บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

จากผลการศึกษาการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

องค์ประกอบทางเคมีของส่วนเหลือทิ้งของขนุน

ผลขนุนสดของขนุนพันธุ์ทองประเสริฐที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเพกทิน ประกอบด้วย เนื้อขนุน 55.26±0.51 เปอร์เซ็นต์ เมล็ด 11.03±0.60 เปอร์เซ็นต์ เปลือก 14.32±0.62 เปอร์เซ็นต์ ซัง 10.88±0.71 เปอร์เซ็นต์ และแกน 8.51±0.34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดเป็นส่วนที่กินได้ประมาณ 55.26 เปอร์เซ็นต์ และเป็นส่วนเหลือทิ้ง 44.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ นัยทัศน์ ภู่ศรันย์ (2530) ที่พบว่า ส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ของขนุนมีเพียง 55 เปอร์เซ็นต์ และอีก 45 เปอร์เซ็นต์เป็นของเหลือทิ้ง

เพกทินเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่พบได้ในพืชชั้นสูง (Walter, 1991) และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเหลือทิ้งของขนุนอบแห้งทั้ง 3 ส่วนพบปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง โดยพบปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในเปลือกถึง 91.50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นแกน และซังขนุนตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าในซังขนุนอบแห้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 89.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้ผลการทดลองใกล้เคียงกับสุภิณยาฐ์ ชินชัย (2536) ซึ่งวิเคราะห์ซังขนุนอบแห้งพบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 88.35 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นของเหลือทิ้งของขนุนจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเพกทิน

ชนิดส่วนเหลือทิ้งของขนุนที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน

ถึงแม้ว่าส่วนเหลือทิ้งทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ เปลือก ซัง และแกนขนุนจะมีปริมาณเพกทินไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่เปลือกเป็นส่วนที่พบปริมาณเพกทินสูงสุด (7.20 เปอร์เซ็นต์) สอดคล้องกับรายงานของ Jain and Lal, 1957 อ้างถึงใน นัยทัศน์ ภู่ศรันย์, 2530 กล่าวว่าในเปลือกของขนุน (Pericarp) มีปริมาณเพกทินอยู่สูงสุด และจากการทดลองสกัดเพกทินจากซังขนุนได้ 7.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าการรายงานของนัยทัศน์ ภู่ศรันย์ (2521) ว่าซังขนุนมีเพกทินอยู่สูงถึง 11.48 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีการใช้โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(Sodiumhexametaphosphate, SHMP) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด และสาเหตุที่แกนขนุนมีปริมาณเพกทินต่ำที่สุดอาจเนื่องมาจากแกนของขนุนมีเพกทินอยู่น้อยตามธรรมชาติอยู่แล้ว และแกนยังมีลักษณะทางกายภาพที่แข็งกว่าซังและเปลือก ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นแกนแข็ง (Laticiferous) (Ong et al., 2006) จึงอาจเป็นไปได้ที่ปัจจัยนี้มีส่วนไปลดประสิทธิภาพของการสกัดเพกทินลง แต่จากการศึกษาสกัดเพกทินจากเปลือก ซัง และแกนของจำปาดะซึ่งเป็นพืชวงศ์เดียวกับขนุน พบปริมาณเพกทินสูงสุดในซัง 12.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นเปลือก 11.57 เปอร์เซ็นต์ และแกน 8.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าเพกทินจากส่วนเหลือทิ้งของขนุน 3 ส่วน มีปริมาณรวมกันถึง 33.71 เปอร์เซ็นต์ของผลขนุน โดยในแต่ละส่วนมีปริมาณเพกทินไม่แตกต่างกันจึงเลือกใช้ของเหลือทิ้งทั้ง 3 ส่วนในอัตราส่วนเท่ากัน (1: 1: 1) ในการสกัดเพกทินเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดต่อไปเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งของขนุนให้มากที่สุด

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน

ปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อปริมาณกรดที่ใช้ มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สามารถอธิบายแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

1. ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

จากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสกัดเพกทินความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 นอร์มัล มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 0.7 และ 0.4 ตามลำดับ จึงใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างอธิบายถึงความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกด้วย จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกไม่มีผลต่อ ปริมาณเมทอกซิล ปริมาณกรดยูโรนิก และระดับการเกิดเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่มีผลต่อน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของธานี ตระกูลอินทร์ (2533) พบว่า ความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดจากเปลือกส้มโอ โดยเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงมีผลให้น้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินลดลงด้วย และยังสอดคล้องกับการศึกษาของรัชฎา ตั้งวงค์ไชย และคณะ (2544) ที่ทำการสกัดเพกทินจากส้มมะงั่ว พบว่า ขณะที่ความเป็นกรด-ด่างลดลงน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ Kalapathy and Proctor (2001) รายงานว่าเมื่อสกัดเพกทินจากเปลือกถั่วเหลือง (Soy Hull) โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบว่า ความเข้มข้นของกรดไม่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้ลดลง โดยการสกัดที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 1.2 มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาดีเอสเทอริฟิเคชั่นของเพกทินเพิ่มขึ้น

ทำให้การตกตะกอนของเพกทินเป็นไปได้ยาก (Josyn, 1970; Joye & Luzio, 2000) และจากการศึกษาของ Mohamad and Hasan, (2003) พบว่า การสกัดเพกทินจากจานรองดอกทานตะวันโดยใช้ความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์ลดลง และยังสอดคล้องกับ Pagan et al. (2001) รายงานว่าการสกัดเพกทินจากกากลูกพีชขณะที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำจะนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาดีเอสเทอริฟิเคชั่นของหมู่เมทอกซิลของสายโมเลกุลเพกทิน ทำให้ระดับการเกิดเอสเทอร์ลดลง และระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินจากกากลูกพีชสดยังมีค่ามากกว่าระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินจากกากลูกพีชอบแห้งอีกด้วย

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณเพกทิน น้ำหนักสมมูลย์ ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อระดับการเกิดเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถสกัดเพกทินได้ปริมาณเพิ่มขึ้น และการสกัดที่อุณหภูมิต่ำการแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อพืชของสารละลายที่ใช้สกัดและการแพร่ของโมเลกุลเพกทินออกจากเนื้อเยื่อพืชเกิดในอัตราที่ช้าจึงทำให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้ต่ำ แต่เมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น ประสิทธิภาพของการสกัดก็จะสูงขึ้นมีผลให้สารละลายสกัดและโมเลกุลเพกทินแพร่ได้ดีขึ้น (ธานี ตระกูลอินทร์, 2533) นอกจากนี้การศึกษาของรัชฎา ตั้งวงค์ไชย และคณะ (2544) อธิบายไว้ว่า อุณหภูมิในการสกัดที่สูงขึ้นอาจทำให้มีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น เฮมิเซลลูโลส หรือน้ำตาลอื่นที่มีอยู่ในส่วนเปลือกด้านในถูกสกัดออกมามากขึ้นทำให้เพกทินมีความบริสุทธิ์น้อยลง ซึ่งการทดลองครั้งนี้วิเคราะห์ปริมาณกรดยูโรนิกได้ค่าระหว่าง 29.17-55.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่ Food Chemicals Codex กำหนดไว้ว่าเพกทินต้องมีปริมาณกรดยูโรนิกอย่างน้อย 65 เปอร์เซ็นต์ (Food Chemicals Codex [FCC], 1981)

3. เวลาที่ใช้ในการสกัด

เวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณเพกทิน น้ำหนักสมมูลย์ ปริมาณเมทอกซิล และระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของรัชฎา ตั้งวงค์ไชย และคณะ (2544) โดยการสกัดเพกทินจากเปลือกส้มมะงั่ว พบว่า เวลาไม่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ นอกจากนี้ Kratchanova et al. (1986) อธิบายไว้ว่าว่าการสกัดเพกทินจะเกิดขึ้นโดยสารละลายที่ใช้สกัดแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อพืช แล้วเกิดการไฮโดรไลซิสโมเลกุลเพกทินออกจากแคลเซียมไอออน และโพลิเมอร์อื่น ๆ หลังจากนั้นโมเลกุลเพกทินจะเคลื่อนที่แพร่ออกจากเนื้อเยื่อพืชสู่สารละลายภายนอก (Solubilization) โดยการแพร่ของสารละลายสกัดเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช และการแพร่ของโมเลกุลเพกทินจากเนื้อเยื่อพืชสู่สารละลายสกัดภายนอกนั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มีความสัมพันธ์กับเวลา ดังนั้นเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น เวลาของการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้มากขึ้น ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จึงเพิ่มสูงขึ้น

4. อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด

อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดมีผลต่อปริมาณเพกทิน น้ำหนักสมมูลย์ ปริมาณเมทอกซิล ปริมาณกรดยูโรนิก และระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Attri and Maini (1996) ซึ่งสกัดเพกทินจากเปลือก Galgal พบว่า อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้ และจากการศึกษาของ ณรงค์ ศิขิรัมย์ (2546) พบว่า ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากกากฝรั่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของกากฝรั่งต่อกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วน 1: 1 เป็น 1: 5 และปริมาณเพกทินจะลดลงเมื่อใช้อัตราส่วน 1: 6 และ 1: 7 ตามลำดับ แต่จากการศึกษาปัจจัยในการสกัดเพกทินจากต้นบีทของ Yapo, Robert, Etienne, Wathelet, and Paquot (2006) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเพกทิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัด แต่อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดไม่มีผลต่อปริมาณเพกทิน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเลือกใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรดสูงถึง 1: 29 ส่วนผลของอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อปริมาณกรดนั้นในการศึกษาครั้งนี้พบว่าใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาณกรดมีผลต่อน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้ขัดแย้งกับการศึกษาของธานี ตระกูลอินทร์ (2533) ที่รายงานว่าอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อปริมาณกรดที่ใช้ไม่มีผลต่อน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอ ทั้งนี้อาจเนื่องจากชนิดของเนื้อเยื่อพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเพกทินแตกต่างกัน

นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิผลร่วมระหว่างปัจจัยที่ศึกษา พบว่าอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 3 ปัจจัย และ 4 ปัจจัย ส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ แต่อิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) Pagan et al. (2001) รายงานไว้ว่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลามีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากกากแอบเปิ้ลโดยเมื่ออุณหภูมิ และเวลาเพิ่มขึ้น และความเป็นกรด-ด่างลดลงมีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้สูงขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกและกากส้ม (Aravantinos-Zafiris & Oreopoulou, 1992) การสกัดเพกทินจากกากแอบเปิ้ล (Pagan & Ibarz, 1999) และการสกัดเพกทินจากหัวบีท (Levigne et al., 2001) กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิ และเวลาเพิ่มขึ้น และความเป็นกรด-ด่างลดลงมีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้สูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อภาวะในการสกัดใช้อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้สกัดเพกทินได้ปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา

ไฮโดรไลซิส ทำให้สามารถสกัดเพกทินออกมาได้มากขึ้น (ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546) นอกจากนี้ อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรดยังมีผลต่อปริมาณเมทอกซิลเช่นกัน เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการสกัด และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นสูงขึ้น ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และยังมีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกโดยเมื่ออุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรดยังมีผลต่อเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ลดลง (Kalapathy & Proctor, 2001)

ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับปัจจัยที่ทำการศึกษาได้ดังนี้

$$Y_1 = -55.62 + 67.03X_1 + 0.65X_2 + 0.39X_3 + 1.74X_4 - 43.88X_1^2 - 0.003X_2^2 - 0.003X_3^2 - 0.05X_4^2 - 0.32X_1X_2 - 0.11X_1X_3 - 0.69X_1X_4 - 0.002X_2X_4 + 0.001X_3X_4$$

<u>หมายเหตุ</u> X_1, X_2, X_3และX_4 คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) เวลา (นาที) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด ตามลำดับ

Y_1 คือ ปริมาณเพกทิน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพกทินทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับปริมาณเพกทินที่สกัดได้ และจากแบบจำลองสามารถทำนายภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนได้คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.24 นอร์มัล อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด 89 องศาเซลเซียส 70 นาที โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 15 ได้ปริมาณเพกทินสูงสุด 7.59 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งซึ่งเพกทินที่สกัดได้เป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ แต่เนื่องจากภาวะการสกัดมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกทินที่สกัดได้ (Levigne, Ralet, & Thibault, 2002) และชนิดของวัตถุดิบยังมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้อีกด้วย (Mohamed & Hasan, 1995) จึงทำให้วัตถุดิบแต่ละชนิดมีภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินแตกต่างกัน และจากการศึกษาของรัชฎา ตั้งวงค์ไชย และคณะ (2544) ใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากส้มมะงั่ว พบว่าเมื่อสกัดเพกทินโดยใช้ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2 ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 105 นาที ได้ปริมาณเพกทินสูงสุด 33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่าเวลามีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับปริมาณเพกทินเพียงปัจจัยเดียว ส่วนความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เพกทินที่สกัดได้ ส่วนการศึกษาของ Norziah, Frag, and Abd-Karim (1990) ใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในสกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอ โดยภาวะที่เหมาะสมคือ การสกัดเพกทินด้วยโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ความเป็นกรด-ด่าง 3.6 ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 64 นาที แล้วตกตะกอนด้วยอะซิโตน ได้ปริมาณเพกทิน 20.80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งปริมาณเพกทินที่สกัดได้ ส่วนความเป็นกรด-ด่าง และเวลามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณเพกทินที่สกัดได้ ทั้งอาจเนื่องมาจากชนิดของสารเคมีและภาวะการสกัดที่เลือกใช้ในการสกัดเพกทินแตกต่างกันทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับแต่ละปัจจัยแตกต่างกัน (Kalapathy & Proctor, 2001)

ความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทั้ง 4 ปัจจัยกับปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุน พบว่าแบบจำลองดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง 99 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า แบบจำลองนี้สามารถใช้อธิบายความแปรเปลี่ยนของปริมาณเพกทินได้ดีเมื่อมีการแปรเปลี่ยนปัจจัย และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ก็แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้มีความสัมพันธ์กับข้อมูลสูง และสิ่งสำคัญของการพิจารณาว่าแบบจำลองนั้นจะนำมาใช้เป็นตัวแทนเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและปัจจัยได้หรือไม่ต้องมีการทดสอบความไม่เหมาะสมของแบบจำลองหรือ Lack of Fit Test ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลกับแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองที่ได้จากการทดลองมีค่าความน่าจะเป็น $P \geq 0.05$ จึงเป็นการยืนยันว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับแบบจำลองที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ สามารถใช้แบบจำลองเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2540) ดังนั้น การสุ่มเลือกภาวะการสกัดทั้งหมด 5 ภาวะที่ครอบคลุมระดับสูงสุดและต่ำสุดของปัจจัยทุกปัจจัยที่ภาวะเหมาะสม ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ในภาวะการสกัดเพกทินที่เหมาะสม (กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.24 นอร์มัล อุณหภูมิ 89 องศาเซลเซียส เวลา 70 นาที อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด 1: 15) ปริมาณเพกทินที่ทำนายได้จากแบบจำลองมีซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 7.57 และ 7.73 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีความน่าเชื่อถือในการทำนายปริมาณเพกทินสูงสุดที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม รวมถึงสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับปัจจัยที่ทำการศึกษาในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สมบัติทางเคมีและกายภาพของเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า

1. สมบัติทางเคมีของเพกทินที่สกัดได้และเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้าชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ พบว่าเพกทินที่สกัดได้มีปริมาณเมทอกซิล 2.69 เปอร์เซ็นต์ และระดับการเกิดเอสเทอร์ 26.74 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดเป็นเพกทินกลุ่มที่มีเมทอกซิลต่ำ เนื่องจากมีปริมาณเมทอกซิลต่ำกว่า 8.16 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับการเกิดเอสเทอร์ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และอีกสาเหตุคือ เพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนที่สกัดได้นี้เป็นการสกัดที่ภาวะความเป็นกรด-ด่างต่ำ อุณหภูมิสูง และใช้เวลานานอาจเกิดการทำลายโครงสร้างของเพกทิน โดยการเกิดปฏิกิริยาดีเอสเทอร์ริฟิเคชั่น ทำให้หมู่เมทอกซิลหลุดออกจากโครงสร้างของเพกทินเป็นผลให้เพกทินที่สกัดได้มีปริมาณเมทอกซิลต่ำ เช่นเดียวกับเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่วซึ่งมีปริมาณเมทอกซิล 2.65 เปอร์เซ็นต์ (รัชฎา ตั้งวงค์ไชย และคณะ, 2544) ในทางทฤษฎีระดับการเกิดเมทอกซิลคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับระดับการเกิดเอสเทอร์เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นอย่างสมบูรณ์โดยจะมีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโมเลกุลเพกทินประมาณ 16.32 เปอร์เซ็นต์ แต่ส่วนใหญ่เพกทินที่มีขายและใช้กันทางอุตสาหกรรมจะมีปริมาณเมทอกซิลสูงสุดเท่ากับ 11-12 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในธรรมชาติไม่มีเพกทินที่เกิดเอสเทอร์ครบทุกตำแหน่ง และการเกิดเจลของเพกทินกลุ่มที่มีเมทอกซิลต่ำจะต้องใช้แคลเซียมไอออนเป็นสารช่วยในการเกิดเจลซึ่งต่างกับเพกทินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงที่อาศัยน้ำตาลและกรดในการเกิดเจล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539)

เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูโรนิกในเพกทินทั้ง 2 ตัวอย่างตามวิธีของ Blumenkrantz and Asboe-Hansen (1973) พบว่า โดยเพกทินที่สกัดได้มีปริมาณกรดยูโรนิกต่ำกว่าเพกทินทางการค้า นอกจากนี้ปริมาณกรดยูโรนิกที่วิเคราะห์ได้อาจมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงสันนิษฐานได้จากสามารถวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินทางการค้าได้เพียง 61.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานของ FCC กำหนดว่าต้องมีปริมาณกรดยูโรนิกในเพกทินอย่างน้อย 65 เปอร์เซ็นต์ (Willats, Knox, & Mikkelsen, 2005)

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนในการทดลองกับเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ พบว่าเพกทินทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณเถ้า 2.70 และ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งโดยทั่วไปปริมาณเถ้าของเพกทินทางการค้าทั้งชนิดเมทอกซิลสูงและเมทอกซิลต่ำมักมีค่าอยู่ระหว่าง 1.90-5.20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณความชื้นของ

เพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนและเพกทินทางการค้ามีค่า 11.25 และ 10.22 ตามลำดับ ซึ่งความชื้นระดับนี้ไม่ทำให้เพกทินจับตัวเป็นก้อนเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -29 องศาเซลเซียส ในระหว่างการเก็บรักษานาน 1 เดือน (รัชฎา ตั้งวงค์ไชย และคณะ, 2544)

2. สมบัติทางกายภาพของเพกทินที่สกัดได้และเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ

เพกทินจากที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีสีเข้มกว่าสีของเพกทินทางการค้า อาจเนื่องมาจากผลของการทำแห้งวัตถุดิบโดยใช้แบบลมร้อน กล่าวคือ ถ้าเป็นการทำแห้งแบบสุญญากาศซึ่งหมายถึงมีภาวะภายในตู้อบเป็นสูญญากาศ ซึ่งมีออกซิเจนอยู่น้อยกว่าจะทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของรงควัตถุต่าง ๆ เกิดได้น้อยกว่า ทำให้การทำแห้งแบบสุญญากาศมีสีดีกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน (Fellows, 1990) หรือขั้นตอนการล้างวัตถุดิบนั้นไม่เพียงพอที่จะกำจัดสี ซึ่งมีรายงานไว้ว่าการล้างสิ่งแปลกปลอมในกากของจานรองดอกทานตะวัน อุณหภูมิที่ใช้ล้าง 74.8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที อัตราส่วนระหว่างน้ำที่ใช้ล้างต่อกากของจานรองดอกทานตะวัน 25: 1 สามารถล้างสีออกได้ถึง 56.47 เปอร์เซ็นต์ แต่จะสูญเสียเพกทิน 2.90 เปอร์เซ็นต์ด้วย (ณรงค์ ศิขิรัมย์, 2546) และการล้างด้วยน้ำร้อนมีส่วนทำให้รงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (Soluble Pigment) ที่มีผลต่อสีของเพกทินละลายน้ำออกไป จึงทำให้เพกทินมีสีขาวขึ้น (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ และเสาวนีย์ เสาวภาพโสภา, 2541)

การใช้ประโยชน์เพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนกับเพกทินทางการค้าในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

สิ่งที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าเพกทินสามารถใช้ในหน้าที่ใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระดับการเกิดเอสเทอร์ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของเพกทินในอุตสาหกรรม (Thaker et al., 1997) เนื่องจากเพกทินนั้นไม่มีความเป็นพิษจึงไม่มีการควบคุมปริมาณการใช้สำหรับเป็นอาหารของมนุษย์ ดังนั้น องค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA) จึงไม่กำหนดปริมาณการใช้โดยเฉพาะหรือข้อแนะนำสำหรับวิธีหรือปริมาณการใช้ในอาหาร (ศิวาพร ศิวาเวช, 2546) ในปัจจุบันความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำมากขึ้น ดังนั้นการลดปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ แต่ยังคงลักษณะของผลิตภัณฑ์เช่นเดิมสามารถใช้เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำได้โดยเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำจะเกิดเจลที่เรียกว่า Pectin Calcium Gel (Thaker et al., 1997) การเตรียมเยลลี่แคลอรีต่ำเมื่อใช้เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำเกิดเจลได้โดยการใช้แคลเซียมไอออนและอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจล ซึ่งการใช้เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำนั้นจะใช้เวลาในการเกิดการแข็งตัวของเจลค่อนข้างนานภายหลังที่บรรจุในภาชนะ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีแคลอรี่ต่ำจะมีของแข็งทั้งหมด 30-55 เปอร์เซ็นต์ (Rolin & De Vries, 1990) และเนื่องมาจากค่าสีเพกทินที่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุนนั้นมีความแตกต่างกับค่าสีของเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำอยู่ก่อนแล้วโดยเพกทินที่สกัดจากของเหลือทิ้งของขนุนมีสีน้ำตาลแดง จึงเป็นผลให้ค่าสีที่วัดได้จากเยลลี่สับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เตรียมจากเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนมีค่าแตกต่างกับค่าสีของเยลลี่สับปะรดที่ใช้เพกทินทางการค้า แต่เมื่อทำการวัดค่าความแข็งแรงของเจลเยลลี่สับปะรด พบว่าเยลลี่ที่เตรียมขึ้นโดยใช้เพกทินจากทั้ง 2 แหล่งมีค่าความแข็งแรงของเจลใกล้เคียงกัน

สรุปผล

1. เปลือก ซัง และแกนขนุนมีปริมาณเพกทิน 7.20 7.01 และ 6.73 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งทั้ง 3 ส่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จึงเลือกใช้ของผสมทั้ง 3 ส่วนในการศึกษาขั้นต่อไปโดยใช้อัตราส่วนเปลือก: ซัง: แกน เป็น 1: 1: 1

2. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการสกัด และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

3. ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน โดยพิจารณาร่วมกันทั้งปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ คือ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.24 นอร์มัล อุณหภูมิ 89 องศาเซลเซียส เวลา 70 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 15 ได้ปริมาณเพกทินสูงสุด 7.59 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

4. เพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสมมีปริมาณความชื้น 11.65 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 2.70 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสมมูลย์ 1,409.11 ปริมาณเมทอกซิล 2.69 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดยูโรนิก 57.08 เปอร์เซ็นต์ และระดับการเกิดเอสเทอร์ 26.75 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ

5. เยลลี่สับปะรดที่เตรียมจากเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีค่าความเป็นสีแดงสูงกว่าเยลลี่สับปะรดที่เตรียมจากเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ แต่เมื่อวัดค่าความแข็งแรงของเจลเยลลี่สับปะรด พบว่า เยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินทั้ง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ เช่น สารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดเพื่อเพิ่มปริมาณเพกทินที่สกัดได้ให้สูงขึ้น หรือเพิ่มปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในการล้างตะกอนเพกทินเพื่อช่วยเพิ่มความบริสุทธิ์ของเพกทินที่สกัดได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ควรทำการคัดเลือกปัจจัยที่ศึกษาน้อยกว่า 4 ปัจจัย และเลือกระดับปัจจัยให้อยู่ในช่วงแคบ เพื่อจะได้สามารถอธิบายอิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ชัดเจนมากกว่านี้

3. ควรศึกษาวิธีการลดการเกิดสีน้ำตาลในส่วนของเปลือกขนุนระหว่างขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เนื่องจากเปลือกขนุนอบแห้งมีสีน้ำตาลแดง ส่วนซังและแกนขนุนอบแห้งนั้นมีสีขาวนวล เมื่อผสมทั้งสามส่วนเป็นวัตถุดิบในการสกัดเพกทินจึงมีผลให้เพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีสีน้ำตาลแดงด้วย

4. การสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนควรเลือกเฉพาะส่วนของแกนขนุน เนื่องจากแกนขนุนอบแห้งมีสีขาวกว่าซังและเปลือกขนุน และเพกทินที่สกัดได้จากแกนขนุนยังมีสีขาวนวลใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University