 doi : .....

ผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลต่อระบบสืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมีย ของมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร และปลักไม้ลาย

The effects of seasonal variation on the development of male and female reproductive systems of papaya in 'Khaek Dam Kaset' and 'Plug Mai Lai' cultivars

ภานุวรรณ บัวทองจันทร์[1*] ปาริชาติ เบิร์นส[2,3] และ เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์[1]

Panuwan Buathongjan[1*], Parichart Burns[2,3] and Kriengsak Thaipong[1]

บทคัดย่อ

มะละกอ (*Carica papaya* L.) เป็นไม้ผลโตเร็ว มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา ซึ่งมีการนำไปปลูก และได้รับความนิยมในเขตร้อนและกึ่งร้อน การศึกษาที่มีมาก่อนได้รายงานความแปรผันของรูปร่างและคุณภาพของผลในรอบปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อราคาและปริมาณมะละกอที่ผลิตได้ เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลต่อระบบสืบพันธุ์ของมะละกอ คณะผู้วิจัยจึงทำการปลูกมะละกอเพศกะเทย 2 พันธุ์ ได้แก่ แขกดำเกษตร และ ปลักไม้ลาย โดยศึกษาการพัฒนาของดอกมะละกอด้วยการตรวจสอบระบบสืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมีย และตรวจสอบคุณภาพของผล (น้ำหนักผล ความหนาเนื้อ และปริมาณเมล็ดในผล) พบว่า ในฤดูร้อนความมีชีวิต และเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรต่ำที่สุดในมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ ทั้งดอกชนิด elongata และ reduced elongata โดยในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรไม่พบเมล็ดสมบูรณ์ในผลที่เกิดจากดอกที่พัฒนาในหน้าร้อน นอกจากนั้นน้ำหนักผลยังต่ำที่สุด ในหน้าฝนมีปริมาณไข่และเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรไม่แตกต่างกันในมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ ในฤดูหนาวจำนวนละอองเกสรที่มีชีวิตและเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรสูงที่สุดในมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ ทั้งในดอกชนิด elongata และ reduced elongata โดยในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรมีคุณภาพผลสูงที่สุดในฤดูหนาว จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมากกว่ามะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

คำสำคัญ: มะละกอ, ละอองเกสร, ดอกมะละกอ

Abstract

Papaya (*Carica papaya* L.) is a fast growing fruit tree that is native to Central America. It is now widely grown in tropical and subtropical areas. Previous studies indicated the variation of papaya fruit quality throughout the year. This greatly impact the price and availability of papaya fruit. In this study, the effects of seasonal changes on papaya reproductive systems were investigated in hermaphrodite plants of two papaya cultivars, Khaek Dam Kaset and Plug Mai Lai. The flower development as well as male and female reproductive systems and fruit development (fruit weight, flesh thickness and seed number) were determined. The study indicated that percentage of viable pollen and pollen germination in summer were lowest in Khaek Dam Kaset and Plug Mai Lai cultivars in both elongata and reduced elongata flower types. In Khaek Dam Kaset, fruits developed from flowers in summer did not have any

[1] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

[2] ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

[2] National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), Pathum Thani, 12120, Thailand

[3] ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140 และศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

[3] Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140, and Center of Excellence on Agricultural Biotechnology (AG–BIO/PERDO–CHE), Bangkok, 10900, Thailand

* Corresponding author: panuwan.p@gmail.com

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

seed and the average fruit weight was the lowest. In rainy season, there was no significant difference in numbers of ovules and pollen germination rate. In winter, percentage of viable pollen and pollen germination were highest in both cultivars in elongata and reduced elongata flower types. In Khaek Dam Kaset, fruit quality was highest in winter season. Therefore, it can be concluded that seasonal variation affected the development of papaya male and female reproductive systems. From the outcome of this study, it can be concluded that Khaek Dam Kaset cultivar was more responsive to seasonal variation than Plug Mai Lai cultivar.

Keywords: *Carirca papaya*, pollen, papaya flower

คำนำ

มะละกอ (*Carica papaya* L.) เป็นไม้ผลเขตร้อนในวงศ์ Caricaceae มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกากลางแถบประเทศเม็กซิโกและคอสตาริกา แล้วแพร่กระจายพันธุ์มายังทวีปเอเชียและประเทศไทย มะละกอเป็นไม้ผลที่สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย โดยมะละกอนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 เพศ คือ ต้นเพศผู้ ต้นเพศเมีย และต้นเพศกะเทย จึงเป็นพืชที่สามารถผสมภายในต้นและผสมข้ามต้นได้ โดยต้นกะเทยมีดอก 5 ชนิด คือ elongata, reduced elongata, pentandria, carpelloid elongata และ carpelloid pentandria โดยดอก elongata และ reduced elongata มีอับละอองเกสร 10 อัน ดอก pentandria และ ดอก carpelloid pentandria มีอับละอองเกสร 5 อัน ในขณะที่ดอก carpelloid elongata มีอับละอองเกสร 2-10 อัน โดยผลที่พัฒนาจากดอก elongata ให้ผลที่เป็นรูปร่างทรงกระบอกและเป็นที่ต้องการของเกษตรกรและตลาด ดอก reduced elongata ไม่สามารถพัฒนาไปเป็นผลเนื่องจากรังไข่ไม่สมบูรณ์ ดอก pentandria ให้ผลที่เป็นทรงกลม เนื้อผลบางจึงไม่เป็นที่ต้องการของเกษตรกรและตลาด ดอก carpelloid elongata ให้ผลที่มีรูปร่างยาวบิดเบี้ยว เนื่องจากก้านอับละอองเกสรเชื่อมติดกับผนังรังไข่ ทำให้รูปร่างรังไข่บิดเบี้ยว และดอก carpelloid pentandria เป็นดอก 5 กลีบ ก้านอับละอองเกสรเจริญเชื่อมติดกับผนังรังไข่ ทำให้รูปร่างรังไข่บิดเบี้ยว ผิดปกติ ผลที่ได้จะมีรูปร่างบิดเบี้ยว

มะละกอเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยชนิดหนึ่ง เนื่องจากคนไทยนิยมบริโภคทั้งในรูปผลดิบและผลสุก คุณประโยชน์ของเนื้อมะละกอนั้นมีมากมายต่อผู้บริโภค เนื่องจากอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุสำคัญหลายชนิดต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีการนำมะละกอไปใช้ในด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมด้านเวชภัณฑ์ เป็นต้น

มะละกอพันธุ์แขกดำนิยมปลูกมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่อเนกประสงค์สามารถนำมาประกอบอาหารพวกส้มตำ ทานสุก และส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อทานสุกอย่างเดียว คือ พันธุ์ปลักไม้ลาย โดยคุณภาพผลที่ตลาดต้องการในพันธุ์แขกดำ คือ ทรงผลจะต้องเป็นทรงกระบอก น้ำหนักผลประมาณ 0.6–2 กก. และความหนาเนื้อประมาณ 2.5–3 ซม. ส่วนในพันธุ์ปลักไม้ลาย คือ ผลเป็นทรงกระบอกคล้ายลูกฟักอ่อน น้ำหนักผลประมาณ 0.8–2 กก. และความหนาเนื้อประมาณ 2.5–3 ซม. (กองบรรณาธิการนิตยสารเทคโนโลยีชาวบ้าน, 2557) โดยปริมาณผลผลิตมะละกอทั้งพันธุ์แขกดำและปลักไม้ลาย มีมากในช่วงเดือนเมษายน–มิถุนายน และผลผลิตน้อยในช่วงเดือนกรกฎาคม–กันยายน (สิริกุล, 2557) ซึ่งชี้ว่าฤดูกาลส่งผลต่อการผลิตมะละกอ นอกจากนั้นยังพบว่าคุณภาพของผลทั้งน้ำหนักผล ความหนาเนื้อผล และรูปทรงของผล ในบางฤดูไม่เป็นตามที่ต้องการของตลาด ทำให้เกษตรกร และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้รับผลกระทบ คณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลว่ามีผลต่อระบบสืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและปลักไม้ลายอย่างไร

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเลือกมะละกอ 2 พันธุ์ คือ แขกดำเกษตรและปลักไม้ลาย เพื่อเป็นตัวแทนมะละกอพันธุ์อื่น ๆ เนื่องจากมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ นี้เป็นที่นิยมในตลาดและอุตสาหกรรมอาหาร โดยทำการศึกษาระบบสืบพันธุ์และคุณภาพผลที่พัฒนามาจากดอกเพศกะเทยชนิด elongata เก็บข้อมูลโดยการเปรียบเทียบทั้ง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ซึ่งช่วงฤดูต่าง ๆ ของประเทศไทยมีดังนี้ ฤดูร้อนอยู่ในช่วงระหว่าง 15 กุมภาพันธ์ -15 พฤษภาคม ฤดูฝนอยู่ในช่วงระหว่าง 15 พฤษภาคม -15 ตุลาคม และฤดูหนาวอยู่ในช่วงระหว่าง 15 ตุลาคม -15 กุมภาพันธ์ (กรมอุตุนิยมวิทยา) มีวิธีการทดลองดังนี้

1. การตรวจสอบการพัฒนาของดอก

ปลูกมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร (Khaek Dam kaset; KDKS) และปลักไม้ลาย (Plug Mai Lai; PML) ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม ปลูกแบบยกร่องต่ำ ให้น้ำแบบน้ำหยด ระยะห่าง 2.5×2.5 เมตร จำนวน 18 ต้น/พันธุ์ พันธุ์ละ 9 ต้น/แถว เริ่มปลูกเมื่อ 16 กันยายน 2559 ศึกษาดอกมะละกอบนต้นมะละกอเพศกะเทย โดยการติดแท็กที่ตาดอกแล้วติดตามการพัฒนาดอกไป

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

จนดอกบาน เก็บตัวอย่างจำนวน 3 ดอกต่อพันธุ์ ทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 1 เดือน ตรวจสอบและวัดรูปร่างขนาดโดยใช้เวอร์เนียวัดส่วนต่าง ๆ ของดอกได้แก่ กลีบดอก รังไข่ อับละอองเกสร และเกสรเพศเมีย

2. การตรวจสอบคุณภาพของระบบสืบพันธุ์เพศผู้

2.1 การนับปริมาณละอองเกสร

เก็บดอกมะละกอชนิด elongata และ reduced elongata ตัวอย่างละ 3 ดอก ระยะก่อนดอกบาน 1–2 วัน สุ่มเลือกอับละอองเกสร (anther) ดอกละ 3 อับจากทั้งหมด 10 อับ นำมาใส่ในหลอด micro tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายอะซิโตคาร์ไมด์ 1% (เตรียมโดยเติมอะซิโตคาร์ไมด์ 1 กรัม ลงใน 100 มิลลิลิตร 45% glacial acetic acid ที่ต้มเดือดและทำให้เย็นลง นำมากรองด้วยกระดาษกรองสาร และเก็บในขวดสีชา) บดด้วยแท่งบด ทิ้งไว้ 10-20 นาที แล้วผสมให้เข้ากันโดยใช้ไปเปตดูดขึ้นลงเพื่อทำให้ละอองเกสรกระจายตัว ใช้ไปเปตมาดูดลงบนกระจกสไลด์ปริมาณ 30 ไมโครลิตร นับปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิต (viable pollen) ซึ่งจะติดสีแดง และละอองเกสรไม่มีชีวิต (non–viable pollen) ซึ่งไม่ติดสีแดงของสารอะซิโตคาร์ไมด์ (Phuangrat *et al*., 2013) โดยนับทั้งหมด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10X (Nikon YS100)

2.2 การตรวจสอบการงอกของละอองเกสร

เก็บดอกมะละกอชนิด elongata และ reduced elongata ณ วันดอกบาน แล้วใช้พู่กันปัดอับละอองเกสรที่แตกลงหลุม Falcon Multiwell Plates 6 well ที่มี germination medium ที่ประกอบด้วย น้ำตาลซูโครส 5% boric acid 2.43 มิลลิโมลาร์ และ calcium nitrate 2.12 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร วัดการงอกโดยบ่มละอองเกสรที่ 28 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 80% นาน 5 ชั่วโมง (Phuangrat *et al*., 2013) ในเครื่องควบคุมสภาพแวดล้อม (Growth chamber/Phytotron) จากนั้นนำมาย้อมด้วยสารละลาย Safranin O (ละลาย 1 กรัม Safranin O ใน 100 มิลลิลิตร สารละลายเอทธานอล 50% (v/v) ดูดลงกระจกสไลด์ปริมาณ 30 ไมโครลิตร นับการงอกของละอองเกสร (ละอองเกสรที่มีการสร้างหลอดละอองเกสรที่มีความยาวมากกว่าตัวละอองเกสรเอง) ทั้งหมดด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10X (Nikon YS100) และคำนวณเปอร์เซ็นต์การงอก

3. การตรวจสอบคุณภาพของระบบสืบพันธุ์เพศเมีย

เก็บดอกมะละกอชนิด elongata ตั้งแต่ดอกระยะที่ 1 ถึง ระยะที่ 5 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ตั้งเกณฑ์ขึ้นมาสำหรับการทดลองนี้เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาระยะการพัฒนาของดอกมะละกอ นำมาวัดขนาดของรังไข่และผ่ารังไข่ด้วยมีดผ่าตัดเบอร์ 11 โดยผ่าตามแนวยาวแบ่งเป็นหลาย ๆ ชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการแยกไข่ออกมา จากนั้นใช้แหนบปลายแหลมและเรียบค่อย ๆ ดึงไข่ออกจากรังไข่ทั้งหมด นำมาวางบนสไลด์หยดน้ำกลั่นลงบนสไลด์ที่มีไข่ เพื่อทำให้ไข่กระจายทั่วสไลด์ไม่จับกันเป็นกลุ่มก้อนและลดการเสียน้ำของไข่ ใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10X (Nikon YS100) นับจำนวนไข่ทั้งหมด

4. การประเมินน้ำหนักผล ความหนาเนื้อผล และจำนวนเมล็ด

ทำการติดแทค ดอกมะละกอชนิด elongata ระยะที่ 4 ดอกยังไม่บาน เริ่มทำการนับวันตั้งแต่วันติดแทคไปจนถึงวันผลสุก โดยเลือกผลที่มีรูปทรงกระบอกและขนาดตามที่ต้องการของตลาดหรือที่เกษตรกรเก็บเกี่ยว แล้วนำผลมาชั่งน้ำหนัก (kg.) วัดความหนาเนื้อผล (cm.) และนับเมล็ดทั้งหมดในผล

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า 95%

ผล

1. การตรวจสอบการพัฒนาของดอกมะละกอ

ผลการศึกษาลักษณะของดอกมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและปลักไม้ลายบนต้นเพศกะเทย โดยแท็กดอกที่ขนาด 1 ซม. กำหนดให้เป็นดอกระยะที่ 1 เพื่อศึกษาการพัฒนาของดอกตั้งแต่ระยะที่ 1 ถึงระยะที่ 5 และในแต่ละช่วงเวลาที่ศึกษา แบ่งระยะการเจริญเติบโตของดอกมะละกอออกเป็น 5 ระยะ เริ่มต้นศึกษาตาดอกซึ่งมีขนาดดอกอยู่ที่ 0.3–0.5 ซม. หรือ อายุ 6–7 วัน (David *et al*., 1990) ดอกมีสีเขียวอ่อนเมื่อคลี่ดอกเพื่อดูภายในดอกพบว่า อับละอองเกสรมีสีขาวออกสีเขียวอ่อนขนาดเล็กจำนวน 10 อัน เป็นระยะช่วงกำลังพัฒนาละอองเกสร รังไข่ และเกสรเพศเมีย โดยใช้ระยะเวลา 3–5 วัน เพื่อพัฒนาไปเป็นดอกระยะที่ 1 อายุ 7 วัน มีขนาดดอก 1–1.5 ซม. ดอกมีสีเขียวเข้ม เมื่อคลี่ดอกเพื่อดูภายในดอกพบว่ามีอับละอองเกสรสีขาวทั้งหมด 10 อัน ซึ่งเป็นระยะการพัฒนาของอับละอองเกสรที่ยังไม่สมบูรณ์ (Phuangrat *et al*., 2013) รังไข่เริ่มมีการสร้างไข่และเกสรเพศเมียมีสีเขียวอ่อน ดอกระยะที่ 2 อายุ 14 วัน มีขนาดดอก 2–3 ซม. มีกลีบดอกสีเขียวอ่อน คลี่ดอกดูส่วนภายในดอกพบว่ามีอับละอองเกสรสีเหลือง ดอกระยะที่ 3 อายุ 21 วัน มีขนาดดอก 3–4 ซม. มีกลีบดอกสีเขียวตรงปลายกลีบดอกมีสีเหลืองอ่อนเล็กน้อย ตรวจสอบส่วนด้านในดอกพบว่า มีอับละอองเกสรสีเหลืองซึ่งอยู่ในช่วงการพัฒนาของอับละอองเกสร ก้านชูอับละอองเกสรสีเหลืองยืดยาว เกสรเพศเมีย (stigma) มีสีเขียว ดอกระยะที่ 4 อายุ 28 วัน มีขนาดดอก 4–6 ซม. กลีบดอกมีสีเหลือง มีอับละอองเกสรสมบูรณ์ซึ่งมีสีเหลืองส้ม อับละอองเกสรแตกพร้อมต่อการผสมตัวเอง เกสรเพศ

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

เมียมีสีเหลือง และดอกระยะที่ 5 อายุดอก 28-30 วัน เป็นระยะดอกบานมีขนาดดอก 4–6 ซม. กลีบดอกมีสีเหลืองและกลีบดอกบานมีอับละอองเกสรสมบูรณ์สีเหลืองส้ม มีการแตกของอับละอองเกสรที่พร้อมต่อการผสมตัวเองและผสมข้าม (Figure 1 and Figure 2)

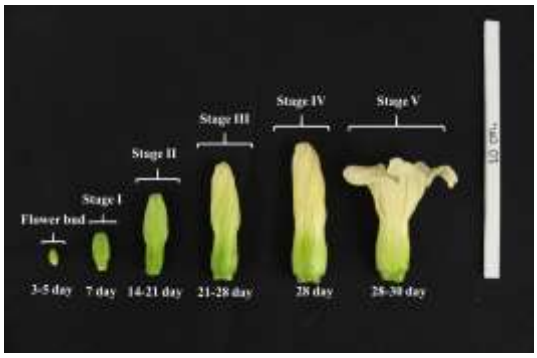

Figure 1 The development of elongata flower type in 'Khaek Dam Kaset' papaya.

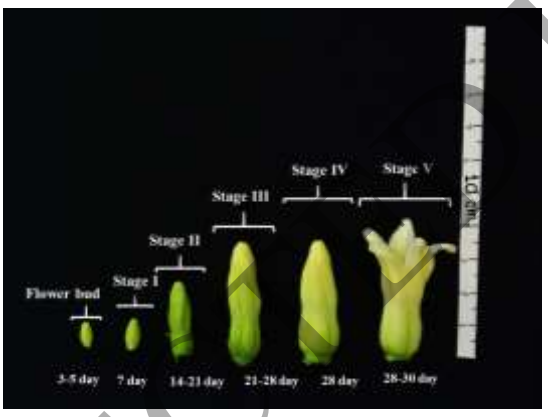

Figure 2 The development of elongata flower type in 'Plug Mai Lai' papaya.

1.1 ขนาดกลีบดอก เกสรเพศเมีย อับละอองเกสร และรังไข่ ของมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร

ผลการวัดความกว้างและความยาวของกลีบดอก เกสรเพศเมีย และอับละอองเกสร โดยมีการพัฒนาขนาดและความยาวเพิ่มขึ้นในระยะดอกที่ 1–3 และหยุดการพัฒนาในเรื่องขนาดเมื่อเข้าสู่ระยะดอกที่ 4 และยังพบว่าความกว้างของอับละอองเกสรตั้งแต่ระยะที่ 1–5 ไม่เปลี่ยนแปลงคือ 0.10±0.00 ซม. (Table 1)

ขนาดรังไข่ (ovary) ของดอกระยะที่ 1 มีขนาดเฉลี่ยความกว้าง 0.33±0.06 ซม. ความยาวเฉลี่ย 0.67±0.06 ซม. ขนาดรังไข่เพิ่มขึ้นในดอกระยะที่ 2 มีความกว้างรังไข่เฉลี่ย 0.57±0.06 ซม. ความยาวเฉลี่ย 1.40±0.10 ซม. ขนาดรังไข่ในดอกระยะที่ 3 มีความกว้างรังไข่เฉลี่ย 0.73±0.06 ซม. ความยาวเฉลี่ย 1.67±0.15 ซม. ขนาดรังไข่ในดอกระยะที่ 4 ความกว้างรังไข่เฉลี่ย 0.90±0.00 ซม. ความยาวเฉลี่ย 2.33±0.06 ซม. และขนาดรังไข่ในดอกระยะที่ 5 ความกว้างรังไข่เฉลี่ย 1.03±0.06 ซม. ความยาวเฉลี่ย 2.90±0.17 ซม. ซึ่งพบว่าขนาดของรังไข่ตั้งแต่ดอกระยะที่ 1 จนถึงดอกระยะที่ 5 มีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (Table 2)

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

Table 1 The size, width and length of petal, pistil and anther in 'Khaek Dam Kaset' papaya.

Stage	Width (cm)			Length (cm)		
	Petal	Pistil	Anther	Petal	Pistil	Anther
1	0.37±0.06[d]	0.27±0.06[c]	0.10±0.00	1.10±0.17[d]	0.27±0.06[c]	0.57±0.06[d]
2	0.60±0.00[c]	0.47±0.06[bc]	0.10±0.00	1.87±0.15[c]	0.43±0.15[c]	0.77±0.06[c]
3	0.90±0.00[b]	0.63±0.06[b]	0.10±0.00	2.50±0.20[b]	0.87±0.06[b]	1.47±0.06[b]
4	1.03±0.06[a]	0.93±0.15[a]	0.10±0.00	3.30±0.20[a]	1.20±0.10[a]	1.67±0.67[a]
5	1.03±0.06[a]	0.93±0.15[a]	0.10±0.00	3.30±0.20[a]	0.97±0.06[a]	1.67±0.67[a]

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

Table 2 The width and length of ovary in 'Khaek Dam Kaset' papaya.

Stage	Ovary size (cm)/flower	
	Width	Length
Stage 1	0.33±0.06[d]	0.67±0.06[d]
Stage 2	0.57±0.06[c]	1.40±0.10[c]
Stage 3	0.73±0.06[b]	1.67±0.15[c]
Stage 4	0.90±0.00[a]	2.33±0.06[b]
Stage 5	1.03±0.06[a]	2.90±0.17[a*]

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

1.2 ขนาดกลีบดอก เกสรเพศเมีย อับละอองเกสร และรังไข่ ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

ผลการวัดความกว้างและความยาวของกลีบดอก และ เกสรเพศเมีย พบว่า มีขนาดเพิ่มขึ้นในระยะดอกที่ 1–3 และหยุดการพัฒนาในเรื่องขนาดเมื่อเข้าสู่ระยะดอกที่ 4 ในขณะที่ความกว้างของอับละอองเกสรมีความกว้างเท่าเดิมตั้งแต่ระยะที่ 1–5 คือ 0.10±0.00 ซม. (Table 3)

รังไข่มีการพัฒนาขนาด โดยขนาดของรังไข่ของดอกระยะที่ 1 มีขนาดเฉลี่ยความกว้าง 0.20±0.00 ซม. ความยาวเฉลี่ย 0.40±0.10 ซม. ขนาดรังไข่เพิ่มขึ้นในดอกระยะที่ 2 มีความกว้างรังไข่เฉลี่ย 0.60±0.00 ซม. ความยาวเฉลี่ย 1.23±0.06 ซม. ขนาดรังไข่ในดอกระยะที่ 3 มีความกว้างรังไข่เฉลี่ย 0.73±0.06 ซม. ความยาวเฉลี่ย 1.63±0.06 ซม. ขนาดรังไข่ในดอกระยะที่ 4 ความกว้างรังไข่เฉลี่ย 1.00±0.00 ซม.ความยาวเฉลี่ย 2.07±0.06 ซม. และขนาดรังไข่ในดอกระยะที่ 5 ความกว้างรังไข่เฉลี่ย 1.00±0.00 ซม. ความยาว เฉลี่ย 2.30±0.17 ซม. (Table 4)

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

Table 3 The size, width and length of petal, pistil and anther in 'Plug Mai Lai' papaya.

Stage	Width (cm)			Length (cm)		
	Petal	Pistil	Anther	Petal	Pistil	Anther
1	0.33±0.06^{c}	0.27±0.06^{c}	0.10±0.00	0.83±0.29^{c}	0.27±0.06^{c}	0.53±0.06^{d}
2	0.57±0.06^{b}	0.47±0.06^{bc}	0.10±0.00	1.73±0.15^{b}	0.43±0.06^{b}	0.83±0.06^{c}
3	0.80±0.10^{a}	0.63±0.63^{b}	0.10±0.00	2.17±0.15^{ab}	0.80±0.00^{a}	1.47±0.06^{b}
4	1.00±0.10^{a}	0.93±0.15^{a}	0.10±0.00	2.77±0.25^{a}	0.87±0.06^{a}	1.63±0.06^{a}
5	1.00±0.10^{a}	0.93±0.15^{a}	0.10±0.00	2.77±0.25^{a}	0.83±0.06^{a}	1.63±0.06^{a}

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

Table 4 The width and length of the ovary in 'Plug Mai Lai' papaya.

Stage	Ovary size (cm)/flower	
	Width	Length
Stage 1	0.20±0.00d	0.40±0.10d
Stage 2	0.60±0.00c	1.23±0.06c
Stage 3	0.73±0.06b	1.63±0.06b
Stage 4	1.00±0.00a	2.07±0.06a
Stage 5	1.00±0.00a	2.30±0.17a

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความกว้างและความยาวในส่วนของกลีบดอก เกสรเพศเมีย อับละอองเกสร และรังไข่ จะมีการพัฒนาตั้งแต่ระยะที่ 1–3 อย่างเต็มที่ และมาหยุดในระยะที่ 4–5 ซึ่งทั้งสองระยะนี้จะมีขนาดเท่ากัน ส่วนความกว้างของอับละอองเกสรในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและปลักไม้ลายมีความกว้างเท่ากันและไม่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ระยะที่ 1–5 และในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรจะมีขนาดความกว้างและความยาวของส่วนกลีบดอก เกสรเพศเมีย อับละอองเกสร และรังไข่มากกว่ามะละกอพันธุปลักไม้ลาย ซึ่งสอดคล้องกับขนาดผลที่ได้ โดยผลมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรจะมีผลใหญ่กว่ามะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

2. การตรวจสอบคุณภาพของระบบสืบพันธุ์เพศผู้

2.1 ปริมาณละอองเกสรในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร

ผลการตรวจนับปริมาณละอองเกสร (pollen) ในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรที่ย้อมด้วยสารละลายอะซิโตคาร์ไมด์ ใน 3 ฤดูกาล พบว่า ละอองเกสรที่มีชีวิตของดอก elongata ทั้งสามฤดูไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของละอองเกสรที่มีชีวิตพบว่าในฤดูหนาวมีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของละอองเกสรสูงที่สุดคิดเป็น 82% และปริมาณความไม่มีชีวิตในดอก elongata นั้นไม่แตกต่างกันทางสถิต ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในฤดูร้อนมีเปอร์เซ็นต์ความไม่มีชีวิตสูงที่สุด 30% ส่วนในฤดูหนาวมีละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตต่ำที่สุดคิดเป็น 18% ส่วนในดอก reduced elongata มีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตสูงที่สุดในฤดูหนาวและฝน ในขณะที่ฤดูร้อนมีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตต่ำที่สุด และปริมาณละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตพบว่า ฤดูร้อนและฝนมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ฤดูหนาวมีปริมาณละอองเกสรไม่มีชีวิตต่ำที่สุดคิดเป็น 3% จะเห็นได้ว่าในฤดูหนาวจะมีปริมาณเกสรที่มีชีวิตสูงที่สุดและปริมาณละอองเกสรไม่มีชีวิตต่ำที่สุดในดอก elongata และ reduced elongata ส่วนฤดูร้อนมีปริมาณละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตสูงที่สุด (Table 5)

UNCORRECTED PROOF

Table 5 The number of pollen in 'Khaek Dam Kaset' papaya in summer, rainy and winter of elongata and reduced elongata flowers.

Season	Flower type and number of pollen			
	Elongata		Reduced elongata	
	viable pollen	non-viable pollen	viable pollen	non-viable pollen
Summer	41,387±9,968 (70%)	17,932±7,442 (30%)	38,362±6,276^{b*} (67%)	19,210±4,809^{a} (33%)
Rainy	49,337±8,760 (71%)	20,098±8,250 (29%)	59,448±7,744^{a} (73%)	22,045±6,002^{a} (27%)
Winter	41,447±26,492 (82%)	9,140±6,440 (18%)	60,872±6,622^{a} (97%)	1,887±740^{b*} (3%)

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

2.2 ปริมาณละอองเกสรในมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

ผลการตรวจนับปริมาณละอองเกสร (pollen) ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตในมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายทั้ง 3 ฤดู ของชนิดดอก elongata และ reduced elongata พบว่า ดอก elongata มีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตสูงที่สุดในฤดูหนาว ในฤดูร้อนและฝนมีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตไม่แตกต่างกัน และ ในฤดูร้อนมีปริมาณเกสรที่ไม่มีชีวิตสูงที่สุดคิดเป็น 17% ในขณะที่ฤดูหนาวและฝนมีปริมาณละอองเกสรต่ำและมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ดอก reduced elongata พบว่า ในฤดูหนาวมีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตสูงที่สุด (คิดเป็น 92%) แต่ปริมาณละอองเกสรไม่มีชีวิตในทั้งสามฤดูนั้นไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่เมื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตกลับพบว่า ในฤดูร้อนมีละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตสูงที่สุดคิดเป็น 18% ส่วนในฤดูฝนและหนาวมีละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตไม่แตกต่างกันคิดเป็น 8% ของทั้ง 2 ฤดู (Table 6)

Table 6 The number of pollen in 'Plug Mai Lai' papaya in summer, rainy and winter of elongata and reduced elongata flowers.

Season	Flower type and number of pollen			
	Elongata		Reduced elongata	
	viable pollen	non-viable pollen	viable pollen	non-viable pollen
Summer	15,190±2,560^{b} (83%)	3,135±528^{a*} (17%)	12,452±1,772^{b} (82%)	2,815±649 (18%)
Rainy	11,372±899^{b} (91%)	1,082±271^{b} (9%)	9,995±847^{b} (92%)	867±357 (8%)
Winter	40,883±1,0468^{a*} (97%)	1,172±223^{b} (3%)	46,658±8,920^{a*} (92%)	3,888±3,551 (8%)

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

ดังนั้นในฤดูร้อนมีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตต่ำที่สุดและยังมีปริมาณละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตสูงที่สุด โดยพบทั้งในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและปลักไม้ลาย และในฤดูหนาวมีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตสูงที่สุดและปริมาณละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตต่ำที่สุด ในมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ เห็นได้ว่าฤดูหนาวนั้นส่งผลดีต่อละอองเกสร และฤดูร้อนส่งผลในด้านลบต่อละอองเกสรมะละกอทั้ง 2 พันธุ์

2.3 เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและปลักไม้ลาย

การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสร ของมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและปลักไม้ลาย ในฤดูร้อน ฝน และหนาว โดยพบว่า ฤดูหนาวมีเปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรสูงที่สุดในทั้งสองพันธุ์ ส่วนในฤดูร้อนมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุดในมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรในมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ ของทั้ง 3 ฤดู พบว่า ในฤดูร้อนมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายมีเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรสูงกว่าพันธุ์แขกดำเกษตรในดอก elongata ส่วนในดอก reduced elongata มีเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรใกล้เคียงกัน ฤดูฝนในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรมีเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรดอก elongata และ reduced elongata ใกล้เคียงกัน ส่วนในมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายเปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรของดอก elongata สูงกว่า reduced elongata เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 พันธุ์ พบว่า

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

ดอก elongata ของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายมีเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรสูงกว่าพันธุ์แขกดำเกษตร ดอก reduced elongata เปอร์เซ็นต์การงอกใกล้เคียงกันในทั้งสองพันธุ์ และฤดูหนาวของพันธุ์แขกดำเกษตรในดอก reduced elongata มีเปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรสูงกว่าดอก elongata ส่วนในพันธุ์ปลักไม้ลายเปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรใกล้เคียงกัน เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรทั้ง 2 พันธุ์ พบว่า ในดอก elongata เปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรทั้งสองพันธุ์ใกล้เคียงกัน และดอก reduced elongata ในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรมีเปอร์เซ็นต์การงอกละอองเกสรสูงกว่าพันธุ์ปลักไม้ลาย (Figure 3 and Table 7)

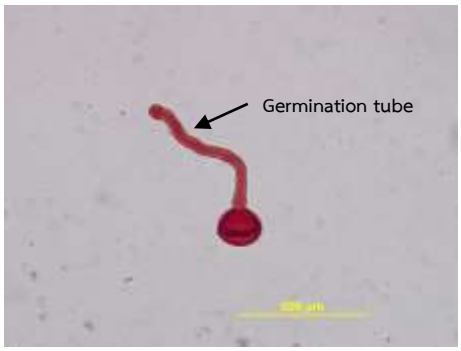

Figure 3 Germination of papaya pollen in germination media.

3. ตรวจสอบคุณภาพของระบบสืบพันธุ์เพศเมีย

ผลการตรวจนับไข่ตั้งแต่ดอกระยะที่ 1 ถึง ระยะที่ 5 ของดอกมะละกอชนิดดอก elongata ทั้ง 2 พันธุ์ ในทั้ง 3 ฤดู พบว่า มะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรดอกระยะที่ 1 ในฤดูหนาวมีปริมาณไข่เฉลี่ยมากที่สุด 171.67±26.55 ไข่/ดอก ฤดูฝนมีปริมาณ 149.67±26.63 ไข่/ดอก ฤดูร้อนมีปริมาณน้อยที่สุด 89.00±44.90 ไข่/ดอก ดอกระยะที่ 2 ฤดูฝนมีปริมาณไข่มากที่สุด 585.70±55.87 ไข่/ดอก ฤดูร้อนและหนาวมีปริมาณไข่เท่ากัน 263.70±33.01 ไข่/ดอก ดอกระยะที่ 3 พบว่า ปริมาณไข่ทั้ง 3 ฤดู ไม่แตกต่างกันซึ่งในฤดูร้อนและหนาวมีปริมาณไข่เท่ากัน 650±91.84 ไข่/ดอก ดอกระยะที่ 4 ในฤดูหนาวและฤดูฝนมีปริมาณไข่มากที่สุด 1230.33±477.30 ไข่/ดอก 1071.00±141.00 ไข่/ดอก ฤดูร้อนมีปริมาณไข่น้อยที่สุด 606.33±79.86 ไข่/ดอก และดอกระยะที่ 5 ฤดูฝนมีปริมาณไข่มากที่สุด 1086.67±156.58 ไข่/ดอก ฤดูหนาวและฤดูร้อนมีปริมาณไม่แตกต่างกันมากโดยมี 851.00±35.68 ไข่/ดอก และ 611.33±81.13 ไข่/ดอก ตามลำดับ ปริมาณไข่นั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยจนถึงดอกระยะที่ 5 โดยจากการตรวจนับปริมาณไข่มะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรในฤดูฝนจะมีปริมาณไข่ค่อย ๆ เพิ่มตามการพัฒนาของรังไข่ แต่ในฤดูร้อนและหนาวปริมาณไข่เพิ่มขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ ดังจะเห็นในฤดูร้อนอย่างชัดเจนที่ระยะที่ 1 ปริมาณไข่ 89.00±44.90 ไข่/ดอก เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 2 มีปริมาณไข่เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าของปริมาณไข่ทั้งหมด (Table 8)

ปริมาณไข่ในดอกมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายทั้ง 3 ฤดู พบว่า ดอกระยะที่ 1 ในฤดูฝนและหนาวมีปริมาณไข่มากที่สุด 208.00±29.82 ไข่/ดอก และ 171.67±39.37 ไข่/ดอก ส่วนฤดูร้อนมีปริมาณไข่น้อยที่สุด 58.33±16.44 ไข่/ดอก ดอกระยะที่ 2 ฤดูฝนมีปริมาณไข่มากที่สุด 720.00±74.73 ไข่/ดอก ซึ่งเพิ่มจากระยะที่ 1 ถึง 3 เท่า รองลงมาเป็นฤดูหนาวมีปริมาณไข่ 451.33±80.98 ไข่/ดอก และฤดูร้อนมีปริมาณไข่น้อยที่สุด 197.00±32.79 ไข่/ดอก ดอกระยะที่ 3 ฤดูหนาวมีปริมาณไข่มากที่สุด 1017.33±83.21 ไข่/ดอก รองลงมาเป็นฤดูฝนมีปริมาณไข่ 856.67±47.60 ไข่/ดอก น้อยที่สุดคือ ฤดูร้อน 717.33±15.18 ไข่/ดอก ดอกระยะที่ 4 ฤดูหนาวมีปริมาณไข่มากที่สุด 1220.00±87.73 ไข่/ดอก รองลงมาเป็นฤดูฝนปริมาณไข่ 1111.67±189.64 ไข่/ดอก และฤดูร้อนมีปริมาณไข่น้อยที่สุด 890.00±106.90 ไข่/ดอก ดอกระยะที่ 5 พบว่าในฤดูฝนมีปริมาณไข่มากที่สุด 1335.33±130.92 ไข่/ดอก รองลงมาคือฤดูหนาวมีปริมาณไข่ 1143.00±58.59 ไข่/ดอก ในฤดูร้อนมีปริมาณไข่น้อยที่สุด 1000.33±101.35 ไข่/ดอก ซึ่งพบว่าปริมาณไข่จะเพิ่มเป็นเท่าตัวเมื่อเข้าสู่ดอกระยะที่ 2 แล้วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระยะที่ 4 และ 5 (Table 9)

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

Table 7 Pollen germination percentage of 'Khaek Dam Kaset' (KDKS) and 'Plug Mai Lai' (PML) papaya in 3 seasons.

Season	Cultivars	Flower type	% Germination of pollen	
			Germinate (%)	Not germinated (%)
Summer	KDKS	Elongata	15	85
		Reduced elongata	14	86
	PML	Elongata	21	79
		Reduced elongata	18	82
Rainy	KDKS	Elongata	29	71
		Reduced elongata	20	80
	PML	Elongata	37	63
		Reduced elongata	27	73
Winter	KDKS	Elongata	59	41
		Reduced elongata	73	27
	PML	Elongata	57	43
		Reduced elongata	63	37

Table 8 The number of ovule of 'Khaek Dam Kaset' papaya in summer, rainy and winter of elongata flower.

Season	Number of ovule/flower				
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
Summer	89.00±44.90b	263.70±33.01b	650.33±91.84	606.33±79.86	611.33±81.13b
Rainy	149.67±26.63ab	585.70±55.87a*	632.00±113.86	1071.00±141.00	1086.67±156.58a*
Winter	171.67±26.55a*	263.70±33.01b	650.33±91.84	1230.33±477.30	851.00±35.68ab

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

Table 9 The number of ovule of 'Plug Mai Lai' papaya in summer, rainy and winter of elongata flower.

Season	Number of ovule/flower				
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
Summer	58.33±16.44b	197.00±32.79c	717.33±15.18c	890.00±106.90b	1000.33± 101.35b
Rainy	208.00±29.82a	720.00±74.73a*	856.67±47.60b	1111.67±189.64ab	1335.33±130.92a*
Winter	171.67±39.37a	451.33±80.98b	1017.33±83.21a*	1220.00±87.73a*	1143.00±58.59ab

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

4. การประเมินน้ำหนักผล ความหนาเนื้อผล และจำนวนเมล็ด

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

4.1 มะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร

จากการเปรียบเทียบคุณภาพผลมะละกอได้แก่ น้ำหนัก ความหนาเนื้อ ในรอบปีพบว่า อุณหภูมิสูงในช่วงต้นของการพัฒนาของผลส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อน้ำหนักผลมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร โดยผลที่พัฒนาในฤดูร้อนจะมีน้ำหนักผลน้อยที่สุดเท่ากับ 1.27±0.26 กก. ส่วนความหนาเนื้อนั้นพบว่า ผลที่พัฒนาในฤดูหนาวมีความหนาเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 3.05±0.24 ซม. และผลที่พัฒนาในฤดูร้อนมีความหนาเนื้อน้อยที่สุดเท่ากับ 2.92±0.23 ซม. (Table 10)

นอกจากนั้นยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณเมล็ดของมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร โดยผลมะละกอที่พัฒนาในช่วงฤดูร้อนไม่มีเมล็ดซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฤดูอื่น ๆ จำนวนเมล็ดสมบูรณ์ในผลมะละกอที่พัฒนาในฤดูหนาวมีจำนวนมากที่สุด 288.91±155.7 เมล็ด ผลที่พัฒนาในฤดูฝนมีจำนวนเมล็ดสมบูรณ์เท่ากับ 149.44±69.48 เมล็ด และผลมะละกอที่พัฒนาในฤดูหนาวพบการงอกในผล 63.13±35.94 เมล็ด หรือประมาณ 12.4% ส่วนในฤดูร้อนและฝนไม่พบการงอกในผล (Table 11)

Table 10 Quality of fruit (weight, thickness) of papaya in 'Khaek Dam Kaset' (KDKS) cultivar harvested in 3 seasons.

Cultivar	season	Number of seeds		
		Total seeds	Seed integrity	Seeds germinate in fruit
KDKS	winter–summer	506.28±213.86[a*]	288.91±155.70[a*]	63.13±35.94[a*]
	summer–rainy	0.00[c]	0.00[c]	0.00[b]
	rainy–winter	274.33±101.24[b]	149.44±69.48[b]	0.00[b]

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

Table 11 Number of papaya seeds in 'Khaek Dam Kaset' (KDKS) cultivar in 3 seasons.

Cultivar	season	Number of seeds		
		Total seeds	Seed integrity	Seeds germinate in fruit
KDKS	winter–summer	506.28±213.86a*	288.91±155.70a*	63.13±35.94a*
	summer–rainy	0.00c	0.00c	0.00b
	rainy–winter	274.33±101.24b	149.44±69.48b	0.00b

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

4.2 มะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

จากการเปรียบเทียบคุณภาพผล ได้แก่ น้ำหนักผลและความหนาเนื้อ ซึ่งพบว่าน้ำหนักผลของมะละกอทั้ง 3 ฤดู นั้นไม่แตกต่างกัน ความหนาเนื้อคือ ผลมะละกอที่พัฒนาในฤดูหนาวและฤดูร้อนมีความหนาเนื้อมากที่สุด 2.81±0.26 ซม. และ 2.75±0.21 ซม. ส่วนในฤดูฝนมีความหนาเนื้อน้อยที่สุด 2.52±0.11 ซม. แต่เห็นได้ว่าค่าที่วัดทั้งหมดนั้นมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก จึงทำให้ทราบว่าการพัฒนาของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Table 12) อย่างไรก็ดีพบว่าในผลที่พัฒนาในฤดูหนาวมีปริมาณเมล็ดและมีเมล็ดที่สมบูรณ์มากกว่าในฤดูอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณเมล็ดทั้งหมด 630.55±255.50 เมล็ด และเมล็ดสมบูรณ์มีปริมาณ 513.96±218.49 เมล็ด ฤดูร้อนมีเมล็ดทั้งหมด 459.23±141.72 เมล็ด และมีเมล็ดสมบูรณ์ปริมาณ 314.23±95.54 เมล็ด และฤดูฝนมีจำนวนเมล็ดทั้งหมด 358.50±122.62 เมล็ด และปริมาณเมล็ดสมบูรณ์ 239.55±88.94 เมล็ด ในทั้ง 3 ฤดู ไม่พบว่ามีเมล็ดงอกภายในผล (Table 13)

UNCORRECTED PROOF

Table 12 Quality of fruit (weight, thickness) of papaya in 'Plug Mai Lai' (PML) cultivar harvested in 3 seasons.

Cultivar	Season	Weight (kg.)	Thickness (cm.)
PML	winter–summer	0.86±0.31	2.81±0.26[a]
	summer–rainy	0.78±0.13	2.75±0.21[a]
	rainy–winter	0.76±0.14	2.52±0.11[b*]

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

Table 13 Number of papaya seeds in 'Plug Mai Lai' (PML) cultivar in 3 seasons.

Cultivar	Season	Number of seeds		
		Total seeds	Seed integrity	Seeds germinate in fruit
PML	winter–summer	630.55±255.50[a*]	513.96±218.49[a*]	0.00±0.00
	summer–rainy	459.23±141.72[b]	314.23±95.54[b]	0.00±0.00
	rainy–winter	358.50±122.62[b]	239.55±88.94[b]	0.00±0.00

Remark: Means with different letters in the same column are significantly different at P = 0.05 by Tukey test.

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพผลของมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและปลักไม้ลาย พบว่าอุณหภูมิสูง (ฤดูร้อน) ส่งผลกระทบโดยตรง ทำให้คุณภาพผลลดลง โดยเฉพาะน้ำหนักผล และปริมาณเมล็ดในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร อุณหภูมิต่ำ (ฤดูหนาว) ส่งผลกระทบในทางบวกทำให้ปริมาณเมล็ด และปริมาณเมล็ดที่สมบูรณ์มากขึ้นในมะละกอทั้งสองพันธุ์ และยังทำให้คุณภาพผล ได้แก่ น้ำหนักผล เพิ่มขึ้นในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร อย่างไรก็ตามพบลักษณะที่ไม่ต้องการคือ การงอกของเมล็ดในผลในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตร

วิจารณ์

ผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลในรอบปีต่อระบบสืบพันธุ์มะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและพันธุ์ปลักไม้ลาย ที่อยู่ในสภาพแปลงการทดลอง โดยตรวจสอบการพัฒนาของดอกมะละกอ การตรวจสอบระบบสืบพันธุ์เพศผู้และระบบสืบพันธุ์เพศเมีย และการตรวจสอบน้ำหนักผล ความหนาเนื้อ จำนวนเมล็ด ของผลมะละกอใน 3 ฤดูกาลคือ ฤดูฝน ฤดูร้อน และฤดูหนาว โดยมีรายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติมโตในมะละกออยู่ระหว่าง 20-30 °C (Campostrini and Glenn, 2007; Schulze and Maharaj, 2007).

ผลการศึกษาระบบสืบพันธุ์เพศผู้พบว่า การตรวจสอบปริมาณละอองเกสรมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตพบมากในฤดูหนาวทั้งในดอก elongata และ reduced elongata ของพันธุ์ปลักไม้ลาย ส่วนพันธุ์แขกดำเกษตรจะพบละอองเกสรที่มีชีวิตมากที่สุดในฤดูร้อนและหนาว และปริมาณละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตมีปริมาณมากอยู่ในฤดูร้อนและพบทั้งในมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ เนื่องจากระบบสืบพันธุ์เพศผู้จะมีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมมากที่สุด สอดคล้องจากการรายงานของ Sage *et al.* (2015) กล่าวว่า ช่วงที่ระบบสืบพันธุ์เพศผู้พัฒนาจะมีความไวสูงต่อระดับความเครียดจากความร้อนในพืชหลายชนิดโดยในปี 2559–2560 ที่อยู่ในช่วงการวิจัยอุณหภูมิของฤดูร้อนอยู่ระหว่าง 38.8–20.3 °C โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 18.5 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 30 °C การรายงานของ Saini *et al.* (1983) และ Young *et al.* (2001) ว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า 30 °C ในระยะก่อน meiosis จนถึงระยะ pollen maturity ส่งผลต่อความมีชีวิตของละอองเกสรข้าวสาลีซึ่งในท้ายสุดส่งผลต่อการผสมเกสรและการสร้างเมล็ด และยังพบว่าในพันธุ์แขกดำเกษตรจะมีปริมาณละอองเกสรที่มีชีวิตในดอก reduced elongata ปริมาณสูงกว่าพันธุ์ปลักไม้ลาย ทำให้คาดว่าพันธุ์แขกดำเกษตรอาจจะมีการผสมข้ามต้นสูงกว่าพันธุ์ปลักไม้ลาย ทางคณะผู้วิจัยจึงสันนิษฐานว่า อาจเกิดจากลักษณะของต้นมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรที่มีต้นสูง ข้อใบห่างและกางออก ลมสามารถพัดผ่านได้ง่ายทำให้เหมาะแก่การปลิวของละอองเกสรมากกว่า แต่พันธุ์ปลักไม้ลายนั้นมีลักษณะต้นที่เตี้ย ข้อต้นถี่ และใบปกคลุม การผสมข้ามจึงน่าจะต่ำกว่า เปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเกสรมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าในฤดูหนาวมีเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรสูงที่สุดทั้งในดอก elongata และ reduced elongata ของทั้ง 2 พันธุ์ และ

UNCORRECTED PROOF

ในฤดูร้อนมีเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรต่ำที่สุดในทั้งสองพันธุ์ สอดคล้องกับรายงานที่มีก่อนหน้านี้ของ สุพรพรรณ และคณะ (2557) ว่าการงอกและความมีชีวิตของละอองเกสรลดลงในฤดูร้อนของมะละกอทั้ง 11 พันธุ์ และเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรข้าวฟ่างลดลงเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง (Sunoj *et al*., 2017) ละอองเกสรอ่อนไหวต่ออุณหภูมิที่สูงในฤดูร้อน จึงทำให้ลดการสร้างละอองเกสรในดอก ลดเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสร ลดจำนวนการติดฝักและจำนวนเมล็ดของถั่วชิกพี (Devasirvatham *et al.,* 2012)

การตรวจสอบระบบสืบพันธุ์เพศเมีย โดยการนับปริมาณไข่ของมะละกอทั้ง 2 พันธุ์ พบว่า มีปริมาณไข่สูงที่สุดในฤดูฝนและหนาว แต่ในฤดูร้อนมีจำนวนไข่ปริมาณน้อย อุณหภูมิที่สูงในฤดูร้อนอาจส่งผลต่อการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์เพศเมีย โดยความเครียดที่มาจากความร้อนส่งผลให้อับละอองเกสรผิดปกติและส่วนของ style ยาวออกมาจากดอกมีผลต่อการผสม และยังส่งผลให้การพัฒนาของรังไข่ผิดปกติในถั่วชิกพี และ มะเขือเทศ (Sita *et al.,* 2017; Giorno *et al*., 2013) อุณหภูมิสูงมีผลให้การงอกของละอองเกสรลดลงทำให้การผสมกับไข่ลดลง และอุณหภูมิสูงทำให้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียทำให้การสร้างไข่ลดลง (Sita *et al.,* 2017) ปริมาณไข่ในฤดูร้อนจึงมีปริมาณที่ลดลง

การตรวจสอบคุณภาพผลมะละกอ ได้แก่ น้ำหนักผล ความหนาเนื้อ และจำนวนเมล็ดในผล ดอกที่พัฒนาช่วงฤดูหนาวและเก็บผลสุกในฤดูร้อนมีน้ำหนักผล ความหนาเนื้อสูงที่สุด ส่วนดอกที่พัฒนาในฤดูร้อนและเก็บผลฤดูฝนมีค่าน้ำหนัก ความหนาเนื้อ ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในพันธุ์แขกดำเกษตร อุณหภูมิที่สูงมีส่วนที่ทำให้การพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ผิดปกติ มีผลให้น้ำหนักผล และความหนาเนื้อลดลง Tamaki *et al*. (2011) รายงานว่า น้ำหนักผลและจำนวนผลของมะละกอต่อต้นลดลงในพันธุ์ Sunrise Solo และ Wonder Flare เมื่ออยู่ในช่วงฤดูร้อนพันธุ์ปลักไม้ลายมีน้ำหนักผลและความหนาเนื้อไม่มีความแตกต่างกันในทั้ง 3 ฤดู จำนวนเมล็ดนั้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อพืชด้วยเช่นกัน ผลการตรวจสอบจำนวนเมล็ด พบว่าเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนจำนวนเมล็ดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด หรือไม่มีเมล็ดในผล อย่างเช่นในมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรที่เมื่อดอกพัฒนาในช่วงฤดูร้อนไปจนถึงผลสุกพบว่า ไม่มีเมล็ดในผล โดยอุณหภูมิที่มากกว่า 30 °C ลดการเปิดของเกสรเพศเมีย (stigma) และการงอกของละอองเกสรในส่วนของ stigma และ style และส่งผลให้ละอองเกสรไม่สามารถปล่อยสเปิร์มเพื่อเข้าไปผสมกับไข่ได้ (Sage *et al*., 2015) เป็นผลให้การผสมลดลงจึงทำให้เมล็ดลดลง การรายงานของ Lesjak and Calderini (2017) ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มในช่วงกลางคืนในช่วงการออกดอกของคีนัวส่งผลให้จำนวนเมล็ดลดลงลง 30% ซึ่งมีความสอดคล้องกัน และยังมีรายงานของ Ugarte *et al*. (2007) ว่าปริมาณของเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่อุณหภูมิ ความชื้น มีการเปลี่ยนแปลงและอยู่ในช่วงที่พืชกำลังสร้างเมล็ดส่งผลให้ลดการสร้างเมล็ดลงในพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วชิกพี ถั่วลันเตา ถั่วเขียว ถั่วเลนทิล และถั่วพุ่ม (Vicente *et al.,* 2017) และยังพบอีกว่าเกิดการงอกของเมล็ดในผลมะละกอ ซึ่งเป็นช่วงที่มีการพัฒนาของผลช่วงฤดูหนาวและเก็บผลสุกในฤดูร้อนมีเมล็ดงอกในผลมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรเพียงพันธุ์เดียว อาจจะมีสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยภายในและภายนอกมารวมกันจนทำให้มีการงอกของเมล็ดในผล เช่น แสง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำตาลในเมล็ด ฮอร์โมน และความสมบูรณ์ของเมล็ด (Sano *et al*., 2016; North *et al.,* 2010) และเมล็ดที่มีการงอกภายในผลจะงอกในส่วนของบริเวณกลางผลหรือส่วนของก้นผลเป็นส่วนใหญ่ และจากงานที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่าในธัญพืชและมะเขือเทศที่เกิดเมล็ดงอกในผล ชี้ให้เห็นว่าการงอกภายในผลน่าจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮอร์โมน โดยเฉพาะ ABA และ GA (Wang *et al*., 2016; Shu *et al*., 2016)

สรุป

ผลการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลมีผลต่อระบบสืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของมะละกอพันธุ์แขกดำเกษตรและพันธุ์ปลักไม้ลาย โดยเฉพาะในฤดูร้อน พบว่าปริมาณละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตนั้นมีปริมาณสูง เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเกสรลดลง ปริมาณไข่ลดลง จำนวนเมล็ดในผลลดลงในพันธุ์แขกดำเกษตร ในขณะที่พันธุ์ปลักไม้ลายตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลน้อยกว่าสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้เร็วกว่าพันธุ์แขกดำเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (สพภ.) และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสถานที่ทำการศึกษาศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยและเทคโนโลยีชีวภาพพืชและการจัดการแบบบูรณาการ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ และศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารอ้างอิง

กองบรรณาธิการนิตยสารเทคโนโลยีชาวบ้าน. 2557. มะละกอ พืชเศรษฐกิจ พิชิตทางรวย. สำนักพิมพ์มติชน.กรุงเทพฯ. 280 น.

สุพรพรรณ ศรีมาศ, กฤษณี เอี่ยมจัด, สิริกุล วะสี และ เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์. 2557. ผลของฤดูกาลต่อความมีชีวิตและความงอกของละอองเกสรมะละกอ. แก่นเกษตร 42: 174-179.

UNCORRECTED PROOF

สิริกุล วะสี. 2557. มะละกอพืชความหวังใหม่ของเกษตรกร. เอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ สถานการณ์และความเสี่ยงของสินค้าเกษตรไทย. จัดทำและเผยแพร่ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).

Campostrini, E. and D.M. Glenn. 2007. Ecophysiology of papaya: a review. Brazilian Journal of Plant Physiology 19: 413-424.

David, R.S., J.L. Bowman and E.M. Meyerowitz 1990. Early Flower Development in Arabidopsis. The Plant Cell 2: 755-767.

Devasirvatham, V., P.M. Gaur, N. Mallikarjuna, R.N. Tokachichu, R.M. Trethowan and D.K.Y Tan. 2012. Reproductive biology of chickpea response to heat stress in the fieldis associated with the performance in controlled environments. Field Crops Research 142: 9-19.

Giorno, F., M. Wolters-Arts, C. Nariani and I. Rieu. 2013. Ensuring reproduction at high temperatures: the heat stress response during anther and pollen development. Plants 2: 489-506.

Lesjak, J. and D.F. Calderini. 2017. Increased night temperature negatively affects grain yield, biomass and grain number in Chilean Quinoa. Frontiers in Plant Science 8: 1-11.

North, H. S. Baud, I. Debeaujon, C. Dubos, B. Dubreucq, P. Grappin, M. Jullien, L. Lepiniec, A. Marion-Poll, M. Miquel, L. Rajjou, J.M. Routaboul and M. Caboche. 2010. Arabidopsis seed secrets unravelled after a decade of geneticand omics-driven research. The Plant Journal 61: 971-981.

Phuangrat, B., N. Phironrit, A. Son-ong, P. Puangchon, A. Meechai, S. Wasee, W. Kositratana and P. Burns. 2013. Histological and morphological studies of pollen grains from elongata, Reduced elongata and staminate flowers in *Carica papaya* L.. Tropical Plant Biology 6: 210-216.

Sage, T.L., S. Bagha, V. Lundsgaard-Nielsen, H.A. Branch, S. Sultmanis and R.F. Sage. 2015. The effect of high temperature stress on male and female reproduction in plants. Field Crops Research 182: 30-42.

Saini, H.S., M. Sedgley and D. Aspinall. 1983. Effect of heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.). Functional Plant Biology 10: 137-144.

Sano, N., L. Rajjou, H.M. North, I. Debeaujon, A. Marion–Poll and M. Seo. 2016. Staying alive: molecular aspects of seed longevity. Plant and Cell Physiology 57: 660-674.

Schulze, R.E. and M. Maharaj. 2007. Papaya: optimum growth areas. *In* Schulze, R.E. (Ed). 358. 2007. South African atlas of climatology and agrohydrology. Water research 359 commission, Pretoria, RSA, WRC report 1489/1/06, section 17.5.

Shu, K., X. Liu, Q. Xie and Z. He. 2016. Two Faces of One Seed: hormonal regulation of dormancy and germination. Molecular Plant 9: 34-45.

Sita, K., A. Sehgal, B. HanumanthaRao, R.M. Nair, P.V.V. Prasad, S. Kumar, P.M. Gaur, M. Farooq, K.H.M. Siddique, R.K. Varshney and H. Nayyar. 2017. Food legumes and rising temperatures: effects, adaptive functional mechanisms specific to reproductive growth stage and strategies to improve heat tolerance. Frontiers in Plant Science 8: 1-30.

Sunoj, V.S.J., M.I. Somayanda, A. Chiluwal, R. Perumal, P.V.V. Prasad and S.V.K. Jagadish. 2017. Resilience of pollen and post-flowering response in diverse sorghum genotypes exposed to heat stress under field conditions. Crop Science 57: 1658-1669.

Tamaki, M., N. Urasaki, Y. Sunakawa, K. Motomura and S. Adaniya. 2011. Seasonal variations in pollen germination ability, reproductive function of pistils, and seeds and fruit yield in papaya (*Carica papaya* L.) in Okinawa. J. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 80: 156-163.

Ugarte, C., D.F. Calderini and G.A. Slafer. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. Field Crops Research 100: 240-248.

Vicente, J., G.M. Mendiondo, M. Movahedi, M. Peirats-Llobet, Y. Juan, Y. Shen, C. Dambire, K. Smart, P. Rodriguez, Y. Charng, J. Gray, M. Holdsworth. 2017. The Cys–Arg/N–End rule pathway is a generalsensor of abiotic stress in flowering plants. Current Biology. 27: 3183-3190.

Wang, X., L. Zhang, X. Xu, W. Qu, J. Li, X. Xu and A. Wang. 2016. Seed development and viviparous germination in one accession of a tomato *rin* mutant. Breeding Science 66: 372-380.

UNCORRECTED PROOF

 doi : .....

Young, T.E., L. Ling, C.J. Geisler-Lee, R.L. Tanguay, C. Caldwell and D.R. Gallie. 2001. Developmental and thermal regulation of the maize heatshock protein, HSP101[1].
Journal of Plant Physiology 127: 777-791.

UNCORRECTED PROOF