

ก. ผลต่อผลผลิตน้ำกล้วยที่สกัดได้

จากผลการทดลองในตารางที่ 31 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้เอนไซม์จะสกัดน้ำกล้วยได้มากขึ้นร้อยละ 59.44 ถึง 65.29 เปรียบเทียบกับไม่ใช้เอนไซม์ได้น้ำกล้วยเพียงร้อยละ 43.20 โดยเมื่อพิจารณาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณน้ำกล้วย สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยที่ศึกษาได้ร้อยละ 90.7 ($R^2 = 0.907$) จากผลในตารางที่ 35 จะเห็นได้ว่า ปริมาณเอนไซม์มีผลต่อปริมาณน้ำกล้วยอย่างมีนัยสำคัญทั้งในสมการขั้นที่ 1 และสมการขั้นที่ 2 โดยสมการขั้นที่ 1 ($p \leq 0.001$) มีผลในเชิงบวก ส่วนสมการขั้นที่ 2 ในเชิงลบ จะมีผลทำให้กราฟของปริมาณน้ำกล้วยเมื่อแปรผันระยะเวลาต่าง ๆ มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง (ภาพที่ 11 ก และ 12 ก) อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาในการย่อยมีผลต่อปริมาณน้ำกล้วยน้อยมาก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Rastogi and Rashmi (1999) และ Shahaden and Abdullah (1995) ซึ่งสรุปว่าความเข้มข้นของเอนไซม์มีผลต่อปริมาณน้ำกล้วยมากกว่าค่าปัจจัยอื่นๆ (พีเอช และ อุณหภูมิ) เนื่องจากเมื่อเอนไซม์เพคตินสลายเพคตินจะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ลดลง น้ำอิสระ (Free water) ในเนื้อเยื่อกล้วยจึงถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้ความหนืดของระบบลดลงและปริมาณน้ำกล้วยถูกแยกออกมาได้มากขึ้น (Lee *et al.*, 2006; Sin *et al.*, 2006; Kashyap *et al.*, 2001)

ข. ผลต่อ Recovery soluble solid (RSS)

ค่า RSS ซึ่งคำนวณจากค่าผลผลิตน้ำกล้วยกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ซึ่งแม้ว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ จะไม่แตกต่างกัน(ตารางที่ 34) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเอนไซม์จะย่อยเพคติน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของผนังเซลล์ ทำให้มีการปลดปล่อยน้ำกล้วยที่สกัดได้จากการใช้เอนไซม์จะสูงขึ้น (Kyamuhangire *et al.*, 2002) จากร้อยละ 43.20 เป็น 59.44 ถึง 65.29 มีผลให้ค่า RSS ที่คำนวณได้เพิ่มขึ้นจาก 10.02 เป็น 13.79-15.67 เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย RSSจะให้ค่า R^2 สูงสุด($R^2 = 0.924$) ในจำนวนค่าปัจจัยคุณภาพที่วัดได้ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่า RSS สามารถอธิบายผลการทำงานของเอนไซม์ได้ดี โดยจะเห็นว่า ปริมาณเอนไซม์มีผลต่อค่า RSS อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งในสมการขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 ($p \leq 0.001$) โดยระยะเวลาในการย่อยมีผลน้อยมาก เช่นเดียวกับค่าผลผลิตน้ำกล้วย จะเห็นได้จาก ภาพที่ 11 ข และ 12 ข ซึ่ง RSS จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์สูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วค่าจะค่อยๆ ลดลง ซึ่งจากสมการถดถอยจะเห็นได้ว่า สมการขั้นที่ 1 จะมีผลในเชิงบวกแต่สมการขั้นที่ 2

จะมีผลในเชิงลบทั้งสองค่าปัจจัยคือ ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลา ดังนั้น RSS จึงมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับผลผลิตน้ำกลั้ว แต่เนื่องจากมีค่า R^2 สูงกว่าผลผลิตน้ำกลั้วรวมทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เหมาะสม (Lack of fit ไม่มีนัยสำคัญ) จึงใช้ค่า RSS เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

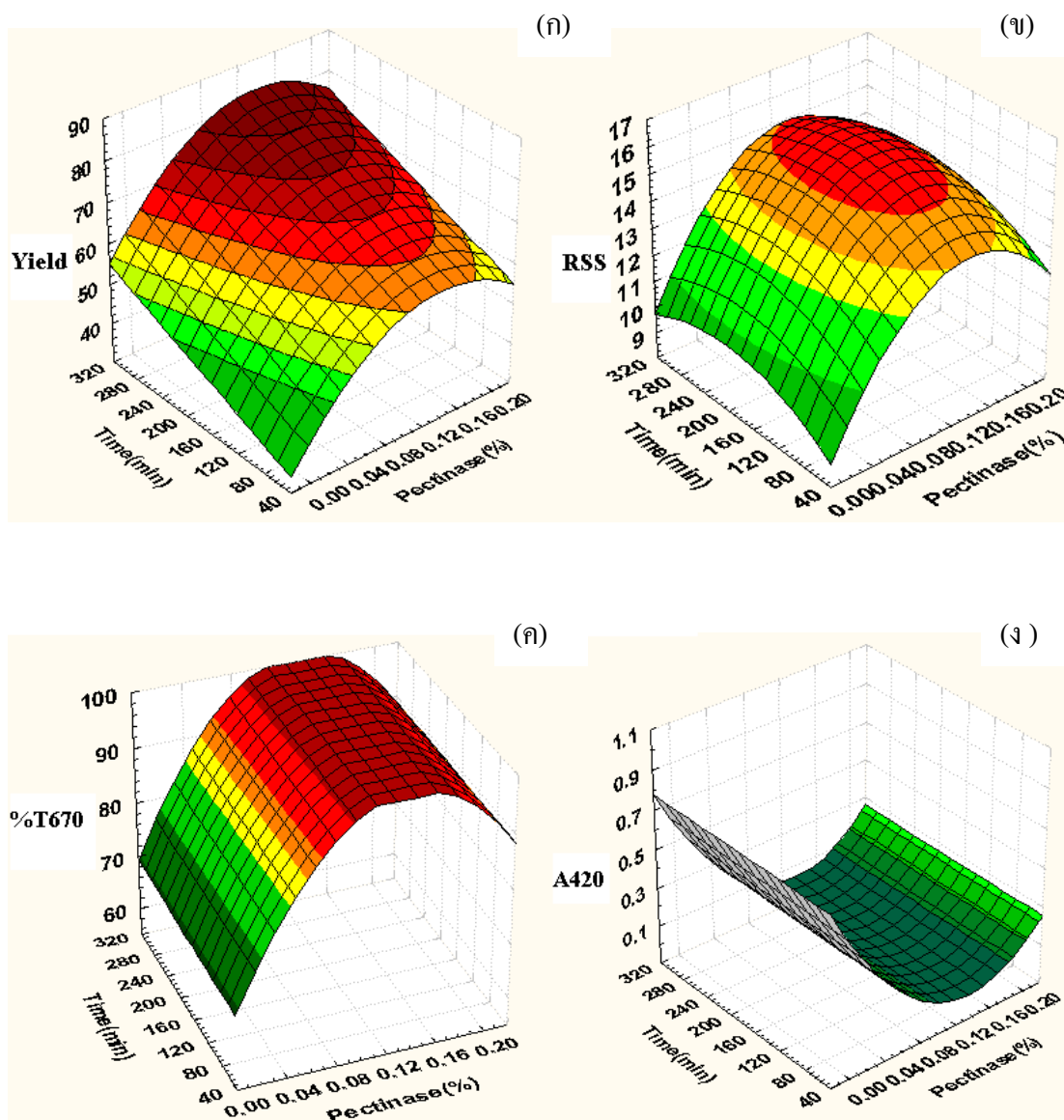
ค. ผลต่อค่าความใสของน้ำกลั้ว

ความใสเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของน้ำผลไม้ชนิดใส (Sin *et al.*, 2006) เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า การใช้เอนไซม์จะทำให้ความใส (T_{670}) สูงขึ้นจาก 62.26 เป็นร้อยละ 96.04-99.41 จากสมการถดถอยในตารางที่ 35 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณเอนไซม์สูงขึ้น ความใสจะสูงขึ้น (ภาพที่ 13 ก) โดยสมการขั้นที่ 1 จะมีผลในเชิงบวก ส่วนสมการขั้นที่ 2 จะมีผลในเชิงลบ ทำให้ลักษณะของกราฟพื้นผิวตอบสนอง มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง (ภาพที่ 11 ค) ในทำนองเดียวกับการย่อยเนื้อมะม่วงด้วยเอนไซม์เพคตินเอส (Rastogi and Rashmi, 1999) ซึ่งการที่เอนไซม์ทำให้น้ำกลั้วมีความใสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์จะเข้าไปจับกับประจุบวกของโปรตีนไว้ทำให้ลดแรงผลักทางประจุไฟฟ้า (electrostatic repulsion) ระหว่างอนุภาคต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำผลไม้รวมตัวกันเป็นอนุภาคนาขนาดเล็กขึ้นและตกเป็นตะกอนในที่สุด (Shahaden and Abdullah, 1995 และ Sin *et al.*, 2006) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Rastogi and Rashmi (1999) ในการย่อยเนื้อมะม่วงด้วยเอนไซม์เพคตินเอส จะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นของความใสตามปริมาณเอนไซม์ที่สูงขึ้น

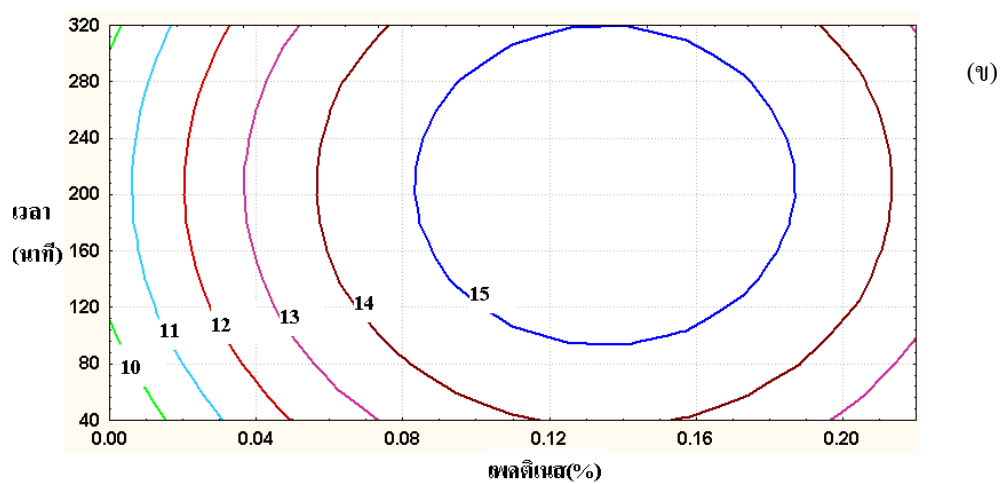
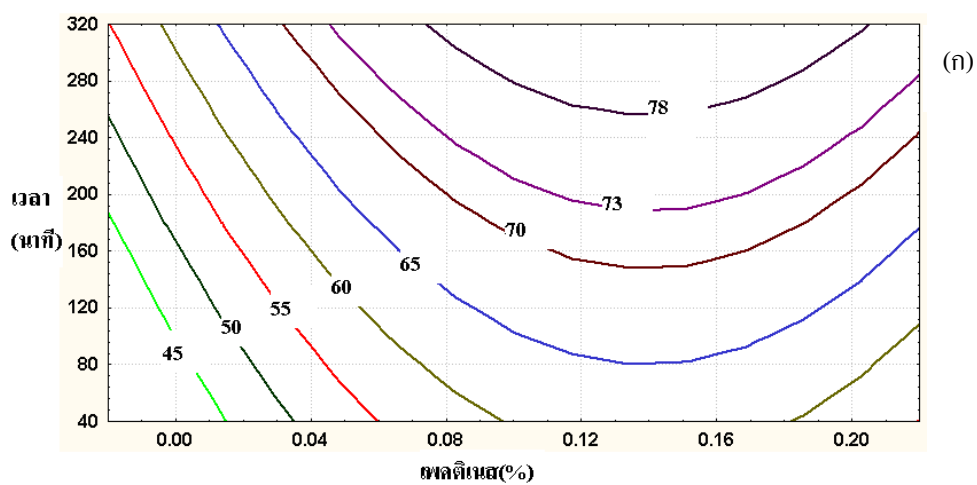
ง. ผลต่อ browning index ของน้ำกลั้ว

สีเป็นลักษณะปรากฏที่สำคัญในการพิจารณาคุณภาพขั้นต้นของน้ำผลไม้ชนิดใส น้ำผลไม้ที่มีสีเข้มจะถูกตัดสินว่าเสื่อมเสียคุณภาพและไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค (Abdullah *et al.*, 2007) browning index ของน้ำกลั้วที่สกัดด้วยเอนไซม์ จะมีค่า A_{420} เท่ากับ 0.073-0.111 ซึ่งน้อยกว่าน้ำกลั้วที่ไม่ได้ใช้เอนไซม์ ($A_{420} = 0.732$) (ตารางที่ 34) เมื่อพิจารณาจากสมการถดถอยในตารางที่ 35 จะเห็นว่าปริมาณเอนไซม์สูงขึ้น browning index จะลดลง โดยสมการขั้นที่ 1 จะมีผลในเชิงบวก ส่วนสมการขั้นที่ 2 จะมีผลในเชิงลบ ($p \leq 0.001$) การเพิ่มปริมาณเอนไซม์ทำให้การสกัดน้ำกลั้วได้มากขึ้นและทำให้น้ำกลั้วใสขึ้นเนื่องจากการรวมตัวของสารแขวนลอยต่างๆเมื่อเพคตินถูกย่อยออกมามากขึ้นและตกตะกอน (Sin *et al.*, 2006) browning index

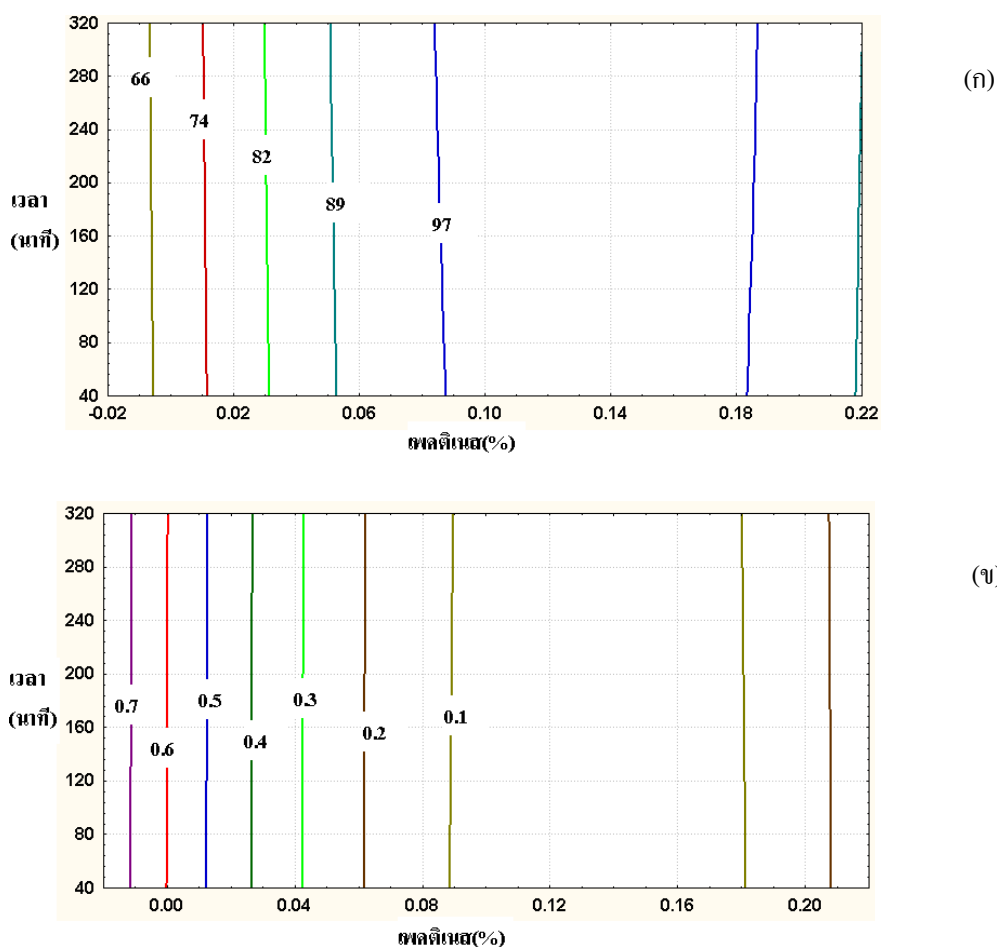
จะลดลงถึงระดับที่อัตราการย่อยคงที่ปริมาณน้ำกล้วยไม่เพิ่มขึ้นแล้ว ค่าจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากสารที่มีความสามารถในการดูดแสงถูกสกัดแยกออกมามากขึ้น โดยกราฟของ browning index จะพหุผันกับค่าความใส แสดงในภาพที่ 11ง และ 11ค



ภาพที่ 11 กราฟพื้นผิวตอบสนองของ (ก) ผลผลิตน้ำกล้วยหอม (ข) Recovery soluble solid (ค) ความใส (T_{670}) และ (ง) ค่า browning index (A_{420}) ที่ได้จากการแปรผันปริมาณเอนไซม์ เพคตินเอสและระยะเวลา



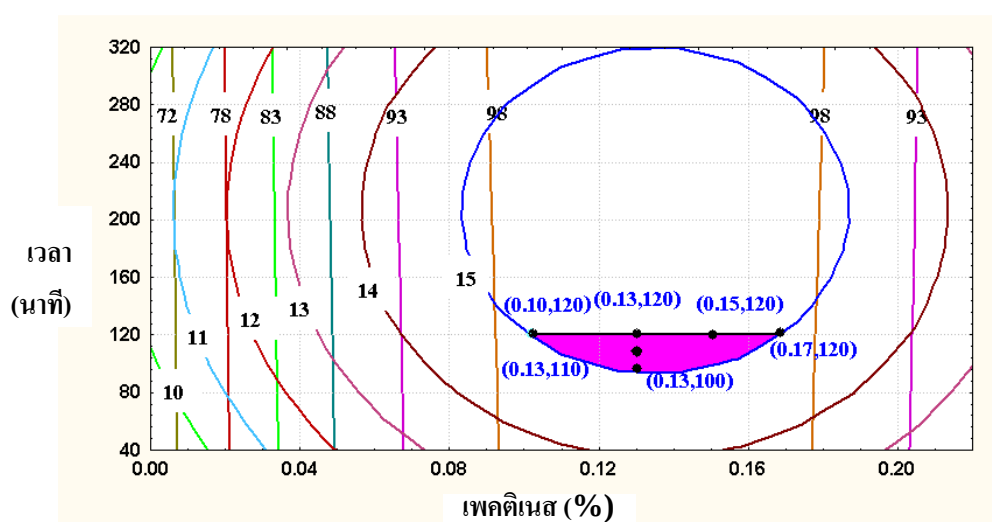
ภาพที่ 12 กราฟพื้นผิวสองมิติของ(ก) ผลผลิตน้ำกลัวยหอม (ข) Recovery soluble solid จากการแปรผันปริมาณเอนไซม์เพคตินสและระยะเวลา



ภาพที่ 13 กราฟพื้นผิวสองมิติของ (ก) ค่าความใส (T_{670}) (ข) browning index (A_{420}) ที่ได้จากการแปรผันปริมาณเอนไซม์เพคตินเอสและระยะเวลา

การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยด้วยเอนไซม์โดยการซ้อนภาพพื้นผิวตอบสนองที่ได้จากสมการถดถอยของค่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญ สามารถอธิบายผลได้ดีที่สุด โดยมีข้อจำกัดคือ ผลของสภาวะที่ได้จะมีค่าผลผลิตน้ำกล้วยสูงสุดใช้ระยะเวลานั้นที่สุด โดยใช้ปริมาณเอนไซม์น้อยที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ค่า RSS เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณผลผลิตที่สูงคือ มีผลผลิตน้ำกล้วยกับค่า TSS รวมกันแล้วมีค่าสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า R^2 ของ RSS มีค่าสูง ($R^2 = 0.924$) สามารถอธิบายผลของการสกัดได้ดีที่สุดและอีกค่าหนึ่งคือค่าความใส (T_{670}) ซึ่งเป็นปัจจัยคุณภาพสำคัญของน้ำกล้วย มีค่า R^2 สูงกว่าค่าสี อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน ดังนั้น จึงนำกราฟของค่า RSS และค่าสี (ภาพที่ 12 ข และ 13 ข) มาซ้อนทับกันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ได้ผลดังภาพที่ 14 ซึ่งจะพบว่า บริเวณที่เหมาะสมจะมีค่า RSS เท่ากับ 15 ค่าความใส

(T_{670}) ร้อยละ 97 โดยพบว่าสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอมจะใช้ปริมาณเอนไซม์ ร้อยละ 0.09-0.18 ระยะเวลาในการสกัดระหว่าง 100-300 นาที ผลจากการซ้อนภาพที่ได้นี้จะเลือก สถานะที่ใช้เอนไซม์น้อยและระยะเวลาสั้นจากบริเวณที่เลือกนี้คือปริมาณเอนไซม์เพคตินเอส ร้อยละ 0.1-0.17 และระยะเวลา 100-120 นาที ซึ่ง สามารถเลือกได้ 6 ตำแหน่งจากบริเวณที่ซ้อนทับ กันโดยมีปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาแปรผันดังนี้ คือ (1) ร้อยละ 0.10, 120 นาที (2) ร้อยละ 0.13, 120 นาที (3) ร้อยละ 0.15, 120 นาที (4) ร้อยละ 0.17, 20 นาที (5) ร้อยละ 0.13, 110 นาทีและ (6) ร้อยละ 0.13, 100 นาที นำไปทำการทดลองเพื่อคัดเลือกสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดน้ำ กล้วยหอม



ภาพที่ 14 กราฟพื้นผิวสองมิติของปริมาณน้ำกล้วยหอมและ Recovery soluble solid เมื่อนำมา ซ้อนทับกัน บริเวณพื้นที่สีชมพูคือ สถานะที่เหมาะสมแสดงตำแหน่งที่คัดเลือก 6 จุด ที่ แปรผัน ปริมาณเอนไซม์เพคตินเอสร้อยละ 0.1-0.17และระยะเวลา 100-120 นาที

ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกจุดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอมโดยการสกัดน้ำ กล้วยตามสถานะที่เลือกแล้ววัดค่าผลผลิตน้ำกล้วย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ RSS ความใส (T_{670}) และ browning index (A_{420}) นำผลที่ได้เมื่อมาวิเคราะห์ความแตกต่าง (ตารางที่ 36) จะเห็นได้ ว่า ค่าผลผลิตน้ำกล้วย และ RSS ไม่แตกต่าง แต่ค่าสีและค่าความใสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้เอนไซม์ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.15 ขึ้นไปจะมีความใสสูงขึ้น ดังนั้นจึง เลือกสถานะในการสกัดน้ำกล้วยหอมที่ความเข้มข้นเอนไซม์เพคตินเอสร้อยละ 0.15 ใช้เวลาในการ ย่อย 120 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 36 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกจุดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอมจากบริเวณชั้นทับกันโดยแปรผันปริมาณเอนไซม์เพคตินสรี้อยละ 0.1-0.17 และระยะเวลา 100-120 นาที

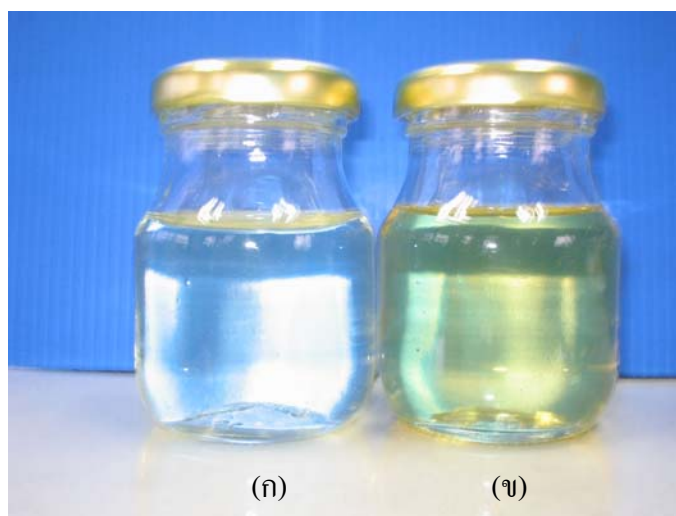
สิ่งทดลอง*	ผลผลิต	ความใส	browning index	RSS**
1 (0.10,120)	62.88 $\pm$ 0.74 a	95.87 $\pm$ 0.36 a	0.1126 $\pm$ 0.002 d	14.78 $\pm$ 0.092 a
2 (0.13,100)	64.39 $\pm$ 1.65 a	96.51 $\pm$ 0.24 ab	0.1014 $\pm$ 0.003 bc	15.07 $\pm$ 0.205 a
3 (0.13,110)	63.54 $\pm$ 0.28 a	96.49 $\pm$ 0.03 ab	0.1056 $\pm$ 0.006 cd	14.75 $\pm$ 0.064 a
4 (0.13,120)	63.60 $\pm$ 0.06 a	97.21 $\pm$ 0.33 bc	0.1023 $\pm$ 0.001 bc	15.07 $\pm$ 0.438 a
5 (0.15,120)	63.22 $\pm$ 0.45 a	97.50 $\pm$ 0.84 bc	0.0953 $\pm$ 0.000 ab	14.73 $\pm$ 0.552 a
6 (0.17,120)	63.71 $\pm$ 1.17 a	98.09 $\pm$ 0.54 c	0.0903 $\pm$ 0.001 a	14.98 $\pm$ 0.544 a

หมายเหตุ* [เอนไซม์เพคตินส (ร้อยละ), เวลา (นาที)], **RSS= Recovery soluble solid, ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อยืนยันจุดที่เหมาะสมจากสถานะที่คัดเลือกได้ สกัดน้ำกล้วยหอมที่ความเข้มข้นเอนไซม์เพคตินสร้อยละ 0.15 ใช้เวลาในการย่อย 120 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติเช่นเดียวกับข้อ 4.4 นำค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าทำนายจากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่พบว่าค่า RSS ไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าทำนาย แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่า RSS สามารถใช้ทำนายผลการทดลองในการสกัดน้ำกล้วยหอมได้

5.3 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกล้วยหอมทอง

นำน้ำกล้วยหอมทองที่เตรียมได้จากสถานะที่เหมาะสม (ภาพที่ 15) คือ ย่อยด้วยเอนไซม์ร้อยละ 0.15 (โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) ใช้เวลาย่อย 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนตามวิธีการในข้อ 5.2 เมื่อได้น้ำกล้วยใสแล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเคมี ได้ผลแสดงในตารางที่ 37



ภาพที่ 15 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ (ก)น้ำกล้วยหอมทอง (ข) ไชรูปกล้วยหอมทอง (ข) ที่เตรียมได้ในระดับห้องปฏิบัติการ

ก. คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพของน้ำกล้วยหอมทอง มีค่าความใส (T_{670}) 97.81 ความสว่าง L^* 97.04 ค่า a^* (สีแดง) -1.448 ค่า b^* (สีเหลือง) 5.293 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกล้วยจากการทดลองของ Shahaden and Abdullah (1995) มีค่า 33.92, -0.73, 2.33 และ 94.7 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำกล้วยหอมทองที่สกัดได้ มีความใสมากกว่า สีอ่อนกว่า โดยมีความหนืด 0.33 เซนติพอยส์

ข. คุณภาพทางเคมี

น้ำกล้วยหอม 100 กรัม มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 24 องศาบริกซ์ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกล้วยสายพันธุ์ Kayinja (Kyamuhangire *et al.*, 1996) จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าคือ 34.9 องศาบริกซ์ ความชื้นร้อยละ 79.71 โดยน้ำกล้วยหอมทองมีพีเอช 4.98 ซึ่งสูงกว่าผลการทดลองอื่นๆ ทั้งจากการทดลองของ Kyamuhangire *et al.* (1996); Tanada- Palmu *et al.* (1990) และ Sreekantiah *et al.* (1971) ที่มีค่าพีเอช 4.03, 4.5-4.6 และ 4.8 ตามลำดับซึ่งทำให้น้ำกล้วยหอมทองมีปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดมาลิก) ร้อยละ 0.23 น้อยกว่าทั้งสามการทดลองคือร้อยละ 0.59, 0.8-1.0 และ 0.53 ตามลำดับ คุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญของผลไม้อย่างหนึ่งคือการให้พลังงานในรูปน้ำตาล ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส และ ซูโครส ซึ่งมีปริมาณมากทั้งในผลไม้

ตารางที่ 37 คุณภาพของน้ำกล้วยที่ผลิตได้จากกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออก

ปัจจัยคุณภาพ	น้ำกล้วยหอม
ผลผลิต(ร้อยละของน้ำหนักสด)	62.61 ± 0.72
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าสี L*	97.04 ± 0.04
a*	-1.448 ± 0.12
b*	5.239 ± 0.09
ΔE^*	19.107 ± 0.10
ความใส (ร้อยละของแสงส่องผ่านที่ 670 นาโนเมตร)	97.81 ± 0.15
ความหนืด (เซนติพอยส์) ที่ 80 rpm, 28 ± 1 องศาเซลเซียส	0.33 ± 0.11
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)	24.0 ± 0.0
คุณภาพทางเคมี	
Recovery soluble solid (RSS)	15.03 ± 0.25
ความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักสด)	77.16 ± 0.15
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.98 ± 0.0
ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.23 ± 0.01
น้ำตาลรวม (ร้อยละของน้ำหนักสด)	32.88 ± 2.23
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละของน้ำหนักสด)	8.206 ± 0.041
น้ำตาลกลูโคส (ร้อยละของน้ำหนักสด)	6.01 ± 0.70
น้ำตาลฟรุคโตส (ร้อยละของน้ำหนักสด)	4.97 ± 0.48
น้ำตาลซูโครส (ร้อยละของน้ำหนักสด)	12.14 ± 1.21
แป้ง (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.262 ± 0.001
โพลีแซคคาไรด์ (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.62 ± 0.016
โปรตีน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด)	6.69 ± 1.80
เพคติน (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.456 ± 1.10
แทนนิน (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.116 ± 0.001

และผลิตภัณฑ์ โดยน้ำกล้วยหอมทอง มีน้ำตาลทั้งสามชนิดดังนี้ร้อยละ 6.01, 4.97 และ 12.14 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับผลการสกัดน้ำกล้วยของ Saenz *et al.* (2004) โดยมีปริมาณร้อยละ 5.62, 3.54 และ 13.9 ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการสกัดน้ำกล้วยเมื่อไม่ใช้เอนไซม์ของ Kyamuhangire *et al.* (1996) มีน้ำตาลทั้งสามชนิด ดังนี้ ร้อยละ 4.48, 3.54 และ 13.9 ตามลำดับ แต่ในการทดลองเดียวกันเมื่อใช้เอนไซม์ มีน้ำตาลทั้งสามชนิด ดังนี้ ร้อยละ 13.07, 12.25 และ 0.13 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เพิ่มขึ้นมากกว่าสามเท่า แต่ซูโครส ลดลงมาก ซึ่งเป็นไปได้ว่า เอนไซม์ที่ใช้มีเอนไซม์ ไอโซเมอร์สรวมอยู่ด้วยจึงอาจเกิดการย่อยน้ำตาลซูโครสได้ ผลผลิตเป็นกลูโคสและฟรุกโตสที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณซูโครสลดลง

น้ำกล้วยหอมทองมีปริมาณแป้งร้อยละ 0.262 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำแอปเปิลสายพันธุ์ Red delicious ซึ่งมีปริมาณมากกว่า คือ ร้อยละ 0.372 แต่จะไม่พบแป้งใน สายพันธุ์ McIntosh (Yu and Lencki, 2004) แม้ว่าแอปเปิลจะนับว่าเป็นผลไม้ที่มีเพคตินสูงโดยพบในทั้งสองสายพันธุ์ ร้อยละ 0.125 และ 0.139 ตามลำดับแต่น้ำกล้วยหอมทองมีปริมาณมากกว่าคือ ร้อยละ 0.456 ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลในน้ำแอปเปิลสองสายพันธุ์ ร้อยละ 0.109 และ 0.135 ตามลำดับ ใกล้เคียงกับน้ำกล้วยหอมทอง (ร้อยละ 0.116) นอกจากนั้นยังมีโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 0.62 และ โปรตีน 6.69 มิลลิกรัมต่อร้อยละ (ตารางที่ 37)

5.4 ผลการผลิตไซรัปกล้วยหอมทองและวิเคราะห์คุณสมบัติ

นำน้ำกล้วยหอมทองที่เตรียมได้จากสภาวะที่เหมาะสม ในข้อ 5.2 คือสกัดน้ำกล้วยหอมที่ความเข้มข้นเอนไซม์เพคตินเอส ร้อยละ 0.15 ใช้เวลาในการย่อย 120 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำมาทำให้เข้มข้นเป็นไซรัปกล้วยหอมทองด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Beveridge *et al.*, 1986; Wong and Stanton, 1989) จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด เท่ากับ 74 ± 1 องศาบริกซ์ ใช้เวลา 45 นาที นำไซรัปกล้วยหอมทองที่ได้บรรจุขวดขณะร้อนแล้วปิดผนึกและทำให้เย็นทันทีในน้ำที่มีน้ำแข็ง เมื่อวิเคราะห์ผล (ตารางที่ 38) พบว่าได้ผลผลิตไซรัปเฉลี่ยร้อยละ 31.95 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 38 คุณภาพของไซรัปที่ผลิตได้จากกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออก

ปัจจัยคุณภาพ	ไซรัปกล้วยหอม
ผลผลิต(ร้อยละของน้ำหนักสด)	31.95 ± 0.38
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าสี L*	95.13 ± 0.13
a*	-4.906 ± 0.65
b*	20.085 ± 0.42
ΔE^*	4.965 ± 0.17
ความใส (ร้อยละของแสงส่องผ่านที่ 670 นาโนเมตร)	98.22 ± 0.40
ความหนืด (เซนติพอยส์)ที่ 200 rpm, 28 ± 1 องศาเซลเซียส	807.35 ± 157.33
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)	74.0 ± 0.0
คุณภาพทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักสด)	29.96 ± 0.30
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.995 ± 0.0
ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.704 ± 0.04
น้ำตาลรวม (ร้อยละของน้ำหนักสด)	86.79 ± 3.97
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละของน้ำหนักสด)	24.10 ± 2.4
น้ำตาลกลูโคส (ร้อยละของน้ำหนักสด)	16.947 ± 0.63
น้ำตาลฟรุคโตส (ร้อยละของ น้ำหนักสด)	14.759 ± 0.81
น้ำตาลซูโครส (ร้อยละของ น้ำหนักสด)	35.992 ± 0.78
แป้ง (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.759 ± 0.029
โพลีแซคคาไรด์ (ร้อยละของน้ำหนักสด)	2.523 ± 0.47
โปรตีน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด)	31.823 ± 0.76
เพคติน (ร้อยละของน้ำหนักสด)	1.727 ± 0.03
แทนนิน (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.377 ± 0.01

ก. คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพไซรัปกล้วยหอมทองมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี 0.712 มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำกล้วยจาก 0.33 เป็น 807.5 เซนติพอยส์ โดยค่าความสว่าง (L^*) (97.04) และความใส (T_{670}) (97.81) ไม่แตกต่างจากน้ำกล้วย คือ 95.13 และ 98.22 ตามลำดับ แต่ไซรัปจะมีสีเข้มกว่าน้ำกล้วยโดยพิจารณาจากค่า Browning index (A_{420}) เพิ่มขึ้นจาก 0.08 เป็น 0.356 ค่าสีเขียว (a^*) เพิ่มขึ้นจาก -1.448 เป็น -4.906 ค่าสีเหลือง (b^*) จาก 5.239 เป็น 20.085 ส่วนค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) จาก 19.107 เป็น 4.965 ลักษณะปรากฏเป็นสีเหลืองอ่อน จะเห็นได้ว่าค่าส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นประมาณ สามเท่าเป็นสัดส่วนเดียวกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น แสดงผลในตารางที่ 38

ข. คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของไซรัปกล้วยหอมทอง 100 กรัม ความชื้นจากเดิมน้ำกล้วยมีค่าร้อยละ 77.16 ลดลงเหลือ 29.96 องค์ประกอบต่างๆ เพิ่มขึ้นประมาณ สามเท่าเช่นกัน ค่าพีเอช 4.995 ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) จากร้อยละ 0.23 เป็น 0.704 น้ำตาลกลูโคส จากร้อยละ 6.0 เป็น 16.95 ฟรุคโตสจากร้อยละ 4.97 เป็น 14.76 ซูโครสจากร้อยละ 12.14 เป็น 35.99 แป้งจากร้อยละ 0.262 เป็น 1.887 โพลีแซคคาไรด์จากร้อยละ 0.62 เป็น 2.523 โปรตีนจาก 6.69 เป็น 31.8 มิลลิกรัมต่อร้อยละ เพคตินจากร้อยละ 0.456 เป็น 1.727 และแทนนินจากร้อยละ 0.116 เป็น 0.377 แสดงผลในตารางที่ 38

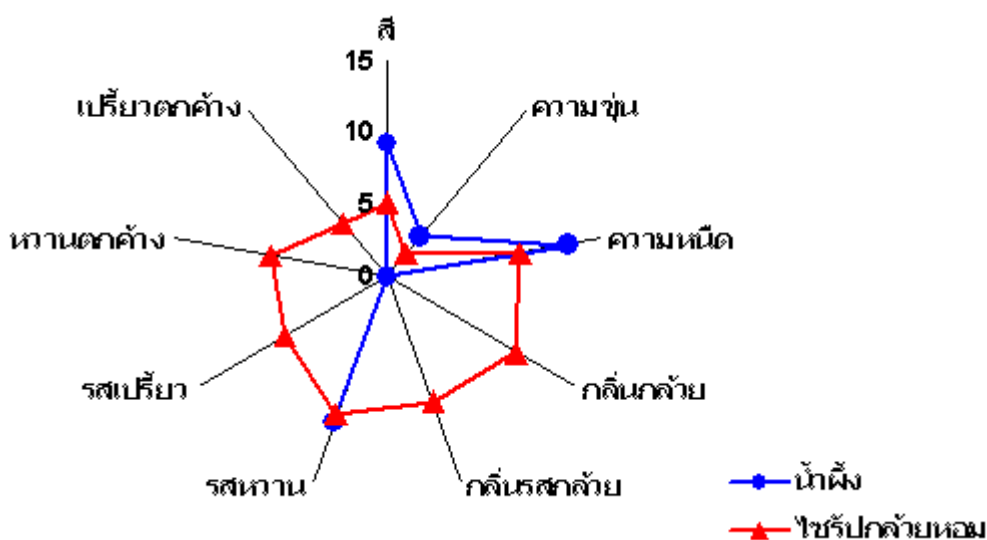
ค. คุณภาพทางจุลินทรีย์

พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม มีจำนวนยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม เนื่องจากไซรัปกล้วยหอมมีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง (74 องศาบริกซ์) ค่าวอเตอร์แอคติวิตีลดลง มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Belity and Grosch, 1999)

ง. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยหอมทอง ด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา เพื่ออธิบายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ใน

ห้องตลาดที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง ในที่นี้เลือกใช้น้ำผึ้ง โดยสามารถคัดเลือกคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไชร์ปได้ 9 ลักษณะ ได้แก่ สี ความขุ่น ความหนืด กลิ่นกล้วย กลิ่นรสกล้วย รสหวาน รสเปรี้ยว รสหวานตกค้าง และรสเปรี้ยวตกค้าง และได้คัดเลือกตัวอย่างอ้างอิงได้ ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยการให้คะแนนความเข้ม 0-15 พบว่าผลิตภัณฑ์ไชร์ปกล้วยหอมทอง มีความเข้มในลักษณะสี ความขุ่น ความหนืด กลิ่นกล้วย กลิ่นรสกล้วย รสหวาน รสเปรี้ยว รสหวานตกค้าง และรสเปรี้ยวตกค้าง ดังแสดงในภาพที่ 16 ซึ่งได้เปรียบเทียบไชร์ปกล้วยหอมทองกับน้ำผึ้ง พบว่ามีลักษณะสี (5.09 และ 9.15) ความขุ่น (2.04 และ 3.63) ความหนืด (9.34 และ 13.63) จะเห็นได้ว่าไชร์ปกล้วยหอมทองมีความเข้มน้อยกว่า แต่รสหวานใกล้เคียงกัน (10.11 และ 10.40)



ภาพที่ 16 กราฟใยแมงมุมแสดงคุณลักษณะของไชร์ปกล้วยหอมทองเปรียบเทียบกับน้ำผึ้ง ที่ได้รับการประเมินคุณภาพ ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

จากการทดสอบความชอบโดยผู้บริโภคน จำนวน 54 คน ดำเนินการทดสอบโดยการเสิร์ฟผลิตภัณฑ์ไชร์ปกล้วยหอมทองกับแพนเค้กและน้ำผึ้งกับแพนเค้กเสิร์ฟแบบสุ่มที่ละตัวอย่างพร้อมแบบสอบถามให้กับผู้บริโภคจำนวน 3-5 คน ทำการประเมินความชอบที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะด้านสี ความใส ความหนืดและทดสอบชิมเพื่อประเมินความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบคุณภาพโดยรวม รวมทั้งถามการยอมรับและการซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ดังแสดงในตารางที่ 39 พบว่าผลิตภัณฑ์ไชร์ปกล้วยหอมทองไม่มีความแตกต่างจากน้ำผึ้งในคะแนนความชอบด้านคุณภาพโดยรวม ความชอบสี ความใสและรสชาติ สำหรับคะแนน

ความชอบโดยรวมของไช้รับและน้ำผึ้ง อยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.67 และ 6.69 ตามลำดับ) ความชอบสีและความใสอยู่ในระดับชอบมากเท่ากัน (7.06 และ 7.07, 7.61 และ 7.44 ตามลำดับ) ส่วนด้านรสชาติอยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.46 และ 6.74 ตามลำดับ) สำหรับคุณลักษณะของไช้รับและน้ำผึ้ง ที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผู้บริโภคให้คะแนนความชอบความหนืดและกลิ่นของน้ำผึ้งในระดับชอบปานกลางเท่ากัน (6.78 และ 6.80 ตามลำดับ) ส่วนไช้รับมีคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อยทั้งสองคุณลักษณะ (5.85 และ 5.96 ตามลำดับ)

จากผลการทดสอบที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบแตกต่างของค่าความหนืดและกลิ่นระหว่างไช้รับกล้วยหอมทองกับน้ำผึ้ง แต่เนื่องจากค่าความหนืดจะขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ไช้รับประทานร่วมกันเช่น ถ้าใช้กับวฟเฟิลจะต้องหนืดเพื่อให้เกาะบนชิ้นวฟเฟิล แต่ถ้าใช้ผสมในเครื่องดื่มก็ไม่จำเป็นต้องหนืดมากเพื่อให้การผสมเข้ากันได้ง่าย ซึ่งปัจจัยนี้สามารถปรับได้ สำหรับเรื่องกลิ่นซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะขึ้นกับแต่ละบุคคล แต่คุณลักษณะ ไม่มีความแตกต่างได้แก่ ด้านคุณภาพโดยรวม ความชอบสี ความใสและรสชาติ ทำให้ไช้รับกล้วยหอมทองเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถแข่งขันในตลาดของน้ำผึ้งได้

ตารางที่ 39 คะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไช้รับกล้วยหอมและน้ำผึ้ง

			N=54
คุณลักษณะ	คะแนนความชอบเฉลี่ย		p-value
	ไซ้รับกล้วยหอม	น้ำผึ้ง	
สี	7.06±1.04	7.07±1.65	0.949
ความใส	7.61±1.14	7.44±1.16	0.402
ความหนืด	5.85±1.60	6.78±1.60	0.011*
กลิ่น	5.96±2.16	6.80±1.32	0.010*
รส	6.46±1.61	6.74±1.53	0.362
ความชอบคุณภาพโดยรวม	6.67±1.33	6.69±1.17	0.209

หมายเหตุ วิเคราะห์สถิติด้วย t-test * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการสอบถามด้านการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ไชร็ปกล้วยหอมทองร้อยละ 91 และผู้บริโภคสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ไชร็ปกล้วยหอมทองร้อยละ 61 โดยไม่แน่ใจ 32 (ตารางที่ 40) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากการสำรวจผู้บริโภค (ตารางที่ 14) กลุ่มตัวอย่างสนใจรับประทานไชร็ปกล้วยหอมทองร้อยละ 67.2 และตอบว่าไม่แน่ใจร้อยละ 30.4 โดยผู้บริโภคให้เหตุผลว่า เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ มีรสชาติที่ดี มีคุณค่าทางโภชนาการ เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่นาสนใจที่ผลไม้ไทยมาเพิ่มมูลค่าร้อยละ 26.7, 22.2, 15.5 และ 13.3 ตามลำดับ (ตารางที่ 41) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจผู้บริโภค (ตารางที่ 14) พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่สนใจรับประทานนั้นมีความคิดเห็นว่าเพราะเป็นผลิตภัณฑ์จากผลไม้ไทยร้อยละ 27.2 โดยเห็นว่าเป็นเพราะรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 12.8 เท่ากัน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ไชร็ปกล้วยหอมทองมีแนวโน้มที่ผู้บริโภคยอมรับและให้ความสนใจ สามารถใช้แทนน้ำผึ้งได้โดยเฉพาะผู้ที่ชอบกล้วยหอม

ตารางที่ 40 การทดสอบการยอมรับของกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไชร็ปกล้วยหอมทอง

N=54		
ปัจจัย	ความเห็น	ร้อยละ
การยอมรับผลิตภัณฑ์	ยอมรับ	91
	ไม่ยอมรับ	9
ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์	ซื้อ	61
	ไม่แน่ใจ	32
	ไม่ซื้อ	7

ตารางที่ 41 เหตุผลที่ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไชร็ปกล้วยหอมทอง

N=54

เหตุผล	ร้อยละ
ธรรมชาติ	26.7
รสชาติดี	22.2
มีประโยชน์	15.5
แปลกใหม่	13.3
ชอบกล้วย	8.9
ผลไม้ไทย	6.7
แทนน้ำผึ้ง	6.7

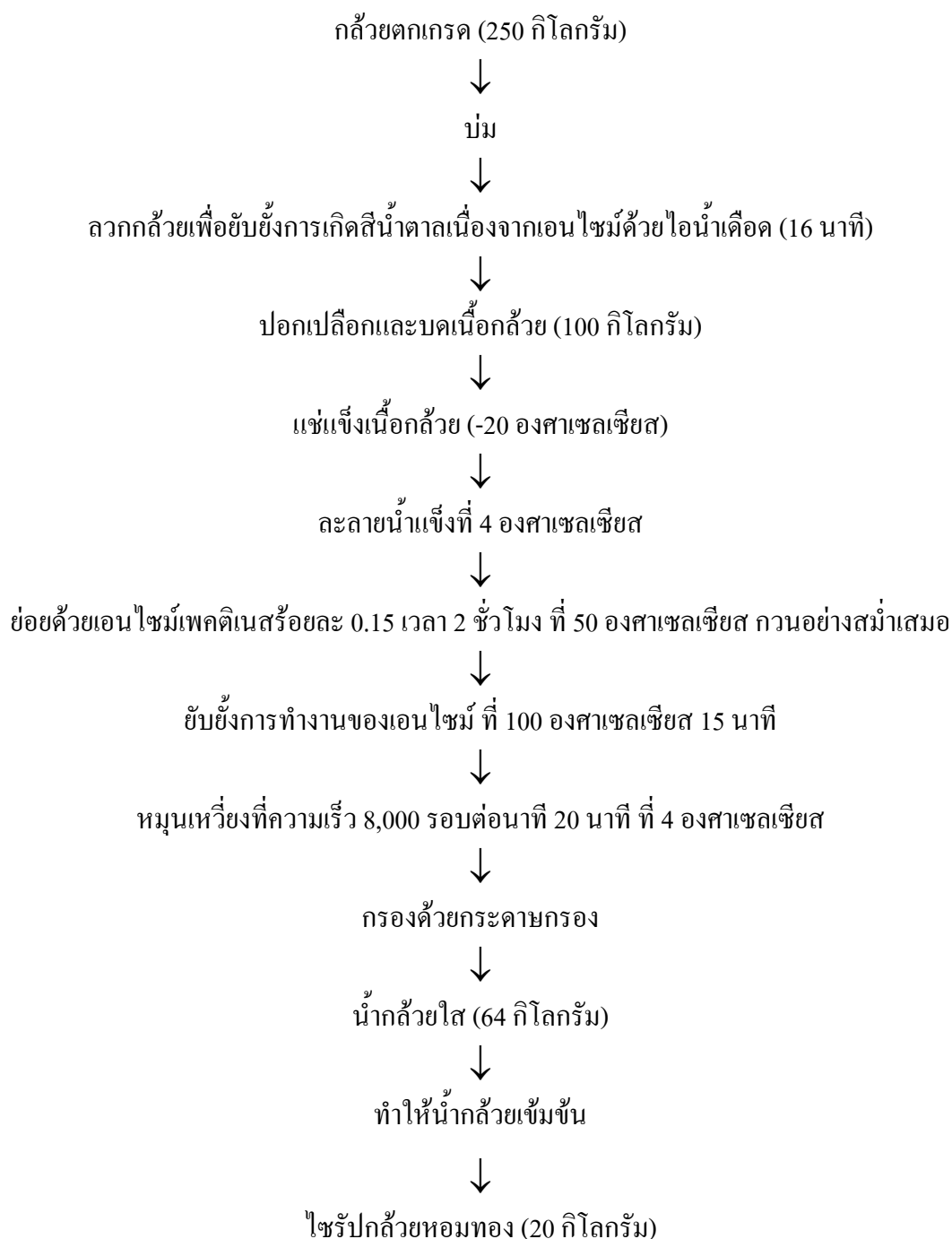
จากผลการวัดค่าคุณภาพของน้ำกล้วยหอมและไชร็ปกล้วยหอมจากกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออกจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของไชร็ปกล้วยหอมทองจะมีค่าสูงขึ้นเป็นสัดส่วนเดียวกับอัตราที่ของการทำให้น้ำกล้วยหอมทองเข้มข้นขึ้นประมาณ สามเท่าคือ จากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 24 องศาบริกซ์ เป็น 74 องศาบริกซ์ ยกเว้นค่าที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าความเข้มข้นที่เกิดขึ้นได้แก่ พีเอช ความใส ค่าความสว่าง (L^*) ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าวิธีการทำให้เข้มข้นไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไชร็ปกล้วยหอมดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการนี้ผลิตไชร็ปกล้วยหอมในขั้นตอนการขยายผลต่อไป

6. ผลการขยายกำลังผลิตไชร็ปกล้วยหอมทอง

6.1 ผลการผลิตไชร็ปกล้วยหอมทองจากกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออก

จากผลการทดลองการผลิตไชร็ปกล้วยหอมจากกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออกในระดับห้องปฏิบัติการ ได้สถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอมและผลิตไชร็ปกล้วยหอม จึงทำการขยายกำลังการผลิตไชร็ปกล้วยหอมทอง (ตามขั้นตอนในภาพที่ 17) โดยจะต้องใช้กล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐาน การส่งออกที่ส่งมาจาก จังหวัดชุมพร จำนวน 250 กิโลกรัม โดยนำกล้วยมาบ่ม เมื่อกล้วยสุกถึงระยะ 7 แล้ว นำมาลวกด้วยไอน้ำเดือด ปอกเปลือกและบด จะได้เนื้อกล้วยบด จำนวน 100 กิโลกรัม นำไปสกัดน้ำกล้วยโดยใช้เอนไซม์เพคตินเอส ได้น้ำกล้วยจำนวน 17 ชั่วโมง ซึ่งในระดับขยายผลนี้จะต้องรวบรวมแต่ละชุดการผลิตรวมกันเป็นตัวอย่างเดียวกันเพื่อใช้

ในการทดสอบจำนวนทั้งหมด ประมาณ 21 กิโลกรัม ดังนั้นต้องผลิตทั้งหมด 10 ชุด ต้องใช้เวลาการผลิตทั้งหมดอย่างน้อย 10 วันรวมกับเวลาในการบรรจุอีก 1 วันรวมทั้งสิ้น 11 วัน ดังนั้นจึงเห็น



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการผลิตไซรัปกล้วยหอมทองจากกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออก
ในระดับขยายผลใช้ผลกล้วยสด 250 กิโลกรัม

ทั้งหมด 64 กิโลกรัม นำไปทำให้เข้มข้นจะได้ไช้รี่ปกล้วยหอมทองจำนวน 21 กิโลกรัม เพื่อนำไปทดสอบผู้บริโภคจำนวน 7 กิโลกรัม สำหรับศึกษาอายุการเก็บรักษาจำนวน 7 กิโลกรัม และสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติจำนวน 2 กิโลกรัม ได้จัดทำผลผลิตและการสูญเสียในกระบวนการพัฒนาไช้รี่ปกล้วยหอมทอง แสดงในตารางที่ 42 จะเห็นได้ว่า จากผลกล้วยสด จะได้เนื้อมาก้วยบดร้อยละ 41.32 สกัดได้น้ำกล้วยร้อยละ 64.36 คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 26.57 จากผลกล้วยสด นำไปทำเป็นไช้รี่ปได้ร้อยละ 32.14 คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 8.55 จากผลกล้วยสด ถ้าคำนวณเฉพาะราคาต้นทุนจากวัตถุดิบ 250 กิโลกรัม ราคา กิโลกรัมละ 1 บาท คิดเป็นมูลค่า 250 บาท ได้ไช้รี่ปกล้วยหอมทอง 21 กิโลกรัม ถ้าจำหน่ายในราคาเดียวกับน้ำผึ้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เฉลี่ย กิโลกรัมละ 253 บาท คิดเป็นมูลค่า 5,313 บาท จะเห็นได้ว่า มีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึง 21 เท่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตในเชิงพาณิชย์