน เหมือนกับการให้น้ำแบบ PRD และในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ถึงต้นเดือนมีนาคม ค่า CWSI เพิ่มสูงมากกว่าปกติเหมือนกับทุกกรรมวิธีที่ให้น้ำ แสดงให้เห็นว่า เมื่อต้นลำไยเริ่มเครียดหรือได้รับน้ำไม่เพียงพอ หรือได้รับสภาพอากาศที่หนาวเย็นจะมีผลทำให้เกิดความเครียดได้อย่างรวดเร็ว และความเครียดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น แต่ยังเพิ่มขึ้นตามสภาพการขาดน้ำหรือได้รับน้ำไม่เพียงพอ (Figure 4E) นอกจากนี้ค่า CWSI กับอุณหภูมิเฉลี่ยยังมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($R^2$=0.3699*; Figure 4F)

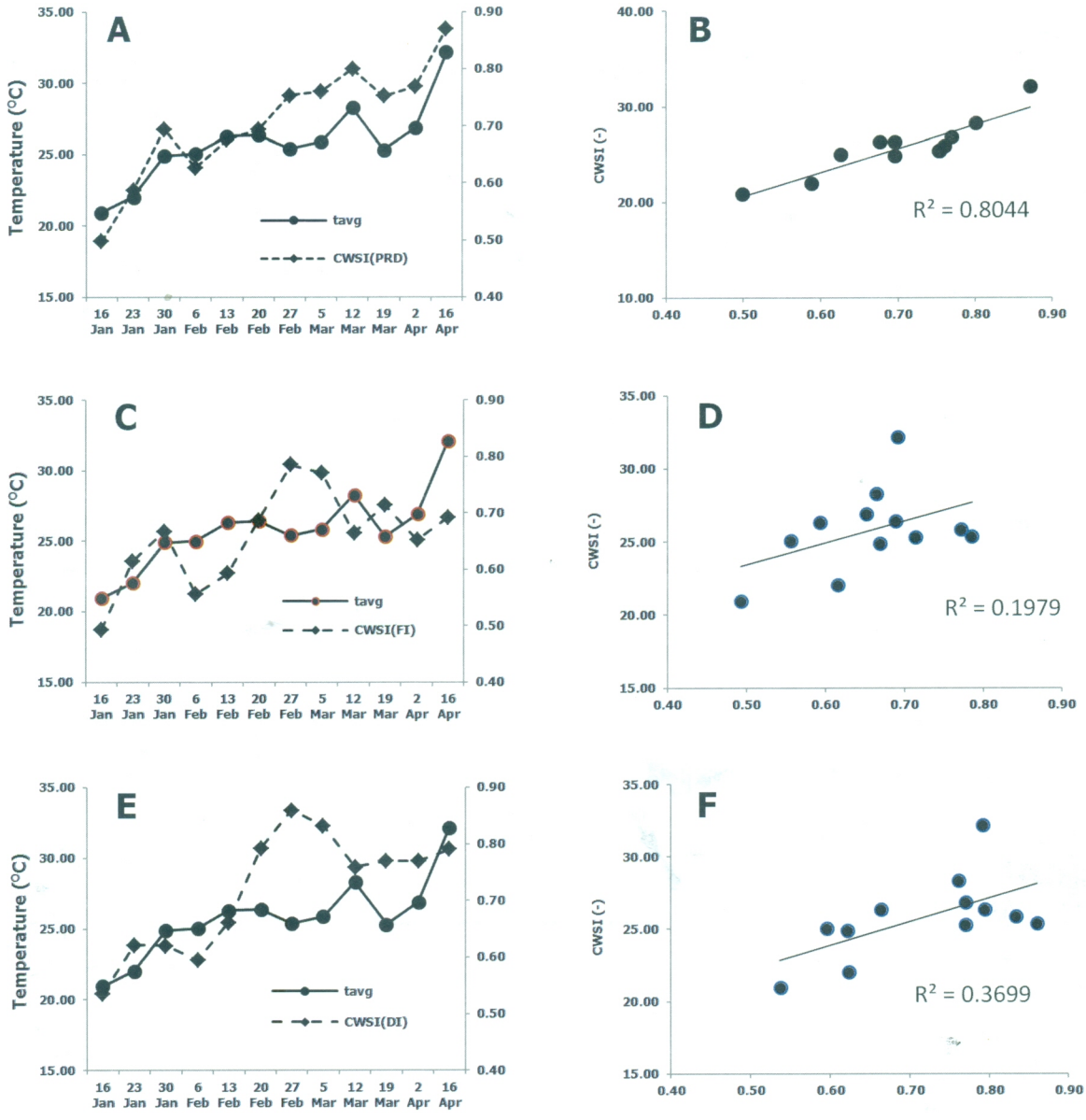


**Figure 4** Comparison and relationship between CWSI of PRD (4A and 4B) and CWSI of FI (4C and 4D) and CWSI of DI (4E and 4F) with average temperature during January–April 2012 Correlations marked with "*" and "**" differ significantly from control at $\alpha$=0.05 and $\alpha$=0.01, respectively. Non-significant differences are marked with "ns".

**ความสัมพันธ์ระหว่าง CWSI และการชักนำของปากใบพืช (Stomatal Conductance; SC)**

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง CWSI ของการให้น้ำแบบต่างๆ กับค่าการชักนำของปากใบพืช (Stomatal Conductance; SC) แสดงใน Figure 5 พบว่า CWSI ของต้นที่ได้รับน้ำแบบ FI อยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก ขณะที่ SC ลดลงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ (Figure 5A และ 5B) สำหรับการให้น้ำแบบ PRD มี CWSI สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตรงกันข้ามกับ SC ที่มีค่าลดลง ขณะเดียวกันความสัมพันธ์ของ CWSI

และ SC พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งมีค่า $R^2$=0.611** (Figure 5C และ 5D) สำหรับ CWSI ของต้นที่ได้รับน้ำแบบ DI เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการให้น้ำแบบ PRD ขณะที่ SC ลดลงมากเช่นกัน นอกจากนี้ CWSI และ SC ของต้นที่ได้รับน้ำแบบ DI มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยมีค่า $R^2$=0.4219* (Figure 5E และ 5F) แสดงให้เห็นว่าค่า CWSI มีความสัมพันธ์โดยตรงกับ SC ซึ่งในการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ภาพถ่ายความร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการชักนำของปากใบ (Jones *et al.*, 2002 and Leinonen *et al.*, 2006)

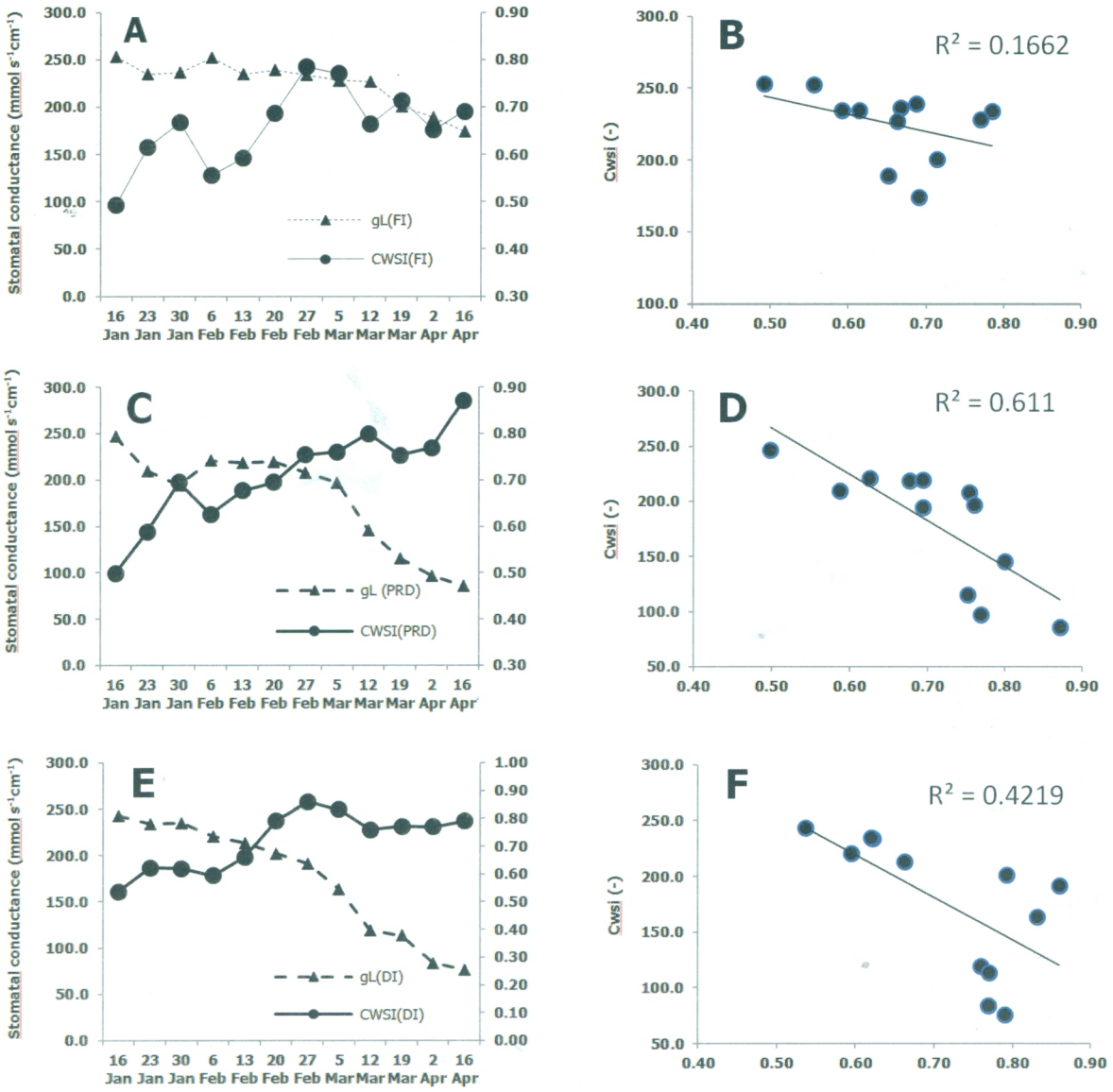


**Figure 5** Comparison and relationship between CWSI of FI (5A and 5B) and CWSI of PRD (5C and 5D) and CWSI of DI (5E and 5F) with stomatal conductance during January–April 2012. Correlations marked with "*" and "**" differ significantly from control at $\alpha$=0.05 and $\alpha$=0.01, respectively. Non-significant differences are marked with "ns".

**การสังเคราะห์แสงของใบลำไย**

การสังเคราะห์แสงของใบลำไยแสดงใน Figure 6 พบว่า ต้นที่ให้น้ำแบบ FI ใบลำไยมีการสังเคราะห์แสงสูงกว่าการให้น้ำแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามตั้งแต่เริ่มการทดลองวันที่ 16 มกราคม ถึงวันที่ 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 การให้น้ำทั้ง 3 กรรมวิธี การสังเคราะห์แสงของใบลำไยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในช่วงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ ถึงวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2555 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่วันที่ 19 มีนาคม ถึงวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2555 การสังเคราะห์แสงกลับลดลงทั้ง 3 กรรมวิธี ที่ให้น้ำและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การให้น้ำแบบต่างๆ ไม่มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ในระยะเริ่มต้น อาจเป็นเพราะระบบรากของลำไยที่ได้รับน้ำแบบ DI และแบบ PRD สามารถดูดน้ำขึ้นไปสู่ใบได้เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับน้ำแบบ FI แม้ว่าจะมีการสังเคราะห์แสงสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ก็ตาม อย่างไรก็ตามในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 เป็นช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเดือนมกราคม ซึ่งมีปริมาณแสงแดดมากประกอบกับลำไยเริ่มมีความเครียดน้ำทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง และช่วงกลางเดือนมีนาคมเป็นช่วงที่อากาศเริ่มอุ่นขึ้น ทำให้มีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ทุกกรรมวิธี ในช่วงท้ายของการทดลองปลายเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม การสังเคราะห์แสงกลับลดลงทุกกรรมวิธี อาจเป็นเพราะลำไยเริ่มมีความเครียดน้ำมากขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ให้อาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

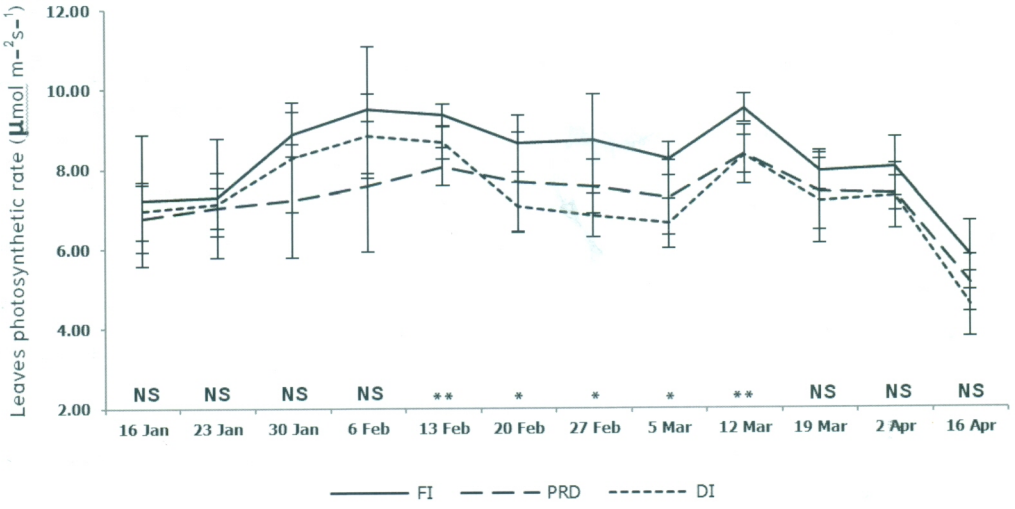


**Figure 6** Changes of leaves photosynthesis under the different irrigation treatments during January–April 2012. Data points are the average of five trees, error bars represent±SD. Data points marked with "*" and "**" differ significantly from control at $\alpha$=0.05 and $\alpha$=0.01, respectively. Non-significant differences are marked with "ns".

**ศักย์ของน้ำในใบลำไย (Leaf Water Potential; LWP)**

ศักย์ของน้ำในใบลำไย (LWP) หลังการให้น้ำแบบ FI แบบ PRD และแบบ DI แสดงใน Figure 7 พบว่า LWP ลำไยลดลงอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาการทดลองทุกกรรมวิธี แม้ว่าการให้น้ำแบบ FI จะได้รับน้ำมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ แต่เนื่องจากปริมาณน้ำอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการทำให้ LWP ลำไยมีค่าติดลบมากขึ้น แต่ก็ยังมีค่าน้อยกว่าการให้น้ำแบบ PRD และแบบ DI อย่างไรก็ตามการให้น้ำแบบ FI ค่า

LWP ค่อนข้างคงที่ในระดับที่ไม่แสดงอาการเหี่ยวเฉา ซึ่งมีวันที่ต่ำกว่า -3 MPa เพียงวันเดียว สำหรับต้นที่ให้น้ำแบบ PRD และแบบ DI มีค่า LWP ลดลงใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการให้น้ำแบบ PRD มีค่า LWP น้อยกว่าต้นที่ได้รับน้ำแบบ DI ไม่มากนัก แต่มีแนวโน้มลดลงในทิศทางเดียวกัน ซึ่งตั้งแต่วันที่ 6 กุมภาพันธ์ ถึงวันที่ 16 เมษายน มีค่าระหว่าง -4 ถึง -5 MPa ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Cohen *et al.* (2005) ที่พบว่าการใช้ Thermal imaging สามารถวิเคราะห์ต้นไม้แบบกึ่งอัตโนมัติได้ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับศักย์น้ำในใบ (LWP) กล่าวคือ ถ้าค่า CWSI สูงขึ้น ค่าศักย์น้ำในใบจะมีค่าติดลบมากขึ้นตามไปด้วย

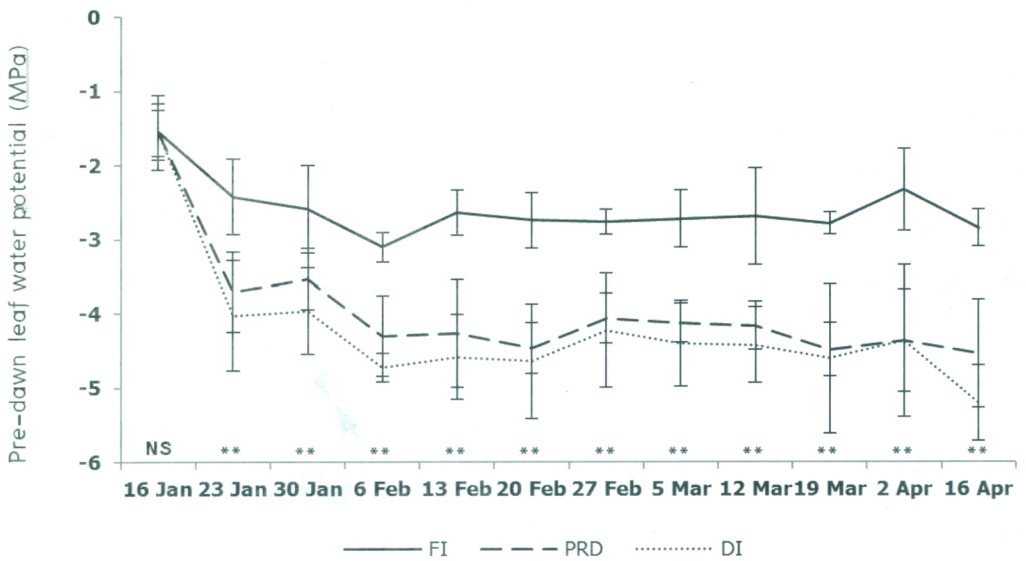


**Figure** 7 Comparison of LWP under the different irrigation treatments during January–April 2012 Data points are the average of five trees, error bars represent ±SD. Data points marked with "**" differ significantly from control at $\alpha$=0.01. Non-significant differences are marked with "ns".

## สรุปผลการทดลอง

Thermal imaging สามารถใช้บ่งชี้ถึงสภาพความเครียดของลำไยได้ โดยใช้ร่วมกับการคำนวณค่า CWSI การวัดการซักนำปากใบพืช (SC) และค่าศักย์ของน้ำในใบ (LWP) อย่างไรก็ตามการวัดการสังเคราะห์แสงของใบพืชมีความแตกต่างกันในเดือนที่ 3 ของการทดลอง หลังจากนั้นไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าต้นลำไยแม้ว่าจะได้รับน้ำเพียงข้างเดียวของราก แต่สามารถนำน้ำขึ้นไปสู่ส่วนต่างๆ ของต้นได้ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิงบวกของค่า CWSI, อุณหภูมิ และ SC ด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประเทศไทย และมูลนิธิทางวิทยาศาสตร์ สหพันธรัฐเยอรมนี (Deutsche Forschungsgemeinschaft; DFG) "Sustainable rural development in mountainous regions of Southeast Asia" (SFB 564). **"The Uplands Program (T1)"**

## เอกสารอ้างอิง


Arzani, K., G.S. Lawes and D. Wood. 2000. The water relations of mature sun drop apricot trees response to different vidour control techniques. Ferreira M.I. and H.G. Jones (eds). *In:* Proc. 3rd on Irrigation Hort. Crops. **Acta Hort**. 537: 231-239.

Cifre J, J. Bota, J.M. Escalona, H. Medrano and J. Flexas. 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.) an open gate to improve water-use efficiency. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** 106: 159-170.

Cohen, Y., V. Alchanatis, M. Meron, Y. Saraga and J. Sipris. 2005. Estimatation of leaf water potential by thermal inagery and spatial analysis. **J. Exp. Bot**. 56(417): 1843-1852.

dos Santos, T.P., C.M. Lopes, M.L. Rodrigues, C.R.D Souza, J.P. Maroco, J.S. Pereira, J.R. Silva, M.M. Chaves and M.M. Chaves. 2003. Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*). **Functional Plant Biology**. 30: 663-671.

Dry, P., B. Loveys, D. Botting and H. During. 1996. Effects of partial root-zone drying on grapevine vigour, yield, composition of fruit and use of water. **Proc. 9th Australian Wine Industry Technical Conference.** Adelaide, July 16-19, 1996. pp. 126-131.

Davies, W.J., M.A. Bacon, D.S. Thompsom, W. Sobieh and L.G. Rodriguez. 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants' chemical signalling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. **J. Exp. Bot.** 51(350): 1617-1626.

Grant, O.M., M. Stoll and H.G. Jones. 2004. Partial rootzone drying does not affect fruit yield of raspberries. **J. Hort. Sci. & Bio.** 79(1): 125-130.

Grant, O.M., L. Tronina, H.G. Jones and M.M. Chaves. 2007. Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. **J. Exp. Bot.** 58(4): 815-825.

Idso, S.B., R.D. Jackson, P.J. Pinter, R.J. Reginato and J.L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural and Forest Meteorology.** 24: 44-45.

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

Jones, H.G., M. Stoll, T. Santos, C. de Sousa, M.M. Chaves and O.M. Grant. 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closuer in the field: application to grapevine. **J. Exp. Bot**. 53(378): 2249-2260.

Kang, S., X. Hu, I. Goodwin and P. Jerie. 2002. Soil water distribution, water use and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. **Sci. Hort.** 92: 277-291.

Kang, S. and J. Zhang. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: Its physiological consequences and impact on water use efficiency. **J. Exp. Bot.** 55: 2437-2446.

Leinonen, I. and H.G. Jones. 2004. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. **J. Exp. Bot.** 55(401): 1423-1431.

Leinonen, I., O.M. Grant, C.P.P. Tagliavia, M.M. Chaves and H.G. Jones. 2006. Estimatging stomatal conductance with thermal imagery. **Plant, Cell & Environment.** 29: 1508-1518.

Möller, M., V. Alchanatis, Y. Cohen, M. Meron, J. Tsipris, A. Naor, V. Ostrovsky, M. Sprinstin and S. Cohen. 2007. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. **J. Exp. Bot.** 58(4): 827-838.

Tognetti, R., R. d'Andria, G. Morelli and A. Alvino. 2005. The effect of deficit irrigation on seasonal variations of plant water use in *Olea europaea* L. **Plant and Soil.** 273: 139-155.

Zegbe, J.A., M.H. Behboudian and B.E. Clothier. 2007. Reduced irrigation maintains photosynthesis, growth, yield, and fruit quality in 'Pacific Rose™' apple. **J. Sust. Agri.** 30(2): 125-136.