ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
ปริญญา

พฤกษศาสตร์	พฤกษศาสตร์
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง อัตราคายน้ำและลักษณะพื้นผิวของผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม

Transpiration Rate and Surface Characteristics of Shaded and Non-shaded Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruits

นามผู้วิจัย นายวินัย อุดขาว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....
(รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....
(รองศาสตราจารย์มาลี ณ นคร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....
(ศาสตราจารย์สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....
(รองศาสตราจารย์สุรียา ตันติวิวัฒน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....
(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อัตราคายน้ำและลักษณะพื้นผิวของผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม

Transpiration Rate and Surface Characteristics of Shaded and Non-shaded Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruits

โดย

นายวินัย อุดขาว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วินัย อุดขาว 2553: อัตราคายน้ำและลักษณะพื้นผิวของผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์) สาขาพฤษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr. 86 หน้า

อาการเนื้อแก้วและยางไหลเป็นลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวเนื่องกับการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลมังคุด ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อคุณภาพของผลมังคุดเพื่อการส่งออก การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกการไหลออกของน้ำจากผลมังคุด เพื่อความเข้าใจกลไกการเกิดและความสัมพันธ์กับอาการเนื้อแก้วและยางไหลที่เกิดขึ้นภายในผลมังคุด โดยทำการวัดอัตราการคายน้ำซึ่งแสดงถึงอัตราการไหลออกและสูญเสียน้ำที่ผล และศึกษาลักษณะปากใบที่ผิวผลซึ่งแสดงถึงค่านำไหลในการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากผิวผลในแต่ละระยะของการเจริญเติบโตของผล ตลอดจนเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหล ระหว่างผลที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่มในต้นมังคุดอายุ 20 ปี พบว่าอัตราคายน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผิวผลมังคุดมีค่าลดลงตามค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผิวผลสู่อากาศ (g_t) ที่ลดลงเมื่ออายุผลมากขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำที่คายออกมาจากทั้งผลของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่าสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มทุกช่วงอายุผล ในช่วงอายุผล 2 ถึง 6 สัปดาห์ อัตราคายน้ำของผลมังคุดถูกกำหนดด้วยค่าแรงดึงคายน้ำจากผลสู่อากาศ ($VPD_{fruit\text{-}air}$) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีอัตราคายน้ำสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม เนื่องจากผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มเผชิญกับสภาพอากาศที่แห้งกว่าภายในทรงพุ่ม โดยได้รับความเข้มแสงและแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}) สูงกว่า แต่ในช่วงอายุผล 7 สัปดาห์ไปจนถึงในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (สัปดาห์ที่ 13) อัตราคายน้ำถูกกำหนดด้วยค่านำไหลรวม โดยเฉพาะในช่วงอายุผล 10 ถึง 13 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่านำไหลรวมและอัตราคายน้ำต่ำ มีอัตราไหลออกของน้ำจากผลน้อย การศึกษาลักษณะปากใบที่ผิวผลพบว่าผลมังคุดมีปากใบเป็นแบบพาราไซติก โดยมีจำนวนปากใบทั้งหมด 3×10^6 ถึง 3.1×10^6 ปากใบต่อผล จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่าลดลงตามการขยายขนาดของพื้นที่ผิวผลตลอดระยะการเจริญเติบโตของผล ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ขนาดเส้นรอบวงและความกว้างของรูปากใบสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มทุกช่วงอายุผล แต่ขนาดของเซลล์คุมระหว่างผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่มไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลภายในผลพบว่า ผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มจะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วสูงกว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม แต่เปอร์เซ็นต์การเกิดยางไหลภายในผลเฉลี่ยของมังคุดทั้งภายในและภายนอกทรงพุ่มไม่แตกต่างกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่านำไหลและอัตราการไหลออกของน้ำจากการคายน้ำทางผิวผลสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ส่งผลให้ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลน้อยกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม

________________ ________________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Winai Ut-khao 2010: Transpiration Rate and Surface Characteristics of Shaded and Non-shaded Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruits. Master of Science (Botany), Major Field: Botany, Department of Botany. Thesis Advisor: Associate Professor Kanapol Jutamanee, D.Agr. 86 pages.

Translucent flesh disorder (TFD) and gamboge disorder (GD) are the physiological disorders relate to the water flow in mangosteen fruits and impact to the quality of mangosteen fruits for exporting. The objective of this experiment was to examine the water flow out mechanism from the fruit surface of shaded (S) and non-shaded (NS) mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruits during fruit ontogeny, and to determine mechanism and relation of TFD and GD by measured the fruit transpiration rate that expressed the rate of water flow out from the fruits, studied the stomatal characteristics that expressed the conductance of the water flow out from fruit surface during fruit ontogeny and compared percentage of TFD and GD between S and NS mangosteen fruits from 20-year-old trees. The result showed that transpiration rate per unit of fruit surface area decreased following the decrease of total fruit surface conductance to water vapor diffusion (g_t) during the increase of fruit age. During fruit ontogeny, NS fruits had transpiration rate per fruit higher than S fruits. During 2 to 6 weeks after fruit set, fruit transpiration rate limited by the fruit to air vapor pressure deficit ($VPD_{fruit\text{-}air}$). NS fruits had transpiration rate higher than S fruits during this stage because the climate around the NS fruit surface was drier (high light intensity and air vapor pressure deficit) than S fruits. During 7 weeks after fruit set to the harvest stage (13 weeks after fruit set), fruit transpiration limited by g_t especially during 10 to 13 weeks after fruit set that the fruits had very low transpiration rate and g_t, so the rate of water flow out from the fruit was low. The study of the stomatal characteristics showed the mangosteen fruits had paracytic stomata and exhibited 3×10^6 to 3.1×10^6 stomata per fruit. The stomatal frequency decreased with surface expansion during fruit ontogeny. NS fruits had stomatal frequency, perimeter and width of stomatal pore higher than S fruits during fruit ontogeny, but the guard cell dimensions had no difference between S and NS fruits. The compare of percentage of TFD and GD in the fruits showed S fruit had percentage of GD higher than NS fruits, but percentage of TFD had no difference between S and NS fruits. The result indicated NS fruits had fruit surface conductance and the rate of water flow out from fruit surface higher than S fruits which affecting to NS fruits had TFD and GD lower than S fruits.

________________________ ________________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.คณพล จุฑามณี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ซึ่งคอยให้คำปรึกษา แนะนำ ความช่วยเหลือสนับสนุนทุนวิจัย ให้เวลา ความรู้ สั่งสอน และคอยขัดเกลาจิตใจในทุกๆ ด้าน รวมทั้งช่วยตรวจแก้วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จด้านการศึกษาด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลี ณ นคร กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่ให้เวลา กำลังใจ ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดต่างๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่ให้เวลา กำลังใจ สั่งสอน อบรมคุณธรรม ถ่ายทอดและสร้างพื้นฐานความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยเฉพาะทางด้านความสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับพืช ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุริยา ตันติวิวัฒน์ และดร.เบญจมาส รัตนชินกร ผู้แทนบัณฑิต ที่เป็นประธานในการสอบสัมภาษณ์ขั้นต้น และสอบสัมภาษณ์ขั้นสุดท้าย ให้คำแนะนำ กำลังใจ และมีส่วนร่วมทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการชีวฟิสิกส์ของพืช ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา อบรมเทคนิคในการใช้ และอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ขอขอบคุณ คุณกิ่งและคุณสงวน บุญญฤทธิ์ เจ้าของสวนมังคุดที่ใช้ศึกษา ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ ซึ่งให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณ พ่อ แม่ อา และทุกๆ คนในครอบครัวที่เป็นแรงบันดาลใจและคอยให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา สุดท้ายขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

วินัย อุดขาว

มีนาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	16
ผลและวิจารณ์	21
สรุป	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	63
ภาคผนวก	70
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ค่าเฉลี่ยรายวันของค่าพลังงานกำกับก้อนดิน (Soil matric potential, Ψ_m) ในวันที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 90 ของรากต้นมังคุด 23
2 ข้อมูลสภาพอากาศภายนอกทรงพุ่มของต้นมังคุดในรอบวันที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ของสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 (ค่าแรงดึงระเหยน้ำต่ำสุดทั้งกลางวันและกลางคืนมีค่า 0.00 kPa) 27
3 ข้อมูลสภาพอากาศภายในทรงพุ่มของต้นมังคุดในรอบวันที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ของสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 (ค่าแรงดึงระเหยน้ำต่ำสุดทั้งกลางวันและกลางคืนมีค่า 0.00 kPa) 28
4 ค่าเฉลี่ยสภาพอากาศที่สัมผัสผิวผล และอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในรอบวันของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผลที่วัดติดตามการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน (ตั้งแต่เวลา 8-18 นาฬิกา) เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ 36
5 ค่าเฉลี่ยความกว้าง รัศมีและพื้นที่ผิวทั้งหมดของผลมังคุดที่วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในรอบวันในแต่ละช่วงอายุผล เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ 38
6 จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ลักษณะปากใบและรูปากใบบนผิวผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 10 ซ้ำ 55
7 ลักษณะของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 10 ซ้ำ 57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

8 ลักษณะของผลมังคุด ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักผลสด, เปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลภายในผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวในช่วงอายุผล 12-14 สัปดาห์ (ระยะเข้าสู่สายเลือด) เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 200 ซ้ำ 60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยรายวันของพลังงานกำกับก้อนดิน (Ψ_m) และปริมาณน้ำฝน ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุด ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 a) ค่า Ψ_m ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 90 ของรากต้นมังคุด และ b) ปริมาณน้ำฝน เส้นประในภาพแสดงวันที่วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส และลูกศรในภาพแสดงช่วงที่มีการให้น้ำในแปลงปลูกมังคุด	24
2	สภาพอากาศภายนอกทรงพุ่มของสถานีอากาศในสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ในช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุด แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงกลางวันขณะที่ความเข้มแสงสูงกว่าศูนย์ a) ความเข้มแสง b) อุณหภูมิอากาศ c) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และ d) แรงดึงระเหยน้ำ	29
3	สภาพอากาศภายในทรงพุ่มของสถานีอากาศในสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ในช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุด แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงกลางวันขณะที่ความเข้มแสงสูงกว่าศูนย์ a) ความเข้มแสง b) อุณหภูมิอากาศ c) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และ d) แรงดึงระเหยน้ำ	30
4	ค่าเฉลี่ยขนาดของผลมังคุดและสภาพอากาศที่สัมผัสผิวผลในแต่ละช่วงอายุผลที่วัดติดตามการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน a) ความกว้างผล b) พื้นที่ผิวผลทั้งหมด c) ความเข้มแสง และ d) แรงดึงคายน้ำ เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน จาก 3 ซ้ำ	39
5	ค่าเฉลี่ยอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในรอบวันของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผลที่วัดติดตามการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน a) อัตราคายน้ำ b) อัตราคายน้ำรวม c) อัตราหายใจ d) อัตราหายใจรวม และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึงผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน จาก 3 ซ้ำ	40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาพที่		หน้า
6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราคายน้ำกับปัจจัยควบคุมคือ a) ค่าแรงดึงคายน้ำ และ b) ค่านำไหลรวม กราฟในแถวซ้ายมือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม (NS) กราฟในแถวขวามือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (S)	42
7	a) ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลรวมกับความเข้มแสง b) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของผิวผลกับความเข้มแสง และ c) ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลรวมกับค่าแรงดึงคายน้ำกราฟในแถวซ้ายมือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม (NS) กราฟในแถวขวามือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (S)	44
8	ลักษณะปากใบที่ผิวผลมังคุดแบบพาราไซติก (paracytic stomata)	46
9	ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปากใบบนผิวผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล a) พื้นที่ผิวผล b) จำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร c) จำนวนปากใบทั้งผล d) ขนาดเส้นรอบวง e) ความกว้างรูปากใบ f) ความยาวรูปากใบ g) ความกว้างเซลล์คุม และ h) ความยาวเซลล์คุม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 10 ซ้ำ)	49
10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่กับพื้นที่ผิวทั้งหมดของผลมังคุด เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุผล	50
11	จำนวนปากใบที่นับได้บนพื้นที่ผิว 9.3 x10^4 ตารางไมโครเมตร ของผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต a) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม อายุผล 2 สัปดาห์ b) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม อายุผล 7 สัปดาห์ c) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม อายุผล 13 สัปดาห์ d) ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม อายุผล 2 สัปดาห์ d) ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม อายุผล 7 สัปดาห์ และ e) ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม อายุผล 13 สัปดาห์ (วงกลมที่แสดงในภาพ แสดงปากใบที่ทำการนับได้)	50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่		หน้า
12	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่กับอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส a) อัตราคายน้ำ และ b) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุผล	51
13	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นรอบวงของรูปากใบกับปัจจัยควบคุม a) ความกว้างของรูปากใบ และ b) ความยาวของรูปากใบ เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม	52
14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลรวมกับความกว้างของรูปากใบ กราฟในแถวซ้ายมือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม (NS) กราฟในแถวขวามือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (S) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุผล	53
15	ลักษณะและรูปร่างของปากใบของผลมังคุดในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต a) ปากใบในระยะผลอ่อน (3 สัปดาห์หลังติดผล) มีรูปร่างเป็นวงรี (eliptical shape) b) ปากใบในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (13 สัปดาห์หลังติดผล) มีรูปร่างค่อนข้างกลม (circular shape) ซึ่งเปิดกว้างและเกิดเป็นรูปากใบ (pore) ค้างไว้	54

ภาพผนวกที่

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ทรงพุ่มของต้นมังคุดที่ศึกษา และการติดป้ายเพื่อติดตามอายุของผลมังคุดเมื่อดอกของมังคุดบาน a) ทรงพุ่มของต้นมังคุด b) การติดป้ายผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ c) การติดป้ายผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม	72
2	อุปกรณ์วัดพลังงานกำกับก้อนดิน (watermark ต่อกับ datalogger) ติดตั้งกับต้นมังคุดที่คัดเลือกไว้	72
3	อุปกรณ์วัดสภาพอากาศที่ติดตั้งกับต้นมังคุด a) อุปกรณ์วัดสภาพอากาศ (quantum sensor ต่อกับ datalogger) บรรจุภายในภาชนะกันรังสีแสง (radiation shield) b) อุปกรณ์วัดสภาพอากาศที่ติดตั้งไว้ภายในทรงพุ่ม และ c) อุปกรณ์วัดสภาพอากาศที่ติดตั้งไว้ภายนอกทรงพุ่ม	73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดในรอบวัน a) เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบปิด (รุ่น LI6200) b) กล่องบรรจุผลที่สร้างดัดแปลงเพื่อใช้ในการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดแบบโปร่งใส c) ด้านบนของกล่องบรรจุผลมีหัววัดความเข้มแสง (PPFi) และภายในกล่องบรรจุผลมีหัววัดอุณหภูมิของผล (thermocouple) ซึ่งวางให้สัมผัสผิวของผล d) การวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม 74

5 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 2 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน) 76

6 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 3 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน) 77

7 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 4 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน) 78

8 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 5 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน) 79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
9	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 6 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	80
10	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 7 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	81
11	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 8 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	82
12	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 9 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	83
13	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 10 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	84
14	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 11 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
15	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 12 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	86
16	อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 13 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)	87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
E	Fruit transpiration	mmolH_2O m^{-2} s^{-1}
g_s	Stomatal conductance (to H_2O)	mmolH_2O m^{-2} s^{-1}
g_t	Total fruit surface conductance to water vapor diffusion	mmolH_2O m^{-2} s^{-1}
PPF	Photosynthetic photon flux	μmolPPF m^{-2} s^{-1}
R	Fruit respiration	μmolCO_2 m^{-2} s^{-1}
RH	Relative humidity	%
T_{air}	Air temperature	^{o}C
T_{fruit}	Fruit surface temperature	^{o}C
VPD_{air}	Air vapor pressure deficit	kPa
$VPD_{fruit-air}$	Fruit to air vapor pressure deficit	kPa
Ψ_m	Soil matric potential	kPa

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราคายน้ำและลักษณะพื้นผิวของผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม

Transpiration Rate and Surface Characteristics of Shaded and Non-shaded Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruits

คำนำ

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่ได้รับความนิยมและมีการตลาดระหว่างประเทศดีมาก ทั้งในแถบทวีปเอเชีย เช่น ฮ่องกง ไต้หวัน ญี่ปุ่น รวมไปถึงในแถบทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่ปลูกภายในประเทศมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจทางการเกษตร, 2550) แต่คุณภาพของมังคุดยังเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการจำหน่ายและตัวจำกัดราคาขาย โดยปัญหาหลักที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลมังคุด ได้แก่ เนื้อแก้ว ยางไหลทั้งภายนอกและภายในผล ผลแตก และผลเป็นก้นจีบ ซึ่งลักษณะอาการผลแตก ยางไหลภายนอกผล และผลเป็นก้นจีบ เป็นลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นได้จากภายนอก ส่วนอาการเนื้อแก้วซึ่งเป็นอาการที่เนื้อของมังคุดเปลี่ยนแปลงจากสีขาวขุ่นเป็นใสและจากที่เนื้ออ่อนนุ่มเป็นแข็งและอาการยางไหลภายในผลตรงบริเวณไส้กลางผล ก้นผล และกลีบเนื้อผลนั้นเป็นลักษณะที่ไม่สามารถตรวจสอบจากภายนอกได้ ทำให้เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการจำหน่ายและส่งออกมังคุดเป็นอย่างมาก จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่สามารถสรุปได้ว่าอาการเนื้อแก้วและยางไหลเกิดมาจากสาเหตุใด ซึ่งคาดว่าเป็นลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวเนื่องกับการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผล โดยพบว่าเมื่อเซลล์เนื้อมังคุดได้รับน้ำเข้าไปมากจนทำให้เซลล์แตกและตาย ส่งผลให้น้ำและสารต่าง ๆ ภายในเซลล์รั่วไหลออกสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ ซึ่งไปมีผลทำให้โมเลกุลของเพกตินในเนื้อผลเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ละลายน้ำเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้เนื้อมังคุดดูใสและแข็งขึ้น ในขณะที่เนื้อผลมังคุดปกติมีอากาศแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จึงทำให้เนื้อผลมีสีขาวขุ่นเกิดเป็นอาการเนื้อแก้ว และเมื่อน้ำที่เข้ามาในเซลล์เนื้อและเปลือกมังคุดมากเกินไปจนดันให้เซลล์น้ำยาง (laticifer) แตก ทำให้มีน้ำยางไหลออกมาในเนื้อผลเกิดเป็นอาการยางไหล (ศรียนต์, 2529; วรภัทร, 2539 ก; วรภัทร, 2539 ข; ศิริวรรณ, 2543)

จากข้อมูลการศึกษาข้างต้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษากลไกการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์เนื้อมังคุดและเซลล์น้ำยางที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ยังขาดข้อมูลการศึกษาที่สำคัญคือ กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลมังคุด ซึ่งการศึกษาการไหล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของน้ำภายในผลมังคุดจะเป็นตัวเชื่อมต่อที่สำคัญ ที่จะทำให้ข้อมูลและความเข้าใจกลไกการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลของผลมังคุดชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการศึกษากลไกการไหลออกของน้ำจากผลมังคุด ซึ่งยังไม่มีรายงานการศึกษามาก่อน อีกทั้งเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดได้ตั้งข้อสังเกตว่าอาการเนื้อแก้วและยางไหลจะเกิดมากในช่วงฝนตกชุกหลังจากมีสภาพแห้งเป็นระยะหนึ่งมาก่อนและเป็นมากกับผลมังคุดในช่วง 2-3 สัปดาห์ก่อนครบอายุเก็บเกี่ยว โดยจากข้อมูลสภาพอากาศพบว่าปริมาณน้ำฝนที่มาก ประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์สูงและแสงแดดน้อยมีความสัมพันธ์กับการเกิดและความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วและยางไหล ถ้าปริมาณน้ำฝนมากจะพบจำนวนผลที่เกิดและความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วและยางไหลมากขึ้นด้วย อีกทั้งผลในทรงพุ่มเกิดอาการเนื้อแก้วในสัดส่วนที่สูงกว่าผลนอกทรงพุ่ม (ศรีสังวาลย์, 2537; ธนสิต, 2541; สุนทรีและพรรณี, 2550) ซึ่งเมื่อรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดทำให้ตั้งสมมติฐานในการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลของผลมังคุดเนื่องจากการไหลของน้ำภายในผลได้ว่า เมื่อน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่ผลจากทางขั้วผลผ่านท่อลำเลียง น้ำจะมีการเคลื่อนที่สู่เซลล์ต่าง ๆ ภายในผลจนถึงเซลล์ที่ผิวผล และมีการสูญเสียของน้ำออกจากผลสู่บรรยากาศที่บริเวณผิวผลหรือมีการไหลกลับผ่านขั้วผลทางท่อลำเลียงสู่ลำต้น ซึ่งหากอัตราน้ำไหลเข้าสู่ผลมังคุดสูงกว่าอัตราการไหลออกของน้ำจากผล หรือเมื่อมีเส้นทางการไหลออกน้อยลงเนื่องจากโครงสร้างของผิวผลหรือระบบท่อลำเลียงในระยะที่ผลมังคุดเจริญเติบโตมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะในระยะก่อนครบกำหนดเก็บเกี่ยว ซึ่งทำให้น้ำเคลื่อนที่สะสมอยู่มากภายในผลและส่งผลให้เซลล์เนื้อมังคุดและเซลล์น้ำยางแตก เกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลขึ้น ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงทำขึ้นเพื่อตรวจสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอัตราไหลออกของน้ำจากผลว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามอายุผลมังคุดหรือไม่และเพียงใด โดยวัดอัตราคายน้ำของผลซึ่งบ่งถึงอัตราการไหลออกและสูญเสียน้ำที่ผล และศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของผลมังคุดโดยเฉพาะปากใบซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะแสดงถึงค่านำไหลในการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากผลด้วยการคายน้ำ โดยเปรียบเทียบระหว่างผลมังคุดภายในทรงพุ่มและนอกทรงพุ่ม เพื่อความเข้าใจกลไกการเกิดและความสัมพันธ์กับอาการเนื้อแก้วและยางไหลที่เกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกการไหลออกของน้ำจากผลมังคุดในระยะต่างๆ ของพัฒนาการของผลโดยเปรียบเทียบระหว่างผลที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม เพื่อความเข้าใจกลไกการเกิดและความสัมพันธ์กับอาการเนื้อแก้วและยางไหล โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ดังนี้

1. อัตราคายน้ำของผลภายใต้สภาพแวดล้อม และความสัมพันธ์ของอัตราคายน้ำในรอบวันกับสภาพอากาศและปริมาณน้ำในดิน

2. ลักษณะพื้นผิวของผลโดยเฉพาะส่วนของปากใบ ได้แก่ จำนวนปากใบต่อหน่วยพื้นที่ ลักษณะรูปากใบและเซลล์คุม

3. เปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลของผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. มังคุด

มังคุด เป็นไม้ผลเขตร้อนในวงศ์ Clusiaceae (Guttiferae) มีชื่อสามัญ คือ mangosteen มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* L. โดยอนุกรมวิธานของมังคุดจัดได้ดังนี้ (Graf, 1986; Morton, 1987)

Division Magnoliophyta
Class Magnoliopsida
Order Malpighiales
Family Clusiaceae (Guttiferae)
Genus *Garcinia*
Species *Garcinia mangostana*

มังคุดมีถิ่นกำเนิดแถบคาบสมุทรมลายูหรือเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แถบประเทศมาเลเซีย พม่า ไทย กัมพูชา เวียดนาม หมู่เกาะซุนด้า และหมู่เกาะโมลุกกะ (Oches, 1961; Morton, 1987) สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกมังคุดมากที่สุดในโลก มีแหล่งผลิตมังคุดที่สำคัญในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง และตราด และในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุมพร และสุราษฎร์ธานี โดยมังคุดเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภคทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย จนได้รับการขนานนามว่าราชินีแห่งผลไม้ (Queen of fruits) (สำนักงานเศรษฐกิจทางการเกษตร, 2550)

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมังคุด

ไม้ต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ทรงพุ่มเป็นรูปปิระมิด **ลำต้น** ตรง เปลือกภายนอกมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ภายในเปลือกประกอบไปด้วยท่อน้ำยางมีสีเหลือง **ราก** เป็นระบบรากแก้ว มีจำนวนรากแขนงไม่มาก **ใบ** เป็นใบเดี่ยว รูปหอกแกมรูปขอบขนานหรือรูปรี เรียงตรงข้าม ก้านใบสั้น มีความยาวประมาณ 9-25 เซนติเมตร กว้างประมาณ 4.5-10 เซนติเมตร ฐานในเป็นรูปลิ่ม กลมหรือรูปทู่ ด้านบนมีลักษณะเป็นมัน สีเขียวเข้ม ส่วนด้านล่างมีสีเขียวปนเหลือง แผ่นใบหนา มีตาข้างอยู่บริเวณซอกใบ และมีตายอดอยู่บริเวณซอกใบคู่สุดท้าย **ดอก** เป็นดอกเดี่ยว ปรากฏที่บริเวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปลายยอดของกิ่งแขนง กว้างประมาณ 4-5 เซนติเมตร ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 4 กลีบซึ่งจะอยู่ติดทนจนกระทั่งเจริญเป็นผล และกลีบดอกค่อนข้างหนา 4 กลีบ อาจมีทั้งดอกเพศผู้และดอกสมบูรณ์เพศภายในต้นเดียวกัน โดยดอกสมบูรณ์เพศจะมีเกสรเพศผู้เป็นหมัน เกสรเพศผู้อยู่ที่ฐานรอบ ๆ ของรังไข่ **ผล** ผลสดมีเนื้อ เป็นแบบ berry เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.4-7.5 เซนติเมตร มีเปลือกหนาประมาณ 6-10 มิลลิเมตร เนื้อสีขาวขุ่นมีลักษณะเป็น aril เจริญมาจาก integument มีเมล็ดที่เจริญประมาณ 1-5 เมล็ดที่เหลือมักลีบไป เมล็ดเจริญมาจาก integument มีความยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 1.6 เซนติเมตร (Bailey, 1953; Morton, 1987)

การติดผลของมังคุดเป็นแบบ parthenocarpy เนื่องจากเกสรเพศผู้ของดอกมังคุดเป็นหมัน ทำให้ไม่มีการผสมพันธุ์เกิดขึ้น ซึ่ง Almeyda และ Martin (1946) ได้รายงานว่าเมล็ดมังคุดเป็นแบบ apomictic seed ชนิด hypocotyl-tubercle โดยเอ็มบริโอพัฒนาจาก inner integument นอกจากนี้เมล็ดมังคุดยังเป็น polyembryonic seed ทำให้มีการขยายโคลนมังคุดโดยวิธีการเพาะเมล็ด (Naik, 1947) ซึ่งต้นกล้ามังคุดที่ได้จากการเพาะเมล็ดจะมีลักษณะเหมือนต้นแม่พันธุ์ ส่งผลให้มังคุดมีอยู่เพียงพันธุ์เดียวเท่านั้นที่เรียกกันว่า พันธุ์พื้นเมือง และแทบจะไม่มีโอกาสกลายพันธุ์เลย ถึงแม้จะพบว่ามังคุดสายพันธุ์จากเมืองนนท์ซึ่งมีผลเล็กและเปลือกบาง ส่วนมังคุดพันธุ์ปักษ์ใต้ที่มีเปลือกหนา แต่ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนพอที่จะแยกเป็นพันธุ์ที่แตกต่างกันได้ (สมโภชน์, 2535)

3. การเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผลมังคุด

การเจริญเติบโตของผลมังคุดเป็นแบบ single sigmoidal curve ที่ไม่มีช่วงหยุดพักการเจริญเติบโต โดยช่วงแรกของการติดผล มีความสูงของผลมากกว่าความกว้างของผลเล็กน้อย หลังจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตด้านกว้างจะเพิ่มน้อยกว่าด้านสูง เมื่อผลแก่จะมีความกว้างมากกว่าด้านสูง น้ำหนักผลจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่เริ่มติดผลและมากที่สุดประมาณในสัปดาห์ที่ 12 ความหนาของเนื้อมีอัตราเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 - 8 หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 12 (กวิศร์, 2522) โดยมังคุดเมื่อผลยังดิบจะมีเปลือกสีเขียวตองอ่อนและมียางสีเหลืองอยู่มาก เมื่อผลเริ่มแก่จะเกิดจุดหรือประสีม่วงแดงเป็นปื้นขึ้นบริเวณเปลือกเรียกว่า “สายเลือด” เมื่อผลสุกเต็มที่จะเป็นสีม่วงแดงจนถึงม่วงดำกระจายทั้งผล ระยะเวลาหลังติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยวได้ใช้เวลาประมาณ 11-12 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามช่วงการพัฒนาเหล่านี้ขึ้นกับสภาพอากาศ ถ้ามีฝนตกช่วงสุดท้ายของการพัฒนา ผลจะแก่เร็วกว่าในสภาพที่ไม่มีฝนตก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ศรีสังวาลย์, 2537) โดยช่วงที่ผลมังคุดมีการพัฒนามากขึ้นจากระยะสายเลือดจนถึงระยะผิวสีดำ จะมีปริมาณ alcohol insoluble solids (AIS) ,water soluble pectin, *trans*-1,2-diaminocyclohexane-N,N,N',N'-tetraacetic acid (CDTA) soluble pectin, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรักโทสในเนื้อผลเพิ่มขึ้นเมื่ออายุผลมากขึ้น ในขณะที่จะมีปริมาณ Na_2CO_3 soluble pectin, กรดซิตริก, กรดซัคซินิก และกรดมาลิกลดลง (ศิริวรรณ, 2543)

สมโภชน์ (2534) พบว่าผลมังคุดในระยะผิวแต้มสีม่วงแดง มีรูปแบบการหายใจคล้ายแบบ climacteric โดยตรวจสอบไม่พบช่วง pre-climacteric ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกิด climacteric rise ไปแล้วในขณะที่ผลอยู่บนต้น หรือมีช่วง pre-climacteric ไม่เด่นชัด ต่อมา สมโภชน์ (2535) พบว่าผลมังคุดมีรูปแบบการหายใจแบบ climacteric โดยมีอัตราการหายใจสูงขึ้นและการผลิตก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้นระหว่างการสุกและค่อย ๆ ลดลงพร้อมกับการเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวเป็นชมพู แดง และม่วงตามลำดับ

การเก็บเกี่ยวผลมังคุดใช้สีเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวโดยแบ่งออกเป็น 7 ระดับตั้งแต่ 0-6 ดังนี้ ระดับ 0 ผลมีสีขาวอมเหลืองสม่ำเสมอ หรือมีแต้มสีขียวอ่อน มียางสีเหลืองในเปลือกในระดับที่รุนแรงมาก เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกจากกันได้ ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้สามารถเปลี่ยนสีถึงระดับ 6 ได้แต่รสชาติไม่ดี ระดับ 1 ผลมีสีเขียวอ่อนอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจายบางส่วน เปลือกยังมียางในระดับที่รุนแรง ระดับ 2 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมชมพู มีจุดประสีชมพูกรจายทั้งผล เปลือกมียางในระดับปานกลาง เปลือกและเนื้อแยกจากกันได้ค่อนข้างยาก เป็นระยะอ่อนที่สุดที่เก็บแล้วได้ผลผลิตคุณภาพดี ระดับ 3 ผลสีชมพูสม่ำเสมอ เปลือกมียางน้อย เป็นระยะที่เหมาะสมเพื่อเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายต่างประเทศ ระดับ 4 ผลสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง อาจมีแต้มสีม่วง เปลือกมียางน้อยมาก สามารถแยกจากเนื้อได้ดีมาก เป็นระยะเกือบรับประทานได้ ระดับ 5 ผลสีม่วงอมแดง เปลือกไม่มียาง สามารถแยกออกจากเนื้อได้ง่าย เป็นระยะที่รับประทานได้ และระดับ 6 ผลมีสีม่วง หรือม่วงเข้มจนถึงดำ เป็นระยะที่เหมาะแก่การรับประทาน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2531) อีกทั้ง กวิศร์ (2522) พบว่าผลมังคุดบนต้นเกิดการสุกไม่พร้อมกันแม้ว่าจะเริ่มติดผลพร้อมกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างของจำนวนผลในกิ่ง โดยกิ่งที่มีผลจำนวนน้อย ผลมักจะมีขนาดใหญ่และสุกช้ากว่ากิ่งที่มีผลจำนวนมาก และได้เสนอว่าระยะการเก็บเกี่ยวผลมังคุดที่ดีและเหมาะสมคือ เมื่อเปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจนกระทั่งเปลี่ยนสีแล้ว 2 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. อาการเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุด

อาการเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุดเชื่อกันว่าเป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา โดยอาการเนื้อแก้วเป็นอาการที่เนื้อของมังคุดเปลี่ยนแปลงจากสีขาวขุ่นเป็นใสและจากที่เนื้ออ่อนนุ่มเป็นแข็ง ส่วนอาการยางไหลภายในผลเป็นอาการที่มีน้ำยางไหลเข้ามาภายในผลตรงบริเวณไส้กลางผล ก้นผล และกลีบเนื้อผล ซึ่งทั้งสองอาการดังกล่าวไม่สามารถตรวจสอบจากภายนอกได้ โดยแนวคิดจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอาการเนื้อแก้วและยางไหลเป็นปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับการไหลของน้ำเข้าสู่ผล ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดตั้งข้อสังเกตว่าอาการเนื้อแก้วและยางไหลจะเกิดมากในช่วงฝนตกชุกหลังจากมีสภาพแห้งเป็นระยะหนึ่งมาก่อน เป็นมากกับผลมังคุดในช่วง 2-3 สัปดาห์ก่อนครบอายุเก็บเกี่ยว โดยพบว่าผลในทรงพุ่มเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลในสัดส่วนที่สูงกว่าผลนอกทรงพุ่ม สำหรับการศึกษาอาการเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุดที่ผ่านมาได้มีการศึกษาใน 3 ส่วนที่สำคัญคือ 1) กลไกการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์เนื้อมังคุดและเซลล์น้ำยาง 2) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุด และ 3) ผลของการจัดการน้ำแก่ต้นมังคุดต่อการเกิดเนื้อแก้วและยางไหล (วรภัทร, 2539 ก; วรภัทร, 2539 ข; ศิริวรรณ, 2543; สุนทรีและพรรณี, 2550)

ศรียนต์ (2529) ศึกษาอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด พบว่าผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลมีสีม่วงและสีชมพู จะมีอาการเนื้อแก้วประมาณ 22.9 และ 16.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลสีเขียวไม่พบอาการเนื้อแก้วเลย โดยเนื้อเยื่อของมังคุดเนื้อแก้วและเนื้อปกติจะประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา (parenchyma) และพบรูขนาดใหญ่ (pore) มังคุดเนื้อแก้วมีปริมาณ soluble solid ต่ำกว่าเนื้อปกติ โดยอาการเนื้อแก้วมักพบกับเมล็ดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในผล แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าอาการเนื้อแก้วเกิดมาจากสาเหตุใด โดยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า ในเนื้อผลมังคุดปกติมีอากาศแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จึงทำให้เนื้อผลมีสีขาวขุ่น ในขณะที่เนื้อแก้วได้รับน้ำมากเกินไปจึงทำให้เซลล์แตก น้ำจึงเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์ทำให้เห็นเนื้อผลใส โดยการที่เนื้อแก้วมีลักษณะแข็งนั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงชนิดของเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์

สมชาย (2535) รายงานว่ามักพบอาการเนื้อแก้วร่วมกับอาการเปลือกแตกในผลมังคุดเมื่อมีฝนตกชุกระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยว หากมีปริมาณน้ำฝนมากจะพบว่าผลแตกร้าวบริเวณกลางผล โดยผิวด้านนอกของเปลือกมังคุดจะแตกเป็นแนวขวางและแนวนอนดูคล้ายกับผลมังคุดร้าวไปหมดทั้งผล อีกทั้งพบอาการเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุดที่แตกเหล่านั้นด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศรีสังวาลย์ (2537) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วในมังคุด พบว่าอาการเนื้อแก้วมักพบมักพบในผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวหลังฝนตก โดยจากการศึกษาข้อมูลสภาพอากาศพบว่า ปริมาณน้ำฝนที่มาก ประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์สูงและแสงแดดน้อยมีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการเนื้อแก้วและความรุนแรงของอาการเนื้อแก้ว โดยถ้าปริมาณน้ำฝนมากจะพบจำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วและความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วมากด้วย และจากการให้น้ำกับต้นมังคุดเพิ่มจากปกติติดต่อกัน 5 วัน เป็นปริมาณน้ำ 75 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วงเวลาก่อนการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับการให้น้ำตามปกติ (15-20 มิลลิเมตรต่อวัน) พบว่าต้นมังคุดที่ได้รับน้ำเพิ่มมีแนวโน้มว่าทำให้มีจำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วมากกว่าต้นที่ให้น้ำแบบปกติ

วรภัทร (2539 ก) ทดลองให้น้ำกับต้นมังคุดด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่าการให้น้ำเหนือทรงพุ่มทำให้เกิดอาการเนื้อแก้วมากกว่าการให้น้ำเฉพาะใต้ทรงพุ่ม ซึ่งแสดงว่าน้ำสามารถเข้าไปสู่ผลผ่านทางใบหรือผิวผลได้ การชักนำให้เกิดความเครียดน้ำแก่ต้นมังคุด ไม่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้ว ส่วนอาการยางไหลภายในผล ไม่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำและวิธีการให้น้ำ

วรภัทร (2539 ข) พบว่าเนื้อมังคุดปกติมีปริมาณ water soluble pectin มากกว่าเนื้อแก้ว และเนื้อแก้วมีปริมาณ Na_2CO_3 soluble pectin มากกว่าเนื้อปกติ ในขณะที่ปริมาณ CDTA soluble pectin ในเนื้อมังคุดปกติและเนื้อแก้วไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำในเนื้อผล พบว่าเนื้อแก้วมีปริมาณน้ำในเนื้อผลมากกว่าเนื้อปกติ แสดงให้เห็นว่าน้ำได้เข้าไปแทนที่อากาศในเนื้อมังคุด จึงทำให้เนื้อมังคุดมีลักษณะใส ส่วนความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วสูงเป็น 3 เท่าของเนื้อปกติ โดยข้อมูลที่พบสนับสนุนข้อสันนิษฐานที่ว่า อาการเนื้อแก้วเกิดจากการที่เซลล์เนื้อมังคุดรับน้ำเข้าไปมาก จนทำให้เซลล์แตก (autolysis) ส่งผลให้น้ำและสารต่าง ๆ ภายในเซลล์รั่วไหลออกสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ ซึ่งไปมีผลทำให้โมเลกุลของเพกตินในเนื้อผลเปลี่ยนแปลงจากที่ละลายน้ำเป็นไม่ละลายน้ำ ทำให้เนื้อมังคุดดูใสและแข็งขึ้น นอกจากนั้นเมื่อทำการอัดน้ำให้กับผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวในระยะก่อนเข้าสีผ่านทางก้านผล ปรากฏว่าผลมังคุดแตกมากและเร็วขึ้นเมื่อความดันมากขึ้น แต่ไม่พบว่าเกิดอาการเนื้อแก้วแต่อย่างใด

ธนสิต (2541) ทำการสำรวจอาการยางไหลในผลมังคุดที่เก็บจากส่วนต่าง ๆ ของทรงพุ่ม พบว่าผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวมาจากบริเวณใต้ทรงพุ่มเกิดอาการยางไหลมากกว่าผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวมาจากบริเวณยอดทรงพุ่ม โดยผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวมาจากด้านทิศตะวันตกของทรงพุ่มจะเกิดอาการยางไหลน้อยกว่าผลที่เก็บมาจากทิศทางอื่นของทรงพุ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริวรรณ (2543) ศึกษากลไกการเกิดเนื้อแก้วของผลมังคุด พบว่าในเนื้อมังคุดปกติมีจำนวนโปรโตพลาสต์ที่สมบูรณ์มากกว่า และมีโปรโตพลาสต์ที่เสียหายน้อยกว่าเนื้อแก้ว ในขณะที่เนื้อแก้วมีปริมาณ water soluble pectin และ CDTA soluble pectin ต่ำกว่าเนื้อปกติ แต่มีปริมาณ Na_2CO_3 soluble pectin สูงกว่าเนื้อปกติ สำหรับปริมาณ soluble solids (SS) และ titratable acidity (TA) พบว่าในเมล็ดสมบูรณ์มีปริมาณ SS และ TA ต่ำกว่าเมล็ดลีบ และที่ระยะสีผิวเดียวกันเนื้อปกติมีปริมาณ SS และ TA สูงกว่าเนื้อแก้ว โดยเมื่อเกิดอาการเนื้อแก้ว เนื้อมังคุดจะมีปริมาณกรดซัคซินิกเพิ่มขึ้น และกรดดี-มาลิกลดลง ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเพกตินในมังคุดมีการเปลี่ยนรูปจากที่ไม่ละลายน้ำเป็นรูปที่ละลายมากขึ้นเมื่อผลมีอายุมากขึ้น และเมื่อผลสุกแต่ได้รับน้ำมากเกินไปเซลล์เกิดความเสียหาย สารละลายต่าง ๆ รั่วไหลออกมาแทนที่อากาศบริเวณผนังเซลล์ทำให้เห็นเป็นเนื้อใส และส่งผลให้เพกตินเปลี่ยนรูปเป็นไม่ละลายน้ำอีกครั้ง ทำให้มังคุดเนื้อแก้วมีความแข็งมากกว่าปกติ

Pankasemsuk *et al.* (1996) พบว่าผลมังคุดเนื้อแก้วมีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) มากกว่า 1 ส่วนผลมังคุดเนื้อปกติมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 และเนื้อแก้วมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ต่ำกว่าเนื้อปกติ

Sdoodee and Chiarawipa (2005) ศึกษาการให้น้ำแก่ต้นมังคุดในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว โดยเริ่มการทดลองเมื่อผลอายุ 9 สัปดาห์หลังดอกบาน พบว่าค่าพลังงานศักย์ของน้ำในใบและค่านำไหลปากใบในรอบวันมีค่าต่ำสุดในต้นที่ได้รับน้ำตามธรรมชาติ ส่วนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล ความแน่นเนื้อ เปอร์เซ็นต์น้ำในเปลือก และเปอร์เซ็นต์น้ำในผล มีค่ามากที่สุดในต้นที่ได้รับน้ำทุกวัน แต่มีค่าน้อยที่สุดในต้นที่ได้รับน้ำตามธรรมชาติ สำหรับอาการเนื้อแก้วจะพบน้อยที่สุดในต้นที่ได้รับน้ำตามธรรมชาติ (3.7 %) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นมังคุดที่ได้รับน้ำทุก 4 วัน (18 %) และทุกวัน (28.9 %) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับต้นที่ได้รับน้ำทุก 7 วัน (9.5 %) ขณะที่อาการยางไหล พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. อัตราคายน้ำของผลและค่านำไหลรวม

การคายน้ำเป็นกระบวนการทางชีวฟิสิกส์ที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อการเติบโต พัฒนาการและคุณภาพของผล อีกทั้งยังเป็นกระบวนการรักษาดุลของน้ำภายในผล ซึ่งอัตราคายน้ำที่ผิวผลเป็นอัตราน้ำที่ผลสูญเสีย โดยสัมพันธ์กับอัตราเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่ขั้วผลผ่านทาง xylem และ phloem โดยเฉพาะการคายน้ำที่ผิวผลในบริเวณชั้น epidermis จะส่งผลให้ค่าพลังงานศักย์ของน้ำในผลลดลงและทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนในการขนส่งสารต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ สารประกอบคาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุเข้าสู่ผล (Huguet *et al.*, 1998; Kawabata *et al.*, 2005)

อัตราคายน้ำของผลสามารถวัดได้โดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนแก๊ส ซึ่งเป็นการศึกษากระบวนการที่สำคัญ 2 กระบวนการคือ การสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นการศึกษาอัตราแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และการคายน้ำซึ่งเป็นการศึกษาอัตราแลกเปลี่ยนไอน้ำ โดยจะศึกษาพร้อมกับเก็บข้อมูลสภาพอากาศที่ผลเผชิญ ซึ่งทำให้ทราบว่าอัตราที่เกิดสัมพันธ์กับระดับความเข้มแสง ความแห้งของอากาศ และความกว้างของรูปากใบปากใบอย่างไรและเพียงไร การศึกษาบทบาทของสภาพแวดล้อมที่มีต่ออัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส จะได้ข้อมูลครอบคลุมกว้างเมื่อวัดค่าในสภาพสนามเป็นระยะตลอดทั้งวัน ขณะที่ปัจจัยแต่ละตัวของสภาพอากาศแสดงบทบาทพร้อมกันในลักษณะต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ซึ่งเป็นสภาพที่เลียนแบบไม่ได้ภายในห้องควบคุม (สุนทรีและพรรณี, 2550) โดยอัตราคายน้ำของผลสามารถวัดด้วยเครื่องวัดอัตราสังเคราะห์แสงระบบปิด (รุ่น LI6200, บริษัท LICOR Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยเครื่องวัดระบบปิดจะให้อากาศไหลหมุนเวียนผ่านผลและวัดอัตราเร็วของการเพิ่มขึ้นของไอน้ำภายในกล่องบรรจุผล อัตราคายน้ำเป็นผลคูณของค่านำไหลรวมของไอน้ำ (g_t^{wv}) กับแรงขับเคลื่อน (สุนทรีและคัทลียา, 2547) โดยแรงขับเคลื่อนในการคายน้ำของผลคือ ความแตกต่างของความดันไอน้ำของเซลล์ที่ผิวผลกับอากาศหรือแรงดึงคายน้ำจากผลสู่อากาศ (fruit to air vapor pressure deficit, $VPD_{fruit-air}$)

$$E = g_t^{wv}\left(\frac{e_f - e_a}{P}\right) \tag{1}$$

หรือ
$$E = g_t^{wv}\left(\frac{VPD_{fruit-air}}{P}\right) \tag{2}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

e_f = ความดันไอน้ำของเซลล์ที่ผิวผล (fruit vapor pressure, kPa)

e_a = ความดันไอน้ำในอากาศ (air vapor pressure, kPa)

$VPD_{fruit-air}$ = แรงดึงคายน้ำจากผลสู่อากาศ (fruit to air vapor pressure deficit, kPa; โดยที่ $VPD_{fruit-air} = e_f - e_a$)

P = ความดันบรรยากาศ (มีค่าประมาณ 100 kPa)

g_t^{wv} = ค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผิวผลสู่อากาศ (total fruit surface conductance to water vapor diffusion, mmolH_2O m^{-2} s^{-1})

โดยค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผิวผลสู่อากาศ (total fruit surface conductance to water vapor diffusion, g_t^{wv}) เป็นค่านำไหลที่ควบคุมการสูญเสียน้ำจากผิวผลเนื่องจากการคายน้ำ (Leonardi *et al.*, 2000; Lescourret *et al.*, 2001) ซึ่งค่า g_t^{wv} เป็นผลรวมของค่านำไหลที่บริเวณผิวผล 3 ค่าคือ ค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance, g_s) ค่านำไหลของชั้นคิวติเคิล (cuticular conductance, g_c) (ซึ่งต่อกันแบบขนาน) และค่านำไหลของชั้นบางติดผิวผล (boundary conductance, g_b) มีรูปสมการว่า

$$\frac{1}{g_t^{wv}} = \frac{1}{g_s + g_c} + \frac{1}{g_b} \qquad (3)$$

หรือ

$$g_t^{wv} = \frac{g_s g_b + g_c g_b}{g_s + g_c + g_b} \qquad (4)$$

อัตราคายน้ำของผลจะเปลี่ยนแปลงและสัมพันธ์กับลักษณะประจำพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต สภาพแวดล้อมที่ผิวผลสัมผัส และลักษณะของผิวผลในบริเวณชั้น epidermis (Lescourret *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2003) โดยอัตราคายน้ำของผลในรอบวันจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศและแรงดึงระเหยน้ำ (air vapor pressure deficit, VPD_{air}) ที่สัมผัสผิวผลในขณะนั้น (Morandi *et al.*, 2007)

Leonardi *et al.* (2000) ศึกษาผลของค่า VPD_{air} ภายในโรงเรือนต่อการคายน้ำของผลมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) พบว่าผลมะเขือเทศจะมีอัตราการคายน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามค่า VPD_{air} ภายในรอบวันในขณะที่ทำการวัด โดยผลมะเขือเทศที่ปลูกภายในโรงเรือนที่มีค่า VPD_{air} สูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ค่า VPD_{air} ในรอบวันเฉลี่ยเท่ากับ 2.2 kPa) จะมีอัตราคายน้ำสูงเป็น 2 เท่าของผลมะเขือเทศที่ปลูกภายในโรงเรือนที่มีค่า VPD_{air} ต่ำ (ค่า VPD_{air} ในรอบวันเฉลี่ยเท่ากับ 1.6 kPa) โดยเฉพาะในช่วงเวลา 10 ถึง 14 นาฬิกาซึ่งจะเป็นช่วงที่อัตราคายน้ำของผลมะเขือเทศที่ปลูกภายในโรงเรือนทั้ง 2 สภาพมีค่าสูงสุดในรอบวัน อีกทั้งยังพบว่าอัตราคายน้ำของผลมะเขือเทศมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่า VPD_{air} ภายในโรงเรือน

Li *et al.* (2002) ศึกษาการคายน้ำของผลท้อ (*Prunus persica* (L.) Batsch) 5 พันธุ์คือ Dixered, Alexandra, Suncrest, Big Top และ Opale ในสภาพแปลง พบว่าอัตราคายน้ำของผลท้อจะเปลี่ยนแปลงไปตามรอบวันขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่สัมผัสผล และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยอัตราคายน้ำของผลท้อทั้ง 5 พันธุ์จะมีค่าสูงสุดในรอบวันในช่วงเวลา 12 นาฬิกา โดยในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของผล อัตราคายน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศที่ผลสัมผัส โดยเมื่อนำผลท้อในสภาพแปลงทั้ง 5 พันธุ์มาศึกษาอัตราคายน้ำภายใต้กล่องควบคุมสภาพอากาศ (Phytotron) ที่อุณหภูมิอากาศ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 60 % พบว่าท้อพันธุ์ Alexandra มีอัตราคายน้ำของผลสูงสุด 2.530 mg water cm^{-2} h^{-1} และท้อพันธุ์ Big Top มีอัตราคายน้ำของผลต่ำสุด 1.152 mg water cm^{-2} h^{-1} เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน Phytotron ต่ออัตราคายน้ำของผล พบว่าอัตราคายน้ำของท้อทั้ง 2 พันธุ์จะสูงขึ้น 30-50 % ที่อุณหภูมิอากาศ 30 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิอากาศ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 60 %

Higushi and Sakuratani (2006) พบว่าอัตราคายน้ำของผลมะม่วง (*Mangifera indica* L.) จะเพิ่มขึ้นตามระยะการเติบโตและพัฒนาการของผล โดยระยะที่ผลมีการเจริญเติบโตเต็มที่จะมีอัตราคายน้ำต่อผลในรอบวันสูงกว่าระยะผลอ่อน โดยอัตราการคายน้ำต่อผลในรอบวันของทั้งระยะผลอ่อนและระยะที่ผลมีการเจริญเติบโตเต็มที่ไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวและปริมาตรของผล

Montarano *et al.* (2005) ศึกษาผลของแสงต่อการคายน้ำของผลกีวี (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) พบว่าที่อยู่นอกทรงพุ่มที่ได้รับแสงมาก (68 % ของความเข้มแสงเหนือทรงพุ่ม) จะมีอัตราคายน้ำในรอบวันสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มที่ได้รับแสงน้อย (1-3 % ของความเข้มแสงเหนือทรงพุ่ม) เมื่อนำอัตราคายน้ำที่วัดได้มาคำนวณเป็นอัตราคายน้ำสะสมนับจากวันที่ติดผล พบว่าอัตราคายน้ำสะสมของผลกีวีจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลา 40 วันนับจากวันที่ติดผล แต่อัตราคายน้ำสะสมเฉลี่ยของผลที่อยู่ภายนอกและภายในทรงพุ่มไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากติดผลแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

40 วันจนถึงระยะเก็บเกี่ยว อัตราคายน้ำสะสมของผลกีวีจะมีค่าคงที่ โดยผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีอัตราคายน้ำสะสมเฉลี่ยสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มคิดเป็น 29 %

6. ปากใบที่ผิวผลและค่านำไหลปากใบ

บริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermis) จะมีรู (pore) เล็ก ๆ ที่เกิดจากเซลล์เนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermal cell) 2 เซลล์ที่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง แตกต่างกับเซลล์เนื้อเยื่อชั้นผิวข้างเคียงอื่น ๆ มาประกบคู่กันทำหน้าที่เป็นเซลล์คุม (guard cell) โดยทั้งเซลล์คุมและรูรวมกันเป็นปากใบ (stomata) ซึ่งจะปรากฏอยู่ทุกส่วนของพืชที่อยู่เหนือดิน แต่จะพบมากที่แผ่นใบ และจะพบในบริเวณเซลล์เนื้อเยื่อชั้นผิวของลำต้นที่ยังไม่มีเนื้อไม้ ก้านใบ กลีบเลี้ยง กลีบดอก ก้านชูอับเรณู ก้านเกสรเพศเมีย ผล และรากของพืช (เทียมใจ, 2539; Weyers and Meidner, 1990; Willmer and Fricker, 1996)

ในผิวผลที่กำลังมีการพัฒนาจะพบปากใบกระจายอยู่ทั่วไปในชั้น epidermis เมื่อผลมีการพัฒนาเข้าสู่ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ ปากใบที่ผิวผลเหล่านี้อาจมีการพัฒนาไปเป็น lenticel ต่อไป (Gibert *et al.*, 2005; Higushi and Sakuratani, 2006) ปากใบที่ผิวผลจะทำหน้าที่เหมือนกับปากใบที่พบบริเวณแผ่นใบ ทำหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างผลกับสิ่งแวดล้อม ในระยะผลอ่อนซึ่งเนื้อเยื่อผิวผลประกอบไปด้วยคลอโรพลาสต์เป็นจำนวนมาก ปากใบจะเป็นเส้นทางการไหลเข้าของคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงที่ผิวผล แต่หน้าที่สำคัญของปากใบที่บริเวณผิวผลในทุกระยะของการเจริญเติบโตคือ ควบคุมการเคลื่อนที่และการสูญเสียน้ำ โดยปากใบที่ผิวผลเป็นเส้นทางการไหลออกของไอน้ำ เมื่อเกิดการคายน้ำที่บริเวณผิวผลจะทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนในการขนส่งสารต่าง ๆ เข้าสู่ผล ส่งผลต่อการเจริญเติบโต การขยายขนาด และการสะสมมวลของผล (Blanke and Lenz, 1989; Willmer and Fricker, 1996; Nobel and Barrera, 2000; Proietti *et al.*, 2004)

ขนาดของปากใบและจำนวนปากใบต่อหน่วยพื้นที่ของผิวผลขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ระยะการเจริญเติบโต การขยายขนาดของชั้น epidermis ตำแหน่งบนผิวผล และสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำในดิน ตำแหน่งของผลบนทรงพุ่ม เป็นต้น ซึ่งจำนวนปากใบต่อพื้นที่ยังส่งผลต่ออัตราคายน้ำของผล โดยในสภาพที่ปากใบเปิด ผิวผลที่มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่มากจะมีค่านำไหลปากใบสูง ส่งผลให้อัตราคายน้ำของผลสูงขึ้น (Nobel and Barrera, 2000; Royer, 2001; Peschel *et al.*, 2003; Gibert *et al.*, 2005) โดยค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance, g_s)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นค่านำไหลที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางปากใบ (Weyers and Meidner, 1990; Nobel, 2005; Baldocchi, 2006) สำหรับผล ค่านำไหลปากใบที่ผิวผลจะเกี่ยว ข้องกับอัตราหายใจและคายน้ำของผล (Knoche *et al.*, 2001; Gibert *et al.*, 2005) โดยค่านำไหลปากใบจะเป็นค่าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากจำนวนปากใบและพื้นที่รูปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Weyers and Meidner, 1990; Nobel, 2005)

Peschel *et al.* (2003) ศึกษาลักษณะพื้นผิวของผล sweet cherry (*Prunus avium* L.) พบว่าจำนวนปากใบต่อหน่วยพื้นที่มีค่าสูงสุดที่บริเวณขั้วผลและมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากขั้วผลมากขึ้นจนมีค่าต่ำที่สุดที่บริเวณก้นผล เมื่อเปรียบเทียบจำนวนปากใบต่อผลของ sweet cherry 7 พันธุ์คือ Adriana, Burlat, Hedelfinger, Kordia, Regina, Sam และ Van จะพบว่าจำนวนปากใบต่อผลในแต่ละพันธุ์มีค่าแตกต่างกัน โดยพันธุ์ Heldelfinger มีจำนวนปากใบต่อผลสูงสุดเท่ากับ 2124 ปากใบต่อผล ส่วนพันธุ์ Adriana มีจำนวนปากใบต่อผลต่ำสุดเท่ากับ 143 ปากใบต่อผล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบขนาดของรูปากใบในแต่ละพันธุ์พบว่ามีความแตกต่างกัน และพันธุ์ที่มีจำนวนปากใบต่อผลมากจะมีขนาดรูปากใบเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่มีจำนวนปากใบต่อผลน้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผล sweet cherry ในระยะการเจริญเติบโตขั้นที่ 2 (30-40 วันหลังจากติดผล) และขั้นที่ 3 (40 วันหลังติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยว) พบว่าผลในระยะการเจริญเติบโตขั้นที่ 3 จะมีพื้นที่รูปากใบรวมและสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของรูปากใบสูงกว่าผลในระยะการเจริญเติบโตขั้นที่ 2 โดยสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของรูปากใบจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนวันหลังติดผลมากขึ้นและจะเริ่มคงที่เมื่อถึงระยะการเจริญเติบโตขั้นที่ 3 อีกทั้งค่าพื้นที่รูปากใบรวมและสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของผลในระยะการเจริญเติบโตขั้นที่ 2 จะเปลี่ยนแปลงตลอดรอบวันที่ทำการวัดตามสภาพแสงที่ผลได้รับ แต่ในระยะการเจริญเติบโตขั้นที่ 3 จะค่อนข้างคงที่ตลอดรอบวัน และยังพบว่าน้ำหนักของผล sweet cherry ไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนของปากใบต่อผล

จิรเวฐน์และคณะ (2544) ศึกษาจำนวนปากใบต่อพื้นที่ของผลแตงโม (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai) จำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ Pink Orchid, DR 99-27, Yellow Sugar และ Sugar Baby ที่ระดับอายุผล 7, 14, 21 และ 30 วัน พบว่าพันธุ์และอายุของผลมีอิทธิพลต่อจำนวนปากใบต่อพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ โดยพันธุ์ Pink Orchid และ Yellow Sugar มีจำนวนปากใบสูงสุด 36.50 และ 36.25 ปากใบต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ และพันธุ์ DR 99-27 มีจำนวนปากใบต่ำสุดคือ 32.5 ปากใบต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบผลแตงโมที่อายุต่างกัน พบว่าจำนวนปากใบจะลดลงเมื่ออายุของผลแตงโมมากขึ้น โดยผลที่อายุน้อย (7 วัน) มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่มากที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

61.25 ปากใบต่อตารางเซนติเมตร เมื่ออายุผลมากขึ้น (30 วัน) มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่ลดลงเหลือ 8.75 ปากใบต่อตารางเซนติเมตร

Blanke (2006) พบว่าหลังจากระยะติดผลของสตรอเบอรี่ (*Fragaria ananassa* Duch.) จำนวนปากใบต่อพื้นที่ของผลจะมีค่าสูงถึง 6 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร แต่จำนวนปากใบต่อพื้นที่จะลดลงเมื่อผลมีการพัฒนาและขยายขนาด โดยจะลดลงเหลือ 1-3 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร และเมื่อผลสตรอเบอรี่อยู่ในระยะเจริญเติบโตเต็มที่จะพบว่าปากใบที่บริเวณผิวผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและการเสียสภาพส่งผลให้อัตราคายน้ำของผลลดลง ซึ่งระยะหลังติดผลจะมีอัตราคายน้ำของผลเฉลี่ยเท่ากับ 7 mmolH_2O m^{-2} s^{-1} และจะลดลงเหลือ 0.2 mmolH_2O m^{-2} s^{-1} เมื่อถึงระยะที่เจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปากใบที่บริเวณผลในช่วงของการเจริญเติบโตที่มากขึ้นยังพบในผลมะกอกโอลีฟ (*Olea europaea* L.) ที่พบว่าในระยะแรกของการเติบโตของผล ปากใบจะมีรูปร่างรี เซลล์คุมมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อผลอยู่ในระยะเติบโตเต็มที่จะเกิดการเสียสภาพและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปากใบ อีกทั้งเซลล์คุมจะมีขนาดเล็กลง (Proietti *et al.*, 2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้เพื่อวัดอัตราคายน้ำและศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของผลมังคุดในระยะต่างๆ ของพัฒนาการของผล โดยเปรียบเทียบระหว่างผลที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม เพื่อความเข้าใจกลไกการไหลออกของน้ำจากผลและความสัมพันธ์กับการเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหล แผนการดำเนินการมีดังนี้ เลือกต้นมังคุดที่มีสภาพต้นสมบูรณ์ ติดป้ายเพื่อติดตามอายุของผล โดยแบ่งออกเป็นผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม ติดตามวัดขนาดของผล อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลในรอบวัน และเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของผิวผล โดยเฉพาะส่วนของปากใบในแต่ละช่วงอายุผล วัดค่าต่าง ๆ ต่อเนื่องทุกสัปดาห์ตั้งแต่ระยะ 2 สัปดาห์หลังดอกบานจนถึงระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือระยะเข้าสู่สายเลือด (13 สัปดาห์หลังดอกบาน) โดยศึกษาควบคู่กับสภาพอากาศและน้ำในดินภายในแปลงปลูก หลังจากนั้นเมื่อผลมังคุดอยู่ในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือระยะเข้าสู่สายเลือด (12-14 สัปดาห์) จึงทำการสุ่มผ่าผลมังคุด เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลระหว่างผลที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม รายละเอียดการดำเนินการในขั้นตอนต่าง ๆ มีดังนี้

1. การเตรียมต้นมังคุด

เลือกต้นมังคุดที่มีอายุ 20 ปี สภาพต้นสมบูรณ์ (ภาพผนวกที่ 1a) มีขนาดของทรงพุ่มและลำต้นใกล้เคียงกันที่พบในแปลงเป็นส่วนใหญ่จำนวน 5 ต้น โดยแปลงตัวแทนที่ศึกษาเป็นสวนของคุณกิ่งและสงวน บุญญฤทธิ์ บ้านเลขที่ 25 หมู่ 2 ตำบลอ่างศิลา อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี พิกัดของแปลงคือ 12° 36’ 35”N 102° 14’ 32”E เมื่อดอกของมังคุดบานจะติดป้ายเพื่อติดตามอายุของผล (ภาพผนวกที่ 1b) โดยติดป้ายผลมังคุดของทั้ง 5 ต้นในวันเดียวกัน โดยแบ่งผลมังคุดออกเป็น 2 ทรีทเมนต์ดังนี้

NS = ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม โดยเป็นผลที่อยู่ในแดด โดยตำแหน่งของผลมีระยะจากปลายกิ่งตั้งแต่ 0 - 25 เซนติเมตร

S = ผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม โดยเป็นผลที่อยู่ในร่ม โดยตำแหน่งของผลมีระยะจากปลายกิ่งเข้าไปในทรงพุ่มมากกว่า 25 เซนติเมตรขึ้นไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอัตราคายน้ำในรอบวันของผลมังคุด

คัดเลือกผลมังคุดที่สมบูรณ์ซึ่งติดป้ายไว้ อยู่สูงจากพื้นดินเป็นระยะ 2 เมตรและอยู่บนต้นเดียวกัน โดยแบ่งออกเป็นผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม ทรีทเมนต์ละ 3 ผล (1 ผลคือ 1 ซ้ำ) ศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส เป็นระยะทุก 1-2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8-18 นาฬิกา และวัดค่าต่าง ๆ ต่อเนื่องทุกสัปดาห์ตั้งแต่ระยะ 2 สัปดาห์หลังดอกบาน จนถึงระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือระยะเข้าสู่สายเลือด (ประมาณ 13 สัปดาห์หลังดอกบาน) เป็นเวลาทั้งหมด 12 สัปดาห์ โดยค่าที่บันทึกได้ในแต่ละรอบจะครอบคลุมสภาพน้ำในดิน สภาพอากาศ อัตราคายน้ำของผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 พลังงานกำกับก้อนดิน (soil matric potential, Ψ_m)

ศึกษาด้วยเครื่องวัดแรงดึงน้ำของดิน (Watermark บริษัท Spectrum Technologies Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ต่อกับเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล (datalogger รุ่น Watchdog 400 บริษัท Spectrum Technologies Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยติดตั้งหัววัดค่าพลังงานกำกับก้อนดินในเขตรากพืชที่ระดับความลึกของดิน 15 30 60 และ 90 เซนติเมตร ติดตั้งห่างจากกึ่งกลางของลำต้นเป็นระยะ 2 เมตร ซึ่งเป็นระยะ 2 ใน 3 ของทรงพุ่ม (ภาพผนวกที่ 2) โดยกำหนดให้เครื่องมืออ่านและบันทึกค่าทุก 15 นาที

2.2 สภาพอากาศในรอบวัน

ติดตั้งอุปกรณ์วัดสภาพอากาศประกอบด้วย หัววัดความเข้มแสงในช่วงคลื่น 400-700 นาโนเมตร (quantum sensor) ที่ต่อกับเครื่องบันทึกและเก็บข้อมูล (datalogger รุ่น Watchdog 450 บริษัท Spectrum Technologies Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา) ซึ่งภายในมีหัววัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้ บรรจุเครื่องบันทึกข้อมูลภายในภาชนะกันรังสีแสง (radiation shield) ตามวิธีการวัดสภาพอากาศโดยทั่วไป โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดสภาพอากาศภายในทรงพุ่มของต้นมังคุดห่างจากกึ่งกลางของลำต้นเป็นระยะ 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะ 1 ใน 2 ของทรงพุ่ม และภายนอกทรงพุ่มของต้นมังคุดห่างจากกึ่งกลางของลำต้นเป็นระยะ 3 เมตร และติดตั้งสูงจากพื้นดินเป็นระยะ 2 เมตรอย่างละ 1 ชุด (ภาพผนวกที่ 3) กำหนดให้อ่านและบันทึกค่าทุก 15 นาที จะใช้ค่าอุณหภูมิอากาศและค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศคำนวณค่าแรงดึงระเหยน้ำสู่อากาศ (air

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

vapor pressure deficit, VPD_{air} มีหน่วยเป็น kPa) ซึ่งค่าที่ได้จะสะท้อนสภาพแห้งของอากาศ โดยค่า VPD_{air} จะเป็นแรงขับเคลื่อนของการระเหยน้ำจากแหล่งน้ำสู่อากาศ กล่าวคือเป็นค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันไอน้ำอิ่มตัว ($e^o{}_{T_{air}}$, kPa) กับค่าแรงดันไอน้ำจริงในขณะนั้น ($e_a = e^o{}_{T_{air}} \times RH_{air}$, kPa) (สุนทรีและคัทลียา, 2547; สุนทรีและพรรณี, 2550) ดังสมการ

$$\begin{aligned} VPD_{air} &= e^o{}_{T_{air}} - e_a \\ &= e^o{}_{T_{air}} \times (1 - RH_{air}) \end{aligned} \tag{5}$$

เมื่อ RH_{air} คือความชื้นสัมพัทธ์พัทธ์ของอากาศ ซึ่งเป็นค่าสัดส่วน และแรงดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิอากาศหนึ่ง (T_{air} , °C) (LI-COR, 1990) คำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$e^o{}_{T_{air}} = 0.61083 \times 10^{\frac{7.64448T}{(242.62+T)}} \tag{6}$$

2.3 สภาพอากาศที่ผลมังคุดสัมผัส อัตราคายน้ำและค่านำไหลรวม

เป็นค่าที่ได้จากการวัดอัตราแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ โดยใช้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบปิด (รุ่น LI6200 บริษัท Licor Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้กล่องบรรจุผลที่สร้างดัดแปลงเพื่อใช้ในการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดแบบโปร่งใสแสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านกระทบผลได้ (อุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการชีวฟิสิกส์ของพืช ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) ด้านบนของกล่องบรรจุผลมีหัววัดความเข้มแสง (PPFi) ซึ่งวัดแสงในช่วงคลื่น 400-700 นาโนเมตรที่ผลได้รับจริงในขณะที่ทำการวัด รวมทั้งภายในกล่องบรรจุผลจะมีหัววัดอุณหภูมิของผล (thermocouple) ซึ่งวางให้สัมผัสผิวของผล (ภาพผนวกที่ 4) โดยค่าอุณหภูมิของผิวผล (T_{fruit}) ที่วัดได้สามารถนำมาใช้คำนวณค่าแรงดึงคายน้ำจากผลสู่อากาศ ($VPD_{fruit\text{-}air}$) กำหนดให้อัตราเร็วของอากาศไหลผ่านผล (flow rate) เท่ากับ 200 μmol s^{-1} สัดส่วนค่านำไหลระหว่างปากใบบนกับปากใบล่างเท่ากับ 3 โดยสภาพอากาศที่ผ่านผลจะถือว่าเป็นสภาพอากาศขณะวัด ปิดกล่องบรรจุผลให้สนิท บันทึกค่าเมื่อค่าแรงดันไอของอากาศภายในกล่องบรรจุผล (EA) คงที่ คำนวณอัตราคายน้ำต่อหน่วยพื้นที่จากพื้นที่ผิวผลทั้งหมดโดยประมาณการให้ผลมังคุดมีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งพื้นที่ผิวผลสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Area = 4\pi r^2 \tag{7}$$

เมื่อ $Area$ = พื้นที่ผิวผล (surface area, cm^2)

r = รัศมีของผล (fruit radius, cm)

โดยที่
$$r = \frac{W}{2} \tag{8}$$

เมื่อ W = ความกว้างของผล (fruit width, cm)

ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบปิด ได้แก่ อัตราคายน้ำ อัตราหายใจ ค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผิวผลสู่อากาศ และสภาพอากาศที่ผลสัมผัส เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในรอบวันของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละทรีทเมนต์ในแต่ละช่วงอายุผลโดยวิธี T-test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System 6.12 (SAS 6.12) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้

3. ศึกษาลักษณะพื้นผิวของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล

สุ่มเก็บผลมังคุดตั้งแต่ระยะ 2 สัปดาห์หลังดอกบานจนถึงระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือระยะเข้าสู่สายเลือด แบ่งเป็นผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม โดยสุ่มเก็บทรีทเมนต์ละ 10 ผล แต่ละผลคือ 1 ซ้ำ ในช่วงเวลา 10-12 นาฬิกาของรอบวันที่วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ชั่งน้ำหนักและวัดขนาด ได้แก่ ความกว้างของผล (fruit width, W) วัดจากส่วนที่กว้างที่สุดของผล และความยาวหรือความสูงของผล (fruit length, L) วัดจากปลายผลถึงด้านบนใต้กลีบเลี้ยง นำตัวอย่างผลมังคุดทั้งหมดของแต่ละทรีทเมนต์แช่ลงในสารละลาย Formalin-Acetic Acid-Alcohol (FAA) ความเข้มข้น 70 % เพื่อคงสภาพเนื้อเยื่อ

เตรียมสไลด์เนื้อเยื่อผิวผลมังคุด โดยลอกผิวผลด้วยมีดปลายแหลมที่บริเวณกึ่งกลางของผลในแต่ละระยะ ขนาด 1x1 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างผิวผลซ้ำละ 5 บริเวณ รวมทั้งหมด 10 ซ้ำ เมาท์ชิ้นเนื้อเยื่อผิวผลด้วยน้ำบนกระจกสไลด์ แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ compound microscope (Zeiss Axioskop 2 plus) โดยใช้โปรแกรมประมวลผลภาพ Axio Vision 3.1 (บริษัท Carl Zeiss Vision Gmbh. ประเทศเยอรมันนี) นับจำนวนปากใบใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ผิว 9.3 x10^4 ตารางไมโครเมตร โดยสุ่มนับบริเวณละ 2 ค่าสังเกต คำนวณค่าจำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร

ศึกษาลักษณะของรูปากใบ (stomatal pore) และเซลล์คุม (guard cell) ดัดแปลงตามวิธีการของ Peschel *et al.* (2003) โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดเส้นรอบวงของรูปากใบ (perimeter size) ความกว้างของรูปากใบ (pore width) ความยาวของรูปากใบ (pore length) ความกว้างของเซลล์คุม (guard cell width) และความยาวของเซลล์คุม (guard cell length) โดยสุ่มวัดจากปากใบที่นับได้ในแต่ละบริเวณที่ศึกษาจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละทรีทเมนต์ในแต่ละช่วงอายุผลโดยวิธี T-test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System 6.12 (SAS 6.12) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปากใบที่ผิวผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล

4. ศึกษาการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลระหว่างผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม

เก็บตัวอย่างผลมังคุดในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือระยะเข้าสู่สายเลือดในแต่ละทรีทเมนต์ จากต้นที่ทำการคัดเลือกไว้จำนวนทรีทเมนต์ละ 200 ผลต่อครั้ง โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ครั้ง (สัปดาห์ที่ 12-14) สุ่มชั่งน้ำหนักและวัดขนาดผลทรีทเมนต์ละ 50 ผล หลังจากนั้นจึงผ่าผลมังคุดทั้งหมดเพื่อแยกส่วนเปลือกกับเนื้อ สังเกตการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลภายในเนื้อผล คำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลในแต่ละทรีทเมนต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยวิธี T-test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System 6.12 (SAS 6.12)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. อัตราคายน้ำของผลภายใต้สภาพแวดล้อม และความสัมพันธ์ของอัตราคายน้ำกับสภาพอากาศและปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไปในรอบวัน

การศึกษาส่วนนี้เก็บข้อมูลจำนวน 12 ครั้งในระหว่างช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 ซึ่งเป็นช่วงที่มังคุดติดผล วัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผลมังคุดอย่างต่อเนื่องทุกสัปดาห์นับตั้งแต่อายุผล 2 สัปดาห์หลังดอกบานจนถึงระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือระยะเข้าสู่สายเลือด (13 สัปดาห์หลังดอกบาน) เป็นระยะทุก 1-2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8-18 นาฬิกาของรอบวัน โดยแบ่งเป็นผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม ได้ผลดังนี้

1.1 พลังงานกำกับก้อนดิน (Soil matric potential, Ψ_m)

สภาวะของน้ำในดินที่เป็นแหล่งให้น้ำ ซึ่งเป็นแหล่งต้นทางการไหลของน้ำในต้นพืช แสดงด้วยระดับพลังงานกำกับก้อนดิน (Ψ_m) ซึ่งสะท้อนแรงดึงน้ำโดยอนุภาคดิน ค่า Ψ_m ที่สูง (ติดลบน้อย) แสดงว่าพืชสามารถดึงน้ำไปใช้ได้ง่าย การเปลี่ยนแปลงของค่า Ψ_m ในหน้าตัดดิน 4 ระดับความลึกในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา (เดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551) แสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1a

ค่า Ψ_m ในชั้นรากพืชที่วัดลงไปลึกถึง 90 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาที่วัดอัตราการคายน้ำยกเว้นในช่วงเดือนมีนาคม (ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6) พบว่าค่า Ψ_m ที่ระดับความลึก 15 และ 30 เซนติเมตรมีค่าสูงกว่า -40 kPa และบางช่วงค่า Ψ_m ที่วัดได้มีค่าสูงกว่า -20 kPa (ภาพที่ 1a) ซึ่งเป็นระดับของ Ψ_m ที่ค่อนข้างสูง โดยในเชิงปฏิบัติของไม้ยืนต้น ค่า Ψ_m ในช่วง -40 ถึง -10 kPa จะเป็นระดับที่รากพืชยังดูดใช้น้ำได้ง่าย (สุนทรีและพรรณี, 2550) แต่ที่ระดับความลึก 60 และ 90 เซนติเมตรจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า Ψ_m ตลอดช่วงระยะเวลาดังกล่าวโดยบางช่วงจะมีค่า Ψ_m สูง (สูงกว่า -20 kPa) ซึ่งเป็นช่วงที่เกษตรกรเจ้าของสวนมีการให้น้ำแก่ต้นมังคุดเพื่อเสริมสร้างพัฒนาการของผลมังคุดในระยะผลอ่อน (สัปดาห์ที่ 2-3) หรือในระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลมังคุดซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายวัน (สัปดาห์ที่ 7-13) (ภาพที่ 1b) ในช่วงเวลาดังกล่าวดินที่ระดับความลึก 60 และ 90 เซนติเมตร มีปริมาณน้ำในดินสูง รากพืชดูดขึ้นไปใช้ได้ง่าย แต่บางช่วง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่า Ψ_m ที่ระดับความลึก 60 และ 90 เซนติเมตรจะมีค่า Ψ_m ต่ำกว่า -50 kPa (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นระดับที่แสดงว่าดินมีความแห้งมาก รากพืชสามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ได้ยาก

ในช่วงเดือนมีนาคม ระหว่างสัปดาห์ที่ 4-6 ที่ทำการวัดอัตราคายน้ำ พบว่าค่า Ψ_m ในชั้นรากพืชมีค่าต่ำมาก โดยที่ระดับความลึก 15 และ 90 เซนติเมตรมีค่า Ψ_m อยู่ในช่วง -40 ถึง -20 kPa แต่ที่ระดับความลึก 30 และ 60 เซนติเมตร ค่า Ψ_m ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า -50 kPa (ภาพที่ 1a) ซึ่งแสดงว่าเป็นที่ดินมีความแห้งมาก รากพืชสามารถดึงน้ำไปใช้ได้ยาก

จากการวัดค่า Ψ_m ในหน้าตัดดินในแปลงปลูกมังคุดแสดงให้เห็นว่าต้นมังคุดจะมีรากดูดน้ำอยู่ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของค่า Ψ_m ตลอดเวลา (ภาพที่ 1a) โดยในช่วงที่เกษตรกรเจ้าของสวนมีการให้น้ำแก่ต้นมังคุดหรือช่วงที่มีฝนตกติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายวัน ค่า Ψ_m ที่วัดได้จะมีค่าสูง (สูงกว่า -40 kPa) ซึ่งรากพืชสามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ได้ง่ายแต่ในบางช่วงเวลาที่ระดับความลึกดังกล่าว ค่า Ψ_m ที่วัดได้มีค่าลดลง โดยต่ำกว่า -50 kPa ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินแห้งมาก รากพืชสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้ยาก ซึ่งช่วงระยะเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงที่ส่งผลของการคายน้ำของพืชได้มาก เนื่องจากแหล่งต้นทางการไหลของน้ำในต้นพืชคือดิน มีสภาวะของน้ำในดินน้อยลง ทำให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ได้มากพอตามความต้องการของการคายน้ำ ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวต้นพืชจะมีกลไกต่างๆ เพื่อช่วยรักษาดุลของน้ำภายในต้นพืช เช่น มีกลไกในการปิดปากใบ ซึ่งจะส่งผลให้ค่านำไหลปากใบลดลง อัตราคายน้ำของพืชก็จะลดลงตามไปด้วย (Willmer and Fricker, 1996; Bacon, 2004)

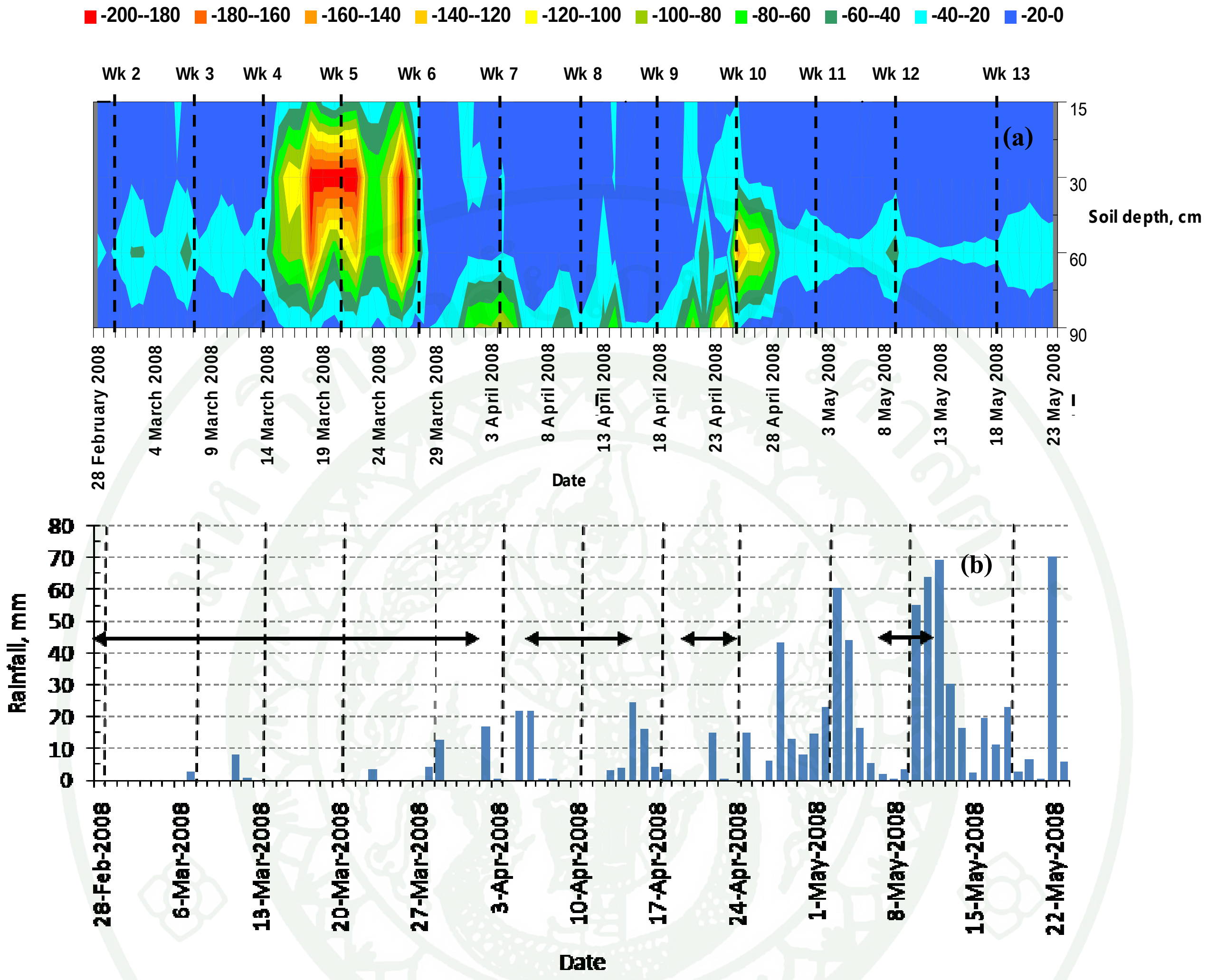
ในช่วงระยะก่อนเก็บเกี่ยวของผลมังคุด (สัปดาห์ที่ 12-13) จะเป็นช่วงเวลาที่พลังงานกำกับก้อนดินมีค่าสูง โดยมีค่าสูงกว่า -20 kPa โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 15, 30 และ 90 เซนติเมตร ซึ่งค่า Ψ_m ที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง -10 ถึง 0 kPa ซึ่งเป็นระดับที่แสดงให้เห็นว่าดินแฉะ เนื่องจากช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีฝนตกติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน (ภาพที่ 1b) แสดงให้เห็นว่าในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว ดินซึ่งเป็นแหล่งต้นทางในการไหลของน้ำในต้นพืชมีระดับพลังงานกำกับก้อนดินสูง มีความชื้นในดินสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยรายวันของค่าพลังงานกำกับก้อนดิน (Soil matric potential, Ψ_m) ในวันที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 90 เซนติเมตรของรากต้นมังคุด

อายุผล (สัปดาห์)	วันที่	พลังงานกำกับก้อนดิน (kPa)			
		ระดับความลึก (cm)			
		15	30	60	90
2	29 ก.พ. 2551	0	-8	-19	-4
3	8 มี.ค. 2551	-1	-3	-24	-4
4	14 มี.ค. 2551	-7	-55	-57	-8
5	21 มี.ค. 2551	-41	-200	-98	-24
6	29 มี.ค. 2551	0	-140	-68	-11
7	4 เม.ย. 2551	-17	-21	-21	-99
8	11 เม.ย. 2551	-5	-7	-6	-23
9	18 เม.ย. 2551	-3	-11	-7	-24
10	25 เม.ย. 2551	-20	-29	-148	-21
11	2 พ.ค. 2551	0	-5	-34	-5
12	9 พ.ค. 2551	-8	-13	-49	-9
13	18 พ.ค. 2551	0	-3	-23	-4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยรายวันของพลังงานกำกับก้อนดิน (Ψ_m) และปริมาณน้ำฝน ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุด ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 a) ค่า Ψ_m ที่ระดับความลึก 15, 30, 45 และ 90 เซนติเมตรของรากต้นมังคุด และ b) ปริมาณน้ำฝน เส้นประในภาพแสดงวันที่วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส และลูกศรในภาพแสดงช่วงที่มีการให้น้ำในแปลงปลูกมังคุด (ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนที่แสดงเป็นข้อมูลที่ได้จากสถานีอากาศของโครงการวิจัยเรื่อง งานศึกษาอัตราไหลของสารละลายเข้าสู่ผลเพื่อความเข้าใจสาเหตุการเกิดยางไหลในผลมังคุด ของห้องปฏิบัติการชีวฟิสิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ซึ่งศึกษาและติดตั้งอุปกรณ์วัดบนพื้นที่เดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 สภาพอากาศของสวนมังคุด

ข้อมูลสภาพอากาศของสวนมังคุดได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดึงระเหยน้ำ (VPD_{air}) เป็นค่าสะท้อนสภาวะความแห้งของอากาศ โดยแยกข้อมูลเป็นช่วงกลางวัน (เมื่อค่าความเข้มแสงเกินศูนย์) และช่วงกลางคืน ค่าสรุปเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน รวมทั้งค่าสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละวันที่วัดอัตราคายน้ำของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุแสดงในตารางที่ 2-3 และภาพที่ 2-3

1.1.1 ความเข้มแสง

ในรอบวันที่วัด ชั่วโมงที่มีแสงแดดมีค่า 12 ชั่วโมง โดยภายในทรงพุ่มของต้นมังคุดได้รับความเข้มแสงต่ำกว่าภายนอกทรงพุ่ม ภายในทรงพุ่มมีความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำ 0-10 µmolPPF m^{-2} s^{-1} แต่ภายนอกทรงพุ่งจะมีความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง 300-700 µmolPPF m^{-2} s^{-1} (ตารางที่ 2-3 และภาพที่ 2a, 3a) อีกทั้งในบางช่วงของรอบวันจะพบว่าภายนอกทรงพุ่มจะมีระดับความเข้มแสงสูงได้ถึง 2154 µmolPPF m^{-2} s^{-1} ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของความเข้มแสงที่วัดได้ โดยความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ลดลง กล่าวคือความเข้มแสงที่สูงขึ้นจะทำให้แรงดึงระเหยน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราคายน้ำของพืชสูงขึ้นด้วย (สุนทรีและพรรณี, 2550)

1.1.2 อุณหภูมิของอากาศ

อุณหภูมิของอากาศระหว่างภายในและภายนอกทรงพุ่มของต้นมังคุดมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางวันอยู่ในช่วง 24-32 $^{\circ}C$ ที่แตกต่างชัดเจนคืออุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายนอกทรงพุ่มจะสูงกว่าภายในทรงพุ่มได้ถึง 2 $^{\circ}C$ โดยเฉพาะในช่วงกลางวัน (ตารางที่ 2-3 และภาพที่ 2b, 3b)

1.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกทรงพุ่ม (อุปกรณ์วัดได้ถูกต้อง $\pm$ 3 %) โดยในช่วงประมาณ 10 วันของปลายเดือนกุมภาพันธ์ต่อกับเดือนมีนาคมจะมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำกว่าช่วงอื่นอยู่ที่ระดับต่ำกว่า 40 % เมื่อถึงเดือนพฤษภาคมที่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฝนตกติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายวัน (ภาพที่ 1b) ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเพิ่มขึ้นจนถึง 70 % ได้ โดยความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงกลางวันของอากาศภายนอกทรงพุ่มมีระดับต่ำกว่าของอากาศภายในทรงพุ่มเป็นค่าถึง 5 % (ตารางที่ 2-3 และภาพที่ 2c, 3c)

1.1.4 แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (air vapor pressure deficit, VPD_{air})

ค่าแรงดึงระเหยระเหยน้ำ (VPD_{air}) เป็นดรรชนีบอกถึงระดับความแห้งของอากาศ โดยเป็นค่ารวมปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศเข้าด้วยกัน ค่า VPD_{air} ที่สูงขึ้นหมายถึงอากาศมีระดับความแห้งรุนแรงขึ้น คือทำให้เกิดอัตราระเหยน้ำเพิ่มขึ้น ค่าแรงดึงระเหยน้ำที่มากกว่า 2 kPa กล่าวว่าเป็นอากาศที่มีความแห้ง (สุนทรีและพรรณี, 2550) ค่า VPD_{air} ของอากาศที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อทำให้อัตราคายน้ำของพืชสูงขึ้นตามไปด้วย (Leonardi *et al.*, 2000)

ค่า VPD_{air} ที่ควรสนใจคือค่าสูงสุดในรอบวัน เพราะเป็นปัจจัยชักนำให้ปากใบของพืชปิดแคบลงได้ พบว่าภายนอกทรงพุ่มจะมีค่า VPD_{air} ซึ่งสูงเกิน 2 kPa ได้เกือบทุกวัน และเป็นระดับสูงกว่าของอากาศภายในทรงพุ่ม โดยภายในทรงพุ่มจะมีค่า VPD_{air} สูงสุดซึ่งสูงเกิน 2 kPa เฉพาะในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม (ตารางที่ 2-3 และภาพที่ 2d, 3d) โดยสรุปคือในช่วงกลางวันสภาพอากาศภายนอกทรงพุ่มมีความแห้งมากกว่าภายในทรงพุ่ม ทั้งนี้สืบเนื่องจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกทรงพุ่มมีค่าต่ำกว่าภายในทรงพุ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ข้อมูลสภาพอากาศภายนอกทรงพุ่มของต้นมังคุดในรอบวันที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ของสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 (ค่าแรงดึงระเหยน้ำต่ำสุดทั้งกลางวันและกลางคืนมีค่า 0.00 kPa)

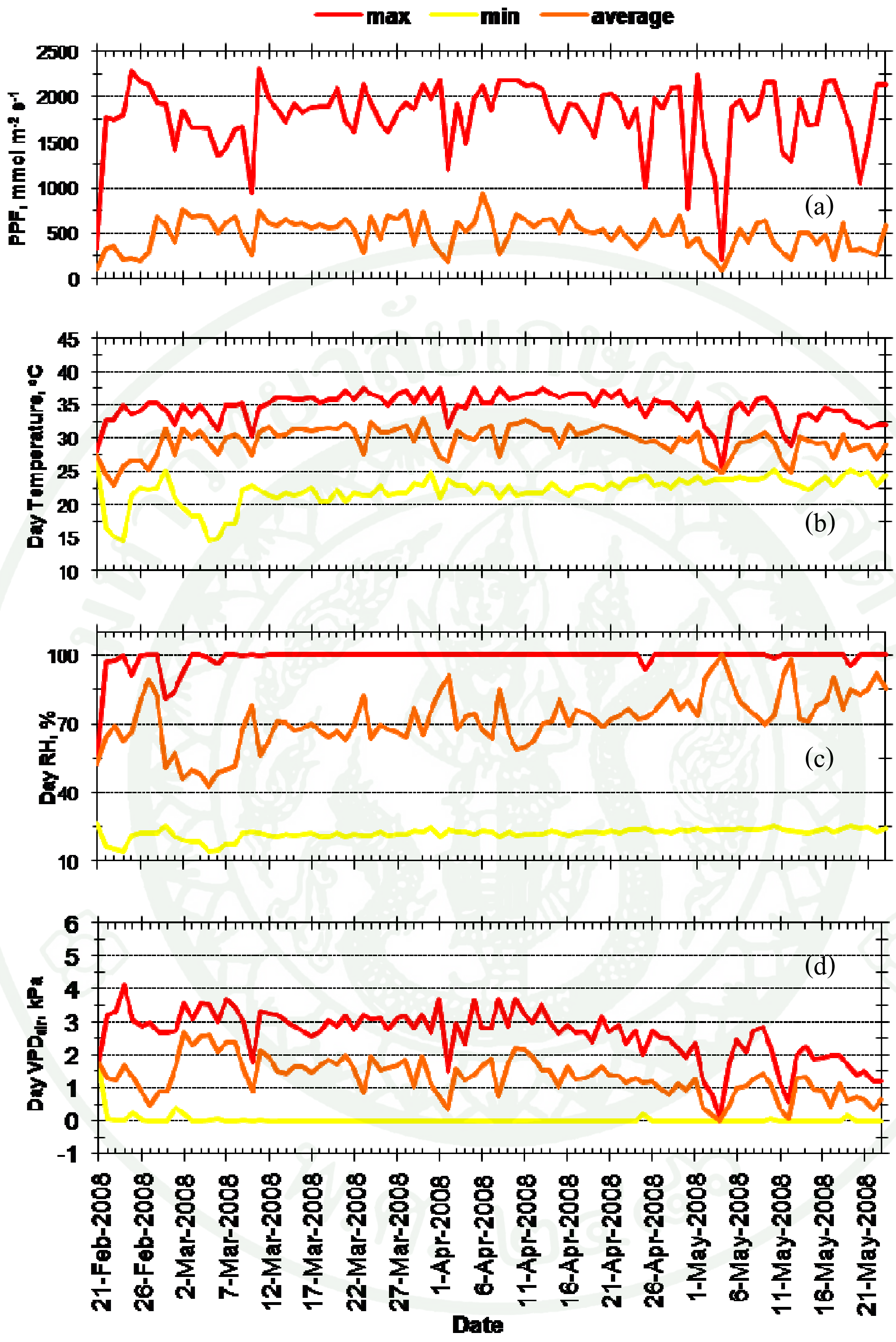
อายุผล (สัป-ดาห์)	วันที่วัด	แสงแดด (μmolPPF m^{-2} s^{-1})			อุณหภูมิ (^{o}C)						ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%)			แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)			
		กลางวัน			กลางวัน			กลางคืน			กลางวัน			กลางวัน		กลางคืน	
		จำนวนชั่วโมง	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด
2	29 ก.พ. 2551	12	592	1917	31.3	34.2	25.1	24.1	25.4	23.5	50.9	81.0	39.7	0.88	2.66	0.26	1.56
3	8 มี.ค. 2551	12	676	1630	30.6	34.9	17.1	22.6	27.2	20.9	51.6	100.0	35.6	2.38	3.47	0.26	1.11
4	14 มี.ค. 2551	12	654	1719	30.4	36.2	21.7	23.2	27.6	21.3	50.4	100.0	49.6	1.42	3.02	0.08	0.74
5	21 มี.ค. 2551	12	648	1739	32.2	37.1	20.6	22.9	28.3	20.6	63.4	100.0	46.5	1.96	3.18	0.13	1.00
6	29 มี.ค. 2551	12	367	1857	29.5	35.3	23.3	24.1	27.9	22.5	76.9	100.0	51.4	1.01	2.78	0.05	0.52
7	4 เม.ย. 2551	12	514	1482	30.1	34.5	22.9	24.3	28.3	22.9	73.2	100.0	57.4	1.23	2.33	0.10	0.91
8	11 เม.ย. 2551	12	642	2114	32.6	36.6	21.7	22.5	28.3	21.3	59.6	100.0	42.3	2.15	3.21	0.17	1.20
9	18 เม.ย. 2551	12	520	1739	30.8	36.6	22.9	23.3	24.8	22.5	74.7	100.0	55.9	1.28	2.71	0.03	0.27
10	25 เม.ย. 2551	12	426	998	29.3	33.2	24.4	23.9	28.3	23.3	72.7	93.9	60.7	1.16	2.00	0.18	1.31
11	2 พ.ค. 2551	12	286	1442	26.4	31.6	23.3	23.3	23.7	22.9	89.8	100.0	72.7	0.40	1.23	0.00	0.01
12	9 พ.ค. 2551	12	641	2154	30.8	36.2	24.1	24.4	27.9	23.7	69.4	100.0	52.7	1.44	2.83	0.09	1.09
13	18 พ.ค. 2551	12	606	1897	30.5	34.1	24.4	25.4	27.9	24.4	76.5	100.0	61.9	1.10	1.98	0.10	0.71
	เฉลี่ย	12	548	1724	30.4	35.0	22.6	23.7	27.1	22.5	69.1	97.9	52.2	1.37	2.62	0.12	0.87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ข้อมูลสภาพอากาศภายในทรงพุ่มของต้นมังคุดในรอบวันที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ของสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 (ค่าแรงดึงระเหยน้ำต่ำสุดทั้งกลางวันและกลางคืนมีค่า 0.00 kPa)

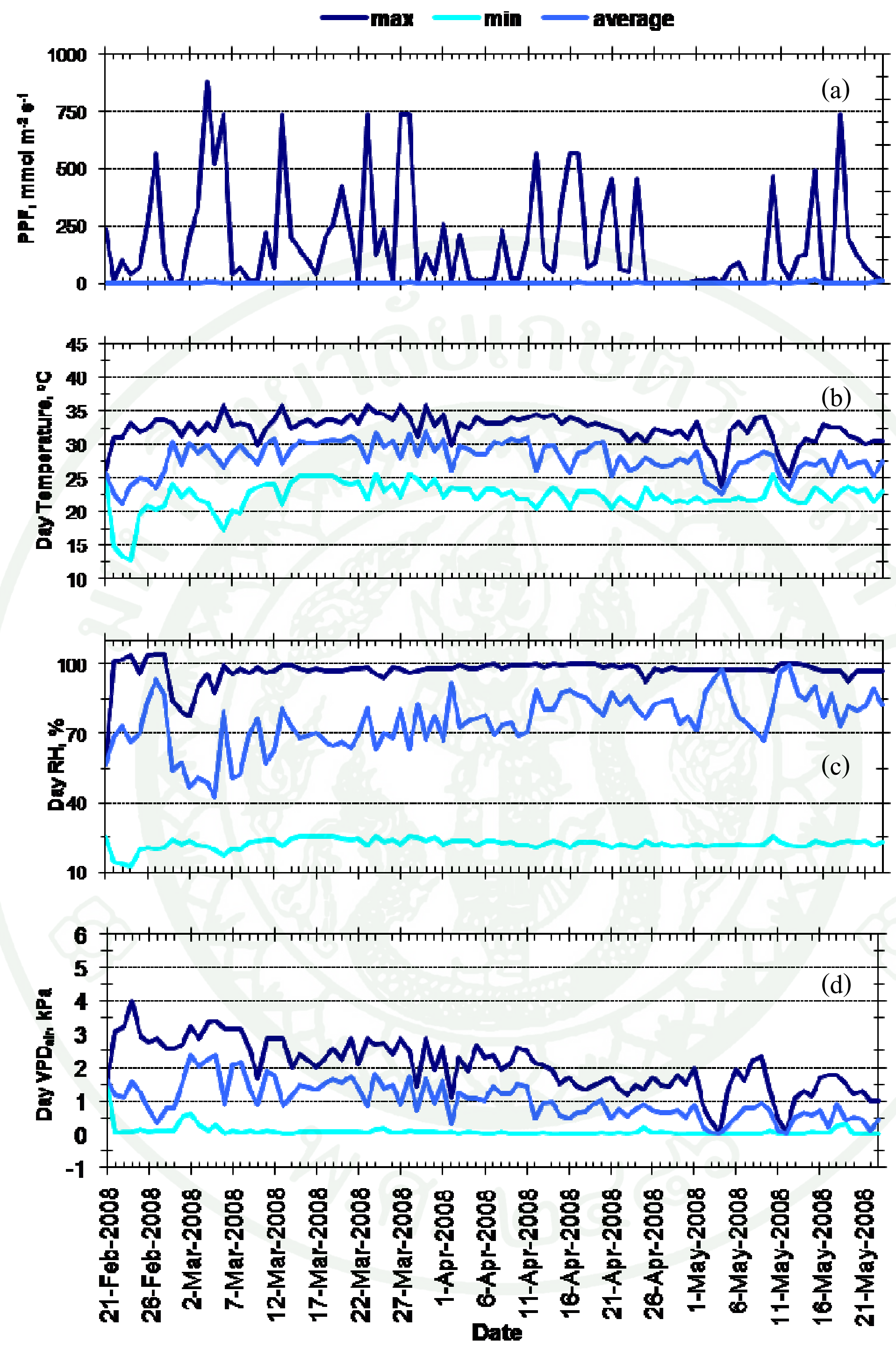
อายุผล (สัป-ดาห์)	วันที่วัด	แสงแดด (μmolPPF m^{-2} s^{-1})			อุณหภูมิ (^{o}C)						ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%)			แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)			
		กลางวัน			กลางวัน			กลางคืน			กลางวัน			กลางวัน		กลางคืน	
		จำนวนชั่วโมง	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด
2	29 ก.พ. 2551	12	0	0	30.3	33.2	24.1	23.1	24.4	22.5	53.9	100.0	42.7	0.78	2.56	0.16	1.46
3	8 มี.ค. 2551	12	2	69	29.8	33.2	19.9	20.4	25.2	17.5	51.9	99.5	37.9	1.56	3.16	0.24	0.82
4	14 มี.ค. 2551	12	8	197	29.3	32.4	24.4	23.2	25.2	21.7	53.0	100.0	57.2	1.16	2.00	0.14	0.42
5	21 มี.ค. 2551	12	7	207	31.2	34.5	24.1	22.7	26.0	20.9	63.5	100.0	47.7	1.75	2.86	0.20	0.63
6	29 มี.ค. 2551	12	1	10	28.4	31.2	24.9	25.6	29.9	24.4	82.9	100.0	67.9	0.71	1.42	0.29	1.17
7	4 เม.ย. 2551	12	4	20	29.2	32.4	23.3	25.0	29.6	23.3	75.4	99.5	60.9	1.07	1.90	0.30	1.22
8	11 เม.ย. 2551	12	7	197	31.1	34.1	21.7	23.2	29.9	21.7	70.8	100.0	51.1	1.45	2.49	0.26	1.35
9	18 เม.ย. 2551	12	5	69	29.0	32.8	23.1	23.4	30.3	20.6	85.0	100.0	72.9	0.68	1.35	0.18	1.06
10	25 เม.ย. 2551	12	0	0	28.1	30.3	23.7	25.1	27.6	22.5	76.6	100.0	68.1	0.92	1.35	0.46	1.06
11	2 พ.ค. 2551	12	1	10	24.4	29.6	21.3	21.3	21.7	20.9	87.3	100.0	70.2	0.20	0.83	0.00	0.00
12	9 พ.ค. 2551	12	0	0	28.8	34.2	22.1	22.4	26.0	21.7	66.9	100.0	50.2	0.94	2.33	0.04	0.59
13	18 พ.ค. 2551	12	3	131	29.0	32.6	23.0	29.7	31.2	29.2	73.3	100.0	58.8	0.90	1.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12	3	76	29.0	32.5	23.0	23.8	27.3	22.2	71.7	99.9	57.1	1.06	2.00	0.19	0.82

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 สภาพอากาศภายนอกทรงพุ่มของสถานีอากาศในสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ในช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุด แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงกลางวันขณะที่ความเข้มแสงสูงกว่าศูนย์ a) ความเข้มแสง b) อุณหภูมิอากาศ c) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และ d) แรงดึงระเหยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 สภาพอากาศภายในทรงพุ่มของสถานีอากาศในสวนมังคุด อ.มะขาม จ.จันทบุรี ในช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุด แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงกลางวันขณะที่ความเข้มแสงสูงกว่าศูนย์ a) ความเข้มแสง b) อุณหภูมิอากาศ c) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และ d) แรงดึงระเหยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 สภาพอากาศที่ผลมังคุดสัมผัส อัตราคายน้ำ อัตราหายใจ และค่านำไหลรวม

สภาพอากาศที่ผลมังคุดสัมผัสโดยตรงคือสภาพภายในกล่องบรรจุผลของเครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบปิด (LI6200) ขณะวัดอัตราคายน้ำ อัตราหายใจ และค่านำไหลรวม ข้อมูลลักษณะของผล สภาพอากาศ และผลการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สตลอดทั้งวัน (ตั้งแต่เวลา 8-18 นาฬิกา) ของผลมังคุดตั้งแต่อายุตั้งแต่ 2-13 สัปดาห์ มีค่าสรุปแสดงในตารางที่ 4-5 และภาพที่ 4-5 และข้อมูลการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในรอบวันแสดงในภาพผนวกที่ 5-16

1.2.1 ความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux, PPF)

ผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มจะได้รับความเข้มแสงต่ำกว่าผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม โดยค่าเฉลี่ยความเข้มแสงในรอบวันตลอดช่วงที่ทำการวัดของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่าในช่วง 134-398 µmolPPF m^{-2} s^{-1} ส่วนผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มมีค่า เฉลี่ยอยู่ในช่วง 5-19 µmolPPF m^{-2} s^{-1} (ตารางที่ 4) โดยเมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงที่ผลมังคุดได้รับในรอบวัน โดยภาพรวมพบว่าความเข้มแสงที่ผลได้รับจะขึ้นกับแสงแดดภายนอก ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะได้รับความเข้มแสงสูงในช่วงเวลา 11-16 นาฬิกา โดยความเข้มแสงสูงสุดที่บันทึกได้อยู่ที่ประมาณ 1400 µmol m^{-2} s^{-1} (ภาพผนวกที่ 5a, 10a, 11a และ 15a) หลังจากนั้นความเข้มแสงจะลดต่ำลงและไม่มีแสงในช่วงเวลา 18 นาฬิกา ในช่วงวันที่มีฝนตก (สัปดาห์ที่ 6, 9 และ 11) ที่มีเมฆบังแสงทำให้ความเข้มแสงลดลง ส่วนผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มจะได้รับความเข้มแสงต่ำมากหรือแทบไม่ได้รับแสงแดดเลย เนื่องจากถูกทรงพุ่มของต้นบังแดดเกือบทั้งวัน

การที่ผลมังคุดภายในทรงพุ่มได้รับความเข้มแสงต่ำกว่าผลภายนอกทรงพุ่ม ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่บริเวณผิวผลต่ำกว่า จึงทำให้อากาศที่สัมผัสผิวผลมีค่า VPD_{air} ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนในการระเหยน้ำต่ำกว่าด้วย (สมการที่ 6) ส่งผลให้อัตราคายน้ำที่วัดได้ของผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มต่ำกว่าที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม (ตารางที่ 4 และภาพที่ 5a-5b) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Montarano *et al.* (2005) ซึ่งพบว่าผลกีวีที่อยู่นอกทรงพุ่มที่ได้รับแสงมาก (68 % ของความเข้มแสงเหนือทรงพุ่ม) จะมีอัตราคายน้ำในรอบวันสูงกว่าผลกีวีที่อยู่ภายในทรงพุ่มที่ได้รับแสงน้อย (1-3 % ของความเข้มแสงเหนือทรงพุ่ม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.2 แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (air vapor pressure deficit, VPD_{air})

ค่า VPD_{air} ที่ผลมังคุดสัมผัสเป็นค่าที่คำนวณจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในกล่องบรรจุผล (สมการที่ 5) ซึ่งจะสะท้อนสภาพแห้งของอากาศ ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะอยู่ในสภาพมีค่า VPD_{air} เฉลี่ยในรอบวันสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ตารางที่ 4) โดยเฉพาะในช่วงเวลา 11-16 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มแสงสูง (ภาพผนวกที่ 5a-16a)

ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีโอกาสเผชิญกับสภาพที่มีค่า VPD_{air} สูงกว่า 2.5 kPa ได้มากกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ภาพผนวกที่ 5b-16b) เนื่องจากผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะได้รับอุณหภูมิอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม แสดงให้เห็นว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะเผชิญกับสภาพอากาศที่แห้งกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม

1.2.3 ค่าแรงดึงคายน้ำจากผลสู่อากาศ (fruit to air vapor pressure deficit, $VPD_{fruit\text{-}air}$)

ค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ เป็นแรงขับเคลื่อนของอัตราคายน้ำของผล ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ เฉลี่ยในรอบวันสูงกว่าผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ภาพที่ 4d) ในวันที่ไม่มีฝนตกพบว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.2 -3.0 kPa ซึ่งสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.8-2.8 kPa แต่ถ้าในวันที่มีฝนตก (สัปดาห์ที่ 6, 9 และ 11) จะทำให้อุณหภูมิผลและค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ ต่ำลง โดยผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.7-2.4 kPa และผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.0-1.8 kPa (ตารางที่ 4) ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะได้รับความเข้มแสงสูงจะทำให้อุณหภูมิผลและค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ มีค่าสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มที่ได้รับความเข้มแสงต่ำ

1.2.4 อัตราคายน้ำ (transpiration rate, E)

เมื่อค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ ของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีระดับสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม อัตราคายน้ำเฉลี่ยในรอบวันของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจึงมีระดับสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ภาพที่ 5a และ 5b) เนื่องจากผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะเผชิญกับสภาพอากาศที่แห้งกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม โดยผลที่อยู่นอกทรงพุ่มจะได้รับความเข้มแสงสูงและอยู่ในสภาพที่มีค่า VPD_{air} สูง ส่งผลให้ค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนในการคายน้ำของผลมีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คายน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Leonardi *et al.* (2000) ซึ่งพบว่าผลมะเขือเทศมีอัตราการคายน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามค่า VPD_{air} ภายในรอบวัน โดยผลมะเขือเทศที่ปลูกภายในโรงเรือนที่มีค่า VPD_{air} สูง (ค่า VPD_{air} ในรอบวันเฉลี่ยเท่ากับ 2.2 kPa) จะมีอัตราคายน้ำสูงเป็น 2 เท่าของผลมะเขือเทศที่ปลูกภายในโรงเรือนที่มีค่า VPD_{air} ต่ำ (ค่า VPD_{air} ในรอบวันเฉลี่ยเท่ากับ 1.6 kPa) โดยเฉพาะในช่วงเวลา 10 ถึง 14 นาฬิกาซึ่งจะเป็นช่วงที่อัตราคายน้ำของผลมะเขือเทศที่ปลูกภายในโรงเรือนทั้ง 2 สภาพมีค่าสูงสุดในรอบวัน อีกทั้งยังพบว่าอัตราคายน้ำของผลมะเขือเทศมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่า VPD_{air} ภายในโรงเรือน และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผลสู่อากาศ (g_t) ของผลมังคุดพบว่า ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่านำไหลรวมสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ตารางที่ 4 และภาพที่ 5e) ส่งผลให้ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีอัตราคายน้ำสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอัตราคายน้ำของผลมังคุดทั้ง 2 ทรีทเมนต์ในระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโตพบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกัน (ภาพที่ 5a) กล่าวคือเมื่ออายุผลเพิ่มขึ้น ผลมังคุดจะมีอัตราคายน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ลดลง ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ถึง 5 หลังจากติดผลจะเป็นช่วงที่ผลมังคุดมีอัตราคายน้ำสูง โดยอัตราคายน้ำเฉลี่ยของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่าอยู่ในช่วง 1.31-1.62 $mmolH_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ ซึ่งสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.13-1.30 $mmolH_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 5 ผลมังคุดมีอัตราคายน้ำลดลงจนกระทั่งผลมังคุดมีอายุ 10 สัปดาห์ไปจนถึงในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (สัปดาห์ที่ 13) ซึ่งเป็นช่วงที่ผลมังคุดมีอัตราคายน้ำต่ำ โดยอัตราคายน้ำเฉลี่ยของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มอยู่ในช่วง 0.23-0.38 $mmolH_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ และผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.21-0.37 $mmolH_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ และเมื่อพิจารณาอัตราคายน้ำรวมต่อผลพบว่า ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีอัตราคายน้ำรวมต่อผลสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มตลอดทุกช่วงอายุผล โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 2 – 9 หลังจากติดผลเป็นช่วงที่มีอัตราคายน้ำรวมต่อผลสูง แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 10 ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (สัปดาห์ที่ 13) เป็นช่วงที่ผลมังคุดมีอัตราคายน้ำรวมต่อผลต่ำ (ภาพที่ 5b)

1.2.5 อัตราหายใจ (respiration rate, R)

อัตราหายใจแสดงถึงดุลของการใช้คาร์บอนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของผล (Tazuke and Sakiyatna, 1991) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราหายใจของผลมังคุดทั้ง 2 ทรีทเมนต์เป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยเมื่อคิดเป็นอัตราหายใจต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวผล พบว่ามี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าลดลงเมื่ออายุผลเพิ่มขึ้น โดยมีค่าลดลงจาก 22-26 µmolCO_2 m^{-2} s^{-1} ในระยะผลอ่อน (2 สัปดาห์หลังติดผล) เหลือเพียง 5 µmolCO_2 m^{-2} s^{-1} ในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (13 สัปดาห์หลังติดผล) (ภาพที่ 5c) แต่เมื่อพิจารณาเป็นอัตราหายใจรวมต่อผล พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุผลที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วง 140-150 µmolCO_2 $fruit^{-1}$ h^{-1} ในระยะผลอ่อนเป็นอยู่ในช่วง 200-210 µmolCO_2 $fruit^{-1}$ h^{-1} ในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (ภาพที่ 5d) สอดคล้องกับการทดลองของ Blanke (1992) ซึ่งพบว่าอัตราหายใจของผลอะโวกาโดมีค่าลดลงตามพัฒนาการของผลเมื่อคิดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยในระยะผลอ่อนมีอัตราหายใจ 13 µmolCO_2 m^{-2} s^{-1} และลดลงเหลือ 2 µmolCO_2 m^{-2} s^{-1} ในระยะผลแก่ แต่เมื่อคิดเป็นอัตราหายใจรวมต่อผลพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยในระยะผลอ่อนมีอัตราหายใจ 1 µmolCO_2 $fruit^{-1}$ h^{-1} และเพิ่มขึ้นเป็น 4 µmolCO_2 $fruit^{-1}$ h^{-1} ในระยะผลแก่

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราหายใจรวมกับการเจริญเติบโตของผลมังคุด พบว่าอัตราหายใจมีค่าเพิ่มขึ้นตามการขยายขนาดของผลที่สูงขึ้น ในช่วงที่ผลมังคุดมีการขยายขนาดมาก เช่นในช่วงอายุผล 9 สัปดาห์ (ภาพที่ 4a และ 4b) อัตราหายใจจะมีค่าสูงมาก แต่ช่วงที่ผลมังคุดมีการขยายขนาดของผลน้อย เช่น ช่วงก่อนระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (สัปดาห์ที่ 11) อัตราหายใจจะมีค่าลดลงหรือค่อนข้างคงที่ โดยในระยะผลอ่อนที่ผลมังคุดเป็นสีเขียว ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ และปากใบทำหน้าที่ได้เป็นอย่างดี จะเป็นช่วงที่มีการสังเคราะห์แสงของผลเกิดขึ้น อัตราหายใจจะมีค่าต่ำกว่าในระยะที่ผลมังคุดเจริญเติบโตเต็มที่หรือใกล้เก็บเกี่ยว เนื่องจากมีการดูดคาร์บอนบางส่วนเข้าไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เนื้อเยื่อผิวผลนอกเหนือจากการคายคาร์บอนออกสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางปากใบเพียงอย่างเดียว (Huang *et al.*, 1992) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Grange และ Andrews (1995) ซึ่งพบว่าอัตราหายใจของผลมะเขือเทศมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการเจริญเติบโตของผล โดยในช่วงที่ผมมะเขือเทศมีการขยายขนาดมาก อัตราการเจริญเติบโตสูง จะเป็นช่วงที่มีอัตราหายใจสูง

1.2.6 ค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผลสู่อากาศ (total fruit surface conductance to water vapor diffusion, g_t)

ค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผลสู่อากาศ (g_t) เป็นค่านำไหลของเส้นทางการไหลของน้ำจากผิวผลสู่อากาศ มีค่าเปลี่ยนแปลงในรอบวันได้ตามสภาพอากาศที่ผลสัมผัส ค่า g_t เกี่ยวข้องโดยตรงกับระดับการเปิดของปากใบหรือค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance) โดยค่า g_t ที่สูงแสดงว่าขณะนั้นมีค่านำไหลปากใบมาก ปากใบเปิดกว้างมาก แก๊สแพร่ผ่านปากใบได้เร็ว แต่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถ้าค่า g_t ลดต่ำลง แสดงว่าขณะนั้นมีค่านำไหลปากใบน้อย ปากใบปิดแคบ อัตราคายน้ำจะมีค่าลดต่ำลงได้ แม้มีแสงแดดมากและแรงขับเคลื่อนการคายน้ำสูง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า g_t ของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล (ภาพที่ 5e) พบว่าในช่วงแรกของพัฒนาการของผล (สัปดาห์ที่ 2 ถึง 6 หลังจากติดผล) ค่า g_t มีค่าสูง โดยผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ยในช่วง 49-61 mmolH_2O m^{-2} s^{-1} และผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ยในช่วง 42-61 mmolH_2O m^{-2} s^{-1} หลังจากอายุผล 6 สัปดาห์ ค่า g_t จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (สัปดาห์ที่ 13) โดยผลมังคุดที่อายุ 13 สัปดาห์จะมีค่า g_t ต่ำที่สุด โดยค่า g_t เฉลี่ยต่ำสุดของผลทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่มลดลงเหลือ 10 mmolH_2O m^{-2} s^{-1} ค่า g_t ของผลมังคุดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะต่าง ๆ ของพัฒนาการของผลเช่นเดียวกับที่พบในผลแอปเปิล (Jones and Higgs, 1982) และ sweet cherry (Knoche *et al.*, 2001) ซึ่งจะมีค่า g_t ลดลงเมื่อผลมีการเจริญเติบโตมากขึ้น แต่ในช่วงที่ผลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น ช่วงที่ผลมีการขยายขนาด จะเป็นช่วงที่ค่า g_t มีค่าสูงขึ้น (Gibert *et al.*, 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยสภาพอากาศที่สัมผัสผิวผล และอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในรอบวันของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผลที่วัดติดตามการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน (ตั้งแต่เวลา 8-18 นาฬิกา) เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

Parameter	อายุผล (สัปดาห์)											
	2		3		4		5		6$^{\#}$		7	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
PPF, µmol m^{-2} s^{-1}	398.3	5.3	308.9	5.7	326.7	10.1	207.1	9.9	181.5	8.5	222.0	10.5
T_{fruit}, ^{o}C	32.4	31.1	32.3	31.1	33.9	32.4	33.4	32.5	31.5	30.3	32.3	31.0
T_{air}, ^{o}C	34.0	32.5	33.9	32.4	34.2	33.4	34.0	33.6	31.4	31.2	32.7	32.0
RH, %	36.7	36.2	40.2	41.8	43.0	42.5	50.4	48.5	61.0	60.3	54.0	56.4
$VPD_{fruit-air}$, kPa	3.0	2.8	2.8	2.5	3.0	2.7	2.5	2.4	1.9	1.6	2.2	1.8
VPD_{air}, kPa	3.4	3.1	3.2	2.8	3.1	2.9	2.7	2.4	1.9	1.6	2.3	2.1
E, mmolH_2O m^{-2} s^{-1}	1.31	1.13**	1.62	1.22**	1.53	1.30**	1.48	1.21**	0.98	0.82**	0.92	0.75**
E, gH_2O $fruit^{-1}$ hr^{-1}	0.14	0.12^{ns}	0.22	0.15^{ns}	0.26	0.21**	0.33	0.26**	0.28	0.22^{ns}	0.27	0.25^{ns}
R, µmolCO_2 m^{-2} s^{-1}	25.52	22.29^{ns}	22.28	18.81^{ns}	17.84	15.03^{ns}	14.77	12.94^{ns}	12.87	10.92^{ns}	11.86	9.73^{ns}
R, µmolCO_2 $fruit^{-1}$ h^{-1}	148.70	138.04^{ns}	176.91	152.77^{ns}	188.96	166.56^{ns}	195.34	181.29^{ns}	208.02	182.05^{ns}	216.85	185.85^{ns}
g_t, mmolH_2O m^{-2} s^{-1}	49.23	41.68**	57.81	48.37**	50.78	48.43^{ns}	58.72	51.12**	60.70	61.40^{ns}	41.78	41.16^{ns}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Parameter	อายุผล (สัปดาห์)											
	8		9$^{\#}$		10		11$^{\#}$		12		13	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
PPF, µmol m^{-2} s^{-1}	381.9	17.5	256.3	7.6	161.5	10.1	264.7	13.5	304.7	10.7	133.8	18.6
T_{fruit}, ^{o}C	34.6	32.8	34.6	32.1	32.0	31.4	31.1	28.5	34.7	33.6	31.8	30.8
T_{air}, ^{o}C	35.6	33.9	34.7	33.1	31.7	31.2	30.4	29.4	34.4	33.3	31.8	31.0
RH, %	45.0	49.3	56.4	58.7	51.4	53.3	68.1	70.4	49.4	51.4	44.8	46.2
VPD_{fruit}, kPa	2.9	2.4	2.4	1.8	2.4	2.2	1.7	1.0	2.9	2.6	2.6	2.4
VPD_{air} , kPa	3.3	2.7	2.4	2.1	2.3	2.1	1.8	1.2	2.8	2.4	2.7	2.4
E, mmolH_2O m^{-2} s^{-1}	0.75	0.68^{ns}	0.71	0.5**	0.38	0.31**	0.36	0.37^{ns}	0.37	0.29**	0.23	0.21^{ns}
E, gH_2O $fruit^{-1}$ hr^{-1}	0.29	0.28^{ns}	0.34	0.26**	0.21	0.18**	0.21	0.20^{ns}	0.21	0.17^{ns}	0.15	0.14^{ns}
R, µmolCO_2 m^{-2} s^{-1}	10.61	9.45^{ns}	11.35	10.10^{ns}	7.47	7.08^{ns}	6.03	6.07^{ns}	5.61	5.50^{ns}	5.43	5.22^{ns}
R, µmolCO_2 $fruit^{-1}$ h^{-1}	203.69	191.25^{ns}	269.26	257.72^{ns}	218.92	235.52^{ns}	208.63	221.72^{ns}	196.27	203.10^{ns}	194.13	200.08^{ns}
g_t, mmolH_2O m^{-2} s^{-1}	25.03	28.21^{ns}	30.21	32.69^{ns}	15.95	13.96^{ns}	17.60	17.23^{ns}	13.16	11.53^{ns}	9.73	10.07^{ns}

** ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี t-test

ns ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี t-test

ในช่วงที่ทำการวัดมีฝนตกเกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยความกว้าง รัศมีและพื้นที่ผิวทั้งหมดของผลมังคุดที่วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในรอบวันในแต่ละช่วงอายุผล เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

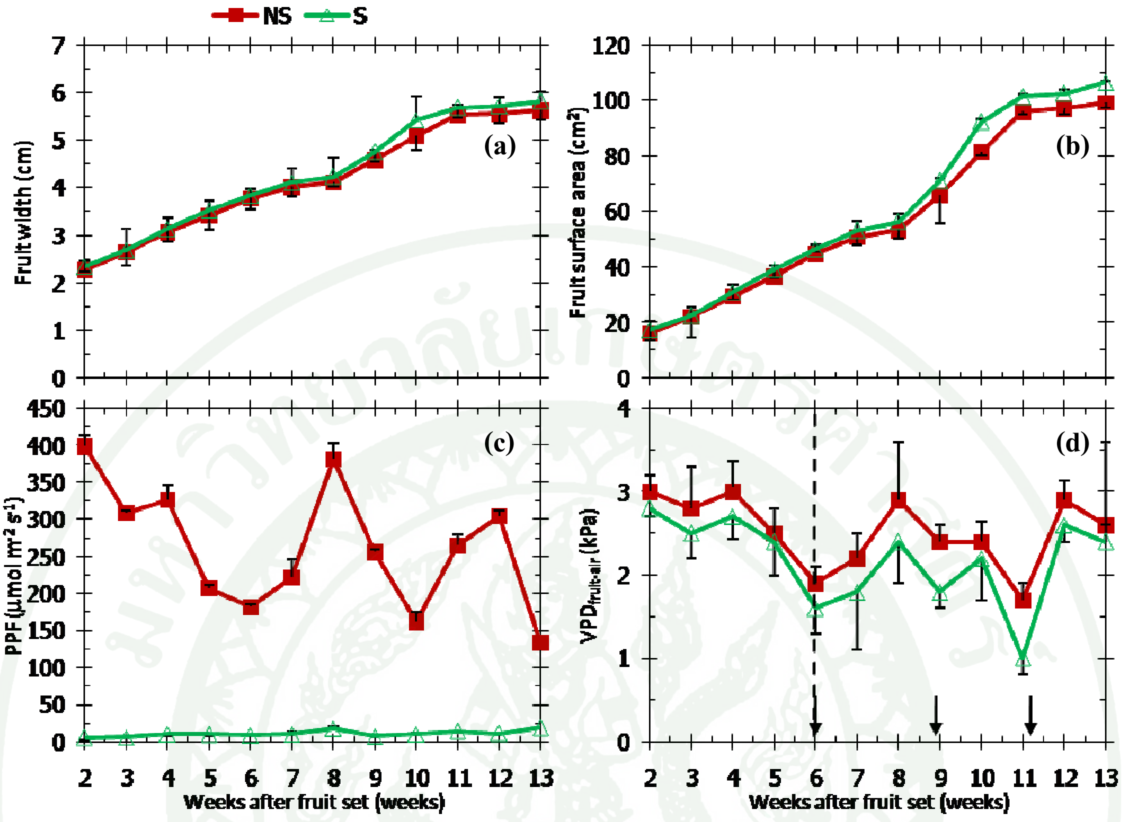
Parameter	อายุผล (สัปดาห์)											
	2		3		4		5		6		7	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
ความกว้างผล, cm	2.27	2.34^{ns}	2.65	2.68^{ns}	3.06	3.13^{ns}	3.42	3.52^{ns}	3.78	3.84^{ns}	4.02	4.11^{ns}
รัศมีของผล, cm	1.14	1.17^{ns}	1.33	1.34^{ns}	1.53	1.57^{ns}	1.71	1.76^{ns}	1.89	1.92^{ns}	2.01	2.01^{ns}
พื้นที่ผิวผลทั้งหมด, cm^2	16.19	17.20^{ns}	22.06	22.56^{ns}	29.42	30.78^{ns}	36.75	38.93^{ns}	44.89	46.32^{ns}	50.77	53.07^{ns}

Parameter	8		9		10		11		12		13	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
ความกว้างผล, cm	4.12	4.23^{ns}	4.58	4.75^{ns}	5.09	5.42^{ns}	5.53	5.68^{ns}	5.56	5.71^{ns}	5.62	5.82^{ns}
รัศมีของผล, cm	2.06	2.12^{ns}	2.29	2.38^{ns}	2.55	2.71^{ns}	2.77	2.84^{ns}	2.78	2.86^{ns}	2.81	2.91^{ns}
พื้นที่ผิวผลทั้งหมด, cm^2	53.33	56.21^{ns}	65.90	70.88^{ns}	81.39	92.29^{ns}	96.07	101.36^{ns}	97.12	102.43^{ns}	99.23	106.42^{ns}

** ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี t-test

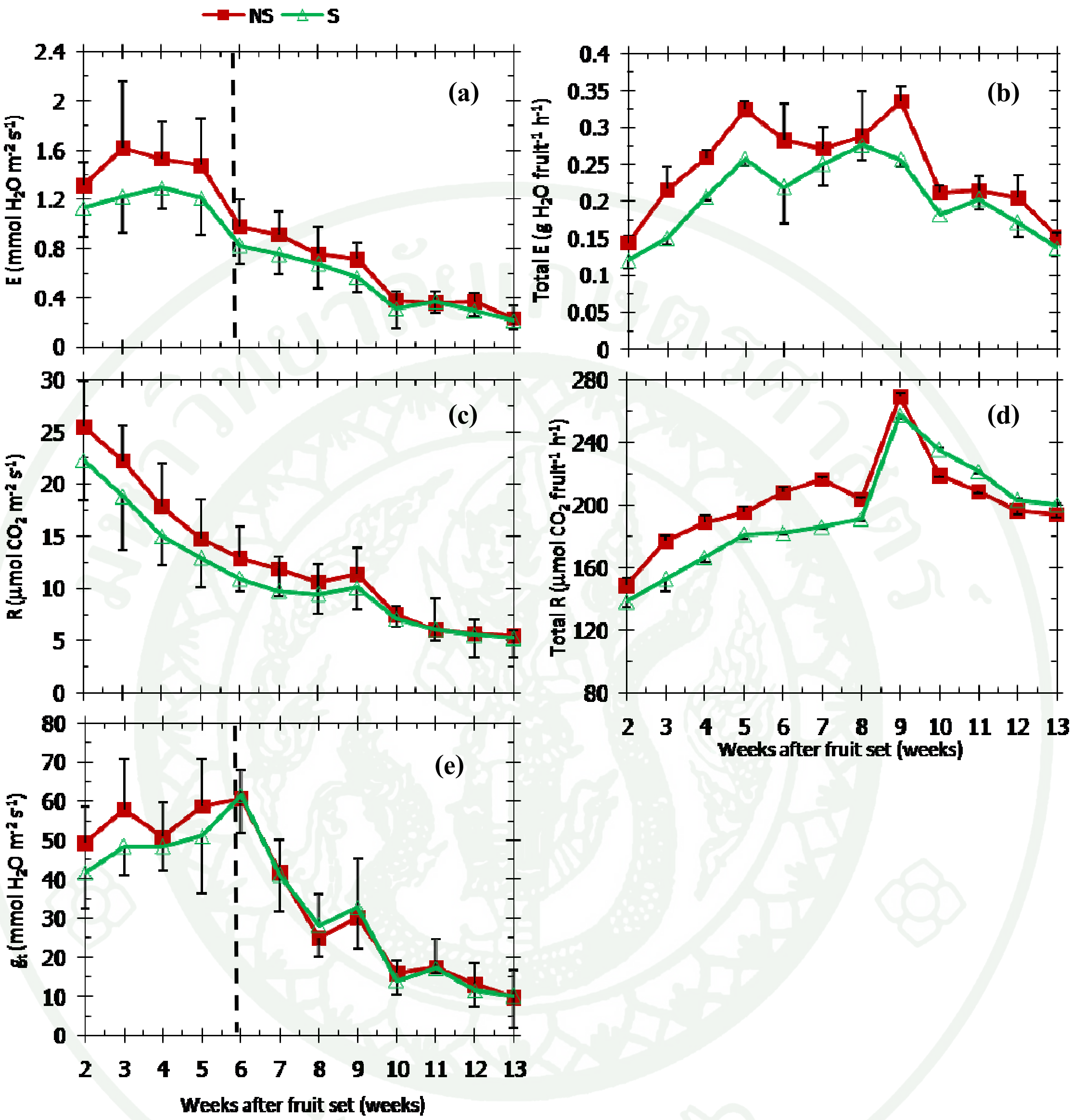
ns ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี t-test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยขนาดของผลมังคุดและสภาพอากาศที่สัมผัสผิวผลในแต่ละช่วงอายุผลที่วัดติดตามการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน a) ความกว้างผล b) พื้นที่ผิวผล c) ความเข้มแสง และ d) แรงดึงคายน้ำ เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน จาก 3 ซ้ำ (ลูกศรในภาพแสดงว่าช่วงที่ทำการวัดมีฝนตกเกิดขึ้น)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในรอบวันของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผลที่วัดติดตามการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน a) อัตราคายน้ำ b) อัตราคายน้ำรวม c) อัตราหายใจ d) อัตราหายใจรวม และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน จาก 3 ซ้ำ

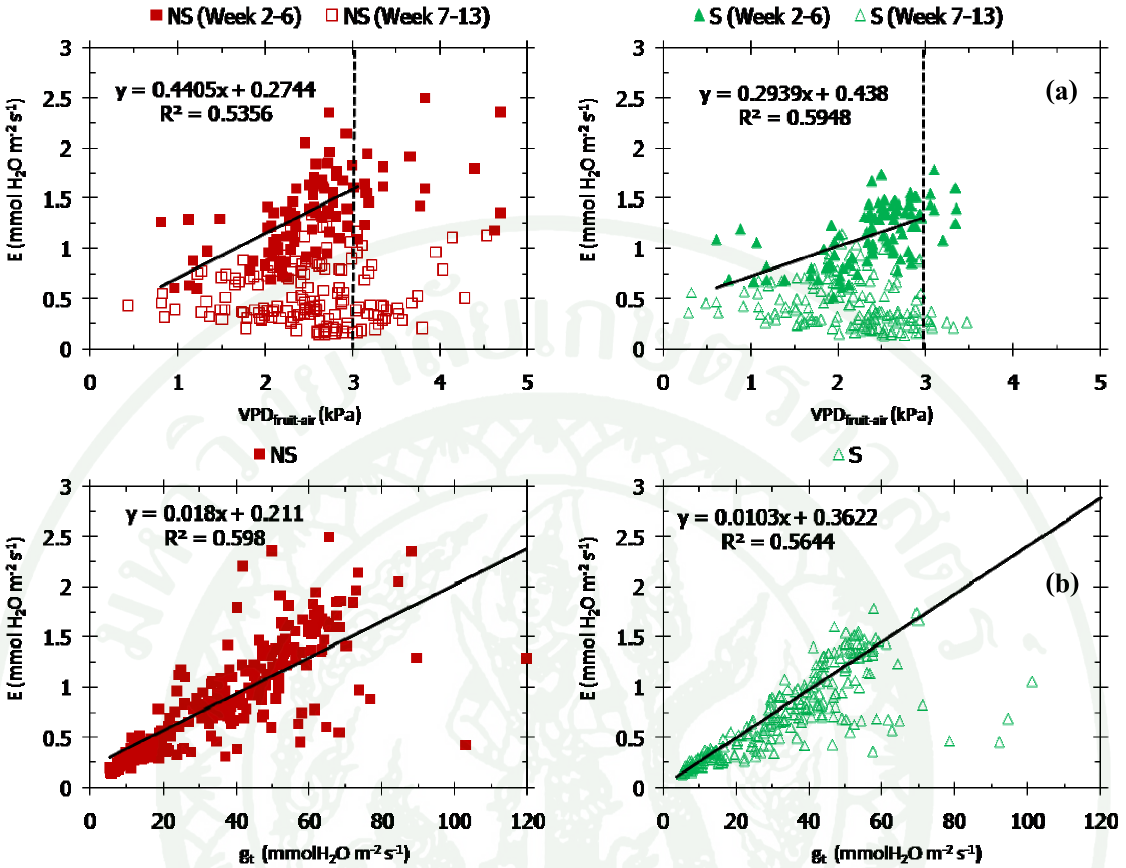
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราคายน้ำกับปัจจัยควบคุม

ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ศึกษา อัตราการคายน้ำของผลมังคุดถูกควบคุมด้วยปัจจัย 2 ปัจจัยคือ ค่า $VPD_{fruit-air}$ และค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผิวผลสู่อากาศ (g_t) โดยแบ่งตามการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระยะพัฒนาการของผลออกเป็น 2 ช่วงคือ ในช่วงอายุผล 2-6 สัปดาห์เป็นช่วงที่อัตราคายน้ำถูกควบคุมด้วยค่า $VPD_{fruit-air}$ (ภาพที่ 4d และ 5a) โดยอัตราคายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า $VPD_{fruit-air}$ ที่สูงขึ้น จนถึงค่าที่ 3 kPa โดยในช่วงค่า $VPD_{fruit-air}$ ไม่เกิน 3 kPa พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง แต่หลังจากค่า $VPD_{fruit-air}$ มีค่าเกิน 3 kPa พบว่าอัตราคายน้ำไม่แปรผันตามค่า $VPD_{fruit-air}$ ที่สูงขึ้น (ภาพที่ 6a) แสดงว่าถ้าค่า $VPD_{fruit-air}$ มีค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน 3 kPa ปากใบที่ผิวผลยังเปิดได้มาก ค่า $VPD_{fruit-air}$ เป็นตัวกำหนดอัตราคายน้ำ แต่หากมีค่า $VPD_{fruit-air}$ เกิน 3 kPa จะมีปัจจัยอื่นมาเป็นตัวกำหนดอัตราคายน้ำ เช่นค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance) ที่บริเวณผิวผล ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อค่า g_t (Lescourret *et al.*, 2001) โดยค่า $VPD_{fruit-air}$ ที่สูงเกิน 3 kPa จะชักนำให้ปากใบปิดแคบลงเพื่อลดอัตราคายน้ำ ทำให้ค่านำไหลปากใบลดลงและส่งผลให้ค่า g_t ลดลงด้วย (ภาพที่ 7c) ซึ่งขณะนั้นค่า g_t เป็นตัวกำหนดการคายน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของคัทลียา (2547) ที่พบว่าอัตราคายน้ำของใบมะละกอพันธุ์แขกนวลต้นตัวเมียและต้นสมบูรณ์เพศมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดึงคายน้ำจากใบสู่อากาศ ($VPD_{leaf-air}$) ที่สูงขึ้น จนถึงค่าที่ 2.5 kPa หลังจากนั้นอัตราคายน้ำกลับลดลงเมื่อค่า $VPD_{leaf-air}$ เพิ่มขึ้น โดยในช่วงที่ $VPD_{leaf-air}$ ไม่เกิน 2.5 kPa ปากใบของมะละกอยังเปิดได้มาก ค่า $VPD_{leaf-air}$ เป็นตัวกำหนดอัตราคายน้ำ แต่หากมีค่า $VPD_{leaf-air}$ สูงเกิน 2.5 kPa ปากใบของมะละกอจะถูกชักนำให้ปิดแคบลง เพื่อลดการคายน้ำ

เมื่อเข้าสู่ช่วงอายุผล 7 สัปดาห์จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (สัปดาห์ที่ 13) พบว่าอัตราคายน้ำไม่ผันแปรตามค่า $VPD_{fruit-air}$ ที่สูงขึ้น ถึงแม้ว่าบางช่วงที่ทำการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดจะมีค่า $VPD_{fruit-air}$ เฉลี่ยในรอบวันสูงกว่าในช่วงอายุผล 2-7 สัปดาห์ แต่อัตราคายน้ำกลับมีค่าลดลง (ภาพที่ 4d และ 5a) เนื่องจากในระยะนี้ค่า g_t เป็นตัวกำหนดอัตราคายน้ำที่สำคัญ โดยอัตราคายน้ำมีค่าลดลงตามค่า g_t ที่ต่ำลง (ภาพที่ 5e) โดยเมื่อพิจารณาอัตราคายน้ำกับค่า g_t พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวก (ภาพที่ 6b)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราคายน้ำกับปัจจัยควบคุมคือ a) ค่าแรงดึงคายน้ำ และ b) ค่านำไหลรวม กราฟในแถวซ้ายมือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม (NS) กราฟในแถวขวามือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (S)

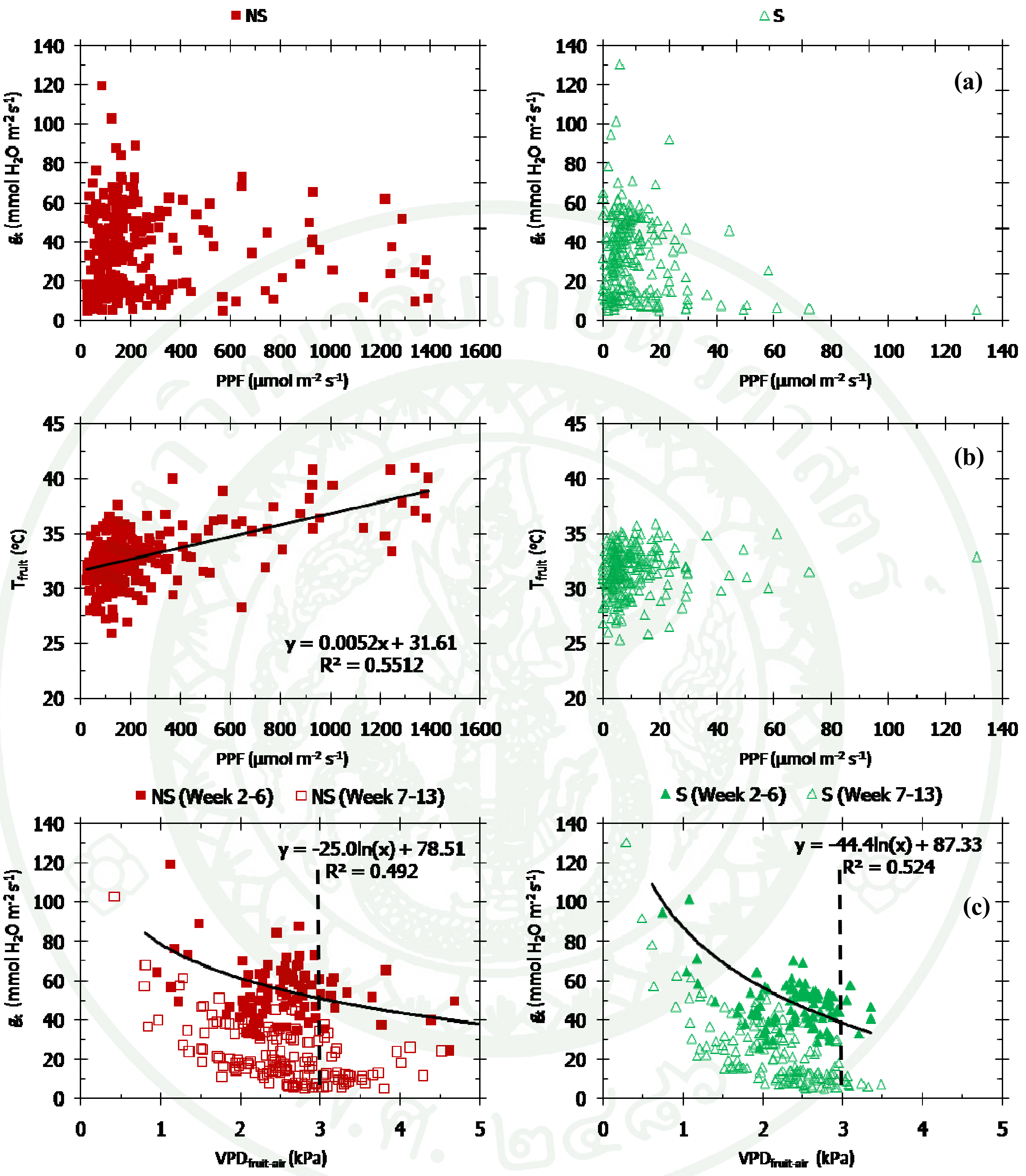
1.2.8 ปัจจัยที่กระทบกับค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผลสู่อากาศ

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่กระทบกับค่า g_t โดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อค่า g_t ของผลมังคุดในรอบวันมี 2 ปัจจัยได้แก่ ความเข้มแสงและค่า $VPD_{fruit-air}$ พบว่าความเข้มแสงไม่มีความสัมพันธ์กับค่า g_t โดยตรง แต่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า g_t โดยอ้อม (ภาพที่ 7a) โดยเฉพาะผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มที่มีโอกาสได้รับความเข้มแสงสูงจากแสงแดดภายนอก ซึ่งระดับความเข้มแสงสูงมากทำให้อุณหภูมิที่ผิวผล (T_{fruit}) มีค่าสูงขึ้น (ภาพที่ 7b) ส่งผลให้ค่า $VPD_{fruit-air}$ เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า g_t ลดลง เนื่องจากปากใบปิดแคบลง สำหรับผลที่อยู่ในทรงพุ่มนั้น ความเข้มแสงไม่ได้เป็นปัจจัยควบคุมค่า g_t ของผลมากนัก เนื่องจากได้รับความเข้มแสงต่ำตลอดทั้งวัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในช่วงแรกของพัฒนาการของผลตั้งแต่อายุ 2-6 สัปดาห์ พบว่าปัจจัยที่ควบคุมค่า g_t ที่สำคัญของทั้ง 2 ทรีทเมนต์คือ ค่า $VPD_{fruit-air}$ โดยค่า g_t มีค่าลดลงตามค่า $VPD_{fruit-air}$ ที่สูงขึ้น (ภาพที่ 7c) โดยเฉพาะในช่วงที่ค่า $VPD_{fruit-air}$ มีค่าสูงเกิน 3 kPa จะทำให้ค่า g_t ลดลงมาก เนื่องจากปากใบปิดแคบลงเพื่อลดอัตราคายน้ำ ทำให้ค่านำไหลปากใบลดลงและส่งผลให้ค่า g_t ลดลงด้วย แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงอายุผล 7 สัปดาห์ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ค่า g_t ของผลมังคุดไม่แปรผันตามค่า $VPD_{fruit-air}$ โดยค่า g_t ที่วัดได้มีค่าต่ำตลอดช่วง อาจเนื่องจากปากใบที่ผิวผลเกิดการเสียสภาพหรือไม่ทำหน้าที่ ส่งผลให้ค่านำไหลปากใบ (g_s) ที่บริเวณผิวผลลดลง ซึ่ง g_s เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อค่า g_t ทำให้มีค่าลดลงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่า g_t ของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกและภายในทรงพุ่ม พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากค่า $VPD_{fruit-air}$ เป็นปัจจัยควบคุมค่า g_t ที่สำคัญมากกว่าความเข้มแสงที่ผลได้รับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 a) ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลรวมกับความเข้มแสง b) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของผิวผลกับความเข้มแสง และ c) ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลรวมกับค่าแรงดึงคายน้ำกราฟในแถวซ้ายมือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม (NS) กราฟในแถวขวามือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (S)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการเปลี่ยนแปลงของอัตราคายน้ำและค่า g_t ของผลมังคุดที่พบว่าในช่วงก่อนครบกำหนดเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด ซึ่งเป็นระยะที่พบอาการเนื้อแก้วและยางไหลของผลมังคุดได้มาก (ศิริวรรณ, 2543; สุนทรีและพรรณี, 2550) โดยในระยะก่อนครบกำหนดเก็บเกี่ยวเป็นช่วงที่ผลมังคุดมีอัตราคายน้ำและค่า g_t ต่ำมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราไหลออกของน้ำผ่านทางผิวผลมีค่าลดลง หากมีฝนตกชุกในช่วงก่อนครบกำหนดเก็บเกี่ยวนี้ จะทำให้อัตราการไหลออกของน้ำจากการการคายน้ำของผลลดลง ซึ่งทำให้น้ำสะสมอยู่มากภายในผล ซึ่งน่าจะส่งผลให้เซลล์เนื้อมังคุดและเซลล์น้ำยางแตก เกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลขึ้น อีกทั้งในช่วงที่ผลมังคุดมีอัตราคายน้ำลดลง จะทำให้มีแรงขับเคลื่อนในการขนส่งสารต่างๆ เข้าสู่ผลได้น้อยลง โดยเฉพาะแคลเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชที่สำคัญ และจะมีการเคลื่อนที่มาพร้อมกับเส้นทางการไหลของน้ำตามการคายน้ำ (White and Broardley, 2003) อาจทำให้ภายในผลมังคุดในช่วงนี้ได้รับแคลเซียมลดลงหรือเกิดการขาดแคลเซียมชั่วขณะ ส่งผลให้ความแข็งแรงของผนังเซลล์เนื้อมังคุดและเซลล์น้ำยางลดลง เมื่อมีการไหลของน้ำเข้าสู่เซลล์มาก จึงทำให้เซลล์แตกได้ง่าย ส่งผลให้เกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลเกิดขึ้น

แม้อัตราคายน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวผลมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างผลมังคุดทั้ง 2 ทรีทเมนต์ แต่ปริมาณน้ำที่คายออกมาจากทั้งผลของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีปริมาณที่สูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม เนื่องจากสภาพอากาศบริเวณผิวผลของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีความแห้งมากกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม โดยมีความเข้มแสงและค่า VPD_{air} สูง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะเป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญทำให้การคายน้ำที่ผิวผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มเกิดขึ้นได้ดีกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม หากผลมังคุดได้รับน้ำเข้าไปมากในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีอัตราการไหลออกของน้ำจากการคายน้ำได้มากกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ทำให้น้ำเคลื่อนที่อยู่ภายในผลน้อยลง นอกจากนี้ความเข้มแสงที่ผลได้รับยังส่งผลต่อการสะสมแคลเซียมภายในผลของพืชหลายชนิด เช่น กีวีฟรุต (Montarano *et al.*, 2006) และแอปเปิล (Saure, 1996) ซึ่งพบว่าผลที่ได้รับความเข้มแสงสูง จะมีการสะสมแคลเซียมภายในผลได้มากกว่าผลที่ได้รับความเข้มแสงต่ำ ด้วยเหตุนี้อาจทำให้ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มที่ได้รับความเข้มแสงมากและมีอัตราคายน้ำมากกว่า และอาจมีการสะสมแคลเซียมภายในผลได้สูงกว่าผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรง เกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลน้อยกว่า

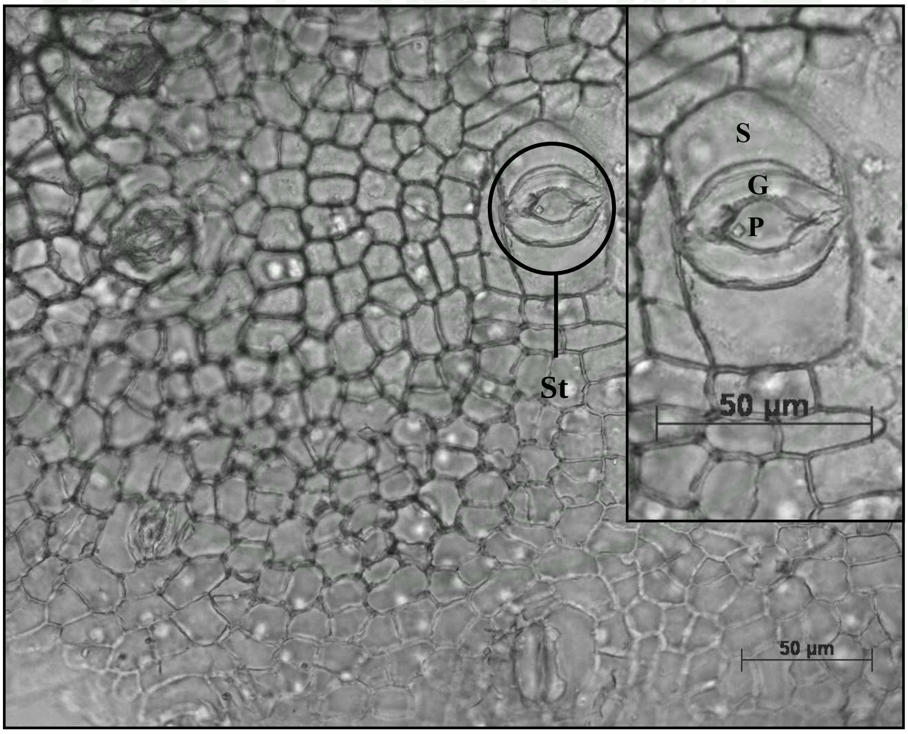
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ลักษณะพื้นผิวของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล

การศึกษาลักษณะผิวผลของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล จะสุ่มเก็บตัวอย่างผลมังคุดในช่วงระยะเวลา 10-12 นาฬิกาของวันที่วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สทั้ง 12 ครั้งในระหว่างช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 นำมาศึกษาทางด้านกายวิภาคของผิวผลมังคุดโดยเฉพาะส่วนของปากใบในแต่ละระยะการเจริญเติบโต เพื่อแสดงให้เห็นถึงเส้นทางการไหลออกของน้ำและผลที่มีต่อค่านำไหลปากใบในแต่ละช่วงอายุผล

2.1 ลักษณะปากใบ

ลักษณะปากใบของผิวผลมังคุดแสดงในภาพที่ 8 พบว่ามีปากใบเป็นแบบพาราไซติก (paracytic stomata) โดยเป็นปากใบที่มีเซลล์เสริม (subsidiary cell) จำนวน 1 เซลล์ขึ้นไปอยู่ขนานกันกับเซลล์คุม (guard cell) (เทียมใจ, 2546)



ภาพที่ 8 ลักษณะปากใบที่ผิวผลมังคุดแบบพาราไซติก (paracytic stomata) เมื่อ G = เซลล์คุม (guard cell), P = รูปากใบ (stomatal pore), S = เซลล์เสริม (subsidiary cell), St = ปากใบ (stomata)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะส่งผลถึงค่านำไหลปากใบ (stomtal conductance, g_s) ที่ผิวผล ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหายใจและการคายน้ำของผล (Noble, 2005) จำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตรที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงอายุผลต่างๆ แสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 9b พบว่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตรของผิวผลมังคุดทั้ง 2 ทรีทเมนต์เป็นไปในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่ออายุผลเพิ่มมากขึ้น จำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตรมีค่าลดลงในระยะผลอ่อน (สัปดาห์ที่ 2) มีจำนวนปากใบ 136-144 ปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร และมีค่าลดลงต่ำสุดในระยะเก็บเกี่ยว (สัปดาห์ที่ 13) มีจำนวนปากใบ 28-30 ปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร (ตารางที่ 6) โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 11 หลังติดผลไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือดจะเป็นช่วงที่ผิวผลมังคุดมีจำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตรต่ำมาก (ภาพที่ 10 และ 15b) ซึ่งจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะต่างๆของพัฒนาการของผลและสิ่งแวดล้อมที่ผลสัมผัส เช่นเดียวกับที่พบในส้มพันธุ์ Valencia (Morshet and Green, 1980) แอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious (Blanke and Bonn, 1985) และแตงโม (จิรเวฐน์และคณะ, 2544)

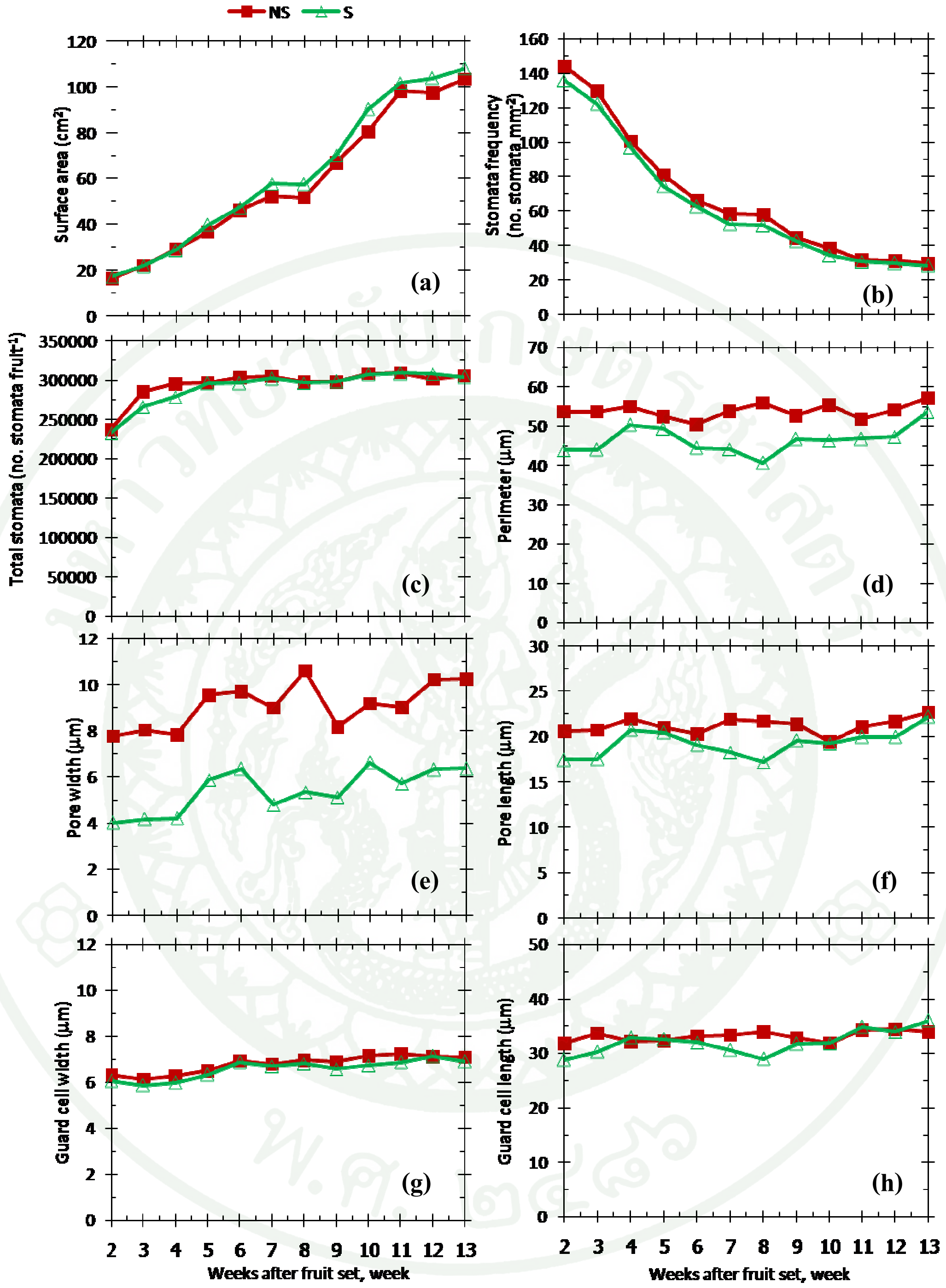
ผลคูณของพื้นที่ผิวผลกับจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะให้ค่าจำนวนปากใบรวมของทั้งผล ซึ่งพบว่าจำนวนปากใบทั้งหมดต่อผลของทั้ง 2 ทรีทเมนต์ มีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกระยะของพัฒนาการของผล โดยเฉพาะตั้งแต่ช่วงอายุผล 5 สัปดาห์ไปจนถึงในระยะเก็บเกี่ยว มีจำนวนปากใบทั้งหมดอยู่ในช่วง 3×10^6-3.1×10^6 ปากใบต่อผล แต่ในช่วงแรกของพัฒนาการของผลซึ่งเป็นระยะผลอ่อน (สัปดาห์ที่ 2-4) จะเป็นช่วงที่จำนวนปากใบทั้งหมดต่อผลมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุผลและต่ำกว่าค่าสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.4×10^6-2.9×10^6 ปากใบต่อผล (ตารางที่ 6) ทั้งนี้อาจเนื่องจากในช่วงระยะเวลาดังกล่าวอาจเป็นช่วงที่เซลล์เนื้อเยื่อผิว (epidermal cell) กำลังมีการ เปลี่ยนแปลงไปเป็นปากใบใหม่ในระหว่างการเจริญเติบโตของผล (Blanke and Bower, 1990) ซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการนับจำนวนปากใบ เนื่องจากปากใบที่ทำการนับจะต้องสังเกตเห็นเซลล์คุม (guard cell) และเซลล์เสริม (subsidiary cell) ชัดเจน แต่ถ้าช่วงระยะเวลาดังกล่าวเซลล์เนื้อเยื่อผิวที่กำลังพัฒนาไปเป็นปากใบมีเซลล์คุมและเซลล์เสริมไม่ชัดเจน ก็จะไม่นับว่าเป็นปากใบ ซึ่งอาจส่งผลให้จำนวนปากใบทั้งหมดต่อผลที่ได้ในระยะแรกของพัฒนาการของผลมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ควรจะเป็น ซึ่งจำนวนปากใบทั้งหมดของผลมังคุดนั้นอาจสร้างมาคงที่ตลอดระยะของพัฒนาการของผล ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Blanke (1992) ที่พบว่าจำนวนปากใบทั้งหมดของผลอะโวกาโด (*Persea americana* Mill.) มีค่าคงที่อยู่ในช่วง 2×10^4-3×10^4 ปากใบต่อผลในทุกระยะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของพัฒนาการของผล แต่เมื่อผลมังคุดมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ทำให้มีการขยายขนาดของพื้นที่ผิวผลมากขึ้น จึงส่งผลให้จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่าลดลง (ภาพที่ 10)โดยในช่วงผลอ่อน ที่มีพื้นที่ผิวน้อย จะมีจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง แต่ในช่วงที่ผลมีการเจริญเติบโตเต็มที่ เช่น ช่วงที่ผลมีการขยายขนาดมาก มีพื้นที่ผิวทั้งหมดมาก จะเป็นช่วงที่จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ลดลง

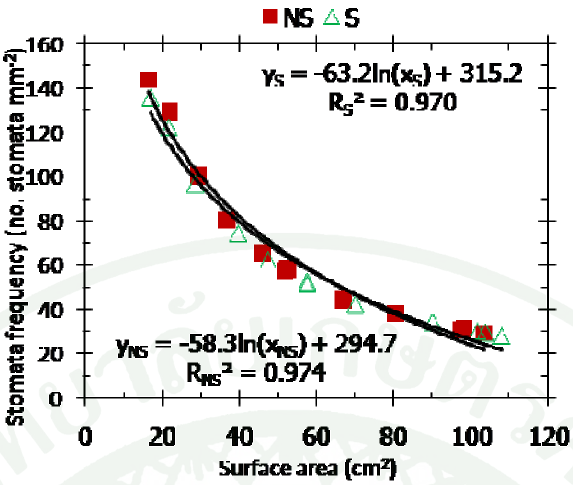
การเปรียบเทียบจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ระหว่างผลมังคุด 2 ทรีทเมนต์พบว่าผิวผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีจำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตรสูงกว่าผิวผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มตลอดทุกช่วงอายุผล (ภาพที่ 11 และตารางที่ 6) อาจเนื่องจากความแตกต่างของสิ่งแวดล้อมที่ผลมังคุดสัมผัส จากการวัดสภาพอากาศในรอบวันที่ผลมังคุดสัมผัสพบว่า ผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะได้รับความเข้มแสงสูงกว่า มีสภาพแห้งของอากาศมากกว่าและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ซึ่งพืชที่เจริญเติบโตในที่กลางแจ้งจะมีจำนวนปากใบต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าพืชที่เจริญเติบโตในที่ร่ม และพืชที่เจริญเติบโตอยู่ในที่แห้งแล้ง ความชื้นในอากาศต่ำ จะมีจำนวนปากใบต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าพืชที่เจริญเติบโตในที่ที่มีความชื้นในอากาศสูง (Van Cotthem, 1970; Eames and Macdaniles, 1989) อีกทั้งเมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวทั้งหมดระหว่างผลมังคุด 2 ทรีทเมนต์จะพบว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีพื้นที่ผิวทั้งหมดต่ำกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ตารางที่ 7 และภาพที่ 9a) โดยเฉพาะในช่วงที่ผลมีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มไม่สามารถขยายขนาดได้เท่ากับผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ส่งผลให้จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่าสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (Monselise, 1962)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

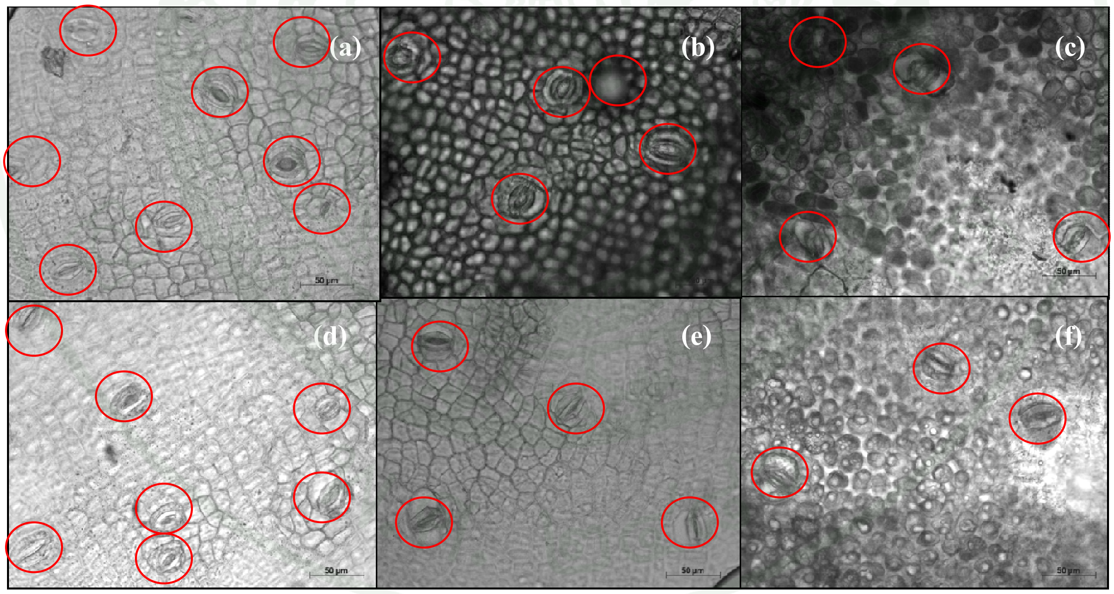


ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปากใบบนผิวผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล a) พื้นที่ผิวผล b) จำนวนปากใบต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร c) จำนวนปากใบทั้งผล d) ขนาดเส้นรอบวง e) ความกว้างรูปากใบ f) ความยาวรูปากใบ g) ความกว้างเซลล์คุม และ h) ความยาวเซลล์คุม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 10 ซ้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



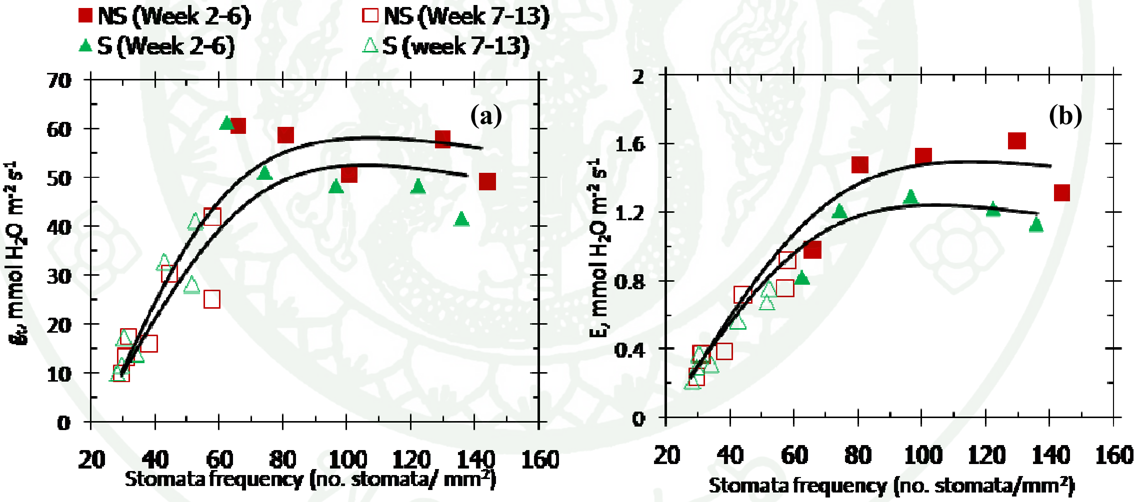
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่กับพื้นที่ผิวทั้งหมดของผลมังคุด เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุผล



ภาพที่ 11 จำนวนปากใบที่นับได้บนพื้นที่ผิว 9.3 x10^{4} ตารางไมโครเมตร ของผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่ม ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต a) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม อายุผล 2 สัปดาห์ b) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม อายุผล 7 สัปดาห์ c) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม อายุผล 13 สัปดาห์ d) ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม อายุผล 2 สัปดาห์ d) ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม อายุผล 7 สัปดาห์ และ e) ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มอายุผล 13 สัปดาห์ (วงกลมที่แสดงในภาพแสดงปากใบที่นับได้)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่กับอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส ได้แก่ ค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผิวผลสู่อากาศ (g_t) และอัตราคายน้ำ พบว่าในช่วงอายุผล 2-6 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราคายน้ำถูกควบคุมด้วยค่า $VPD_{fruit-air}$ จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ไม่มีผลกำหนดค่า g_t (ภาพที่ 11a) เนื่องจากในช่วงนี้ค่า $VPD_{fruit-air}$ เป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมค่า g_t มากกว่าปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นค่านำไหลรวมจึงขึ้นกับค่า $VPD_{fruit-air}$ มากกว่าจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงอายุผล 7 สัปดาห์ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราคายน้ำถูกควบคุมด้วยค่า g_t จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีผลกำหนดค่า g_t โดยมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง (ภาพที่ 11a) โดยจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ลดลง จะส่งผลทำให้ค่านำไหลรวมลดลง และทำให้อัตราคายน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผลมังคุดลดลงด้วย (ภาพที่ 11b) โดยในภายใต้สภาพปากใบที่เปิด ผิวผลที่มีจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่น้อยจะมีค่านำไหลปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่ำ ส่งผลให้ค่านำไหลรวมและอัตราคายน้ำของผลลดลง (Nobel and Barrera, 2000; Peschel *et al.*, 2003; Gibert *et al.*, 2005)



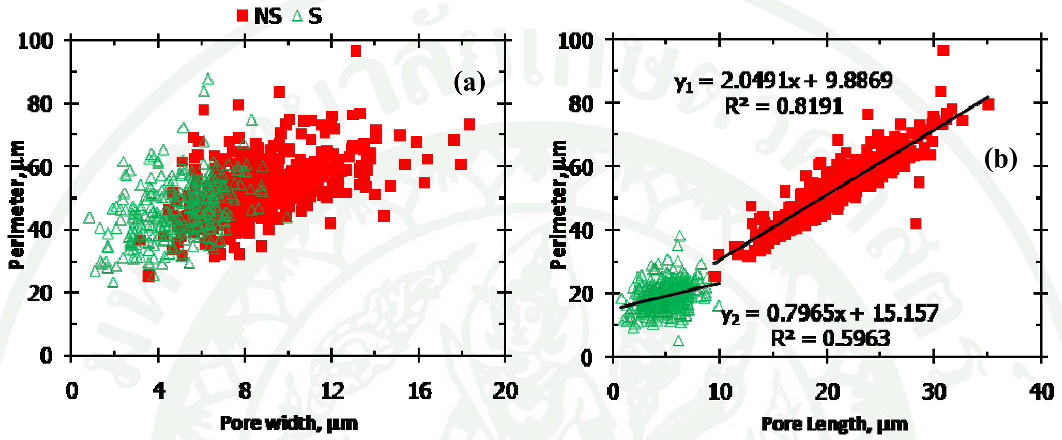
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่กับอัตราแลกเปลี่ยนแก๊ส a) อัตราคายน้ำ และ b) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุผล

2.3 ลักษณะรูปากใบ (stomatal pore)

ขนาดเส้นรอบวงของรูปากใบที่ผิวผลมังคุดทั้ง 2 ทรีทเมนต์มีค่าคงที่ตลอดทุกช่วงอายุผล โดยผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงอยู่ในช่วง 50.44-57.17 ไมโครเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มากกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40.61-53.53 ไมโครเมตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 9d) เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นรอบวงของรูปากใบของปากใบที่ผิวผลมังคุด พบว่าความยาวของรูปากใบมีผลต่อขนาดเส้นรอบวงของรูปากใบมากกว่าความกว้างของรูปากใบ ซึ่งขนาดของรูปากใบจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของรูปากใบที่สูงขึ้น (ภาพที่ 13)

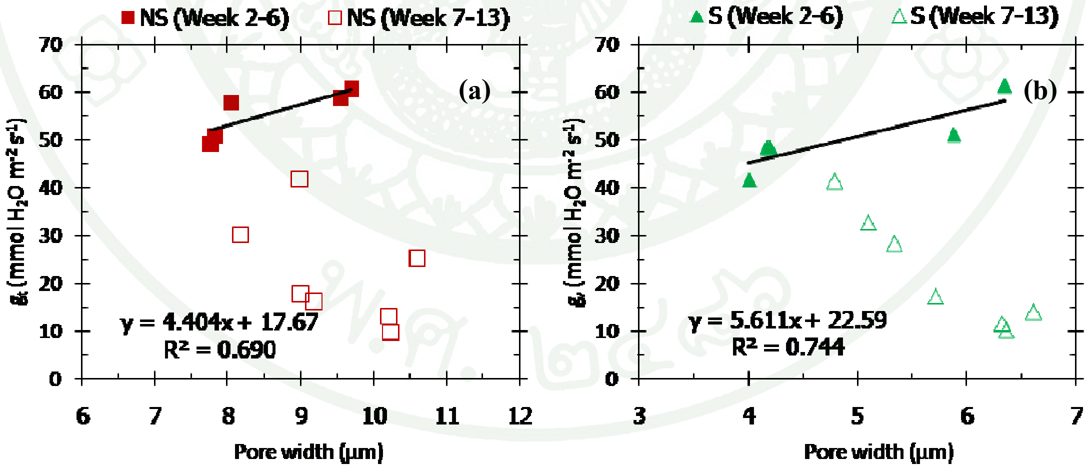


ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นรอบวงของรูปากใบกับปัจจัยควบคุม a) ความกว้างของรูปากใบ และ b) ความยาวของรูปากใบ เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม

เมื่อพิจารณาขนาดของรูปากใบได้แก่ ความกว้างและความยาวของรูปากใบของผลมังคุดทั้ง 2 ทรีทเมนต์ พบว่าความกว้างและความยาวของรูปากใบมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทุกช่วงอายุผล โดยความกว้างของรูปากใบของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.77-10.60 ไมโครเมตร สูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.20-6.21 ไมโครเมตร แต่ขนาดความยาวของรูปากใบไม่มีความแตกต่างกัน โดยผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 19.39-22.67 ไมโครเมตร และผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 17.17-22.17 ไมโครเมตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 9e-9f) แสดงให้เห็นว่าผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีการเปิดปากใบสูงกว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม เนื่องจากพื้นที่ของรูปากใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดความกว้างของรูปากใบ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดความยาวของรูปากใบ (Weyers and Meidner, 1990) โดยเฉพาะในช่วงอายุผล 2-6 สัปดาห์ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราคายน้ำถูกควบคุมด้วยค่า $VPD_{fruit\text{-}air}$ พบว่าเมื่อความกว้างของรูปากใบสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่า g_t มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย (ภาพที่ 14) เนื่องจากปากใบเปิดกว้างได้มาก มีค่านำไหลปากใบสูง ซึ่งผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มที่มีความกว้างของรูปากใบสูง

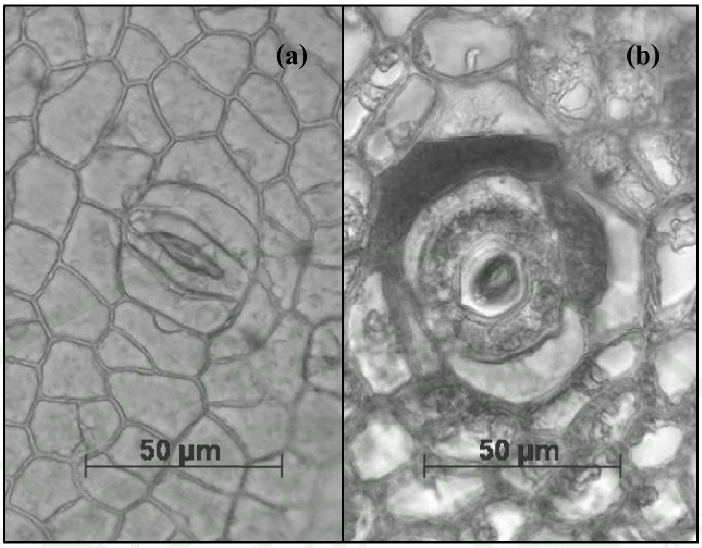
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กว่าจะมีค่า g_t สูง ทำให้มีอัตราคายน้ำสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม แต่ในช่วงอายุผล 7 สัปดาห์ จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (สัปดาห์ที่ 13) ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราคายน้ำถูกควบคุมด้วยค่า g_t พบว่าความกว้างของรูปากใบไม่มีความสัมพันธ์กับค่า g_t แม้ว่าความกว้างของรูปากใบจะมีค่าสูงใกล้เคียงจากช่วงอายุผล 2-6 สัปดาห์ โดยเฉพาะในช่วงก่อนครบกำหนดเก็บเกี่ยว (11-13 สัปดาห์) ซึ่งเป็นช่วงที่มีความกว้างของรูปากใบสูง (ภาพที่ 9e) แต่ค่า g_t กลับมีค่าลดลงตามอายุผลที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อผลมีพัฒนาการมากขึ้นโดยเฉพาะในระยะใกล้เก็บเกี่ยวหรือระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา เซลล์คุมที่เนื้อเยื่อผิวผลเกิดการเสียสภาพหรือไม่ทำหน้าที่ ทำให้ปากใบอาจมีการเปิดกว้างและเกิดเป็นรูปากใบ (pore) ค้างไว้ อีกทั้งจากการสังเกตรูปร่างของปากใบที่ผิวผลมังคุดพบว่า ในระยะผลอ่อนปากใบจะมีรูปร่างเป็นวงรี (eliptical shape) แต่ในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด ปากใบจะมีรูปร่างค่อนข้างกลม (circular shape) (ภาพที่ 15) ส่งผลให้การวัดขนาดในสภาพที่ปากใบเปิด ความกว้างของรูปากใบจึงมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ขนาดเส้นรอบวงของรูปากใบมีค่าคงที่ ซึ่งการเสียสภาพและการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างปากใบยังพบในผลของพืชชนิดอื่นๆ เช่น ผลมะกอกโอลีฟ (*Olea europaea* L.) ที่พบว่าในระยะแรกของการเจริญเติบโตของผลปากใบจะมีรูปร่างรี เซลล์คุมมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อผลอยู่ในระยะเจริญเติบโตเต็มที่จะเกิดการเสียสภาพและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปากใบ อีกทั้งเซลล์คุมจะมีขนาดเล็กลง (Proietti *et al.*, 2004)



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลรวมกับความกว้างของรูปากใบ กราฟในแถวซ้ายมือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม (NS) กราฟในแถวขวามือเป็นของผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (S) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 ลักษณะและรูปร่างของปากใบของผลมังคุดในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต a) ปากใบในระยะผลอ่อน (3 สัปดาห์หลังติดผล) มีรูปร่างเป็นวงรี (eliptiacal shape) b) ปากใบในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (13 สัปดาห์หลังติดผล) มีรูปร่างค่อนข้างกลม (circular shape) ซึ่งเปิดกว้างค้างไว้

2.4 ลักษณะเซลล์คุม

สำหรับการศึกษาลักษณะของเซลล์คุมที่ผิวผลมังคุดทั้ง 2 ทรีทเมนต์ พบว่าขนาดของเซลล์คุม ได้แก่ ความกว้างและความยาวของเซลล์คุมของทั้ง 2 ทรีทเมนต์ในแต่ละช่วงอายุผลไม่มีความแตกต่างกัน โดยขนาดของเซลล์คุมในแต่ละช่วงอายุผลค่อนข้างคงที่ โดยผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีความกว้างของเซลล์คุมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.12-7.22 ไมโครเมตร และความยาวของเซลล์คุมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 31.82-34.43 ไมโครเมตร ส่วนผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มจะมีความกว้างของเซลล์คุมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.85-7.12 ไมโครเมตร และความยาวของเซลล์คุมเฉลี่ย 28.77-35.91 ไมโครเมตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 9g-9h) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sharma *et al.* (1982) ที่พบว่าขนาดของเซลล์คุมไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์น้อยมากกับการเติบโตของต้น Crab apple

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ลักษณะปากใบและรูปากใบบนผิวผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 10 ซ้ำ

Parameter	อายุผล (สัปดาห์)											
	2		3		4		5		6		7	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
จำนวนปากใบต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร, mm^{-2}	143.7	135.9**	129.7	122.3**	100.6	96.6**	80.7	74.4**	65.8	62.6^{ns}	58.2	52.4**
จำนวนปากใบทั้งผล, no. stomata $fruit^{-1}$	237363	232726^{ns}	285114	266104^{ns}	295316	278861^{ns}	296299	296007^{ns}	303172	296365^{ns}	305206	301949^{ns}
<u>ลักษณะรูปากใบ</u>												
ขนาดเส้นรอบวง, µm	53.64	43.48**	53.64	43.94**	54.97	50.23**	52.42	49.22**	50.44	44.39**	53.78	44.13**
ความกว้าง, µm	7.77	4.01**	8.04	4.17**	7.82	4.20**	9.55	5.88**	9.70	6.35**	8.99	4.79**
ความยาว, µm	20.59	17.44^{ns}	20.72	17.53^{ns}	21.93	20.73^{ns}	20.98	20.43^{ns}	20.27	19.05^{ns}	21.91	18.24^{ns}
<u>ลักษณะปากใบ</u>												
ความกว้าง, µm	6.31	6.05^{ns}	6.12	5.85^{ns}	6.29	5.97^{ns}	6.50	6.32^{ns}	6.92	6.87^{ns}	6.78	6.69^{ns}
ความยาว, µm	31.28	28.77^{ns}	33.63	30.26^{ns}	32.09	32.80^{ns}	32.28	32.52^{ns}	33.20	31.96^{ns}	33.34	30.55^{ns}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Parameter	อายุผล (สัปดาห์)											
	8		9		10		11		12		13	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
จำนวนปากใบต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร, mm^{-2}	57.6	51.5**	44.4	42.6^{ns}	38.3	34.1**	31.5	30.4^{ns}	31.0	29.6^{ns}	29.5	28.1^{ns}
จำนวนปากใบทั้งผล, no. stomata $fruit^{-1}$	297966	296768^{ns}	297514	298420^{ns}	308262	307356^{ns}	309455	308671^{ns}	301567	307777^{ns}	305368	303830^{ns}
<u>**ลักษณะรูปากใบ**</u>												
ขนาดเส้นรอบวง, μm	55.88	40.61**	52.69	46.70**	55.30	46.36**	51.67	46.73**	54.06	47.25**	57.17	53.53**
ความกว้าง, μm	10.60	5.33**	8.17	5.10**	9.19	6.61**	9.01	5.71**	10.22	6.32**	10.25	6.36**
ความยาว, μm	21.70	17.17**	21.35	19.57^{ns}	19.39	19.22^{ns}	21.09	19.94^{ns}	21.68	19.93^{ns}	22.67	22.17^{ns}
<u>**ลักษณะปากใบ**</u>												
ความกว้าง, μm	6.96	6.80^{ns}	6.87	6.57^{ns}	7.15	6.73**	7.22	6.86^{ns}	7.12	7.12^{ns}	7.09	6.89^{ns}
ความยาว, μm	33.93	28.95^{ns}	32.82	31.73^{ns}	31.87	31.80^{ns}	34.25	34.80^{ns}	34.43	33.90^{ns}	33.92	35.91^{ns}

** ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี t-test

ns ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี t-test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ลักษณะของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 10 ซ้ำ

Parameter	อายุผล (สัปดาห์)											
	2		3		4		5		6		7	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
ความกว้างผล, cm	2.29	2.33^{ns}	2.64	2.69^{ns}	3.05	3.13^{ns}	3.42	3.56**	3.83	3.88^{ns}	4.08	4.28**
ความยาวผล, cm	2.70	2.76^{ns}	3.15	3.28^{ns}	3.41	3.50^{ns}	3.71	3.85**	4.13	4.07^{ns}	4.24	4.48**
พื้นที่ผิวผลทั้งหมด, cm^2	16.50	19.13^{ns}	21.98	24.77^{ns}	29.36	32.86^{ns}	36.72	39.78**	46.08	47.37^{ns}	52.41	57.66**
น้ำหนักผล, g	9.73	10.25^{ns}	13.41	13.97^{ns}	18.53	19.08^{ns}	24.65	28.18^{ns}	34.90	34.10^{ns}	40.67	48.55^{ns}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Parameter	อายุผล (สัปดาห์)											
	8		9		10		11		12		13	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
ความกว้างผล, cm	4.05	4.27**	4.61	4.71**	5.06	5.35**	5.58	5.68**	5.57	5.74**	5.73	5.86**
ความยาวผล, cm	4.19	4.58**	4.74	4.84**	5.10	5.27**	5.28	5.30^{ns}	5.08	5.44**	5.95	5.71**
พื้นที่ผิวผลทั้งหมด, cm^2	51.76	57.59**	66.94	70.02**	80.57	90.20**	98.18	101.64^{ns}	97.44	103.87**	103.41	107.94**
น้ำหนักผล, g	42.45	49.50^{ns}	56.96	57.82^{ns}	71.23	83.47**	86.74	92.29^{ns}	89.64	95.89^{ns}	98.50	110.50**

** ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี t-test

ns ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี t-t

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลระหว่างผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มและภายนอกทรงพุ่ม

ลักษณะและเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลของผลมังคุดในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือระยะเข้าสู่สายเลือดในแต่ละทรีทเมนต์ แสดงผลในตารางที่ 8

ลักษณะของผลมังคุดในช่วงระยะเก็บเกี่ยว ได้แก่ ความกว้างผล ความยาวผล และน้ำหนักสดของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่ามากกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม แต่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วพบว่าทั้ง 2 ทรีทเมนต์จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มจะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วเฉลี่ย 19.83 % ซึ่งสูงกว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วเฉลี่ย 8.67 % และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเกิดยางไหลภายในผลพบว่าผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มจะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดยางไหลเฉลี่ย 9.33 % สูงกว่าผลมังคุดภายนอกทรงพุ่มที่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดยางไหลเฉลี่ย 1.67 % แต่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มจะเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลมากกว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของธนสิต (2541) ที่พบว่าผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวมาจากบริเวณที่มีความเข้มแสงน้อย (ใต้ทรงพุ่ม) เกิดอาการยางไหลมากกว่าผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวมาจากบริเวณที่มีความเข้มแสงมาก (ยอดทรงพุ่ม) อีกทั้งจากข้อมูลสภาพอากาศพบว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงและแสงแดดน้อยที่บริเวณภายในทรงพุ่มจะส่งผลให้มังคุดเกิดอาการเนื้อแก้วและมีความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ลักษณะของผลมังคุด ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักผลสด, เปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลภายในผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวในช่วงอายุผล 12-14 สัปดาห์ (ระยะเข้าสู่สายเลือด) เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม ค่าที่แสดงในแต่ละช่วงอายุผลเป็นค่าเฉลี่ยจาก 200 ซ้ำ

อายุผล (สัปดาห์)	ความกว้างของผล (cm)		ความยาวของผล (cm)		น้ำหนักผลสด (g)		เปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้ว (%)		เปอร์เซ็นต์การเกิดยางไหล (%)	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
12	5.87	5.84	5.52	5.50	98.433	103.939	6.00	16.00	0	4.00
13	5.68	5.71	5.33	5.27	92.957	95.552	11.00	23.00	4.00	10.50
14	5.30	5.57	5.03	5.08	73.922	93.479	9.00	20.50	1.00	13.50
รวม	5.62	5.70^{ns}	5.29	5.27^{ns}	88.437	97.252^{ns}	8.67	19.83^{**}	1.67	9.33^{ns}

** ค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีทเมนต์แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี t-test

ns ค่าเฉลี่ยในช่วงอายุผลเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี t-test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุป

1. อัตราคายน้ำของผลภายใต้สภาพแวดล้อม และความสัมพันธ์ของอัตราคายน้ำในรอบวันกับสภาพอากาศและปริมาณน้ำในดิน

อัตราคายน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผิวผลมังคุดมีค่าลดลงตามค่านำไหลรวมของไอน้ำจากผิวผลสู่อากาศ (g_t) ที่ลดลงเมื่ออายุผลมากขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำที่คายออกมาจากทั้งผลของผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มมีค่าสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มทุกช่วงอายุผล ในช่วงอายุผล 2 ถึง 6 สัปดาห์ อัตราคายน้ำของผลมังคุดถูกกำหนดด้วยค่าแรงดึงคายน้ำจากผลสู่อากาศ ($VPD_{fruit\text{-}air}$) ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีอัตราคายน้ำสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม เนื่องจากผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มเผชิญกับสภาพอากาศที่แห้งกว่าภายในทรงพุ่ม โดยได้รับความเข้มแสงและแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}) สูงกว่า แต่ในช่วงอายุผล 7 สัปดาห์ไปจนถึงในระยะเก็บเกี่ยวหรือระยะเข้าสู่สายเลือด (สัปดาห์ที่ 13) อัตราคายน้ำถูกกำหนดด้วยค่านำไหลรวม โดยเฉพาะในช่วงอายุผล 10 ถึง 13 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่านำไหลรวมและอัตราคายน้ำต่ำ มีอัตราไหลออกของน้ำจากผลน้อย ส่งผลให้ผลมังคุดเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลในระยะนี้ได้มาก

2. ลักษณะพื้นผิวของผลมังคุดในแต่ละช่วงอายุผล

ปากใบของผลมังคุดเป็นแบบพาราไซติก (paracytic stomata) โดยมีจำนวนปากใบทั้งหมด 3×10^6 ถึง 3.1×10^6 ปากใบต่อผล จำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่าลดลงตามการขยายขนาดของพื้นที่ผิวผลเมื่ออายุผลมากขึ้น ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่มจะมีจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ขนาดเส้นรอบวงและความกว้างของรูปากใบสูงกว่าผลที่อยู่ภายในทรงพุ่มทุกช่วงอายุผล แต่ขนาดของเซลล์คุมระหว่างผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่มไม่มีความแตกต่างกัน โดยจำนวนปากใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวผลที่ลดลงเมื่ออายุผลมากขึ้น ส่งผลให้ค่านำไหลรวมต่ำลง ทำให้อัตราคายน้ำมีค่าลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลระหว่างผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มและภายนอกทรงพุ่ม

ลักษณะของผลมังคุด ได้แก่ ความกว้างผล ความยาวผล และน้ำหนักสดของผลมังคุดที่อยู่ภายในและภายนอกทรงพุ่มไม่แตกต่างกัน สำหรับเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วพบว่าผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่มมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเนื้อแก้วเฉลี่ยสูงกว่าผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม แต่เปอร์เซ็นต์การเกิดยางไหลภายในผลเฉลี่ยของมังคุดทั้งภายในและภายนอกทรงพุ่มไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กวิศร์ วานิชกุล. 2522. **การเจริญเติบโตของผลมังคุด.** ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

จิรเวฐน์ เพ็ชร์สุทธิ์. 2544. **อิทธิพลของอายุผลแตงโมพันธุ์ต่างๆ ต่อการถ่ายทอดเชื้อ *Acidovorax avenae* subsp. citrulli ผ่านทางเมล็ดและวิธีการควบคุมเชื้อที่ติดมากับเมล็ด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

เทียมใจ คมกฤส. 2539. **กายวิภาคของพฤกษ์.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนสิต ลิมปาวิภากร. 2541. **อาการยางไหลในผลมังคุดจากส่วนต่าง ๆ ของทรงพุ่ม.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2539 ก. **อิทธิพลของน้ำที่มีต่อการเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลมังคุด.** ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_______. 2539 ข. **การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์ และปัจจัยของน้ำที่มีต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรียนต์ ชัยจำรูญพันธ์. 2529. **การศึกษาอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศรีสังวาลย์ ลายวิเศษกุล. 2537. **ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วของมังคุด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ แดงฉ่ำ. 2543. **กลไกการเกิดอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2531. **รายงานการเก็บรักษา การใช้ประโยชน์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเก็บรักษาผักและผลไม้เพื่อการส่งออก ฉบับที่ 8 การเก็บรักษามังคุด.** รายงานวิจัยเสนอต่อการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

สมชาย เทพเดชา. 2535. **มังคุด Trend & Potentials.** โรงพิมพ์เปเปอร์ออฟเซ็ท, กรุงเทพฯ.

สมโภชน์ น้อยจินดา. 2534. **ผลของ GA_3 ต่อผลมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) วัยสายเลือด.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_______. 2535. **ผลของสภาพดัดแปลงที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลมังคุด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ และคัทลียา ฉัตร์เที่ยง. 2547. **ข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาเพื่อความเข้าใจปัญหาการเกิดอาการยอดตายของยูคาลิปตัสในเขตภาคตะวันตก**. ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กำแพงแสน, นครปฐม.

_______ และพรรณี ชื่นนคร. 2550. **ข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของผลมังคุดของจันทบุรี.** ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กำแพงแสน, นครปฐม.

สุรศักดิ์ เพิ่มลาภ. 2539. การศึกษาปากใบของพรรณไม้หอมบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **สถานการณ์การค้ามังคุด.** สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, กรมการค้าต่างประเทศ, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Almeyda, N. and F.W. 1976. Cultivation of neglected tropical fruits with promise I. The mangosteen (*Garcinia mangostana* L.). **US Argic. Res. Serv., South Region.** 155: 18.

Bailey, Y.P.S. 1977. Mangosteen, pp. 1989-1990. *In* **The Standard Encyclopedia of Horticulture.** The Mcmillan Co., New York.

Baldocchi, D. 2006. **Biometeorology.** Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley.

Blanke, M.M. 1992. Photosynthesis of avocado fruit. **Proc. of Second World Avocado Congress 1992**: 179-189.

_______. 2006. Photosynthesis of strawberry fruit. **IV International Strawberry Symp.** Available Source: http://www.actahort.org/members/showpdf?booknrarnr=567_81, June 22, 2008.

_______ and J. Bower. 1990. Surface features of the avocado fruit. **Trop. Agr.** 67: 379-381.

_______ and F. Lenz. 1989. Fruit photosynthesis. **Plant, Cell and Environment** 12: 31–46.

Eames, A.J. and L.H. Macdaniels. 1989. **An Introduction to Plant Anatomy.** McGraw-Hill Inc., New York. 427 p.

Grange, R.I. and J. Andrews. 1995. Respiration and growth of tomato fruit. **Plant, Cell and Environment** 18: 925-930.

Gibert, C., F. Lescourret, M. Ge´nard, G. Vercambre and A.P. Pastor. 2005. Modelling the effect of fruit growth on surface conductance to water vapour diffusion. **Ann. Bot.** 95: 673-683.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Graf, A.B. 1986. **Tropica.** East Rusterford, New Jersey. 1152 p.

Higuchi, H. and T. Sakuratani. 2006. Water dynamics in mango (*Mangifera indica* L.) fruit during the young and mature fruit seasons as measured by the stem heat balance Method. **J. Jap. Soc. Hort. Sci.** 75(1): 11-19

Huang, T.B., R.L. Darnell and K.E. Koch. 1992. Water and carbon budgets of developing citrus fruits. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 111: 287-93.

Huguet, J.G., M. Ge´nard, R. Laurent, J. Besset, C. Bussi and T. Girard. 1998. Xylemic, phloemic and transpiration flows to and from a peach. **Acta Hort.** 465: 345-353.

Johansen, D.A. 1940. **Plant Microtechnique.** McGraw-hill, New York.

Jones, H.G. and K.H. Higgs. 1982. Surface conductance and water balance on developing apple (*Malus pumila* M.) fruits. **J. Exp. Bot.** 33: 67–77.

Kawabata, S., H. Sasaki and R. Sakiyama. 2005. Role of transpiration from fruits in phloem transport and fruit growth in tomato fruits. **Physiol. Plant.** 124: 371-380.

Knoche, M., S. Peschel, M. Hinz and M.J. Bukovac. 2001. Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: II. Conductance of the cuticle in relation to fruit development. **Planta** 213: 927–936.

Leonardi C., S. Guichard and N. Bertin. 2000. High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. **Sci. Hort.** 84: 285–296.

Lescourret F., M. Ge´nard, R. Habib and S. Fishman. 2001. Variation in surface conductance to water vapor diffusion in peach fruit and its effects on fruit growth assessed by a simulation model. **Tree Physiol.** 21: 735–741.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Li., S.M., M. Ge´nard, C. Bussi, F. Lescourret, R. Laurent, J. Besset and R. Habib. 2002. Preliminary study on transpiration of peaches and nectarines. **Gartenbauwissenschaft** 67(1): 39-43.

Li-cor, Inc. 1990. **Li-6262 CO2/H2O analyzer: Instruction manual.** Publication No. 9003-59. LI-COR, Inc., Nebraska, U.S.A.

Montanaro, G., B. Dichio, C. Xiloyannis and G. Celano. 2005. Light influences transpiration and calcium accumulation in fruit of kiwifruit plants (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*). **Plant Science** 170: 520-527.

Morandi, B., M. Rieger and L.C. Grappadelli. 2007. Vascular flows and transpiration affect peach (*Prunus persica* Batsch.) fruit daily growth. **J. Exp. Bot.** 58(14): 3941-3947.

Morton, J. 1987. Mangosteen, pp. 301–304. *In* J.F. Morton (ed.). **Fruits of Warm Climates.** Miami, Florida.

Naik, K.C. 1947. **South Indian Fruits and their Culture.** P. Varadechary Co., Madras. 477 p.

Nobel, P.S. 1983. **Biophysical Plant Physiology and Ecology.** W H Freeman and Company, SanFransisco.

_______. 2005. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology.** 3rd ed. Elsevier Academic Press, Burlington. 567 p.

_______ and E.D. Barrera. 2000. Carbon and water balances for young fruits of platyopuntias. **Physiol. Plant.** 109: 160-166.

Oches, J.J. 1961. **Tropical and Subtropical Agriculture.** The Macmillan Co., New York. 760 p.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pankasemsuk, T., J.O. Garner, F.B. Matta and J.L. Sila. 1996. Translucent flesh disorder of mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.). **HortScience** 31(1): 112-113.

Peschel, S., M. Beyer and M. Knoche. 2003. Surface characteristics of sweet cherry fruit: stomata-number,distribution, functionality and surface wetting. **Sci. Hort.** 97: 265-278

Proietti, P., F. Famiani and A. Tombesi. 2004. Gas Exchange in Olive Fruit. **Photosynthetica** 36(3) 423-432.

Royer, D.L. 2001. Stomata density and stomatal index as indicators of paleoatmospheric CO_2 concentration. **Review of Palaeobotany and Palynology** 114: 1-28.

Shah, G.L. and B.V. Gopal. 1960. Preparation of epidermal imprints of living plant organs by the use of nontoxic mucilage and latex. **Stain Technology** 44(3): 123-125.

Sdoodee, S. and R. Chiarawipa. 2005. Regulating irrigation during pre-harvest to avoid the incidence of translucent flesh disorder and gamboges disorder of mangosteen fruits. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 27(5): 957-965.

Saure, M.C. 1996. Reassessment of the role of calcium in development of bitter pit in apple. **Aust. J. Plant Physiol.** 23: 237-243.

Van Cotthem, W. 1970. Comparative Morphological study of stomata in Filicopsida. **Bull. Nat. Plantentuin Belg.** 40: 81-239.

Weyers J.D.B. and H. Meidner. 1990. **Methods in Stomatal Research.** Longman Scientific & Technical, London. 233 p.

White, P.J., M.R. Broadley. 2003. Calcium in plants. **Ann. Bot.** 92: 487-511.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

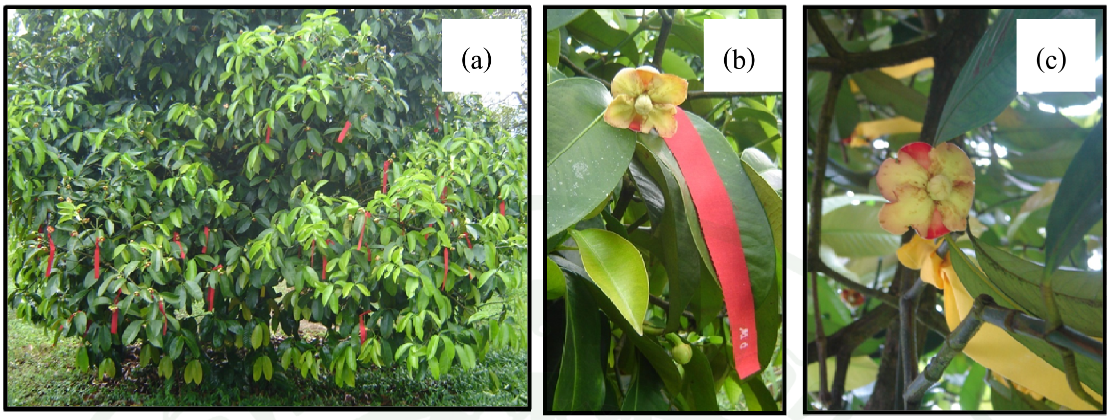
Willmer, C. and M. Fricker. 1996. **Stomata**. 2nd ed. Chapman & Hall, London. 375 p.

Wu B.H., M. Ge´nard, J. Kervella, S.H. Li and R. Laurent. 2003. Relationship between skin speckle, Soluble solids content and transpiration rate in nectarines. **European Journal of Horticultural Science** 68: 83–85.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



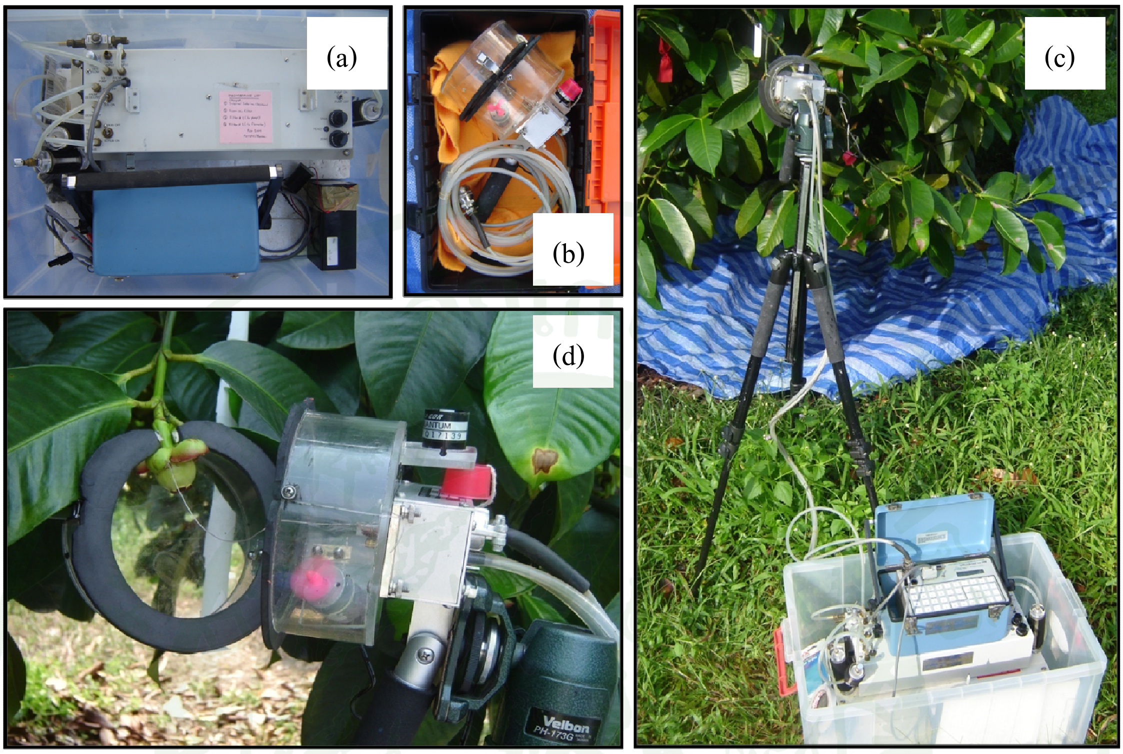
ภาพผนวกที่ 1 ทรงพุ่มของต้นมังคุดที่ศึกษา และการติดป้ายเพื่อติดตามอายุของผลมังคุดเมื่อดอกของมังคุดบาน a) ทรงพุ่มของต้นมังคุด b) การติดป้ายผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ c) การติดป้ายผลมังคุดที่อยู่ภายในทรงพุ่ม

ภาพผนวกที่ 2 อุปกรณ์วัดพลังงานกำกับก้อนดิน (watermark ต่อกับ datalogger) ติดตั้งกับต้นมังคุดที่คัดเลือกไว้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

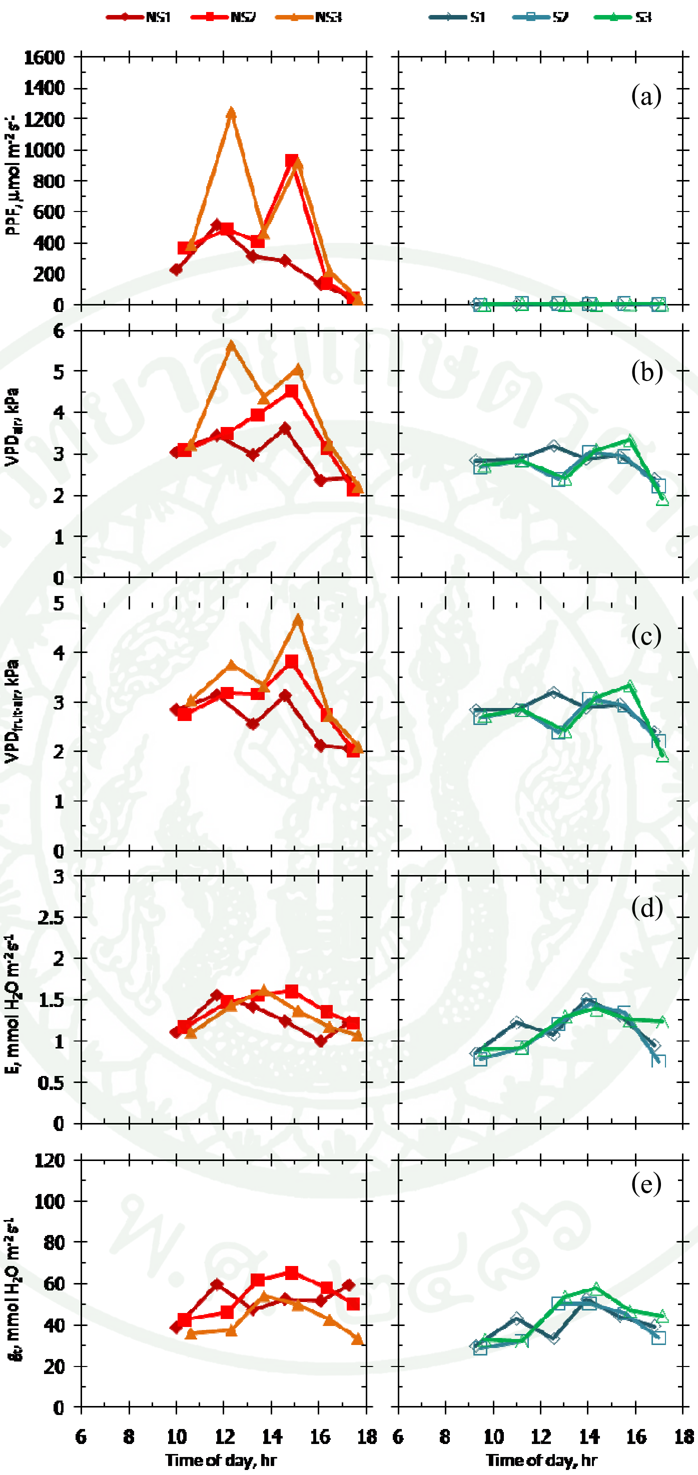
ภาพผนวกที่ 3 อุปกรณ์วัดสภาพอากาศที่ติดตั้งกับต้นมังคุด a) อุปกรณ์วัดสภาพอากาศ (quantum sensor ต่อกับ datalogger) บรรจุภายในภาชนะกันรังสีแสง (radiation shield) b) อุปกรณ์วัดสภาพอากาศที่ติดตั้งไว้ภายในทรงพุ่ม และ c) อุปกรณ์วัดสภาพอากาศที่ติดตั้งไว้ภายนอกทรงพุ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



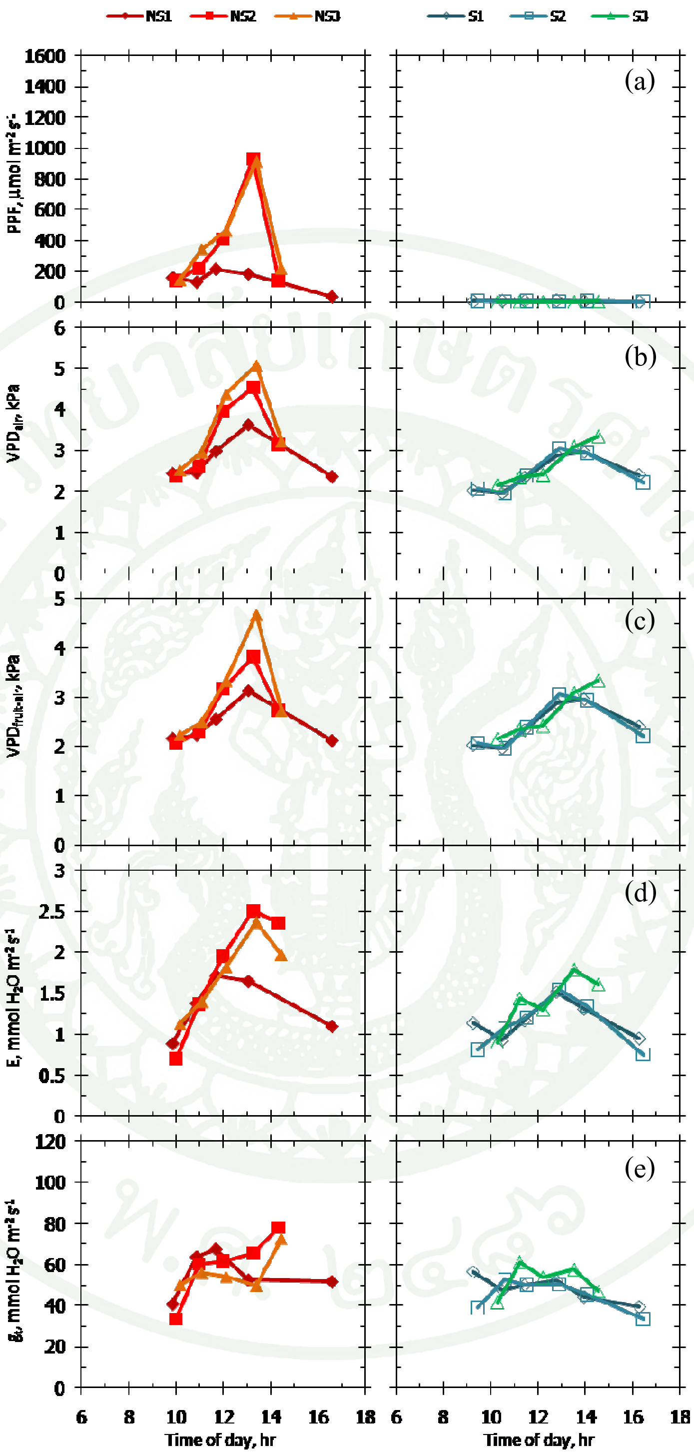
ภาพผนวกที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดในรอบวัน a) เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบปิด (รุ่น LI6200) b) กล่องบรรจุผลที่สร้างดัดแปลงเพื่อใช้ในการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดแบบโปร่งใส c) ด้านบนของกล่องบรรจุผลมีหัววัดความเข้มแสง (PPFi) และภายในกล่องบรรจุผลมีหัววัดอุณหภูมิของผล (thermocouple) ซึ่งวางให้สัมผัสผิวของผล d) การวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



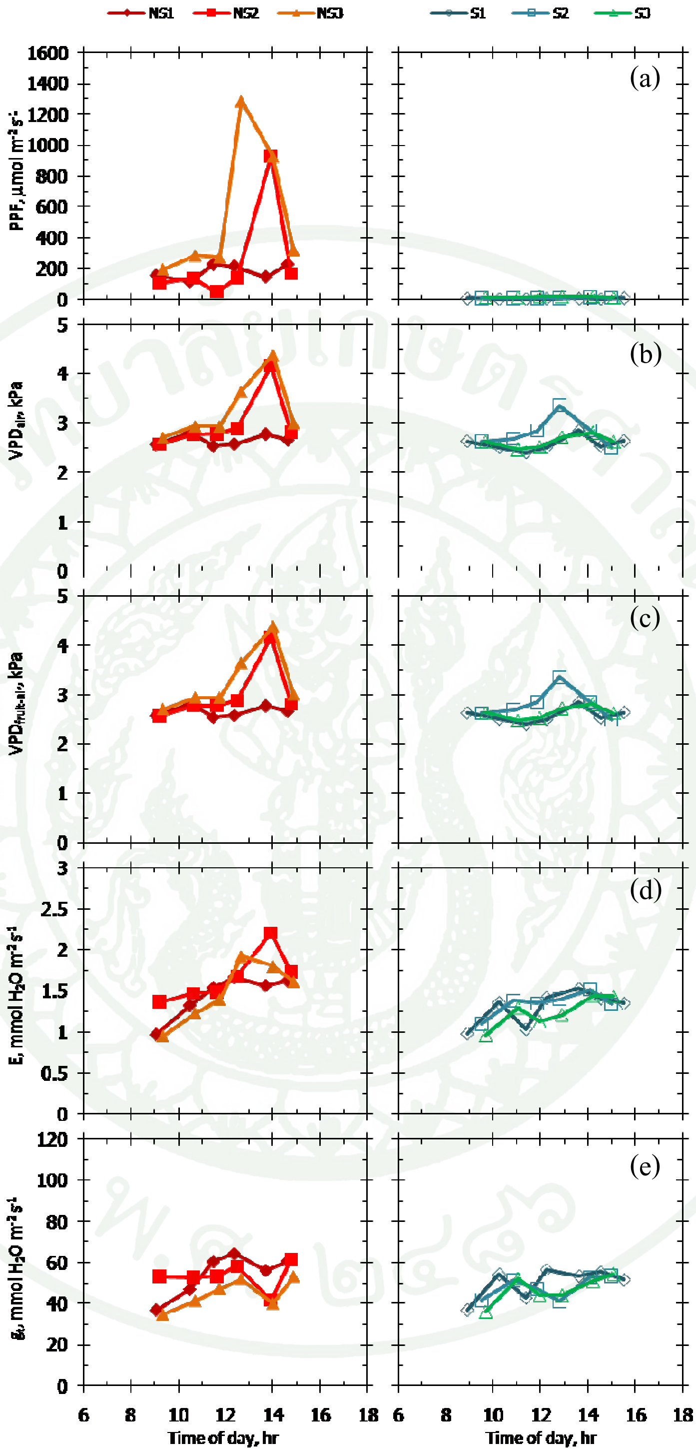
ภาพผนวกที่ 5 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 2 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึง ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



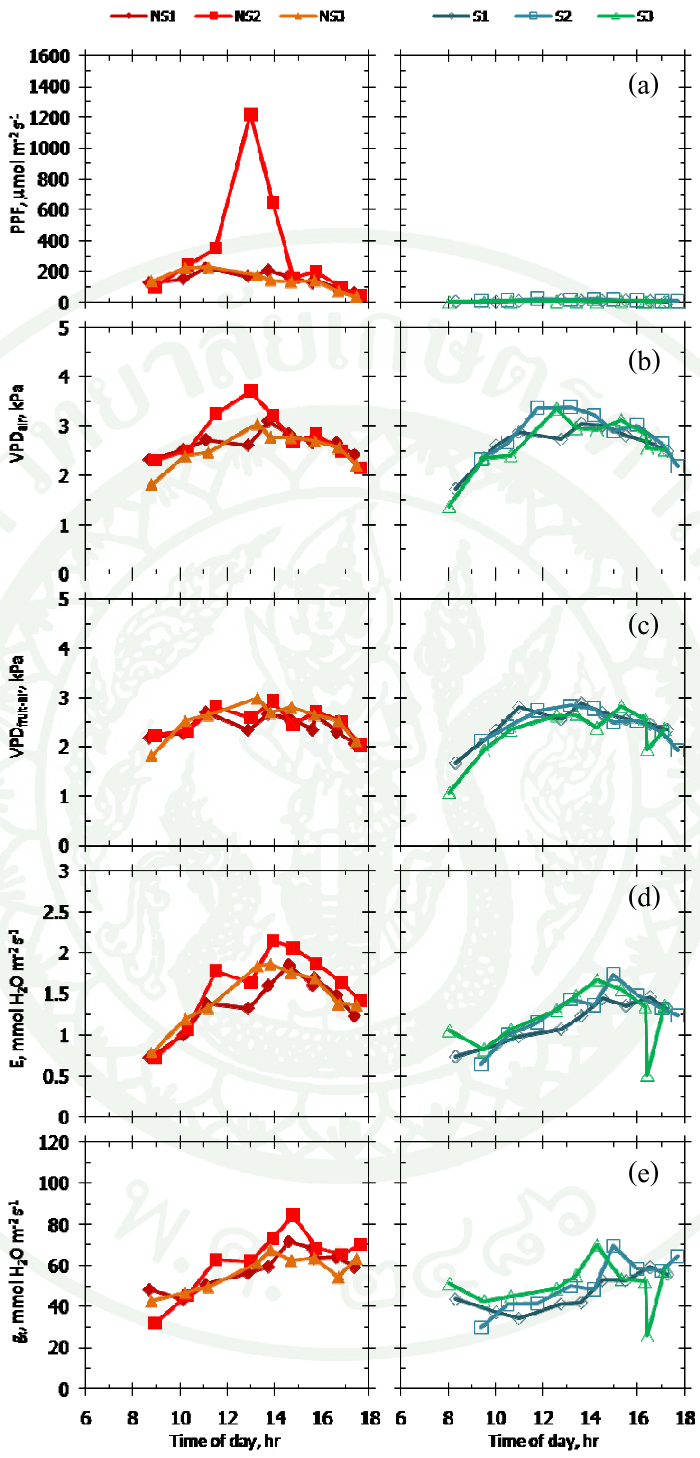
ภาพผนวกที่ 6 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 3 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึง ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



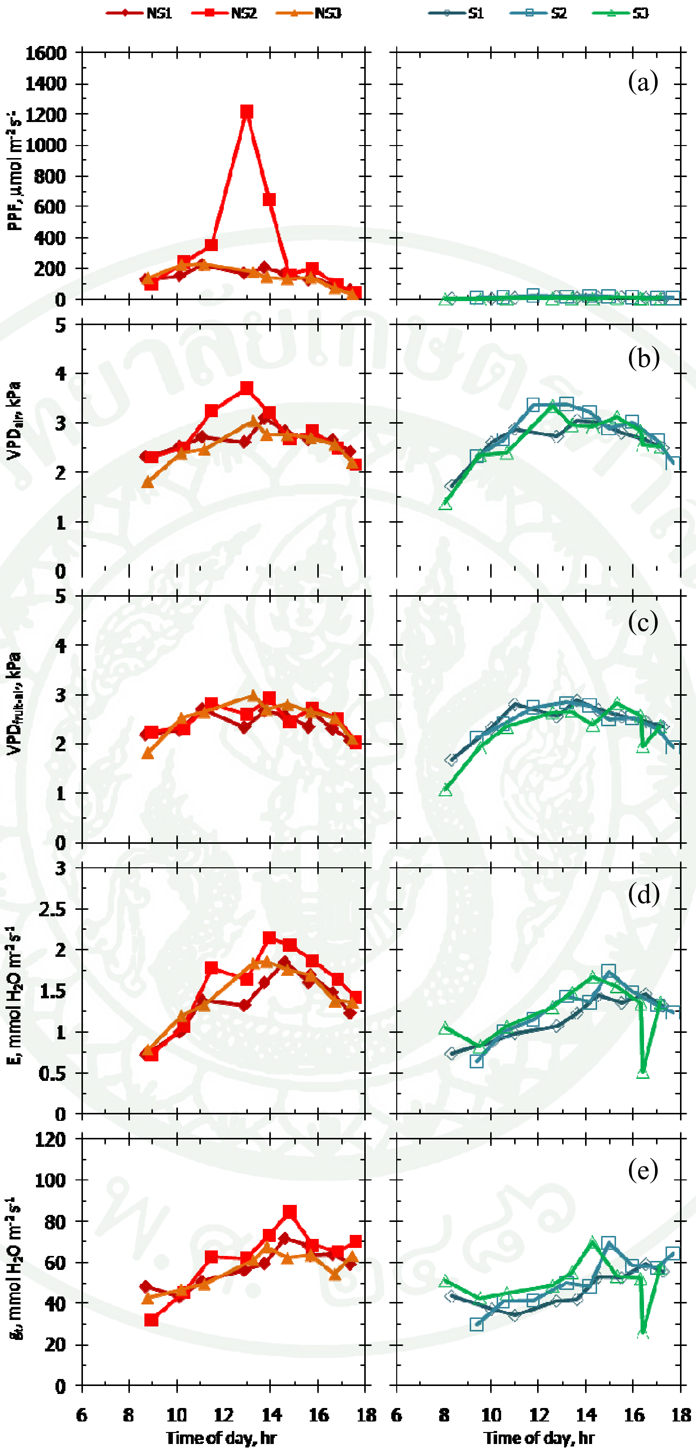
ภาพผนวกที่ 7 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 4 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึง ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



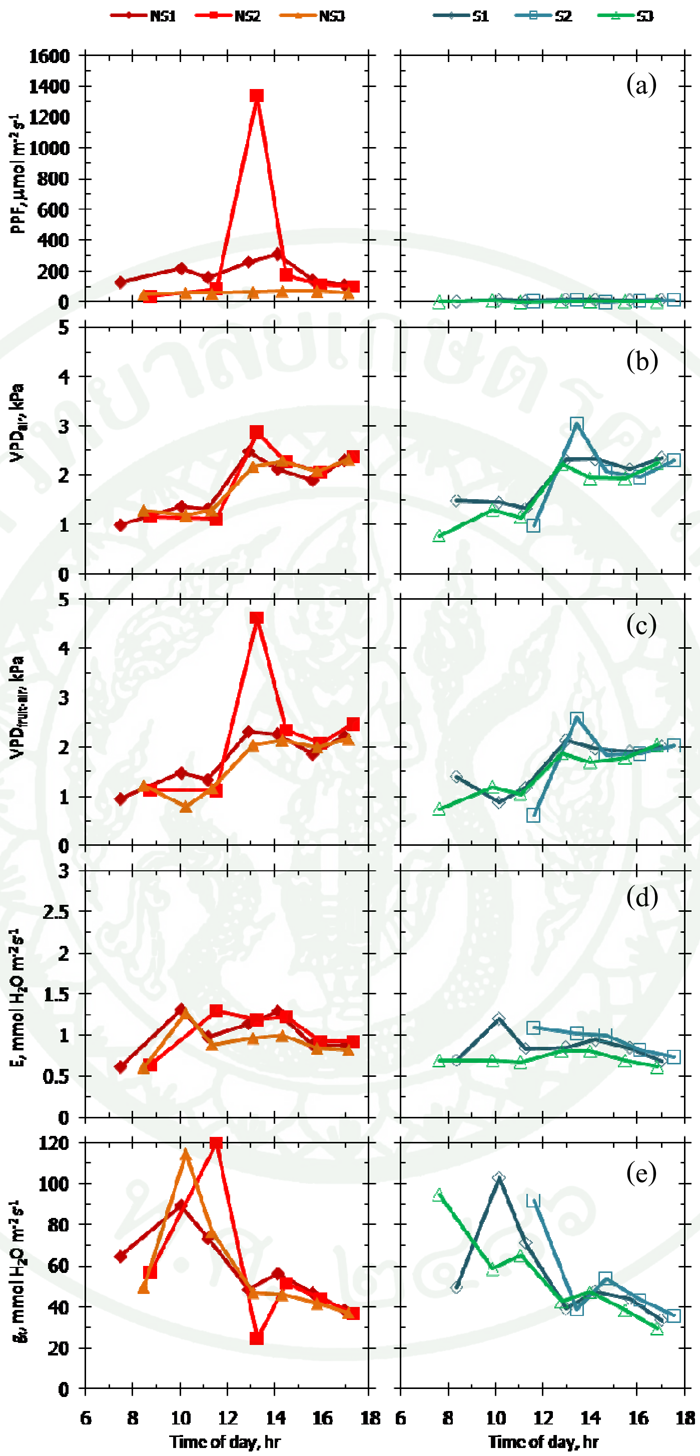
ภาพผนวกที่ 8 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 5 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึง ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



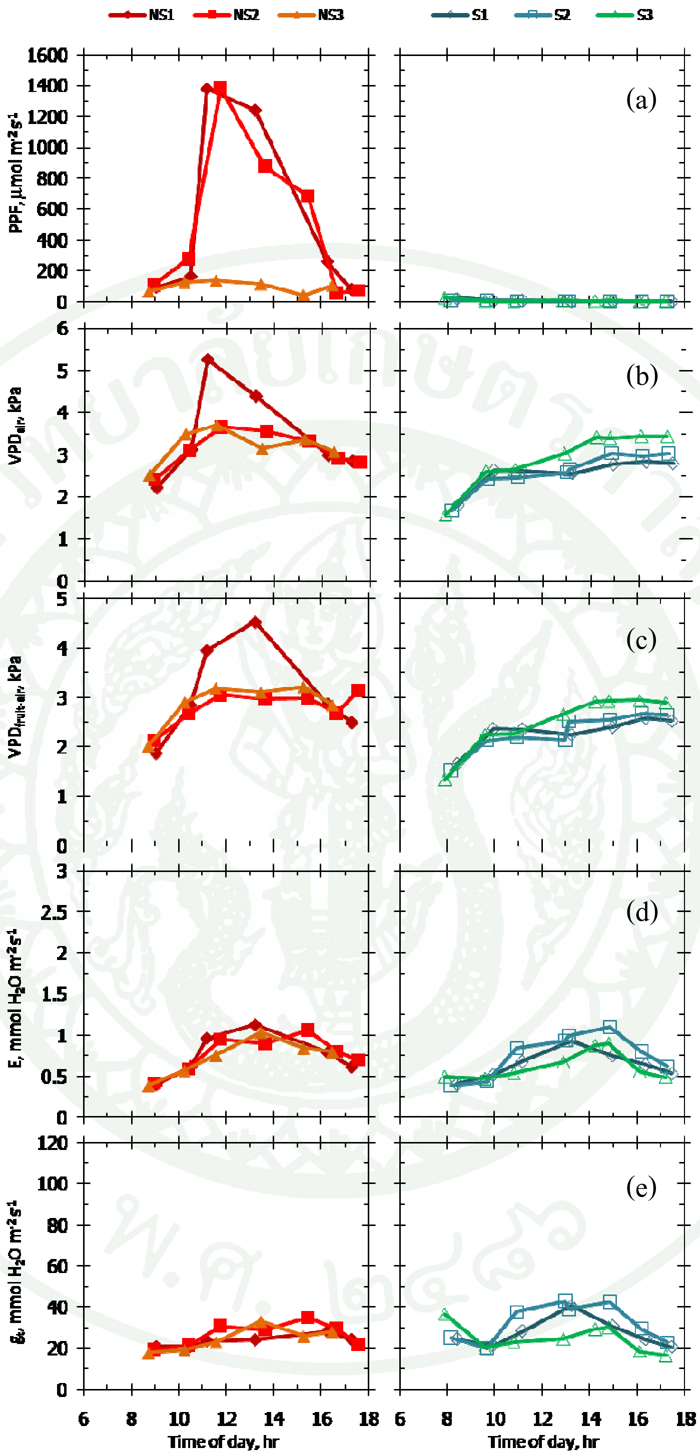
ภาพผนวกที่ 9 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 6 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึง ผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



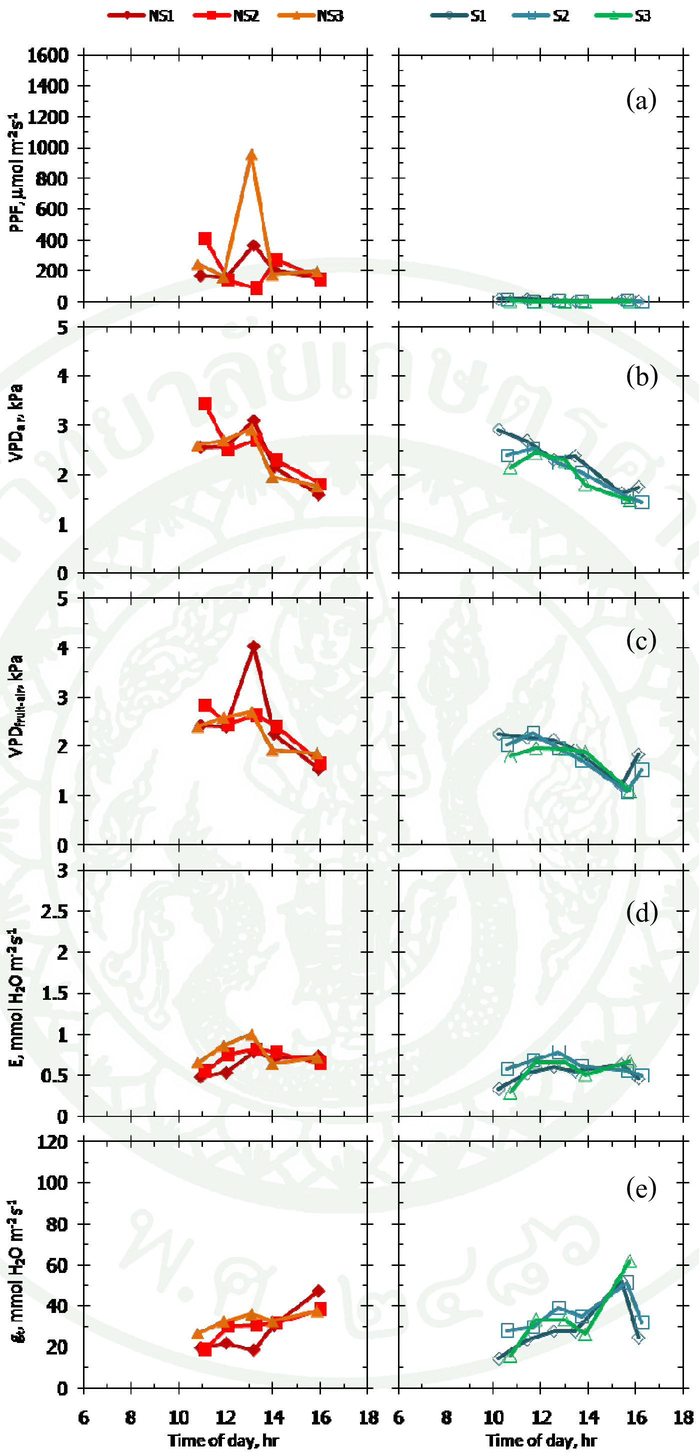
ภาพผนวกที่ 10 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 7 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



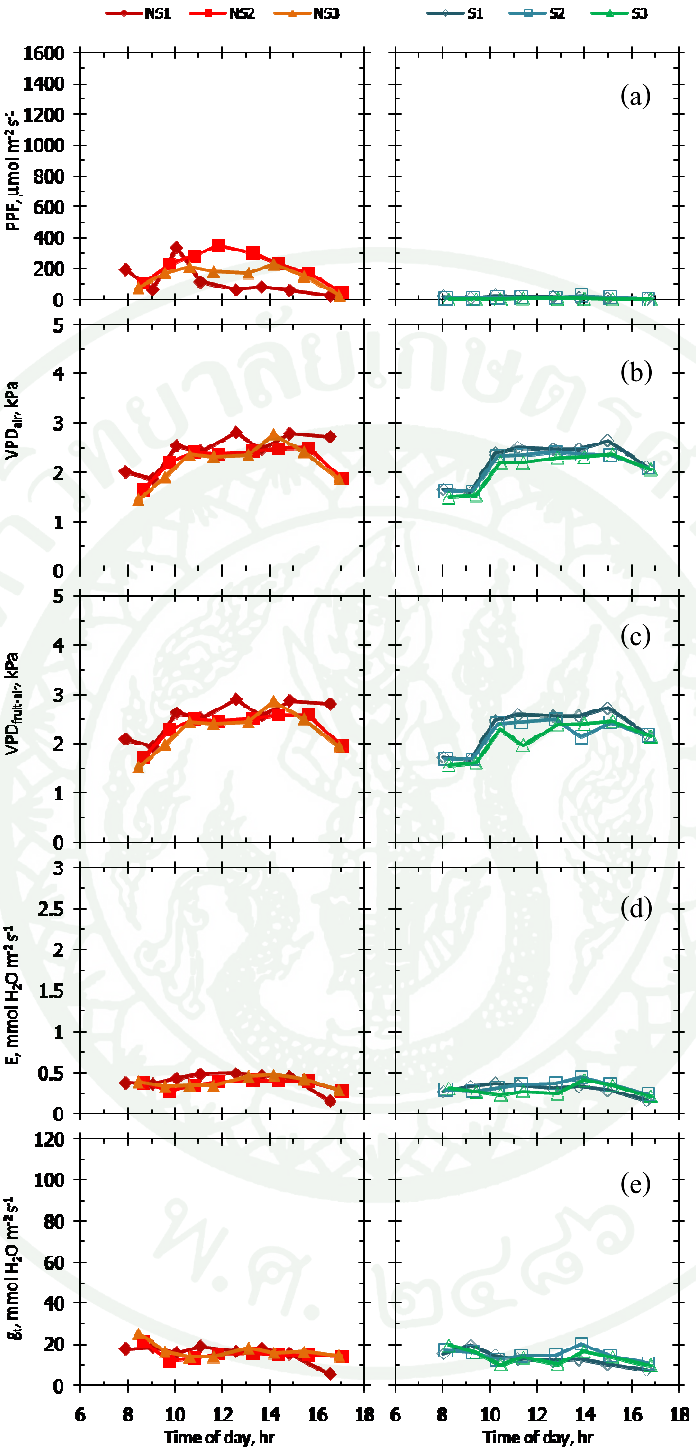
ภาพผนวกที่ 11 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 8 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



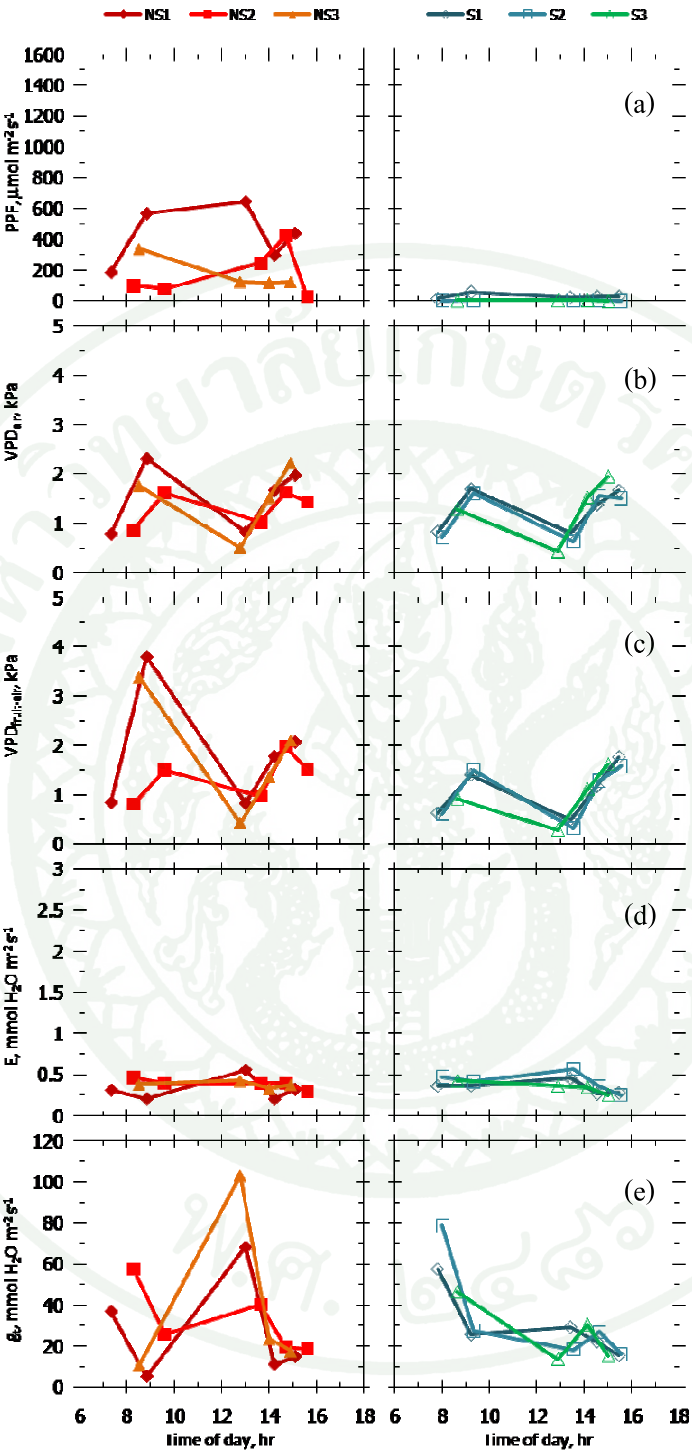
ภาพผนวกที่ 12 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 9 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



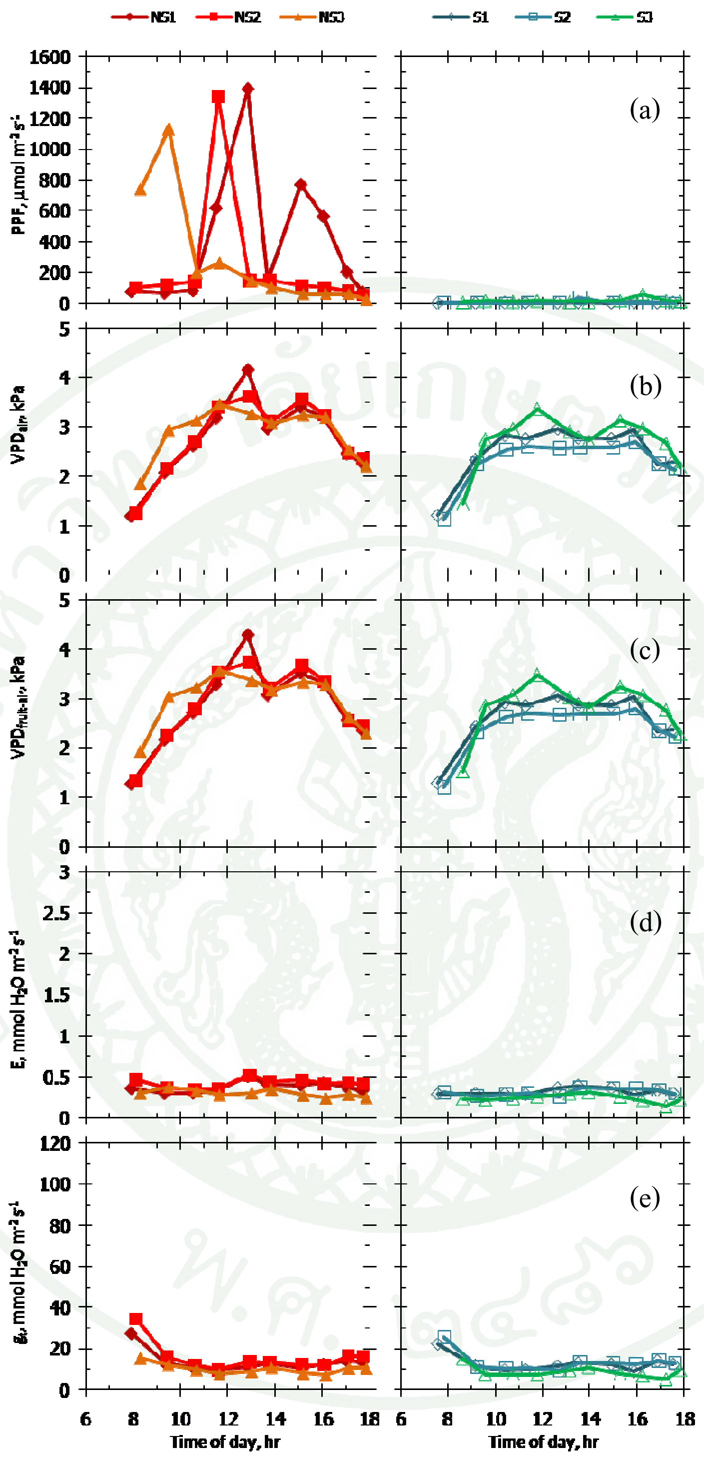
ภาพผนวกที่ 13 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 10 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



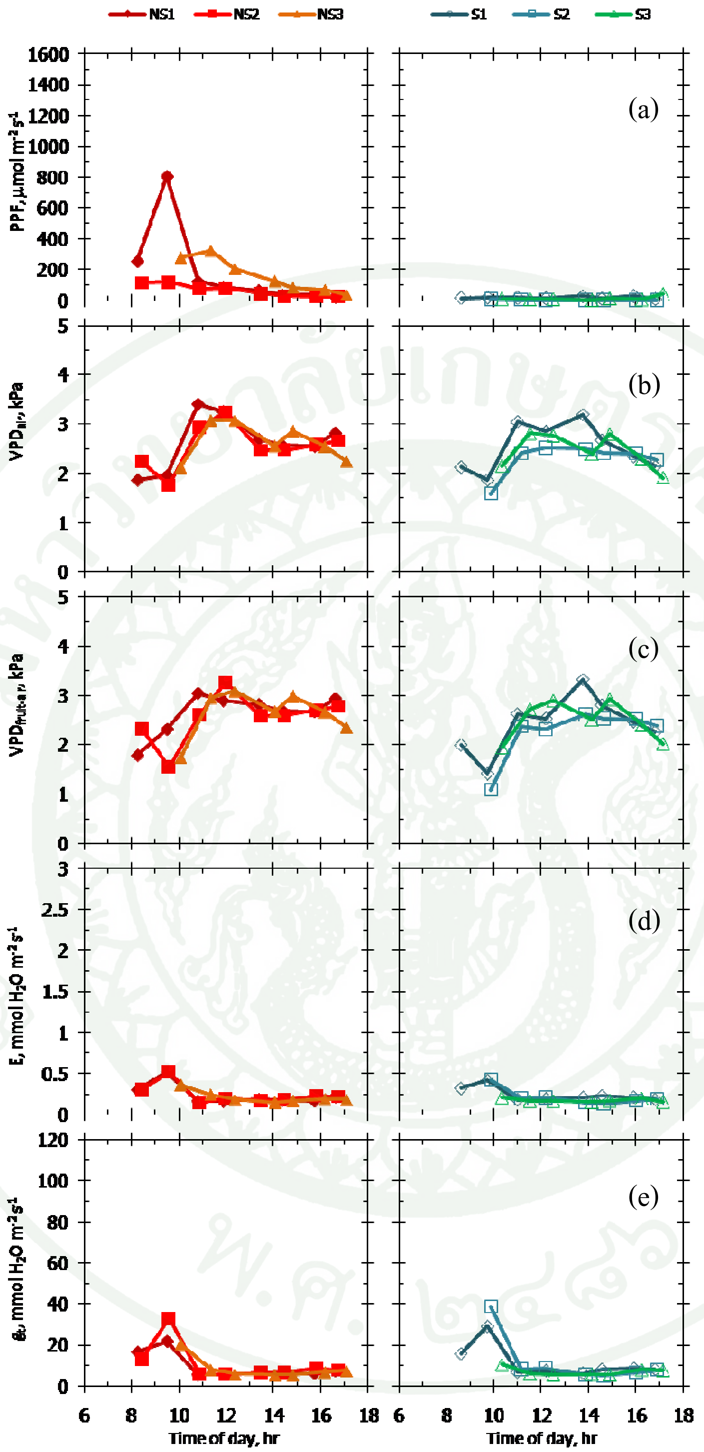
ภาพผนวกที่ 14 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 11 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 15 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 12 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 16 อัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของผลมังคุดอายุ 13 สัปดาห์ตลอดทั้งวันควบคู่กับสภาพอากาศที่ผลสัมผัส a) ความเข้มแสง b) แรงดึงระเหยน้ำ c) แรงดึงคายน้ำ d) อัตราคายน้ำ และ e) ค่านำไหลรวม เมื่อ NS หมายถึง ผลที่อยู่ภายนอกทรงพุ่ม และ S หมายถึงผลที่อยู่ภายในทรงพุ่ม (แต่ละเส้นเป็นค่าที่วัดจากผลเดียวกัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายวินัย อุดขาว

เกิดวันที่ 18 มีนาคม 2528

สถานที่เกิด เขตดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตำแหน่งปัจจุบัน -

สถานที่ทำงานปัจจุบัน -

ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -

ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์