ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)

ปริญญา

พฤกษศาสตร์ พฤกษศาสตร์

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของดินขาวเคโอลินต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ผลผลิตและคุณภาพองุ่น (*Vitis vinifera* L.) ไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

Photosynthetic Efficiency, Fruit Yield and Quality Affected by Kaolin Clay in Seedless Grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette

นามผู้วิจัย นายธีรพัฒน์ เทพแก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์สุดสวาสดิ์ ดวงศรีไสย์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์พิลาณี ไวถนอมสัตย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย เงินแสงสรวย, ปร.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของดินขาวเคโอลินต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ผลผลิตและคุณภาพองุ่น (*Vitis vinifera* L.) ไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

Photosynthetic Efficiency, Fruit Yield and Quality Affected by Kaolin Clay in Seedless Grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette

โดย

นายธีรพัฒน์ เทพแก้ว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธีรพัฒน์ เทพแก้ว 2557: ผลของดินขาวเคโอลินต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ผลผลิตและคุณภาพองุ่น (*Vitis vinifera* L.) ไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์) สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr. 141 หน้า

การผลิตองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette (*Vitis vinifera* L. cv. Perlette) ในช่วงฤดูแล้งที่มีอุณหภูมิและความเข้มแสงสูงจะประสบปัญหาหลักคือผลผลิตลดลง เนื่องจากสภาพอากาศในฤดูแล้งส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาทำให้องุ่นมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลทำให้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตขององุ่นลดลง ดินขาวเคโอลินมีคุณสมบัติสะท้อนแสงที่ส่องกระทบบนใบพืชและลดความเข้มแสงที่สัมผัสกับพืชโดยตรง ดังนั้นเมื่อนำมาพ่นเคลือบใบและผล จึงสามารถลดความเสียหายจากสภาพอากาศในฤดูแล้ง และช่วยรักษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ การศึกษาผลของดินขาวเคโอลินจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดลำปางและจังหวัดอุตรดิตถ์ เพื่อรักษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ผลผลิตและคุณภาพองุ่น โดยทำการพ่นดินขาวเคโอลิน ความเข้มข้น 50 กรัม/ลิตร 1 ครั้ง/สัปดาห์ ตั้งแต่ผลองุ่นมีอายุ 2 สัปดาห์จนถึงระยะเก็บเกี่ยว พบว่าดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถรักษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสุทธิได้ดีกว่าดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางและชุดควบคุม ตั้งแต่ผลองุ่นมีอายุ 5 สัปดาห์ ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว การพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งสามารถรักษาค่าดัชนีความเขียวในใบ และรักษาระดับประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดให้มีค่าสูงได้ โดยสามารถเพิ่มอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสอง ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงขององุ่นเกิดขึ้นได้ดี ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบจึงเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตองุ่นต่อต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางสามารถเพิ่มขนาด และน้ำหนักของผลองุ่นได้ นอกจากนี้การพ่นดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำคั้นองุ่น โดยไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Teerapat Tepkaew 2014: Photosynthetic Efficiency, Fruit Yield and Quality Affected by Kaolin Clay in Seedless Grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. Master of Science (Botany), Major Field: Botany, Department of Botany. Thesis Advisor: Associate Professor Kanapol Jutamanee, D.Agr. 141 pages.

Commercial production of seedless grape cv. Perlette (*Vitis vinifera* L. cv. Perlette) during dry season, high temperature and solar radiation, face the reduction of grape yield problem. Kaolin can reflect the light and reduce light intensity on plants. Thus, coating plant with kaolin can reduce damage from dry season weather and maintain photosynthetic efficiency. Therefore, the effects of kaolin on maintain photosynthetic efficiency and yield qualities of 'Perlette' seedless grape were studied. Spraying kaolin from Lampang province compared with kaolin from Uttharadith province during the experiment at concentration of 50 g/L 1 time per week at the fruit age of 2 weeks were performed until harvested. The results showed that spraying kaolin from Uttharadith province maintained photosynthetic efficiency better than spraying kaolin from Lampang province and control since 5 weeks of fruit age. Both sources of kaolin maintained leaf SPAD index and maximum light quantum yield of PSII by increase electron transport rate. Photosynthetic efficiency was maintained by kaolin so glucose content in leaf was increase. Higher glucose content in leaf led to increasing trend of grape yield per plant. Spraying kaolin from Lampang province increased weight and berry size. Moreover, both spraying kaolin increased total soluble solid in grape juice but had no effected on pH and titratable acidity.

_____ _____ ___/___/___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.คณพล จุฑามณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่เป็นผู้ให้ความรู้ แนะนำแนวทางในการวิจัย ให้คำปรึกษารวมทั้งให้ความเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจในการทำงานครั้งนี้ และช่วยตรวจทานแก้ไขให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สุดสวาสดิ์ ดวงศรีไสย์ และอาจารย์พิลาณี ไวถนอมสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ช่วยแนะนำการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เสนอแนวทางในการแก้ปัญหา และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย (SAST) และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย

ขอขอบคุณสถานีวิจัยกาญจนบุรี สถาบันค้นคว้าและพัฒนาระบบนิเวศเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ นายวีรศิลป์ สอนจรูญ นางสาวธนิดา ภักดี นายยศพล หาญวณิชยเวช นางสาวเกษวรา เมทเมรุรัตน์ นางสาวสุกานดา มรกตจินดา และนางสาวนุสรา น้ำดอกไม้ ที่ช่วยเหลือตลอดในการทำวิจัยทั้งงานปฏิบัติการในแปลงทดลอง และในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณพี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ที่ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาตลอดจนผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามที่มีส่วนช่วยทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยอบรมเลี้ยงดู ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจสำคัญในการศึกษาวิจัย และทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ธีรพัฒน์ เทพแก้ว

ตุลาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	37
สรุปผลการทดลอง	103
ข้อเสนอแนะ	105
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	106
ภาคผนวก	117
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	141

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ตารางแสดงแผนการทดลองและเก็บข้อมูล	118
2	ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette	120
3	ข้อมูลสภาพอากาศในแปลงทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ระหว่างเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2556	121
4	ข้อมูลสภาพอากาศในแปลงทดลองในวันที่ทำการบันทึกข้อมูล ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.00 น.	124
5	ผลของดินขาวเคโอลินต่อพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของใบองุ่นหลังเริ่มต้นที่ระยะอายุผล 2 ถึง 7 สัปดาห์	125
6	ผลของดินขาวเคโอลินต่อพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการใช้แสง	128
7	ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าดัชนีความเขียวของใบที่ระยะเวลาต่างๆ	129
8	ตารางแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และแป้งในใบที่ระยะอายุผลต่างๆ	130
9	ตารางแสดงสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลฟรักโตสในใบที่ระยะอายุผลต่างๆ	131
10	ตารางแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และแป้งในกิ่งที่ระยะอายุผลต่างๆ	132
11	ตารางแสดงสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลฟรักโตสในกิ่งที่ระยะอายุผลต่างๆ	133
12	ผลของดินขาวเคโอลินต่อปริมาณผลผลิตต่อต้น, จำนวนช่อผลต่อต้น และจำนวนผลต่อช่อ	134
13	ผลของดินขาวเคโอลินต่อสัดส่วนช่อผลชนิดต่างๆ ตามเกณฑ์ของ Pierre (1980)	135
14	ผลของดินขาวเคโอลินต่อความยาว น้ำหนักช่อผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักผลองุ่น	136
15	ผลของดินขาวเคโอลินต่อคุณภาพบางประการของน้ำคั้นองุ่น	137
16	ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนและหลังการพ่นดินขาวเคโอลิน	138

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การตอบสนองต่อแสง (light respond curve) ของอ่งุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ; 0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 และ 2000 μmol PPF m^{-2} s^{-1}	39
2	อิทธิพลของอายุใบต่อการตอบสนองต่อแสง (light respond curve) ของอ่งุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ; ตำแหน่งใบที่ 2 (2nd), 3 (3rd) และ 4 (4th) นับจากปลายยอด	39
3	ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ของอ่งุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette; ชุดควบคุม (CONTROL), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP), ดินขาว เคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดระนอง (RN)	40
4	สภาพอากาศในแปลงอ่งุ่นที่ทำการทดลองแสดงข้อมูลรอบวันในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 1 ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)	44
5	สภาพอากาศในแปลงอ่งุ่นที่ทำการทดลองแสดงข้อมูลรอบวันในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 2 ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)	47
6	สภาพอากาศในแปลงอ่งุ่นที่ทำการทดลอง แสดงข้อมูลรอบวัน ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 3 ที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)	50
7	สภาพอากาศในแปลงอ่งุ่นที่ทำการทดลองแสดงข้อมูลรอบวันในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 4 ที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)	53
8	สภาพอากาศในแปลงอ่งุ่นที่ทำการทดลอง แสดงข้อมูลรอบวัน ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 5 ที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)	56
9	สภาพอากาศในแปลงอ่งุ่นที่ทำการทดลองแสดงข้อมูลรอบวันในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 6 ที่ระยะอายุผล 7 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)	59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	สภาพอากาศในแปลงอุ่นที่ทำการทดลอง แสดงข้อมูลรอบวัน ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ทั้งหมด 6 ครั้ง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 อายุผล 2 สัปดาห์, ครั้งที่ 2 อายุผล 3 สัปดาห์, ครั้งที่ 3 อายุผล 4 สัปดาห์, ครั้งที่ 4 อายุผล 5 สัปดาห์, ครั้งที่ 5 อายุผล 6 สัปดาห์และครั้งที่ 6 อายุผล 7 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)	61
11	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใบ ของใบอุ่นทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	71
12	การเปลี่ยนแปลงแรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf-air}$) ของใบอุ่นทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	71
13	การเปลี่ยนแปลงค่านำไหลปากใบ ของใบอุ่นทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	72
14	การเปลี่ยนแปลงอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิของใบอุ่นทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	72
15	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศเฉลี่ย ของใบอุ่นทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	73
16	การเปลี่ยนแปลงอัตราการคายน้ำ ของใบอุ่นทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	73
17	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราการคายน้ำของใบอุ่นทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการใช้แสงของใบอ่อนที่ระยะผลอ่อนอายุ 3 ถึง 5 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	79
19	การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีความเขียวหลังจากได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	81
20	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบ (ก), น้ำตาลฟรักโตส (ข) แป้ง (ค) และสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตส (ง) ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 6 สัปดาห์และ 8 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	91
21	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่ง (ก), น้ำตาลฟรักโตส (ข) แป้ง (ค) และสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตส (ง) ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 6 สัปดาห์และ 8 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)	92
22	ผลของดินขาวเคโอลินต่อปริมาณผลผลิตอ่อน	98
23	ผลของดินขาวเคโอลินต่อจำนวนผลอ่อนต่อช่อ และจำนวนช่อผลอ่อนต่อต้น	98
24	ผลของดินขาวเคโอลินต่อสัดส่วนช่อผลชนิดต่าง ๆ ตามเกณฑ์ของ Pierre (1980)	99
25	ผลของดินขาวเคโอลินต่อความยาว (ก) และน้ำหนักช่อผล (ข)	100
26	ผลของดินขาวเคโอลินต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักผล	100
27	ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (ก), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ข) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ค) ของน้ำคั้นอ่อน	101
28	ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนและหลังการพ่นดินขาวเคโอลิน	102

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

1 ปริมาณการส่งออกขององุ่นในรูปผลสดของประเทศไทยในรอบปี เปรียบเทียบในแต่ละเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2555 119

2 สภาพอากาศในแปลงองุ่นที่ทำการทดลองเฉลี่ยรายวันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2556; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์ (ค) และVPD_{air} (ง) 122

3 สภาพอากาศในแปลงองุ่นที่ทำการทดลองแสดงค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุดรายวันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2556; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง) 123

4 ลักษณะของช่อผลในแต่ละชุดการทดลอง เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD) 139

5 ทรงพุ่มของต้นองุ่นชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (ก), ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (ข) และชุดควบคุม (ค) 140

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis rate, μmol CO_2 m^{-2} s^{-1})
*A*max	=	อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (maximum gross photosynthesis rate, μmol CO_2 m^{-2} s^{-1})
Ca	=	ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ (air CO_2 concentration, μmolCO_2 mol^{-1})
Ci	=	ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในช่องว่างใบ (intercellular CO_2 concentration, μmolCO_2 mol^{-1})
E	=	อัตราการคายน้ำ (transpiration rate, mmolH_2O m^{-2} s^{-1})
ETR	=	อัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสอง (electron transport rate)
Fv/Fm	=	ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (PSII) ในสภาพมืด (maximum quantum efficiency of PSII)
g_s	=	ค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance, mmolH_2O m^{-2} s^{-1})
PPF	=	ความเข้มแสงในช่วงคลื่นที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis photon flux, μmolPPF m^{-2} s^{-1})
qN	=	non-photochemical quenching
qP	=	photochemical quenching
RH_{air}	=	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity, %)
SPAD index	=	ดัชนีความเขียว
TA	=	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (tritratable acidity, %)
T_{air}	=	อุณหภูมิอากาศ (air temperature, °C)
T_{leaf}	=	อุณหภูมิใบ (leaf temperature, °C)
TSS	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble sugar, °Brix)
VPD_{air}	=	แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (air vapor pressure deficit, kPa)
$VPD_{leaf-air}$	=	แรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศ (leaf to air vapor pressure deficit, kPa)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของดินขาวเคโอลินต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ผลผลิตและคุณภาพองุ่น (*Vitis vinifera* L.) ไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

Photosynthetic Efficiency, Fruit Yield and Quality Affected by Kaolin Clay in Seedless Grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette

คำนำ

องุ่น (*Vitis vinifera* L.) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Vitaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบ asia minor และแถบทะเล Caspian ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด โดยในสกุล *Vitis* แต่ละชนิด (species) นั้นมีทั้งที่สามารถรับประทานได้และใช้เป็นต้นตอ องุ่นยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ประเทศไทยมีการส่งออกองุ่นทั้งในรูปของผลสด น้ำองุ่น และผลิตภัณฑ์แปรรูป สร้างรายได้ให้กับประเทศปีละหลายล้านบาท โดยในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยส่งออกองุ่นมีมูลค่ารวมถึง 93 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) องุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อน อบอุ่น และหนาว แต่ในประเทศไทยพื้นที่ปลูกองุ่นที่เหมาะสมควรมีอุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝน 1,300-1,450 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์ 60-90 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์องุ่นที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย ในอดีตส่วนมากเป็นพันธุ์ที่รับประทานผลสดและมักมีเมล็ด เช่น พันธุ์ไวท์มะละกา และพันธุ์คาร์ดินัล ส่วนองุ่นที่ไม่มีเมล็ดในอดีตไม่นิยม แต่ในปัจจุบัน พบว่าความนิยมองุ่นไร้เมล็ดเพิ่มมากขึ้น และมีองุ่นไร้เมล็ดหลายสายพันธุ์ที่มีแนวโน้มให้ผลผลิตดีสามารถปลูกเป็นการค้าได้ เช่น พันธุ์ Beauty seedless และ Perlette seedless เป็นต้น ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำองุ่นพันธุ์เหล่านี้เข้ามาปลูกในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น (สุทธ์สินี, 2543; ดาวยศ, 2547)

ภาวะโลกร้อนส่งผลให้สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ทั้งในเรื่องของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และฤดูกาล ปัญหาที่เกษตรกรพบเป็นจำนวนมากในการปลูกองุ่นคือ ปริมาณผลผลิตขององุ่นลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่มีอากาศแห้ง ท้องฟ้าโปร่ง ความเข้มแสงสูง ส่งผลทำให้ผลผลิตองุ่นต่ำ เห็นได้จากปริมาณการส่งออกองุ่นของประเทศไทย โดยมีปริมาณต่ำในช่วงเดือนธันวาคม ถึงเดือนเมษายนในแต่ละปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ปัจจุบันช่วงฤดูหนาว โดยเฉพาะช่วงเวลา 11.00-14.00 น. จะเป็นช่วงที่อากาศแห้ง มีอุณหภูมิและความเข้มแสงสูงที่สุดในรอบวัน ส่งผลต่อสรีรวิทยาขององุ่นทำให้องุ่นมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลทำให้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตขององุ่นลดลง (Kriedemann, 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดินขาวเคโอลิน (Kaolin) คือ ดินที่มีแร่ Kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) เป็นองค์ประกอบหลัก พบได้ในประเทศจีน เม็กซิโก บราซิล เป็นต้น ในประเทศไทยมีแหล่งดินขาวเคโอลินที่จังหวัดลำปาง ระนอง อุตรดิตถ์ ฯลฯ ดินขาวเคโอลินถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยา เซรามิก เครื่องสำอาง ยาสีฟัน และอุตสาหกรรมอื่นๆ มากมาย สำหรับด้านการเกษตรมีการใช้ประโยชน์จากดินขาวเคโอลินเช่นกัน โดยประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาดินขาวเคโอลินให้อยู่ในรูปสารการค้า เมื่อนำมาพ่นให้กับพืช จะมีลักษณะเป็นฟิล์มเคลือบลำต้น ใบ และผลได้ ดินขาวเคโอลินมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง คือ สารนี้มีสีขาว และมีโครงสร้างโมเลกุลจำเพาะ สามารถสะท้อนแสงที่ส่องกระทบบนใบพืช จึงสามารถลดความเข้มแสงที่สัมผัสกับใบพืชได้โดยตรง ทำให้ลดความร้อนที่พืชได้รับ อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจึงไม่ลดลง ป้องกันการเกิดอาการใบไหม้ ผลไหม้ และลดการเกิด photoinhibition ได้ (คณพล และคณะ, 2554) ในช่วงฤดูร้อนที่แสงมีความเข้มสูงและในสภาพที่อุณหภูมิสูง การพ่นดินขาวเคโอลินเคลือบทรงพุ่มสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ เช่น แอปเปิ้ล (Glenn *et al*., 2001) มะเขือเทศ (Cantore *et al*., 2009) ในประเทศไทยได้มีการทดลองกับมะม่วง พบว่าดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง ลดการเข้าทำลายของแมลงและการระบาดของโรค อีกทั้งยังสามารถลดอาการกิ่งไหม้ในแก้วมังกรได้ (คณพล และคณะ, 2554) นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้ดินขาวเคโอลินจากแหล่งต่างๆ ในประเทศมาเป็นวัสดุเคลือบใบและผล พบว่า ดินขาวเคโอลินสามารถช่วยลดอาการใบไหม้ของสับปะรดในช่วงฤดูร้อนได้ (ธีรพัฒน์, 2555)

การศึกษาในครั้งนี้จึงทำการทดลอง โดยนำดินขาวเคโอลินจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย มาเคลือบทรงพุ่มขององุ่นเพื่อสะท้อนความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนใบองุ่นให้ลดลง ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงขององุ่นดีขึ้น และสามารถเพิ่มผลผลิตให้เกษตรกรได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบการใช้ดินขาวเคโอลินจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย เป็นวัสดุเคลือบใบขององุ่น ตั้งแต่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ ในช่วงฤดูแล้ง ที่มีอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงมาก

2. เพื่อศึกษาผลของดินขาวเคโอลินต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนแก๊ส, ประสิทธิภาพการใช้แสงของใบ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบและกิ่ง ขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

3. เพื่อศึกษาผลของดินขาวเคโอลินต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิต ขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ที่ปลูกช่วงฤดูแล้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปขององุ่น

องุ่นเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Vitaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบ asia minor และแถบทะเล Caspian ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยในสกุล *Vitis* แต่ละชนิดนั้น มีทั้งที่สามารถรับประทานได้และใช้เป็นต้นตอ เช่น *V. labrusca*, *V. aestivalis* และ *V. rotundifolia* สำหรับองุ่นที่ปลูกเป็นการค้า คือ *V. vinifera* (ปวิณ, 2504) โดยองุ่นชนิดนี้สามารถขึ้นได้ดีทั้งในเขตร้อน อบอุ่น และหนาว พื้นที่ปลูกองุ่นในประเทศไทยที่เหมาะสมควรมีอุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝน 1,300-1,450 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์ 60-90 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์องุ่นที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยส่วนมากเป็นพันธุ์ที่รับประทานผลสดและมีเมล็ด เช่น พันธุ์ไวท์มะละกา และพันธุ์คาร์ดินัล ส่วนองุ่นที่ไม่มีเมล็ด พบว่า มีองุ่นอยู่หลายพันธุ์มีแนวโน้ม ที่จะให้ผลผลิตดีและปลูกเป็นการค้าได้ เช่น พันธุ์ Beauty seedless และ Perlette seedless เป็นต้น (ดาวยศ, 2547)

ในอดีต ประเทศไทยจะปลูกองุ่นเพื่อประโยชน์ในการรับประทานสดเพียงอย่างเดียว แต่ในปัจจุบันก็มีการปลูกองุ่นสายพันธุ์อื่นๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น โดยการใช้ประโยชน์จากองุ่นนั้น สามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. องุ่นรับประทานสด (table grape) ที่รู้จักและนิยมปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ไวท์มะละกา พันธุ์คาร์ดินัล ซึ่งปลูกได้ผลดี คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีไม่แพ้องุ่นจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังมีพันธุ์อื่นๆ ที่เคยนำมาปลูกและมีแนวโน้มว่าจะใช้รับประทานสดได้ดี เช่น พันธุ์ Perlette, Cardinal เป็นต้น องุ่นที่ใช้รับประทานสดควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1.1 ผลมีรูปร่างสวยงามชวนซื้อ เช่น ผลทรงยาว ทรงกลม ขนาดใหญ่ พวกที่มีขนาดเล็กเกินไปจะไม่สะดุดตา ไม่ชวนซื้อ รวมทั้งประเภทที่ทรงผลไม่สวย บิดเบี้ยว

1.2 ช่อผลมีรูปร่างสวยงาม ผลยาว และมีจำนวนมาก เช่น ช่อผลทรงกระบอก และมีไหล่ช่อ เป็นต้น นอกจากช่อผลควรจะใหญ่แล้ว ต้องมีลักษณะช่อผลโปร่งๆ คือ ผลไม่แน่นเกินไปหรือผลเบียดเสียดกันมาก แต่ก็ไม่หลวมหรือผลอยู่ห่างกันเกินไป

1.3 รสดี สีสวย หวาน กรอบ ไม่ฝาดไม่เปรี้ยว เปลือกผลบาง ซึ่งเป็นลักษณะของอุ่นชนิด *V. vinifera* ส่วนองุ่นที่มีเปลือกเหนียว ไม่เหมาะที่จะเป็นองุ่นรับประทานสด นอกจากนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยังมีลักษณะพิเศษอื่นๆ เช่น เมล็ดน้อย เมล็ดลีบ หรือไม่มีเมล็ด มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ส่วนสีนั้น พวกที่มีสีสวยงาม สดใส จะสะดุดตาชวนซื้อมากกว่า

1.4 เก็บไว้ได้นาน ขนส่งได้ดี ไม่ร่วง ไม่เน่าเสียง่าย โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องส่งไปไกลๆ หรือส่งไปขายยังต่างประเทศ พันธุ์ที่เก็บไว้ได้นาน ทนทานต่อการขนส่งจะได้เปรียบมากกว่า (สุทธ์สินี, 2543)

2. องุ่นตากแห้ง (raisin) หรือ ลูกเกด คือ ผลองุ่นที่แก่แล้ว นำมาตากให้น้ำระเหยออกไป กลายเป็นองุ่นแห้งหรืออาจใช้วิธีทำให้แห้งโดยกระบวนการอย่างอื่น เมื่อแห้งแล้วจึงบรรจุลงภาชนะจำหน่ายได้ คุณสมบัติของพันธุ์องุ่นที่ใช้ทำเป็นลูกเกดควรไม่มีเมล็ด และขนาดผลต้องพอเหมาะ ตากให้แห้งได้เร็ว ผลแห้งแล้วมีลักษณะอ่อนนุ่ม ไม่แข็งกระด้าง หลังจากตากแห้งแล้วมีรสและกลิ่นดี ไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่นที่ไม่ชวนรับประทาน รสชาติต้องไม่จืดชืด ที่สำคัญเมื่อตากแห้งแล้วต้องไม่เหนียว (สุทธ์สินี, 2543)

3. องุ่นคั้นน้ำ (fresh or sweet juice grape) องุ่นคั้นน้ำมี 2 ลักษณะ คือ คั้นแล้วดื่มเลย และแบบคั้นน้ำแล้วบรรจุภาชนะไว้นานๆ เช่น บรรจุกระป๋องปิดผนึก ซึ่งปกติแล้วมักจะไม่แต่งรส หรือแต่งเพียงเล็กน้อย ตามความนิยมของผู้บริโภค องุ่นคั้นน้ำจึงควรเป็นพันธุ์ที่มีรสดี กลิ่นหอม และเมื่อคั้นแล้วไม่เสียรส เสียกลิ่นไป (สุทธ์สินี, 2543)

4. ผลองุ่นในน้ำเชื่อม หรือ ผลองุ่นบรรจุกระป๋อง (canning grape) หมายถึงองุ่นที่เป็นผลๆ บรรจุอยู่ในน้ำเชื่อม เช่นเดียวกับผลไม้กระป๋องอย่างอื่น ลักษณะของพันธุ์องุ่นที่ใช้ผลบรรจุกระป๋อง คือ ไม่มีเมล็ด เพราะสะดวกในการรับประทานมากกว่ามีเมล็ด ผลร่วงจากขั้วง่าย หรือปลิดผลง่ายใช้เวลาน้อย เป็นพันธุ์ที่มีสีเขียวอ่อนหรือสีขาว (สุทธ์สินี, 2543)

5. องุ่นทำเหล้า (wine grape) ในหลายๆ ประเทศส่วนใหญ่ปลูกองุ่นเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านทำเป็นเหล้าองุ่นหรือไวน์ ลักษณะพันธุ์ที่ใช้ทำเหล้าได้ดี คือให้ผลผลิตดกมาก ปลูกง่าย ดูแลง่าย เป็นพันธุ์ที่หมักแล้วได้รสอร่อย สีสวย เป็นที่นิยม ของผู้บริโภค (สุทธ์สินี, 2543)

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ขององุ่น

2.1 ราก (root) องุ่นเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ จึงมีระบบรากแก้วค้ำจุน แต่โดยทั่วไปองุ่นขยายพันธุ์ด้วยการปักชำจึงไม่มีรากแก้ว มีรากพิเศษ (adventitious root) ที่พัฒนาแตกแขนงออกด้านข้างและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ไม่หยั่งลงดินลึก รากทำหน้าที่ดูดซับน้ำและธาตุอาหารจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดิน ส่วนใหญ่รากขององุ่นลึกประมาณ 1-1.5 เมตร และสามารถหยั่งลึกได้ถึง 1.8-3.0 เมตร หรือมากกว่านั้น องุ่นที่ปลูกด้วยเมล็ดจะมีรากแก้ว (tap root) หยั่งลงสู่ดิน และมีรากแขนง (lateral root) แตกแขนงออกด้านข้าง องุ่นที่ปลูกด้วยเมล็ดนี้มักใช้ประโยชน์ในการเป็นต้นตอเพื่อปรับปรุงพันธุ์ขององุ่น (Weaver, 1976)

2.2 ลำต้นและแขน (trunk and arm) องุ่นเป็นไม้เถาเลื้อย มีลำต้นที่ทำหน้าที่ค้ำจุนหรือพยุงทรงพุ่มและส่วนอื่นที่อยู่เหนือดิน ลำต้นทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจากรากไปเลี้ยงส่วนต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างส่วนเหนือดินและรากขององุ่นที่อยู่ใต้ดินด้วย ลำต้นองุ่นมักมีสีเทาเข้ม หรือน้ำตาล บริเวณผิวลำต้นบางครั้งพบรอยแตก (lenticels) อย่างเห็นได้ชัด หรือพบ bark ที่แตกออกเป็นชิ้นๆ กิ่งเป็นส่วนที่แตกแขนงออกจากลำต้น โดยกิ่งที่แตกแขนงออกจากลำต้นซึ่งมีอายุมากกว่า 1 ปี จะเรียกว่า แขน (arm) ซึ่งให้กำเนิดกิ่งสั้น (spur) และกิ่งหลัก (cane) ต่อไป โดยในการปลูกองุ่นกิ่งสั้นและกิ่งหลัก จะถูกตัดแต่งเพื่อให้ควบคุมการให้ผลผลิตขององุ่นในฤดูถัดไป (Weaver, 1976)

2.3 ยอด หรือกิ่งอ่อน (shoot) เป็นส่วนที่มีใบแตกออกมาจากตาขององุ่น เป็นส่วนที่ทำให้เกิดดอกและผล ส่น lateral shoot เป็นกิ่งแขนงที่เจริญออกมาจากกิ่งอ่อน เมื่อกิ่งอ่อนเจริญเต็มที่จะเรียกว่า กิ่งหลัก (cane) (Weaver, 1976)

2.4 มือ (tendril) เป็นโครงสร้างพิเศษที่แตกออกทางด้านข้างเป็น 2 ทางออกจากกิ่ง โดยจะเกิดด้านตรงข้ามกับใบ มือมีลักษณะม้วน บิดเป็นเกลียว สีเขียว และเมื่อเจริญเต็มที่อาจมีสีน้ำตาล ทำหน้าที่พันเกาะให้ต้นองุ่นติดกับลวดหรือสิ่งที่ค้ำยันต้นองุ่น (Weaver, 1976)

2.5 ตา (bud) คือส่วนที่แตกออกมาเป็นกิ่ง ใบ ดอก และผลต่อไป อยู่บริเวณโคนเหนือก้านใบตามข้อของกิ่ง ตาขององุ่นมีรูปร่างคล้ายไข่กลับหัว (obovoid) ขนาด 2-3 มิลลิมตร ปลายมน ตาขององุ่นเป็นตารวม ประกอบด้วยตา 3 ตา คือ ตาเอก (primary bud) อยู่ตรงกลางมีขนาดใหญ่และมีการพัฒนาเจริญเติบโตเป็นกิ่งอ่อน ส่วนตาอีก 2 ตาที่อยู่ข้างๆ เรียกว่าตารองหรือตาข้าง (secondary bud และ tertiary bud) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งจะมีการพักตัว เมื่อตาเอกถูกทำลาย ตารองจะมีการพัฒนาเจริญเติบโตมาแทนที่ตาที่ถูกทำลาย (Weaver, 1976)

2.6 ใบ (leaf) เป็นใบเดี่ยว ประกอบด้วย 3 ส่วน โดยส่วนแรกคือ แผ่นใบ (blade) เป็นรูปไข่ (oval) มีแฉก (lobe) ลึกเข้าไป 5 แฉก รอยเว้าที่ลึกระหว่างแฉกเรียกว่า sinus ส่วนที่สองคือ ก้านใบ (petiole) มีความยาว 4-9 เซนติเมตร ลักษณะเกือบเกลี้ยง มีขนเล็กน้อย ส่วนที่สามคือ หูใบ (stipules) ซึ่งบางครั้งอาจจะไม่พบเพราะหูใบหลุดร่วงไปได้ง่าย ใบองุ่นจะหนาขึ้นตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อายุของใบ ด้านบนของแผ่นใบพบปากใบเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่พบปากใบด้านใต้ใบจำนวนมากกว่า (Weaver, 1976)

2.7 ช่อดอก (inflorescence) ดอกองุ่นออกเป็นช่อดอกแบบ panicle มีทั้งแบบห่างกันหรืออัดแน่น เกิดขึ้นด้านตรงข้ามกับใบในตำแหน่งเดียวกับมือ (tendril) ช่อดอกสามารถยาวได้ถึง 10-20 เซนติเมตร ก้านช่อดอก (peduncle) ยาว 2-4 cm ที่มีลักษณะเกลี้ยง หรือบางครั้งอาจพบขนยาวนุ่มคล้ายใยแมงมุม (arachnoid) ก้านดอกย่อย (pedicel) ยาว 1.5-2.5 มิลลิเมตร เกลี้ยง ไม่มีขน ดอกมีทั้งดอกสมบูรณ์เพศ (hermaphrodite) ที่พบในองุ่นชนิด *V. vinifera* และดอกตัวเมีย (female หรือ pistillate flower) พบมากในองุ่นสายพันธุ์ยุโรปและสายพันธุ์อเมริกา โดยจะมีเกสรตัวเมียที่สมบูรณ์แต่มีเกสรตัวผู้สั้นเป็นหมัน กลีบเกลี้ยง (calyx) หยักเป็นคลื่นๆ กลีบดอก (corolla) มีสีเขียวอยู่รวมกันเป็นอันเดียวที่ด้านบนสุดของดอก เรียกว่า cap หรือ calypta มีลักษณะคล้ายหมวกคลุมอยู่และจะหลุดออกเมื่อดอกบาน ก้านชูเกสรเพศผู้ (filament) สีขาวลักษณะคล้ายๆ เส้นด้าย ยาว 0.6-1 มิลลิเมตร อับละอองเรณู (anthers) มีสีเหลือง รูปร่างกลม (oval) ขนาด 0.4-0.8 มิลลิเมตร เกสรเพศเมีย(pistil) จะไม่สมบูรณ์เกือบทั้งหมดในดอกเพศผู้ รังไข่ (ovary) กลม ก้านชูเกสรเพศเมีย (style) สั้น ยอดเกสรเพศเมีย (stigma) แผ่กว้าง (Weaver, 1976)

2.8 ผล (berry) เมื่อดอกได้รับการผสมพันธุ์แล้ว รังไข่เริ่มขยายตัวและมีขนาดใหญ่ขึ้น เห็นเป็นตุ่มสีเขียว ส่วนดอกที่ไม่ได้ผสมพันธุ์ก็จะหลุดร่วงไป ช่อผลมีหลายลักษณะของการแตกแขนง เช่น ทรงกระบอก (cylindrical) รูปกรวย (conical) รูปร่างคล้ายพีระมิด (pyramidal) และรูปร่างกลม (globular) ผลองุ่นประกอบด้วย เปลือก (skin) เนื้อ (pulp) และเมล็ด (seed) องุ่นชนิดต่างกันมักมีขนาดผลที่แตกต่างกันซึ่งมีประโยชน์ในการจำแนกสายพันธุ์ (Weaver, 1976)

3. องุ่นพันธุ์ Perlette

องุ่นพันธุ์ Perlette นั้นมีการพัฒนาสายพันธุ์เริ่มที่มหาวิทยาลัยแคลิฟลอเนียร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นแห่งแรก โดย ดร. Harold Olmo เริ่มจากการผสมระหว่าง องุ่นพันธุ์ Scolokertek Hiralynoje 26 กับพันธุ์ Sultania Marble ในปี ค.ศ. 1936 ซึ่งต่อมาให้ผลผลิตได้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1940 ชื่อสายพันธุ์ Perlette นี้ เป็นชื่อที่มาจากภาษาฝรั่งเศส โดยมีความหมายว่า ไข่มุกเม็ดเล็กๆ ซึ่งใช้ลักษณะภายนอกของผลที่มีผลกลม เล็ก ผิวเรียบนี้มาใช้ในการตั้งชื่อ ลักษณะทั่วไปขององุ่นสายพันธุ์นี้ bark จะยึดติดอยู่กับต้นในระยะสั้นๆ เท่านั้น มีลักษณะแคบและค่อนข้างเปราะ ลำต้นจะมีสีน้ำตาลอ่อนๆ ผอม ขนาดไม่ใหญ่มากนัก มีปล้องเกิดขึ้นสั้นๆ ปลายยอด มีสีเขียว ค่อนข้างเรียบไม่มีขน มือเกาะ (tendril) มีสีเขียว แต่ก็อาจปรากฏ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สีออกม่วงๆ บริเวณฐานของมือเกาะได้ มือเกาะมีลักษณะค่อนข้างสั้น ผอม เส้นเล็กๆ แต่จะค่อนข้างหลากหลายมีลักษณะที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอกัน ใบ (leaf) ใบที่ยังไม่แผ่เต็มที่จะมีสีเหลืองอมเขียว เรียบทั้งสองด้านของใบ เมื่อใบโตเต็มที่แล้วแผ่ออกกว้างประมาณ 7-15 เซนติเมตร ยาวประมาณ 6-16 เซนติเมตร มี 5 lobe มีขนาดกลางๆ ไม่ใหญ่มากนัก หนา เหนียว และเกลี้ยงไม่มีขนทั้งด้านบนและด้านล่าง บริเวณแผ่นใบที่เว้าเข้าไป (sinus) ของ lobe ที่อยู่ด้านข้างใกล้กับฐานใบ จะตื้น เป็นรูปคล้ายตัววี ถัดขึ้นไปอีก 1 lobe จะมีลักษณะเว้าเข้าไปเช่นเดียวกัน ส่วนบริเวณฐานใบที่ติดกับก้านใบการเว้าของใบจะกว้างและมีรูปร่างคล้ายตัวยู ขอบใบ (leaf margin) มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย 22-27 ซี่ในแต่ละข้าง มีหยักใหญ่ หยักเล็ก ไม่สม่ำเสมอ มีหยัก 3 ชั้น ชั้นแรกค่อนข้างหยักแคบๆ ถัดมาในชั้นที่สองและสามจะกว้าง แผ่นใบเกลี้ยงหรือมีขนยาวห่างเบาบาง ปลายของเส้นกลางใบแหลม ฐานใบเป็นรูปหัวใจลึกเข้าไป บริเวณขั้วใบที่ติดกับก้านใบมีรูปร่างกลม เวลาพับใบสองข้างเข้าหากันจะค่อนข้างทับใกล้กัน อาจซ้อนเหลื่อมกันเล็กน้อย เส้นใบแบบร่างแหแยกออกจากที่ฐานใบเป็นแบบ palmately netted venation 5 แฉก แตกออกเป็นเส้นใบแขนง 4-5 คู่ เส้นใบย่อยนูนขึ้นแต่ไม่ชัดเจน ก้านใบ สั้น สีเขียวปนชมพู ช่อดอกขององุ่นจะเกิดขึ้นในข้อที่ 3 ถึง 4 ของบริเวณที่แตกกิ่งออกมาจากกิ่งหลัก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ เกสรเพศผู้ตั้งตรง และอับละอองเรณู อยู่เหนือกว่ายอดเกสรเพศเมีย ก้านช่อดอกสีเขียว ยาว หนา และเรียบไม่มีขน rachis ยาวปานกลาง ขนาดเล็ก ผอม ก้านช่อดอกหลักจะมีจำนวนมากและยาว ส่วนก้านช่อดอกย่อยจะมีน้อยกว่า ก้านช่อดอกย่อยเกิดขึ้นจากบริเวณ rachis หรือ ก้านช่อดอกหลัก มีความยาวปานกลาง ผอม เรียบ และไม่มีขน ฐานรองดอก ขนาดเล็กและหยาบ ผล มีสีเขียวอมเหลือง ผิวมัน รูปร่างเป็นทรงกลมออกรีๆ เล็กน้อย มีขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5-2 เซนติเมตร ยึดกันแน่นอยู่ในช่อ เปลือกของผล บาง และโปร่งแสง ตัวเนื้อผล กรอบ ฉ่ำน้ำ มีกลิ่นหอม มองเห็นเส้น vein ในผล น้ำคั้นผลมีสีเขียว เมล็ดมีสีน้ำตาล มีอยู่ไม่กี่เมล็ดในผล หรืออาจไม่มีเมล็ดก็ได้ ถ้าหากเป็นสายพันธุ์ไร้เมล็ด (Chadha and Shikihamany, 1999; Shanmugavelu, 2003)

4. อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สในใบ (leaf gas exchange)

การวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในแผ่นใบ ทั้งอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและอัตราการคายน้ำสามารถวัดโดยใช้เครื่องมือวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในระบบเปิด (บริษัท LICOR รุ่น LI6400XT ประเทศสหรัฐอเมริกา) สามารถควบคุมปัจจัยจากสภาพอากาศบริเวณใบขณะทำการวัดได้ โดยทำการวัดภายในกล่องบรรจุใบ (leaf chamber) ในกล่องบรรจุใบสามารถควบคุมความเข้มแสงโดยมีแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถปรับความเข้มแสง มีอุปกรณ์ที่ควบคุมปริมาณการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกล่องบรรจุใบ และสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านใบได้ (LICOR, 2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis rate) หรืออัตราการสร้างสารประกอบคาร์บอน (carbon assimilation rate) จากวัตถุดิบ ประกอบด้วย น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชได้รับและนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าสู่ใบผ่านทางปากใบ และขึ้นอยู่กับอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงประกอบด้วย 2 กระบวนการหลักที่เกิดขึ้นภายในคลอโรพลาสต์ คือ กระบวนการสร้างพลังงานโดยระบบรับแสง (photochemical reaction) และกระบวนการทางชีวเคมี (biochemical reaction) ที่ใช้พลังงานที่ได้จากการสร้างพลังงานโดยระบบรับแสงร่วมกับเอนไซม์ในการเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบคาร์บอน (สุนทรี, 2546) สำหรับค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่วัดได้ เกิดจาก ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงรวม (gross photosynthesis rate) หักออกด้วยค่าอัตราการหายใจในความมืด (dark respiration) ซึ่งการหายใจในความมืดเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดควบคู่กับกระบวนการสังเคราะห์แสง มีการนำสารประกอบคาร์บอนที่พืชสังเคราะห์ได้ไปใช้ในกระบวนการหายใจ ดังนั้นสารประกอบคาร์บอนที่พืชสังเคราะห์ได้ส่วนหนึ่งจึงสูญเสียไปกับกระบวนการหายใจ (สุนทรี และคณะ, 2544) อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) จึงเป็นผลต่างระหว่างอัตราสังเคราะห์ด้วยแสงรวม (P_g) กับอัตราหายใจในความมืด (R_d) ดังสมการที่ 1

$$A = P_g - R_d \qquad (1)$$

นอกจากนี้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเป็นผลคูณของค่านำไหลรวมกับแรงขับเคลื่อน โดยค่านำไหลรวม (g_t^{CO2}) คือ ค่าที่สะท้อนการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบ เกิดจากผลรวมของการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านชั้นบางติดผิวใบ (boundary conductance, g_b) กับการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านปากใบ (stomatal conductance, g_s) ดังสมการที่ 2

$$g_t^{CO2} = \frac{1}{g_b} + \frac{1}{g_s} \qquad (2)$$

ส่วนแรงขับเคลื่อนคือความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (C_a) กับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบ (C_i) ดังสมการที่ 3

$$A = g_t^{CO2} (C_a - C_i) \qquad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อ

A = อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis rate, $\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$)

g_t^{CO2} = ค่านำไหลรวมของคาร์บอนไดออกไซด์ (total conductance to CO_2)

C_a = ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (air CO_2 concentration, $\mu molCO_2\ mol^{-1}$)

C_i = ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบ(intercellular CO_2 concentration, $\mu molCO_2\ mol^{-1}$)

ในช่วงที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ค่อยๆ ลดต่ำลงจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในคลอโรพลาสต์ของเซลล์นั้น จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง สามารถคำนวณค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิได้จาก ผลคูณของค่านำไหลกับแรงขับเคลื่อน ในกรณีนี้ค่านำไหล คือค่าที่สะท้อนอัตราเร็วในการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบผ่านผนังเซลล์ของมีโซฟิลล์ จนถึงสโตรมาในคลอโรพลาสต์ เรียกว่า ค่านำไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านมีโซฟิลล์ (g_m) อีกชื่อหนึ่งเรียกว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carboxylation efficiency) โดยเอนไซม์ RubisCO ส่วนแรงขับเคลื่อนในกรณีนี้ คือความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบ (C_i) กับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในคลอโรพลาสต์ (Γ) โดยความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในคลอโรพลาสต์จะมีค่าเท่ากับจุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 compensation point) ซึ่งจุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ คือความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบ (C_i) ต่ำสุดที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงรวมเท่ากับอัตราหายใจหรือทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเป็นศูนย์ สามารถเขียนเป็นสมการค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ดังสมการที่ 4

$$A = g_m (C_i - \Gamma) \qquad (4)$$

เมื่อ

g_m = ค่านำไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านมีโซฟิลล์ (mesophyll conductance, $molCO_2 m^{-2} s^{-1}$)

Γ = จุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 compensation point,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$\mu molCO_2 mol^{-1}$) หรือ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในคลอโรพลาสต์

4.2 อัตราการคายน้ำ (transpiration rate) คือผลคูณของค่านำไหลรวมของไอน้ำกับแรงขับเคลื่อนของกระบวนการคายน้ำ ซึ่งค่านำไหลรวมของไอน้ำ (g_t^w) คือ ค่าที่สะท้อนการแพร่ของไอน้ำจากช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบไปสู่อากาศ เกิดจากผลรวมของการแพร่ของไอน้ำผ่านปากใบ (stomatal conductance, g_s) กับการแพร่ของไอน้ำผ่านชั้นบางติดผิวใบ (boundary conductance, g_b) เช่นเดียวกับสมการที่ 2 ในขณะที่แรงขับเคลื่อนของกระบวนการคายน้ำ คือ ความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในใบ (e_l) กับความดันไอน้ำในอากาศ (e_a) เรียกว่า แรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf\text{-}air}$) อัตราการคายน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 และ 6 (สุนทรี และคณะ, 2544)

$$E = g_w^t(e_l - e_a) \quad (5)$$

$$E = g_w^t(VPD_{leaf\text{-}air}) \quad (6)$$

เมื่อ

E = อัตราคายน้ำ (transpiration rate, $mmolH_2O\ m^{-2}s^{-1}$)

g_w^t = ค่านำไหลรวมของไอน้ำจากภายในใบสู่อากาศ (total conductance to water vapor, $mmolH_2O\ m^{-2}s^{-1}$)

e_l = ความดันไอน้ำภายในใบ (leaf vapor pressure, kPa)

e_a = ความดันไอน้ำในอากาศ (air vapor pressure, kPa)

$VPD_{leaf\text{-}air}$ = แรงดึงคายน้ำของใบ (leaf to air vapor pressure deficit, kPa)

5. ประสิทธิภาพการใช้แสง (quantum yield efficiency)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ ดูดกลืนแสงได้ทั้งแสงสีแดง (640-700 nm) และแสงสีน้ำเงิน (400-450 nm) แสงสีแดงจะมีพลังงานกระตุ้นอิเล็กตรอนในคลอโรฟิลล์ให้อยู่ในสภาวะเร้าขั้นที่หนึ่ง (first excited state) และแสงสีน้ำเงินจะมีพลังงานกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ขึ้นไปในสภาวะเร้าขั้นที่สอง (second excited state) เนื่องจากแสงสีน้ำเงินมีพลังงานมากกว่าแสงสีแดง (Taiz and Zeiger, 2002)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากสภาวะกระตุ้นกลับสู่สภาวะพื้นในคลอโรฟิลล์ (de-excitation) มีการปล่อยพลังงานออกมาได้ 3 แบบ (Rosenqvist and Kooten, 2003) ได้แก่

1. พลังงานที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic energy, *P*) คือ พลังงานที่กระตุ้นให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากการแตกตัวของน้ำจากจุดศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction centers) ในระบบแสงสอง (Photosystem II; PSII)

2. พลังงานความร้อน (thermal dissipation as heat, *H*) คือ การคายพลังงานในรูป ความร้อนที่เป็นพลังงานส่วนเกิน หรือไม่มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสง

3. พลังงานในรูปคลื่นแสง หรือ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ (chlorophyll fluorescence, *F*) คือ แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 680-720 nm เป็นช่วงคลื่นที่ยาวและมีพลังงานต่ำกว่าช่วงคลื่นที่คลอโรฟิลล์ดูดกลืน รังสีที่ฟลูออเรสเซนส์ที่ใบพืชปลดปล่อยออกมาจะไม่เกินร้อยละ 3 ของแสงทั้งหมดที่ส่องผ่านใบและเกิดที่ศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสงสอง (reaction centers of PSII; RCII) เกือบทั้งหมด

การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนสู่สภาวะพื้นในรูปของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและพลังงานความร้อนจะเกิดขึ้นร่วมกันกับการเกิดฟลูออเรสเซนส์หากคิดเป็นสัดส่วนของพลังงานที่ถ่ายเทจากการได้รับแสงของใบพืชจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 7

$$P + H + F = 1 \qquad (7)$$

ใบพืชที่อยู่ในสภาพมืดและไม่มีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน ตัวรับอิเล็กตรอน (quinone acceptor) ที่ต่อกับ RCII จะอยู่ในสถานะเปิด เมื่อให้ความเข้มแสงต่ำที่มีพลังงานสูงไม่มากพอจะทำให้เกิดการแยกอิเล็กตรอน (modulated measuring light) ในระบบแสงสอง จะถ่ายเทพลังงานส่วนนี้ในรูปรังสีฟลูออเรสเซนส์ ค่าที่วัดได้เรียกว่า ค่าฟลูออเรสเซนส์ต่ำสุด (F_0) และเมื่อให้ความเข้มแสงสูงมาก (saturation pulse มากกว่า 4000 μmol PPFm^{-2} s^{-1}) 0.5-1 วินาที ทำให้มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนเข้าสู่ระบบขนย้ายอิเล็กตรอน ทำให้ quinone acceptor อยู่ในสภาพรีดิวซ์เต็มที่ (fully reduced state) (Rosenqvist and Kooten, 2003) ถ้าใบยังได้รับแสงพลังงานแสงต่อไปจะเกิดพลังงานส่วนเกินที่ไม่สามารถใช้แยกอิเล็กตรอนได้ ใบพืชจึงถ่ายเทพลังงานในรูปรังสีฟลูออเรสเซนส์สูงสุด (F_m) ออกมา ผลต่างระหว่าง F_mกับ F_0 จะแสดงถึงประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดที่พืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (maximum quantum efficiency of PSII, Fv/Fm) คำนวณดังสมการที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Fv/Fm = F_m - F_0 / F_m \quad (8)$$

เมื่อ

Fv/Fm = ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดในกระบวนการสังเคราะห์แสง (maximum quantum efficiency of PSII) เป็นสัดส่วนของปริมาณโฟตอนที่นำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเทียบกับปริมาณโฟตอนแสงทั้งหมดที่พืชดูดไว้

F_o = ค่าฟลูออเรสเซนส์ต่ำสุดที่เกิดขึ้นขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงต่ำ (minimum fluorescence)

F_m = ค่าฟลูออเรสเซนส์สูงสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (maximum fluorescence)

โดยปกติพืชที่ไม่ได้รับสภาพเครียด จะมีค่า Fv/Fm สูงสุดอยู่ในช่วง 0.80 - 0.83 ถ้ามีค่าต่ำกว่านี้แสดงว่าเกิดความเสียหายเกิดขึ้นกับระบบแสงสอง (สุนทรี และคณะ, 2544)

กรณีที่ใบพืชอยู่ในสภาพได้รับแสง สามารถวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของ PSII ในสภาพมีแสง (yield) โดยการวัดค่ารังสีฟลูออเรสเซนส์ขณะที่ใบได้รับแสง ซึ่งเรียกค่า F_s และเมื่อให้ความเข้มแสงสูงมาก (saturation pulse เช่นเดียวกับการวัด Fv/Fm) ใบพืชจะถ่ายเทพลังงานในรูปรังสีฟลูออเรสเซนส์สูงสุดเรียกว่าค่า F_m โดยค่า F_mกับ F_s จะทำให้ได้ค่า yield ซึ่งเป็นค่าที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่าน PSII เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง คำนวณได้ดังสมการที่ 9

$$yield = F_m - F_s / F_m' \quad (9)$$

เมื่อ

yield = ประสิทธิภาพการใช้แสงของ PSII ในสภาพมีแสง (light quantum yield of PSII, $\mu molE \cdot \mu molPPF^{-1}$)

F_s = ค่าฟลูออเรสเซนส์ที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (steady-state fluorescence)

F_m' = ค่าฟลูออเรสเซนส์สูงสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (maximum fluorescence in luminated leaves)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การที่ใบได้รับแสงอยู่ก่อนแล้วจะทำให้ quinone acceptor ส่วนหนึ่งอยู่ในสภาพรีดิวซ์คือเปิดรับอิเล็กตรอนไปแล้ว และส่วนหนึ่งอยู่ในสภาพออกซิไดซ์ คือยังสามารถเปิดรับอิเล็กตรอนได้จึงทำให้ค่า yield มีค่าต่ำกว่า Fv/Fm

ค่า yield ใช้คำนวณอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสอง (electron transport rate; *ETR,* μmolE $m^{-2} s^{-1}$) ได้ดังสมการที่ 10

$$ETR = \text{yield} \times PPF \times 0.5 \times \alpha_{leaf} \quad (10)$$

เมื่อ

PPF = ความเข้มแสง, μmolE $m^{-2} s^{-1}$

α_{leaf} = สัดส่วนของแสงที่ตกกระทบ และถูกดูดกลืนโดยใบ (fraction of incident light absorbed by leaf มีค่าเท่ากับ 0.84) (Guo *et al*., 2005)

การให้ความเข้มแสงสูงมากกับใบพืชจนทำให้ RC II ปิดหมดชั่วขณะและเกิดรังสีฟลูออเรสเซนส์สูงสุด เมื่อ RCII เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนไปแล้วและอยู่ในสภาพที่เปิดรับอิเล็กตรอนได้อีก จะทำให้รังสีฟลูออเรสเซนส์ลดระดับลง ซึ่งเป็นการลดระดับของรังสีฟลูออเรสเซนส์โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงจะเรียกว่า photochemical quenching (*qP*) ซึ่งบอกถึงสัดส่วนของ quinine pool ที่ยังเปิดรับอิเล็กตรอนได้หลังจากเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนต่อไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวอื่น ค่า *qP* คำนวณดังสมการที่ 11

$$qP = (F_m - F_s)/(F_m - F_o) \quad (11)$$

เมื่อ

F_o = ค่าฟลูออเรสเซนส์ต่ำสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (minimum fluorescence in luminated leaves)เมื่อ

F_m = ค่าฟลูออเรสเซนส์สูงสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (maximum fluorescence)

F_s = ค่าฟลูออเรสเซนส์ที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (steady-state fluorescence)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนการลดระดับของรังสีฟลูออเรสเซนส์โดยวิธีอื่นเรียกว่า non-photochemical quenching (qN) เป็นการวัดพลังงานที่ไม่สูญเสียออกมาในรูปของรังสีฟลูออเรสเซนส์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการกระจายพลังงานแสงส่วนเกินในรูปความร้อน (Maxwell and Johnson, 2000) คำนวณได้ ดังสมการที่ 12 (Genty *et al*, 1989)

$$qN = [(F_m – F_s)/(F_m - F_o)]-1 \quad (12)$$

เมื่อ

F_m = ค่าฟลูออเรสเซนส์สูงสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (maximum fluorescence)

F_s = ค่าฟลูออเรสเซนส์ที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (steady-state fluorescence)

F_o = ค่าฟลูออเรสเซนส์ต่ำสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (minimum fluorescence in luminated leaves)

6. ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมบางประการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง

6.1 แสง (light) แสงที่พืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงมีความยาวคลื่นประมาณ 400-700 nm ซึ่งเป็นแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) เรียกแสงส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงนี้ว่า photosynthetically active radiation (PAR) และเนื่องจากแสงช่วงความยาวคลื่นนี้ประกอบด้วยโฟตอนที่มีพลังงานต่าง ๆ กัน แต่อยู่ในระดับที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จึงเรียกแสงส่วนนี้ว่า photosynthetic photon flux (PPF)

โดยทั่วไปเมื่อปัจจัยต่าง ๆ คงที่ อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมสำหรับพืช เรียกว่า จุดอิ่มตัวของความเข้มแสง (light saturation point) ถ้าเพิ่มความเข้มแสงเลยจุดนี้ไปแล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงจะไม่เพิ่มขึ้นอีก (พัชรียา, 2543) เนื่องจากเมื่ออัตราการดูดซับแสงมากกว่าอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (electron transport rate) จะเกิดการสะสมของอิเล็กตรอนทำให้เกิด down-regulation เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่สูงเกินไป (over reduction) ของระบบแสงสอง (photosystem II, PSII) อย่างไรก็ตามหากเกิด down-regulation เป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ photoinhibition ซึ่งจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ปรากฏการณ์ photoinhibition เกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น ในภาวะที่ความเข้มแสงสูง อุณหภูมิสูง และการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขาดน้ำ นอกจากนี้การเกิด down-regulation ยังทำให้เกิดการสะสมของอิเล็กตรอนที่สูงเป็นระยะเวลานานซึ่งนำมาสู่การเกิด photodamage (Peng, 2000)

ความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเท่ากับศูนย์ หรืออัตราสังเคราะห์แสงเท่ากับอัตราการหายใจ เรียกความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า light compensation point (LCP) (Pn = 0) โดยพืชไม่สามารถเติบโตได้ในสภาพที่ได้รับความเข้มแสงต่ำกว่าจุดนี้ เพราะที่ระดับความเข้มแสงดังกล่าวพืชมีอัตราหายใจมากกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงหรือพืชมีการใช้อาหารมากกว่าการสร้างอาหาร (พัชรียา, 2543)

6.2 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 concentration) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มีผลโดยตรงต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ เนื่องจากใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation) ของกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีผลทางอ้อมโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องปากใบ (stomatal aperture) และการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 diffusion) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าเท่ากับอัตราการหายใจ เรียกว่า CO_2 compensation point (CCP) (Pn = 0) เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ค่า CCP จะเพิ่มขึ้นด้วย พืชแต่ละชนิดจะมีค่า CCP แตกต่างกัน โดยทั่วไปพืช C_3 จะมีค่า CCP ประมาณ 20-100 ppm ในขณะที่พืช C_4 จะมีค่า CCP ประมาณ 0-5 ppm (ศรีสม, 2552)

6.3 อุณหภูมิ (temperature) ภายใต้สภาพความเข้มแสงต่ำอิทธิพลของอุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงไม่มากนัก เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงแรกถูกกำหนดโดยปฏิกิริยาแสง (photochemical reaction) ซึ่งไม่ตอบสนองต่ออุณหภูมิมากนัก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการหายใจแสง (photorespiration) เพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงและยังเพิ่มสัดส่วนในการละลายน้ำของ O_2/CO_2 (Edward and Walker, 1983) อุณหภูมิสูงยังส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบ ถ้าอุณหภูมิสูงมากทำให้ปากใบปิด ความต้านทานของปากใบเพิ่มขึ้น การแลกเปลี่ยนแก๊สลดลง ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงในที่สุด และอุณหภูมิยังมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วย นอกจากนี้อุณหภูมิสูงยังส่งผลทางอ้อมทำให้ความชื้นลดลง (ศรีสม, 2552; Ishihara and Saito, 1987)

6.4 ความชื้น (humidity) จากรายงานของ Horie (1979) พบว่าการสังเคราะห์แสงสุทธิจะสูงสุดเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 60-80 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการสังเคราะห์แสง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุทธิจะลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความต้านทานของปากใบจะเพิ่มขึ้น การลดลงของความชื้นจะทำให้ปริมาณน้ำในใบ (leaf water content) ลดลง เนื่องจากจะทำให้เกิดการคายน้ำที่รุนแรงส่งผลให้การสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (Ishihara *et al*., 1971)

6.5 แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (air vapor pressure deficit) เป็นแรงขับเคลื่อนให้น้ำระเหยจากแหล่งน้ำต่างๆ เข้าสู่บรรยากาศ โดยค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศโดยตรง หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำและอุณหภูมิอากาศสูงจะส่งผลทำให้ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศมีค่ามาก หมายความว่าสภาพอากาศขณะนั้นมีแรงขับเคลื่อนทำให้น้ำระเหยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศได้ง่าย ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศเป็นดรรชนีบ่งบอกความแห้งของอากาศหากมีค่าที่สูงมากกว่า 2.5 kPa ขึ้นไป แสดงว่าสภาพอากาศมีความแห้งรุนแรง ส่งผลให้ปากใบปิดแคบลง เพื่อลดการสูญเสียน้ำ ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเช่นกัน (สุนทรี และคณะ, 2544)

7. ปัจจัยทางสรีรวิทยาบางประการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช

7.1 การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์

กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยหลักของกระบวนการมีอยู่ 3 กระบวนการก็คือ การสังเคราะห์แสง (photosynthesis) photorespiration และ dark respiration (Larcher, 1995) การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่พลังงานแสงเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ให้เป็นสารประกอบคาร์บอน พวกคาร์โบไฮเดรต โดยเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่มีรงควัตถุที่สามารถดูดซับพลังงานจากแสงได้ (ศรีสม, 2552) กระบวนการสังเคราะห์แสงนี้มีความสำคัญต่อระบบนิเวศเป็นอย่างมากส่งผลให้พืชเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศ และเป็นแหล่งสร้างอาหารและออกซิเจนที่สำคัญที่สุดของโลก (Bidwell, 1974) ในยุโรปจะเรียกกระบวนการสังเคราะห์แสงว่า assimilation หรือ carbon assimilation แต่ในอเมริกา นักสรีรวิทยาเลือกที่จะใช้คำว่า assimilation ในแง่ของการสร้างองค์ประกอบของเซลล์ และผนังเซลล์ใหม่จากอาหารที่ได้รับมากกว่า (Kramer and Kozlowski, 1960)

Photorespiration เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาพที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนมากจะยับยั้งการสังเคราะห์แสงของพืช C_3 แต่เดิมเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Warburg effect ในสภาพที่อากาศร้อนและแห้งแล้ง (โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 28 องศาเซลเซียส) พืชจะปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ดังนั้นการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ โดย Calvin cycle จะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์พืชลดลงเนื่องจากไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ามาในใบ ในขณะเดียวกันปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการ photochemical reaction เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจนถึง 50 ppm เอนไซม์ RubisCO จะไม่ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์แต่จะตรึงออกซิเจน ผลที่ได้จากกระบวนการนี้คือ phosphoglycolate หรือ phosphoglycolic acid หรือ P-glycolate (สารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม) 1 โมเลกุล และ 3-PGA 1 โมเลกุล เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นการออกซิไดซ์สารประกอบคาร์บอน (RuBP) ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม ดังนั้นจึงอาจเรียกกระบวนการนี้ว่า C_2 photorespiration carbon oxidation (PCO) cycle และเนื่องจากกระบวนการ photorespiration จะสัมพันธ์กับ glycolate pathway ดังนั้นจึงอาจจะเรียกว่า photorespiratory glycolate pathway ซึ่ง phosphoglycolate ที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่กระบวนการเมทาบอลิซึมหลายขั้นตอนจนสุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นกระบวนการ oxidation มีการใช้ออกซิเจน มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และเกิดขึ้นในขณะที่มีแสง จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า photorespiration แต่กระบวนการนี้แตกต่างจากกระบวนการหายใจ (respiration) ตรงที่ไม่มีการสร้าง ATP (ศรีสม, 2552)

7.2 ค่านำไหลปากใบ

ค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance) แสดงถึงการเปิดปิดของปากใบว่ามากน้อยเพียงใด โดยมีความสัมพันธ์กับการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ หรือแก๊สอื่นๆ ที่เคลื่อนที่ผ่านปากใบ เมื่อใบมีค่านำไหลปากใบมากทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าสู่ใบได้มาก (Peng, 2000) การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ จะเกิดขึ้นระหว่างการสังเคราะห์แสงและการหายใจ (Squire and Black, 1981) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกมีบทบาทต่อค่านำไหลปากใบเช่นเดียวกับอัตราการสังเคราะห์แสง (Hall *et al*., 1976) ค่านำไหลปากใบนี้จะมีค่าแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างใบที่อยู่ในและนอกทรงพุ่ม เพราะแสงมีผลต่อการเพิ่มค่านำไหลปากใบได้ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างด้านบนกับด้านล่างของใบ ค่านำไหลปากใบก็แตกต่างกันเนื่องจากมีความหนาแน่นของปากใบไม่เท่ากัน นอกจากนี้ใบที่อยู่ใกล้ปลายยอดและใบที่อยู่ด้านล่าง ก็มีค่านำไหลปากใบที่แตกต่างกัน เพราะอายุของใบก็มีผลเช่นกัน ส่วนปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อค่านำไหลปากใบ เช่น ปริมาณแสงที่พืชได้รับ อุณหภูมิใบ ความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำภายในใบ ปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์กัน หากปริมาณแสงที่พืชได้รับมีค่ามาก แสดงถึงใบพืชจะได้รับพลังงานแสงมาก พืชจึงปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของความร้อนทำให้ใบพืชมีอุณหภูมิสูง พืชจึงต้องลดอุณหภูมิใบลง โดยการเปิดปากใบเพื่อคายน้ำ ให้การระเหยของน้ำพาพลังงานความร้อนออกจากใบพืช ทั้งนี้การเปิดปากใบเพื่อการคายน้ำนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำภายในใบพืช หากปริมาณน้ำภายในใบพืชมีเพียงพอ พืชสามารถคายน้ำเพื่อลด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุณหภูมิใบได้ ค่านำไหลปากใบจึงสูง แต่หากปริมาณน้ำไม่เพียงพอ พืชจำเป็นต้องรักษาน้ำไว้ภายในใบ การเปิดปากใบคายน้ำเพื่อลดอุณหภูมิใบจึงเกิดขึ้นได้น้อย ค่านำไหลปากใบจึงต่ำ นอกจากนี้ค่า VPD_{air} (air vapor pressure deficit) ก็ส่งผลต่อค่านำไหลปากใบเช่นกัน โดยค่า VPD_{air} เป็นค่าบอกถึงแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ เมื่อค่า VPD_{air} มีค่ามากสะท้อนถึงน้ำสามารถระเหยเป็นไอน้ำสู่บรรยากาศได้ง่าย เนื่องจากมีความแตกต่างของไอน้ำสูง ดังนั้นน้ำภายในใบจึงสามารถระเหยออกนอกใบสู่อากาศได้มาก พืชจึงสูญเสียน้ำมากจึงต้องมีกลไลลดการสูญเสียน้ำโดยการปิดปากใบ ส่งผลต่อค่านำไหลปากใบจึงลดลง นอกจากนี้ฤดูกาล ก็มีผลต่อค่านำไหลปากใบเช่นกัน เนื่องจากในฤดูกาลต่างๆ มีค่าอุณหภูมิอากาศ ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน แตกต่างกัน ซึ่งค่าอุณหภูมิอากาศ ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝนเหล่านี้ ล้วนมีผลต่อค่านำไหลปากใบทั้งสิ้น เช่นในฤดูแล้ง ความเข้มแสงสูง ปริมาณน้ำฝนน้อย ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิสูง พืชจำเป็นต้องลดการเปิดปากใบ เพื่อลดการสูญเสียน้ำ ทำให้ค่านำไหลปากใบมีค่าต่ำ ในขณะที่ในฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝนมาก ความชื้นสัมพัทธ์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูแล้ง พืชจึงมีน้ำใช้เพียงพอ และโอกาสสูญเสียน้ำน้อยกว่าฤดูแล้ง พืชจึงสามารถเปิดปากใบได้มาก จึงทำให้ค่านำไหลปากใบมีค่าสูง (Kozlowski *et al*., 1991)

7.3 การคายน้ำ (transpiration)

การคายน้ำสามารถบ่งบอกถึงปริมาณของน้ำที่พืชสูญเสียไปในรูปของไอน้ำ ส่วนใหญ่จะออกไปทางใบ ซึ่งปากใบเป็นตัวควบคุมหลักที่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำของพืช ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการคายน้ำของพืช เช่น อัตราส่วนระหว่างยอดต่อราก โดยยอดหมายถึงบริเวณที่พืชคายน้ำและสูญเสียน้ำ ส่วนรากหมายถึงบริเวณที่พืชดูดน้ำมาใช้ หากอัตราส่วนยอดต่อรากมีค่าน้อยแสดงว่า โอกาสที่รากดูดน้ำมาใช้มีมากกว่าน้ำที่พืชสูญเสียไป อัตราการคายน้ำของพืชจึงมีโอกาสสูงได้ เนื่องจากพืชมีน้ำใช้เพียงพอ ในขณะที่หากอัตราส่วนของยอดต่อรากมีค่ามาก แสดงว่าความสามารถของการที่รากดูดน้ำมาใช้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับโอกาสที่พืชสูญเสียน้ำไป อัตราการคายน้ำของพืชจึงมีโอกาสต่ำเนื่องจากต้องรักษาปริมาณน้ำเอาไว้ นอกจากนี้ขนาดของปากใบ การเปิดปิดของปากใบ และจำนวนของปากใบ มีผลต่ออัตราการคายน้ำของพืชเช่นกัน ถ้าพืชมีปากใบกว้าง มีการเปิดปากใบมาก มีจำนวนปากใบมากการคายน้ำสามารถเกิดขึ้นได้มาก (Kramer, 1969) ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ หากความเข้มแสงและอุณหภูมิอากาศสูงการคายน้ำจะลดลง เนื่องจากพืชลดการเปิดปากใบลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ความชื้นในบรรยากาศ ความชื้นในบรรยากาศสะท้อนถึงปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศในขณะนั้น หากความชื้นในบรรยากาศมีค่ามาก แสดงว่าความต้านทานที่ไอน้ำจากใบจะแพร่ไปสู่อากาศก็จะมีค่ามากเช่นกัน ทำให้เกิดการคายน้ำได้น้อยลง (พูนพิภพ, 2543) ลม เนื่องจากความเร็วลมสามารถกำหนดความหนาของชั้นอากาศนิ่งบริเวณปากใบได้ หาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเร็วลมมาก ชั้นอากาศนิ่งที่อยู่บริเวณปากใบจะน้อยลง ทำให้ความต้านทานในการแพร่ของไอน้ำจากใบสู่อากาศลดลง พืชคายจึงน้ำได้มากขึ้น (พูนพิภพ, 2543) ความสามารถในการระเหยของน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf-air}$)เป็นค่าที่สะท้อนถึงความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบกับความดันไอน้ำในอากาศ หากมีค่ามากสะท้อนถึงความความดันไอน้ำแตกต่างกันมาก ไอน้ำจะแพร่จากใบสู่อากาศได้ง่ายขึ้น ทำให้อัตราการคายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น (สุนทรี และคณะ, 2544) ปริมาณน้ำในดิน ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ เมื่อปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำมาใช้ได้มีค่าสูง พืชจึงสามารถสูญเสียน้ำในรูปของการคายน้ำได้มาก ทำให้อัตราการคายน้ำของพืชมีค่าเพิ่มขึ้น หากปริมาณน้ำในดินมีค่าน้อย พืชจำเป็นต้องรักษาปริมาณน้ำไว้ จึงต้องปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำลง อัตราการคายน้ำจึงลดลง (Kramer, 1983) วิธีหนึ่งที่ใช้วัดประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชคือการวัดปริมาณน้ำที่พืชระเหยออกไปเทียบกับการสังเคราะห์สารประกอบคาร์บอนหรืออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของพืช (Kramer and Boyer, 1995)

8. ปัจจัยบางประการที่ส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตองุ่น

สัดส่วนของปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรดที่สะสมอยู่ในองุ่น (TSS/TA) สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพขององุ่นได้ สัดส่วนของปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรดจะแปรผันตามสายพันธุ์ ขนาดของผล สภาพอากาศ โดยอุณหภูมิที่องุ่นได้รับระหว่างการพัฒนาของผลเป็นปัจจัยหลักนอกเหนือจากสายพันธุ์ที่มีผลต่อปริมาณกรดที่อยู่ในผลองุ่น จากการศึกษาของ Bergqvist *et al.* (2001) พบว่า แสงและอุณหภูมิมีผลต่อการพัฒนาของผลองุ่นพันธุ์ Cabernet พันธุ์ Sauvignon และพันธุ์ Grenache โดยผลที่เจริญเติบโตในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลทำให้มีปริมาณกรดในผลต่ำและมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลในผลเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสงเต็มที่ นอกจากนี้ ระยะปลูก การจัดการระหว่างปลูก เช่น ระบบการให้น้ำ ปุ๋ยหรือสารเคมีที่องุ่นได้รับ ก็มีบทบาทต่อสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลและกรดในผลองุ่นเช่นกัน ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้อาจส่งผลในแง่ของการเพิ่มปริมาณ TSS แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณกรด หรือเพิ่มปริมาณ TSS และขณะเดียวกันก็ลดปริมาณกรด หรือไม่ก็อาจจะลดปริมาณกรดเพียงอย่างเดียวไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาล ได้ทั้งสิ้น ซึ่งก็ล้วนแต่ส่งผลต่อสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลและกรดเช่นกัน (Chadha and Shikihamany, 1999) จากการศึกษาของ Intrieri (1987) พบว่าปริมาณน้ำตาล และ pH ของน้ำองุ่นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหากปลูกให้ระยะปลูกใกล้กันมากขึ้น จากการศึกษาของ นพพร (2546) พบว่า การให้ปุ๋ยผ่านทางระบบการให้น้ำในอัตราส่วนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน ส่งผลให้สัดส่วน TSS/TA ขององุ่นพันธุ์ Beauty seedless แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. การเคลื่อนย้ายและการสะสมน้ำตาลในองุ่น

ซูโครสที่ผลิตได้จากการสังเคราะห์แสงจะถูกส่งออกจากเซลล์มีโซฟิลล์เข้าสู่ sieve element/companion cell complex ในโฟลเอ็มแบบ apoplast ซึ่งอัตราการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครสจากเซลล์มีโซฟิลล์เข้าสู่โฟลเอ็มนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลซูโครสภายในเซลล์มีโซฟิลล์และโฟลเอ็ม โดยปกติระดับน้ำตาลซูโครสในโฟลเอ็มจะสูงกว่าระดับน้ำตาลซูโครสภายในเซลล์มีโซฟิลล์ ดังนั้นการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครสจากเซลล์มีโซฟิลล์เข้าสู่โฟลเอ็มจึงต้องเคลื่อนย้ายแบบใช้พลังงาน (active transport) หากระดับน้ำตาลซูโครสแตกต่างกันมากต้องใช้พลังงานมากในการเคลื่อนย้าย จากนั้นน้ำตาลซูโครสจะเคลื่อนที่ต่อไปในท่อลำเลียงแบบ mass flow ส่งต่อไปยังเนื้อเยื่อเป้าหมาย (sink tissue) ซึ่งในองุ่น ผลเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายหลักของการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครส ระหว่างที่น้ำตาลซูโครสเคลื่อนย้ายในโฟลเอ็มจะมี sucrose transporter ทำงานร่วมกับการเคลื่อนย้ายไปด้วย หลังจากนั้นน้ำตาลซูโครสจะออกจากโฟลเอ็มเข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย กระบวนการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครสเข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย มีวิธีการ 2 วิธี โดยวิธีการแรกคือ การเคลื่อนย้ายแบบ symplastic โดยน้ำตาลซูโครสเข้าสู่เซลล์ของเนื้อเยื่อเป้าหมายผ่านทาง plasmodesmata จากนั้นน้ำตาลซูโครสจะเคลื่อนย้ายส่งต่อไปยัง tonoplast และไปยัง vacuole ต่อไป โดยมี sucrose transporter protein เป็นตัวจับกับน้ำตาลซูโครสระหว่างการเคลื่อนย้าย การเคลื่อนย้ายแบบ symplastic นี้เกิดขึ้นในขณะที่ผลองุ่นยังไม่เข้าสู่ระยะ veraison ซึ่งเป็นระยะที่องุ่นเปลี่ยนสี หรือเข้าสู่กระบวนการ ripening วิธีการที่สอง คือการเคลื่อนย้ายแบบ apoplastic เกิดขึ้นโดย sucrose transporters จะปล่อยน้ำตาลซูโครสเคลื่อนย้ายผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์แล้วเข้าสู่ vacuole ภายในเซลล์ การเคลื่อนย้ายแบบ apoplastic จะเกิดขึ้นเมื่อองุ่นผ่านระยะ veraison แล้ว ในระยะ veraison น้ำตาลซูโครสที่ถูกส่งเข้ามาในผล จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการ metabolism มีเพียงส่วนน้อยที่จะสะสมเอาไว้ หลังจากระยะ veraison แล้ว ระดับน้ำตาลภายในผลองุ่นมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครสมายังผลองุ่นเพิ่มขึ้น และผลองุ่นสะสมน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปองุ่นจะเปลี่ยนน้ำตาลซูโครส ให้อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรักโตสแล้วสะสมไว้เป็นปริมาณมาก แต่มีการสะสมน้ำตาลในรูปน้ำตาลซูโครสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งระดับของน้ำตาลชนิดต่าง ๆที่องุ่นสะสมไว้ในผลนั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแต่ละสายพันธุ์ (Agasse *et al*., 2001) เช่น องุ่นสายพันธุ์ Malaga, and Muscat of Alexandria table varieties, and Burger, Chenin blanc, Early Burgundy, Emerald Riesling, Flora, Grey Riesling มีสัดส่วนการสะสมน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสมากกว่า 0.9 ส่วนในองุ่นพันธุ์ Beauty Seedless, Black Corinth, Loose Perlette, Niagara, Perlette and Black Monukka มีอัตราส่วนการสะสมของปริมาณกลูโคสต่อฟรักโตสต่ำกว่า 0.9 (Kliewer, 1967)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10. ดินขาวเคโอลิน

การแบ่งประเภทของแร่ดินตามลักษณะโครงสร้างของผลึกและพันธะทางเคมี (Warrel, 1975) แร่ดินที่ใช้เตรียมเนื้อดินในอุตสาหกรรม คือ ดินขาวเคโอลิน (kaolin, china clay) ดินเหนียว (plastic clay) ดินดำเหนียวหรือดินเหนียวขาว (ball clay) และ ดินเบนโตไนท์ (bentonite) สำหรับดินขาวเคโอลิน คือดินที่มีแร่ Kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) เป็นองค์ประกอบมากที่สุดในดินขาว จุดหลอมเหลวประมาณ 1785 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แร่ Allophane, Dickite, Nacrite, Endellite, Halloyside และ Anausite มีปนอยู่เช่นกันมีปริมาณที่น้อยมาก นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแร่ที่เป็นพวก Hydrous, Aluminus, Silicate สารประกอบพวกโลหะอัลคาไลน์ เหล็กออกไซด์ เฟลสปาร์ ฟลูออไรด์ รวมทั้งมีสารประกอบของ ไททาเนียม และควอร์ต เม็ดเล็กๆ ปนอยู่ด้วยเสมอ ส่วนประกอบทางเคมีและทางฟิสิกส์ของดินขาวแต่ละแหล่งมักจะแตกต่างกัน ดินขาวเมื่อบริสุทธิ์จะมีสีขาวหรือสีซีดจาง อาจมีสีต่างๆ ได้ เช่น สีเหลือง น้ำตาล แดง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในเนื้อดิน ดินขาวส่วนมากก่อนที่จะนำมาใช้งานต้องล้าง (treatment) เพื่อเอาสิ่งสกปรกออกไปเสียก่อน ทำให้ดินขาวที่นำมาใช้มักจะมีสีขาวมากกว่าสีอื่นๆ ดินขาวพบได้ในหลายประเทศ เช่น ประเทศจีน เม็กซิโก บราซิล เป็นต้น ดินขาวมีหลายเกรด หลายคุณภาพ สามารนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้แตกต่างกัน คำว่า เกาลิน มาจากภาษาจีน แปลว่า ภูเขาสูง ซึ่งเป็นแหล่งเกิดของดินขาวในประเทศจีน ดินขาวมีอยู่หลายชนิดแตกต่างกันไป ตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก ดินขาวส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม (residual clay) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดหยาบ จึงมีความเหนียวน้อย ประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ (kaolinite) มากกว่าดินชนิดอื่นๆ (Warrel, 1975; สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 3 เชียงใหม่, 2529)

ดินขาวที่ขุดขึ้นมา สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ หลากหลาย โดยแบ่งดินขาวตามการใช้ประโยชน์อยู่ 2 ชนิด คือ

1. ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์ และมีความทนไฟสูง สามารถนำมาใช้ทำ ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้

2. ดินขาวอีกชนิดหนึ่ง เป็นเกรดของฟิลเลอร์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม กระดาษ ทำสี ยาง ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย ยารักษาโรค เครื่องสำอาง ฟันปลอม ทำเครื่องกรองน้ำ ปูนซีเมนต์ ฉนวนไฟฟ้า ฯลฯ โดยใช้ดินขาวที่มีเนื้อสีขาวบริสุทธิ์ ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี แต่ไม่ได้นำไปเผาผ่านความร้อน ในกระบวนการผลิต (สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 3 เชียงใหม่, 2529)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับด้านการเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาดินขาวเคโอลินให้อยู่ในรูปสารการค้า ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับดินขาวเคโอลินในช่วงฤดูร้อนที่มีความเข้มแสงสูงกับพืชหลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล (Glenn *et al*., 2001) เกรฟฟรุต (Jifon and Syvertsen, 2003) พบว่าดินขาวเคโอลินมีสีขาวจึงสามารถสะท้อนแสงช่วยลดความร้อนที่พืชได้รับ เมื่อพ่นแล้วมีคุณสมบัติเป็นฟิล์ม เคลือบลำต้น ใบและผล ป้องกันการเข้าทำลายและการวางไข่ของแมลง (Glenn and Puterka, 2005) ลดการเกิดความเครียดจากความร้อน (heat stress) และปรับปรุงสีผิวของผลผลิตให้ได้ตามความต้องการลดการเกิดผิวผลไหม้ในแอปเปิ้ล (Glenn *et al*., 1999, 2001) ในประเทศไทยได้มีการทดลองกับมะม่วง พบว่าดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง ลดการเข้าทำลายของแมลงและการระบาดของโรค สามารถลดอาการกิ่งไหม้ในแก้วมังกร และลดอาการใบและผลไหม้ในสับปะรดได้ (คณพล และคณะ, 2554; ธีรพัฒน์, 2555) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลของดินขาวเคโอลินกับสารอื่นที่ใช้เป็นวัสดุเคลือบใบ ได้แก่ เบนโตไนท์ แคลเซียมคาร์บอเนต และโดโลไมต์ พบว่า ดินขาวเคโอลินสามารถลดการผ่านของแสงได้ดีกว่าเบนโตไนท์ แคลเซียมคาร์บอเนต และโดโลไมต์ ดังนั้นดินขาวเคโอลินสามารถทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ค่านำไหลปากใบ และอัตราการคายน้ำของใบมะม่วงเพิ่มขึ้น มากกว่าการใช้วัสดุเคลือบใบชนิดอื่นๆ ในสภาพอุณหภูมิสูง (Chamchaiyaporn *et al.,* 2013)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. องุ่นพันธุ์ไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette

2. ดินขาวเคโอลิน (kaolin clay) จากแหล่งจังหวัดลำปาง จังหวัดระนอง และจังหวัดอุตรดิตถ์

3. อุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพอากาศ (Watchdog data logger model 1450) ทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ ณ แปลงทดลอง ประกอบด้วย ความเข้มแสง (photosynthetic photon flux; PPF) อุณหภูมิอากาศ (air temperature; T_{air}) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (relative humidity; RH_{air})

4. สารเคมี ได้แก่

4.1 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพผลผลิต โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (tritratable acidity) ประกอบด้วย

- Sodium hydroxide (NaOH)
- Phenolphthalein
- Tartaric acid

4.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้ง

4.2.1 ชุดวิเคราะห์ปริมาณแป้ง (total starch assay kit) จากบริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์ ซึ่งประกอบด้วย

- MOPs buffer
- Thermostable α-amylase
- Sodium acetate buffer
- Amyloglucosidase
- GOPOD Reagent

4.2.2 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethanol 80%)

4.2.3 น้ำปราศจากไอออน (deionized Water, DI)

4.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล (Eshghi *et al*., 2007)

4.3.1 สารละลายน้ำตาลมาตรฐาน กลูโคส ฟรักโตส และซูโครส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3.2 น้ำบริสุทธิ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครมาโตรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (ultra pure water for HPLC)

4.3.3 น้ำปราศจากไอออน (deionized Water, DI)

4.3.4 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

4.3.5 เอทิลแอลกอฮล์ (ethanol 80%)

4.4 สารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ผสมระหว่างการพ่นดินขาวเคโอลิน ประกอบด้วย

4.4.1 Dispersing agent (sodium silicate, Na_2O_3Si)

4.4.2 สารจับใบ (surfactant)

5. เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิด LICOR (รุ่น LI-6400XT บริษัท LICOR ประเทศสหรัฐอเมริกา)

6. เครื่องวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสง (รุ่น PAM-2100 บริษัท Heinz Walz GmbH ประเทศเยอรมัน)

7. เครื่องวัดดัชนีความเขียว (chlorophyll meter) (รุ่น SPAD-502 บริษัท Minolta Camera ประเทศญี่ปุ่น)

8. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (hand refractometer)

9. เครื่องโครมาโตรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) (รุ่น LC10A บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น)

10. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator)

11. เครื่องพ่นสารเคมีชนิดสะพายหลัง

12. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

13. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

14. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

15. เครื่องชั่ง (balance)

16. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter)

17. เครื่อง vertex mixer

18. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น กระถางต้นไม้, ดิน, ไมโครปิเปตต์ (micropipette), water-bath และเครื่องแก้วต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

การทดลองที่ 1 ศึกษา light response curve และอิทธิพลของอายุใบต่อ light saturated point ของอ่งุนไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

ทำการปลูกอ่งุนไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette โดยการต่อกิ่งจากพันธุ์อ่งุนป่าในกระถางเป็นจำนวน 15 ต้น เมื่อกิ่งอ่งุนที่ต่อกิ่งไว้เจริญเติบโตจนมีใบแผ่เต็มที่ประมาณ 5-6 ใบ จึงเริ่มทำการทดลอง สุ่มต้นอ่งุน 3 ต้นทำการทดลองโดยการใช้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิด (LI-6400XT) โดยใช้หัววัดที่กำหนดค่าความเข้มแสงได้ (LED red/blue light source) บันทึกค่าอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*) ที่ความเข้มแสง (PPF) แต่ละระดับ ตั้งแต่ 0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 และ 2000 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ เพื่อหาความเข้มแสงต่ำสุด ที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิคงที่ไม่เพิ่มขึ้น วัดในใบที่แผ่เต็มที่เป็นใบที่ 2, 3 และ 4 นับจากยอดของแต่ละต้น เพื่อหาความผันแปรที่เกิดขึ้นในเรื่องของอายุใบ

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของดินขาวเคโอลิน ต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (*A*max) ของอ่งุนไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

ทำการสุ่มต้นอ่งุนจากการทดลองที่ 1 จำนวน 12 ต้น แบ่งเป็น 4 ชุดทดลองคือ

1. ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน (CONTROL)
2. พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ 50 g/L 1 ครั้ง (UTD)
3. พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง 50 g/L 1 ครั้ง (LP)
4. พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดระนอง 50 g/L 1 ครั้ง (RN)

แต่ละชุดทดลองประกอบด้วยต้นอ่งุน 3 ต้น จัดแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (complete randomized design; CRD) ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิด (LI-6400XT) บันทึกอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสูด (*A*max) โดยกำหนดค่าหัววัดที่ระดับความเข้มแสงมากกว่าระดับความเข้มแสงต่ำสุดจากค่าที่ได้จากการทดลองที่ 1 เล็กน้อย ควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องบรรจุใบให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60-75% ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านใบเท่ากับ 400 μmolCO_2 mol^{-1} อัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่านใบ (flow rate) เท่ากับ 500 $\mu mols^{-1}$ จากการทดลองที่ 1 ทำให้ทราบว่าค่า light saturated point ของอ่งุนที่ทำการทดลองมีค่าประมาณ 800 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จึงได้เลือกค่าความเข้มแสงที่มากกว่าค่า light saturated point เล็กน้อย นำมาใช้ในการทดลองที่ 2 โดยเลือกใช้ความเข้มแสงเท่ากับ 1200 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ และจากการทดลองที่ 1 อายุใบขององุ่นไม่มีผลต่อ light saturated point จึงทำการสุ่มวัด Amax ในใบที่แผ่ออกเต็มที่และสมบูรณ์ ในลำดับต่างๆ นับจากปลายยอดขององุ่น

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของดินขาวเคโอลิน ต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนแก๊ส ประสิทธิภาพการใช้แสง คุณภาพผลผลิต ปริมาณแป้งและน้ำตาล ในองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

ทำการทดลองในองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette อายุ 7 ปี ที่ปลูกบนต้นตอพันธุ์ Solonis x Othello 1613 ระยะปลูก 2x4 เมตร องุ่นได้รับการปลูกและดูแลรักษาปกติทั่วไป ได้รับปุ๋ย น้ำ หรือยากำจัดศัตรูพืชตามปกติที่เกษตรกรใช้ จนกระทั่งองุ่นติดผลและเมื่อผลมีอายุครบ 2 สัปดาห์ จึงเริ่มทำการทดลอง โดยการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพอากาศ (Watchdog data logger model 1450) เพื่อบันทึกข้อมูลสภาพอากาศ ประกอบด้วย ความเข้มแสง (photosynthetic photon flux; PPF) อุณหภูมิอากาศ (air temperature; T_{air}) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (relative humidity; RH_{air}) และค่า VPD_{air} (vapor pressure deficit; kPa) โดยคำนวณจากสมการของ Murray (1967) ดังนี้

$$VPD_{air} = ((100 - RH)/100)xSVP$$

$$SVP = (610.7x10^{7.5T/(237.3+T)})/1000$$

เมื่อ

RH = ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่บันทึกได้จากเครื่องเก็บข้อมูลสภาพอากาศ (%)

SVP = ค่า saturated vapour pressure (kPa)

T = ค่าอุณหภูมิอากาศบันทึกได้จากเครื่องเก็บข้อมูลสภาพอากาศ (°C)

ติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพอากาศในแปลงทดลองบริเวณพื้นที่โล่งแจ้งและไม่มีต้นไม้บัง สูงจากพื้นดินประมาณ 3 เมตร ตั้งเวลาให้เก็บข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง วางแผนการทดลองเป็นแบบบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) จากการทดลองที่ 2 พบว่าดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ และจังหวัดลำปาง ให้ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*A*max ของต้นอ่อนได้ดีที่สุด เป็น 2 ลำดับแรก จึงเลือกมาใช้เป็นชุดทดลองในการทดลองที่ 3 ดังนั้นในการทดลองที่ 3 จึงประกอบด้วยชุดทดลอง ดังนี้

1. ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน (CONTROL)
2. พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ 50 g/L (UTD)
3. พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง 50 g/L (LP)

โดยพ่นดินขาวเคโอลิน 50 g/L 1 ครั้งต่อสัปดาห์ แต่ละชุดทดลองมีทั้งหมด 4 ซ้ำ (block) แต่ละซ้ำใน 1 ชุดทดลองมีทั้งหมด 2 ต้น ทำการพ่นดินขาวเคโอลินในทุกสัปดาห์ เริ่มต้นพ่นสารเมื่อผลอ่อนมีอายุ 2 สัปดาห์ จนถึงผลอ่อนอายุ 6 สัปดาห์ รวม 5 ครั้ง

การเก็บข้อมูล ประกอบด้วย

1. อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส

ใบอ่อนที่ใช้วัดเป็นใบที่สมบูรณ์ พัฒนาเต็มที่แล้ว ตำแหน่งที่ติดกับช่อผล วัดทั้งหมด 4 ใบต่อต้น เก็บข้อมูลหลังจากได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินเมื่อผลอ่อนมีอายุ 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ ใช้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิด (LI-6400XT) ด้วยหัววัดชนิดที่สามารถกำหนดความเข้มแสงได้ (LED red/blue light source) โดยกำหนดความเข้มแสง (PPF) ตามการทดลองที่ 2 เท่ากับ 1200 µmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่านใบ (flow rate) ภายในกล่องบรรจุใบ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 บันทึกค่าเมื่อสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนรวม (total cv) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 โดยบันทึกค่าอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*), อัตราคายน้ำ (E), อุณหภูมิภายในใบ (T_{leaf}), ค่านำไหลปากใบ (g_s), สัดส่วนระหว่างอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราคายน้ำ (*A*:E), สัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศ (Ci:Ca) และแรงดึงคายน้ำ ($VPD_{leaf-air}$)

2. ประสิทธิภาพการใช้แสง

วัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของใบอ่อน โดยใช้เครื่องมือประเภท pulse amplitude modulation fluorometer รุ่น PAM-2100 (Heinz Walz GmbH, 1996) ใบอ่อนที่ใช้วัดเป็นใบชุดเดียวกับใบที่วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส โดยทำการวัดในช่วงต้นของการทดลอง คือระยะที่ผลอ่อนมีอายุ 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยทำการเก็บข้อมูลหลังจากวัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สแล้ว ซึ่งต้องทำการ dark-adapted โดยการหนีบใบด้วย dark leaf clip นาน 30 นาทีก่อนการวัดค่า maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm) เพื่อให้มีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่านระบบแสงที่สอง (PSII) เสร็จสิ้นแล้ว reaction centers จะอยู่ในสภาพเปิด หลังจากนั้นนำ dark leaf clip ออก แล้วทิ้งให้ใบรับแสงที่ความเข้มแสงธรรมชาติ เป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของ PSII ในสภาพมีแสง (light quantum yield of PSII; yield) ด้วย leaf-clip holder (2030-B) ในสภาพแสงธรรมชาติ เพื่อคำนวณค่า photochemical quenching (qP), non-photochemical quenching (qN) และ electron transport rate (ETR) ตามสมการของ Guo *et al*. (2005) ดังนี้

$$qP = (F_m - F_s)/(F_m - F_o)$$

$$qN = [(F_m – F_s)/(F_m - F_o)]-1$$

$$ETR = \text{yield} \times PPF \times 0.5 \times \alpha_{leaf}$$

เมื่อ

F_m = ค่าฟลูออเรสเซนส์สูงสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืด เมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (maximum fluorescence)

F_0 = ค่าฟลูออเรสเซนส์ต่ำสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (minimum fluorescence in luminated leaves)

F_s = ค่าฟลูออเรสเซนส์ที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (steady-state fluorescence)

PPF = ความเข้มแสง, μmolPPF $m^{-2} s^{-1}$

α_{leaf} = สัดส่วนของแสงที่ตกกระทบ และถูกดูดกลืนโดยใบ (fraction of incident light absorbed by leaf มีค่าเท่ากับ 0.84)

3. ดัชนีความเขียว

วัดดัชนีความเขียวด้วยเครื่อง chlorophyll meter (รุ่น SPAD-520 บริษัท Minolta Camera ประเทศญี่ปุ่น) บนใบอ่อนใบชุดเดียวกับที่ใช้วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส และประสิทธิภาพการใช้แสง โดยทำการวัดในระยะผลอ่อนมีอายุ 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ ตามลำดับ ทำการวัดโดยการใช้เครื่องหนีบที่ใบ อ่านค่าใบละ 4 จุด แล้วคำนวณเป็นค่าดัชนีความเขียวเฉลี่ยต่อใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. วิเคราะห์ปริมาณแป้ง

สุ่มเก็บตัวอย่างใบและกิ่งอ่อนจากแปลงทดลอง หลังจากพ่นดินขาวเคโอลินในระยะผลอ่อนมีอายุ 2 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ (วันเก็บเกี่ยวผลผลิต) จากแต่ละชุดทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างใบที่ตำแหน่งปลายของแขน (arm) ที่ให้ช่อผล เลือกใบที่สมบูรณ์และแผ่ออกเต็มที่ จำนวนชุดทดลองละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ใบ ในส่วนตัวอย่างกิ่ง สุ่มเก็บตัวอย่างกิ่งที่ตำแหน่งปลายของแขน (arm) ที่ให้ช่อผลเช่นกัน ติดกับตัวอย่างใบที่เก็บ เลือกส่วนที่กิ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.5 เซนติเมตร จำนวนชุดทดลองละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 กิ่ง จากนั้นนำตัวอย่างมาทำความสะอาด เก็บไว้ในกล่องโฟมที่มีอุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส ระหว่างการขนย้ายมายังห้องทดลอง ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างใส่ถุงกระดาษเขียนป้ายกำกับไว้ นำไปทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 1 สัปดาห์ จากนั้นนำตัวอย่างที่แห้งไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด จนคล้ายผงแป้ง บรรจุตัวอย่างที่บดแล้วลงในกระดาษที่แห้งและสะอาด เก็บไว้ใน desiccator ที่อุณหภูมิห้อง

วิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch) ตามวิธีการของ AACC International (2000) ใช้ชุดวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch assay kit) จากบริษัท Megazyme โดยชั่งตัวอย่างที่อบแห้งบดละเอียด 0.1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 16×120 มิลลิเมตร เคาะตัวอย่างให้อยู่ก้นหลอด เติม ethanol 80% 0.2 มิลลิลิตร เขย่าหลอดด้วย vortex mixer เติมเอนไซม์ α-amylase 3 มิลลิลิตรที่ละลายอยู่กับ MOPS buffer ทันทีเขย่าหลอดด้วย vortex mixer จากนั้นทำการแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 6 นาทีโดยทำการเขย่าหลอดทุกๆ 2 นาที เมื่อครบ 6 นาทีนำหลอดทดลองมาไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที จากนั้นเติม sodium acetate buffer 4 มิลลิลิตร แล้วเติมเอนไซม์ amyloglucosidase 0.1 มิลลิลิตร เขย่าหลอดด้วย vortex mixer แล้วนำไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water- bath) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 30 นาที นำตัวอย่างกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ทำการปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ปิเปตตัวอย่างที่ได้ใส่หลอดทดลอง 0.1 มิลลิลิตร เติม GOPOD reagent 3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 nm โดยมี glucose standard solution เป็นชุดตัวอย่างควบคุม (blank)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมสารละลาย MOPS buffer

ใช้สารเคมี MOPS จากชุดวิเคราะห์ปริมาณแป้ง 11.55 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลาย hydrochloric acid (HCl) 1 M หรือ 10% v/v ซึ่งใช้ประมาณ 17 มิลลิลิตร หลังจากปรับ pH เติม calcium chloride dihydrate ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) 0.74 กรัม ละลายให้หมด จากนั้นเติม sodium azide (NaN_3) 0.2 กรัม แล้วจากนั้นจึงปรับปริมาตรสารละลายให้ได้เป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเตรียมสารละลาย sodium acetate buffer

ดูดสารละลาย glacial acetic acid (CH_3COOH d=1.05g/mL) 11.8 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นปรับ pH เป็น 4.5 ด้วยสารละลาย sodium hydroxide (NaOH) 1 M ซึ่งใช้ประมาณ 60 มิลลิลิตร เมื่อได้ pH เท่ากับ 4.5 แล้ว เติม sodium azide (NaN_3) 0.2 กรัม ปรับปริมาตรสารละลายให้ได้เป็น 1 ลิตร แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

การคำนวณหาปริมาณแป้ง (AACC International, 2000)

$$\text{ปริมาณแป้ง} = \Delta A \times F \times 1000 \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180}$$

$$= \Delta A \times \frac{F}{W} \times 90$$

เมื่อ

ΔA = ค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งหักลบกับค่าจาก blank

F = 100 µg glucose/ ค่าการดูดกลืนแสงของ glucose 100 µg

1000 = ปริมาตรที่ทั้งหมดใช้วิเคราะห์

$\frac{1}{1000}$ = factor เปลี่ยน µg เป็น mg

$\frac{100}{W}$ = factor การมีอยู่ของแป้งจากปริมาณน้ำหนักแป้งทั้งหมด

W = น้ำหนักมิลลิกรัม ของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์แป้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$\frac{162}{180}$ = factor ที่เปลี่ยนจาก glucose ไปเป็น anhydroglucose

5. วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว 0.1 กรัม ใส่ใน centrifuge tube จากนั้นเติม petroleum ether ที่อุ่นไว้แล้ว 40-60 องศาเซลเซียส จำนวน 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1109xg รอบนาน 5 นาที จากนั้น ค่อยๆ ดูดสารละลาย petroleum ether ทิ้งไป จากนั้นเติม ethanol 80% 4 มิลลิลิตร เขย่าหลอดด้วย vortex mixer จากนั้นนำไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water-bath) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส 20 นาที นำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1109xg รอบนาน 5 นาที สารละลายที่ได้มีสีค่อนข้างเขียวหรือเหลืองหลังจากสกัดแล้ว จากนั้นค่อยๆ ดูดสารละลาย เก็บไว้ในหลอดทดลอง เติม ethanol 80% 4 มิลลิลิตร เพื่อทำซ้ำเก็บ ethanol ที่ได้ไปเรื่อยๆ จนกว่าสารละลาย ethanol 80% ที่ได้จะมีสีค่อนข้างใส จากนั้นนำสารละลายที่ได้นี้ ไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator บันทึกน้ำหนักสารที่เหลือ หากยังไม่ได้วิเคราะห์ต่อเป็นเวลานานสามารถเก็บสารที่ได้ไว้ในอุณหภูมิ -84 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น ก่อนจะวิเคราะห์ด้วย HPLC เติมน้ำ ultra pure water 0.5 มิลลิลิตร ละลายสารที่ได้จนหมด ดูดสารละลายออกมา 0.1 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water, DI) จนได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร กรองผ่าน membrane filter ขนาด 0.45 ไมครอน ใส่ลงในขวดสำหรับฉีดตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส ฟรักโตส และกลูโคสด้วยเครื่อง HPLC ค่าที่ได้จะบอกถึงปริมาณน้ำตาลมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อน้ำหนักสารแห้ง 1 กรัม แล้วคำนวณกลับเป็นหน่วยกรัมต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช 100 กรัม เปรียบเทียบค่า retention time ของเครื่อง HPLC กับสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และซูโครส (Eshghi *et al*., 2007)

6. ปริมาณและคุณภาพผลผลิต

6.1 ปริมาณผลผลิต ทำการชั่งน้ำหนักผลผลิตทั้งหมดในแต่ละชุดทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ต้น รวมชุดทดลองละ 8 ต้น แล้วหาน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น มีหน่วยเป็นกรัม

6.2 จำนวนช่อผลต่อต้น ทำการนับจำนวนช่อผลต่อต้นในแต่ละชุดทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ต้น แล้วนำมาหาค่าจำนวนช่อผลเฉลี่ยต่อต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.3 ความยาวช่อผล ทำการสุ่มช่อผลแต่ละชุดทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ต้น ต้นละ 5 ช่อ นำมาวัดความยาวช่อผล โดยใช้ไม้บรรทัดวัดส่วนที่ยาวที่สุดของช่อผล นำมาหาค่าเฉลี่ยมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

6.4 น้ำหนักช่อผล ทำการชั่งน้ำหนักช่อผลทั้งหมดในแต่ละชุดทดลองคำนวณน้ำหนักช่อผลเฉลี่ย มีหน่วยเป็นกรัม แบ่งช่อผลเป็นขนาดต่างๆ ตามเกณฑ์ขนาดของช่อผลตาม Pierre (1980) ดังนี้

6.4.1 ช่อผลขนาดเล็กมาก (very small) น้ำหนักช่อผลน้อยกว่า 35 กรัม

6.4.2 ช่อผลขนาดเล็ก (small) น้ำหนักช่อผลอยู่ในช่วง 35-110 กรัม

6.4.3 ช่อผลขนาดกลาง (medium) น้ำหนักช่อผลอยู่ในช่วง 110-330 กรัม

6.4.4 ช่อผลขนาดใหญ่ (large) น้ำหนักช่อผลอยู่ในช่วง 330-770 กรัม

6.4.5 ช่อผลขนาดใหญ่มาก (very large) น้ำหนักช่อผลมากกว่า 700 กรัม

จากนั้นนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ช่อผลขนาดต่างๆ

6.5 จำนวนผลต่อช่อ ทำการนับจำนวนผลต่อช่อ ทั้งหมดในแต่ละชุดทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ต้น แล้วนำมาหาค่าจำนวนผลเฉลี่ยต่อช่อ

6.6 น้ำหนักผล และเส้นผ่านศูนย์กลางผล สุ่มผลจากช่อผลองุ่นที่สมบูรณ์ ในแต่ละชุดทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ต้น ต้นละ 10 ผล นำมาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางผล โดยใช้ vernier calipers แล้วหาค่าเฉลี่ยมีหน่วยเป็นเซนติเมตร และหาน้ำหนักผลด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสามตำแหน่ง จากนั้นคำนวณน้ำหนักผลเฉลี่ย มีหน่วยเป็นกรัม

6.7 ปริมาณกรด-ด่าง (pH) คั้นน้ำองุ่นจากจำนวน 10 ผลที่สุ่มมา วัดค่า pH ของน้ำคั้น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากเครื่องวัดปริมาณกรด-ด่าง (pH meter)

6.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS) คั้นน้ำองุ่นจากจำนวน 10 ผลที่สุ่มมา จากนั้นนำน้ำที่ได้ไปวัดค่าเปอร์เซ็นต์ TSS โดยใช้ hand refractometer อ่านค่าจากการหักเหแสงจากเครื่อง โดยหน่วยที่วัดได้เป็น (°Brix)

6.9 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ปริมาณกรดที่สะสมในผลไม้สามารถวิเคราะห์ได้ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2002) ไทเทรตน้ำคั้นจากองุ่น 10 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายมาตรฐานของ NaOH ที่มีความเข้มข้น 0.1 N ใช้ phenolphthalein ความเข้มข้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1% เป็น indicator จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ (Coombe and Dry, 2001) จากนั้นคำนวณค่าที่ได้ ดังสูตร

$$\% \text{ TA} = \frac{(\text{ml NaOH})(\text{N NaOH})(\text{meq.wt. tartaric acid})}{(\text{ml of sample})} \times 100$$

เมื่อ

ml NaOH = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต

N NaOH = normality ของ NaOH เท่ากับ 0.1 N

meq.wt. tartaric acid = มวลโมเลกุลของของกรดทาทาริก เท่ากับ 0.075

ml of sample = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรตเป็นมิลลิลิตรในการทดลองใช้เท่ากับ 10 มิลลิลิตร

7. ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดิน

วัดค่า pH ของดินช่วงก่อนและหลังการพ่นดินขาวเคโอลิน สุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละชุดทดลองจากระดับความลึก 30 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 500 กรัม 3 ซ้ำ จากนั้นนำดินที่ได้มาคลุกให้เข้ากันดี แล้วผึ่งแดดให้แห้งใช้เวลา 1-2 วัน หลังจากดินแห้งแล้วนำมาร่อนกรองเอาเศษหิน เศษใบไม้ หรือสิ่งที่ไม่ใช่ดินออกไป ด้วยตะแกรงร่อนดินเบอร์ 10 ที่มีตาข่ายกว้าง 2 มิลลิเมตร เมื่อได้ดินที่ร่อนดีแล้ว จากนั้นทำการแบ่งดินไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรในภาชนะใส แล้วคนน้ำกลั่นและดินนั้นให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จนดินตกตะกอน นำสารละลายที่ได้ไปตรวจหาค่า pH ด้วยเครื่องวัดปริมาณกรด-ด่าง (pH meter)

8. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 1-3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

1. แปลงทดลอง ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

2. ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

3. ห้องปฏิบัติการพฤกษเคมี ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

4. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเอนไซม์ และการจัดการของเสีย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

5. แปลงทดลอง สถานีวิจัยกาญจนบุรี สถาบันค้นคว้าและพัฒนาระบบนิเวศเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง	เดือนมีนาคม 2555
สิ้นสุดการทดลอง	เดือนพฤษภาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษา light response curve และอิทธิพลของอายุใบต่อ light saturated point ขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

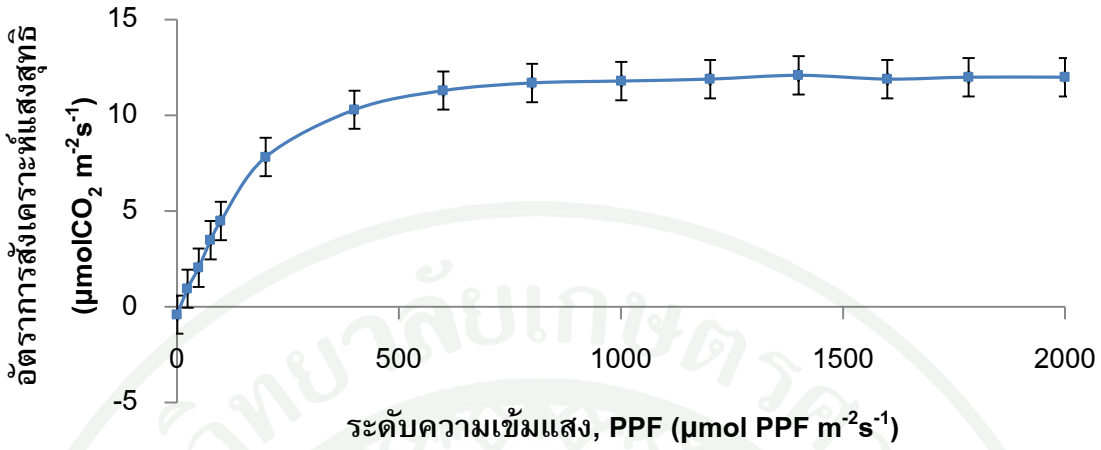
ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*) จากการใช้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิด (LI-6400XT) โดยใช้หัววัดที่กำหนดค่าความเข้มแสงได้ (LED red/blue light source) พบว่าในช่วงแรกที่ใบองุ่นยังไม่ได้รับแสง (ที่ 0 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$) ใบองุ่นยังไม่เกิดการสังเคราะห์แสง เนื่องจากอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิเป็นค่าติดลบ แต่เมื่อใบองุ่นได้รับความเข้มแสงที่ระดับ 25, 50, 75, 100, 200, 400 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงอย่างต่อเนื่อง และสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มแสง เมื่อเพิ่มระดับความเข้มแสงขึ้นไปเท่ากับ 600, 800 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะลดลง จากนั้นเมื่อเพิ่มระดับความเข้มแสงมากขึ้นไปเท่ากับ 1000 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะเริ่มคงที่โดยมีค่าประมาณ 11 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าคงที่แม้เพิ่มค่าความเข้มแสงจากหัววัดแสงไปจนถึงระดับ 2000 μmolPPF$m^{-2}s^{-1}$ จากข้อมูลค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิกับค่าความเข้มแสงเมื่อนำมาสร้างกราฟร่วมกันจะได้เป็นกราฟการตอบสนองต่อแสง (light response curve) ของต้นองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette จากกราฟการตอบสนองต่อแสงสามารถบอกค่า light saturated point ของต้นองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ได้ โดยค่า light saturated point นั้นหมายถึงค่าระดับความเข้มแสงน้อยที่สุดที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของพืชเริ่มคงที่ จากการทดลองค่า light saturated point ของต้นองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette มีค่าประมาณ 800 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ (ภาพที่ 1) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาในองุ่นพันธุ์ Syrah ที่มีค่า light saturated point เท่ากับ 884 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ (Prieto *et al.*, 2010)

จากการทดลองอิทธิพลของอายุใบต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*) ของต้นองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ทำการวัดค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ ตั้งแต่ 0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 และ 2000 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ วัดในใบองุ่นที่แผ่เต็มที่เป็นใบที่ 2, 3 และ 4 นับจากยอดของแต่ละต้น จากนั้นนำข้อมูลค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิกับค่าความเข้มแสง สร้างกราฟการตอบสนองต่อแสง (light response curve) แล้วเปรียบเทียบกัน พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2) ในทุกลำดับของใบจากปลายยอด จึงสามารถกล่าวได้ว่า อายุใบขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ไม่มีผลต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*) และกราฟการตอบสนองต่อแสง โดยผลการทดลองนี้ให้ผลขัดแย้งกับการศึกษาในองุ่นพันธุ์ Freisa ที่ศึกษาอิทธิพลของอายุใบต่ออัตราการสังเคราะห์แสง เปรียบเทียบระหว่างความเข้มแสงที่สูง 1400 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ กับความเข้มแสงที่ต่ำ

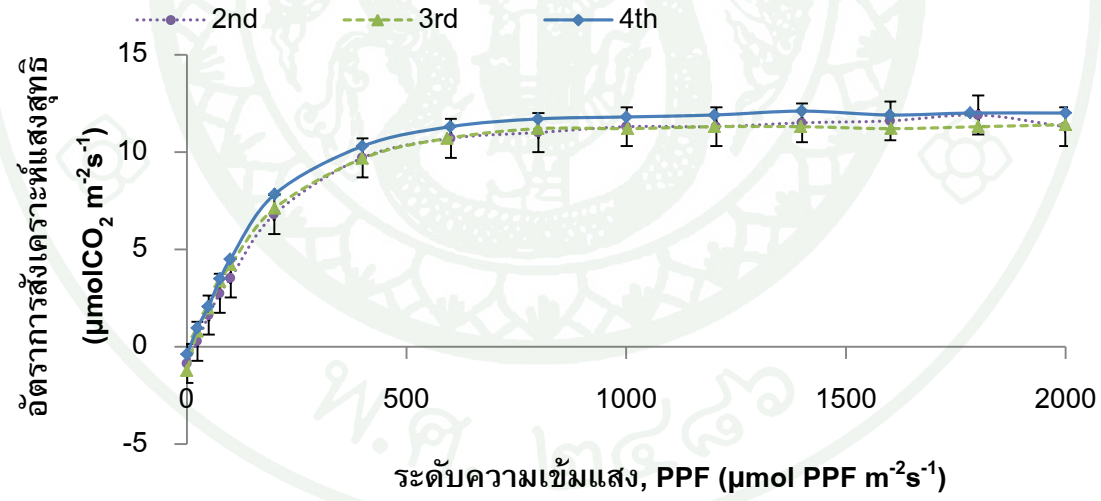
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

150 µmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ พบว่า อายุใบมีผลต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงในระดับความเข้มแสงที่สูง แต่ไม่มีผลในระดับความเข้มแสงที่ต่ำ (Lovisolo *et al*, 1996) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในองุ่นพันธุ์ Chasselas และ Rirsling พบว่าอายุใบจะไม่มีผลต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงเมื่อทำการวัดในใบที่แผ่เต็มที่มากกว่าใบที่ 10 นับตั้งแต่ยอดลงไป หรือวัดในใบที่ใกล้กับช่อผล (Zufferey *et al*., 2000).

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 การตอบสนองต่อแสง (light respond curve) ขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ; 0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 และ 2000 μmol PPF m^{-2} s^{-1}

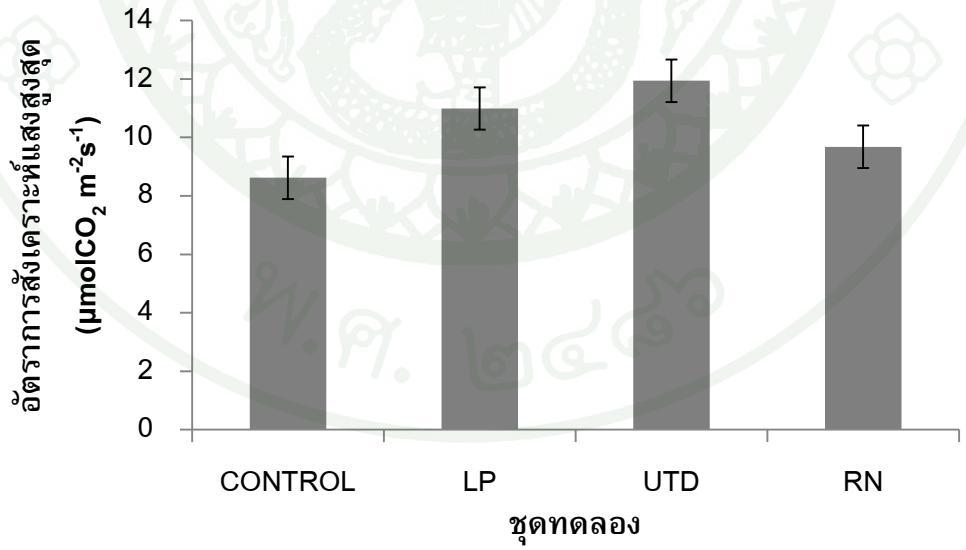


ภาพที่ 2 อิทธิพลของอายุใบต่อการตอบสนองต่อแสง (light respond curve) ขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ; ตำแหน่งใบที่ 2 (2nd), 3 (3rd) และ 4 (4th) นับจากปลายยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของดินขาวเคโอลิน ต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (*A*max) ของอ่งุนไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

จากการทดลองที่ 1 เนื่องจากอายุใบไม่มีผลต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*) จึงทำการสุ่มวัดค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (*A*max) ในใบอ่งุนที่แผ่ออกเต็มที่และสมบูรณ์ ในลำดับต่างๆ ของแต่ละต้น โดยเลือกใช้ความเข้มแสงที่ระดับ 1200 µmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ เนื่องจากเป็นค่าที่สูงกว่าค่า light saturated point เล็กน้อย อ่งุนจะสามารถนำแสงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้สูงสุด จากการทดลอง พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินมีผลต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของต้นอ่งุน โดยการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีแนวโน้มทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 11.93 µmolCO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ถัดมาเป็นการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดเท่ากับ 10.99 µmolCO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ตามด้วยการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดระนอง ให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดเท่ากับ 9.67 µmolCO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และสุดท้ายชุดควบคุมมีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 8.62 µmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ (ภาพที่ 3, ตารางผนวกที่ 2) ดังนั้นในการทดลองที่ 3 จึงเลือกใช้แหล่งดินขาวเคโอลินที่ให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมากที่สุด 2 ลำดับแรก คือ จากจังหวัดอุตรดิตถ์ และจังหวัดลำปาง มาเป็นชุดทดลอง



ภาพที่ 3 ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ของอ่งุนไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette; ชุดควบคุม (CONTROL), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดระนอง (RN)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของดินขาวเคโอลิน ต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนแก๊ส ประสิทธิภาพการใช้แสง คุณภาพผลผลิต ปริมาณแป้งและน้ำตาล ในองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette

สภาพอากาศในแปลงทดลอง

สภาพอากาศในระหว่างทำการทดลอง จากการบันทึกข้อมูลของอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพอากาศ (Watchdog data logger model 1450) ที่ติดตั้งที่แปลงทดลองสถานีวิจัยกาญจนบุรี สถาบันค้นคว้าและพัฒนาระบบนิเวศเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ละติจูด 14°07'N, ลองจิจูด 99°19'E) ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2555 ถึงเดือนมกราคม 2556 บันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$) อุณหภูมิอากาศ (T_{air}, °C) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH_{air}, %) และคำนวณค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa) พบว่า ค่าความเข้มแสงในเวลากลางวันที่ต้นองุ่นได้รับบริเวณแปลงทดลองตลอดระยะเวลาที่บันทึกมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 989.78 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสูงสุดในเวลากลางวันที่ต้นองุ่นได้รับตลอดการทดลอง เกิดขึ้นในวันที่ 19 พฤศจิกายน 2555 เวลา 12.00 น. มีค่าความเข้มแสงเท่ากับ 2500.0 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศ พบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 30.49 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศสูงสุดมีค่าเท่ากับ 36.6 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2555 เวลา 13.00-14.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 31.15 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดมีค่า 89.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 9.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาค่า VPD_{air} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.38 kPa ค่า VPD_{air} สูงสุดมีค่าเท่ากับ 4.25 kPa และค่า VPD_{air} ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.17 kPa เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 3, ภาพผนวกที่ 2,3) เมื่อพิจารณาสภาพอากาศในช่วงเวลากลางคืน พบว่า มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 24.28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 63.11 เปอร์เซ็นต์ และค่า VPD_{air} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.64 kPa (ตารางผนวกที่ 3, ภาพผนวกที่ 2,3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพอากาศในวันที่ทำการบันทึกข้อมูล

สภาพอากาศในวันที่ทำการบันทึกข้อมูล จากการบันทึกข้อมูลของอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพอากาศ (Watchdog data logger model 1450) ที่ติดตั้งที่แปลงทดลอง บันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$) อุณหภูมิอากาศ (T_{air}, °C) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH_{air}, %) และคำนวณค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa) ในวันที่ทำการบันทึกข้อมูล จำนวนทั้งหมด 6 ครั้ง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ (วันเริ่มต้นพ่นสาร), ครั้งที่ 2 ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, ครั้งที่ 3 ที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์, ครั้งที่ 4 ที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์, ครั้งที่ 5 ที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ และครั้งที่ 6 ที่ระยะอายุผล 7 สัปดาห์

ข้อมูลสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งที่ 1 ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์

ความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux, PPF)

ความเข้มแสงในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 1 เริ่มบันทึกค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 07.00 น. มีค่าเท่ากับ 70.4 μmol PPF$m^{-2}s^{-1}$ เป็นวันที่มีเมฆมาก ความเข้มแสงในรอบวันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วง 12.00 น. เป็นช่วงที่แสงมีความเข้มสูงสุดในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 950.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ จากนั้นค่าความเข้มแสงก็ลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีเมฆครึ้ม และฝนตกในช่วงบ่าย จนถึงเวลา 15.00 น. โดยค่าความเข้มแสงลดลงจนมีค่าเท่ากับ 140.8 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ และเมื่อฝนหยุด เมฆเคลื่อนตัวผ่านไป ความเข้มแสงก็กลับมาสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 786.4 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ จากนั้นก็ค่อยๆ ลดลง สามารถบันทึกค่าความเข้มแสงในช่วงเวลาสุดท้ายที่ 17.00 น.หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งไม่มีแสงเวลาประมาณ 18.00 น. เมื่อพิจารณาในรอบวัน ความเข้มแสงที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 460.95 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าสูงสุดเท่ากับ 950.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 12.00 น. และค่าต่ำสุดเท่ากับ 70.4 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 4ก, ตารางผนวกที่ 4)

อุณหภูมิอากาศ (air temperature, T_{air})

ค่าอุณหภูมิอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 1 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในรอบวันไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความเข้มแสง โดยอุณหภูมิมีค่าค่อนข้างคงที่ ในเวลาเวลากลางคืนจนถึงช่วงเช้า โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 25-26 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิก็ค่อยๆ สูงขึ้น อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 31.6 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลังจากนั้นในช่วงเวลา 15.00 น. เกิดฝนตกในแปลงทดลอง ทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกันกับค่าความเข้มแสง หลังจากฝนหยุดตก เข้าสู่ช่วงเย็นอุณหภูมิจะลดต่ำลงอย่างช้าๆ และเริ่มคงที่หลังเวลา 16.00 น. เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.67 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 31.6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 25.6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 4ข, ตารางผนวกที่ 4)

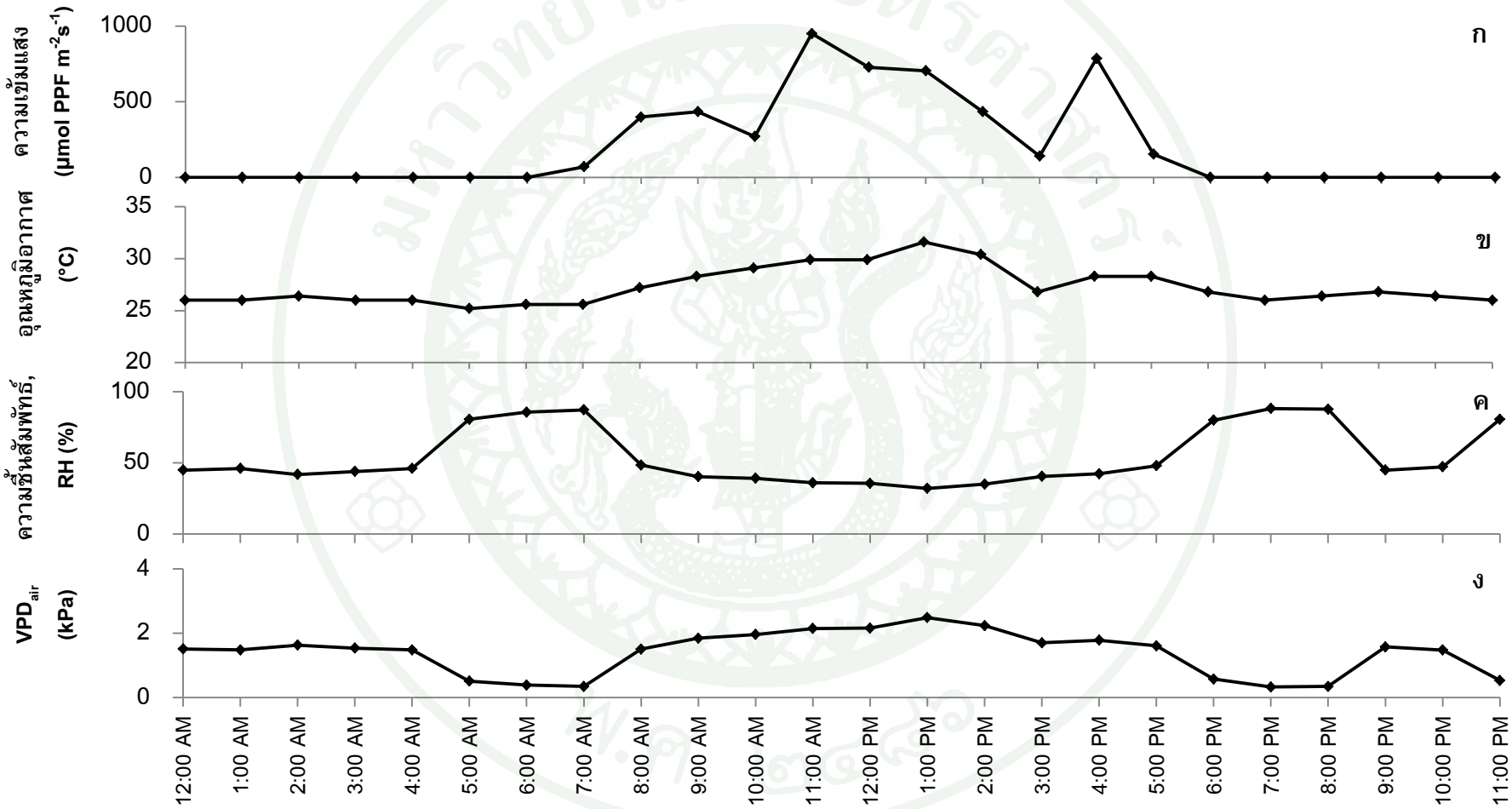
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity, RH_{air})

ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 1 มีค่าสัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิ เมื่อความเข้มแสงและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกลางวัน ความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะลดต่ำลง โดยเริ่มลดลงตั้งแต่เวลา 08.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น. เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.67 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 87.3 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 07.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 32.0 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 13.00 น. (ภาพที่ 4ค, ตารางผนวกที่ 4)

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa)

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 1 ในเวลากลางคืนตั้งแต่ 0.00 น. มีค่อนข้างค่าคงที่ประมาณ 1.5 kPa จนถึงช่วงเวลา 4.00 น. เกิดฝนตก ทำให้ค่า VPD_{air} ลดลงต่อเนื่องจนไปถึง 7.00 น. หลังจากฝนหยุดตก ค่า VPD_{air} ค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนมีค่ามากที่สุดที่เวลา 13.00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 2.16 kPa หลังจากนั้นค่า VPD_{air} มีแนวโน้มค่อยๆ ลดลง จนถึงเวลา 17.00 น. โดยที่เวลา 17.00 น. เกิดฝนตกอีกครั้งทำให้ค่า VPD_{air} ลดลงอย่างรวดเร็ว ไปจนถึงเวลา 20.00 น. ค่า VPD_{air} จึงกลับมาสูงขึ้นอีกครั้ง (ภาพที่ 4ง, ตารางผนวกที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 สภาพอากาศในแปลงอ่งุนที่ทำการทดลองแสดงข้อมูลรอบวันในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 1 ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งที่ 2 ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์

ความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux, PPF)

ความเข้มแสงในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 2 เริ่มบันทึกค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 07.00 น. มีค่าเท่ากับ 140.8 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ความเข้มแสงในรอบวันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วง 12.00 น. เป็นช่วงที่แสงมีความเข้มสูงสุดในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 2112.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ จากนั้นค่าความเข้มแสงก็ลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีเมฆครึ้ม และฝนตกในช่วงบ่ายตั้งแต่เวลา 13.00 น. จนถึงช่วงค่ำ ทำให้ค่าค่าความเข้มแสง ในช่วงบ่ายมีค่าประมาณ 300-400 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ และลดลงหลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งไม่มีแสงเวลาประมาณ 18.00 น. เมื่อพิจารณาในรอบวัน ความเข้มแสงที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 868.55 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าสูงสุดเท่ากับ 2112.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 12.00 น. และค่าต่ำสุดเท่ากับ 140.8 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 5ก, ตารางผนวกที่ 4)

อุณหภูมิอากาศ(air temperature, T_{air})

ค่าอุณหภูมิอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 2 ในช่วงเวลากลางคืนจนถึงช่วงเช้าก่อน 07.00 น. ที่ยังไม่มีแสง อุณหภูมิมีค่าคงที่ระหว่าง 25-26 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเมื่อมีแสงและความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิก็สูงขึ้นเช่นกัน โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 10.00 น. ที่ระดับ 26 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 32 องศาเซลเซียส และมีค่าค่อนข้างคงที่ ตั้งแต่ 10.00 น. จนถึง 16.00 น. โดยมีค่าระหว่าง 32-34 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเมื่อความเข้มแสงลดลง จนไม่มีแสง เข้าสู่ช่วงเย็นอุณหภูมิจะลดต่ำลง และเริ่มคงที่หลังเวลา 18.00 น. มีค่าอยู่ระหว่าง 25-26 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.33 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 34.1 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10.00 น., 11.00 น., 14.00 น. และ15.00 น. มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 26.00 องศาเซลเซียส ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 5ข, ตารางผนวกที่ 4)

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity, RH_{air})

ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 2 สัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิ เมื่อความเข้มแสงและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกลางวัน ความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะลดต่ำลง โดยเริ่มลดลงตั้งแต่เวลา 08.00 น. และตั้งแต่เวลา 18.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่

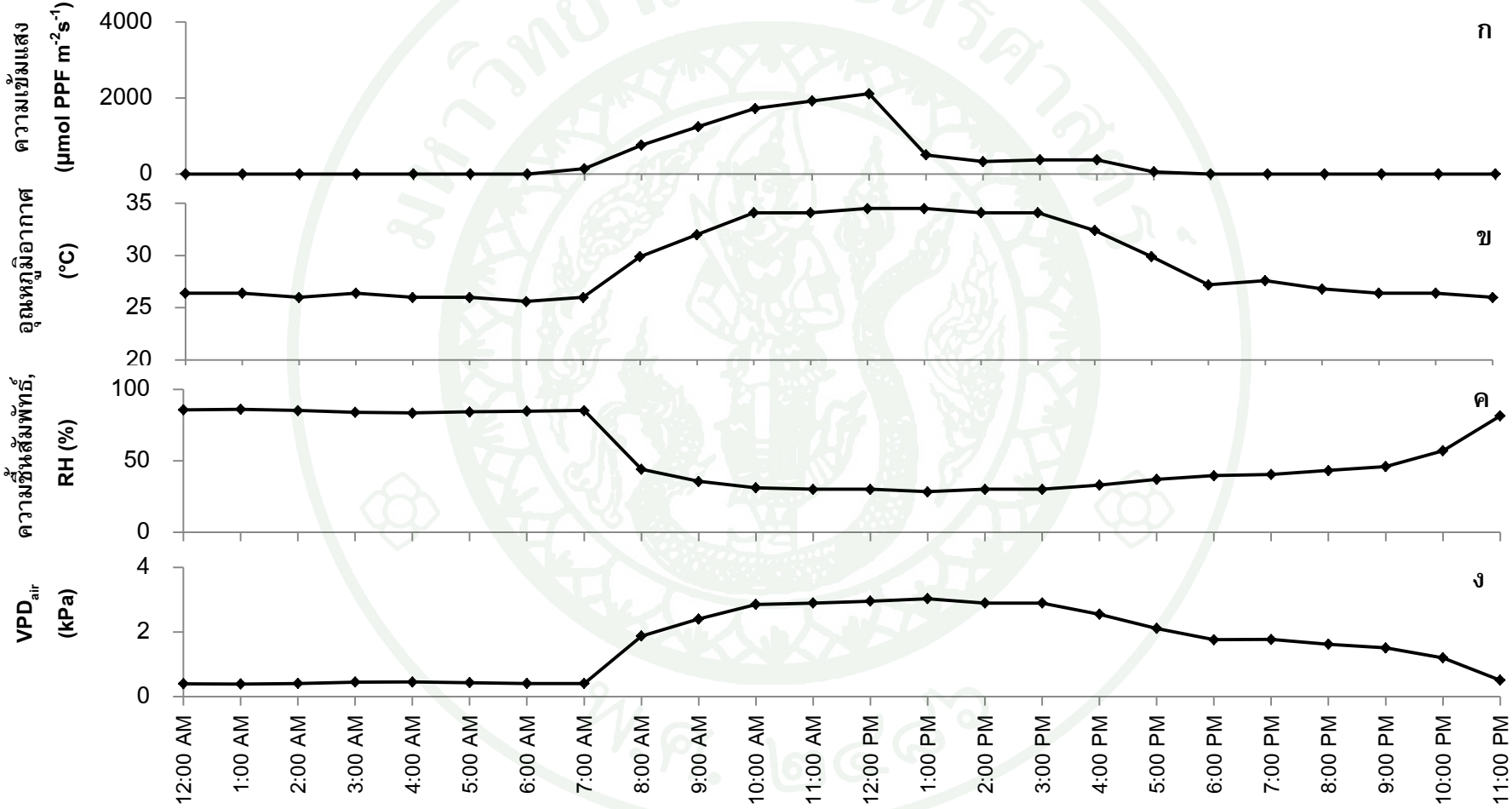
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.70 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 85.2 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 07.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 28.3 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 13.00 น. (ภาพที่ 5ค, ตารางผนวกที่ 4)

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa)

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 2 ในเวลากลางคืนตั้งแต่ 0.00 น. ไปจนถึง 7.00 น. มีค่อนข้างค่าคงที่ประมาณ 0.3-0.4 kPa หลังจากนั้นเมื่อเริ่มมีแสง และมีอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น ค่า VPD_{air} ก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 7.00 น. จนมีค่ามากที่สุดที่เวลา 13.00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 3.03 kPa หลังจากนั้นค่า VPD_{air} มีแนวโน้มค่อยๆ ลดลง ไปจนถึงเวลา 23.00 น. (ภาพที่ 5ง, ตารางผนวกที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 สภาพอากาศในแปลงอุ่นที่ทำการทดลองแสดงข้อมูลรอบวันในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 2 ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งที่ 3 ที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์

ความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux, PPF)

ความเข้มแสงในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 3 เริ่มบันทึกค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 07.00 น. มีค่าเท่ากับ 129.1 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ความเข้มแสงในรอบวันช่วงเช้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 น. จนถึง 10.00 น. และมีค่าค่อนข้างคงที่ จนถึง 12.00 น. จากนั้นค่าความเข้มแสงก็ค่อยๆลดลง ในช่วงบ่าย ตั้งเวลา 12.00 น. สามารถบันทึกค่าความเข้มแสงในช่วงเวลาสุดท้ายที่ 17.00 น. มีค่าเท่ากับ 187.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งไม่มีแสงเวลาประมาณ 18.00 น. เมื่อพิจารณาในรอบวัน ความเข้มแสงที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 797.97 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าสูงสุดเท่ากับ 1467.1 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 10.00 น. และ 12.00 น. มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 129.1 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 6ก, ตารางผนวกที่ 4)

อุณหภูมิอากาศ (air temperature, T_{air})

ค่าอุณหภูมิอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 3 ในช่วงเวลากลางคืนถึงช่วงเช้า อุณหภูมิมีค่าระหว่าง 27-28 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิก็ค่อยๆ สูงขึ้น โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. หลังจากนั้น อุณหภูมิจะลดต่ำลง และเริ่มคงที่หลังจากที่ไม่มีแสง ตั้งแต่เวลา 19.00 น. มีค่าอยู่ระหว่าง 27-28 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.01 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 11.00 น. ถึง 14.00 น. มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 27.6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 6ข, ตารางผนวกที่ 4)

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity, RH_{air})

ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 3 สัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิ เมื่อความเข้มแสงและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกลางวัน ความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะลดต่ำลง โดยเริ่มลดลงอย่างชัดเจนตั้งแต่เวลา 09.00 น. และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 16.00 น. และกลับไปมีค่าสูงขึ้นชัดเจนที่เวลา 20.00 น. อีกครั้ง เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

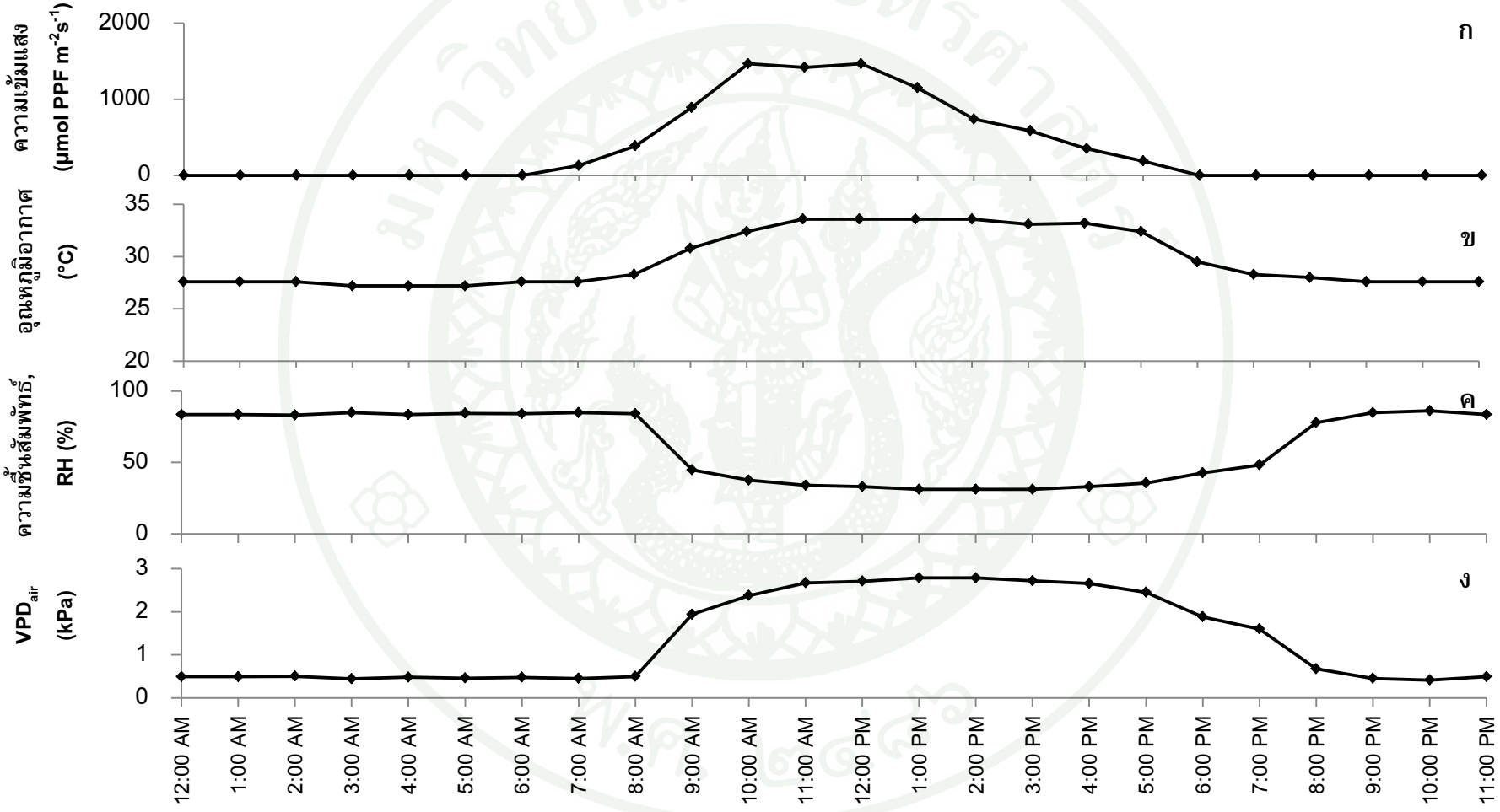
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

43.63 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 84.8 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 07.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 31.1 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 13.00 น. ถึง 15.00 น. (ภาพที่ 6ค, ตารางผนวกที่ 4)

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa)

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 3 ในเวลากลางคืนตั้งแต่ 0.00 น. ไปจนถึง 8.00 น. มีค่อนข้างค่าคงที่ประมาณ 0.4-0.5 kPa หลังจากนั้นค่า VPD_{air} มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่เวลา 9.00 น. และค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย จนมีค่ามากที่สุดที่เวลา 12.00 น. ถึง 13.00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 2.79 kPa หลังจากนั้นค่า VPD_{air} มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย จนถึงเวลา 17.00 น. ค่า VPD_{air} มีค่าลดลงมากขึ้นไปจนถึงเวลา 20.00 น. ค่า VPD_{air} จึงกลับมามีค่าค่อนข้างคงที่ ประมาณ 0.4-0.5 kPa อีกครั้ง (ภาพที่ 6ง, ตารางผนวกที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 สภาพอากาศในแปลงองุ่นที่ทำการทดลอง แสดงข้อมูลรอบวัน ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 3 ที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งที่ 4 ที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์

ความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux, PPF)

ความเข้มแสงในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 4 เริ่มมีแสงและบันทึกค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 07.00 น. มีค่าเท่ากับ 93.9 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ในวันที่ทำการบันทึกข้อมูลนี้ เป็นวันที่ฟ้าโปร่ง ความเข้มแสงในรอบวันช่วงเช้าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. มีค่าเท่ากับ 2065.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ จากนั้นค่าความเข้มแสงก็จะค่อยๆ ลดลง ในช่วงบ่าย ตั้งเวลา 12.00 น. เป็นต้นไป สามารถบันทึกค่าความเข้มแสงในช่วงเวลาสุดท้ายที่ 17.00 น. มีค่าเท่ากับ 223.0 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งไม่มีแสงเวลาประมาณ 18.00 น. เมื่อพิจารณาในรอบวัน ความเข้มแสงที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1203.58 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าสูงสุดเท่ากับ 2065.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 12.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 93.9 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 7ก, ตารางผนวกที่ 4)

อุณหภูมิอากาศ (air temperature, T_{air})

ค่าอุณหภูมิอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันเช่นเดียวกับวันที่ทำการบันทึกข้อมูลวันอื่นๆ คือจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลากลางคืน มีค่าระหว่าง 23-24 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า จนมีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 10.00 น. และมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่าง 32-35 องศาเซลเซียส จนถึงเวลา 17.00 น. จากนั้นอุณหภูมิจะลดลง และเริ่มคงที่หลังจากที่ไม่มีแสง เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.10 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 35.3 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.00 น. มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 23.7 องศาเซลเซียส ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 7ข, ตารางผนวกที่ 4)

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity, RH_{air})

ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 4 ในช่วงเวลากลางคืนมีค่าระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ และเริ่มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อแสงและอุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 08.00 น. และค่อยๆ ลดลงจนมีค่าระหว่าง 20-30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ตั้งแต่เวลา 16.00 น. เป็นต้นไป เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 86.1

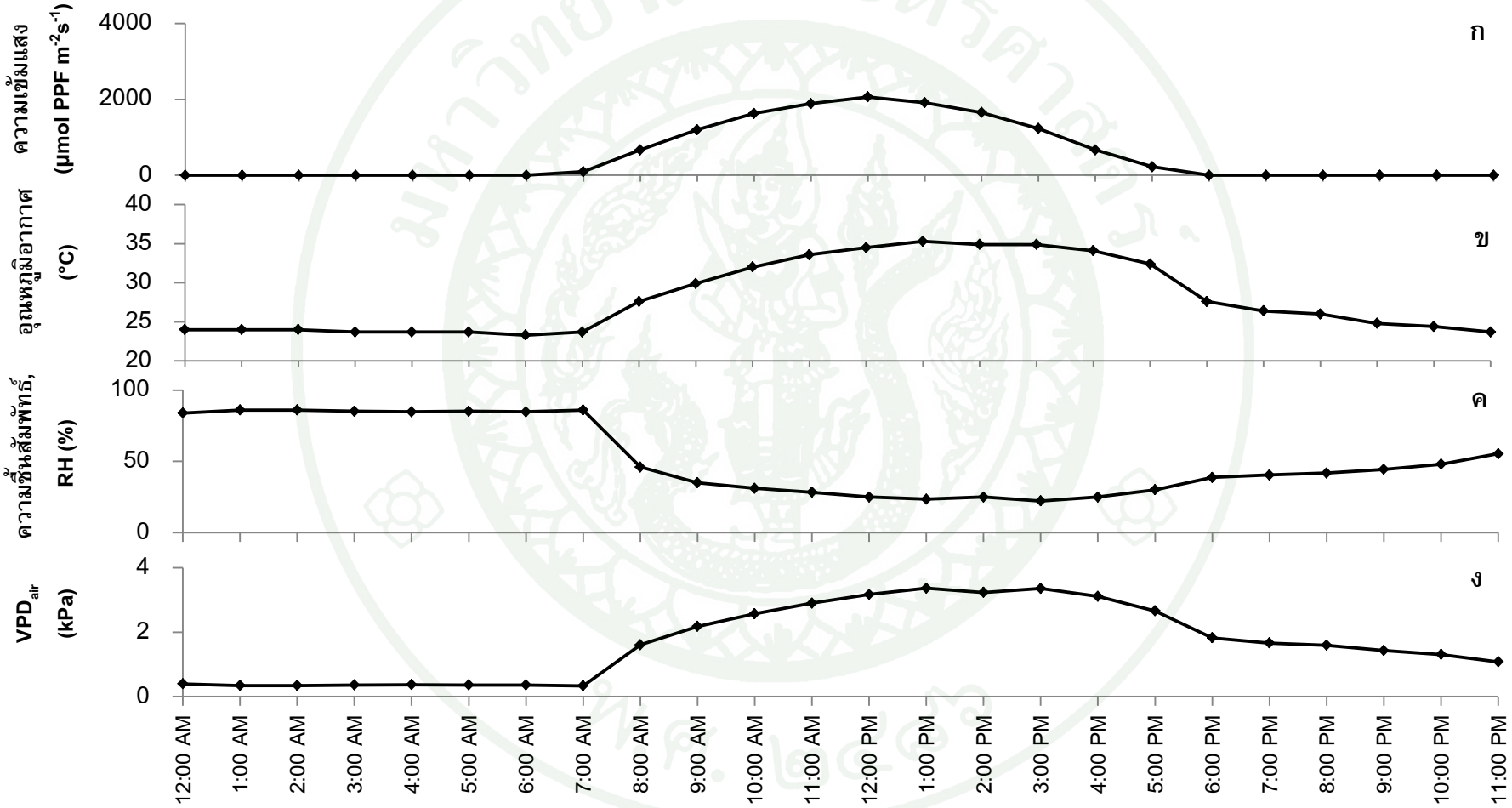
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 07.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 22.2 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 15.00 น. (ภาพที่ 7ค, ตารางผนวกที่ 4)

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa)

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 4 ในเวลากลางคืนตั้งแต่ 0.00 น. ไปจนถึง 7.00 น. มีค่อนข้างค่าคงที่ประมาณ 0.3-0.4 kPa หลังจากนั้นเมื่อสภาพอากาศเริ่มมีแสง และมีอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น ค่า VPD_{air} มีค่าเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยค่า VPD_{air} มากที่สุดที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 3.37 kPa หลังจากนั้น ค่า VPD_{air} มีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึง 16.00 น. ตั้งแต่ 16.00 น. ค่า VPD_{air} มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 18.00 น. หลังจากนั้น VPD_{air} มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลา 23.00 น. (ภาพที่ 7ง, ตารางผนวกที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 สภาพอากาศในแปลงอุ่นที่ทำการทดลองแสดงข้อมูลรอบวันในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 4 ที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งที่ 5 ที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์

ความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux, PPF)

ความเข้มแสงในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 5 ในช่วงเช้าท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆเล็กน้อย หลังจากพระอาทิตย์ขึ้นเริ่มมีแสงจนสามารถบันทึกค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่เวลา 07.00 น. มีค่าเท่ากับ 58.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุดที่เวลา 12.00 น. มีค่าเท่ากับ 1971.8 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ส่วนในช่วงบ่ายค่าความเข้มแสงที่ลดลงในช่วงบ่ายไม่ค่อยคงที่ มีความแปรปรวนของข้อมูลเล็กน้อย บางช่วงเวลาความเข้มแสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว เช่นในช่วงเวลา 13.00 น. และ 16.00 น. เนื่องจากมีเมฆเคลื่อนผ่านแปลงทดลอง จากนั้นค่าความเข้มแสงก็จะค่อยๆ ลดลงต่อเนื่อง สามารถบันทึกค่าความเข้มแสงในช่วงเวลาสุดท้ายที่ 17.00 น. มีค่าเท่ากับ 152.6 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งไม่มีแสงเวลาประมาณ 18.00 น. เมื่อพิจารณาในรอบวัน ความเข้มแสงที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1043.65 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าสูงสุดเท่ากับ 1971.8 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 12.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 58.7 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 8ก, ตารางผนวกที่ 4)

อุณหภูมิอากาศ (air temperature, T_{air})

ค่าอุณหภูมิอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 5 มีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันเช่นเดียวกับวันที่ทำการบันทึกข้อมูลวันอื่นๆ คือจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลากลางคืน มีค่าระหว่าง 22-23 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้า จนมีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 10.00 น. จากนั้นอุณหภูมิก็จะมีค่าระหว่าง 30-33 องศาเซลเซียส จนถึงเวลา 18.00 น. อุณหภูมิจะลดลงจนต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส อีกครั้ง และเริ่มคงที่หลังจากที่ไม่มีแสง เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.22 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.2 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.00 น. มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 22.1 องศาเซลเซียส ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 8ข, ตารางผนวกที่ 4)

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity, RH_{air})

ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 5 ในช่วงเวลากลางคืนมีค่าอยู่ระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ และเริ่มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อแสงและอุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 09.00 น. และค่อยๆ ลดลงในระดับหนึ่งมีค่าระหว่าง 20-25 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นก็จะค่อยๆ

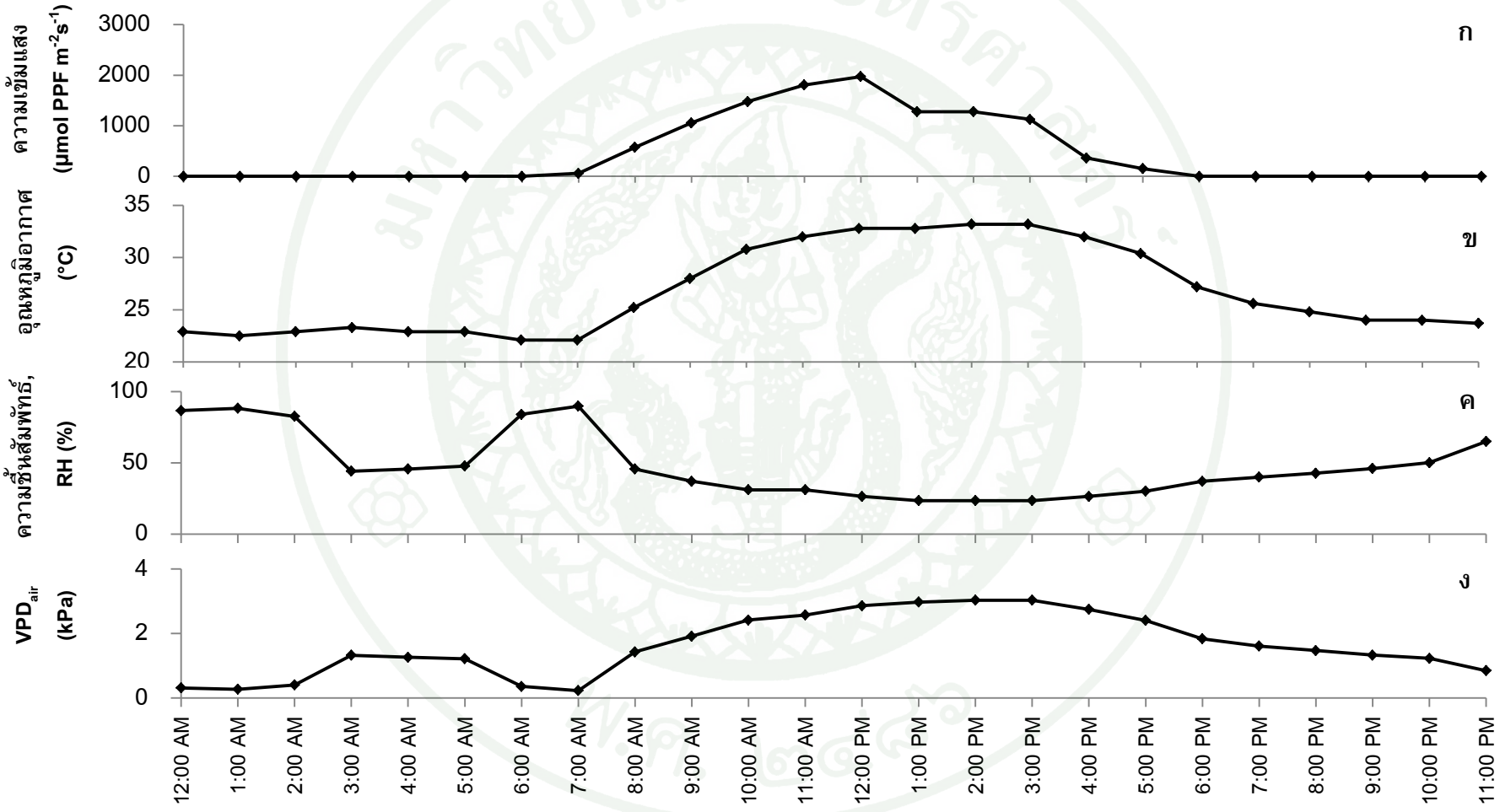
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 15.00 น. เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.27 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.8 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 07.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 23.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 13.00 น. ถึง 15.00 น. (ภาพที่ 8ค, ตารางผนวกที่ 4)

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa)

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 5 ในเวลากลางคืนช่วงเวลา 5.00 น. เกิดฝนตก ทำให้ค่า VPD_{air} ลดลงต่อเนื่องจนไปถึง 7.00 น. หลังจากฝนหยุดตก ค่า VPD_{air} ค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนมีค่ามากที่สุดที่เวลา 15.00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 3.03 kPa หลังจากนั้นค่า VPD_{air} มีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลา 23.00 น. (ภาพที่ 8ง, ตารางผนวกที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 สภาพอากาศในแปลงองุ่นที่ทำการทดลอง แสดงข้อมูลรอบวัน ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 5 ที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูลครั้งที่ 6 ที่ระยะอายุผล 7 สัปดาห์

ความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux, PPF)

ความเข้มแสงในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 6 สามารถบันทึกค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่เวลา 0.700 น. มีค่าเท่ากับ 70.4 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงก็สูงขึ้น จนที่เวลา 11.00 น. ค่าความเข้มแสงจะไม่ค่อนข้างคงที่ระดับการเพิ่มของวามเข้มแสงลดลง จากนั้นมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ช่วงเวลา 13.00 น. เป็นต้นไป โดยที่เวลา 14.00 น. ค่าความเข้มแสงลดลงอย่างรวดเร็ว จาก 1678.4 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ เหลือ 892.0 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ต่อเนื่อง สามารถบันทึกค่าความเข้มแสงในช่วงเวลาสุดท้ายที่ 17.00 น. มีค่าเท่ากับ 93.9 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งไม่มีแสงเวลาประมาณ 18.00 น. เมื่อพิจารณาในรอบวัน ความเข้มแสงที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 948.55 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ค่าสูงสุดเท่ากับ 1760.6 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 12.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 70.4 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$ ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 9ก, ตารางผนวกที่ 4)

อุณหภูมิอากาศ (air temperature, T_{air})

ค่าอุณหภูมิอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 6 มีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันเช่นเดียวกับวันที่ทำการบันทึกข้อมูลวันอื่นๆ อุณหภูมิในช่วงเวลากลางคืน มีค่าระหว่าง 21-23 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้า ตั้งแต่เวลา 8.00 น. จนมีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10.00 น. จากนั้นอุณหภูมิก็จะมีค่าระหว่าง 30-33 องศาเซลเซียส จนถึงเวลา 16.00 น. อุณหภูมิจะลดลงจนต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส อีกครั้ง และเริ่มคงที่หลังจากที่ไม่มีแสง เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.07 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.2 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.00 น. มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 22.1 องศาเซลเซียส ที่เวลา 07.00 น. (ภาพที่ 9ข, ตารางผนวกที่ 4)

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity, RH_{air})

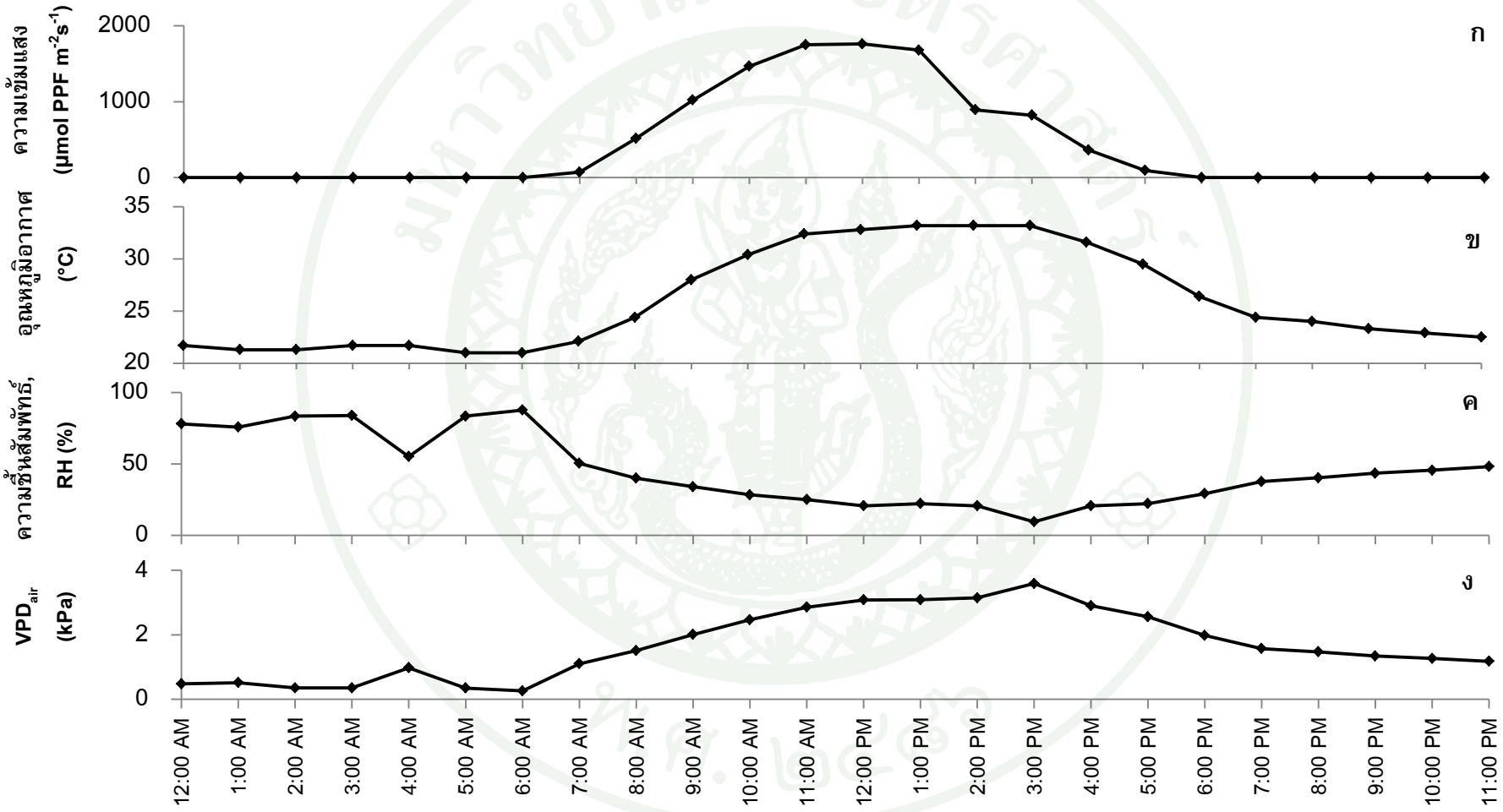
ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 6 เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวัน ตั้งแต่ 07.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่บันทึกได้ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.70 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 50.4 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 07.00 น. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 9.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 15.00 น. (ภาพที่ 9ค, ตารางผนวกที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}, kPa)

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ครั้งที่ 6 ในเวลากลางคืนตั้งแต่ 0.00 น. มีค่อนข้างค่าคงที่ จนถึงช่วงเวลา 6.00 น. ค่า VPD_{air} ค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนมีค่ามากที่สุดที่เวลา 15.00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 3.58 kPa หลังจากนั้นค่า VPD_{air} มีแนวโน้มค่อยๆ ลดลง จนถึงเวลา 23.00 น. (ภาพที่ 9ง, ตารางผนวกที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



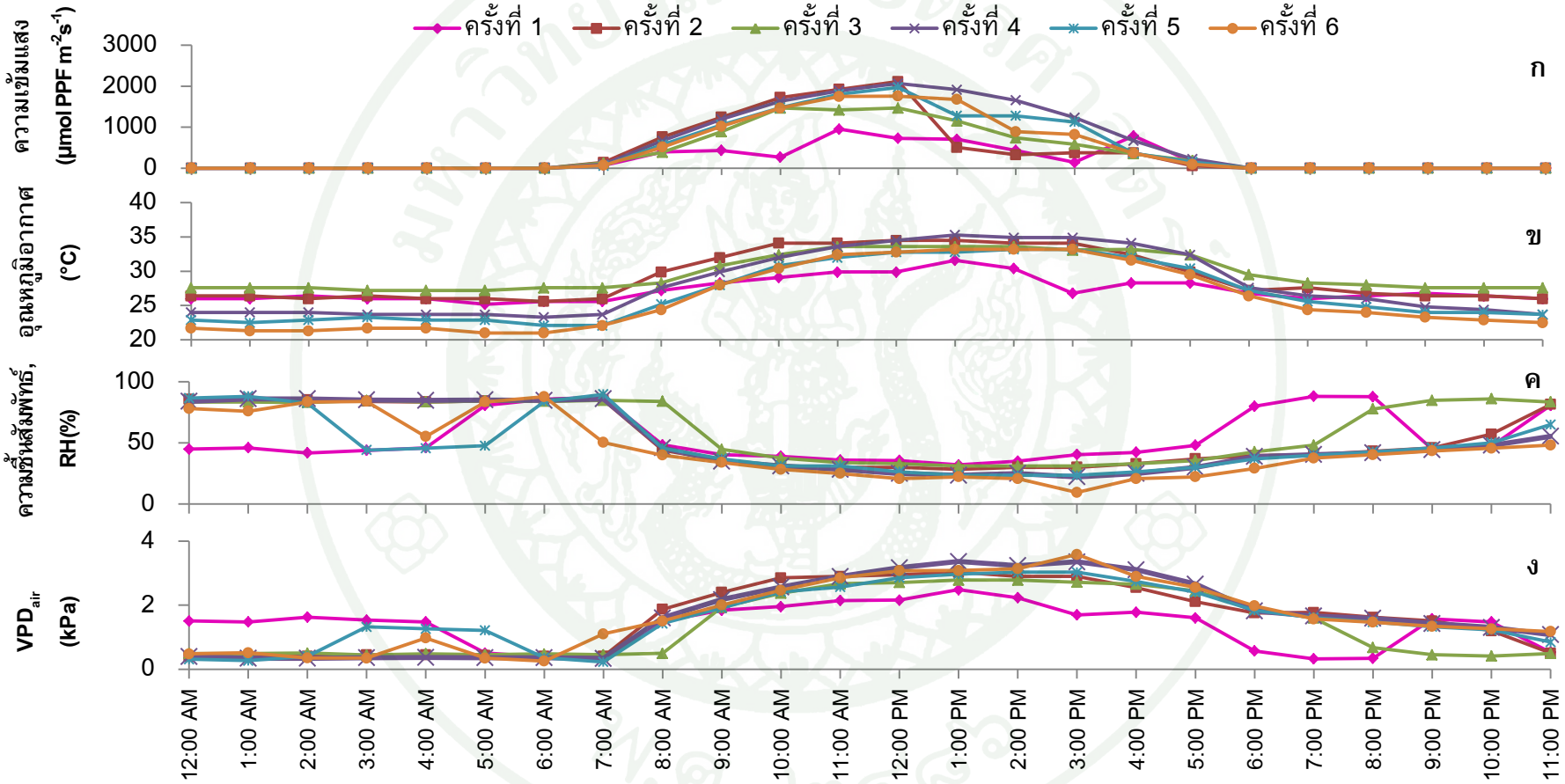
ภาพที่ 9 สภาพอากาศในแปลงองุ่นที่ทำการทดลอง แสดงข้อมูลรอบวัน ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ครั้งที่ 6 ที่ระยะอายุผล 7 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาสภาพอากาศในวันที่ทำการเก็บข้อมูล พบว่า ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ มีฝนตกระหว่างวัน และมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าจำนวนมาก ส่งผลทำให้ความเข้มแสงที่พืชได้รับลดลงจากเมฆที่บดบัง จึงทำให้ค่าความเข้มแสงที่เครื่องบันทึกข้อมูลสภาพอากาศบันทึกได้มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในรอบวันเช่นเดียวกัน มีค่าต่ำกว่าในวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ ในขณะที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงกว่าวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ เนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูงจากฝนที่ตก ส่งผลทำให้ค่า VPD_{air} มีค่าต่ำกว่าวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ หมายความว่า แรงดึงที่ทำให้น้ำระเหยเข้าสู่บรรยากาศมีค่าต่ำ โอกาสที่น้ำจะระเหยสู่บรรยากาศจึงยากกว่า สะท้อนให้เห็นว่าในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 พืชได้รับสภาพอากาศที่มีความรุนแรงน้อย เนื่องจากความเข้มแสงและอุณหภูมิอากาศที่พืชได้รับมีค่าไม่สูงมากนัก VPD_{air} มีค่าต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูง ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ สภาพอากาศมีความรุนแรงในช่วงเช้าเนื่องจากความเข้มแสงสูง แต่ในช่วงบ่ายค่าความเข้มแสงลดลงเนื่องจากมีเมฆบดบัง แต่ไม่มีฝนตก ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิกาศ และค่า VPD_{air} ในรอบวันไม่แตกต่างจากวันทำการบันทึกข้อมูลครั้งอื่นๆ มากนัก ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 ที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ สภาพอากาศมีความรุนแรงไม่มาก เมื่อเปรียบกับวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ เนื่องจากค่าความเข้มแสงเฉลี่ย และอุณหภูมิอากาศมีค่าไม่สูงมากนัก VPD_{air} มีค่าต่ำ ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าสูงกว่าวันที่ทำการเก็บข้อมูลอื่นๆ แต่ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 4 ที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ เป็นวันที่สภาพอากาศมีความรุนแรงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ เนื่องจากในวันที่เก็บข้อมูล ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆบดบัง ค่าความเข้มแสงที่เครื่องบันทึกสภาพอากาศบันทึกได้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าวันที่ทำการเก็บข้อมูลวันอื่นๆ นอกจากนี้อุณหภูมิอากาศ และค่า VPD_{air} ในรอบวันก็มีค่าสูงกว่าวันทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 5 ที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ สภาพอากาศมีความรุนแรงพอสมควร เนื่องจากมีความเข้มแสงสูง อุณหภูมิอากาศสูง VPD_{air} มีค่าค่อนข้างสูง ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีค่าต่ำ ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 6 ที่ระยะอายุผล 7 สัปดาห์ สภาพอากาศค่อนข้างมีความรุนแรงเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศค่อนข้างสูง และความชื้นสัมพันธ์ในรอบวันมีค่าต่ำกว่าวันที่ทำการเก็บข้อมูลครั้งอื่นๆ ทำให้ค่า VPD_{air} มีค่าสูงกว่าวันที่ทำการเก็บข้อมูลวันอื่นๆ แสดงว่าอากาศมีความแห้งรุนแรง ในขณะที่ความเข้มแสงมีค่าสูงเช่นเดียวกันในช่วงเช้าและลดลงต่ำกว่าวันอื่นๆ เล็กน้อยในช่วงบ่าย (ภาพที่ 10, ตารางผนวกที่ 4)

จากสภาพอากาศที่มีความรุนแรง กล่าวคือมีอุณหภูมิสูง มีความเข้มแสงที่สูง อากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และ VPD_{air} มีค่าสูง ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ส่งผลต่อการอัตราการสังเคราะห์แสงของพืช เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการเปิดปิดของปากใบ นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 สภาพอากาศในแปลงองุ่นที่ทำการทดลอง แสดงข้อมูลรอบวัน ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล ทั้งหมด 6 ครั้ง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 อายุผล 2 สัปดาห์, ครั้งที่ 2 อายุผล 3 สัปดาห์, ครั้งที่ 3 อายุผล 4 สัปดาห์, ครั้งที่ 4 อายุผล 5 สัปดาห์, ครั้งที่ 5 อายุผล 6 สัปดาห์และครั้งที่ 6 อายุผล 7 สัปดาห์; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส

ค่าที่ได้จากการใช้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิด (LI-6400XT) ในการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงโดยมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปากใบ (stomatal factor) ประกอบด้วย อุณหภูมิใบ (T_{leaf}) ค่าแรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf-air}$) ค่านำไหลปากใบ (g_s) อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*) สัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศ (Ci:Ca) อัตราการคายน้ำ (E) และสัดส่วนระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราคายน้ำ (*A*:E)

อุณหภูมิใบ (T_{leaf})

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิใบที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า เนื่องจากสภาพอากาศในวันที่เก็บข้อมูลครั้งที่ 1 มีความรุนแรงน้อยกว่าวันอื่นๆ ทำให้ค่าอุณหภูมิใบต่ำกว่าวันที่ทำการบันทึกข้อมูลวันอื่นๆ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ อุณหภูมิใบของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพอากาศมีความรุนแรงมากกว่าที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ แต่ในระยะอายุผล 4 สัปดาห์ กลับพบว่า ทุกชุดการทดลองมีอุณหภูมิใบลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิอากาศในวันบันทึกข้อมูลครั้งที่ 3 มีค่าลดลง จึงทำให้อุณหภูมิใบมีค่าลดลงด้วย หลังจากนั้นในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ ซึ่งเป็นวันที่สภาพอากาศมีความรุนแรงมากที่สุด ทุกชุดการทดลองมีค่าอุณหภูมิใบเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิใบมีค่าเท่ากับ 26.54, 26.17 และ 24.99 องศาเซลเซียส ในชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ชุดควบคุม และชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ตามลำดับ หลังจากนั้นในระยะอายุผล 6 สัปดาห์อุณหภูมิใบในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงจากที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ เนื่องจากสภาพอากาศมีความรุนแรงน้อยกว่า จากค่าความเข้มแสง และอุณหภูมิที่ต่ำกว่า มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า ค่า VPD_{air} ต่ำกว่า (ภาพที่ 10, ตารางผนวกที่ 4) ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินให้ค่าอุณหภูมิใบสูงกว่าชุดควบคุม จากนั้นในระยะอายุผล 7 สัปดาห์ พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีแนวโน้มให้ค่าอุณหภูมิใบ สูงกว่าชุดควบคุมเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างชุดทดลอง พบว่า ที่ระยะอายุผล 2 ถึง 5 สัปดาห์ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีแนวโน้มให้ค่าอุณหภูมิใบต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า ในระยะอายุผล 2 ถึง 5 สัปดาห์ การพ่นดินขาวเคโอลินจากอุตรดิตถ์สามารถลดอุณหภูมิใบได้ดีกว่าชุดทดลองอื่นๆ (ภาพที่ 11, ตารางผนวกที่ 5) การพ่นดินขาวเคโอลินสามารถให้ค่าอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมได้ เนื่องจากคุณสมบัติการช่วยสะท้อนแสงที่ตกกระทบลงบนใบพืช (คณพล และคณะ, 2554) พลังงานแสงส่วนเกินที่พืชได้รับก็ลดลง การเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อนในพืช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จึงลดลงทำให้อุณหภูมิที่สะสมในใบลดลงได้ แต่ในระยะอายุผล 6 สัปดาห์ไปจนถึง 7 สัปดาห์ ที่เป็นวันที่สภาพอากาศมีความรุนแรงมาก ชุดทดลองที่พ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีแนวโน้มให้ค่าอุณหภูมิใบสูงกว่าชุดควบคุม สันนิษฐานว่า เนื่องจากใบองุ่นในชุดควบคุม ได้รับความเข้มแสงแสงและอุณหภูมิสูงมาตั้งแต่เริ่มทำการทดลอง ใบพืชเกิดความเครียดมากกว่า ใบจึงมีกลไลการปรับตัวเพื่อให้ทนต่อสภาพอุณหภูมิสูง เช่น สร้าง salicylic acid เพิ่มมากขึ้นเพื่อเป็นสัญญาณกระตุ้นให้มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวให้ทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง และลดการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องการการสร้างเอนไซม์ protease ที่เกี่ยวข้องกับสลายของ ไทลาคอยด์เมมเบรน (Pan *et al*., 2006; Chen *et al*., 2006) ดังนั้นเมื่อพืชได้รับสภาพอากาศที่รุนแรงที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ อุณหภูมิใบจึงมีการเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก เพราะกลไลการปรับตัวเกิดขึ้นมาตั้งแต่ช่วงต้นของการทดลองแล้ว แต่ในกรณีของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลิน ใบได้รับความเข้มแสงที่น้อยกว่าชุดควบคุมมาตลอด กลไกการป้องกันตัวเองเพื่อให้ทนต่ออุณหภูมิสูงจึงเกิดขึ้นน้อยกว่า หลังจากนั้นเมื่อใบได้รับสภาพอากาศที่รุนแรง ใบจึงได้รับความเสียหายมากกว่า ดังนั้นจึงทำให้ค่าอุณหภูมิใบช่วงท้ายของการทดลองของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม

แรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf\text{-}air}$)

การเปลี่ยนแปลงของค่า $VPD_{leaf\text{-}air}$ ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า แรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศมีค่าแปรปรวนขึ้นลงเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ไม่มีแนวโน้มชัดเจน หากพิจารณาในวันที่เก็บข้อมูลครั้งที่ 1 ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ ค่า $VPD_{leaf\text{-}air}$ มีค่าต่ำ อยู่ระหว่าง 0.5-0.7 หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ $VPD_{leaf\text{-}air}$ มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูลมีความรุนแรงมากกว่าที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ จากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ ค่า $VPD_{leaf\text{-}air}$ มีค่าลดลง แล้วเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ โดยเฉพาะชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง เนื่องจากสภาพอากาศมีรุนแรง ความเข้มแสง และอุณหภูมิอากาศ รวมไปถึง VPD_{air} มีค่าสูงกว่าที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ จากนั้นที่ระยะอายุผล 6 ค่า $VPD_{leaf\text{-}air}$ มีค่าลดลงเล็กน้อยในทุกชุดการทดลอง แล้วกลับมาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะอายุผล 6 สัปดาห์ ระดับของการเปลี่ยนแปลงค่า $VPD_{leaf\text{-}air}$ มีค่าน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อทำการวัดที่ระยะอายุผลเพิ่มมากขึ้นในแต่ละสัปดาห์ ทำให้ค่า $VPD_{leaf\text{-}air}$ ในสัปดาห์ท้ายๆ ของการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มาก เมื่อเทียบกับช่วงต้นของการทดลอง หากพิจารณาความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง พบว่า ในช่วงต้นของการทดลอง ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีค่า $VPD_{leaf\text{-}air}$ สูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ แต่หลังจากนั้นในระยะอายุผล 6 และ 7 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีแนวโน้มให้ค่า $VPD_{leaf-air}$ สูงขึ้นกว่าชุดทดลองอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 12, ตารางผนวกที่ 5)

ค่านำไหลปากใบ (g_s)

การเปลี่ยนแปลงของค่านำไหลปากใบที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า ค่านำไหลปากใบเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศในวันที่บันทึกข้อมูล ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่านำไหลปากใบใน 6 ครั้งที่บันทึกข้อมูล มีค่าแปรปรวนขึ้นลงตามความรุนแรงของสภาพอากาศในวันนั้น ไม่มีแนวโน้มชัดเจน หากพิจารณาในวันบันทึกข้อมูลครั้งที่ 1 ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ พบว่าค่านำไหลปากใบมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดควบคุมมีค่านำไหลปากใบสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ จากนั้นที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ ค่านำไหลปากใบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสภาพอากาศในวันที่ทำการบันทึกข้อมูลครั้งที่ 2 มีความรุนแรงกว่าครั้งที่ 1 จากนั้นค่านำไหลปากใบกลับมาเพิ่มสูงขึ้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ และลดลงที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์อย่างชัดเจน เนื่องจากสภาพอากาศมีความรุนแรงกว่าวันที่ทำการบันทึกข้อมูลครั้งอื่นๆ จากนั้นค่านำไหลปากใบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ และสุดท้ายในระยะอายุผล 7 สัปดาห์ ค่านำไหลปากใบมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างชุดทดลอง พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินมีแนวโน้มให้ค่านำไหลปากใบสูงกว่าชุดควบคุมที่ระยะอายุผล 4, 6 และ 7 สัปดาห์ ตามลำดับ (ภาพที่ 13, ตารางผนวกที่ 5)

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (*A*)

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า ในช่วงต้นของการทดลองที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากอุตรดิตถ์มีค่าต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และชุดควบคุมมีแนวโน้มลดลง จากสภาพอากาศที่รุนแรงกว่าวันที่ทำการบันทกข้อมูลที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ แต่ในชุดการทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากอุตรดิตถ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ สภาพอากาศมีความรุนแรงน้อยลงจากระยะอายุผล 3 สัปดาห์ ทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุรดิตถ์ให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 12.98 $\mu molCO_2\ m^{-2}s^{-1}$ ในขณะที่ชุดทดลองทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และชุดควบคุม มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเท่ากับ 10.53 และ 10.72 $\mu molCO_2\ m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ แต่หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 5 ถึง 7 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งสามารถรักษาค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิให้มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมได้ โดยเฉพาะ ที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ ซึ่งเป็นวันที่สภาพอากาศรุนแรงกว่าวันที่บันทึกข้อมูลครั้งอื่นๆ ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากอุตรดิตถ์มีค่าสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 10.99 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} ในขณะที่ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 6.38 และ 6.80 μmolCO_2 m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ (ภาพที่ 14, ตารางผนวกที่ 5)

สัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศ (Ci:Ca)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศหลังเริ่มต้นพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ ค่า Ci:Ca มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8-0.9 หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ ค่า Ci:Ca มีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ ค่า Ci:Ca ของชุดควบคุม และชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ในชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีค่าค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 5 ถึง 7 สัปดาห์ ชุดควบคุม และชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง มีแนวโน้มให้ค่า Ci:Ca เพิ่มขึ้น แต่ในชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีแนวโน้มให้ค่า Ci:Ca ลดลงจากระยะอายุผล 5 สัปดาห์ และค่อนข้างคงที่ไปจนถึงระยะอายุผล 7 สัปดาห์ จึงทำให้ค่า Ci:Ca มีค่าน้อยกว่าชุดทดลองอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 15, ตารางผนวกที่ 5)

โดยทั่วไป ใบพืชจะสังเคราะห์แสงได้ดีเมื่อมีแสง มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพียงพอ และปากใบเปิดเป็นปกติ โดยค่าสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศ (Ci:Ca) หากมีค่าต่ำกว่า 1 หมายความว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในช่องว่างในใบมีค่าต่ำกว่าเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ยิ่งมีค่าต่ำแสดงว่าพืชนำคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบไปใช้ใน Calvin cycle ได้มาก (รุ่งนภา, 2552) หากค่า Ci:Ca มีค่าเฉลี่ยเกิน 1 หมายความว่าขณะนั้นพืชไม่สามารถนำเอาคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมอยู่ภายในใบไปใช้ได้ อัตราสังเคราะห์สังเคราะห์แสงสุทธิจึงมีค่าต่ำ โดยทั่วไปพืช C_3 มีค่า Ci:Ca ประมาณ 0.7 แต่ในช่วงเวลากลางคืน เป็นช่วงเวลาที่พืชหายใจปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ประกอบกับปากใบปิดแคบลง และไม่มีการนำไปใช้ใน Calvin cycle คาร์บอนไดออกไซด์จึงสะสมอยู่ภายในใบมาก ทำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้ค่า Ci:Ca มีค่าสูง (คัทลียา, 2547) ในการทดลอง ค่า Ci:Ca มีค่าต่ำกว่า 1 ในทุกครั้งที่ทำการบันทึกข้อมูล หมายความว่าใบอ่อน สามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบไปใช้ใน Calvin cycle ได้ดี เมื่อพิจารณาผลของดินขาวเคโอลิน พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ทำให้ค่า Ci:Ca ลดลงตั้งแต่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์จึงทำให้ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถรักษาระดับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิได้ดีกว่าชุดทดลองอื่นๆ เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ สัมพันธ์กับค่า Ci:Ca โดยเมื่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ค่า Ci:Ca จะลดลง แสดงว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง ทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างภายในใบต่ำ และมีอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิสูงขึ้น (สุนทรีและคณะ, 2544)

อัตราการคายน้ำ (E)

การเปลี่ยนแปลงของอัตราการคายน้ำที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์อัตราการคายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะอายุผล 2 สัปดาห์ในทุกชุดการทดลอง หลังจากนั้นอัตราการคายน้ำมีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องไปจนถึงระยะอายุผล 7 สัปดาห์ โดยที่ระยะอายุผล 3 ถึง 6 สัปดาห์ ค่าอัตราการคายน้ำในทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ระยะอายุผล 7 สัปดาห์ ชุดควบคุมมีค่าอัตราการคายน้ำต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ ในขณะที่การพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีค่าอัตราการคายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 16, ตารางผนวกที่ 5)

เมื่อพิจารณาผลจากการพ่นดินขาวเคโอลิน พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินทำให้ค่าอัตราการคายน้ำของใบอ่อนเพิ่มสูงขึ้นในระยะอายุผล 4 ถึง 6 สัปดาห์ เมื่ออัตราการคายน้ำเพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้อุณหภูมิใบลดลง ความเสียหายจากความร้อนของใบก็ลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Glenn *et al*., (2001) ที่ทำการทดลองพ่นดินขาวเคโอลินให้กับแอปเปิ้ล ในหลายๆ แปลงทดลอง แต่พบว่าที่เมือง Wenatchee การพ่นดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มอัตราการคายน้ำให้กับแอปเปิ้ลได้ เนื่องจากสามารถเพิ่มค่านำไหลปากใบได้ แต่ในการทดลองที่เมืองอื่นๆ และการทดลองกับมะเขือเทศการพ่นดินขาวเคโอลินทำให้อัตราการคายน้ำมีค่าลดลง (Cantore *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัดส่วนระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราการคายน้ำ (*A*:E)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราคายน้ำของใบอ่อนหลังจากได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ ค่า *A*:E มีค่าระหว่าง 2.7-3.1 หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ ค่า *A*:E มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในทุกชุดการทดลอง แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ ค่า *A*:E มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง โดยชุดควบคุมมีแนวโน้มให้ค่า *A*:E มากกว่าชุดทดลองอื่นๆ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 5 ถึง 7 สัปดาห์ พบว่า ค่า *A*:E ของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 17, ตารางผนวกที่ 5)

อุณหภูมิใบมีค่าสูงหรือต่ำเป็นผลมาจากสภาพอากาศที่ใบได้รับในแต่ละวันที่บันทึกข้อมูล หากสภาพอากาศมีความเข้มแสงสูง มีอุณหภูมิอากาศสูงในระหว่างวัน ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ค่า VPD_{air} สูง ทำให้การสะสมความร้อนในใบพืชมีมากขึ้น อุณหภูมิใบจึงมีค่าสูงขึ้น เช่นในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ที่สภาพอากาศมีความรุนแรงมากที่สุด มีความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 2065.7 μmol PPF $m^{-2} s^{-1}$ อุณหภูมิอากาศสูงสุดเท่ากับ 35.3 องศาเซลเซียส ค่า VPD_{air} มีค่าเท่ากับ 3.37 kPa ส่งผลทำให้อุณหภูมิใบมีค่าสูงกว่าวันที่ทำการบันทึกข้อมูลวันอื่นๆ เมื่อใบพืชมีอุณหภูมิสูง กลไกสำคัญในการระบายความร้อนในใบพืชก็คือ การคายน้ำ ซึ่งเมื่อพืชคายน้ำความร้อนที่สะสมอยู่ในใบก็จะถูกน้ำพาออกไปยังบรรยากาศด้วย ความร้อนในใบพืชจึงสามารถลดลงได้ แต่การคายน้ำจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อย มีปัจจัยควบคุมอยู่หลายประการ ทั้งในเรื่องของค่านำไหลปากใบ สภาพอากาศ ณ ขณะนั้น อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และค่า VPD_{air} อันเป็นผลทำให้ค่าแรงดึงระเหยน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf-air}$) เกิดขึ้นได้ไม่เท่ากัน (สุนทรีและคณะ, 2544) ค่า $VPD_{leaf-air}$ เป็นค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างภายในใบกับในอากาศภายนอก ค่า $VPD_{leaf-air}$ ที่สูงแสดงว่าความดันไอน้ำในใบมีค่าแตกต่างกับความดันไอน้ำในอากาศภายนอกมาก การคายน้ำของพืชออกสู่อากาศก็จะเกิดขึ้นได้ง่าย โดยยิ่งหากอากาศแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมากๆ ก็จะมีแรงดึงระเหยน้ำจากใบสู่อากาศสูง ทำให้พืชมีโอกาสสูญเสียน้ำจากคายน้ำได้มาก พืชจึงมีกลไลที่จะควบคุมไม่ให้เกิดการคายน้ำมากเกินไป โดยการปิดปากใบให้แคบลง เพื่อลดการคายน้ำ ทำให้ค่านำไหลปากใบของพืชมีค่าลดลง ค่านำไหลปากใบ (g_s) เป็นปัจจัยควบคุมการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำผ่านทางปากใบ ซึ่งค่านำไหลปากใบเป็นค่าที่บอกระดับการเปิดปิดของปากใบ หากค่านำไหลปากใบมีค่ามาก แสดงถึงปากใบเปิดกว้างให้แก๊สไหลผ่านปากใบได้มาก หากค่านำไหลปากใบลดลง หมายถึงปากใบปิดแคบลง แก๊สที่ไหลผ่านปากใบก็จะลดลง (สุนทรีและคณะ, 2544) ดังนั้นสภาพอากาศจึงมีอิทธิพลอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มากในการเปิดปิดปากใบของพืช ทั้งอุณหภูมิอากาศ ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเร็วลม ฯลฯ เมื่อปากใบพืชถูกปิดให้แคบลงอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ก็ลดลงด้วย ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิลดลงเช่นกัน (สุนทรีและคณะ, 2544) อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสามารถคำนวณได้จาก ผลคูณของค่านำไหลปากใบ (g_s) กับแรงขับเคลื่อน โดยแรงขับเคลื่อนก็คือความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (Ca) กับ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในช่องว่างภายในใบ (Ci) หากความแตกต่างระหว่าง Ci และ Ca มีค่ามาก แสดงว่าพืชนำคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างระหว่างใบไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงมาก จึงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบมีค่าเพิ่มขึ้นได้ นอกจากการปิดปากใบจะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง อัตราการแลกเปลี่ยนไอน้ำระหว่างใบกับอากาศภายนอกก็ลดลงเช่นกัน จึงเป็นผลทำให้ไอน้ำไหลผ่านออกนอกใบได้น้อยลง อัตราการคายน้ำ (E) จึงมีค่าลดลง อัตราคายน้ำเป็นผลคูณของค่านำไหลปากใบของไอน้ำกับแรงขับเคลื่อน คือ ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างภายในใบกับอากาศ ($VPD_{leaf-air}$) หมายความว่าพืชจะมีอัตราการคายน้ำมากหรือน้อยส่วนหนึ่งเป็นผลมากจาก การเปิด-ปิดของปากใบ และความแตกต่างของไอน้ำภายในใบกับภายนอกใบเป็นสำคัญ เมื่อพิจารณาอัตราการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำผ่านทางปากใบของพืช กับอัตราการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้น คิดเป็นสัดส่วนเปรียบเทียบกัน ค่าสัดส่วนระหว่างอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราคายน้ำ (*A*:E) จึงเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำว่า หากพืชเปิดปากใบ พืชมีอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากหรือน้อยเพียงใด ในขณะที่มีการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำเกิดขึ้น 1 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ ควบคู่ไปด้วย ถ้าค่า *A*:E มีค่าสูงแสดงว่าพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นสูงจากการสูญเสียน้ำ 1 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ หมายความว่าพืชมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูง (สุนทรีและคณะ, 2544)

จากผลการทดลอง ในระยะอายุผล 2 สัปดาห์ เนื่องจากสภาพอากาศมีความรุนแรงน้อย จากค่าความเข้มแสงที่ต่ำ เท่ากับ 950.7 μmolPPF $m^{-2}s^{-1}$ มีความชื้นสัมพัทธ์สูง 87.3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 31.6 องศาเซลเซียส VPD_{air} มีค่า 2.49 kPa ทำให้ใบพืชมีอุณหภูมิใบไม่สูงมาก $VPD_{leaf-air}$ มีค่าต่ำ พืชจึงเปิดปากใบได้มาก ทำให้ค่านำไหลปากใบมีค่าสูง อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำจึงมีค่าสูง ทำให้ค่าสังเคราะห์แสงสุทธิและอัตราการคายน้ำ จึงไม่ลดลงจากผลของสภาพอากาศ การใช้ดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งเพื่อลดผลกระทบจากสภาพอากาศที่รุนแรงจึงไม่เห็นผลชัดเจนในการรักษาค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของพืช หลังจากนั้นในระยะอายุผล 3 สัปดาห์ สภาพอากาศมีความรุนแรงเล็กน้อยในช่วงเช้า พืชจึงได้รับอุณหภูมิสูง ความเข้มแสงสูงกว่าที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ เป็นผลทำให้ค่าอุณหภูมิใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากในระยะอายุผล 2 สัปดาห์ ในทุกชุดการทดลอง $VPD_{leaf-air}$ มีค่าเพิ่มสูงขึ้น หมายความว่าพืชมีโอกาสสูญเสียน้ำได้ง่ายเนื่องจากความดันไอน้ำภายในใบและ

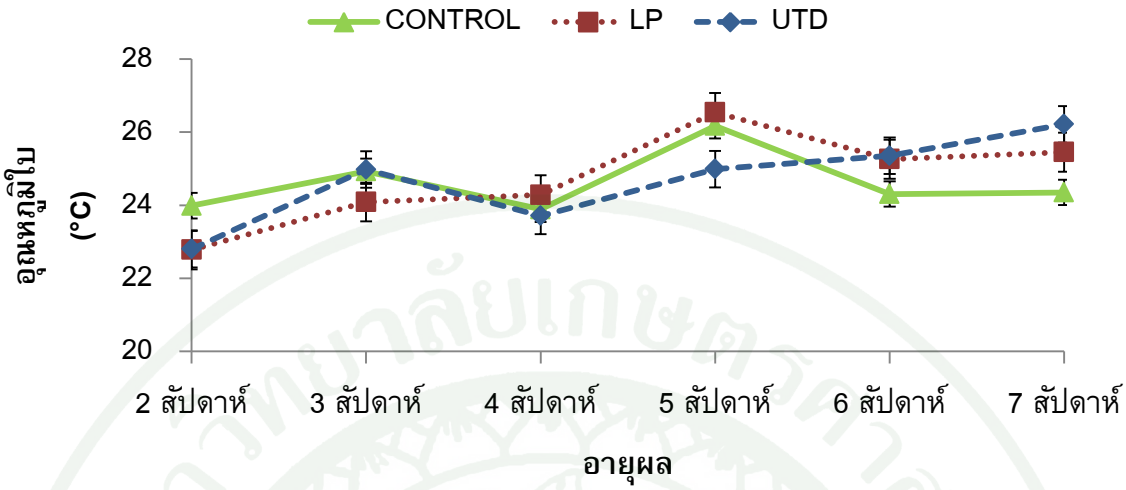
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภายนอกใบแตกต่างกันมาก พืชจึงลดการเปิดปากใบลง ส่งผลทำให้ค่านำไหลปากใบมีค่าลดลง แต่สัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศ มีค่าไม่แตกต่างจากที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์มากนัก จึงทำให้พืชสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ใกล้เคียงกับที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ ทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของพืชไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จากนั้นในระยะอายุผล 4 สัปดาห์ ทุกชุดการทดลองมีอุณหภูมิใบลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิอากาศในวันบันทึกข้อมูลครั้งที่ 3 มีค่าลดลง จึงทำให้อุณหภูมิใบมีค่าลดลง ค่า $VPD_{leaf-air}$ มีค่าลดลงเช่นกัน ค่านำไหลปากใบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่อัตราการคายน้ำลดลงเนื่องจาก $VPD_{leaf-air}$ ที่มีค่าลดลงแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของไอน้ำภายในใบและภายนอกใบมีค่าน้อย ไอน้ำจึงแพร่ออกสู่อากาศได้ยาก แม้ว่าปากใบจะเปิดมากขึ้นก็ตาม หลังจากนั้นในระยะอายุผล 5 ถึง 7 สัปดาห์สภาพอากาศมีความรุนแรงใกล้เคียงกัน โดยในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ สภาพอากาศมีความรุนแรงมากที่สุด มีค่าความเข้มแสงสูงสุดในรอบวันเท่ากับ 2065.7 μmolPPF $m^{-2}s^{-1}$ มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเท่ากับ 22.2 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงสุดเท่ากับ 35.3 องศาเซลเซียส และ VPD_{air} มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.37 kPa จากสภาพอากาศที่รุนแรงส่งผลให้ใบพืชได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศชัดเจนกว่าที่ระยะอายุผลก่อนหน้านี้ เห็นได้จาก เมื่อพิจารณาอุณหภูมิใบ พบว่าอุณหภูมิใบมีค่าสูงกว่าในวันที่บันทึกข้อมูลวันอื่นๆ และ $VPD_{leaf-air}$ มีค่าเพิ่มสูงขึ้น หมายความว่าพืชมีโอกาสสูญเสียน้ำได้ง่ายเนื่องจากความดันไอน้ำภายในใบและภายนอกใบแตกต่างกันมาก พืชจึงลดการเปิดปากใบลง ส่งผลทำให้ค่านำไหลปากใบมีค่าลดลง การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ภายในและภายนอกใบจึงลดลง ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจึงมีค่าลดลง แต่อัตราการคายน้ำมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือสัดส่วนระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราการคายน้ำมีค่าลดลง จากสภาพอากาศที่รุนแรงทำให้เห็นผลของดินขาวเคโอลินในการลดความเสียหายจากสถาพอากาศได้ชัดเจน โดยเห็นได้จากที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถทำให้อุณหภูมิใบมีค่าต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า Ci:Ca มีแนวโน้มต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ เช่นกัน แสดงถึงคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างระหว่างใบถูกตรึงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงมาก จึงเป็นผลทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจากการพ่นดินขาวเคโอลิน มีแนวโน้มสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ ในขณะที่ค่านำไหลปากใบ ค่า $VPD_{leaf-air}$ ค่าอัตราการคายน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง และเนื่องจากค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่อัตราการคายน้ำมีค่าไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่า *A*:E หรือประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชจากชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีแนวโน้มให้ค่ามีประสิทธิภาพการใช้น้ำได้ดีกว่าชุดควบคุมและการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองในเกรฟฟรุต การพ่นดินขาวเคโอลิน

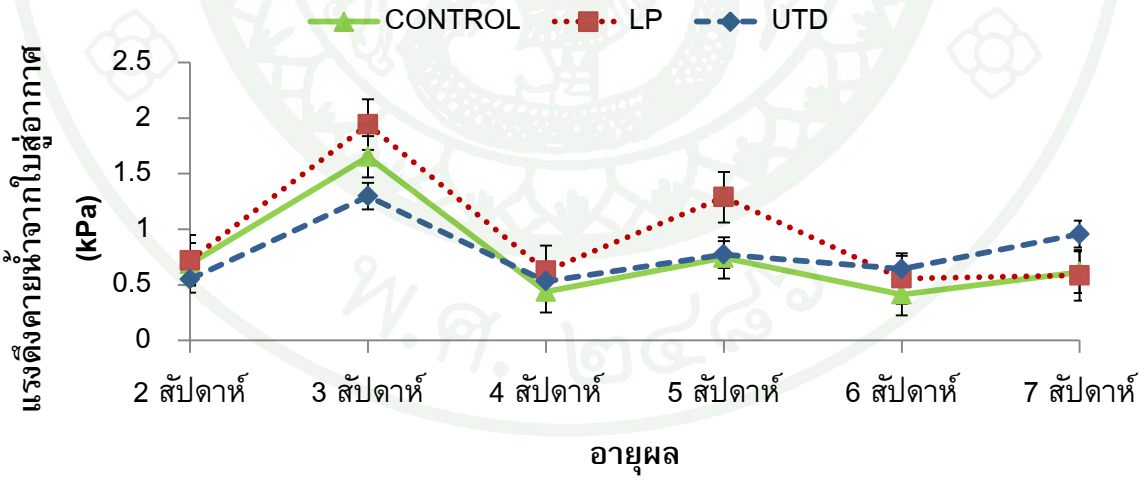
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำได้ดีกว่าชุดควบคุมถึง 25 เปอร์เซ็นต์ (Jifon and Syvertsen, 2003) จากนั้นในระยะอายุผล 6 และ 7 สัปดาห์ สภาพอากาศมีความรุนแรงใกล้เคียงกับที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ คือมีความเข้มแสงและอุณหภูมิอากาศสูง ค่า VPD_{air} สูง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้ผลของการพ่นดินขาวเคโอลินในการลดความเสียหายจากสภาพอากาศในฤดูแล้งเห็นผลชัดเจนเช่นเดียวกับที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ กล่าวคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งสามารถรักษาค่าอัตราการสังเคราะห์แสงให้มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมได้ (ตารางผนวกที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

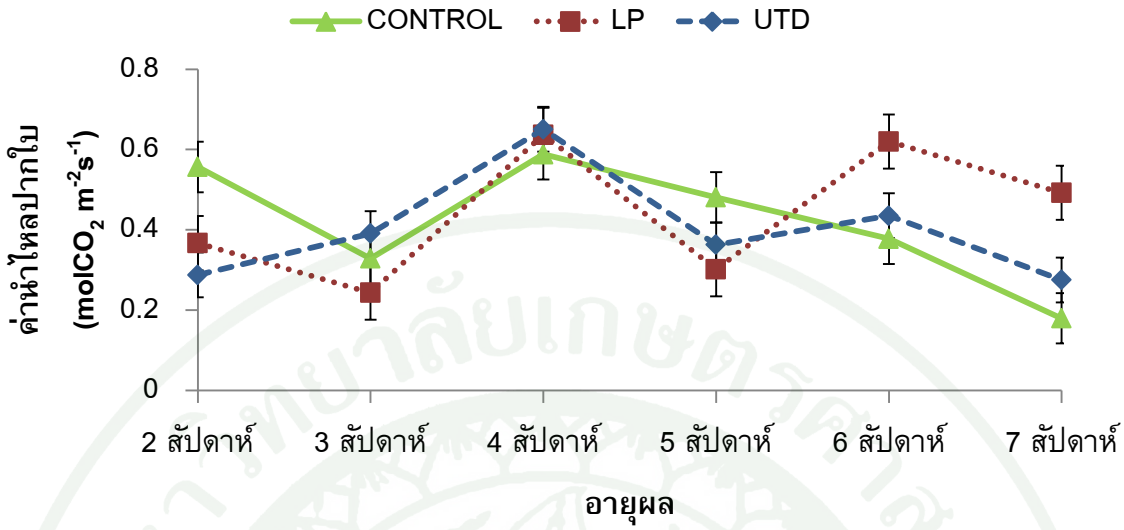


ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใบ ของใบอ่อนทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

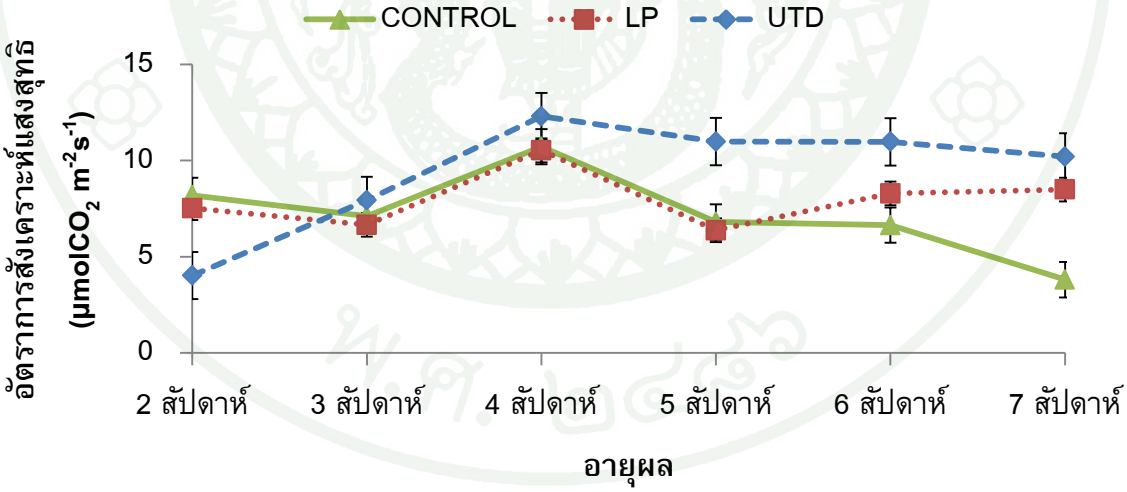


ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงแรงดึงดายน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf-air}$) ของใบอ่อนทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

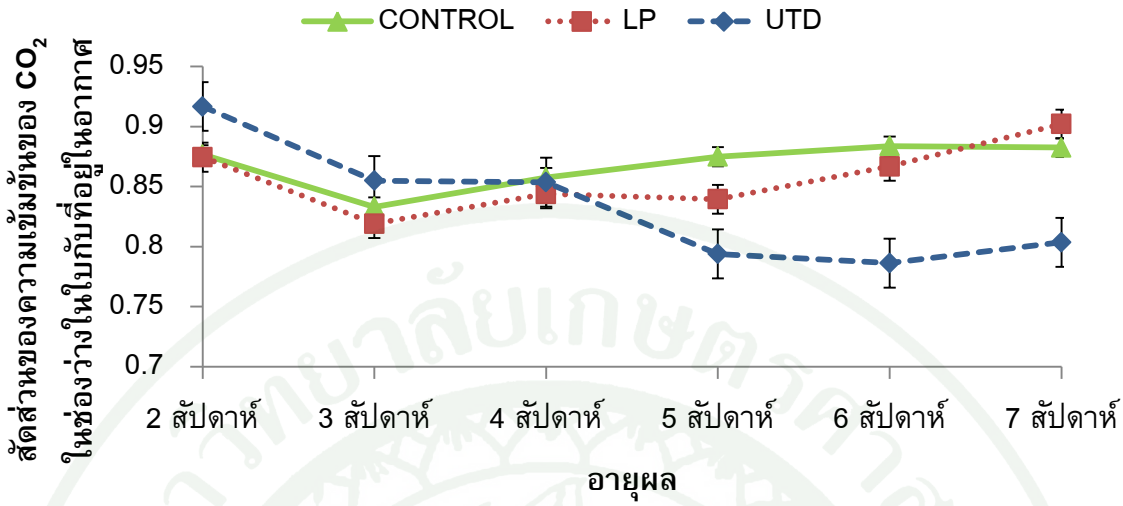


ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่านำไหลปากใบ ของใบอ่อนทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

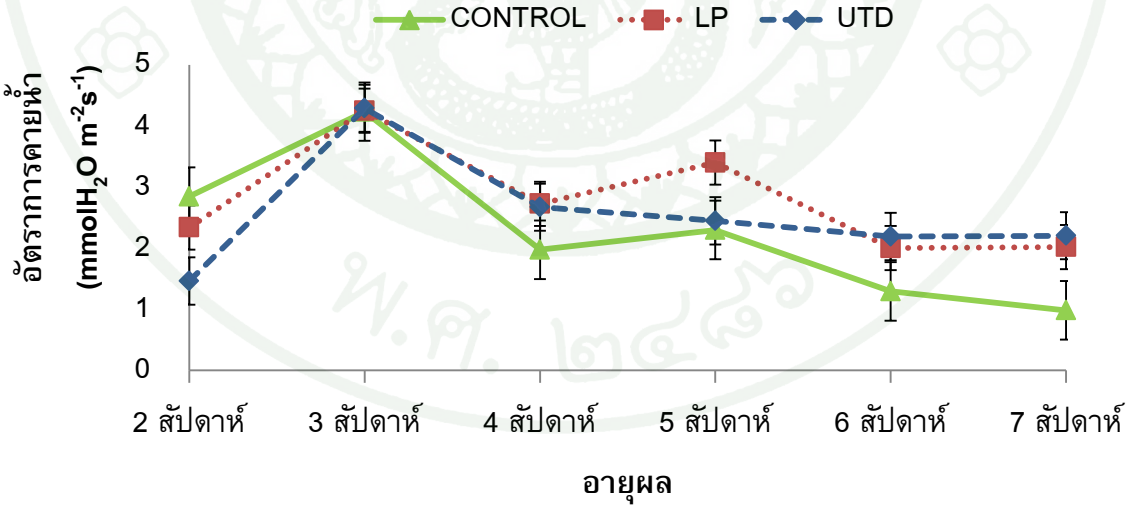


ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิของใบอ่อนทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

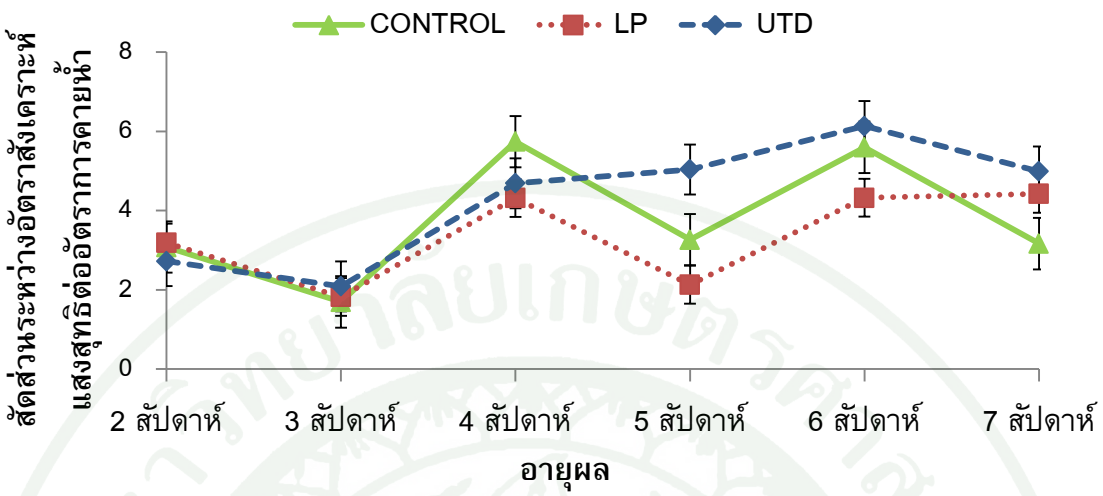


ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศเฉลี่ย ของใบอ่อนทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงอัตราการคายน้ำ ของใบอ่อนทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราการคายน้ำของใบอ่อนทั้ง 6 ครั้ง จากเครื่อง LI-6400XT เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิภาพการใช้แสง

ค่าที่ได้จากการใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพการใช้แสง (PAM-2100) ในการวัดประสิทธิภาพการใช้แสง เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงโดยมาจากปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับปากใบ (non-stomatal factor) แต่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบแสงสอง ประกอบด้วย ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm), Photochemical quenching (qP), Non-photochemical quenching (qN) และ Electron transport rate (ETR)

ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm)

การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด หลังเริ่มต้นพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์ พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งสามารถรักษาค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด ให้มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการบันทึกข้อมูลทั้ง 3 ครั้ง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.68-0.72 แต่ในกรณีของชุดควบคุมจะมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดต่ำกว่าชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะอายุผล 4 สัปดาห์ ชุดควบคุมมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด เท่ากับ 0.463 ในขณะที่ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางและอุตรดิตถ์ มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด เท่ากับ 0.681 และ 0.722 ตามลำดับ (ภาพที่ 18ก, ตารางผนวกที่ 6)

ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด เป็นสัดส่วนของปริมาณโฟตอนหรือพลังงานแสงที่พืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เทียบกับปริมาณโฟตอนทั้งหมดที่พืชดูดไว้ ดังนั้นจึงเป็นค่าที่บ่งบอกถึงศักยภาพของระบบแสงสอง (PSII) ในการนำแสงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการสังเคราะห์แสงด้วย (สุนทรีและธาดา, 2543) โดยในพืชที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติจะมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด ประมาณ 0.80-0.83 (Björkman and Demmig, 1987) หากพืชมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดน้อยกว่าระดับดังกล่าว แสดงว่าพืชอยู่ในสภาวะเครียด และเกิดกระบวนการ photoinhibition เป็นสาเหตุให้ระบบแสงสองเกิดความเสียหายได้ (Maxwell and Johnson, 2000; Calatayud and Barreno, 2004) ในการบันทึกข้อมูลทั้งสามครั้ง ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของทุกชุดทดลอง มีค่าต่ำกว่า 0.80 แสดงให้เห็นว่าองุ่นในทุกชุดการทดลองอยู่ในสภาวะเครียด เนื่องจากได้รับอุณหภูมิและความเข้มแสงที่สูงมาก แต่ที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ การพ่นดินขาวเคโอลินสามารถช่วยรักษาค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดได้ดีกว่าชุดควบคุม แสดงให้เห็นถึง ดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีประสิทธิภาพในการบรรเทาความเครียดจากความร้อนกับต้นองุ่นได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Photochemical quenching (qP)

ค่า photochemical quenching (qP) หลังเริ่มต้นพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า photochemical quenching (qP) ของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทางเดียวกัน คือมีค่าลดลงในระยะอายุผล 4 สัปดาห์และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะอายุผล 5 สัปดาห์แต่ในกรณีของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า มีแนวโน้มตรงข้ามกับชุดทดลองอื่น โดยค่า photochemical quenching (qP) ในระยะอายุผล 4 สัปดาห์มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะอายุผล 3 สัปดาห์ แล้วลดลงในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ (ภาพที่ 18ค, ตารางผนวกที่ 6)

ค่า qP (photochemical quenching) เป็นค่าแสดงถึงสัดส่วนของศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสงสองว่ายังเปิดรับอิเล็กตรอนได้อีกเท่าใด หลังจากเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนต่อไปยังตัวรับตัวอื่น (Genty *et al*., 1989) จากผลการทดลอง พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถเพิ่มค่า qP ได้ในระยะอายุผล 4 สัปดาห์ การเพิ่มขึ้นของค่า qP นั้นชี้ให้เห็นว่าเกิดการลดลง quinone A ที่ถูกรีดิวซ์ในระบบแสงสอง แสดงว่า plastoquinone กลับมาอยู่ในสภาพออกซิไดซ์ได้มากขึ้น สามารเปิดรับอิเล็กตรอนเข้ามาได้อีก พืชจึงสามารถนำพลังงานแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น การเกิด photoinhibition จึงลดลง (Hichem, 2009) ในขณะที่ชุดควบคุมและชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางให้ผลไม่แตกต่างกัน หลังจากนั้นในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ ค่า qP ของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินมีค่าลดลง เนื่องจากในวันที่บันทึกข้อมูล ความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้น จากระยะอายุผล 4 สัปดาห์มาก ทำให้ plastoquinone อยู่ในสภาพรีดิวซ์ ระบบแสงสองจึงเปิดรับอิเล็กตรอนได้น้อยลง ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงจึงถูกจำกัด พลังงานแสงส่วนเกินนี้จึงถูกระบายออกในรูปความร้อนแทน ทำให้ค่า qN เพิ่มขึ้น (Yamamoto, 2001; Rosenqvist and Kooten, 2003)

Non-photochemical quenching (qN)

ค่า non-photochemical quenching (qN) หลังเริ่มต้นพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า qN ของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน คือมีค่าเพิ่มขึ้นในระยะอายุผล 4 สัปดาห์และลดลงเล็กน้อยในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ แต่ในกรณีของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า มีแนวโน้มตรงข้ามกับชุดทดลองอื่น โดยค่า non-photochemical quenching (qN) ในระยะอายุผล 4 สัปดาห์มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าลดลงมากจากระยะอายุผล 3 สัปดาห์ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ หลังจากนั้นในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ ค่า non-photochemical quenching (qN) กลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 18ง, ตารางผนวกที่ 6)

ค่า non-photochemical quenching (qN) เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถใช้ในการตรวจวัดการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกิน เพื่อป้องกันอันตรายแก่พืช (Guo *et al.*, 2006) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปความร้อน (Maxwell and Johnson, 2000) หากค่า qN มาก แสดงว่าพืชไม่สามารถนำพลังงานแสงที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงถูกยับยั้ง (Guo *et al.*, 2006) พลังงานส่วนเกินจึงเกิดขึ้น ซึ่งพลังงานส่วนเกินนี้ จะกลายเป็นแหล่งพลังงานที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับพืช เช่น ทำให้เกิดการสร้าง reactive oxygen species เป็นต้น (Vasil'ev *et al.*, 1998) จากการทดลองการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ทำให้ค่า qN ลดลง ได้ในระยะอายุผล 4 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถลดการปล่อยพลังงานส่วนเกินได้องุ่นจึงสามารถนำพลังงานส่วนนี้ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น (Guo *et al.*, 2006)

Electron transport rate (ETR)

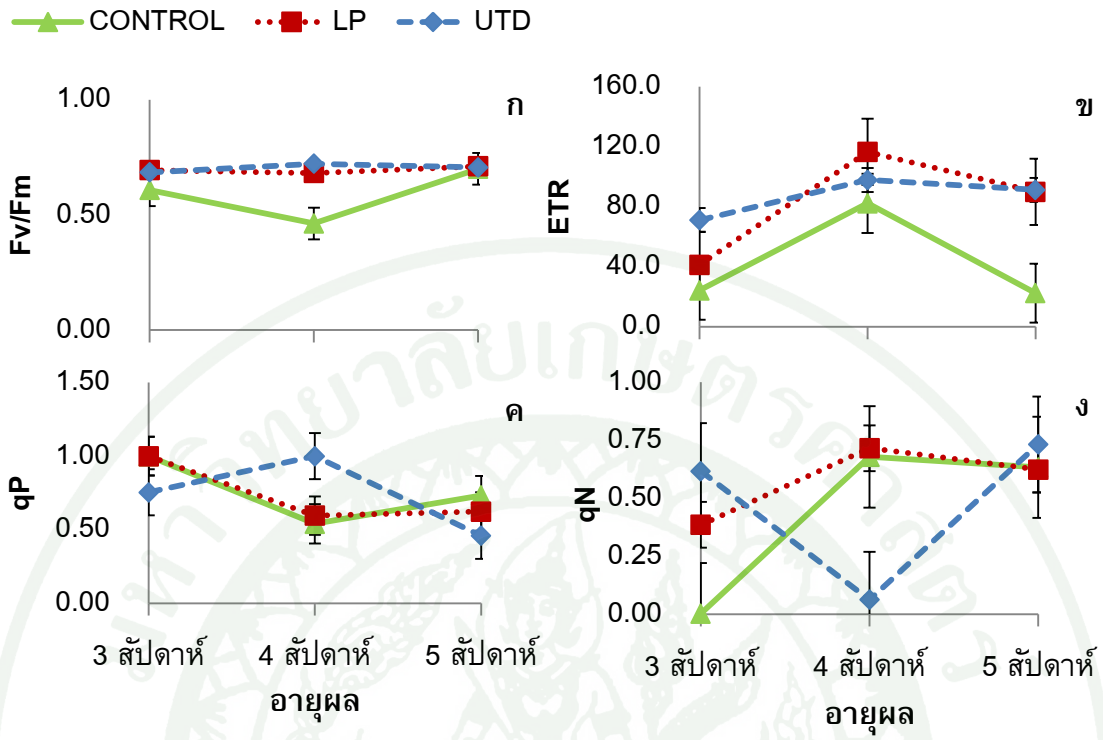
ค่า electron transport rate (ETR) หลังเริ่มต้นพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์ พบว่า ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ให้ค่า ETR สูงที่สุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางและชุดควบคุมตามลำดับ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ค่า ETR มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกชุดทดลอง และไม่แตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้นในระยะอายุผล 5 สัปดาห์ พบว่า ค่า ETR มีค่าลดลงเล็กน้อยในทุกชุดทดลอง ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินมีค่ามากกว่าชุดควบคุม แตกไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 18ข, ตารางผนวกที่ 6)

ค่า electron transport rate (ETR) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณอิเล็กตรอนที่เคลื่อนผ่านระบบแสงสองในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Nogues and Baker, 2000; Dai *et al.*, 2009) จากการทดลองพบว่า ชุดควบคุมมีค่า ETR ต่ำกว่าชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่ง ทั้ง 3 ครั้งที่บันทึกข้อมูล แสดงว่าชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการรับพลังงานของระบบแสงสองลดลง ทำให้เกิดปรากฏการณ์ photoinhibition มากขึ้น (Dai *et al.*, 2009) การใช้ดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มค่า ETR ให้ใบองุ่นได้ แสดงว่าการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรเกิดมากขึ้น ทำให้อัตราการหมุนเวียนของวัฏจักรคัลวินเพื่อการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สร้าง ATP และ NADPH สูงขึ้น (Nogues and Baker, 2000) อัตราการสังเคราะห์แสงจึงมีโอกาสเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



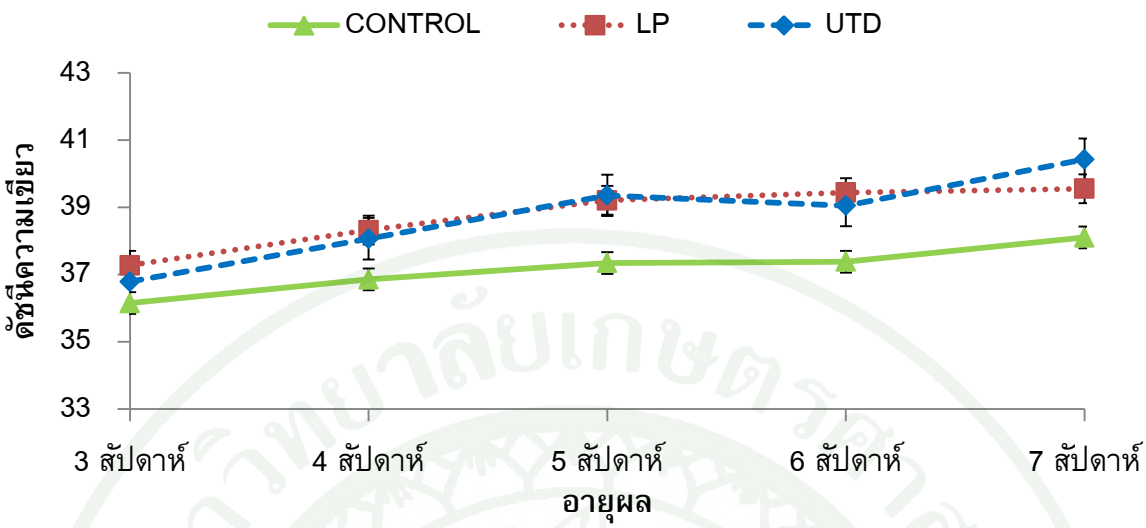
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการใช้แสงของใบอ่อนที่ระยะผลอ่อนอายุ 3 ถึง 5 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดัชนีความเขียว

ค่าดัชนีความเขียวของใบอ่อนหลังจากได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่ง ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ พบว่า ที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์ ค่าดัชนีความเขียวของใบอ่อนในชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่าใบอ่อนที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.2 ในขณะที่ใบอ่อนที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ และจังหวัดลำปาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.8 และ 37.3 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเขียวของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน โดยใบอ่อนที่ได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินมีค่าดัชนีความเขียวสูงกว่าชุดควบคุม หากพิจารณาระยะอายุผล 4 สัปดาห์และ 5 สัปดาห์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเขียวของใบอ่อนที่ได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินและชุดควบคุม มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ ใบอ่อนที่ได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งให้ค่าดัชนีความเขียวสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.1 ในใบอ่อนที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุรดิตถ์ และ 39.4 ในใบอ่อนที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง หลังจากนั้นเมื่อพิจารณาที่ระยะอายุผล 7 สัปดาห์ พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีแนวโน้มให้ค่าดัชนีความเขียวของใบอ่อนมีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางและชุดควบคุม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในช่วงต้นของการทดลอง การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีแนวโน้มให้ค่าดัชนีความเขียวของใบอ่อนสูงชุดทดลองอื่นๆ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์กลับทำให้ค่าดัชนีความเขียวมีค่าสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 19, ตารางผนวกที่ 7) จากการศึกษาของ Netto *et al*. (2012) ในใบกาแฟพบว่า ค่าดัชนีความเขียว (SPAD index) ที่วัดได้ในนั้น มีความสัมพันธ์กับค่าคลอโรฟิลล์ เอ และค่า Fv/Fm ไปในทิศทางเดียวดัน กล่าวคือหากค่าดัชนีความเขียวมีค่าสูง ค่าคลอโรฟิลล์ เอ และค่าประสิทธิภาพการใช้แสงก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจากการทดลอง การพ่นดินขาวเคโอลินสามารถรักษาระดับค่าดัชนีความเขียวในใบได้สูงกว่าชุดควบคุม แสดงว่า อ่อนมีประสิทธิภาพการใช้แสงได้ดีกว่าชุดควบคุม ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในใบอ่อนที่ได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินก็มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเช่นกัน เมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าสูง ประสิทธิภาพการใช้แสงสูง จึงส่งผลทำให้ใบอ่อนมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงดีกว่าชุดควบคุมด้วยเช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีความเขียวหลังจากได้รับการพ่นดินขาวเคโอลินที่ระยะอายุผล 3 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 5 สัปดาห์, 6 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณแป้งและปริมาณน้ำตาล

ทำการเก็บตัวอย่างใบและกิ่งอ่อนมาวิเคราะห์ปริมาณแป้งและน้ำตาล ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และซูโครส ที่ระยะอายุผลต่างๆ คือ ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ (ก่อนทำการพ่นสาร), ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ (หลังเริ่มต้นพ่นสาร 2 สัปดาห์), ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ (หลังเริ่มต้นพ่นสาร 4 สัปดาห์) และระยะอายุผล 8 สัปดาห์ (วันเก็บเกี่ยวผลผลิต) จากการวิเคราะห์ให้ผลการทดลองดังนี้

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบ

ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบ ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ในช่วงก่อนทำการพ่นสาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การสร้างและการสะสมน้ำตาลกลูโคสในใบอ่อนก่อนทำการพ่นสาร มีความใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาหลังจากทำการพ่นสารที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบของทุกชุดทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยระดับการเพิ่มขึ้นของชุดควบคุมมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ถัดมาที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสในชุดทดลองที่พ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 14.275 g/100g น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง มีค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 11.532 g/100g น้ำหนักแห้ง ส่วนชุดควบคุมมีค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ยเท่ากับ 6.030 g/100g น้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ซึ่งเป็นวันเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสในชุดทดลองที่พ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 16.233 g/100g น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง มีค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 12.519 g/100g น้ำหนักแห้ง ส่วนชุดควบคุมมีค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ยเท่ากับ 8.630 g/100g น้ำหนักแห้ง จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ส่งผลทางสรีรวิทยาของพืช เชื่อมโยงให้ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ตั้งแต่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ไปจนถึงวันเก็บเกี่ยวที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ (ภาพที่ 20ก, ตารางผนวกที่ 8)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในใบ

ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในใบ ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ในช่วงก่อนทำการพ่นสาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การสร้างและการสะสมน้ำตาลฟรักโตสในใบอ่อนก่อนทำการพ่นสาร มีความใกล้เคียงกัน ถัดมาที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ และ 6 สัปดาห์ ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในใบของทุกชุดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่แตกต่างกัน ในช่วงระยะอายุผล 8 สัปดาห์ ระดับปริมาณของน้ำตาลฟรักโตสมีค่าสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ให้ค่าปริมาณน้ำตาลฟรักโตสสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 16.380 g/100g น้ำหนักแห้ง ในขณะที่ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีแนวโน้มให้ค่าปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในใบมากกว่าชุดควบคุมเช่นกัน (ภาพที่ 20ข, ตารางผนวกที่ 8)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบ

ปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบ จากการทดลอง วิเคราะห์ไม่พบในทุกระยะอายุผลและทุกชุดการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแป้งในใบ

ปริมาณแป้งในใบอ่อนตลอดที่ทำการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ในช่วงก่อนทำการพ่น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การสร้างและการสะสมแป้งในใบอ่อนก่อนทำการพ่นสาร มีความใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ ปริมาณแป้งในใบของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางและชุดควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจังหวัดอุตรดิตถ์มีค่าลดลง หลังจากนั้นในระยะอายุผล 6 สัปดาห์ ปริมาณแป้งในใบของชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินมีปริมาณลดลง ในขณะที่ชุดทดลองอื่นๆ มีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ถัดมาในระยะอายุผล 8 สัปดาห์ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีปริมาณแป้งเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับระยะอายุผล 6 สัปดาห์ และปริมาณแป้งของชุดทดลองอื่นๆ ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองเห็นได้ว่า ปริมาณแป้งในใบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งให้ค่าปริมาณแป้งในใบต่ำกว่าเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 20ค, ตารางผนวกที่ 8)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสในใบ

ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์และ 6 สัปดาห์ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีแนวโน้มให้ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสสูงกว่าชุดควบคุม หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสจากชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีค่าลดลงจนใกล้เคียงกับชุดควบคุม (ภาพที่ 20ง, ตารางผนวกที่ 9)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่ง

ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่ง ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ในช่วงก่อนทำการพ่นสาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การสะสมน้ำตาลกลูโคสในกิ่งองุ่นก่อนทำการพ่นสารมีความใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทุกชุดทดลองมีแนวโน้มให้ค่าน้ำตาลฟรักโตสในใบเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นในระยะอายุผล 6 สัปดาห์ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่งมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะชุดควบคุมมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.439 g/100g น้ำหนักแห้ง ถัดขึ้นมาเป็นชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.586 g/100g น้ำหนักแห้ง ส่วนชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 8.051 g/100g น้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ทุกชุดการทดลองมีปริมาณกลูโคสลดลงอย่างชัดเจน โดยชุดทดลองที่มีระดับปริมาณกลูโคสในกิ่งสูงที่สุดก็คือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง รองลงมาคือชุดควบคุมและชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิถต์ โดยมีค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ย เท่ากับ 0.987, 0.793 และ 0.272 g/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพที่ 21ก, ตารางผนวกที่ 10) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่งมีปริมาณลดลงตั้งแต่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์เป็นต้นไปในทุกชุดการทดลอง และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่งมีค่าน้อยที่สุดในระยะอายุผล 8 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในกิ่ง

ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในกิ่ง มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง ตลอดการทดลอง โดยปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในกิ่งของทุกชุดการทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ (ภาพที่ 21ข,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 10) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การพ่นดินขาวเคโอลินไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในกิ่งทุกระยะอายุผล

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลซูโครสในกิ่ง

ปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบ จากการทดลอง วิเคราะห์ไม่พบในทุกระยะอายุผลและทุกชุดการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแป้งในกิ่ง

ปริมาณแป้งในกิ่ง ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ในช่วงก่อนทำการพ่นสาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การสะสมแป้งในกิ่งอ่อนก่อนทำการพ่นสาร มีความใกล้เคียงกัน ถัดมาที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ และ 6 สัปดาห์ ปริมาณแป้งในกิ่งของทุกชุดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่แตกต่างกัน แต่ในช่วงระยะอายุผล 8 สัปดาห์ ระดับปริมาณของแป้งในกิ่งมีค่าสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง เมื่อพิจารณาความแตกต่างต่างกันระหว่างชุดทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าการพ่นดินขาวเคโอลินไม่ส่งผลต่อปริมาณแป้งในกิ่ง (ภาพที่ 21ค, ตารางผนวกที่ 10)

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสในกิ่ง

ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 4 สัปดาห์ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 6 สัปดาห์ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีแนวโน้มให้ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสสูงกว่าชุดควบคุม โดยเฉพาะชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ หลังจากนั้นที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสจากทุกชุดทดลองมีค่าลดลงจนใกล้เคียงกัน โดยที่ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีค่ามากที่สุด (ภาพที่ 21ง, ตารางผนวกที่ 11)

ในพืชทั่วไปผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง คือน้ำตาล โดยน้ำตาลชนิดแรก คือ น้ำตาลฟรักโตสที่จับอยู่กับหมู่ฟอสเฟต (Bornke and Sonnewald, 2011) จากนั้นจะผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาลกลูโคส โดยน้ำตาลฟรักโตสที่จับอยู่กับหมู่ฟอสเฟต จะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสที่จับอยู่กับหมู่ฟอสเฟตก่อน จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำตาลกลูโคสที่จับอยู่กับหมู่ฟอสเฟตนี้มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบพืช โดยสามารถเปลี่ยนไปเป็นแป้งสะสมอยู่ในคลอโรพลาสต์หรือถูกลำเลียงออกไปสร้างน้ำตาลซูโครสที่ไซโตพลาสซึมเพื่อใช้เป็นน้ำตาลลำเลียงไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโต หรือต้องการพลังงานในกิจกรรมต่างๆ ต่อไป ดังนั้นปริมาณน้ำตาลฟรักโตสและน้ำตาลกลูโคสจึงมีความสัมพันธ์กัน น้ำตาลกลูโคสมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาลซูโครสเพื่อใช้ในการลำเลียง เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลในรูปที่ไม่รีดิวซ์ (non-reducing sugar) จึงค่อนข้างเสถียรในระหว่างการเคลื่อนย้าย ไม่เข้าทำปฏิกิริยากับสารใดง่ายๆ (ศรีสม, 2552) แต่ก็มีพืชบางชนิดที่ไม่ได้ลำเลียงน้ำตาลในรูปของน้ำตาลซูโครสเป็นหลัก เช่น พืชวงศ์ oleaceae, ต้น elm ในวงศ์ ulmaceae ต้น linder ในวงศ์ tiliaceae ฯลฯ โดยมักจะลำเลียงน้ำตาลในรูปของ น้ำตาล raffinose หรือ น้ำตาล starchyose (Zimmerann, 1956) Swanson and El-Shishiny (1958) รายงานว่าในองุ่นพันธุ์ Concord มีการลำเลียงน้ำตาลในรูปของซูโครสเป็นหลักเช่นกัน และสามารถพบน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และซูโครสได้ในท่อทำเลียงด้วย เมื่อระยะทางการลำเลียงน้ำตาลมากขึ้นปริมาณน้ำตาลซูโครสจะลดลงแต่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตสมากขึ้น นอกจากนี้น้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสงบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตรูปอื่นๆ สะสมไว้ในเนื้อเยื่อต่างๆ รวมถึงในใบและกิ่งด้วย การสะสมปริมาณแป้งในเนื้อเยื่อต่างๆ นั้นเปรียบเสมือนแหล่งพลังงานสำรองที่พืชเก็บสะสมไว้ หากเมื่อพืชต้องการใช้ก็จะสลายออกมาเป็นน้ำตาลกลูโคส ก่อนเข้าสู่กระบวนการหายใจเพื่อนำไปใช้ต่อไปในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ (ศรีสม, 2552) ในการทดลองนี้จึงวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส ซูโครส และแป้ง เป็นดัชนีเบื้องต้นในการประเมินความสมบูรณ์ของต้น ประเมินผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง เชื่อมโยงไปถึงคุณภาพของผลผลิต โดยทำการเก็บข้อมูลจากส่วนของใบ และกิ่ง

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ในตัวอย่างใบและกิ่ง ทุกระยะของอายุผล ไม่สามารถตรวจพบปริมาณน้ำตาลซูโครสได้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์นี้ สาเหตุอาจเนื่องมาจากการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ที่มีการอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียส Tian *et at.* (1997) รายงานว่า เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิสูง พืชจะเกิดภาวะความเครียด อันเป็นสาเหตุให้กระบวนการหายใจเพิ่มขึ้น ความต้องการใช้พลังงานในเซลล์จึงเพิ่มขึ้น พืชจึงดึงเอาน้ำตาลซูโครสที่อยู่ในท่อลำเลียงในรูปน้ำตาลที่ใช้เคลื่อนย้าย เปลี่ยนกลับไปเป็นน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรักโตส ใช้สลายให้พลังงานในขณะที่อยู่ในตู้อบ เพราะเซลล์พืชยังไม่ตายในทันที โอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขณะอยู่ในตู้อบก่อนที่เซลล์จะตายจึงสามารถเกิดขึ้นได้ นั่นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ในการทดลองไม่สามารถตรวจพบปริมาณน้ำตาลซูโครสในตัวอย่างพืชได้ทั้งในใบและกิ่ง ทั้งๆ ที่น้ำตาลซูโครสเป็นรูปแบบของคาร์โบไฮเดรตที่องุ่นใช้ในการลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของพืช (Swanson and El-Shishiny, 1958) แต่ในกรณีของปริมาณน้ำตาลกลูโคสและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำตาลฟรักโตส โดยปกติจะมีปริมาณสูง เมื่อถูกสลายไปบางส่วนระหว่างที่พืชอยู่ในสภาพเครียด ประกอบกับมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสจึงทำให้ยังสามารถตรวจพบได้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์นี้

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลในใบและกิ่งองุ่นทั้งชนิดที่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลที่ไม่รีดิวซ์นั้น ปัจจัยหลักก็คือฤดูกาลระหว่างที่ทำการปลูก (Kliewer, 1966) ดังนั้นการปลูกองุ่นต่างฤดูกาลกัน ก็ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลที่พบในองุ่นได้แตกต่างกัน การปลูกองุ่นในช่วงฤดูแล้งนั้น จะส่งผลทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์พืชและประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่เป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้น้อยลง จึงเป็นเหตุผลที่ว่าองุ่นที่ปลูกผ่านช่วงฤดูแล้งมีผลผลิตน้อยกว่าการปลูกผ่านฤดูอื่น จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งที่อยู่ในรูปของน้ำตาลและแป้ง ในตัวอย่างใบ และกิ่งขององุ่น พบว่าก่อนทำการทดลอง ต้นองุ่นมีความสมบูรณ์อย่างสม่ำเสมอกันในเรื่องของปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ และปริมาณแป้งที่มีอยู่เดิม เห็นได้จากปริมาณน้ำตาลและแป้งจากตัวอย่างใบและกิ่งของทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันในขณะเริ่มต้นการทดลองที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ หลังจากเริ่มทำการทดลอง พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ แตกต่างกัน ทั้งในส่วนของใบและกิ่ง เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบ พบว่าดินขาวเคโลอินจากทั้งจังหวัดอุตรดิตถ์และลำปางส่งผลทางสรีรวิทยาของพืช เชื่อมโยงให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม เนื่องจากดินขาวเคโอลินช่วยสะท้อนแสงที่ตกกระทบลงบนใบพืชได้ ทำให้อุณหภูมิที่สะสมอยู่ในใบลดลง จึงทำให้พืชเสียหายน้อยลง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น (Colavita *et al*., 2011) เมื่อพืชมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เป็นผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงจึงเพิ่มขึ้นด้วย จึงเป็นเหตุผลที่ว่า การพ่นดินขาวเคโอลินสามารถทำให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบมีค่าเพิ่มขึ้น ในกรณีของน้ำตาลฟรักโตส พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำและคงที่ ไม่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับน้ำตาลกลูโคส จากผลการทดลองจะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคสและการที่น้ำตาลฟรักโตสมีปริมาณต่ำและค่อนข้างคงที่นั้น เกิดในช่วงระยะการเจริญเติบโตของผลช่วงแรกๆ เท่านั้น การเจริญเติบโตช่วงนี้เรียกว่าระยะก่อน veraison ซึ่งคำว่า veraison นั้นหมายถึงระยะที่องุ่นเปลี่ยนสี ดังนั้น ระยะก่อน veraison ก็คือระยะการเจริญเติบโตช่วงแรกของผลองุ่น การเจริญเติบโตของผลองุ่นในระยะก่อน veraison นั้นจะเกิดในช่วงอายุผล 2-4 สัปดาห์ โดยเป็นช่วงที่ผลมีการเจริญเติบโตทางกายภาพค่อนข้างสูง มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์จำนวนมาก กิจกรรมต่างๆ ภายในผลจะมีสูง (Williams, 1996) ดังนั้นผลจึงต้องการพลังงานจำนวนมากเพื่อไปใช้ในกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้น ปริมาณน้ำตาลที่พืชสร้างได้จึงถูกส่งไปที่ผลจำนวนมาก (Williams, 1996) การเคลื่อนย้ายน้ำตาลในองุ่นจะเคลื่อนย้ายในรูปของน้ำตาลซูโครส ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาลกลูโคสกับน้ำตาลฟรักโตส ในกระบวนการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมทาบอลิซึม น้ำตาลเฮกโซสชนิดแรกที่พืชสร้างคือ น้ำตาลฟรักโตสที่จับอยู่กับหมู่ฟอสเฟต (Bornke and Sonnewald, 2011) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ โดยหากน้ำตาลฟรักโตสถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลกลูโคสมาก จะทำให้สัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสมีค่าสูง จากการทดลองค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสในใบที่ระยะอายุผล 2 ถึง 4 สัปดาห์ มีค่าสูงกว่าระยะอายุผลอื่นๆ และชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งก็มีค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสในใบที่ระยะอายุผล 2 ถึง 4 สัปดาห์ สูงกว่าชุดควบคุมเช่นกัน (ภาพที่ 20ง, ตารางผนวกที่ 9) แสดงว่าสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลฟรักโตสไปเป็นน้ำตาลกลูโคสในใบมากขึ้น เห็นได้จากระดับน้ำตาลฟรักโตสในใบที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่แต่ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมีค่าสูงขึ้น หลังจากนั้นเมื่อพิจารณาช่วงท้ายของการทดลองปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบ จะมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวที่อายุผล 8 สัปดาห์ แต่ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสกลับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงระยะอายุผล 8 สัปดาห์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากช่วงสัปดาห์ท้ายๆ ของการเจริญเติบโตของผลองุ่น ผลองุ่นจะเข้าสู่ระยะการเติบโตอีกระยะหนึ่ง เรียกว่าระยะหลัง veraison หรือเข้าสู่กระบวนการ ripening จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพมากเหมือนกับระยะก่อน veraison แล้ว แต่จะมีการสะสมน้ำตาลและสารต่างๆในผลมากขึ้น กิจกรรมต่างๆ ในผลก็จะลดลง ความต้องการพลังงานของผลก็ลดลงด้วยเช่นกัน (Davies and Robinson, 1996) นั่นจึงเป็นเหตุผลทำให้ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในใบมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่วิเคราะห์ได้กลับมีค่าค่อนข้างคงที่ หมายความว่าสัดส่วนในการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลฟรักโตสไปเป็นน้ำตาลกลูโคสลดลง จึงทำให้ค่าของปริมาณน้ำตาล ฟรักโตสสูงขึ้นในช่วงท้ายของการทดลอง เมื่อปริมาณน้ำตาลฟรักโตสสูงขึ้น ค่าสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสในใบจึงมีค่าลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดทดลอง (ภาพที่ 20ง, ตารางผนวกที่ 9) เมื่อพิจารณาปริมาณแป้งในใบนั้นถือเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญในการสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสเพื่อส่งเข้าสู่ท่อลำเลียงเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชต่อไป (Hendrix and Grange, 1990) นั่นคือแป้งที่สะสมอยู่ในใบเป็นแหล่งพลังงานสำรองของพืชเมื่อพืชต้องการใช้พลังงาน จะมีกลไลการเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลเพื่อเคลื่อนย้ายไปยังส่วนที่ต้องการผ่านทางโฟลเอ็ม ในระยะแรกของการพัฒนาของผล ผลจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมาก ความต้องการใช้พลังงานจึงมีสูง น้ำตาลจำนวนมากจึงถูกลำเลียงและมาใช้ที่ผล ไม่เพียงแต่น้ำตาลเท่านั้น แต่แป้งที่สะสมอยู่ในใบบางส่วนก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเคลื่อนย้ายไปยังผลด้วย (Williams, 1996) ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณแป้งในช่วงระยะอายุผล 2-4 สัปดาห์มีค่าต่ำ หลังจากนั้นเมื่อผลพัฒนาเข้าสู่ระยะ lag phase และ maturation phase การเติบโตทางด้านกายภาพขององุ่นทั้งในเรื่องของการแบ่งเซลล์ และการขยายขนาดของเซลล์ลดลงกว่าช่วงเริ่มต้น ความต้องการพลังงานของผลลดลง ปริมาณแป้งที่พบในใบจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ในระยะอายุผล 8 สัปดาห์ปริมาณแป้งในใบจึงมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 20ค, ตารางผนวกที่ 8) อย่างไรก็ตามนอกจากแป้งไม่ถูกสลายไปเป็นน้ำตาลเพื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลำเลียงไปยังผลแล้ว การเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งในองุ่นนั้นยังมีเหตุผลก็เพื่อที่จะสะสมแหล่งคาร์บอนไว้ใช้เป็นพลังงานต่อไปหลังระยะการเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วย (Hunter and Visser, 1990) การพ่นดินขาว เคโอลินจากทั้งสองแหล่งให้ค่าปริมาณแป้งในใบต่ำกว่าชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่องุ่นสร้างได้มากขึ้น จากประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่สูงขึ้นนั้นถูกเปลี่ยนไปสะสมในรูปแป้งในใบน้อยกว่าชุดควบคุม แต่น้ำตาลกลูโคสที่มากขึ้นนั้นถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลซูโครสลำเลียงไปยังส่วนอื่นๆ มากขึ้น ทำให้ปริมาณแป้งในชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งมีค่าปริมาณแป้งในใบต่ำกว่าชุดควบคุม

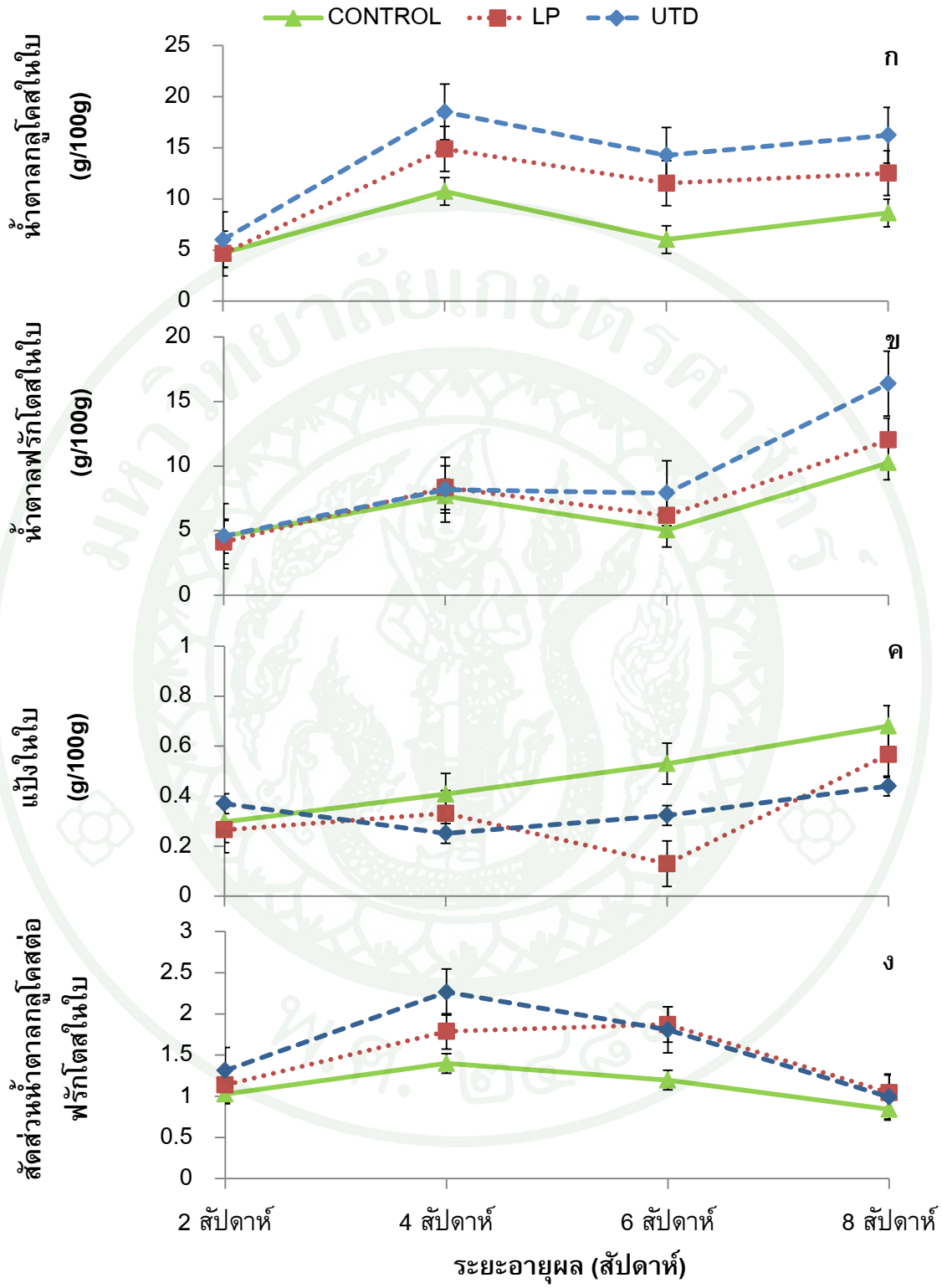
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายในกิ่ง กิ่งเป็นส่วนหนึ่งของพืชที่มีการสะสมคาร์โบไฮเดรตเช่นกันเป็นตัวแทนของเนื้อเยื่อเป้าหมายที่พืชลำเลียงน้ำตาลมาใช้หรือสะสมไว้ เรียกว่า sink แต่ในกรณีของใบถือเป็นเนื้อเยื่อที่เป็นแหล่งผลิตน้ำตาลส่งไปยังส่วนต่างๆ ของพืช เรียกว่า source (Keller, 2010) ในการทดลองนอกจากจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตในใบ ที่เป็น source แล้ว ยังศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ sink ที่ไม่ใช่ผลด้วย เพื่อดูว่าน้ำตาลที่พืชสร้างขึ้นถูกลำเลียงไปยังผลได้มาก หรือว่าถูกลำเลียงไปสะสมยัง sink อื่นๆ หากปริมาณน้ำตาลมีการเคลื่อนย้ายไปสะสมในกิ่งมากแสดงว่าโอกาสที่น้ำตาลจะส่งไปยังผลก็จะน้อยลง ผลผลิตที่เกิดขึ้นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จากการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำตาลที่สะสมในรูปของแป้งในกิ่งมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะอายุผล 2-6 สัปดาห์ แสดงว่าปริมาณน้ำตาลที่พืชสร้างขึ้นไม่ได้ถูกลำเลียงส่งมาสะสมยัง sink อื่น ดังนั้นโอกาสที่น้ำตาลจะถูกส่งไปที่ผลก็จะมีมากขึ้นในช่วงที่ผลมีการพัฒนา และต้องการพลังงานไปใช้มาก หลังจากนั้นเมื่อผลมีการพัฒนาอย่างเต็มที่และเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวแล้ว ปริมาณแป้งในกิ่งมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากความต้องการพลังงานของผลลดลง พืชจึงลำเลียงน้ำตาลมาเก็บสะสมไว้ในรูปของแป้งไว้ใช้หลังระยะเก็บเกี่ยวต่อไป (Hunter and Visser, 1990) จึงทำให้ปริมาณแป้งในกิ่งที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับในกรณีของใบ เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรักโตสในกิ่ง พบว่า น้ำตาลฟรักโตสในกิ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาทำการทดลอง แต่ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของผลองุ่นระยะก่อน veraison และลดลงในช่วงการเจริญเติบโตของผลองุ่นระยะหลัง veraison สันนิษฐานว่าในช่วงการเจริญเติบโตของผลองุ่นระยะก่อน veraison มีน้ำตาลถูกลำเลียงมายังกิ่งมากด้วยเช่นกัน แต่ไม่ได้สะสมไว้ น้ำตาลส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นซูโครสลำเลียงไปยังผล จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในกิ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตลอดการทดลอง แต่ในกรณีของน้ำตาลกลูโคส เมื่อผลองุ่นเข้าสู่ช่วงการเจริญเติบโตระยะหลัง veraison ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่งมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าในช่วงการเจริญเติบโตของผลองุ่นระยะหลัง veraison น้ำตาลกลูโคสที่ถูกลำเลียงมายังกิ่งนั้นถูกเปลี่ยนไปเป็นแป้งสะสมไว้ในกิ่งมากขึ้น ทำให้สัดส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตสในกิ่งมีแนวโน้มลดลงที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ จากการทดลองการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลฟรักโตสและแป้งในกิ่ง แสดงว่าน้ำตาลกลูโคสที่ใบสร้างได้เพิ่มขึ้นจากผลของดินขาวเคโอลินนั้น ไม่ได้ถูกลำเลียงมาเปลี่ยนรูปเป็นแป้งหรือน้ำตาลฟรักโตสที่กิ่ง น้ำตาลกลูโคสในใบที่เพิ่มขึ้นจึงมีโอกาสถูกลำเลียงไปยังผลมากขึ้นส่งผลให้ผลผลิตองุ่นเพิ่มขึ้นได้

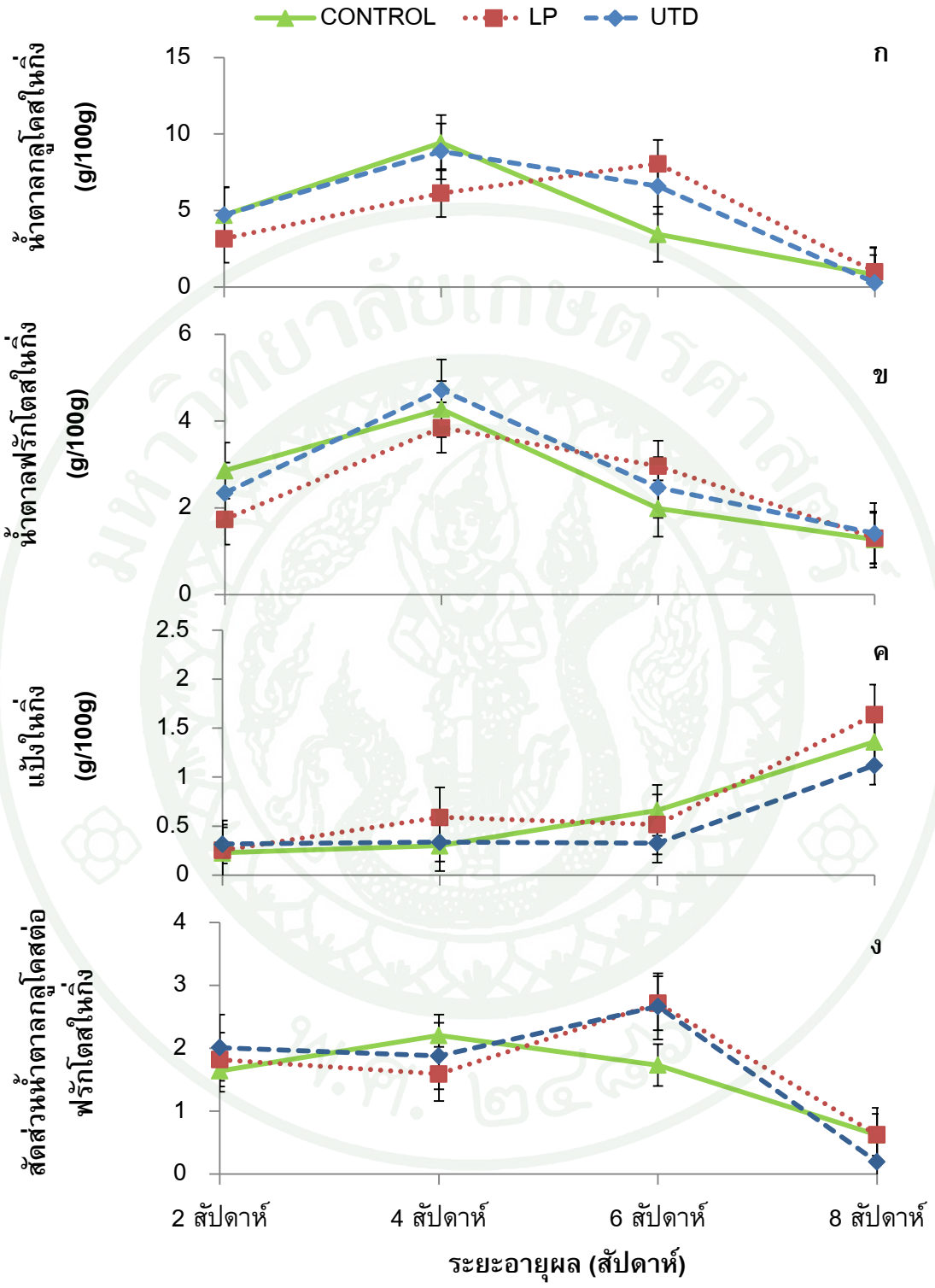
กลไลการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายแป้งให้เป็นน้ำตาล และปริมาณน้ำตาลเดิมที่มีอยู่ในใบ (Bantog *et al.*, 1999) หลังจากนั้นก็จะถูกลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของพืชผ่านทางโฟลเอ็ม ดังนั้นหากปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในใบเพิ่มขึ้น โอกาสในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลไปยังผลก็มีเพิ่มขึ้นด้วย การพัฒนาของผลก็จะเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ จากการทดลองการพ่นดินขาวเคโอลินสามารถทำให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบเพิ่มขึ้นได้ จากการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง จึงทำให้น้ำตาลมีโอกาสเคลื่อนย้ายไปยังผลมากขึ้น ส่งผลทำให้ผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณผลผลิตสามารถพิจารณาได้จากผลคูณของจำนวนช่อผลกับน้ำหนักช่อผล (Longbottom *et al*., 2010) มีรายงานการทดลองใน ลูกพีช พบว่า การสะสมน้ำตาลซูโครสในผลนั้น เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบโดยตรง หากอัตราการเคลื่อนย้ายสูง จะส่งผลให้ผลมีการสะสมน้ำตาลในผลสูงขึ้นด้วย (Chapman and Horvat, 1990, Moriguchi *et al*., 1991)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบ (ก), น้ำตาลฟรักโตส (ข) แป้ง (ค) และสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตส (ง) ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 6 สัปดาห์และ 8 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่ง (ก), น้ำตาลฟรักโตส (ข) แป้ง (ค) และสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโตส (ง) ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์, 4 สัปดาห์, 6 สัปดาห์และ 8 สัปดาห์; ชุดควบคุม (CONTROL), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP), ดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณและคุณภาพผลผลิต

ปริมาณผลผลิตต่อต้น

การพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่ง ทำให้ปริมาณผลผลิตต่อต้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีค่าปริมาณผลผลิตต่อต้นสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 737.33 กรัมต่อต้น ซึ่งมีค่ามากกว่าชุดควบคุม 44.05 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 636.71 กรัมต่อต้น มากกว่าชุดควบคุม 17.69 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 22, ตารางผนวกที่ 12)

จำนวนช่อผลต่อต้น

จากการพ่นดินขาวเคโอลิน พบว่าจำนวนช่อผลต่อต้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดทดลอง โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และชุดควบคุม โดยมีจำนวนช่อผลต่อต้นเฉลี่ยเท่ากับ 17.38, 14.13 และ 11.63 ช่อ ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าชุดควบคุมมีจำนวนช่อผลต่อต้นน้อยกว่าชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์และลำปาง เท่ากับ 33.08 และ 18.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 23, ตารางผนวกที่ 12)

ความยาวช่อผล

จากการพ่นดินขาวเคโอลิน พบว่าความยาวของช่อผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีค่าความยาวช่อผลเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ และชุดควบคุม โดยความยาวช่อผลเฉลี่ยเท่ากับ 9.05, 8.60 และ 7.93 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าชุดควบคุมมีความยาวช่อผลน้อยกว่าชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์และลำปาง เท่ากับ 12.37 และ 7.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 25ก, ตารางผนวกที่ 14)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำหนักช่อผล

จากการพ่นดินขาวเคโอลิน พบว่า น้ำหนักช่อผลเฉลี่ยแต่ละช่อไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีแนวโน้มทำให้น้ำหนักช่อผลเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ และชุดควบคุม โดยมีน้ำหนักช่อผลเฉลี่ยเท่ากับ 45.88, 39.43 และ 33.21 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 25ข, ตารางผนวกที่ 14) เมื่อพิจารณาสัดส่วนช่อผลชนิดต่างๆ พบว่า จากช่อผลทั้งหมดที่เก็บเกี่ยวได้สามารถแบ่งตามเกณฑ์ของ Pierre (1980) ได้จำนวน 3 ขนาดคือ ช่อผลขนาดเล็กมาก ช่อผลขนาดเล็ก และช่อผลขนาดกลาง ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีอัตราส่วนช่อผลขนาดเล็กมากต่อช่อผลขนาดเล็ก และต่อช่อผลขนาดกลาง เท่ากับ 48.23 : 45.61 : 6.16 เปอร์เซ็นต์ ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีอัตราส่วนช่อผลขนาดเล็กมาก ต่อช่อผลขนาดเล็ก และต่อช่อผลขนาดกลาง เท่ากับ 65.54 : 33.66 : 0.79 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชุดควบคุมมีอัตราส่วนช่อผลขนาดเล็กมาก ต่อช่อผลขนาดเล็ก และต่อช่อผลขนาดกลาง เท่ากับ 71.14 : 25.68 : 3.17 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 24, ตารางผนวกที่ 13)

จำนวนผลต่อช่อผล

จากการพ่นดินขาวเคโอลิน พบว่า จำนวนผลต่อช่อผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีจำนวนผลต่อช่อผลเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และชุดควบคุม โดยมีจำนวนผลต่อช่อผลเฉลี่ยเท่ากับ 22.45, 21.57 และ 15.91 ผล ตามลำดับ (ภาพที่ 23, ตารางผนวกที่ 12)

น้ำหนักและขนาดผล

การพ่นดินขาวเคโอลินทำให้น้ำหนักผลมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และชุดควบคุม ให้น้ำหนักผลมากกว่าชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีค่าน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 2.19, 2.09 และ 1.89 กรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผล พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินมีผลทำให้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมากที่สุดเท่ากับ 1.48 เซนติเมตร รองลงมาคือชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 1.45 เซนติเมตร ในขณะที่ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลเท่ากับ 1.40 เซนติเมตร (ภาพที่ 26, ตารางผนวกที่ 14)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำคั้นองุ่น (pH)

จากการพ่นดินขาวเคโอลิน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำคั้นองุ่นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคั้นองุ่นต่ำที่สุด ถัดขึ้นไปคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ และชุดควบคุม โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำคั้นองุ่น เท่ากับ 3.56, 3.57 และ 3.62 ตามลำดับ (ภาพที่ 27ก, ตารางผนวกที่ 15)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS) (°Brix)

จากการทดลอง พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินส่งผลทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่ง พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์, ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 17.55, 17.22 และ 16.48 ตามลำดับ (ภาพที่ 27ข, ตารางผนวกที่ 15)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) (%)

จากการพ่นดินขาวเคโอลิน พบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยที่สุด ถัดขึ้นไปคือชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ และชุดควบคุม โดยมีค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เท่ากับ 0.588, 0.622 และ 0.642 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 27ค, ตารางผนวกที่ 15)

ปริมาณผลผลิตต่อต้นนั้นสามารถคำนวณได้จากผลคูณของจำนวนช่อผลกับน้ำหนักช่อผล (Longbottom *et al*., 2010) ในการทดลอง การพ่นดินขาวเคโอลินมีแนวโน้มทำให้จำนวนช่อผลต่อต้นและน้ำหนักช่อผลมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีค่าจำนวนช่อผลต่อต้นมากกว่าชุดควบคุม 33.08 เปอร์เซ็นต์ และชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง มีจำนวนช่อผลต่อต้นมากกว่าชุดควบคุม 18.69 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาน้ำหนักช่อผล ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลิน จากจังหวัดอุตรดิตถ์ มีน้ำหนักช่อผลมากกว่าชุดควบคุม 12.37 เปอร์เซ็นต์ และชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง มีน้ำหนักช่อผลมากกว่าชุดควบคุม 7.79 เปอร์เซ็นต์จึงทำให้ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

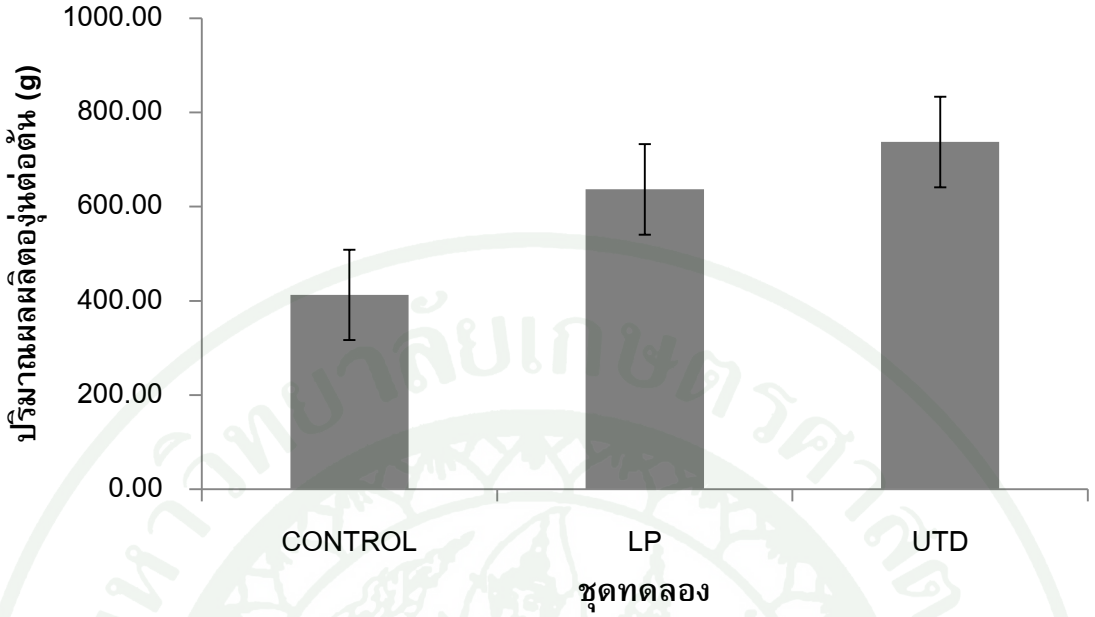
ปริมาณผลผลิตต่อต้นมีค่ามากขึ้น แสดงว่าการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ โดยชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ สามารถทำให้ปริมาณผลผลิตต่อต้นมากกว่าชุดควบคุม 44.05 เปอร์เซ็นต์ และชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง สามารถทำให้ปริมาณผลผลิตต่อต้นมากกว่าชุดควบคุม 17.69 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีแนวโน้มให้ค่าความยาวช่อผล น้ำหนักช่อผล จำนวนช่อผลต่อต้น และจำนวนผลต่อช่อมากกว่าชุดทดลองอื่นๆ สอดคล้องกับการทดลองในสาลี่สายพันธุ์ Packham's Triumph ที่พบว่าการพ่นดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มน้ำหนักผลผลิตได้ (Colavita *et al*., 2011) และในการทดลองของ Bell *et al.* (2006) การพ่นดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตในสับปะรดได้ เนื่องจากสามารถลดความเสียหายจากอาการไหม้ของใบและผลได้ เมื่อพิจารณาประเภทของช่อผลตามเกณฑ์ของของ Pierre (1980) พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางทำให้ผลผลิตมีสัดส่วนของช่อผลขนาดกลางเพิ่มขึ้น กว่าชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์และชุดควบคุมตามลำดับ ซึ่งในการจำหน่ายผลผลิตองุ่น หากช่อผลมีขนาดใหญ่จะถูกคัดเกรดจำหน่ายในราคาที่สูงขึ้น การที่สัดส่วนช่อผลขนาดกลางมากขึ้นจึงมีโอกาสทำให้องุ่นสามารถจำหน่ายในราคาที่สูงขึ้นได้ การพ่นดินขาวเคโอลินส่งผลทำให้น้ำหนักและขนาดของผลองุ่นแตกต่างกันทางสถิติ โดยการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางทำให้น้ำหนักและขนาดของผลสูงกว่าชุดควบคุม ในขณะที่การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ให้น้ำหนักและขนาดของผลต่ำกว่าชุดควบคุม แสดงว่าดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางสามารถเพิ่มน้ำหนักและขนาดของผลองุ่นได้ ซึ่งน้ำหนักและขนาดของผลองุ่น ยิ่งมีค่ามากแสดงว่าผลมีขนาดใหญ่ เป็นที่นิยมของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังส่งผลให้ผลผลิตต่อต้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ในองุ่นพันธุ์ Merlot การพ่นดินขาวเคโอลิน เป็นวัสดุเคลือบทรงพุ่ม สามารถเพิ่มขนาดของผลได้เช่นเดียวกัน (Shellie and Glenn, 2008)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เกิดจากการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการหักเหของแสงเมื่อส่องผ่านน้ำ เนื่องจากน้ำตาลซูโครส ฟรักโตส และกลูโคสเป็นน้ำตาลที่มีปริมาณมากในผลและสารเหล่านี้สามารถละลายน้ำและหักเหแสงได้ ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สามารถใช้บอกถึงความหวานเกิดจากน้ำตาลในผลได้ (Beckles, 2012) จากการทดลองการพ่นดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เนื่องจากดินขาวเคโอลินสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ ทำให้น้ำตาลกลูโคสในใบเพิ่มขึ้น โอกาสการลำเลียงน้ำตาลมายังผลมีค่าสูงขึ้น ทำให้องุ่นสะสมน้ำตาลในผลได้เพิ่มมากขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการทดลองในองุ่นพันธุ์ Merlot (Shellie and Glenn, 2008) Gabriel *et al.* (2006) รายงานว่าภายหลังการพ่นดินขาวเคโอลินเป็นวัสดุเคลือบทรงพุ่มของมะเขือเทศ ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 5.28 °Brix ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพียง 4.53 °Brix นอกจากนี้การทดลองของ Ward *et al.* (2006) พบว่าในแอปเปิ้ลบางสายพันธุ์

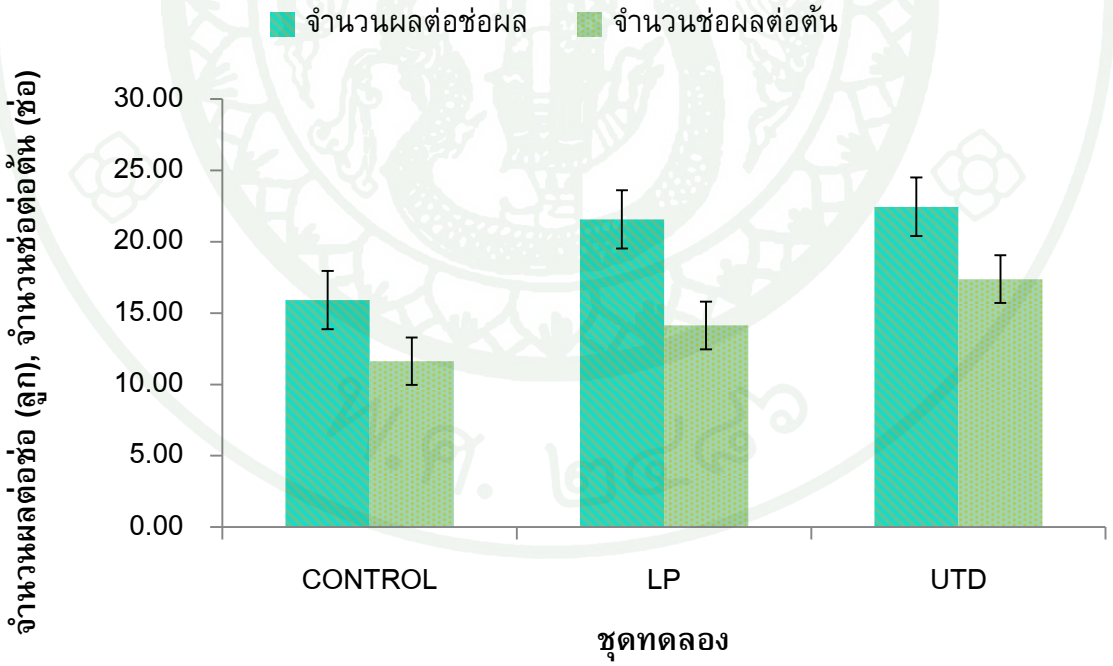
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เช่น Royal Gala, Granny Smith, Cripps Pink เป็นต้น การพ่นดินขาวเคโอลิน เป็นวัสดุเคลือบทรงพุ่ม ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำคั้นผลองุ่น และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองในแอปเปิ้ล (Schupp *et al*., 2002) และมะเขือเทศ (Cantore *et al*., 2009) และการทดลองในสับปะรด (ธีรพัฒน์, 2555) ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ จากการพ่นดินขาวเคโอลินให้ผลไม่แตกต่างกันกับชุดควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

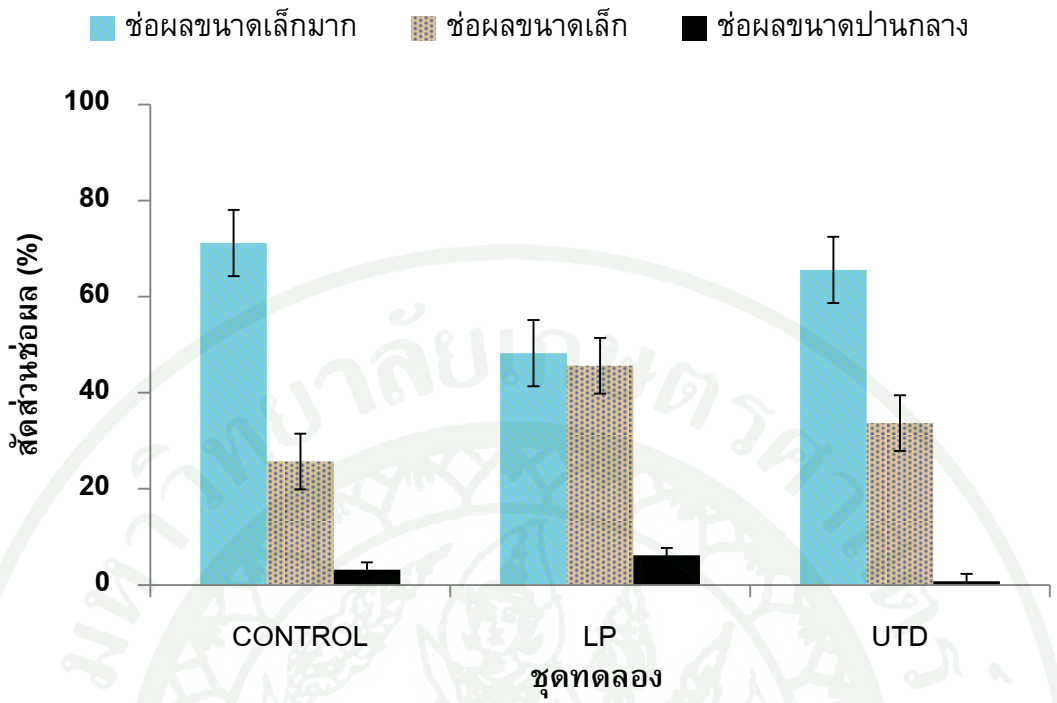


ภาพที่ 22 ผลของดินขาวเคโอลินต่อปริมาณผลผลิตต่อกุ่น



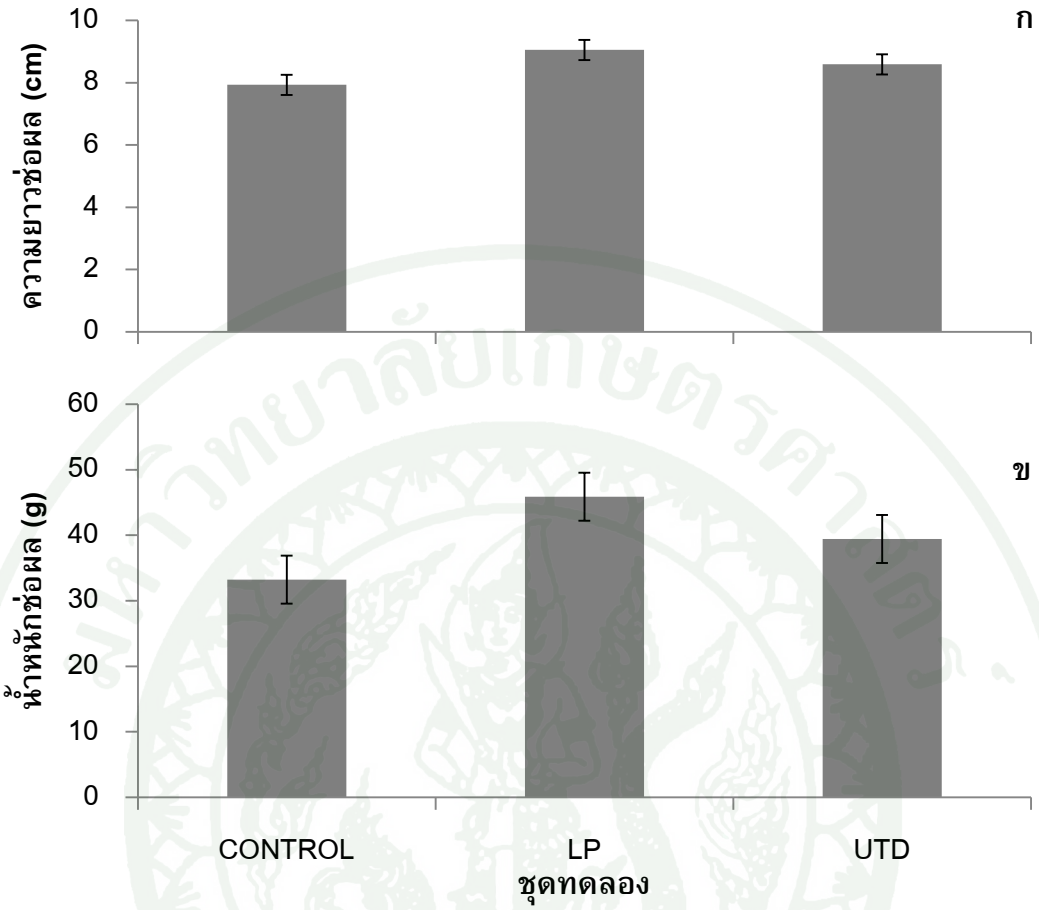
ภาพที่ 23 ผลของดินขาวเคโอลินต่อจำนวนผลต่อช่อ และจำนวนช่อผลต่อต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

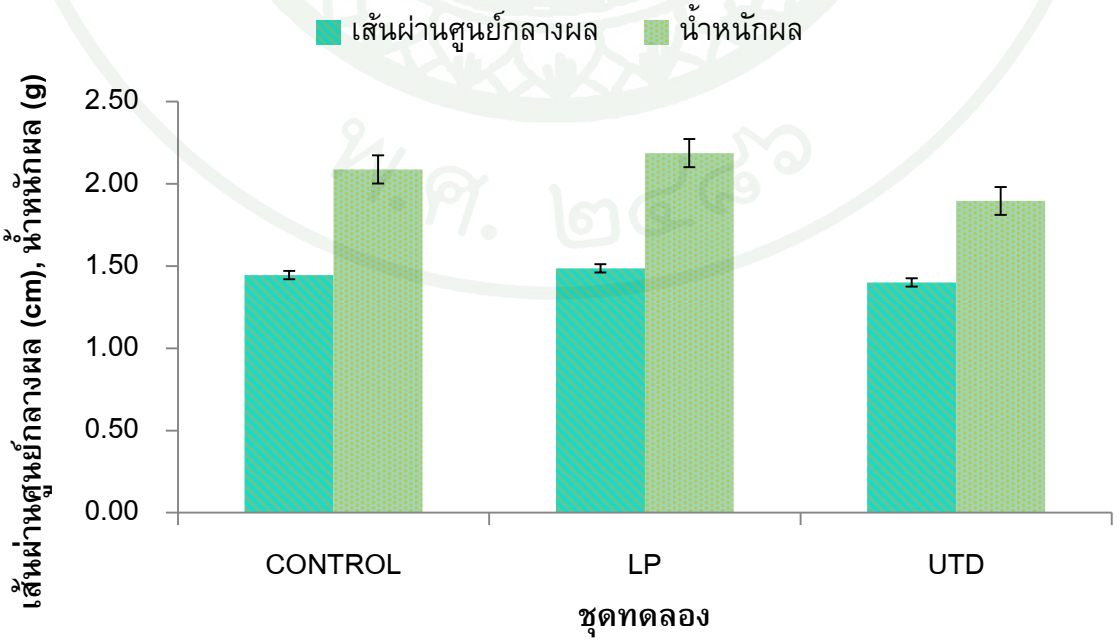


ภาพที่ 24 ผลของดินขาวเคโอลินต่อสัดส่วนช่อผลชนิดต่างๆ ตามเกณฑ์ของ Pierre (1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

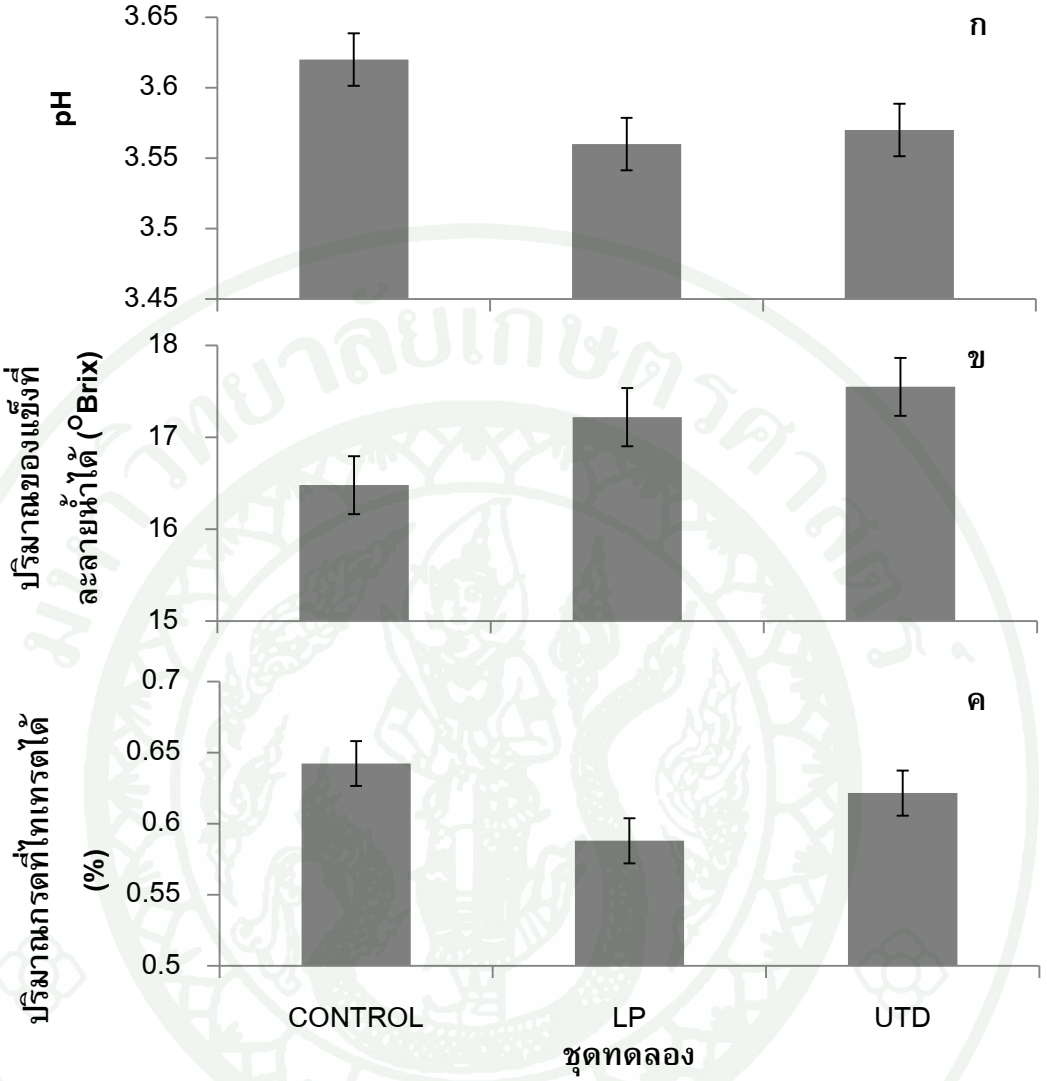


ภาพที่ 25 ผลของดินขาวเคโอลินต่อความยาว (ก) และน้ำหนักช่อผล (ข)



ภาพที่ 26 ผลของดินขาวเคโอลินต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

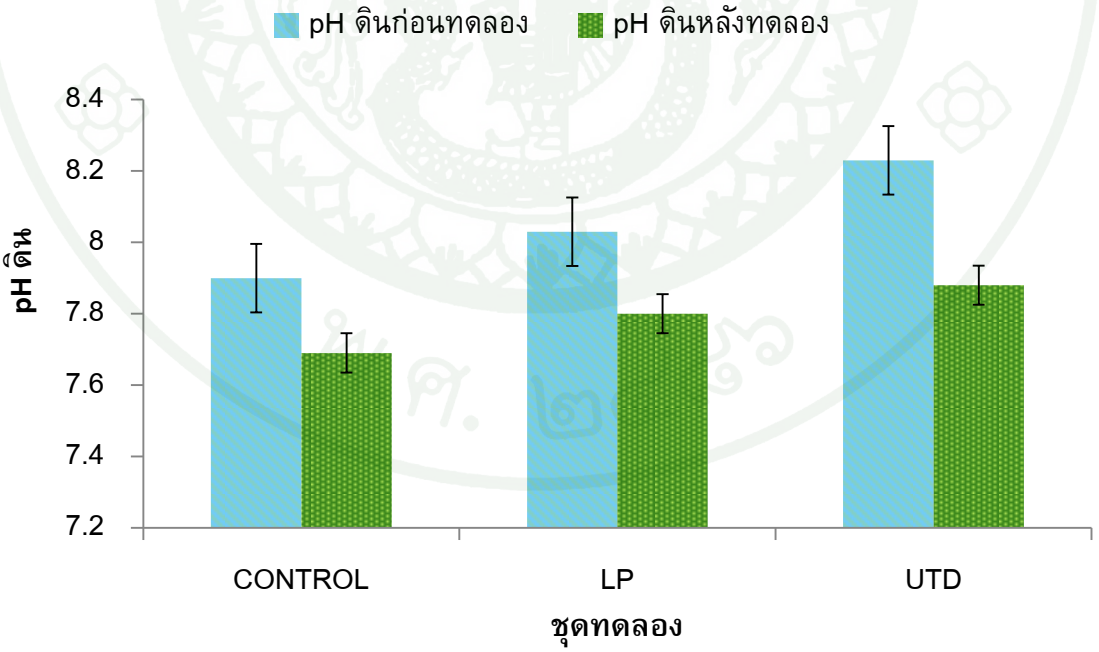


ภาพที่ 27 ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (ก), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ข) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ค) ของน้ำคั้นองุ่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดิน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนการทำทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ดินบริเวณแปลงทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสม่ำเสมอกัน หลังจากทำการทดลอง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดทดลอง (ภาพที่ 28, ตารางผนวกที่ 16) แสดงว่าการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน เนื่องจากคุณสมบัติของดินขาวเคโอลินมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7 ซึ่งมีสภาพเป็นกลาง โดยดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางมีค่าความเป็นกรด-ด่าง หลังจากผสมน้ำเท่ากับ 7.45 และดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.46 (ศิลป์ไทย, 2554) นอกจากนี้ระยะเวลาในการใช้สาร มีระยะเวลาที่สั้นและพ่นน้อยครั้ง โดยพ่นเพียง 5 ครั้ง ตลอดการทดลองและในแต่ละครั้งความเข้มข้นของสารที่พ่นมีค่าต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 50 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ดินขาวเคโอลินจึงไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน เช่นเดียวกับการทดลองในสับปะรด พบว่า การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง อุตรดิตถ์ และระนอง ไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนและหลังการทดลองแตกต่างกันทางสถิติ (ธีรพัฒน์, 2555)



ภาพที่ 28 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนและหลังการพ่นดินขาวเคโอลิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปผลการทดลอง

การตอบสนองขององุ่นต่อการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และจังหวัดอุตรดิตถ์เป็นวัสดุเคลือบใบ ในฤดูแล้ง ได้ผลการทดลองดังนี้

1. Light saturated point ขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette มีค่า 800 μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$

2. อายุใบขององุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ไม่มีผลต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และกราฟการตอบสนองต่อแสง (light response curve) ของใบองุ่น

3. การพ่นดินขาวเคโอลินเป็นวัสดุเคลือบใบ สามารถทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดขององุ่นในสภาพกระถางมีค่าสูงขึ้น โดยดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมากที่สุด รองลงมาคือดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และดินขาวเคโอลินจากจังหวัดระนองตามลำดับ

4. ในสภาพอากาศที่มีความรุนแรงน้อย ที่ระยะอายุผล 2 สัปดาห์ การพ่นดินขาวเคโอลินเป็นวัสดุเคลือบใบ ในสภาพแปลงทดลอง ไม่สามารถรักษาระดับของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิได้ชัดเจน เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิไม่ลดลงจากผลของสภาพอากาศ ทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของชุดควบคุมมีค่าใกล้เคียงกับการพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่ง

5. ในสภาพอากาศที่มีความเข้มแสงสูง อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์เป็นวัสดุเคลือบใบ ในสภาพแปลงทดลอง สามารถรักษาระดับของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิให้คงอยู่ได้ ตั้งแต่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์เป็นต้นไป และสามารถเพิ่มอัตราการคายน้ำ ชะลอการเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิใบ ในช่วง 3 สัปดาห์แรกหลังเริ่มต้นพ่นสาร ที่ระยะอายุผล 2 ถึง 4 สัปดาห์ ซึ่งให้ผลดีกว่าการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง

6. การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และอุตรดิตถ์ สามารถรักษาระดับประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm) ให้มีค่าสูง เพิ่มค่าอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (ETR) นอกจากนี้การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถเพิ่มค่า photochemical quenching (qP) และลดค่า non-photochemical quenching (qN) ที่ระยะอายุผล 5 สัปดาห์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง และอุตรดิตถ์สามารถรักษาค่าดัชนีความเขียวของใบองุ่นได้

8. การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ทำให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบเพิ่มขึ้นที่ระยะอายุผล 6 และ 8 สัปดาห์ และทำให้ปริมาณฟรักโตสในใบมีค่ามากกว่าชุดควบคุมที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ นอกจากนี้การพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่ง ทำให้ปริมาณแป้งในใบมีแนวโน้มต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดการทดลอง และทำให้อัตราส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลฟรักโตสในใบมีแนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุมที่ระยะอายุผล 4 และ 6 สัปดาห์

9. การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ทำให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่งมีค่าต่ำที่สุดที่ระยะอายุผล 8 สัปดาห์ ในขณะที่การพ่นดินขาวเคโอลินจากทั้งสองแหล่งไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลฟรักโตส และปริมาณแป้งในกิ่ง

10. การพ่นดินขาวเคโอลินทำให้ปริมาณผลผลิตองุ่นต่อต้นเพิ่มขึ้น โดยการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น 44.05 เปอร์เซ็นต์ และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปางทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น 17.69 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดทดลอง นอกจากนี้การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์มีแนวโน้มทำให้ความยาวช่อผล น้ำหนักช่อผล จำนวนช่อผลต่อต้น และจำนวนผลต่อช่อ มากกว่าชุดทดลองอื่นๆ แต่ในกรณีของการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ทำให้น้ำหนักและขนาดของผลองุ่นเพิ่มขึ้นได้มากกว่าการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์

11. การพ่นดินขาวเคโอลินทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น โดยไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในน้ำคั้นองุ่น

12. การพ่นดินขาวเคโอลินไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินบริเวณแปลงทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลของดินขาวเคโอลินที่ใช้ในการทดลอง เปรียบเทียบกับดินขาวเคโอลินที่ถูกพัฒนาในรูปสารการค้า และเปรียบเทียบกับสารที่ใช้เป็นวัสดุเคลือบใบชนิดอื่นๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ผลผลิตและคุณภาพองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Perlette ในฤดูแล้ง

2. ควรมีการศึกษาผลของสารจับใบชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลือบผิวใบของดินขาวเคโอลิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณพล จุฑามณี, ชินวัฒน์ ยัพวัฒนพันธ์ และ วิวัฒน์ โตธิรกุล. 2554. **รายงานการวิจัย เรื่อง การพัฒนาดินขาวเคโอลินเป็นสารเคลือบผล เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต ควบคุมเพลี้ยไฟและโรคแอนแทรคโนส ในไม้ผลเศรษฐกิจ.** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

คัทลียา ฉัตรเที่ยง. 2547. **อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สและพลังงานศักย์ของน้ำในใบมะละกอพันธุ์แขกนวล ต้นตัวเมียและต้นสมบูรณ์เพศ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดาวยศ นิลนนท์. 2547. **การศึกษาสัดส่วนธาตุอาหารในระบบน้ำหยดที่ประเมินจากปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียต่อผลผลิตและคุณภาพขององุ่นพันธุ์ Perlette.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีรพัฒน์ เทพแก้ว. 2555. **ผลของดินขาวเคโอลินต่ออาการใบและผลไหม้ และคุณภาพผลผลิตสับปะรดในฤดูร้อน.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นพพร สุรโชติ. 2546. **ผลของอัตราปุ๋ยในระบบน้ำหยดร่วมกับปุ๋ยคอกต่อปริมาณธาตุอาหาร ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์โบไฮเดรทกับไนโตรเจนในกิ่ง ผลผลิตและคุณภาพขององุ่นพันธุ์ Beauty Seedless.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปวิณ ปุณศรี. 2504. **องุ่น**. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัชรียา บุญกอแก้ว. 2543. การสังเคราะห์แสง, น. 59-73. *ใน* จริงแท้ ศิริพานิช, ผู้รวบรวม. **หลักการพืชสวน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2543. **ชีววิทยา 2.** พิมพ์ครั้งที่ 3. มูลนิธิ สอวน., กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา แก้วทองราช. 2552. **ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของผักโขม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2552. แมทาบอลิซึม, น. 79-174. *ใน* ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุรียา ตันติวิวัฒน์, ผู้รวบรวม. **สรีรวิทยาของพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิลป์ไทย สินอำพล. 2554. **การใช้ดินขาวเคโอลินเป็นวัสดุเคลือบ เพื่อควบคุมอาการกิ่งไหม้ การเกิดโรค และคุณภาพของผลแก้วมังกร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 3 เชียงใหม่. 2529. **ดินขาว และดินเหนียวดำ สำหรับงานอุตสาหกรรมของภาคเหนือ.** กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. **สถิติการส่งออก -- องุ่น (รวม): ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php, 12 พฤศจิกายน 2556.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2556**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php, 12 พฤศจิกายน 2557.

สุทธิ์สินี หักกะยานนท์, ผู้รวบรวม. 2543. **องุ่นเงินล้าน.** สำนักพิมพ์นาคา, กรุงเทพฯ.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2546. **ผลการศึกษาการประเมินกระบวนการสังเคราะห์แสงและปริมาณธาตุอาหารในต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปรับสภาพหลังแสดงอาการใบเหลืองซีด**. ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

_____ และ ธาดา ชัยสีหา. 2543. Chlorophyll fluorescence ของใบมะม่วงภายใต้สภาพน้ำขัง, น. 85-94. *ใน* **รายงานโครงการวิจัยวิธีการให้อากาศเพื่อกู้ชีวิตต้นมะม่วงที่ประสบอุทกภัย.** สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, คัทลียา ฉัตรเที่ยง, ธาดา ชัยสีหา, จิตรฤทัย ชูมาก, สุทิน หิรัญอ่อน, และ ภูริพงศ์ ดำรงวุฒิ. 2544. อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิและคายน้ำในรอบวันของใบส้มเขียวหวาน, น. 62-81. *ใน* **รายงานโครงการพัฒนาวิชาการข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของส้มเขียวหวาน.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

AACC International. 2000. **Approved Methods of Analysis Method 76-13.01 Total Starch Assay Procedure (Megazyme Amyloglucosidase/alpha-Amylase Method).** 11th Ed. St. paul, U.S.A.

Agasse, A., C. Vignault, C. Kappel, C. Conde, H. Geros and S. Delrot. 2001. Sugar transport & sugar sensing in grape, pp. 1-19. *In* K.A. Roubelakis-angelakis, ed. **Molecular Biology & Biotechnology of The Grapevine.** Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

A.O.A.C. 2002. **Official Methods of Analysis**. AOAC International, Maryland.

Bantog, N.A., K. Shiratake and S. Yamaki. 1999. Changes in sugar content and sorbitol- and sucrose-related enzyme activities during development of Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Mogi) fruit. **Journal of the Japanese Society for Horticultural** 68: 942-948.

Beckles, D.M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology** 63: 129–140.

Bell, D., C. Scott, R. Ortiz and N. Phillips. 2006. Surround® crop protectant-for the reduction of sunburn damage and heat stress in pineapple. **Acta Horticulturae** 702: 179–184.

Bidwell, R.G.S. 1974. **Plant Physiology**. Macmillan Publishing Company Inc., New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Björkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O_2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. **Planta** 170: 489-504.

Bornke, F. and S. Sonnewald. 2011. Biosynthesis and metabolism of starch and sugars. *In* H. Ashihara, A. Crozier and A. Komamine, eds. **Plant Metabolism and Biotechonogy.** John Wiley & Sons, Chichester.

Bergqvist, J. 2001. Sunlight exposure and temperature effect on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central Son Joaquin Velley of California. **American Journal of Enology and Viticultrue** 51: 1-7.

Calatayud, A. and E. Barreno. 2004. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. **Plant Physiology and Biochemistry** 42: 549-555.

Cantore, V., B. Pace and R. Albrizio. 2009. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. **Environmental and experimental botany** 66: 279–288.

Chadha, K.L. and S.D. Shikhamany. 1999. **The Grape Improvement, Production and Post-harvest Management.** Malhotra Publishing House, New delhi.

Chamchaiyaporn, T., K. Jutamanee, P. Kasemsap and P. Vaithanomsat. 2013. Selection of the most appropriate coating particle film for improving photosynthesis in mango. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 47: 323-332.

Chapman, G.W. and R.J. Horvat. 1990. Changes in nonvolatile acids, sugars, pectin, and sugar composition of pectin during peach (cv. Monroe) maturation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 38: 383-387.

Chen, J., J.J. Burke, J. Velten and Z. Xin. 2006. FtsH11 protease plays a critical role in Arabidopsis thermotolerance. **The Plant Journal** 48: 73-84.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Colavita, G.M., V. Blackhall and S. Valdez. 2011. Effect of kaolin particle films on the temperature and solar injury of pear fruits. **Acta Horticulturae** 909: 609–615.

Coombe, B.G and P.R. Dry. 2001. **Viticulture Volume 2 Practices.** Hyde Park Press, Adelaide.

Dai, Y.,Z. Shen, Y. Liu, L. Wang, D. Hannaway and H. Lu. 2009. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. **Environmental and Experimental Botany** 65: 177-182.

Davies, C. and S. Robinson. 1996. Sugar accumulation in grape berries, cloning of two putative vacuolar invertase cDNAs and their expression in grapevine tissue. **Plant Physiology** 111: 275-283.

Edwards, G. and D. Walker. 1983. **C_3, C_4: Mechanisms, and Cellular and Environmental Regulation, of Photosynthesis**. University of California Press, California.

Eshghi, S., E. Tafazoli, S. Dokhani, M. Rahemi and Y. Emam. 2007. Changes in carbohydrate contents in shoot tips, leaves and roots of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) during flower-bud differentiation. **Scientia Horticulturae.** 113: 255-260.

Gabriel, S.D.R., E.G. Moises and H.V. Javier. 2006. Kaolin effects in processing tomato production in chile. **Acta Horticulturae** 724: 191–198.

Genty, B., J.M. Briantais and N.R. Baker. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimicaet Biophysica Acta**. 990: 87-92.

Glenn, D.M. and G.J. Puterka. 2005. Particle Film Technology: A New Tool for Agriculture. **Horticultural Reviews** 31: 1-45.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Glenn, D.M., G.J. Puterka, S.R. Drake, T.R. Unruh, L.A. Knight, P. Baherle, E. Prado and T.A. Baugher. 2001. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield and fruit quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 126: 175–181.

_____, _____, T. Vanderzwet and R.E. Feldhake. 1999. Hydrophobic particle films: a new paradigm for suppression of arthropod pests and plant diseases. **Journal of Economic Entomology** 9: 759–771.

Guo, D.P., Y.P. Guo, J.P. Zhao, H. Liu, Y. Peng, Q.M. Wang, J.S. Chen and G.Z. Rao. 2005. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. tsatsai) after turnipmosaic virus infection. **Plant Science** 168: 57–63.

Guo, H. X., W.Q. Liu. and Y.C. Shi. 2006. Effects of different nitrogen forms on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence induction kinetics of flue-cured tobacco. **Photosynthetica** 44: 140-142.

Hall, A.E., E.D. Schulze and O.L. Lange. 1976. Current perspectives of steady-state stomatal response to environment, pp. 169-188. *In* O.L. Lange, L. kappen and E.D. Schulze., eds. **Water and Plant Life: Problem and Modern Approaches.** Springer-Verlad, Berlin.

Heinz Walz GmbH. 2003. **Portable Chlorophyll Fluorometer PAM-2100 Handbook of Operation**. Heinz Walz GmbH, Germany.

Hendrix, D.L. and R.I. Grange. 1990. Carbon partitioning and export from mature cotton leaves. **Plant Physiology** 95: 228–233.

Hichem, H., E.A. Nachur and D. Mounir. 2009. Effects of salt stress on photosynthesis, PSII photochemistry and thermal energy dissipation in leaves of two corn (*Zea mays* L.) varieties. **Photosynthetica** 47(4): 517-526.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Horie, T. 1979. Studies on photosynthesis and primary production of rice plants in relation to meteorological environments. 2. Gaseous diffusive resistance, photosynthesis and transpiration in leaves as influenced by atmospheric humidity, and air and soil temperatures. **Journal of Agricultural Meteorology** 35: 1-12.

Hunter, J.J. and J.H. Visser. 1990. The effect of partial defoliation on growth characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon I. Vegetative growth. **South African Journal of Enology and Viticulture** 11, 18-25.

Intrieri, C. 1987. Experiences on the effect of vine spacing and trellis-training system on canopy micro-climate, vine performance and grape quality. **Acta Horticulturae** 206: 69-85.

Ishihara, K. and K. Saito. 1987. Diurnal changes in photosynthesis, respiration, and diffusive Maxconductance in the single-leaf of rice plants grown in the paddy field under submerged conditions. **Japanese Journal of Crop Science** 56:8-17.

_____, T. Nishihara and T. Ogura. 1971. The relationship between environment factors and behavior of stomata in rice plants. 2. On the measurement of the stomatal aperture. **Proceedings of the Crop Science Society of Japan** 40: 491-496.

Jifon, J.L. and J.P. Syvertsen. 2003. Kaolin particle film applications can increase phosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 128(1): 107–112.

Keller, M. 1966. **The Science of Grapevines : Anatomy and Physiology**. Elsevier Inc., China.

Kliewer, W.M. 1966. Sugar and organic acids of *Vitis vinifera.* **Plant Physiology** 41: 923-931.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kliewer, W.M. 1967. The Glucose-Fructose Ratio of *Vitis Vinifera* Grapes. **American Journal of Enology and Viticultrue** 41: 923-931.

Kramer, P.J. 1969. **Plant and Soil Water Relationships: A Modern Synthesis.** McGraw-Hill Book Company Inc., New York.

_____. 1983. **Water Relations of Plants.** Academic Press Inc., New York.

_____ and J.S. Boyer. 1995. **Water Relations of Plants and Soils.** Academic Press Inc., New York.

_____ and T.T. Kozlowski. 1960. **Physiology of Trees**. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.

Kriedemann, P.E. 2005. Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature, and leaf age. **Vitis** 7: 213-220.

Kozlowski, T.T., P.J. Kramer and S.G. Pallardy. 1991. **The Physiological Ecology of Woody Plants.** Academic Press Inc., New York.

Larcher, W. 1995. **Physiological Plant Ecology.** Springer-Verlag, Berlin.

LI-COR. 2004. **Portable Photosynthesis System LI-6400 Manual.** LI-COR Inc., USA.

Longbottom, M.L., P.R. Dry and M. Sedgley. 2010. Effects of sodium molybdate foliar sprays on molybdenum concentration in the vegetative and reproductive structures and on yield components of *Vitis vinifera* cv. Merlot. **Australian Journal of Grape and Wine Research** 16: 447–490.

Lovisolo, C., A. Schubert and M. Restagno. 1996. Photosynthesis of grapevine leaves of different age at high and low light intensity. **Acta Horticulturae** 427: 171–175.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. **Journal of Experimental Botany** 51(345): 659-668.

Moriguchi, T., Y. Ishizawa, T. Sanada, S. Teramoto and S. Yamaki. 1991. Role of sucrose synthase and other related enzymes in sucrose accumulation in peach fruit. **Journal of the Japanese Society for Horticultural** 60: 531-538.

Murray, F.W. 1967. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal of Applied Meteorology and Climatology** 6: 203-204.

Netto, A.T., E. Compostrini, J.G. Oliveira and R.E. Bressan-Smith. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae** 104: 199-209.

Nogues, S. and N.R. Baker. 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. **Journal of Experimental Botany** 51(348): 1309-1317.

Pan, Q., J. Zhan, H. Liu, J. Zhang, J. Chen, P. Wen and W. Huang. 2006. Salicylic acid synthesized by benzoic acid 2-hydroxylase participates in the development of thermotolerance in pea plants. **Plant Science** 171: 226-233.

Peng. S. 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice, pp. 213-228. *In* J.E. Sheehy, P.L. Mitchell and B. Hardy, eds. **Redesigning rice Photosynthesis to Increase Yield.** International Rice Research Institute,Manila, Philippines.

Pierre, G. 1980. **A Practical Ampelography Grapevine Identification.** Cornell University Press, New York.

Prieto, J.A., G. Giorgi and J.P. Pena. 2010. Modelling photosynthetic-light response on Syrah leaves with different exposure. **Vitis** 9(3): 145–146.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Rosenqvist, E. and O.V. Kooten. 2003. Chlorophyll fluorescence: A general description and nomenclature. pp. 31-77. *In* DeEll, J.R. and P.M.A. Toivonen, eds. **Practical Applications of chlorophyll Fluorescence in Plant Biology**. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Schupp, J.R., E. Fallahi and I. Chun. 2002. Effect of particle film on fruit sunburn, maturity and quality of 'Fuji' and 'Honeycrisp' apples. **Horttechnology** 12(1): 87–90.

Shanmugavelu, K.G. 2003. **Grape Cultivation and Processing.** Agrobios, India.

Shellie, K. and D.M. Glenn. 2008. Wine grape response to foliar particle film under differing levels of preveraison water stress. **HortScience** 43(5): 1392–1397.

Squire, G.R. and C.R. Black. 1981. Stomatal behavior in the field, pp. 223-245. *In* P.G. Jarvis and T.A. Mansield, eds. **Stomatal Physiology**. Cambridge Univ. Press, London.

Swanson, C. A. and E.D.H. El-Shishiny. 1958. Translocation of sugars in the concord grape. **Plant Physiology** 33(1): 33–37.

Tain, M.S., T. Islam, D.G. Stevenson and D.E. Irving. 1997. Color, ethylene production, respiration, and compositional changes in broccoli dipped in hot water. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 122(1): 112–116.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. **Plant Physiology**. 3rd ed. Sinaguer Associate Inc., Massachusetts.

Vasil'ev,S., S. Wiebe and D. Brunce. 1998. Non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in photosynthesis 5-hdroxy-1,4-napthoquinone in spinach thylakoids as a model for antenna based quenching mechanism**.** **Biochimica Biophysica Acta** 1363 (2): 147-156.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ward, S.J.E., K.I. Theron and J. Ackerman. 2006. Harvest and postharvest apple fruit quality following applications of kaolin particle film in south african orchards. **Scientia Horticulturae** 107: 271–276.

Warrel, W.E. 1975 **Clay & Ceramic Raw Materials**. Elsevier Applied Science Publishers, New York.

Weaver, R.J. 1976. **Grape Growing**. A Wiley Interscience Publication, U.S.A.

Williams, L.E. 1996. Grape, pp. 851-881. *In* E. Zamski and A.A. Schaffer, eds. **Photoassimilate Distribution in Plants and Crops Source-Sink Relationship.** Marcel Dekker, New York.

Yamamoto, Y. 2001. Quality control of photosystem II. **Plant Cell Physiology** 42(2): 121-128.

Zimmermann, M.H. 1956. Translocation of organic substances in trees. I. the nature of the sugars in the sieve tube exudate of trees. **Plant Physiology** 32(4): 288–291.

Zufferey, V., F. Murisier and H.R. Schultz. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs Piesling and Chasselas leaves in the field: I. interaction of age, light and temperature. **Vitis** 39(1): 19-26.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

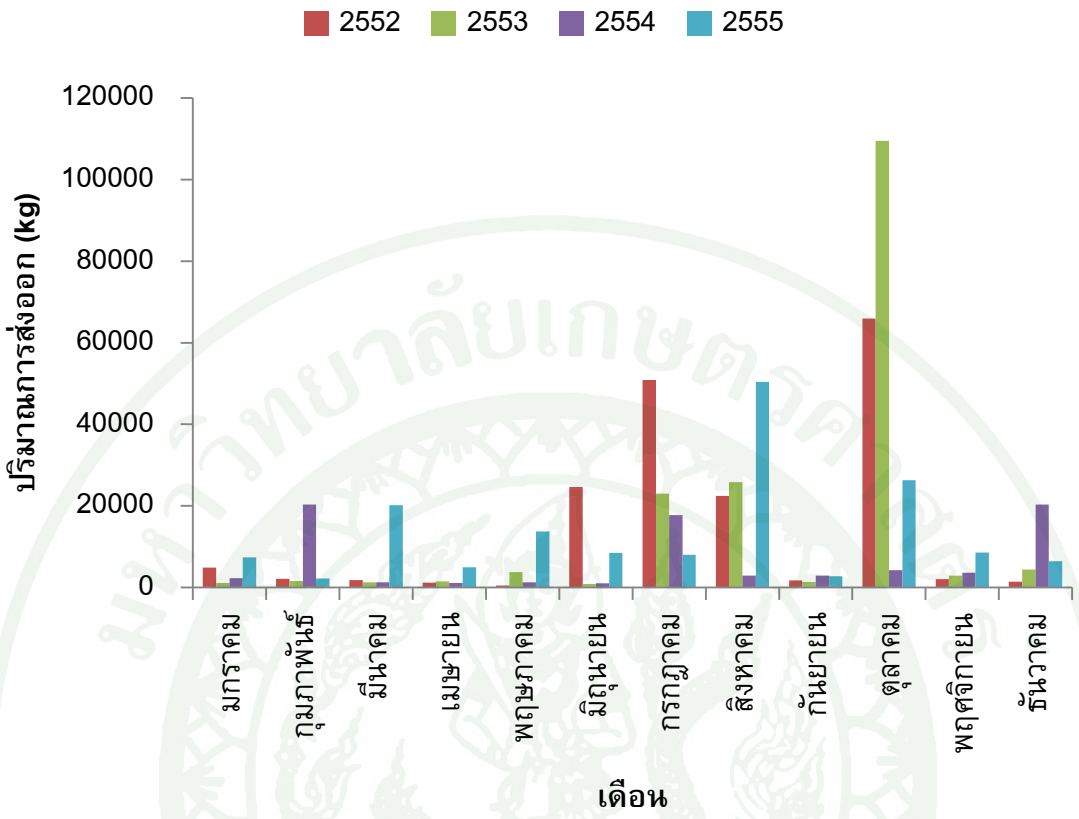
ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ตารางแสดงแผนการทดลองและเก็บข้อมูล

วันที่	แผนการทดลองและเก็บข้อมูล
เดือนสิงหาคม	วันตัดแต่งกิ่ง
13 พ.ย. 2555	วันติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลสภาพอากาศ
17 พ.ย. 2555	วันเริ่มพ่นสาร
17 พ.ย. 2555	เก็บตัวอย่างดินก่อนทดลอง
20 พ.ย. 2555	วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ครั้งที่ 1
24 พ.ย. 2555	วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ครั้งที่ 2
1 ธ.ค. 2555	วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ครั้งที่ 3
8 ธ.ค. 2555	วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ครั้งที่ 4
15 ธ.ค. 2555	วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ครั้งที่ 5
22 ธ.ค. 2555	วัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ครั้งที่ 6
24 พ.ย. 2555	วัดประสิทธิภาพการใช้แสง ครั้งที่ 1
1 ธ.ค. 2555	วัดประสิทธิภาพการใช้แสง ครั้งที่ 2
8 ธ.ค. 2555	วัดประสิทธิภาพการใช้แสง ครั้งที่ 3
24 พ.ย. 2555	วัดค่า SPAD index ครั้งที่ 1
1 ธ.ค. 2555	วัดค่า SPAD index ครั้งที่ 2
8 ธ.ค. 2555	วัดค่า SPAD index ครั้งที่ 3
15 ธ.ค. 2555	วัดค่า SPAD index ครั้งที่ 4
22 ธ.ค. 2555	วัดค่า SPAD index ครั้งที่ 5
20 พ.ย. 2555	เก็บตัวอย่างใบและกิ่งมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ครั้งที่ 1
1 ธ.ค. 2555	เก็บตัวอย่างใบและกิ่งมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ครั้งที่ 2
15 ธ.ค. 2555	เก็บตัวอย่างใบและกิ่งมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ครั้งที่ 3
4 ม.ค. 2555	เก็บตัวอย่างใบและกิ่งมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ครั้งที่ 4
18 ธ.ค. 2555	วันพ่นสารวันสุดท้าย
4 ม.ค. 2555	เก็บเกี่ยวผลผลิต
4 ม.ค. 2555	เก็บตัวอย่างดินหลังการทดลอง
4 ม.ค. 2555	วันบันทึกข้อมูลสภาพอากาศวันสุดท้าย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 1 ปริมาณการส่งออกขององุ่นในรูปผลสดของประเทศไทยในรอบปี เปรียบเทียบในแต่ละเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2555

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ขององุ่นไร้เมล็ด พันธุ์ Perlette

พารามิเตอร์	อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ($\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)
CONTROL	8.62
LP	10.99
UTD	11.93
RN	9.67
F-test	ns
CV (%)	15.12

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

CONTROL คือ ต้นองุ่นที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

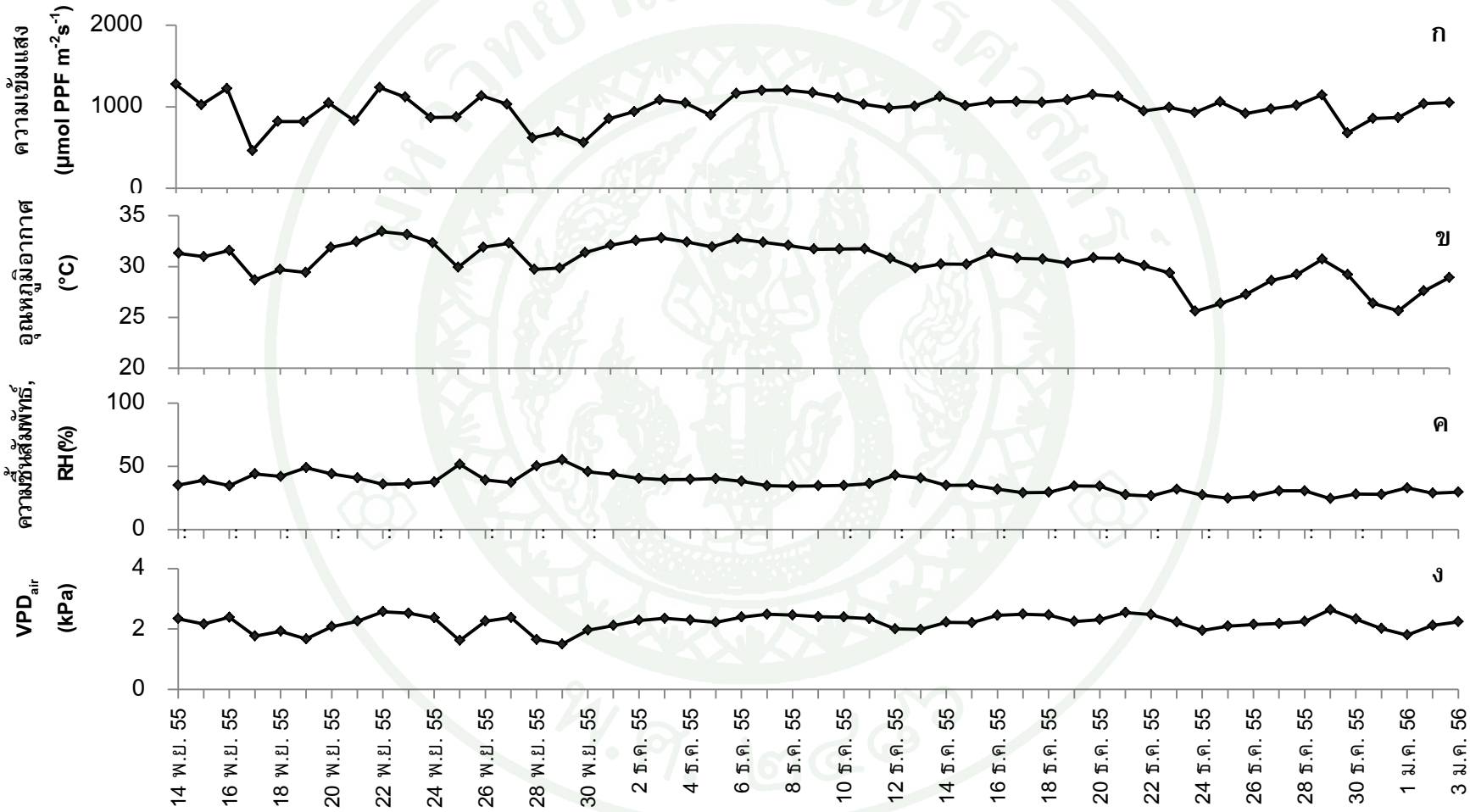
RN คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดระนอง ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลสภาพอากาศในแปลงทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ระหว่าง เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2556

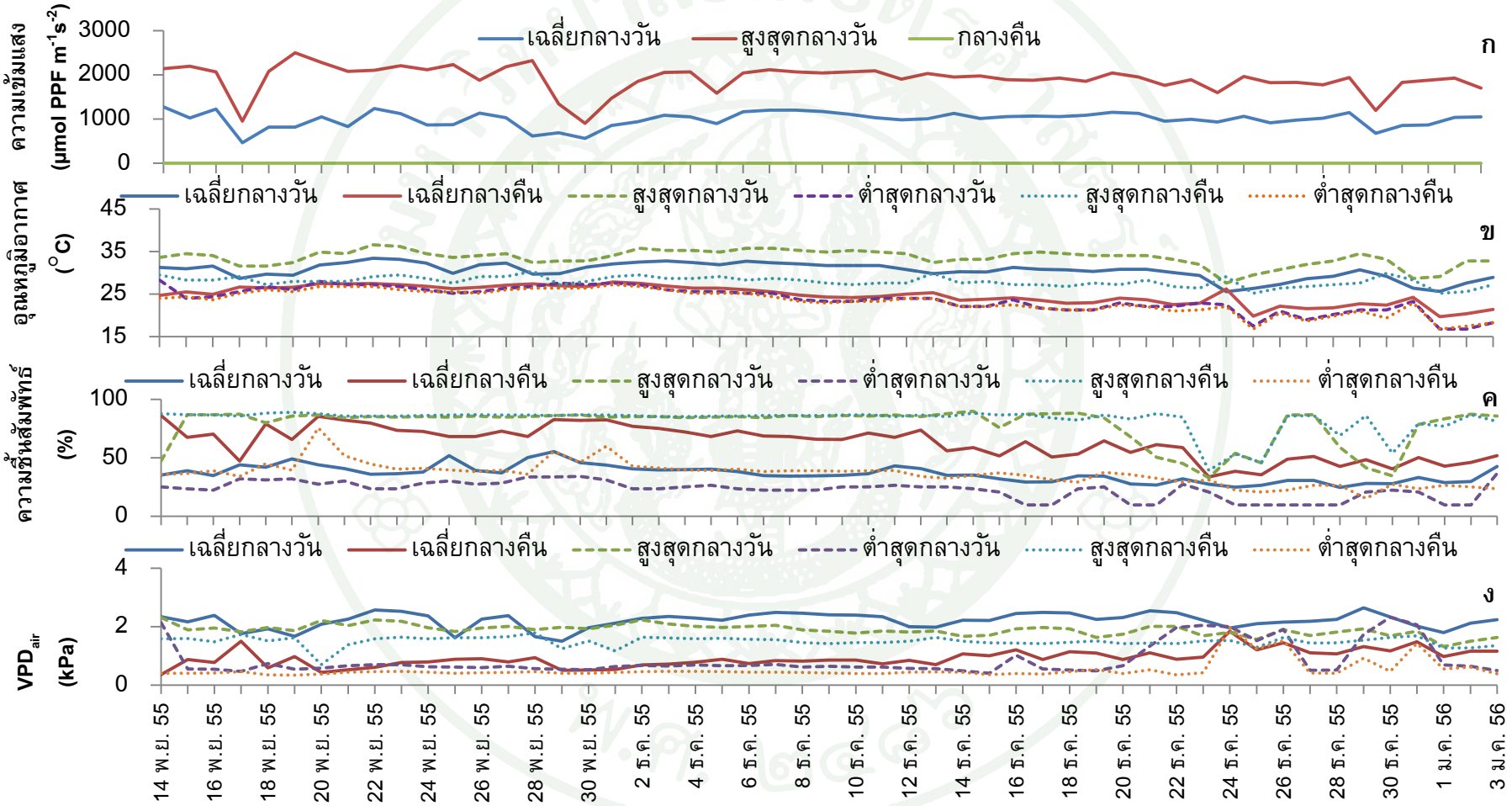
ข้อมูลสภาพอากาศ	เวลากลางวัน	เวลากลางคืน
ความเข้มแสงเฉลี่ย (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$)	989.78	-
ความเข้มแสงสูงสุด (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$)	2500.0	-
ความเข้มแสงต่ำสุด (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$)	35.2	-
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C)	30.49	24.78
อุณหภูมิอากาศสูงสุด (°C)	36.6	30.4
อุณหภูมิอากาศต่ำสุด (°C)	16.8	16.8
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (RH_{air} ,%)	31.15	36.11
ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (RH_{air} ,%)	89.8	89.0
ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (RH_{air} ,%)	9.5	15.1
แรงดึงระเหยน้ำของอากาศเฉลี่ย (VPD_{air}, kPa)	2.38	1.64
แรงดึงระเหยน้ำของอากาศสูงสุด (VPD_{air}, kPa)	4.25	2.92
แรงดึงระเหยน้ำของอากาศต่ำสุด (VPD_{air}, kPa)	0.17	0.18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 2 สภาพอากาศในแปลงองุ่นที่ทำการทดลองเฉลี่ยรายวันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2556; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 3 สภาพอากาศในแปลงอ่งุนที่ทำการทดลองแสดงค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุด รายวันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2556; ความเข้มแสง (PPF) (ก), อุณหภูมิอากาศ (ข), ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) และVPD_{air} (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลสภาพอากาศในแปลงทดลองในวันที่ทำการบันทึกข้อมูล ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.00 น.

ข้อมูลสภาพอากาศ	ครั้งที่ 1 อายุผล 2 สัปดาห์	ครั้งที่ 2 อายุผล 3 สัปดาห์	ครั้งที่ 3 อายุผล 4 สัปดาห์	ครั้งที่ 4 อายุผล 5 สัปดาห์	ครั้งที่ 5 อายุผล 6 สัปดาห์	ครั้งที่ 6 อายุผล 7 สัปดาห์
ความเข้มแสงเฉลี่ย (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$)	460.95	868.55	797.97	1203.58	1043.65	948.55
ความเข้มแสงสูงสุด (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$)	950.7	2112.7	1467.1	2065.7	1971.8	1760.6
ความเข้มแสงต่ำสุด (PPF, μmol PPF $m^{-2}s^{-1}$)	70.4	140.8	129.1	93.9	58.7	70.4
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C)	28.67	32.33	32.01	32.10	30.22	30.07
อุณหภูมิอากาศสูงสุด (°C)	31.6	34.1	33.6	35.3	33.2	33.2
อุณหภูมิอากาศต่ำสุด (°C)	25.6	26.0	27.6	23.7	22.1	22.1
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (RH_{air} ,%)	28.67	37.70	43.63	34.30	35.27	26.70
ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (RH_{air} ,%)	87.3	85.2	84.8	86.1	89.8	50.4
ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (RH_{air} ,%)	32.0	28.3	31.1	22.2	23.5	9.5
VPD_{air} เฉลี่ย (kPa)	1.76	2.36	2.11	2.46	2.20	2.48
VPD_{air} สูงสุด (kPa)	2.49	3.03	2.79	3.37	3.03	3.59
VPD_{air} ต่ำสุด (kPa)	0.32	2.36	0.41	0.34	0.23	0.26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 ผลของดินขาวเคโอลินต่อพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของใบงุ่นหลังเริ่มต้นที่ระยะอายุผล 2 ถึง 7 สัปดาห์

พารามิเตอร์		T_{leaf}, (°C)	$VPD_{leaf-air}$ (kPa)	g_s ($molCO_2$ m^{-2} s^{-1})	*A* (µ$molCO_2$ m^{-2} s^{-1})	Ci:Ca	E (m$molH_2O$ m^{-2} s^{-1})	*A*:E
อายุผล 2 สัปดาห์	CONTROL	23.59b [1/]	0.688	0.557	8.20a	0.876	2.84a	3.19
	LP	22.78a	0.72	0.287	7.52ab	0.874	2.34a	3.08
	UTD	22.80a	0.55	0.366	4.02b	0.916	1.46b	2.72
F-test		**	ns	ns	*	ns	*	ns
CV (%)		2.76	13.91	38.17	36.53	3.59	26.62	26.11
อายุผล 3 สัปดาห์	CONTROL	24.93	1.652	0.329	7.11	0.833	4.24	1.70
	LP	24.09	1.942	0.391	6.66	0.819	4.25	1.82
	UTD	24.98	1.297	0.243	7.94	0.854	4.29	2.09
F-test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		5.34	36.95	36.98	38.46	6.48	37.34	36.82
อายุผล 4 สัปดาห์	CONTROL	23.89	0.437	0.588	10.72	0.857	1.76	5.74
	LP	24.29	0.626	0.636	10.53	0.843	2.73	4.32
	UTD	23.71	0.532	0.650	12.98	0.853	2.67	4.69
F-test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		1.63	24.66	30.81	18.20	2.75	30.65	18.40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

พารามิเตอร์		T_{leaf}, (°C)	$VPD_{leaf-air}$ (kPa)	g_s ($molCO_2$ m^{-2} s^{-1})	*A* (µ$molCO_2$ m^{-2} s^{-1})	Ci:Ca	E (m$molH_2O$ m^{-2} s^{-1})	*A*:E
อายุผล 5 สัปดาห์	CONTROL	26.17b	0.743	0.481	6.80	0.874	2.30	3.27
	LP	26.54b	1.288	0.363	6.38	0.839	3.40	2.13
	UTD	24.99a	0.773	0.302	10.99	0.793	2.45	5.04
F-test		**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		2.94	38.60	50.37	41.94	8.56	37.99	58.36
อายุผล 6 สัปดาห์	CONTROL	24.31a	0.413	0.377	6.64b	0.883	1.29	5.60
	LP	25.26b	0.557	0.435	8.29ab	0.866	2.00	4.32
	UTD	25.35b	0.642	0.619	10.97a	0.786	2.19	6.13
F-test		*	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)		2.82	27.57	70.05	31.75	9.02	40.02	34.93
อายุผล 7 สัปดาห์	CONTROL	24.35	0.614	0.180b	3.81b	0.882	0.98b	3.17
	LP	25.45	0.585	0.492a	8.50a	0.902	2.02a	4.42
	UTD	26.22	0.965	0.275ab	10.20a	0.803	2.20a	4.90
F-test		ns	ns	*	**	ns	*	ns
CV (%)		3.48	51.50	59.12	41.29	8.67	51.04	39.53

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทาสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นอ่อนที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

A คือ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ

T_{leaf} คือ อุณหภูมิใบ

g_s คือ ค่านำไหลปากใบ

E คือ อัตราการคายน้ำ

A:E คือ สัดส่วนระหว่างอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออัตราคายน้ำ

Ci:Ca คือ สัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างในใบกับที่อยู่ในอากาศ

$VPD_{leaf-air}$ คือ แรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 ผลของดินขาวเคโอลินต่อพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการใช้แสง

พารามิเตอร์		Fv/Fm	ETR	qP	qN
อายุผล 3 สัปดาห์	CONTROL	0.608b [1/]	24.21b	1.000a	0.020
	LP	0.694a	41.30b	1.000a	0.385
	UTD	0.684a	71.07a	0.754b	0.617
F-test		*	*	**	**
CV (%)		8.52	57.67	16.29	86.13
อายุผล 4 สัปดาห์	CONTROL	0.463	82.19	0.540b	0.678b
	LP	0.681	97.79	0.596b	0.715b
	UTD	0.722	116.51	1.000a	0.062a
F-test		ns	ns	**	**
CV (%)		29.18	37.40	31.71	66.01
อายุผล 5 สัปดาห์	CONTROL	0.700	22.36	0.733	0.623
	LP	0.711	89.90	0.623	0.633
	UTD	0.706	91.17	0.459	0.732
F-test		ns	ns	ns	ns
CV (%)		2.70	121.29	29.09	16.00

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นอ่อนที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

Fv/Fm คือ ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII ในสภาพมืด

ETR คือ อัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในระบบแสงสอง

qP คือ photochemical quenching

qN คือ non-photochemical quenching

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 ผลของดินขาวเคโอลินต่อค่าดัชนีความเขียวของใบที่ระยะเวลาต่างๆ

พารามิเตอร์	ดัชนีความเขียว				
	อายุผล 3 สัปดาห์	อายุผล 4 สัปดาห์	อายุผล 5 สัปดาห์	อายุผล 6 สัปดาห์	อายุผล 7 สัปดาห์
CONTROL	36.2	36.9	37.3	37.4b[1/]	38.1
LP	37.3	38.3	39.2	39.4a	39.6
UTD	36.8	38.1	39.4	39.1a	40.4
F-test	ns	ns	ns	*	ns
CV(%)	4.72	5.45	5.29	4.23	5.28

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นอ่อนที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 8 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และแป้งในใบที่ระยะอายุผลต่างๆ

พารามิเตอร์	ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบ (g/100g น้ำหนักแห้ง)			
	อายุผล 2 สัปดาห์	อายุผล 4 สัปดาห์	อายุผล 6 สัปดาห์	อายุผล 8 สัปดาห์
CONTROL	4.691	10.375	6.030b [1/]	8.630b
LP	4.661	14.892	11.532ab	12.519ab
UTD	6.010	18.508	14.275a	16.233a
F-test	ns	ns	*	*
CV(%)	33.43	26.10	36.45	29.14
	ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในใบ (ppm/g น้ำหนักแห้ง)			
CONTROL	4.567	7.673	5.040	10.253b
LP	4.101	8.331	6.162	12.012b
UTD	4.581	8.171	7.901	16.380a
F-test	ns	ns	ns	**
CV(%)	35.92	9.79	48.04	19.77
	ปริมาณแป้งในใบ (g/100g น้ำหนักแห้ง)			
CONTROL	0.297	0.408	0.530	0.680
LP	0.265	0.331	0.130	0.566
UTD	0.370	0.251	0.323	0.440
F-test	ns	ns	ns	ns
CV(%)	51.46	53.77	94.59	42.45

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นอ่อนที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 9 ตารางแสดงสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลฟรักโตสในใบที่ระยะอายุผลต่างๆ

พารามิเตอร์	สัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลฟรักโตสในใบ			
	อายุผล 2 สัปดาห์	อายุผล 4 สัปดาห์	อายุผล 6 สัปดาห์	อายุผล 8 สัปดาห์
CONTROL	1.03	1.41	1.20	0.85
LP	1.14	1.81	2.07	1.04
UTD	1.31	2.27	2.00	1.00
F-test	ns	ns	ns	ns
CV(%)	19.23	27.39	46.31	13.22

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

CONTROL คือ ต้นองุ่นที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 10 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และแป้งในกิ่งที่ระยะอายุผลต่างๆ

พารามิเตอร์	ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกิ่ง (ppm/ gน้ำหนักแห้ง)			
	อายุผล 2 สัปดาห์	อายุผล 4 สัปดาห์	อายุผล 6 สัปดาห์	อายุผล 8 สัปดาห์
CONTROL	4.691	9.426	3.439a [1/]	0.793b
LP	3.155	6.128	8.051b	0.987b
UTD	4.708	8.862	6.586ab	0.272a
F-test	ns	ns	*	*
CV(%)	29.82	22.99	37.57	50.33
	ปริมาณน้ำตาลฟรักโตสในกิ่ง (ppm/ gน้ำหนักแห้ง)			
CONTROL	2.859	4.276	1.985	1.269
LP	1.733	3.850	2.965	1.303
UTD	2.341	4.719	2.470	1.410
F-test	ns	ns	ns	ns
CV(%)	37.79	17.80	36.24	16.90
	ปริมาณแป้งในกิ่ง (g/100g น้ำหนักแห้ง)			
CONTROL	0.227	0.300	0.661	1.36
LP	0.253	0.590	0.516	1.64
UTD	0.316	0.336	0.326	1.12
F-test	ns	ns	ns	ns
CV(%)	109.22	59.13	66.33	45.51

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นอ่งุ่นที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นอ่งุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นอ่งุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 11 ตารางแสดงสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลฟรักโตสในกิ่งที่ระยะอายุผลต่างๆ

พารามิเตอร์	สัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลฟรักโตสในกิ่ง			
	อายุผล 2 สัปดาห์	อายุผล 4 สัปดาห์	อายุผล 6 สัปดาห์	อายุผล 8 สัปดาห์
CONTROL	1.64	2.20b[1/]	2.17	0.64
LP	1.82	1.60a	3.09	0.76
UTD	2.26	1.89a	2.67	0.20
F-test	ns	*	ns	ns
CV(%)	38.41	14.02	36.83	51.58

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นองุ่นที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 12 ผลของดินขาวเคโอลินต่อปริมาณผลผลิตต่อต้น, จำนวนช่อผลต่อต้น และจำนวนผลต่อช่อ

พารามิเตอร์	ปริมาณผลผลิตต่อต้น (g)	จำนวนช่อผลต่อต้น (ช่อ)	จำนวนผลต่อช่อ (ผล)
CONTROL	412.48	11.63	15.910
LP	636.71	14.13	21.565
UTD	737.33	17.38	22.451
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	73.07	53.97	33.97

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นอ่อนที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 13 ผลของดินขาวเคโอลินต่อสัดส่วนช่อผลชนิดต่างๆ ตามเกณฑ์ของ Pierre (1980)

พารามิเตอร์	สัดส่วนช่อผล		
	ช่อผลขนาดเล็กมาก (%)	ช่อผลขนาดเล็ก (%)	ช่อผลขนาดกลาง (%)
CONTROL	71.14	25.68	3.17
LP	48.23	45.61	6.16
UTD	65.54	33.66	0.79
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	34.53	54.52	170.91

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

CONTROL คือ ต้นองุ่นที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 14 ผลของดินขาวเคโอลินต่อความยาว น้ำหนักช่อผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และน้ำหนักผลองุ่น

พารามิเตอร์	ความยาวช่อผล (cm)	น้ำหนักช่อผล (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางผล (cm)	น้ำหนักผล (g)
CONTROL	7.93	33.21	1.45b [1/]	2.09a
LP	9.05	45.88	1.48a	2.19a
UTD	8.59	39.43	1.40c	1.89b
F-test	ns	ns	**	**
CV (%)	19.72	45.03	7.44	19.89

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

CONTROL คือ ต้นองุ่นที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 15 ผลของดินขาวเคโอลินต่อคุณภาพบางประการของน้ำคั้นองุ่น

พารามิเตอร์	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, TSS (°Brix)	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้, TA (%)
CONTROL	3.62	16.48b[1/]	0.6424
LP	3.56	17.22a	0.5880
UTD	3.57	17.55a	0.6216
Pr> F	ns	*	ns
CV (%)	2.19	4.84	8.54

หมายเหตุ [1/] = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

CONTROL คือ ต้นองุ่นที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

UTD คือ ต้นองุ่นที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 16 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนและหลังการพ่นดินขาวเคโอลิน

พารามิเตอร์	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดิน	
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
CONTROL	7.90	7.69
LP	8.03	7.80
UTD	8.23	7.88
F-test	ns	ns
CV (%)	3.10	2.02

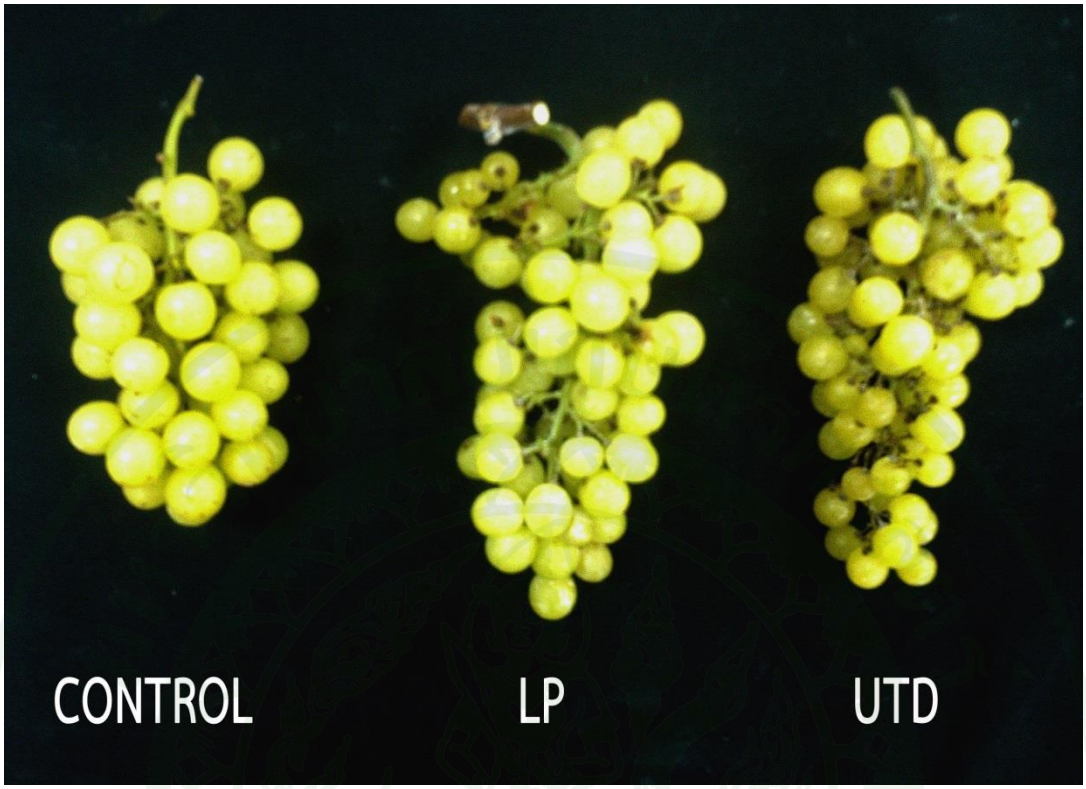
หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

CONTROL คือ ต้นอ่อนที่พ่นด้วยน้ำ (ไม่พ่นดินขาวเคโอลิน)

LP คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง ความเข้มข้น 50 g/L

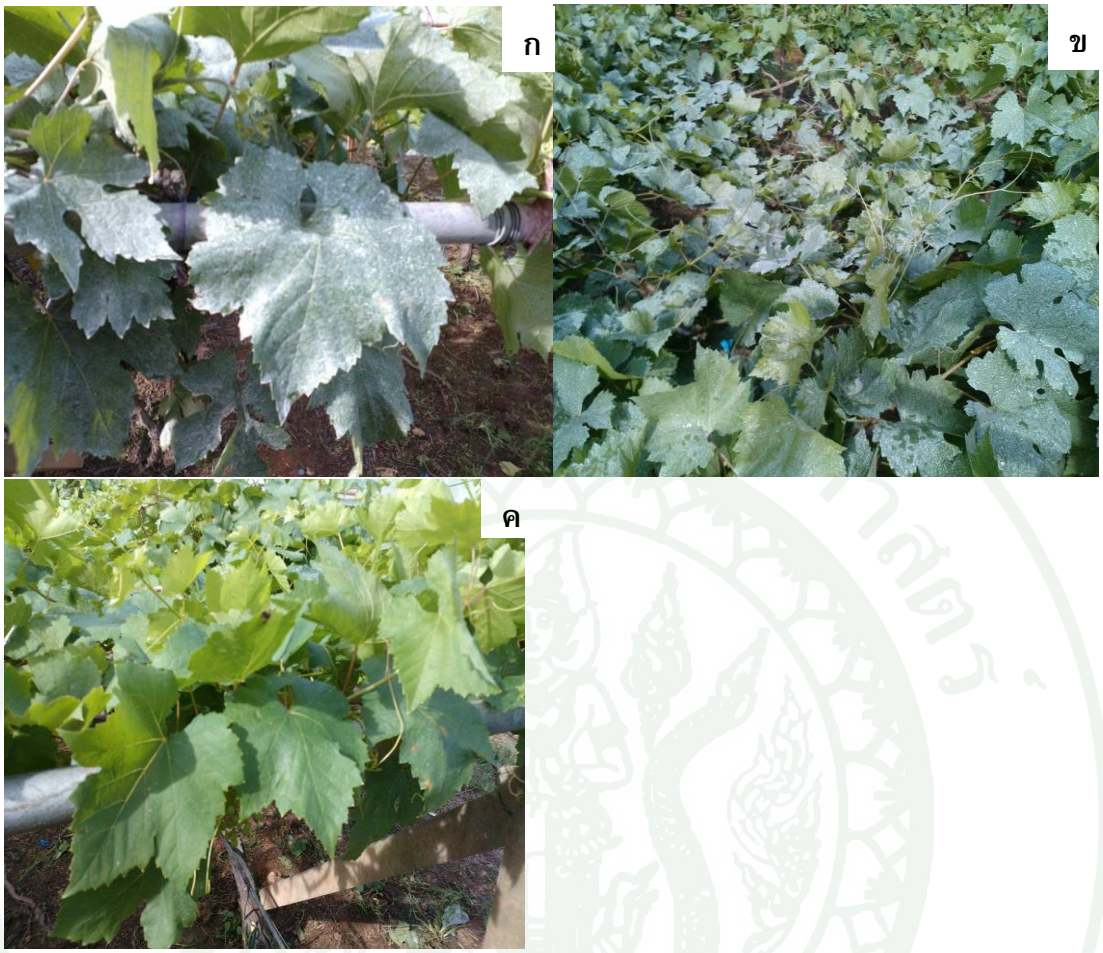
UTD คือ ต้นอ่อนที่พ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ความเข้มข้น 50 g/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะของช่อผลในแต่ละชุดการทดลอง เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม (CONTROL), การพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (LP) และการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (UTD)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 5 ทรงพุ่มของต้นองุ่นชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดอุตรดิตถ์ (ก), ชุดทดลองที่ทำการพ่นดินขาวเคโอลินจากจังหวัดลำปาง (ข) และชุดควบคุม (ค)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายธีรพัฒน์ เทพแก้ว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	3 เมษายน 2534
สถานที่เกิด	อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) เกียรตินิยมอันดับ 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2555)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1. ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย (SAST) 2. ทุนโครงการส่งเสริมการวิจัยร่วมแบบทวิภาคี (BRC) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์