บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

1. มะม่วงพันธุ์แก้ว ตลับนาก พิมเสนมัน ฟ้าลั่น และแรด ซื้อจากตลาดเมืองใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
2. เพกติน : Food grade (Pectin powder 150 ; pectin citrus : Srichand United Dispensary Co., Ltd., Bangkok) ชนิด rapid set.

3.1.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟูริค (Sulfuric acid : Merck, Germany)
2. กรดบอริค (Boric acid : Merck, Germany)
3. กรดอะซิติค (Acetic acid : BDH, England)
4. กรดไฮโดรคลอริค (Hydrochloric acid : LAB-SCAN, Ireland)
5. คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate : Merck, Germany)
6. ซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรต (Zinc acetate dehydrate : Univar, Australia)
7. ซิลิเนียมไดออกไซด์ (Selenium dioxide : J.T.Baker, USA)
8. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate : Merck, Germany)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : J.T.Baker, USA)
10. โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green : Fluka, Switzerland)
11. โปแตสเซียมโซเดียมตาร์เตรต (Potassium Sodium Tartate : Univar, Australia)
12. โปแตสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (Potassium Ferro Cyanide : Univar, Australia)
13. เมธิลีนบลู (Methylene blue : Scientific, U.K.)
14. เมทิลเรด (Methyl red : May&Baker, USA)
15. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol : Meark, Germany)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนมะม่วง

1. เครื่องปั่นไฟฟ้า (Blender : National รุ่น MX-T2G)
2. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
3. พิมพ์อะลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ทางกายภาพ

1. เครื่องวัดสี (Minolta Camera ; Chroma Meter : CR-310, Japan)
2. เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser ; Stable Micro System : TA.XT2i, England)

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ทางเคมี

1. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand refractometer ; ATAGO, Japan)
2. เครื่องวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (Microprocessor pH-meter ; WTW : pH 537, Germany)
3. เครื่องวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพน้ำ (Water Activity Meter ; AquaLab : CX 3TE, USA)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance ; Sartorius : Model A120S, Germany)
5. เครื่องย่อยสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Tecator, Sweden)
6. เครื่องกลั่นโปรตีน (2100 Kjetec Distillation Unit ; Foss Tecator, Sweden)
7. เตาเผาเถ้า (Muffle Furnace ; Gallenkamp, England)
8. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven ; Termaks : Model T111UV, Bergen-Norway)
9. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath ; Gallenkamp, England)
10. ชุดวิเคราะห์ปริมาณกากโดยวิธีการย่อยด้วยกรดและด่าง
11. ชุดวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Lane&Eynon
12. ชุดวิเคราะห์โปรตีน/ไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธีเคลดาห์ล (Kjeldahl Method)
13. ตู้อบแบบสุญญากาศ (Vacuum oven ; WPB Binder : VD23)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 เครื่องมือที่ใช้ประมวลผลข้อมูลทางสถิติ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer)
2. โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft excel
3. โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10.0.1

3.4 วิธีการทดลอง

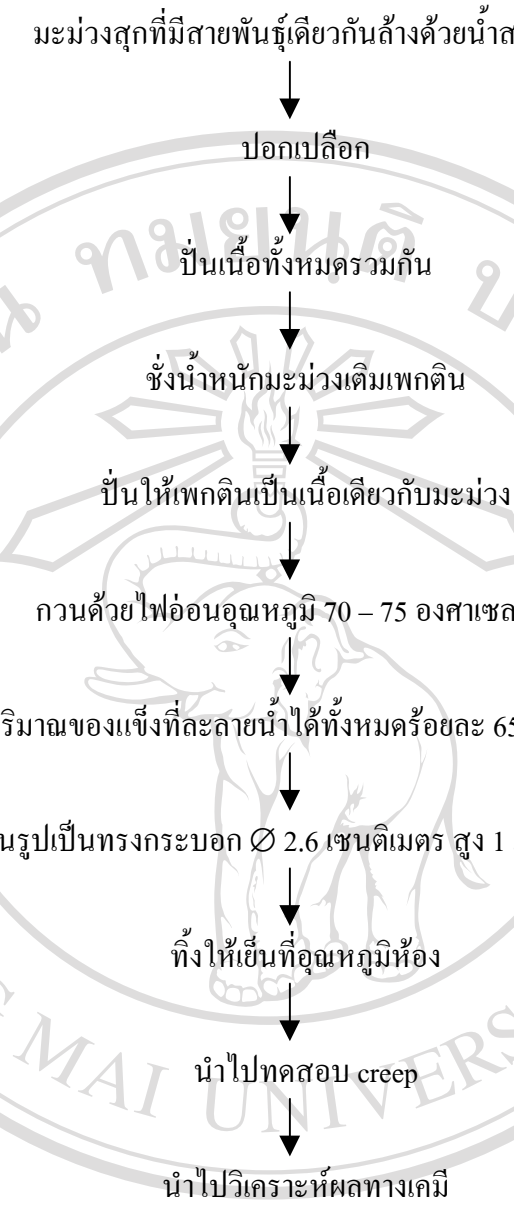
การวางแผนการทดลองและการเตรียมตัวอย่าง

การวางแผนการทดลอง : งานวิจัยนี้ใช้มะม่วงสุกในการทดลอง 5 สายพันธุ์ คือ แก้ว ตลับนาก พิมเสนมัน ฟ้าลั่น และแรด โดยเติมปริมาณเพกตินในมะม่วง 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงมี 20 หน่วยทดลอง และวางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าคงที่ของสมบัติวิสโคอิลาสติกจากการทดลองวัดคุณสมบัติทางกลของมะม่วงกวนโดยทดลองวัด 3 ซ้ำ เปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยเปรียบเทียบภายในพันธุ์เดียวกัน

การเตรียมตัวอย่างมะม่วงกวน : นำมะม่วงสุกที่มีสายพันธุ์เดียวกันล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือก ปั่นเนื้อโดยเครื่องปั่นผสมอาหาร (blender) แล้วนำเนื้อมะม่วงทั้งหมดปั่นผสมรวมกัน ให้เป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งใส่ถุงพลาสติกถุงละ 1 กิโลกรัม เก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เพื่อรอการผลิตเป็นมะม่วงกวน

นำตัวอย่างมะม่วงแช่แข็งที่เตรียมไว้ละลายน้ำแข็ง (thawing) ชั่งน้ำหนักมะม่วงเติมเพกตินปริมาณร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนักและชุดควบคุมซึ่งไม่เติมเพกติน นำเนื้อมะม่วงที่เติมเพกตินปั่นด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร (blender) จนเพกตินผสมเข้ากันกับเนื้อมะม่วง ใส่มะม่วงลงในกะทะทองเหลืองกวนด้วยไฟอ่อนอุณหภูมิ 70 – 75 องศาเซลเซียส จนได้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร และสูง 1 เซนติเมตร ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปทดสอบ creep ในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดสอบได้ทันที เก็บตัวอย่างมะม่วงกวนในถุงพลาสติก (ถุงร้อน) ปิดปากถุงและเก็บไว้ใน ตู้เย็น (อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) สามารถแสดงกระบวนการทำได้ ดังรูปที่ 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.1 กระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์มะม่วงกวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาวะควบคุมในขั้นตอนการเตรียมมะม่วงกวน

1. การปั่นเนื้อมะม่วงโดยเครื่องบดผสมอาหาร (blender) ใช้ความเร็วสูงสุดในการปั่น
2. การปั่นผสมเพกตินกับมะม่วงใช้ความเร็วสูงสุดในการผสมจนไม่เห็นเพกตินเกาะกันเป็นกลุ่ม
3. อุณหภูมิในการกวนมะม่วงควบคุมให้อยู่ในช่วง 70 – 75 องศาเซลเซียส
4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในช่วงสุดท้ายของการกวนมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 65 ± 0.5 โดยน้ำหนัก

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ

ตอนที่ 1 : การตรวจสอบคุณภาพเนื้อมะม่วงสุก

นำเนื้อมะม่วงสุกทั้ง 5 สายพันธุ์ คือ แก้ว ตลับนาก พิมเสนมัน ฟ้าลั่น และแรด ตรวจสอบ คุณภาพทางเคมีและกายภาพดังนี้ คือ

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

- วัดค่าสี L a b ในระบบ Hunter Lab โดยเครื่องวัดสี Minolta Camera ; Chroma Meter : CR-310, Japan

การวิเคราะห์ทางเคมี

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ด้วย Hand refractometer ; ATAGO, Japan.
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH-meter ; WTW : pH 537, Germany.
- ปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไตเตรตเทียบกับปริมาณกรดมาลิก (Total titratable acidity as %Malic acid) ตามวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ (Moisture Content) ตามวิธี AOAC (2000)
- ค่ากัมมันตภาพน้ำ (a_w) ด้วยเครื่องวัด Water Activity Meter ; AquaLab : CX 3TE, USA
- ปริมาณกากโดยวิธีการย่อยด้วยกรดและด่าง ตามวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane&Eynon ตามวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณโปรตีน/ไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธีเคลดาห์ล (Kjeldahl Method) ตามวิธี AOAC (2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ผลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) เพื่อทำให้ทราบคุณภาพของวัตถุดิบ แล้วนำเนื้อมะม่วงสุกแต่ละสายพันธุ์กวนตามวิธีการเตรียมตัวอย่างข้างต้น

ตอนที่ 2 : การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์มะม่วงกวน

จากตัวอย่างมะม่วงกวนทั้ง 20 หน่วยทดลอง ตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพดังนี้

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

- วัดค่าสี L a b โดยเครื่องวัดสี Minolta Camera ; Chroma Meter : CR-310, Japan

การวิเคราะห์ทางเคมี

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ด้วย Hand refractometer ; ATAGO, Japan.
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH-meter ; WTW : pH 537, Germany
- ปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไตเตรตเทียบกับปริมาณกรดมาลิก (Total titratable acidity as %Malic acid) ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ (Moisture Content) ตามวิธี AOAC (2000)
- ค่ากัมมันตภาพน้ำ (a_w) ด้วยเครื่องวัด Water Activity Meter ; AquaLab : CX 3TE, USA
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Lane&Eynon ตามวิธี AOAC (2000)

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ผลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) เพื่อทำให้ทราบคุณภาพของมะม่วงกวนและนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับค่าตัวแปรทางวิสโค-อิลาสติกต่อไปในตอนที่ 4

ตอนที่ 3 : การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมและการศึกษาคุณสมบัติทางวิสโค-อิลาสติกของมะม่วงกวน

วิธีการทดสอบ creep : โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะม่วงกวนวางไว้ในอุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลองประมาณ 1 ชั่วโมง นำไปทำการทดสอบ creep ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser : TA.XT2i) ใช้วิธีในการทดสอบเป็น stress relaxation กำหนดค่าแรงกดคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(stress ; σ) 1 นิวตันซึ่งหาจากการทดสอบแรงที่ทำให้แตก (rupture test) (รูปที่ ค.1ในภาคผนวก ค) ใช้เวลาในการทดสอบ 3600 วินาทีโดยให้แรงคงที่ 1800 วินาทีและถอนแรง 1800 วินาที ความเร็วก่อนการทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วในการทดสอบเป็น 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วหลังการทดสอบเป็น 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเครียด (% strain) กับเวลา (time) เป็นวินาที เปลี่ยนกราฟความสัมพันธ์เป็น compliance J ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนความเครียด (strain) ต่อความเค้น (stress) ที่คงที่กับเวลา พิจารณากราฟที่ได้ หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม

ขั้นที่ 1 พิจารณากราฟ creep compliance ที่ได้ หาค่าคงที่ทางวิสโคอิลาสติก J_0 J_1 η_0 และ λ_1 (รูปที่ ค.1 ถึง ค.4 ในภาคผนวก ค) แล้วนำค่าคงที่นี้แทนในสมการของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ แบบจำลองเคลวิน และแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ แล้วทดลอง plot กราฟ creep compliance J ที่เวลา 0 ถึง 3600 วินาที เปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 3 แบบข้างต้นกับกราฟจากการทดลองจริง โดยถ้าเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกราฟทั้งสองจะเป็นรูปแบบที่สอดคล้องกันพอดี

ขั้นที่ 2 ในกรณีที่แบบจำลอง 4 องค์ประกอบไม่เหมาะสมสามารถเพิ่มแบบจำลองเคลวินอีก 1 หน่วยให้เป็นแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ หรือเพิ่มองค์ประกอบของแบบจำลองเคลวินตามสมการทั่วไปทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (23) ในบทที่ 2 ของการค้นคว้าแบบอิสระเล่มนี้ และหาค่าตัวแปรเพิ่มอีก 2 ตัว คือ J_2 และ λ_2 (รายละเอียดในภาคผนวก ค)แล้วทดลอง plot เทียบกับกราฟการทดลองจริงที่เวลา 0 ถึง 3600 วินาที

3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติก

จากแบบจำลองที่เหมาะสม อธิบายสมบัติวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวนซึ่งสัมพันธ์กับแบบจำลองที่ได้ พิจารณาค่าตัวแปร คือ อิลาสติกโมดูลัส (elastic modulus ; E_0) (Pa) ความหนืด (viscosity ; η_0) (Poise) และการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (permanent deformation ; J_{PD}) (Pa^{-1}) จากนั้นนำข้อมูลค่าตัวแปรที่ได้วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) และนำไปใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินที่เพิ่มขึ้นกับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกนี้โดยพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ที่ได้และอภิปรายผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของเจลเพกติน

การทดลองนี้เป็นการทดลองโดยใช้เพกตินเจลซึ่งมีวิธีการทำการทดสอบ creep เหมือนตัวอย่างมะม่วงกวน โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง คือ เตรียมตัวอย่างโดยใช้น้ำตาลร้อยละ 65 โดยน้ำหนักคลุกกับเพกตินโดยผันแปรเพกติน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 3 6 และ 9 โดยน้ำหนัก เติมน้ำที่ปรับกรดแล้วซึ่งมี pH เป็น 3.0 จนได้สารละลายตัวอย่าง 100 กรัม กวนเหมือนเตรียมตัวอย่างมะม่วงจนได้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเป็นร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ทิ้งให้เย็นใน desiccator นำตัวอย่างไปวัด creep พิจารณาผลการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างมะม่วงกวน

ตอนที่ 4 : ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติก

นำข้อมูลองค์ประกอบเคมีของมะม่วงกวนที่ได้จากตอนที่ 2 หาความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติก คือ อิลาสติกโมดูลัส (elastic modulus ; E_0) (Pa) ความหนืด (viscosity ; η_0) (Poise) และการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (permanent deformation ; J_{PD}) (Pa^{-1}) และทำการพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ และอภิปรายผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved