

การประเมินปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของฟักทองพันธุ์ลูกผสมชั่วรุ่นที่ 1 ที่เหมาะสมต่อการแปรรูป

Beta-carotene Content Evaluation of F₁ Hybrid Pumpkins for Processing

ภูวนัย ไชยชุมภู¹ วชิรญา อิมสabay¹ วรลักษณ์ ประยูรมหิศร¹
ยงยุทธ พลับจะโปะ² และอัญมณี อวูชานนท์^{1*}

Poowanai Chaichumpoo¹, Wachiraya Imsabai¹, Woralluk Prayoonmahisorn¹,
Yongyut Plubjapoa² and Anyamanee Auvuchanon^{1*}

บทคัดย่อ

ฟักทอง (*Cucurbita moschata*) มีสารอาหารและสารเบต้าแคโรทีนที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นผงฟักทองและเป็นส่วนประกอบในอาหารแช่แข็งได้ แต่ยังขาดงานวิจัยสายพันธุ์ฟักทองไทยที่ใช้ในการแปรรูป เมื่อทำการประเมินคุณภาพผลและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของฟักทองจำนวน 10 สายพันธุ์ ประกอบด้วยลูกผสมชั่วรุ่นที่ 1 จำนวน 7 สายพันธุ์ และพันธุ์ผสมเปิด 3 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อสด ผงฟักทอง และฟักทองแช่แข็ง อยู่ในช่วง 0.231-1.101, 0.133-0.759 และ 0.097-0.925 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ ในจำนวนนี้มีฟักทอง 6 สายพันธุ์ ที่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อสดสูง อยู่ระหว่าง 0.779-1.101 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม โดยสายพันธุ์ KPS-104 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อสดสูงที่สุด คือ 1.101 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม และมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อแช่แข็งสูงที่สุดและไม่เปลี่ยนแปลงหลังผ่านการแช่แข็งไปแล้ว 6 เดือน คือ 0.925 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปประกอบอาหารและแปรรูปฟักทองแช่แข็ง และสายพันธุ์ KAN1/007-14 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนผลสด 0.791 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม และในผงฟักทองสูงไม่แตกต่างจากผลสด คือ 0.670 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม มีเปอร์เซ็นต์ผงแห้ง 22.47 เปอร์เซ็นต์เทียบจากน้ำหนักสด ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการแปรรูปผงฟักทอง

คำสำคัญ: ฟักทอง เบต้าแคโรทีน การแปรรูป

Abstract

Pumpkin (*Cucurbita moschata*) is a high beta-carotene vegetable. Pumpkin can be processed such as pumpkin flour and frozen pumpkin. In Thailand, there are rarely conducted researches of pumpkin for processing. Ten pumpkin lines that were seven F₁ hybrids and three open pollinated lines evaluated in flesh qualities and beta-carotene content. The result showed that flesh, pumpkin flour, and frozen pumpkin had beta-carotene content from 0.231-1.101, 0.133-0.759 and 0.097-0.925 mg/100 g FW, respectively. From ten lines, six pumpkin lines had high beta-carotene ranging from 0.779-1.101 mg/100 g FW. The KPS-104 line was the highest beta-carotene with 1.101 mg/100 g FW and it had the highest beta-carotene in frozen pumpkin with 0.925 mg/100 g FW after it was frozen for six months. Therefore, KPS-104 line was good for frozen pumpkin. KAN1/007-14 line had beta-carotene in 0.791 mg/100 g FW and there was not different compared with pumpkin flour as 0.670 mg/100 g FW. KAN1/007-14 line was the highest pumpkin flour yield 22.47% compared with flesh pumpkin and it was appropriate for pumpkin flour processing.

Keywords: pumpkin, beta-carotene, processing

¹ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

*Corresponding author, Email: agrana@ku.ac.th

คำนำ

ฟักทอง (*Cucurbita moschata*) เป็นพืชผักที่คนไทยคุ้นเคยและนำมาบริโภคอย่างหลากหลาย ในปี 2559 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกฟักทอง 49,625 ไร่ ผลผลิตรวม 81,338 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) การส่งออกฟักทองส่วนใหญ่เป็นไปในรูปแบบผลสด ฟักทองอุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ นอกจากนี้ ฟักทองยังมีสารเบต้าแคโรทีนสูง ในเนื้อฟักทอง สปีชีส์ *C. moschata* ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมีสารเบต้าแคโรทีนเป็นองค์ประกอบมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และมีลูทีน ไลโคพีน แอลฟาแคโรทีน และซิสเบต้าแคโรทีนในปริมาณเล็กน้อย (Seo et al., 2005) เมื่อรับประทานอาหารที่มีเบต้าแคโรทีนเข้าไป ร่างกายจะเปลี่ยนเบต้าแคโรทีน 1 ไมเลกุล เป็นวิตามินเอ 2 ไมเลกุล เบต้าแคโรทีนมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ การรับประทานอาหารที่มีวิตามินเอและเบต้าแคโรทีนเป็นประจำสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดต่อกระจกและกระจกตาเสื่อมได้ และจากการทดลองยังพบว่าการได้รับเบต้าแคโรทีนร่วมกับแคโรทีนอยด์และวิตามินอื่น ๆ สามารถป้องกันการเกิดมะเร็งได้ (Krinsky, 1994) ปณาลี ภูวกรกุลชัย (2558) ศึกษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของฟักทอง พันธุ์การค้าและพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวนทั้งหมด 29 สายพันธุ์ ใน 2 ฤดูกาล พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนของฟักทองที่ปลูกในฤดูหนาวและฟักทองที่ปลูกในฤดูร้อน มีค่าระหว่าง 0.2-1.1 และ 0.1-1.0 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ จำนอง โสมกุล และคณะ (2561) ศึกษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของฟักทอง พบว่าเชื้อพันธุ์กรรมฟักทอง 29 accessions มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนระหว่าง 0.012-0.522 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ในขณะที่ฟักทองที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงนั้น มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีน 0.906-0.943 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนจากตัวอย่างพืชสามารถทำได้หลายวิธี จากการศึกษาของ ปิ่น โฉะวิทยากุล และคณะ (2560) พบว่า วิธีการของ Nagata and Yamashita (1992) สามารถวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อฟักทองได้เทียบเท่ากับวิธีการของ Gordon and Barrett (2007) แต่มีการใช้ตัวทำละลายน้อยชนิดกว่า มีความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า แต่การเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีสับเนื้อฟักทองให้ละเอียดนั้นใช้เวลานาน ดังนั้นจึงควรหาวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ทำให้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาที่นำฟักทองมาแปรรูปเป็นฟักทองผง แบ่งฟักทองสำหรับประกอบอาหารและเป็นส่วนผสมในอาหาร ซึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมด้วยผงฟักทอง 5 เปอร์เซ็นต์ มีรูปลักษณ์ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความพึงพอใจสูงสุด (Lee et al., 2002) โดนัทเค้กที่มีส่วนผสมของฟักทองผง 8 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับแป้งข้าวเจ้าได้รับการยอมรับและมีความสนใจซื้อมากที่สุด (สุธีร์ สาตร์พันธุ์, 2553) การใช้แป้งฟักทองผสมกับแป้งสำหรับทำเบเกอรี่ทำให้ผู้บริโภค 90 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ยอมรับและมีความสนใจซื้อ โดยการใช้แป้งฟักทอง 20 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับทำบัตเตอร์เค้กและชิฟฟอนเค้ก และการใช้แป้งฟักทอง 10 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับทำแป้งแซนวิช ขนมปัง และคุกกี้ (Pongjanta et al., 2006) อีกทั้งการเพิ่มแป้งฟักทอง ผสมกับแป้งสาลีเพื่อใช้ในการทำขนมปัง ทำให้ขนมปังมีปริมาณแคโรทีนอยด์และน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้น รสสัมผัสของขนมปังที่ผสมแป้งฟักทองดีกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียว โดยอัตราส่วนแป้งฟักทองที่เหมาะสมที่สุดคือ 10 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมด (Rakcejeva et al., 2011) เป็นต้น นอกจากนี้ การแช่แข็งยังเป็นอีกวิธีในการแปรรูปผักและรักษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ในการแช่แข็งผักและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี พบว่าบรอกโคลีและถั่วลันเตา มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนลดลง 15.7 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในแคร์รอต (Howard et al., 1999) จากการศึกษาข้างต้น ทำให้มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ฟักทองผงและแป้งฟักทองสำหรับประกอบอาหารเป็นส่วนประกอบอาหารมากยิ่งขึ้น เพื่อรสชาติ รสสัมผัส และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฟักทองลูกผสม F_1 hybrid ที่สามารถนำไปผลิตฟักทองผงและฟักทองแช่แข็งที่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูง

วิธีการศึกษา

พันธุ์ฟักทองที่ใช้ในการทดลอง

นำผลฟักทองที่ปลูกในช่วงฤดูฝน ปี พ.ศ. 2560 จำนวน 10 สายพันธุ์ (Figure 1) ประกอบด้วย พันธุ์ลูกผสม F_1 hybrid 7 สายพันธุ์ ได้แก่ KPS-101, KPS-104, KPS-W13, KAN1/CM1, KAN1/CM2, KAN1/007-14 และ KAN1/10R และ พันธุ์ผสมเปิด 3 สายพันธุ์ ได้แก่ F_5 CH-SA-1-3-9/10, KAN1 และ CM1 จำนวนพันธุ์ละ 4 ผล เป็นจำนวนซ้ำ ทำการเก็บเกี่ยวหลังดอกบาน 5 สัปดาห์

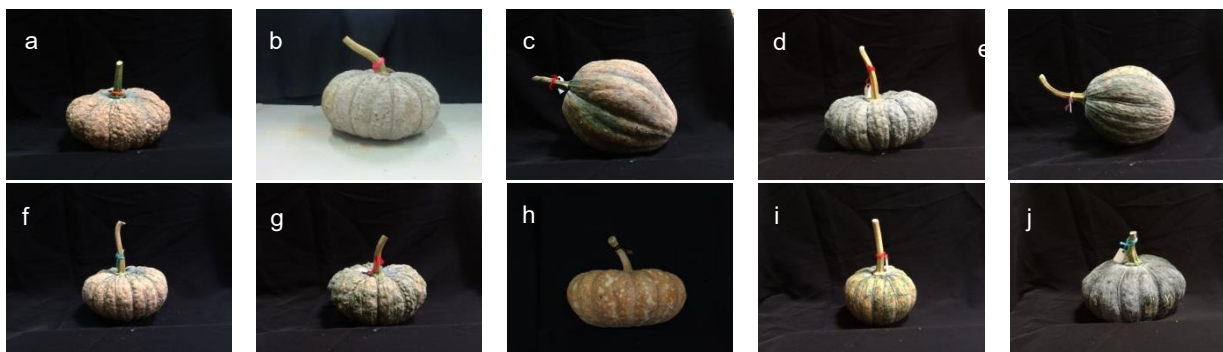


Figure 1 Morphology of 10 pumpkin lines - F₁ hybrid lines: KPS-101 (a), KPS-104 (b), KPS-W13 (c), KAN1/CM1 (d), KAN1/CM2 (e), KAN1/007-14 (f), KAN1/KPS-10R (g), open pollinated lines: F₅CH-SA-1-3-9/10 (h), KAN1 (i), CM1 (j).

การวัดคุณภาพผลพื้กทอง

วัดค่าสีเนื้อ Hunter L* a* b* ความหนาเนื้อ ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TSS) จากนั้นทำการวัดน้ำหนักแห้งเนื้อพื้กทองโดยชั่งเนื้อพื้กทองสด 50 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง นำพื้กทองที่ได้มาเตรียมตัวอย่างโดยสับให้ละเอียด (วิธีมาตรฐาน) และหั่นเป็นลูกเต๋าทะขนาดประมาณ 1x1 ซม. จากนั้นนำเนื้อพื้กทองหั่นเป็นลูกเต๋ามาแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน ส่วนการทำผงพื้กทองทำโดยนำเนื้อพื้กทองที่ไม่มีส่วนของเปลือกและไส้ไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาบดและร่อนให้เป็นผงละเอียด

การสกัดและวัดปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยวิธีการของ Nagata and Yamashita (1992)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ซึ่งวิธีมาตรฐานทำโดยนำเนื้อพื้กทองสับละเอียดมาชั่งตัวอย่างละ 1 กรัม ใส่ลงใน conical tube เติมน้ำที่ละลายที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ acetone : hexane ในอัตราส่วน 2 : 3 ตัวอย่างละ 20 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เติมน้ำที่ละลายแล้วไปปั่นด้วยเครื่อง homogenizer เป็นเวลา 1 นาทีหรือจนกว่าจะละเอียด เสร็จแล้วจึงปิดฝา พักไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน แล้วจึงนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการ

$$\text{เบต้าแคโรทีน (mg/100 g FW)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{545} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453}$$

เนื้อพื้กทองหั่นเป็นลูกเต๋ามาแช่แข็ง: ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเช่นเดียวกับวิธีมาตรฐาน

ผงพื้กทอง: ชั่งตัวอย่างผงพื้กทอง 0.1 กรัม ใส่ลงใน conical tube เติมน้ำปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นเติมน้ำ acetone : hexane (2 : 3) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปิดฝา แล้วนำไป vortex พักไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน แล้วจึงนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการ

$$\text{เบต้าแคโรทีน (mg/100 g FW)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{545} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453}$$

แล้วนำค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนมาคำนวณเทียบเท่าเนื้อพื้กทองสด ด้วยสมการ

$$\text{เบต้าแคโรทีนในผงพื้กทอง (mg/100 g FW)} = \frac{\text{ปริมาณเบต้าแคโรทีน} \times \text{เปอร์เซ็นต์แป้ง}}{\text{น้ำหนักผงพื้กทอง} \times 100}$$

วิเคราะห์ข้อมูลด้วย Analysis of Variance ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ด้วยโปรแกรม PAST (PAleontological STatistics Version 3.17) เพื่อศึกษาความแตกต่างของคุณภาพผลและปริมาณสารเบต้าแคโรทีน และเปรียบเทียบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อพื้กทองจากการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีมาตรฐานกับเนื้อพื้กทองหั่นเป็นลูกเต๋ามาแช่แข็ง และพื้กทองแช่แข็ง ด้วย Paired Samples t-Test

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณภาพผลของผักทอง 10 สายพันธุ์

จากการประเมินคุณภาพผลผักทองทั้ง 10 สายพันธุ์ พบว่า ค่าสีเนื้อ L^* a^* b^* , hue และ chroma มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) โดยค่าสี L^* มีค่าเฉลี่ย 67.1 ซึ่งเป็นค่าสีที่อยู่ในโทนสว่าง สายพันธุ์ KPS-104 มีค่าต่ำที่สุด และสายพันธุ์ CM1 มีค่าสูงที่สุด ค่าสี a^* มีค่าเฉลี่ย 15.5 ซึ่งเป็นค่าสีแดง สายพันธุ์ CM1 มีค่าต่ำที่สุด และสายพันธุ์ KPS-104 มีค่าสูงที่สุด ค่าสี b^* มีค่าเฉลี่ย 79.7 ซึ่งเป็นค่าสีเหลือง สายพันธุ์ KPS-104 มีค่าต่ำที่สุด และสายพันธุ์ KAN1 มีค่าสูงที่สุด เมื่อทำการคำนวณค่าสี hue ซึ่งเป็นค่าสีที่แท้จริง พบว่า มีค่าเฉลี่ย 79.1 โดยมีค่าระหว่าง 72.0-86.3 อยู่ในโทนสีเหลืองส้ม จนถึงสีเหลือง ($hue_{สีแดง} = 0$, $hue_{สีเหลือง} = 90$) โดยเรียงระดับโทนสีจากโทนสีเหลืองส้มจนถึงสีเหลืองได้ดังนี้ KPS-104, KPS-101, KAN1/007-14, KAN1/KPS-10R, KAN1/CM2, KPS-W13, KAN1/CM1, F₅CH-SA-1-3-9/10, KAN1 และ CM1

ความแน่นเนื้อ ความหนาเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ของผักทองทั้ง 10 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ความแน่นเนื้อมีค่าเฉลี่ย 0.89 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยสายพันธุ์ KAN1/KPS-10R มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสายพันธุ์ KAN1 มีค่าสูงที่สุดคือ 1.76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาเนื้อมีค่าเฉลี่ย 29.81 มิลลิเมตร โดยสายพันธุ์ KAN1/007-14 มีค่าต่ำที่สุดคือ 22.36 มิลลิเมตร และสายพันธุ์ F₅ CH-SA-1-3-9/10 มีค่าสูงที่สุดคือ 40.00 มิลลิเมตร ค่า TSS มีค่าเฉลี่ย 9.3 องศาบริกซ์ โดยสายพันธุ์ CM1 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 7.7 องศาบริกซ์ และสายพันธุ์ KPS-104 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 11.1 องศาบริกซ์

เมื่อทำการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ผงแป้ง พบว่า แต่ละสายพันธุ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสายพันธุ์ CM1 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ผงแป้งต่ำที่สุด ซึ่งมีค่า 12.40 และ 12.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสายพันธุ์ KAN1/007-14 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ผงแป้งสูงที่สุด ซึ่งมีค่า 22.18 และ 22.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1)

ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทอง ผงผักทอง และผักทองแช่แข็ง

ทำการประเมินปริมาณสารเบต้าแคโรทีนด้วยวิธีมาตรฐาน โดยการนำเนื้อผักทองมาสับละเอียดแล้วจึงนำไปสกัดด้วยสารสกัด acetone : hexane (2 : 3) โดยบดละเอียดด้วยเครื่องปั่น เมื่อนำค่าดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของผักทองทั้ง 10 สายพันธุ์ พบว่า ผักทองลูกผสมมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงกว่าพันธุ์ผสมเปิด โดยสายพันธุ์ KPS-104 และ KPS-W13 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเป็น 1.101 และ 0.958 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ สายพันธุ์ KPS-101, KAN1/KPS-10R, KAN1/007-14, KAN1/CM2 และ KAN1/CM1 มีค่าเท่ากับ 0.809, 0.801, 0.791, 0.779 และ 0.478 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนผักทองพันธุ์ผสมเปิดถูกจัดเป็นกลุ่มที่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนระดับปานกลางถึงต่ำ คือ สายพันธุ์ KAN1, F₅CH-SA-1-3-9/10 และ CM1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.463, 0.330 และ 0.231 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนทั้ง 10 สายพันธุ์ มีค่าเท่ากับ 0.644 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม (Table 2)

ก่อนการนำเนื้อผักทองไปแช่แข็ง ได้ทำการประเมินปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองหั่นเป็นลูกเต๋าของผักทองทั้ง 10 สายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ KPS-104 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด คือ 0.950 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม รองลงมาคือสายพันธุ์ KPS-W13, KAN1/KPS-10R, KAN1/007-14 4KAN1/CM2 และ KPS-101 มีค่าเท่ากับ 0.830, 0.797, 0.789, 0.751 และ 0.722 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนผักทองที่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนระดับปานกลางถึงต่ำ คือ KAN1/CM1, KAN1 F₅CH-SA-1-3-9/10 และ CM1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.546, 0.491, 0.325 และ 0.227 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ และเนื้อผักทองหั่นเป็นลูกเต๋ามีค่าเฉลี่ย 0.619 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม (Table 2)

Table 1 Flesh color (L^* a^* b^*), flesh firmness, flesh thickness, total soluble solid (TSS), dry weight percentage and flour percentage of 10 pumpkin lines.

Line	Flesh color					Flesh firmness (kg/cm ²)	Flesh thickness (mm)	(TSS) (°Brix)	Dry weight percentage (%)	Flour percentage (%)
	L^*	a^*	b^*	Hue	Chroma					
KPS-101	64.9 ^{cd}	21.5 ^{ab}	79.5 ^{bcd}	74.8 ^{ef}	82.3 ^{ab}	1.27 ^b	34.84 ^{ab}	9.7 ^{abcd}	13.52 ^{cde}	14.22 ^{de}
KPS-104	59.0 ^f	23.6 ^a	72.7 ^e	72.0 ^f	76.5 ^c	1.32 ^b	27.14 ^{cde}	11.1 ^a	13.98 ^{bcd}	14.67 ^{cde}
KPS-W13	61.8 ^{def}	14.1 ^c	75.5 ^{de}	79.4 ^{cd}	76.8 ^c	1.72 ^a	32.62 ^{bc}	9.6 ^{abcd}	17.95 ^b	18.00 ^{bc}
KAN1/CM1	66.9 ^{bc}	13.6 ^c	83.6 ^a	80.8 ^{bc}	84.6 ^a	0.78 ^c	32.18 ^{bc}	8.5 ^{de}	16.29 ^{bcd}	16.11 ^{bcd}
KAN1/CM2	66.6 ^c	18.6 ^b	82.7 ^{ab}	77.4 ^{de}	84.8 ^a	0.54 ^d	25.32 ^{de}	9.9 ^{abc}	16.88 ^{bc}	18.85 ^b
KAN1/007-14	64.7 ^{cde}	21.2 ^{ab}	78.9 ^{cd}	75.0 ^{ef}	81.7 ^{ab}	0.57 ^d	22.36 ^e	10.7 ^{ab}	22.18 ^a	22.47 ^a
KAN1/KPS-10R	65.6 ^{cd}	20.6 ^{ab}	82.6 ^{abc}	76.0 ^e	85.1 ^a	0.50 ^d	29.28 ^{cd}	9.2 ^{cd}	17.18 ^b	18.46 ^b
F ₅ CH-SA-1-3-9/10	70.9 ^{ab}	11.3 ^c	78.3 ^d	81.8 ^{bc}	79.2 ^{bc}	0.60 ^d	40.00 ^a	9.4 ^{bcd}	12.93 ^{de}	14.92 ^{cde}
KAN1	71.1 ^{ab}	10.3 ^c	83.8 ^a	83.0 ^b	84.4 ^a	1.76 ^a	22.51 ^e	8.5 ^{de}	15.99 ^{bcd}	17.19 ^{bcd}
CM1	73.9 ^a	4.9 ^d	76.8 ^{de}	86.3 ^a	77.0 ^c	0.50 ^d	29.34 ^{cd}	7.7 ^e	12.40 ^e	12.42 ^e
Mean	67.1	15.5	79.7	79.1	81.4	0.89	29.81	9.3	15.86	16.72
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	4.08	15.73	3.01	2.30	2.83	8.68	11.55	9.12	13.75	13.40
LSD	3.31	2.94	2.90	2.20	2.79	0.09	4.16	1.03	2.64	2.71

Values in a column followed by different letters differ significantly at the 5% level of probability,

** highly statistic significant confidence level of 99%.

ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในผกฟักทองทั้ง 10 สายพันธุ์ พบว่า สายพันธุ์ KPS-104 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด ซึ่งมีค่า 0.759 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม รองลงมาคือสายพันธุ์ KAN1/007-14, KPS-W13, KAN1/KPS-10R, KAN1/CM2, KPS-101, KAN1/CM1, KAN1, F₅CH-SA-1-3-9/10 และ CM1 ซึ่งมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 0.670, 0.641, 0.563, 0.557, 0.405, 0.310, 0.307, 0.194 และ 0.133 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ และผกฟักทองมีค่าเฉลี่ย 0.433 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม (Table 2) ส่วนปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในฟักทองที่ผ่านการแช่แข็งเป็นเวลา 6 เดือนของทั้ง 10 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ KPS-104 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.925 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม รองลงมาคือสายพันธุ์ KPS-W13, KPS-101, KAN1/KPS-10R, KAN1/007-14, KAN1/CM2, KAN1, KAN1/CM1, F₅CH-SA-1-3-9/10 และ CM1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.680, 0.651, 0.603, 0.589, 0.461, 0.349, 0.291, 0.142 และ 0.097 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ตามลำดับ และปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในฟักทองแช่แข็งมีค่าเฉลี่ย 0.447 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม (Table 2)

Table 2 Beta-carotene content in standard preparation method, diced pumpkin, pumpkin powder and frozen pumpkin of 10 pumpkin lines.

Lines	Beta-carotene content (mg/100 g of fresh weight)				Paired samples t-test		
	Standard preparation method	Diced pumpkin	Pumpkin powder	Frozen pumpkin	Standard vs. diced	Standard vs. powder	Diced vs. frozen
KPS-101	0.809 ^{bc}	0.722 ^b	0.405 ^{cd}	0.651 ^b	NS	*	NS
KPS-104	1.101 ^a	0.950 ^a	0.759 ^a	0.925 ^a	NS	NS	NS
KPS-W13	0.958 ^{ab}	0.830 ^{ab}	0.641 ^{ab}	0.680 ^b	NS	*	NS
KAN1/CM1	0.478 ^d	0.546 ^c	0.310 ^{de}	0.291 ^e	NS	*	**
KAN1/CM2	0.779 ^c	0.751 ^b	0.557 ^{bc}	0.461 ^{cd}	NS	**	**
KAN1/007-14	0.791 ^{bc}	0.789 ^b	0.670 ^{ab}	0.589 ^{bc}	NS	NS	**
KAN1/KPS-10R	0.801 ^{bc}	0.797 ^b	0.563 ^b	0.603 ^b	NS	*	*
F ₅ CH-SA-1-3-9/10	0.330 ^{de}	0.325 ^d	0.194 ^{ef}	0.142 ^f	NS	*	**
KAN1	0.463 ^d	0.491 ^d	0.307 ^{de}	0.349 ^{ed}	NS	*	NS
CM1	0.231 ^e	0.227 ^e	0.133 ^f	0.097 ^f	NS	**	**
Mean	0.644	0.619	0.433	0.447			
F-test	**	**	**	**			
CV (%)	19.64	10.22	23.07	20.02			
LSD	0.15	0.08	0.12	0.11			

Values in a column followed by different letters differ significantly at the 5% level of probability, NS: none statistic significant,

* statistic significant confidence level of 95%, ** highly statistic significant confidence level of 99%.

จากการทดลอง พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในผักทองแปรรูปของผักทองหลายสายพันธุ์ แต่มีบางสายพันธุ์ที่เมื่อถูกนำไปแปรรูปแล้วยังคงมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนไม่แตกต่างจากเนื้อผักทองสด เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Paired Samples t-Test ในผักทองแต่ละสายพันธุ์ (Table 2) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่สกัดจากตัวอย่างของผักทองสดและผักทองแปรรูป พบว่า ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองตามวิธีมาตรฐานและเนื้อผักทองหั่นเป็นลูกเต๋าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองวิธีมาตรฐานมีปริมาณมากกว่าผงผักทองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นสายพันธุ์ KPS-104 และ KAN1/007-14 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองหั่นเป็นลูกเต๋ากับผักทองแช่แข็ง พบว่า ผักทองส่วนใหญ่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นสายพันธุ์ KPS-101, KPS-104, KPS-W13 และ KAN1 ที่ไม่พบความเปลี่ยนแปลง

ค่าสหสัมพันธ์ของคุณภาพผลผักทอง

เมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของคุณภาพผลทุกลักษณะ พบว่า ค่าสี L* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีน นั่นคือ ผักทองที่มีเนื้อสีทึบจะมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูง ค่าสี a* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า hue และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีน นั่นคือ ผักทองที่มีเนื้อสีเหลืองส้มจะมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูง ส่วนค่าสี b* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า chroma แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ลักษณะเนื้อผักทองโทนสีเหลืองจึงไม่สามารถบ่งบอกถึงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนได้ ค่า TSS เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ผงแป้ง มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีน นั่นคือ เมื่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงขึ้น ความหวาน น้ำหนักแห้ง และปริมาณผงแป้ง จะมากขึ้นด้วยเช่นกัน ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองตามวิธีมาตรฐานมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองหั่นเป็นลูกเต๋า ($r=0.955^{**}$) และผงผักทอง ($r=0.918^{**}$) และปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองหั่นเป็นลูกเต๋ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในผักทองแช่แข็ง ($r=0.914^{**}$) นั่นคือ ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อผักทองสดที่สูงทำให้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในผักทองแปรรูปสูงด้วยเช่นกัน ในขณะที่ค่า chroma ความแน่นเนื้อ และความหนาเนื้อ ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ซึ่งผลการทดลองคล้ายคลึงกับ ปณาลี ภูวกรกุลชัย (2558) ที่พบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าสี L* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าสี a* และ ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าสี b* และ TSS

Table 3 Correlations of flesh color (L* a* b*), flesh firmness, flesh thickness, total soluble solid (TSS), dry weight percentage, flour percentage and beta-carotene content.

[illegible]

จากการศึกษา พักทองสายพันธุ์ใหม่ที่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงมีจำนวน 6 สายพันธุ์ มี 2 สายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ผงแป้งและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในผงพักทองสูง ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการผลิตผงพักทอง จากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเบต้าแคโรทีนกับเปอร์เซ็นต์ผงแป้งที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกนั้น แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพันธุ์พักทองให้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและเปอร์เซ็นต์ผงแป้งที่สูง เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการผลิตผงพักทองเพื่อสุขภาพ และสายพันธุ์ที่มีสารเบต้าแคโรทีนสูงมี 3 สายพันธุ์ที่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนไม่เปลี่ยนแปลงหลังผ่านการแช่แข็งไปแล้ว 6 เดือน จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปเป็นส่วนประกอบในอาหารแช่แข็งที่ยังคงคุณค่าต่อสุขภาพได้เป็นเวลานาน

ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของพักทองจากการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีมาตรฐานและเนื้อพักทองหั่นเป็นลูกเต๋า เป็นการเตรียมตัวอย่างจากเนื้อพักทองสดที่ไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ แตกต่างจากการเตรียมตัวอย่างผงพักทองที่ต้องผ่านกระบวนการอบ ซึ่งเป็นผลให้สารเบต้าแคโรทีนเสื่อมสภาพ เนื่องจากโมเลกุลของสารเบต้าแคโรทีนมีพันธะคู่อยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้สารเบต้าแคโรทีนทำปฏิกิริยาและเสื่อมสภาพได้ง่าย สารเบต้าแคโรทีนสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยความร้อนและออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น (Pénicaud et al., 2011) ในการเตรียมตัวอย่างผงพักทองทำโดยนำเนื้อพักทองไปอบที่อุณหภูมิสูงในตู้อบลมร้อน เมื่อเนื้อพักทองได้รับความร้อนและอากาศจึงทำให้สารเบต้าแคโรทีนบางส่วนเสื่อมสภาพ โดยผงพักทองมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเหลืออยู่ระหว่าง 49.98-82.94 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ย 65.37 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อพักทองที่เตรียมด้วยวิธีมาตรฐาน คล้ายคลึงกับการทดลองของ Yan et al. (2010) และ Alcides Oliveira et al. (2010) โดย Yan et al. (2010) รายงานว่า การอบแห้งแครอทด้วยวิธี Microwave-assisted freeze drying (MWFD) มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนไม่แตกต่างจากแครอทสด เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการอบแห้งด้วยวิธี Microwave-assisted vacuum drying (MWVD) และ Microwave-enhanced spouted bed drying (MWSD) ซึ่งมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเพียง 70 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับแครอทสด และ Alcides Oliveira et al. (2010) รายงานว่า เมื่อนำรากมันสำปะหลังไปอบที่อุณหภูมิ 120-150 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อทำแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในแป้งมันสำปะหลังลดลงเฉลี่ย 50 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในรากมันสำปะหลังสด อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในผงพักทองใกล้เคียงกับการทดลองข้างต้น แม้จะใช้เวลาในการอบที่นานกว่าก็ตาม เนื่องมาจากพืชที่ใช้ทดลองแตกต่างกัน และสายพันธุ์พักทองที่นำมาศึกษามีความหลากหลายมากกว่า ในขณะที่การเก็บรักษาโดยการแช่แข็งนั้นไม่ได้ถูกแปรูปด้วยความร้อน และตัวอย่างพักทองแช่แข็งถูกเก็บภายในถุงซิปล็อกซึ่งลดการสัมผัสกับอากาศได้ แต่การเก็บรักษาเป็นเวลานานก็ทำให้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในพักทองแช่แข็งลดลงได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Dutta et al. (2005) ที่พบว่าสารเบต้าแคโรทีนในแครอทแช่แข็งมีปริมาณลดลงตามจำนวนวันในการเก็บรักษาที่มากขึ้น การเก็บรักษาเป็นระยะเวลาานอาจจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น และเกิดปฏิกิริยา autoxidation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบหนึ่งที่ทำให้สารเบต้าแคโรทีนเสื่อมสภาพได้ (Pénicaud et al., 2011) แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในพักทองแช่แข็งของพักทองสายพันธุ์ KPS-101, KPS-104, KPS-W13 และ KAN1 ไม่มีความแตกต่างจากปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อพักทองหั่นเป็นลูกเต๋า จึงอาจเป็นไปได้ว่าพักทองทั้ง 4 สายพันธุ์ มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นน้อย หรืออาจจะมีกลไกภายในบางอย่างที่ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ หากนำไปแปรรูปเป็นพักทองแช่แข็งหรือเป็นส่วนประกอบในอาหารแช่แข็งก็ยังคงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนไว้ได้เป็นเวลานาน นอกจากนี้ จากการทดลองสามารถประยุกต์ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อพักทองหั่นเป็นลูกเต๋าที่ใช้เวลาน้อยกว่าเนื้อพักทองสับละเอียดที่เป็นวิธีมาตรฐาน โดยสามารถลดเวลาลงได้ครึ่งหนึ่งจากกรรมวิธีเดิม เนื่องจากไม่ต้องสับตัวอย่างให้ละเอียดซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานาน หากมีตัวอย่างจำนวนมากการเตรียมตัวอย่างโดยหั่นเป็นลูกเต๋าจะสะดวกและประหยัดเวลามากกว่าการสับละเอียด

สรุปผลการศึกษา

พักทองสายพันธุ์ KPS-104 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อสด ผงพักทอง และพักทองแช่แข็งสูงที่สุด ซึ่งเหมาะแก่การบริโภคผลสดและแปรรูปพักทองแช่แข็ง ในขณะที่สายพันธุ์ KAN1/007-14 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อสดและผงพักทองสูง ประกอบกับมีเปอร์เซ็นต์ผงแป้งสูง เหมาะสำหรับการบริโภคผลสดและผลิตผงพักทอง จากการทดลองมีความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพันธุ์พักทองให้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและเปอร์เซ็นต์ผงแป้งสูง เพื่อพัฒนาเป็นสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการผลิตผงพักทองเพื่อสุขภาพ และสามารถประยุกต์ใช้การเตรียมตัวอย่างเนื้อพักทองด้วยการหั่นเป็นลูกเต๋าแทนการสับละเอียดตามวิธีมาตรฐานได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มูลนิธิชัยพัฒนา สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2559. สถานการณ์การปลูกพืชของ รายจังหวัด ปี 2559. กรมส่งเสริมการเกษตร. <http://production.doae.go.th> (6 สิงหาคม 2561).
- จำนอง โสมกุล, ธนากร ไชยศิลา, ธรธ อ่ำพล, ปณาลี ภูวกรกุลชัย, วรลักษณ์ ประยูรมหิธร และอัญมณี อาวุชานนท์. 2561. การประเมินคุณภาพผลและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของเชื้อพันธุ์กรรมพืชของ 29 accessions. *แก่นเกษตร* 46 (1) (พิเศษ): 1424-1430.
- ปณาลี ภูวกรกุลชัย. 2558. การศึกษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและการประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของพืชของด้วยเครื่องหมายดีเอ็นเอ ชนิด AFLP. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิ่น โลหะวิทยากุล, วชิรญา อิมสบาย, ปวิณา ชื่นวาริน, ปิยณัฐ วัฒนากาศ และอัญมณี อาวุชานนท์. 2560. การศึกษาวิธีการวัดปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหมาะสมเพื่อการคัดเลือกพันธุ์พืชของ. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์* 4(1): 8-13.
- สุธีร์ สัตร์พันธุ์. 2553. การพัฒนาพืชของผงเพื่อใช้ในการผลิตโดนัทเค้ก. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุทิศ สุภาพ. 2555. การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชของ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alcides Oliveira, R.G., Carvalho, M.J.L., Marília Nutti, R., Carvalho, L.V.J., and W. G. Fukuda. 2010. Assessment and degradation study of total carotenoid and β -carotene in bitter yellow cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties. *African Journal of Food Science* 4(4): 148-155.
- Dutta, D., Raychaudhuri, U., and R. Chakraborty. 2005. Retention of β -carotene in frozen carrots under varying conditions of temperature and time of storage. *African Journal of Biotechnology* 4(1): 102-103.
- Howard, L.A., Wong, A.D., Perry, A.K., and B.P. Klein. 1999. β -carotene and ascorbic acid retention in fresh and processed vegetables. *Journal of Food Science* 64(5): 929-936.
- Krinsky, N.I. 1994. The biological properties of carotenoids. *Pure and Applied Chemistry* 66(5): 1003-1010.
- Lee, C.H., Cho, J.K., Lee, S.J., Koh, W., Park, W., and Kim, C.H. 2002. Enhancing β -carotene content in Asian noodles by adding pumpkin powder. *American Association of Cereal Chemists* 79 (4): 593-595.
- Nagata, M., and I. Yamashita. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *J. Japan Soc. Food Sci. Technol* 39: 925-928.
- Pénicaud, C., Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Dornier, M., and P. Bohuon. 2011. Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review. *Fruits* 66: 417-440.
- Pongjanta, J., Naulbunrang, A., Kawngdang, S., Manon, T., and T. Thepjaikat. 2006. Utilization of pumpkin powder in bakery products. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 28: 71-79.
- Rakcejeva, T., Galoburda, R., Cude, L., and E. Strautniece. 2011. Use of dried pumpkins in wheat bread production. *Procedia Food Science* 1: 441-447.
- Seo, J.S., Burri, B.J., Quan, Z. and T.R. Neidlinger. 2005. Extraction and chromatography of carotenoids from pumpkin. *Journal of Chromatography A* 1073: 371-375.
- Yan, W.Q., Zhang, M., Huang, L.L., Tang, J., Mujumdar, A.S. and J.C. Sun. 2010. Studies on different combined microwave drying of carrot pieces. *Food Science and Technology* 45: 2141-2145.

วันรับบทความ (Received date) : 15 พ.ย. 61

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 28 ม.ค. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 11 มิ.ย. 62