ผลของโพแทสเซียมต่อปริมาณผลผลิต การสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อ ปริมาณน้ำตาล และการยอมรับของผู้บริโภค ต่อมะละกอที่ปลูกในวัสดุปลูก

Effects of Potassium on Yield, Accumulation of Nutrient in Tissues, Sugar Content and Consumer Acceptance of Papaya (*Carica papaya*) Grown under Substrate Culture

นฤมล วชิรปัทมา

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี 12121

ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี 12121

สุนทรี สุวรรณสิชฌน์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของธาตุโพแทสเซียมต่อปริมาณผลผลิต การสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อ ปริมาณน้ำตาล และการยอมรับของมะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 ที่ปลูกในวัสดุปลูกโดยเปลี่ยนความเข้มข้นโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหาร 4 ระดับคือ 100, 200, 300 และ 400 ppm พบว่า ต้นที่รดด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมความเข้มข้น 400 ppm และ 300 ppm ให้จำนวนผลผลิตที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มากกว่าต้นที่รดด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมความเข้มข้น 200 ppm และ 100 ppm การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในผลมะละกอสุกพบว่า โพแทสเซียมมีผลต่อปริมาณน้ำตาลและพบปริมาณกลูโคสมากกว่าฟรุค-โตสเล็กน้อย การศึกษาปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่สะสมในเนื้อเยื่อใบ ก้าน ผลดิบและผลสุกของมะละกอ พบว่าใบเป็นส่วนที่ใช้ธาตุอาหารเกือบทุกตัวมากที่สุด สำหรับธาตุโพแทสเซียมจะพบปริมาณสะสมมากในเนื้อเยื่อทุกส่วนของมะละกอ และพบมากที่สุดที่ก้านใบ นอกจากนี้ผลการทดสอบการยอมรับของผลมะละกอสุกโดยใช้ผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 100 คน พบว่า ทุกตัวอย่างมีคะแนนการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามมะละกอที่รดด้วยสารละลาย

ที่มีโพแทสเซียมความเข้มข้น 100 ppm มีคะแนนการยอมรับด้านความหวาน ความแข็ง และความฉ่ำน้ำขณะเคี้ยวน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ: โพแทสเซียม มะละกอ ระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน ผลผลิต ปริมาณน้ำตาล การยอมรับ

Abstract

Effects of four different concentrations of potassium (100, 200, 300 and 400 ppm) on yield, accumulation of nutrient in tissues, sugar content and consumer acceptance of papaya (*Carica papaya*) grown under substrate culture were investigated. The results indicated that fruit yield of papaya trees treated with nutrient solution containing 400 and 300 ppm of potassium concentration was not significantly different but was higher than those treated with 200 and 100 ppm of potassium concentration. The analysis of sugars content in ripe papaya showed that potassium affected sugar quantity in ripe papaya and glucose was found at slightly higher concentration than fructose. The quantitative analysis of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium accumulated in leaf, leaf stalk, raw papaya and ripe papaya indicated that most nutrients were found in leaf. However, high concentration of potassium was accumulated in all tissues and the highest concentration was in leaf stalk. In addition, results from acceptance test using 100 target consumers indicated that overall acceptance scores of all ripe papaya samples were not significantly different ($p > 0.05$). However, acceptance scores for sweetness, firmness, and juiciness of papaya treated with 100 ppm of potassium concentration were significantly less than those treated with higher potassium concentrations ($p \leq 0.05$).

Keywords: potassium, papaya, substrate culture, yield, sugar content, acceptance

1. บทนำ

พืชจำเป็นต้องใช้น้ำ อากาศ แสง อุณหภูมิที่พอเหมาะ และธาตุอาหาร 16 ชนิดในการเจริญเติบโต โดยพืชได้รับ คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนจากอากาศและน้ำ และได้รับธาตุอาหารอื่นอีก 13 ชนิดจากดิน ซึ่งสามารถแบ่งธาตุอาหารออกได้เป็น 3 กลุ่มตามปริมาณที่พืชจำเป็นต้องใช้คือ ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) ธาตุอาหารรอง (Micronutrients) และธาตุอาหารเสริม (Trace nutrients) ธาตุอาหารหลักประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรองประกอบด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ส่วนธาตุอาหารเสริมประกอบด้วยเหล็ก แมงกานีส โบรอน สังกะสี ทองแดง โมลิบดินัม และคลอรีน ธาตุอาหารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช หากพืชขาดธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง การเจริญเติบโตจะถูกจำกัดด้วยธาตุอาหารนั้นทันที เมื่อขาดธาตุอาหารหรือมีธาตุอาหารมากเกินไป พืชจะแสดงอาการคือ มี

สีหรือรูปร่างที่เปลี่ยนไป แต่อาการที่แสดงออกจะไม่เหมือนกันในพืชแต่ละชนิด การตรวจสอบดินหรือตรวจวิเคราะห์ใบพืชจะช่วยบอกได้ว่าธาตุอาหารชนิดใดที่พืชได้รับในปริมาณน้อย ซึ่งอาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช [1-3]

มะละกอเป็นพืชที่ทำรายได้ดีให้กับเกษตรกร เป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคทั้งภายในประเทศและส่งเป็นสินค้าออก แต่ราคามะละกอมักถูกจำกัดด้วยคุณภาพของผลผลิต ซึ่งได้แก่ ความหวาน ความกรอบและสีของผล คุณสมบัติที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมาจากธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกและการเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสม ความหวานจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำตาลรวมทั้งสารที่ให้กลิ่นชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในผล ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ผลผลิตในปริมาณสูงและมีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของตลาด จึงจำเป็นต้องเลือกสายพันธุ์และให้ธาตุอาหารที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโต เพื่อให้ผลผลิตที่ได้มีความหวานและมีรสชาติดี ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารต่อคุณภาพของผลผลิตมะละกอจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อเศรษฐกิจของภาคเกษตรกรรมและประเทศ

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อมะละกอในด้านความหวาน นอกจากนี้ยังเป็นตัวควบคุมอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจ มีความสำคัญต่อการเกิดแป้ง การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ทำให้พืชมีความต้านทานต่อเชื้อโรค มีความสำคัญต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ รวมทั้งเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์บางชนิด หากพืชขาดธาตุโพแทสเซียม จะแสดงอาการคือการสังเคราะห์แสงจะลดลง แต่การหายใจจะเพิ่มขึ้น ใบจะเหลือง (Chlorosis) เป็นทางๆในใบแก่ก่อนและใบจะแห้งตายเป็นจุดๆบริเวณขอบและปลายใบหรือใบอาจม้วนงอ ลำต้นจะมีข้อปล้องสั้น ลำต้นมักแคระแกรนเป็นโรคง่าย พืชส่วนใหญ่มักต้องการธาตุโพแทสเซียมในปริมาณสูง แต่หากได้รับธาตุโพแทสเซียมมากเกินไปจะทำให้การดูดธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมของพืชไปใช้ลดลง [4] [5]

งานวิจัยที่ศึกษาผลของปริมาณธาตุโพแทสเซียมต่อคุณภาพของผลผลิตพืชบางชนิด ได้แก่ การศึกษาผลของระดับโพแทสเซียมต่อปริมาณสารให้กลิ่นของผลแตงเทศที่ปลูกในวัสดุปลูก โดยแปรเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของ โพแทสเซียม 3 ระดับคือ 120, 240 และ 360 mg/L และพบว่า ที่ความเข้มข้น 240 mg/L มีผลให้สารที่มีกลิ่นหอมคือ n-amyl acetate, 2-butoxyethyl acetate, benzyl acetate, benzyl acetic acid ester, nonadien, acetic acid phenethyl ester, cinnamic acid และ phthalic acid diisobutyl ester มีปริมาณสูงที่สุด [6] นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของโพแทสเซียมที่ระดับความเข้มข้น 400g/plant/crop สำหรับการปลูกมะละกอ [7] ผลการวิจัยพบว่าโพแทสเซียมมีผลให้ความสูงของต้น จำนวนและขนาดของผลทั้งความยาวและความกว้างมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้มีผลวิจัยของ Hartz [8] ซึ่งพบว่าจำนวนผลของมะเขือเทศมีมากขึ้นตามปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่ได้รับรวมทั้งสีของผลก็ดีขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ Lester [9] รายงานว่า ปริมาณน้ำตาลในผลแตงเทศจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่พืชได้รับ

อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมต่อมะละกอ ตั้งแต่การเจริญเติบโตของต้น ตลอดจนคุณภาพของผลผลิตที่ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณธาตุโพแทสเซียมต่อปริมาณผลผลิต การสะสมของธาตุ

อาหารต่างๆ ในเนื้อเยื่อมะละกอ (ใบและผล) ปริมาณน้ำตาลในผล และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลผลิตมะละกอที่ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทดลองกับมะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 ซึ่งเป็นมะละกอลูกผสมระหว่างพันธุ์แขกดำและปากช่อง 1 มีลักษณะสำคัญคือ ทนต่อโรคไวรัส จุดวงแหวนได้ดี แต่ยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายในกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มผู้บริโภคมากนัก เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ใหม่ [10] รวมทั้งได้ทดลองปลูกมะละกอในวัสดุปลูก (Substrate culture) ซึ่งเป็นระบบแบบไม่ใช้ดิน (Soilless culture) เพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่ให้กับมะละกอได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ธาตุอาหารยังอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที และมีการปรับค่าความเป็นกรดด่างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม [11]

2. การทดลอง

2.1 ปริมาณผลผลิตมะละกอ

2.1.1 การเตรียมต้นกล้ามะละกอ

นำเมล็ดมะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 แช่น้ำไว้เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำไปเพาะลงในถาดหลุมที่มีส่วนผสมของทรายหยาบ : ถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1 (โดยปริมาตร) เมื่อมีใบจริง 2-3 คู่ จึงทำการย้ายปลูกลงในกระถางพลาสติกดำขนาด 6 นิ้ว ที่มีส่วนผสมของวัสดุปลูก คือ ทรายหยาบ: ถ่านแกลบ: ขุยมะพร้าว: ใบก้ามปูหมัก อัตราส่วน 1:1:0.5:0.5 กระถางละ 3 ต้น แล้วรดด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมความเข้มข้น 100 ppm โดยใช้สูตรครึ่งความเข้มข้น (half strength concentration) ดังตารางที่ 1 เพื่อให้ต้นกล้าได้ปรับตัวก่อนได้รับสารละลายความเข้มข้น 1 เท่าในแต่ละสูตร เป็นเวลา 2 เดือน

2.1.2 การปลูกมะละกอในวัสดุปลูก

ย้ายต้นกล้ามะละกอลงภาชนะปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 นิ้ว ที่มีวัสดุปลูกคือ ทรายหยาบ : ถ่านแกลบ : ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1.5:0.5 รดด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 100 ppm เป็นเวลา 3 เดือน หรือต้นมะละกอเริ่มออกดอก เลือกต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์ ไม่มีโรค และเป็นต้นกระเทยซึ่งสังเกตได้จากลักษณะดอก ให้เหลือเพียง 1 ต้น/ภาชนะปลูก จากนั้นรดด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมแตกต่างกัน 4 ระดับ จนเสร็จสิ้นการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD 4 ซ้ำ หน่วยการทดลองละ 2 ต้น

2.1.3 การให้สารละลายธาตุอาหารแก่มะละกอ

ให้สารละลายธาตุอาหารด้วยระบบน้ำหยดแก่ต้นมะละกอทุกวัน ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ปริมาณต้นละ 3 ลิตร/ต้น/วัน ตามการทดลอง ดังนี้คือ การทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 100, 200, 300 และ 400 ppm (T_1,T_2,T_3,T_4) ตามลำดับ สูตรธาตุอาหารดังตารางที่ 1

2.1.4 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

เตรียมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น 100 เท่า โดยแยกเป็นสองถังๆละ 10 ลิตร คือ สารละลาย A และสารละลาย B ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยแต่ละถังผสมธาตุอาหารต่างๆ กับน้ำให้ได้ปริมาตร 10 ลิตร และนำสารละลาย A และ B อย่างละ 1.2 ลิตร มาผสมกันแล้วนำไปเจือจางกับน้ำให้ได้ 120 ลิตร ปรับ pH ด้วยกรด HNO_3 ให้สารละลายมีค่า pH เท่ากับ 5.6-5.8 แล้วให้สารละลายธาตุอาหารด้วยระบบน้ำหยด ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ต้นมะละกอได้รับแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น 100 เท่าของที่ใช้รดมะละกอที่ปลูกในวัสดุปลูก

สารเคมี	ความเข้มข้นของโพแทสเซียม 4 ระดับ (ppm)			
	100 (T_1)	**200 (T_2)**	**300 (T_3)**	**400 (T_4)**
Stock A				
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	1357	1357	1357	1357
Fe-EDTA	3.85	3.85	3.85	3.85
Stock B				
KH_2PO_4	204	204	204	272
K_2SO_4	-	130.5	261	261
$(NH_4)_2SO_4$	198	99	-	-
KNO_3	101	212.1	303	535.3
$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	384	384	384	384
$NH_4H_2PO_4$	115	115	115	57.5
$ZnSO_4.7H_2O$ 22%	1.18	1.18	1.18	1.18
$CuSO_4.5H_2O$	0.13	0.13	0.13	0.13
$MnSO_4.H_2O$	1.69	1.69	1.69	1.69
H_3BO_3	1.27	1.27	1.27	1.27
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	0.09	0.09	0.09	0.09
EC (µS/cm)	**1849.67**	**1984.67**	**2135.67**	**2361.33**

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในผลมะละกอสุก

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คือ เครื่อง Capillary electrophoresis (CE) ซึ่งประกอบด้วย HP^{3D} Capillary electrophoresis (Agilent Technologies, Bracknell, UK) และใช้ fused silica capillary (Polymicro technology (Phoenix, AZ, USA) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 75 µm ความยาว 48.5 cm

สารเคมีประกอบด้วย D(+) glucose, D(-) fructose, sucrose, และ hexadecyltrimethylammonium hydroxide (CTAH), 10% weight solution in water (Sigma, Steinheim, Germany), benzoic acid, 99.5% (May&Baker, Dagenham, UK)

การเตรียมตัวอย่างมะละกอเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

ชั่งผลมะละกอสุกที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ หนัก 0.25 g ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml เติม deionized water 80 ml จากนั้นนำไปวางใน ultrasonic bath ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที จากนั้นถ่ายสารตัวอย่างลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml และปรับให้ถึงขีดปริมาตรด้วย deionized water แล้วกรองสารตัวอย่างผ่าน Syringe filter ขนาด 0.45 µm ก่อนนำไปฉีดเข้าเครื่อง CE

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อ

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)

2.3.1.1 เครื่องมือและสารละลาย

เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย Digestion Unit (Gerhardt Model KB20S, Konigswinter, Germany) และDistillation Unit (Gerhardt Model Vap 12, Konigswinter, Germany) และสารละลายที่ใช้ประกอบด้วย standard HCl ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.02 M ถึง 0.05 M เตรียมจากการ standardize HCl ด้วย Na_2CO_3 โดยใช้ methyl red เป็น indicator, sodium hydroxide เข้มข้น 40% ละลาย NaOH ในน้ำ, boric acid-indicator solution เตรียมโดยละลาย boric acid 20 g ในน้ำประมาณ 700 mL อุ่นสารละลายให้ร้อนเพื่อให้ละลายหมด หลังจากนั้นทิ้งสารละลายให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเติม mix indicator 20 mL (เตรียมจากละลาย bromocresol green 0.165 g และ methyl red 0.0825 g ใน ethanol และปรับปริมาตรเป็น 1000 mL ใน volumetric flask) pH มีค่าประมาณ 3.4 และสารละลายมีสีแดงอมส้ม จากนั้นปรับ pH ของสารละลายจนได้ 3.9 ด้วยสารละลาย NaOH โดยใช้ pH meter (สารละลายมีสีม่วงแดง) และปรับปริมาตรเป็น 1000 mL ด้วยน้ำ

2.3.1.2 การเตรียมตัวอย่างมะละกอ

เมื่อมะละกอเริ่มออกดอกจะเก็บใบมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆและนำไปอบให้แห้งที่ 70°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับผลจะเก็บ 2 ครั้งคือผลดิบและผลสุกและจะเตรียมตัวอย่างโดยหั่นเป็นชิ้นเล็กๆและนำไปอบให้แห้งที่ 70°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่าน sieve ขนาด 70 mesh ก่อนนำไปหาปริมาณ nitrogen, phosphorus, potassium, calcium และ magnesium

2.3.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณ Total nitrogen ด้วยวิธี Kjeldahl

ชั่งสารตัวอย่างใบ ก้านหรือผลหนัก 0.3 g ใส่ใน Digestion flask ตามด้วย K_2SO_4 5 g และ $CuSO_4.5H_2O$ หนัก 0.5 g หลังจากนั้นเติม H_2SO_4 เข้มข้น 25 mL และให้ความร้อนกับ digestion flask ใน digestion Unit โดยเริ่มต้นจาก 150°C ประมาณ 30 นาทีจากนั้นค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนถึง 350°C จนได้สารละลายใสซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้สารละลายเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงย้าย digestion flask ไปวางใน distillation unit และเติม 40% NaOH จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีดำลงใน flask (ระบบปิด) จากนั้นบรรจุ boric acid-indicator solution 50 mL ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 mL และวางไว้ในตำแหน่งรองรับ distillate จากการกลั่นสารตัวอย่างโดยให้ปลายหลอดที่แก๊สแอมโมเนียไหลผ่านจุ่มอยู่ในสารละลายตลอดเวลาที่ทำการกลั่น ทำการกลั่นจนได้สารละลายใน erlenmeyer flask ประมาณ 200 mL (distillate) ยก erlenmeyer flask ออกจาก distillation unit และไตเตรตdistillate ที่ได้ด้วยสารละลาย HCl เข้มข้น 0.05 M จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นม่วงอมชมพู

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณ Phosphorus

2.3.2.1 เครื่องมือและสารละลาย

เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย UV-VIS spectrometer, (Perkin Elmer Lambda 35, U.S.A) และสารละลาย sulfuric-molybdate solution (reagent A) เตรียมโดยละลาย ammonium molybdate tetrahydrate 6 กรัม ด้วย deionized water ประมาณ 250 ml และละลาย antimony potassium tartate

0.1454 กรัม ด้วย deionized water ประมาณ 50 ml ผสม ammonium molybdate solution และ antimony potassium tartrate solution เข้าด้วยกันใน beaker แล้วนำสารละลายไปแช่ในภาชนะที่บรรจุน้ำแข็ง ประมาณ 45 นาทีรอจนสารละลายเย็นจัด จึงค่อยๆ เติม conc. H_2SO_4 ลงไปในสารละลายอย่างช้าๆ จำนวน 70 ml และคนสารละลายตลอดเวลา จากนั้นเติม deionized water เพิ่มจนปริมาตรสารละลายประมาณ 490 ml และปล่อยให้สารละลายแช่ในน้ำแข็งต่อไปจนอุณหภูมิเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายเป็น 500 ml ใน volumetric flask ด้วย deionized water (ควรเก็บสารละลายในที่มืด และอุณหภูมิต่ำ และเก็บไว้ได้ไม่เกิน 5 วัน) สำหรับworking solution (สารละลายที่ใช้ในการ form complex) เตรียมโดยละลาย ascorbic acid 1.5 g ใน sulfuric-molybdate solution 200 ml จะได้สารละลายสีเหลืองใสที่เรียกว่า working solution ซึ่งควรใช้ทันทีเก็บไว้ได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

2.3.2.2 การย่อยตัวอย่างมะละกอ

ชั่งตัวอย่างมะละกอ ที่ได้จากหัวข้อ 2.3.1.2 หนัก 0.15 กรัมใส่ลงใน TEFLON vial จากนั้นเติม conc. HNO_3 2 ml และ conc. HCl 1 ml ตาม ลำดับ ให้ความร้อนกับสารตัวอย่างประมาณ 60 ^{O}C บน hot plate จนควันสีน้ำตาลแดงลดลง จึงปิดฝา vial ขณะ digest ให้เปิดฝาเป็นครั้งคราวเพื่อลดความดันและไอของกรดภายใน vial และให้ความร้อนไปจนกว่าจะได้สารละลายใส จากนั้นปล่อยให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงเจือจางด้วย deionized water จนได้ปริมาตร 25 ml ใน volumetric flask กรองสารละลายผ่าน 0.45 μm disposable filter สารละลายที่ได้ (digested solution) ใช้สำหรับหาปริมาณ phosphorus ด้วยวิธี spectrophotometry และหาปริมาณ metal ions ด้วยวิธี atomic absorption spectrophotometry (AAS)

2.3.2.3 การหาปริมาณ Phosphorus

ปิเปต Standard KH_2PO_4 solution 5 ppm ปริมาตร 0, 2.5, 4 และ 5 ml ลงใน volumetric flask ขนาด 25 ml (ในแต่ละขวดจะมี standard KH_2PO_4 เข้มข้น 0, 0.5, 0.8, 1 ppm ตามลำดับ) เติมสารละลายตัวอย่าง (ตัวอย่างใบและก้านของมะละกอ: ใช้ปริมาตร 1 ml สำหรับ T_1, 0.5 ml สำหรับ T_2, 0.4 ml สำหรับ T_3 และ 0.3 ml, สำหรับ T_4; ตัวอย่างมะละกอผลดิบและมะละกอผลสุก: ปริมาตร 1 ml สำหรับ T_1 และ T_2 ปริมาตร 0.5 ml สำหรับ T_3 และ T_4) และ H_3BO_3 อิ่มตัว 3 หยด ลงใน volumetric flask แต่ละขวด จากนั้นเติม working solution ลงไป 2 ml เขย่าให้เข้ากัน ปรับให้ถึงขีดปริมาตร 25 ml ด้วย deionized water เขย่าให้เข้ากัน วัดค่า absorbance ของสารละลายเมื่อตั้งสารละลายทิ้งไว้นาน 30 นาที ที่ความยาวคลื่น 880 nm

2.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณ Potassium, Calcium และ Magnesium

เครื่องมือที่ใช้วัดคือ FlameAtomic Absorption Spectrophotometer Model 1100B (Perkin-Elmer)

2.4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อมะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินและรดด้วยสารละลายที่มีระดับโพแทสเซียมต่างกัน 4 ระดับ เปรียบเทียบกับมะละกอพันธุ์ฮฮลแลนด์ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคในปัจจุบัน ผู้เข้าร่วมการทดสอบเป็นผู้บริโภคทั่วไปที่ชอบรับประทานมะละกอสุก จำนวน 100 คน เตรียมตัวอย่างสำหรับเสิร์ฟโดยบรรจุมะละกอตัวอย่างละ 3 ชิ้นขนาด 1.5

ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในถ้วยพลาสติกขนาด 2 ออนซ์ พร้อมฝาปิด กำกับรหัสตัวอย่างด้วยเลขสุ่ม 3 หลักจากตารางเลขสุ่ม และเก็บตัวอย่างในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) จนกว่าจะนำไปเสิร์ฟ

การทดสอบจัดขึ้นที่ห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส บริเวณทดสอบมีแสงสว่างอย่างเพียงพอ และควบคุมอุณหภูมิห้องทดสอบที่ 25 องศาเซลเซียส ผู้ทดสอบแต่ละคนจะนั่งในช่องทดสอบ (booth) และจะได้รับตัวอย่างมะละกอที่กำกับด้วยเลขสุ่ม 3 หลัก ทีละ 1 ตัวอย่าง จนครบทุกตัวอย่างตามแผนการเสิร์ฟแบบสุ่มของ Macfie และคณะ [12] ผู้ทดสอบประเมินความชอบในด้านต่างๆ คือ สี ความชุ่มชื้นที่ปรากฏ ความหวาน กลิ่นรสโดยรวม ความแข็ง ความฉ่ำน้ำขณะเคี้ยว และความชอบโดยรวม โดยใช้ 9-point hedonic scale [13] ผู้ทดสอบดื่มน้ำ (Nestlé® Pure Life®, Nestlé Thai, อยุธยา, ประเทศไทย) ก่อนทดสอบแต่ละตัวอย่าง เพื่อลดกลิ่นรสตกค้างจากตัวอย่างที่ทดสอบก่อนหน้า (carry-over effect)

วางแผนการทดสอบแบบ RCBD คำนวณค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Montgomery, 2005)

3. ผลและการวิจารณ์ผล

3.1 ปริมาณผลผลิตมะละกอและปริมาณน้ำตาลในมะละกอผลสุก

จากการทดลองพบว่าจำนวนผลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมความเข้มข้น 400 และ 300 ppm มีจำนวนผลสูงสุด 10.3 และ 9.0 ผล ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนผลของต้นที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมความเข้มข้น 100 และ 200 ppm (ตารางที่ 2)

จากการหาปริมาณน้ำตาลในเนื้อเยื่อมะละกอผลสุกที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีการแปรค่าความเข้มข้น โพแทสเซียมเป็น 4 ระดับ ด้วยเทคนิค capillary electrophoresis พบว่าในผลมะละกอสุกมีปริมาณ glucose มากกว่าปริมาณ fructose เล็กน้อย โดยปริมาณ fructose ของผลมะละกอสุกจาก T_1 (3.33%) น้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณ fructose ของผลที่ได้จาก treatment อื่นส่วนปริมาณ glucose (6.37%) ในผลมะละกอสุกจาก T_4 มีมากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ treatment อื่นๆ (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามมะละกอผลสุกที่ได้มาจากรดด้วยธาตุอาหารที่แปรความเข้มข้นของ โพแทสเซียม 4 ระดับ ใน treatment T_1 มีความหวานหรือปริมาณน้ำตาลน้อยกว่า T_2, T_3 และ T_4 หากพิจารณาปริมาณน้ำตาลใน T_2, T_3 และ T_4 จะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังรูปที่ 1 หากพิจารณาข้อมูลผลผลิตมะละกอ ประกอบด้วย จะพบว่า T_3 และ T_4 ให้ผลผลิตในปริมาณใกล้เคียงกันแต่มากกว่า T_2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมใน T_3 เพียงพอสำหรับการปลูกมะละกอที่ให้ทั้งความหวานและผลผลิตสูง และสามารถประหยัดต้นทุนได้มากกว่า T_4

ตารางที่ 2 จำนวนผลเฉลี่ยของมะละกอในช่วง 3 เดือนหลังติดผล[1/]

ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียม (ppm)	จำนวนผล[2/]
100	4.6^{b}±2.6
200	5.3^{b}±1.44
300	9.0^{a}±0.41
400	10.3^{a}±2.18
F-test	*
C.V. (%)	15.51

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%,

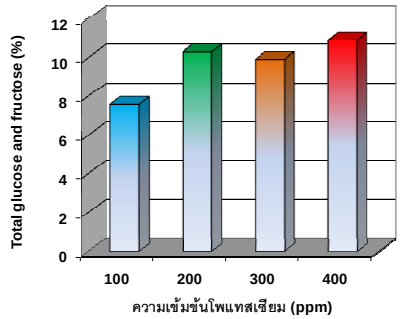
[1/] เฉพาะผลที่มีน้ำหนักมากกว่า 200 กรัม และความยาวผลมากกว่า 10 เซนติเมตร

[2/] ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยตัวอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำตาลในมะละกอผลสุก

ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียม (ppm)	Fructose (%)[1/]	Glucose (%)[1/]
100 (T_1)	3.33^{b}±0.31	4.26^{c}±0.06
200 (T_2)	4.85^{a}±0.02	5.44^{b}±0.38
300 (T_3)	4.80^{a}±0.39	5.12^{b}±0.37
400 (T_4)	4.56^{a}±0.44	6.37^{a}±0.38
F-test	*	*
C.V.(%)	7.50	6.49

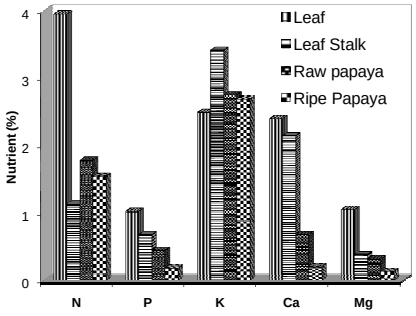
* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; [1/] ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยตัวอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธี DMRT



รูปที่ 1 ผลรวม glucose และ fructose (%) ที่มีในผลมะละกอสุก

3.2 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อ

จากการทดลองเมื่อนำปริมาณค่าเฉลี่ยของธาตุ nitrogen (N) phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) และ magnesium (Mg) ที่พบในเนื้อเยื่อมะละกอจากทั้ง 4 Treatment มา plot graph กับเนื้อเยื่อมะละกอในส่วนของใบ (leaf) ก้านใบ (leaf stalk) ผลดิบ (raw papaya) และผลสุก (ripe papaya) ดังรูปที่ 2 จะพบว่าใบเป็นส่วนที่มีธาตุอาหารเกือบทุกตัวมากที่สุด สำหรับธาตุโพแทสเซียมจะพบปริมาณมากในเนื้อเยื่อทุกส่วนของมะละกอคือใบ (leaf) ก้านใบ (leaf stalk) ผลดิบ (raw papaya) และผลสุก (ripe papaya) และพบมากที่สุดที่ก้านใบ



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุ Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca) และ Magnesium (Mg) ที่สะสมในเนื้อเยื่อมะละกอ

3.3 การยอมรับของผู้บริโภค

มะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินและรดด้วยสารละลายที่มีระดับความเข้มข้นโพแทสเซียมต่างกัน มีคะแนนการยอมรับแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เฉพาะในด้านสี ความหวาน ความแข็ง และความฉ่ำน้ำขณะเคี้ยว (ตารางผนวก) โดยมะละกอที่รดด้วยสารละลายธาตุโพแทสเซียมความเข้มข้น 100 ppm มีคะแนนการยอมรับต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ ยกเว้นด้านสี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตัวอย่างข้างต้นมีลักษณะปรากฏที่แห้งกว่า และที่สำคัญคือมีเนื้อสัมผัสแข็งกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในขณะที่มะละกอที่รดด้วยสารละลายธาตุโพแทสเซียมความเข้มข้น 200-400 ppm มีคะแนนการยอมรับในด้านดังกล่าวไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบมะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 ทั้ง 4 ตัวอย่างกับมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์จะเห็นว่ามะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 จะมีคะแนนการยอมรับในทุกๆด้านต่ำกว่ามะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนความชอบโดยรวมของมะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 ทุกตัวอย่างมีค่าในช่วง 5-6 คะแนน คือ บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ ถึงชอบเล็กน้อย ในขณะที่คะแนนของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์มีค่าในช่วง 7-8 คะแนน คือ ชอบปานกลางถึงชอบมาก

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของโพแทสเซียมต่อปริมาณผลผลิต ปริมาณน้ำตาล และการยอมรับของผู้บริโภคต่อมะละกอ พบว่าปริมาณผลผลิตมะละกอได้สูงสุดหากใช้สารละลายโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นในช่วง 300 ถึง 400 ppm สำหรับปริมาณน้ำตาลพบว่า มะละกอที่รดด้วยสารละลายโพแทสเซียมความเข้มข้นในช่วง 200 ถึง 400 ppm มีปริมาณน้ำตาลไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าที่ความเข้มข้น 100 ppm การสะสมธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในเนื้อเยื่อมะละกอ พบว่าความต้องการธาตุอาหารของเนื้อเยื่อต่างชนิดคือใบ ก้านใบ ผลดิบและผลสุกจะแตกต่างกัน เนื้อเยื่อใบจะต้องการธาตุอาหารเกือบทุกตัวมากกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่น และก้านใบจะต้องการธาตุโพแทสเซียมมากกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่น สำหรับผลสุกจะพบธาตุ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมน้อยกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่น ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า มะละกอที่รดด้วยสารละลายธาตุโพแทสเซียมความเข้มข้น 100 ppm มีคะแนนการยอมรับในด้านความหวาน ความแข็ง และความฉ่ำน้ำขณะเคี้ยว ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ

การปลูกมะละกอให้ได้ทั้งผลผลิตสูง และปริมาณน้ำตาลในผลสูงรวมทั้งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จำเป็นต้องให้ธาตุโพแทสเซียมในระดับความเข้มข้น 300 ถึง 400 ppm

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนจากงบประมาณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี 2551-2552

6. เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.agr.state.nc.us/cyber/kidswrld/plant/nutrient.htm#Non-Mineral.

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Fertilizer.

[3] http://ecorestoration.montana.edu/mineland/guide/analytical/chemical/solids/macronutrients.htm.

[4] http://guru.google.co.th/guru/thread?tid= 7 2 dd65d261caba27.

[5] http://oldweb.ocsb.go.th/udon/Udon1 2 / 0 1 / 01.17.htm.

[6] Lin, D., D. Huang, and S. Wang, Effect of Potassium Levels on Fruit Quality of Muskmelon in Soilless Medium Culture. Scientia Horticulturae, Vol. 102(1), pp. 53-60, 2004.

[7] Babu, N., Effect of Organic Inputs and Potassium on Growth and Yield of Co5 Papaya(Carica Papaya).Indian Journal of Agricultural Sciences, Vol. 73(April), pp. 212-214, 2003.

[8] Hartz, T.K., et al., Processing Tomato Yield and Fruit Quality Improved with Potassium Fertigation. HortScience, Vol. 40(6), pp. 1862-1867, 2005.

[9] Leaster, G.E., J.L. Jifon, and G. Rogers, Supplemental Foliar Potassium Applications During Muskmelon Fruit Development Can Improve Fruit Quality, Ascorbic Acid, and Beta-Carotine Contents. Journal of the American Society for Horticultural Science, Vol. 130(July), pp. 649-653, 2005.

[10] http://www.rdi.ku.ac.th/seed/p2.html.

[11] http://www.kmitl.ac.th/hydro/>.

[12] MacFie HJH, B.N., Greenhoff K, Vallis LV. Designs to Balance the Effect of Order of Presentation and First-Order Carry-Over Effects in Hall Tests. J Sensory Studies, Vol.4, pp. 129-148, 1989.

[13] Meilgaard M, C.G., Carr, BT 1991. Sensory Evaluation Techniques. 2 nd ed. CRC Press, Florida. 354 P.

[14] Hair JF, B.W., Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL. 2006. Multivariate Data Analysis. 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Ltd. 899P.

ตารางผนวก คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของมะละกอพันธุ์ปากช่อง 2 ซึ่งปลูกในระบบไม่ใช้ดินและรดด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์

การยอมรับด้านต่างๆ (n=100)	พันธุ์ปากช่อง 2 ซึ่งได้รับสารละลายที่มีโพแทสเซียมแตกต่างกัน (ppm)				พันธุ์ฮอลแลนด์	p-value (F-test)
	100	200	300	400		
สี	6.05 ± 1.74^{b}	5.46 ± 1.90^{a}	6.26 ± 1.57^{b}	5.21 ± 1.90^{a}	7.40 ± 1.47^{c}	0.000
ความชุ่มชื้นที่ปรากฏ	5.94 ± 1.66^{a}	6.01 ± 1.69^{a}	6.05 ± 1.66^{a}	5.79 ± 1.74^{a}	6.65 ± 1.79^{b}	0.003
ความหวาน	5.07 ± 2.12^{a}	5.61 ± 2.15^{b}	5.52 ± 1.90^{ab}	5.53 ± 1.96^{ab}	7.26 ± 1.62^{c}	0.000
กลิ่นรสโดยรวม	5.79 ± 2.08^{a}	5.58 ± 2.08^{a}	5.63 ± 1.96^{a}	5.70 ± 1.76^{a}	6.41 ± 1.81^{b}	0.007
ความแข็ง	5.40 ± 2.17^{a}	5.97 ± 1.77^{b}	5.98 ± 1.72^{b}	5.99 ± 1.81^{b}	6.97 ± 1.55^{c}	0.000
ความฉ่ำน้ำขณะเคี้ยว	5.44 ± 1.96^{a}	6.04 ± 1.90^{b}	6.01 ± 1.82^{b}	6.02 ± 1.76^{b}	7.16 ± 1.55^{c}	0.000
ความชอบโดยรวม	5.47 ± 1.86^{a}	5.84 ± 1.95^{a}	5.81 ± 1.76^{a}	5.74 ± 1.84^{a}	7.23 ± 1.42^{b}	0.000

* สเกลที่ใช้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ, 9 = ชอบมากที่สุด

$^{a,b,c,\ldots}$ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)