# ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

# ภาคผนวก ก

# วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

**ปริมาณความชื้น** (AOAC Method 925.09, 1990)

**วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี**

1. ภาชนะสำหรับหาความชื้น (Moisture Can)
2. ตู้อบลมร้อน
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. เดซิเคเตอร์

**ขั้นตอนการวิเคราะห์**

1. อบภาชนะพร้อมฝา (Moisture Can) ที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ภาชนะที่อบแห้งแล้ว

3. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ขณะอบเปิดฝาทิ้งไว้ หลังจากอบ ปิดฝาให้สนิท นำออกจากตู้อบ

4. นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ เพื่อให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักที่เหลือ นำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณความชื้นตามสมการที่ (ก-1)

$$\text{ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100 \qquad (ก\text{-}1)$$

<u>หมายเหตุ</u> m คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$m_1$ คือ น้ำหนักตัวอย่างและภาชนะก่อนอบ (กรัม)

$m_2$ คือ น้ำหนักตัวอย่างและภาชนะหลังอบ (กรัม)

**ตัวอย่างการคำนวณ**

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(18.7622 - 18.5607)}{2.0082} \times 100$$

$$= 10.03$$

ดังนั้น ซังขนุนมีความชื้น 10.03 เปอร์เซ็นต์

<u>หมายเหตุ</u> m คือ น้ำหนักซังขนุน 2.0082 กรัม

$m_1$ คือ น้ำหนักตัวอย่างและภาชนะก่อนอบ 18.7622 กรัม

$m_2$ คือ น้ำหนักตัวอย่างและภาชนะหลังอบ 18. 5607 กรัม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**ปริมาณเถ้า** (AOAC Method 923.03, 1990)

**วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี**

1. ครูซิเบิ้ลพร้อมฝา
2. เตาเผาไฟฟ้า (Hot plate)
3. เตาเผา (Muffle Furnace)
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
5. เดซิเคเตอร์

**ขั้นตอนการวิเคราะห์**

1. เผาครูซิเบิ้ลพร้อมฝา ที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนของครูซิเบิ้ล

2. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-3 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิ้ล เผาไหม้ตัวอย่างดังกล่าวโดยใช้เตาไฟฟ้า (Hot Plate) จนไม่มีควันดำเสียก่อน

3. นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

4. นำไปทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักเถ้า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าทั้งหมดตามสมการที่ (ก-2)

$$\text{ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(m_2 - m_1)}{m} \times 100 \qquad \text{(ก-2)}$$

<u>หมายเหตุ</u> m คือ น้ำหนักแห้งตัวอย่าง (กรัม)

$m_1$ คือ น้ำหนักครูซิเบิลก่อนอบ (กรัม)

$m_2$ คือ น้ำหนักครูซิเบิลและเถ้าหลังอบ (กรัม)

**ตัวอย่างคำนวณ**

$$\text{ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(31.3306 - 31.2710)}{2.2348} \times 100$$

$$= 2.67$$

ดังนั้น ซังขนุนมีปริมาณเถ้า 2.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

<u>หมายเหตุ</u> m คือ น้ำหนักแห้งของซังขนุน 2.2348 กรัม (หักลบความชื้น10.016 เปอร์เซ็นต์)

$m_1$ คือ น้ำหนักภาชนะก่อนอบ 31.2710 กรัม

$m_2$ คือ น้ำหนักภาชนะหลังอบ 31.3306 กรัม

**ปริมาณโปรตีน** (AOAC Method 920.57, 1990)

**วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี**

1. เครื่องย่อยสาร (Digestion Unit, Buchi K-424, Switzerland)
2. เครื่องกำจัดไอกรด (Scrubber Unit, Buchi B-414, Switzerland)
3. เครื่องกลั่นสาร (Distillation Unit, Buchi B-324, Switzerland)
4. คะตะลิสต์ผสม (Catalyst Mixture) ประกอบด้วยโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ 96 เปอร์เซ็นต์ คอปเปอร์ซัลเฟต 3.5 เปอร์เซ็นต์ และซีเลเนียมไดออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์
5. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($H_2SO_4$)
6. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เตรียมโดยชั่งกรดบอริก 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร
7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัมละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร
8. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 2.78 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรกับน้ำกลั่นจนครบ 1000 มิลลิลิตร
9. เชียร์อินดิเคเตอร์ (Shear Indicator) ประกอบด้วยเมทิลเรด 0.016 เปอร์เซ็นต์ และโบรโมครีซอลกรีน 0.083 เปอร์เซ็นต์ในเอทิลแอลกอฮอล์

**ขั้นตอนการวิเคราะห์**

1. การย่อยสลาย (Digestion)

ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.7-2.2 กรัมใส่ในขวดกลั่นเติมคะตะลิสต์ผสม 10 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร นำขวดกลั่นไปตั้งบนเตาย่อย ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่า ปฏิกิริยาสมบูรณ์และถ้าที่คอขวดมีจุดดำทิ้งไว้จนเย็นล้างด้วยน้ำกลั่น ย่อยต่อไปจนสมบูรณ์

2. การกลั่น (Distillation)

นำตัวอย่างที่ย่อยเสร็จทิ้งให้เย็นต่อขวดกลั่นเข้าเครื่องกลั่นให้ปลายข้างหนึ่งของคอนเดนเซอร์ จุ่มในสารละลายกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 60 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ลงในขวดกลั่น กลั่นเป็นเวลา 3 นาที

3. การไตเตรท (Titration)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

นำตัวอย่างที่กลั่นมาเติมเชียร์อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.2 นอร์มัล และคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตามสมการที่ (ก-3) และปริมาณโปรตีนตามสมการที่ (ก-4)

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} = \frac{(X \times N \times 14 \times 100)}{(W \times 1{,}000)} \qquad \text{(ก-3)}$$

<u>หมายเหตุ</u> X คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก (นอร์มัล)

W คือ น้ำหนักแห้งตัวอย่าง (กรัม)

ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด × Conversion Factor

เมื่อ Conversion Factor เท่ากับ 6.25 (ก-4)

**ตัวอย่างการคำนวณ**

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} = \frac{(12.3 \times 0.1 \times 14 \times 100)}{(2.22 \times 1{,}000)}$$

$$= 0.78$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)} = 0.7760 \times 6.25$$

$$= 4.85$$

ดังนั้น เปลือกขนุนมีโปรตีน 4.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

<u>หมายเหตุ</u> X คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไตเตรท 12.3 มิลลิลิตร

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไตเตรท 0.1 นอร์มัล

W คือ น้ำหนักแห้งของเปลือกขนุน 2.22 กรัม (หักลบความชื้น 10.03 เปอร์เซ็นต์)

**ปริมาณไขมัน** (AOAC Method 920.39, 1990)

**อุปกรณ์และสารเคมี**

1. ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Extraction Unit, Gerhardt S 306 AK, Germany)
2. ปิโตรเลียมอีเทอร์จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส
3. Celite
4. Sea Sand
5. กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มัล เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 343.31 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**ขั้นตอนการวิเคราะห์**

1. นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2. อบบีกเกอร์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำไปชั่งบันทึกน้ำหนัก

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งให้ได้น้ำหนักแน่นอน 5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และชั่ง Celite ให้ได้น้ำหนักแน่นอน 5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในบีกเกอร์ไฮโดรไลซิส

4. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 4 นอร์มัล จำนวน 50 มิลลิลิตรเพื่อละลายตัวอย่าง และ Celite แล้วเขย่าบีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 4 นอร์มัล จำนวน 50 มิลลิลิตรอีกครั้งเพื่อชะล้างตัวอย่างและ Celite ที่ติดอยู่ข้างบีกเกอร์

5. นำบีกเกอร์จาก ข้อ 4 มาวางบน Hot Plate ของเครื่องไฮโดรไลซิสให้ความร้อนจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจึงหยุดให้ความร้อน

6. กรองสารละลายขณะร้อนผ่านกระดาษกรองที่มี Sea Sand ประมาณ 5 กรัมในตู้ดูดควัน

7. ล้างตะกอนที่ติดอยู่ข้างในบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสผ่านกระดาษกรองโดยให้สารละลายที่กรองได้มีปริมาตรรวมประมาณ 250 มิลลิลิตร

8. รอจนตะกอนในกระดาษกรองแห้ง ห่อกระดาษกรองที่มีตะกอนใส่ในทิมเบิ้ล (Paper Extraction Thimble) และใส่ลงซอกเลต (Soxhlet) ที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตรประกอบกับชุดเครื่องกลั่น

9. ให้ความร้อน 200 องศาเซลเซียส เพื่อให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยขึ้นไปเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่งโมง

10. เมื่อปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยไปหมดแล้ว ทิ้งขวดสกัดให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมันตามสมการที่ (ก-5)

$$\text{ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100 \qquad \text{(ก-5)}$$

<u>หมายเหตุ</u> m คือ น้ำหนักแห้งตัวอย่าง (กรัม)

$m_1$ คือ น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนสกัด (กรัม)

$m_2$ คือ น้ำหนักบีกเกอร์หลังสกัด (กรัม)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**4.3 ตัวอย่างการคำนวณ**

$$\text{ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(144.38 - 144.36)}{5.56} \times 100$$

$$= 0.36$$

ดังนั้น เปลือกขนุนมีไขมัน 0.36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

<u>หมายเหตุ</u> m คือ น้ำหนักแห้งเปลือกขนุน 5.56 กรัม (หักลบความชื้น 10.03 เปอร์เซ็นต์)

$m_1$ คือ น้ำหนักขวดสกัดหลังสกัด 144.38 กรัม

$m_2$ คือ น้ำหนักขวดสกัดก่อนสกัด 144.36 กรัม

**การวิเคราะห์หาน้ำหนักสมมูลย์ (Equivalent Weight; Eq.Wt.)** (Ranganna, 1986)

**สารเคมี**

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร
2. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
3. ฟีนอลเรด อินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลายฟีนอล 0.1 กรัม ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 นอร์มัล ปริมาตร 28.2 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 250 มิลลิลิตร
4. น้ำกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ เตรียมโดยต้มน้ำกลั่นให้เดือดนาน 15 นาที ปิดภาชนะให้สนิทเพื่อป้องกันคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

**ขั้นตอนการวิเคราะห์**

1. ชั่งผงเพกทินที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่นที่ไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เพกทินละลาย
2. เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ลงไป 1 กรัม เพื่อให้เห็นจุดยุติชัดเจนขึ้น
3. หยดฟีนอลเรดอินดิเคเตอร์ 6 หยด นำไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี (pH 7.5) (สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู เป็นเวลาอย่างน้อย 30 วินาที) บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ คำนวณน้ำหนักสมมูลย์ตามสมการที่ (ก-6)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\text{น้ำหนักสมมูลย์} = \frac{1000S}{NV} \quad (ก\text{-}6)$$

หมายเหตุ S คือ น้ำหนักแห้งเพกทินที่ใช้ (กรัม)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท (นอร์มัล)

V คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไตเตรท (มิลลิลิตร)

**5.3 ตัวอย่างการคำนวณ**

$$\text{น้ำหนักสมมูลย์} = \frac{1000 \times 0.5563}{0.1 \times 6.0}$$
$$= 927.17$$

ดังนั้น น้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินเท่ากับ 927.17

หมายเหตุ S คือ น้ำหนักแห้งเพกทินที่ใช้ 0.5563 กรัม (หักลบความชื้น 10.035 เปอร์เซ็นต์)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท 0.1 นอร์มัล

V คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไตเตรท 6.0 มิลลิลิตร

**การวิเคราะห์หาปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl Content; %MeO)** (Ranganna, 1986)

**สารเคมี**

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ลิตร

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ลิตร

3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.25 นอร์มัล เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปริมาตร 21.16 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

**ขั้นตอนการวิเคราะห์**

1. นำสารละลายที่ผ่านการหาน้ำหนักสมมูลย์มาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 นอร์มัล 25 มิลลิลิตร แล้วเขย่าทันทีให้เข้ากัน สารละลายจะเป็นสีม่วง

2. ปิดจุกฟลาสวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที

3. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 นอร์มัล 25 มิลิลิตร เขย่าจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลือง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. นำมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งถึงจุดยุติ (End Point) เหมือนการหาน้ำหนักสมมูลย์ บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้คำนวณน้ำหนักสมมูลย์ตามสมการที่ (ก-7)

$$\text{ปริมาณเมทอกซิล (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{NVE}{1000S} \times 100 \qquad \text{(ก-7)}$$

<u>หมายเหตุ</u> N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท (นอร์มัล)

V คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ไตเตรท (นอร์มัล)

E คือ น้ำหนักสมมูลย์ของเมทอกซิล เท่ากับ 31

S คือ น้ำหนักแห้งของเพกทินที่ใช้ (กรัม)

**ตัวอย่างการคำนวณ**

$$\text{ปริมาณเมทอกซิล (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{0.1 \times 5.5 \times 31}{1000 \times 0.56} \times 100$$

$$= 3.04$$

ดังนั้น เพกทินมีปริมาณเมทอกซิลเท่ากับ 3.04 เปอร์เซ็นต์

<u>หมายเหตุ</u> N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไตเตรท 0.1 นอร์มัล

V คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไตเตรท 5.5 มิลลิลิตร

E คือ น้ำหนักสมมูลย์ของเมทอกซิล เท่ากับ 31

S คือ น้ำหนักแห้งของเพกทินที่ใช้ 0.56 กรัม (หักลบความชื้น 10.04 เปอร์เซ็นต์)

## การวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูโรนิก (Anhydrouronic Acid Content; %AUA)

(Blumenkrantz and Asboe-Hansen, 1973)

**อุปกรณ์**

1. หลอดทดลอง (ทำความสะอาดด้วยกรด และชะล้างด้วยน้ำที่ถูกกำจัดไอออน)
2. ปิเปตขนาด 20 และ200 ไมโครลิตร
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
4. อ่างน้ำแข็ง
5. เครื่องผสม (Vortex Mixer)
6. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคิวเวต ขนาด 1 มิลลิลิตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**สารเคมี**

1. เมตา-ไฮดรอกซีไดฟีนิล ($C_{12}H_{10}O$) เตรียมโดยละลายเมตา-ไฮดรอกซีไดฟีนิล 0.15 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ บรรจุใส่ในภาชนะที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันแสง และเก็บในตู้เย็นไม่เกิน 1 เดือน

2. กรดซัลฟิวริก ($H_2SO_4$)/ได-โซเดียมเตตระบอเรต ($Na_2C_6H_5O_7.2H_2O$) เตรียมโดยละลายได-โซเดียมเตตระบอเรตในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (36 นอร์มัล) ให้มีความเข้มข้น 0.0125 โมลาร์

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร (สำหรับเตรียมแบลงก์)

**ขั้นตอนการวิเคราะห์**

1. สร้างกราฟมาตรฐานกรดยูโรนิก

โดยเตรียมสารละลายกรดกาแลกทูโรนิก (Galacturonic Acid) ความเข้มข้น 0.1 mg/ml และทำการเจือจาง ดังรายละเอียดในตารางภาคผนวก ก-1 (Stock Solution)

ตารางภาคผนวก ก-1 การเตรียมสารละลายกรดกาแลกทูโรนิกเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานกรดยูโรนิก

| | Uronic Acid (ml) (0.1 mg/ml) | Deionized Water (ml) | Uronic Acid Content (μg/μl) | Uronic Acid (μg) |
|---|---|---|---|---|
| Blank | 0 | 1000 | 0 | 0 |
| Standard 1 | 100 | 900 | 0.01 | 2 |
| Standard 2 | 200 | 800 | 0.02 | 4 |
| Standard 3 | 300 | 700 | 0.03 | 6 |
| Standard 4 | 400 | 600 | 0.04 | 8 |
| Standard 5 | 500 | 500 | 0.05 | 10 |
| Standard 6 | 600 | 400 | 0.06 | 12 |
| Standard 7 | 700 | 300 | 0.07 | 14 |
| Standard 8 | 800 | 200 | 0.08 | 16 |
| Standard 9 | 900 | 100 | 0.09 | 18 |

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร พลอตกราฟจากสารละลายมาตรฐาน โดยที่แกน X แทนปริมาณกรดยูโรนิก (ไมโครกรัม) แกน Y แทน OD (Std)-OD (Blank) จากกราฟมาตรฐานสามารถคำนวณหาปริมาณกรดยูโรนิก (ไมโครกรัม) โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละตัวอย่างในสมการ

2. วิธีวัดปริมาณกรดยูโรนิก (Blumenkrantz and Asboe-Hansen, 1973) ปริมาณกรดยูโรนิกที่มีอยู่ในตัวอย่างหาได้ดังนี้

2.1 เติมกรดซัลฟิวริก/ได-โซเดียมเตตระบอเรต 2.2 กรัม (ประมาณ 2.5 มิลลิลิตร) ลงในหลอดทดลอง (ซึ่งทำความสะอาดด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นก่อนใช้) และเก็บในช่องแช่แข็งจนกระทั่งเติมสารเคมีลงไป

2.2 เติมตัวอย่างเพกทิน หรือสารละลายมาตรฐานกรดกแลกทูโรนิก 0.4 มิลลิลิตร (400 µl) โดยใช้ Pipet Tip ค่อย ๆ เติม ลงไปด้านข้างหลอดทดลองที่แช่อยู่ในอ่างน้ำแข็งบด เพื่อหลีกเลี่ยงการเผาไหม้ของกรด

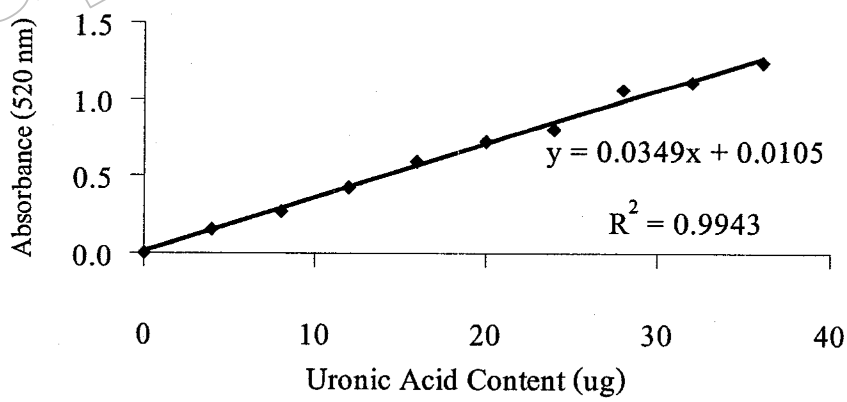
2.3 นำหลอดทดลองปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เข้าเครื่องผสม (Vortex Mixer) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

2.4 ทิ้งให้เย็นบนอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งหลอดทดลองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2.5 เติมสารละลายเมตา-ไฮดรอกซีไดฟีนิล 40 µl ส่วนของแบลงก์เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 40 µl

2.6 นำหลอดทดลองเข้าเครื่องผสม วัดค่าการดูดกลืนแสง 520 นาโนเมตร และอ่านที่ 3 นาที (จับเวลาตั้งแต่เติมสารเสร็จ)

**กราฟมาตรฐาน**




ภาพภาคผนวก ก-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**ตัวอย่างการคำนวณ**

แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลายเพกทินในสมการกราฟมาตรฐาน (ก-8)

$$y = 0.0349x + 0.0105 \quad \text{(ก-8)}$$

<u>หมายเหตุ</u> y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร

x คือ ปริมาณกรดยูโรนิก (ไมโครกรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ เมื่อค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง คือ 0.652

$$0.652 = 0.0349x + 0.0105$$

$$x = (0.652 - 0.0105)/0.0349$$

$$x = 18.381$$

ดังนั้น เพกทินมีปริมาณกรดยูโรนิก 18.381 ไมโครกรัม

ตัวอย่างสารละลายเพกทินที่ใช้ 0.4 มิลลิลิตร (400 ไมโครลิตร) จึงมีปริมาณกรดยูโรนิกเท่ากับ

กรดยูโรนิก = 18.381 µg/400 µl

= 0.0459 µg/µl

ดังนั้น ตัวอย่างความเข้มข้นของสารละลายเพกทิน 0.1 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร จึงมีปริมาณกรดยูโรนิกเท่ากับ 0.0459 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร ถ้าความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร มีปริมาณกรดยูโรนิกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดย

ปริมาณกรดยูโรนิก (เปอร์เซ็นต์) = (100 × 0.0459)/0.1

= 45.90

ดังนั้น เพกทินมีปริมาณกรดยูโรนิก 45.90 เปอร์เซ็นต์

**ระดับการเกิดเอสเทอร์ (Degree of Esterification; %DE)** (Schultz, 1976)

**วิธีการคำนวณ**

คำนวณหาระดับการเกิดเอสเทอร์ได้ตามสมการที่ (ก-9)

$$\text{ระดับการเกิดเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{176 \times \%MeO}{31 \times \%AUA} \times 100 \quad \text{(ก-9)}$$

<u>หมายเหตุ</u> 176 คือ มวลโมเลกุลของกรดยูโรนิก

31 คือ น้ำหนักสมมูลย์ของเมทอกซิล

**ตัวอย่างการคำนวณ**

$$\text{ระดับการเกิดเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{176 \times 3.04}{31 \times 45.90} \times 100$$

$$= 39.40$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ดังนั้น เพกทินมีระดับการเกิดเอสเทอร์ 39.40 เปอร์เซ็นต์

<u>หมายเหตุ</u> %MeO ของเพกทิน คือ 3.04 เปอร์เซ็นต์

%AUA ของเพกทิน คือ 45.90 เปอร์เซ็นต์

176 คือ มวลโมเลกุลของกรดยูโรนิก

31 คือ น้ำหนักสมมูลย์ของเมทอกซิล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# ภาคผนวก ข

# วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

**วิเคราะห์ความแข็งแรงของเจล (Gel Strength)** (ดัดแปลงจากวิธีของณรงค์ ศิขิรัมย์, 2546)

**วิธีการวัดความแข็งแรงของเจล**

วัดความแข็งแรงของเจลโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสมผัส Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัด (Probe) รูปทรงกลมชนิด 0.25 มิลลิลิตร (p / 0.25s) มีลักษณะเป็นสแตนเลสทรงกลม (Ball Probe) ทิ่มทะลุเนื้อเจล โดยเครื่องจะบันทึกกราฟเป็นระยะทางตั้งแต่เริ่มทิ่มจนเกิดค่าแรงสูงสุด ซึ่งค่าความแข็งแรงของเจล คือ ค่าผลคูณระหว่างระยะทาง และค่าแรงสูงสุด

**เครื่องมือ**

วิธีการใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (TA-XT2, England)

1. เริ่มทำงาน

1.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer

1.2 เลือกโปรแกรม Texture Expert U.S English ซึ่งปรากฏอยู่ที่ Desktop

1.3 จากนั้นไปที่ File → New project จะปรากฏหน้าต่างของ Project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการจะตั้ง Project → Restart → จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ

1.4 กรณีมีข้อมูลแล้ว ให้คลิกที่ Open icon จะปรากฏหน้าต่างของ Open ให้เลือกชื่อไฟล์ตามต้องการ โดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ได้ที่ List First of Type โดย *.ARC คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ *.RES คือไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล *.PRJ คือ ไฟล์ที่เป็น Project Document .MAC คือ ไฟล์ที่เป็น Marco และ *.LIS คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

2. การปรับเทียบ (Calibration)

2.1 จะต้อง Calibrate Force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ

โดยไปที่ T.A. บน Menu Bar → Calibrate Force จะปรากฏหน้าต่างของ Force Calibration ตรวจดูให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด (probe) ติดอยู่ที่ Calibration platform จากนั้นให้คลิก OK

จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างใหม่ของ Force Calibration ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมบน Calibration platform จากนั้นให้คลิก OK

เมื่อปรากฏข้อความว่า Calibration Successful ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

2.2 จากนั้นทำการ Calibrate Probe ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยไปที่ T.A. บน Menu Bar → Calibrate Probe จะปรากฏหน้าต่างของ Probe Calibration กำหนดระยะทางให้ probe เคลื่อนที่ขึ้นหลังจากสัมผัสตัวอย่าง แล้วคลิก OK

3. การทำ T.A Setting

3.1 ไปที่ T.A. Setting (หรือ F4) จะปรากฏหน้าต่างของ Texture Analyzer Setting ตั้งค่าพารามิเตอร์ (ตามคู่มือการวัดความแข็งของเจลของซูริมิ)

ตารางภาคผนวก ข 1 ภาวะที่ใช้วัดความแข็งแรงของเจล

| Model | Measure Force in Compression |
|---|---|
| Option | Return to Start |
| Pre-Test Speed | 10.0 mm/s |
| Test Speed | 1.1 mm/s |
| Post Test Speed | 10.0 mm/s |
| Distance | 15.0 mm |
| Trigger Force | Auto–10 g |
| Data Acquisition Rate | 200 pp |

3.2 ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้คลิก Save กรณีจะใช้ข้อมูลเดิมให้คลิก Load

3.3 เมื่อจะทำขั้นต่อไปให้กด Update

4. การทำ Run a Test

4.1 เมื่อวางตัวอย่างบนแท่นทดสอบหรือ Probe ชุดล่างเรียบร้อยแล้ว ให้เลือก T.A. บน menu bar → Run a Test (หรือ F2) จะปรากฏหน้าต่างของ Run a Test พารามิเตอร์ต่างๆ มีความหมาย ดังนี้

Auto Save: บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม drive หรือ path ที่ตั้งไว้

File Id: ตั้งชื่อไฟล์ สำหรับกราฟแสดงผล (5 ตัวอักษร)

File No: ตั้งหมายเลขไฟล์ (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติหลังจากที่แต่ละไฟล์ถูกบันทึก)

Drive: ตำแหน่งที่จะให้บันทึกข้อมูลไว้

Title: ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note: บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างนำมาทดสอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Probe and Product Data: เลือกชนิดของ Probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้

Configure: ใส่ Production dimension

Delay Start: เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการเริ่มการวัดออกไป

Clear Previous Graph: เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏกราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC file เดิมออกเพื่อให้ ARC file ใหม่เข้ามาแทน)

Run Macro: เมื่อต้องการวิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS: อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปใช้ 200 PPS

4.2 เมื่อตั้งค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับปรากฏเส้นกราฟบนหน้าต่างกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นต่อไป ถ้าไม่มีการเปลี่ยนสภาวะ ให้เลือก T.A. บน Menu Bar → Quick Test Run (หรือกดแป้น Ctrl + Q)

4.3 การอ่านค่าที่ได้จากกราฟ

กรณีอ่านค่า Firmness

เลือก Go to บน Menu Bar → Min Time → Max Force → เลือก Process Data บน Menu Bar → Mark Force → Mark Time

**การคำนวณ**

ความแข็งแรงของเจล = ค่าแรงกดสูงสุด (N) $\times$ ระยะทาง (mm) (ข-1)

ตัวอย่างการคำนวณ

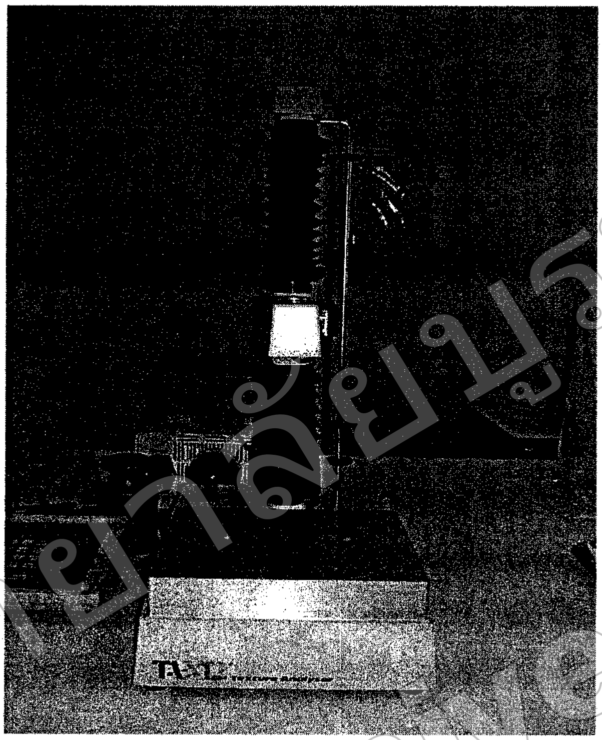
ความแข็งของเจล = $0.85 \times 2.57$

= 2.19 N.mm

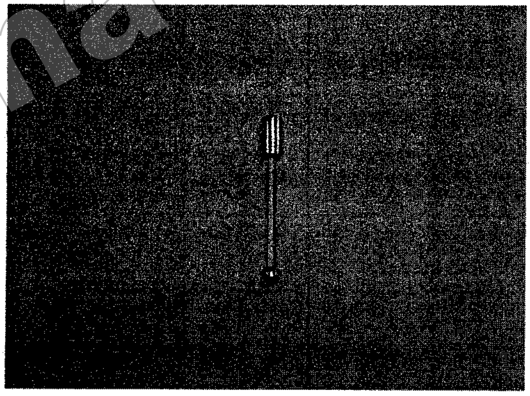
ดังนั้น ความแข็งของเจลเยลลี่ เท่ากับ 32.60 นิวตัน.มิลลิเมตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**ภาพประกอบการทดลอง**



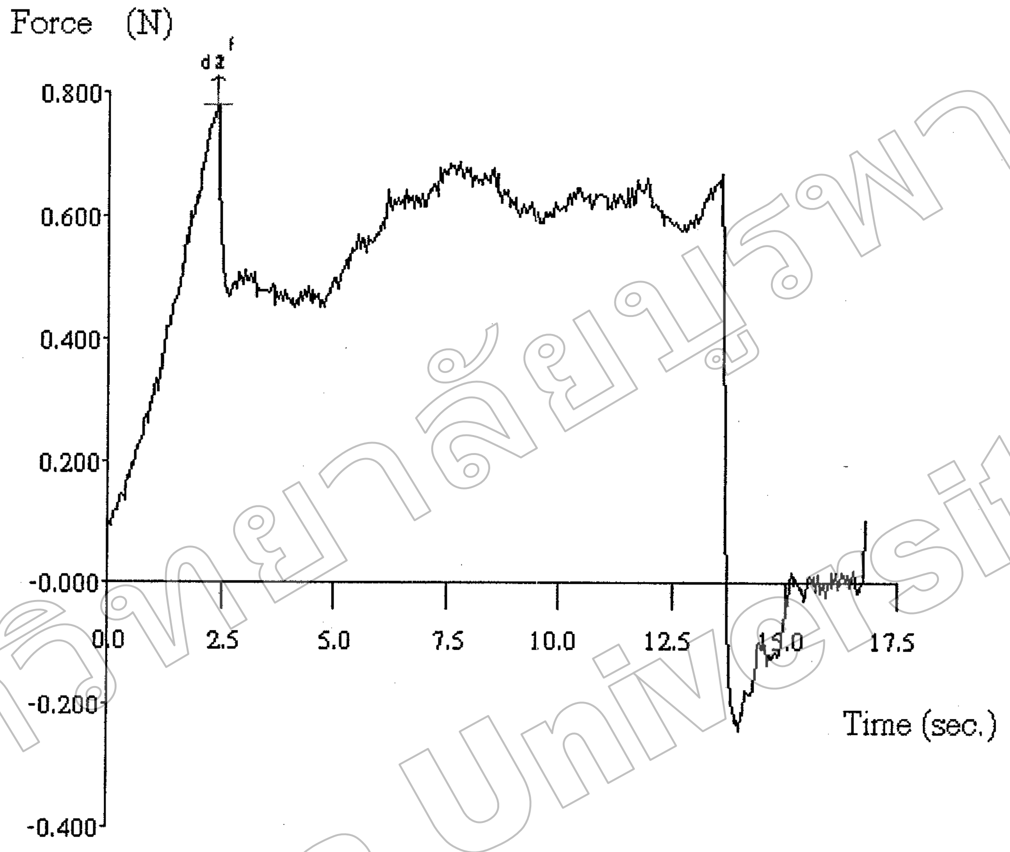

ภาพภาคผนวก ข-1 เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2



ภาพภาคผนวก ข-2 หัววัดทรงกลมขนาด 0.25 มิลลิเมตร (p0.25/S)

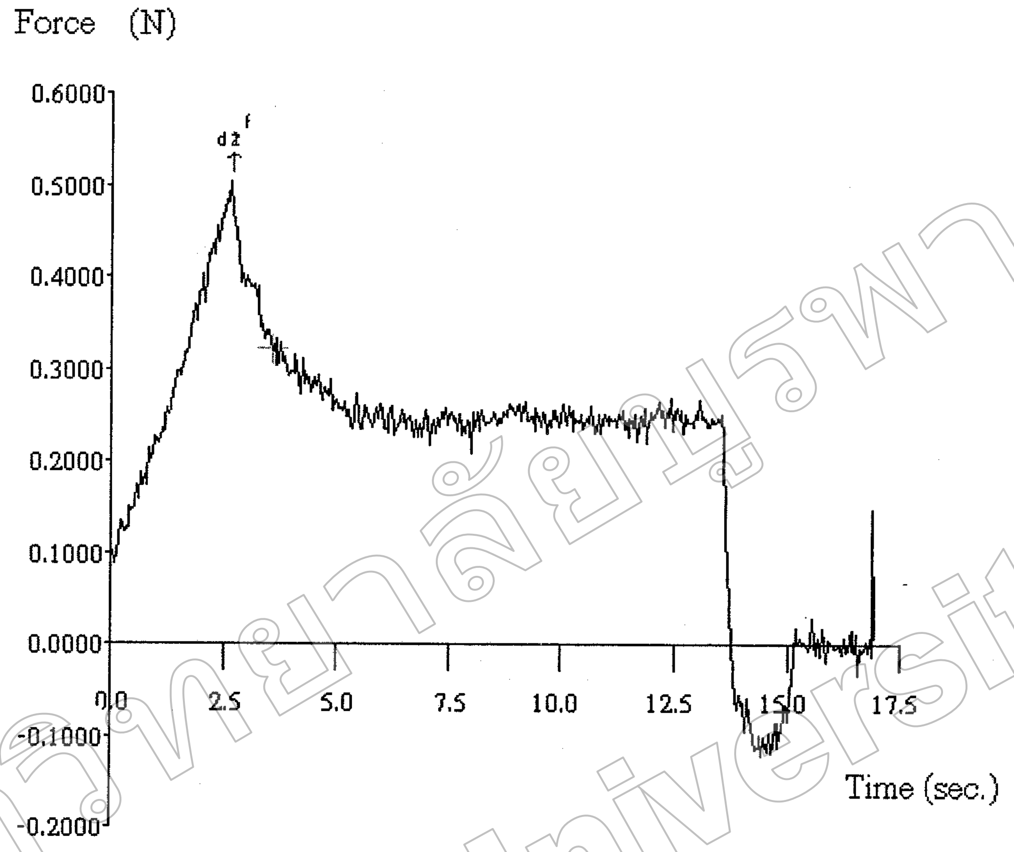
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**กราฟที่ได้จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่**




ภาพภาคผนวก ข-3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University




ภาพภาคผนวก ข-4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุน

**ข-2 วิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE** (ดัดแปลงจากวิธีของณรงค์ ศิขิรัมย์, 2546)

**การเตรียมตัวอย่าง**

เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกันกับวิธีวัดความแข็งแรงของเจล

**วิธีการวิเคราะห์**

โดยทำการเปรียบเทียบมาตรฐานของเครื่องวัดสี (Calibration) ก่อน จากนั้นนำตัวอย่างเจลที่เตรียมได้มาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Handy Colorimeter รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (Lightness; L*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness; a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness; b*) ค่าเฉดสี (Hue; h*) และค่าความเข้มของสี (Chroma; C*) โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการวัด 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้มีความหมายดังนี้

ค่าสี L* หมายถึง ค่าความสว่าง มีช่วงตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

ค่าสี a * หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียว ถ้าเป็นบวก หมายถึง สีแดง

ค่าสี b* หมายถึง ค่าน้ำเงิน-เหลือง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีน้ำเงิน ถ้าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง แต่ละตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย

ค่า Hue (h*) หมายถึง ค่าเฉดสี คำนวณได้ตามสมการที่ (ข-11)

$$\text{Hue } (h^*) = \tan^{-1}(b^*/a^*) \qquad \text{(ข-11)}$$

ค่า Chroma (C*) หมายถึง ค่าความเข้มสี คำนวณได้ตามสมการที่ (ข-12)

$$\text{Chroma } (C^*) = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2} \qquad \text{(ข-12)}$$

# ภาคผนวก ค
# สมบัติของเพกทินทางการค้ามาตรฐานชนิดเมทอกซิลต่ำ

ตารางภาคผนวก ค-1 สมบัติของเพกทินมาตรฐานชนิดเมทอกซิลต่ำ

| SPECIFICATION PECTIN | Red Ribbon Pure |
|---|---|
| **Characterization** | |
| Brand Name | OBIPEKTIN ® |
| Chemical Structure | Polygalacturonic Acid, Low Methoxyl<br>Standardized |
| Identification | see FAO Food and Nutrition Pager 52 (1992) |
| Function | gelling agent for food |
| Typical Application | milk pudding |
| Declaration | Pectin E 440 |
| Manufacturing Method | acid, aqueous extraction,<br>precipitation with alcohol, deesterification |
| Appearance | fine, free-flowing power, light drown |
| Flavour | almost neutral |
| Solubility | in water up to approx. 30 g/l<br>almost insoluble in ethanol |
| Packaging | cardboard box with PE-bag, 25 kgs net |
| Storage | cool and dry |
| Shelf life | 2 year upon delivery |
| Disposal | bio-degradable |
| **Ingredients** | |
| Pectin (%) | 90-100 |
| Sucrose for Standardizing Purposes (%) | 0-10 |
| Buffering Salt (%) | Ø |

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

| SPECIFICATION PECTIN | Red Ribbon Pure |
|---|---|
| **Physico-chemical parameters** | |
| **Characterizing feature** | |
| Gel Strength | standardized in practical trials |
| | No international grading method exists |
| Gelling Speed | Not standardized |
| Viscosity (mPa.s) | Not standardized |
| (2% solution, 25 °C) | |
| Degree of Esterification (%) | Not specified, typical value 37 |
| (number of methoxylated groups) | |
| Degree of Amidation (%) | Ø |
| (number of amidated groups) | |
| pH (1% solution, 25 °C) | Not specified, typical value 4.2 |
| Particle Size | Max. 5% > 315µ |
| Density, Tapped (g/cm$^3$) | 0.5-0.9 |
| Dietary Fiber (%) | Not specified, typical value 80 |
| (of not standardized pectin) | |
| Energy (kj/100g) | 0-170 |
| (of sugar, acids salts only) | |
| **Legislative requirements** | |
| Polygalacturonic Acid (%) | Min. 65 |
| (after washing with acid alcohol, | |
| Calculated on ash and moisture-free pectin | |
| Loss on Drying (%) | Max. 12 |
| (2 hours, 105 °C) | |
| Acid-Insoluble Ash (%) | Max. 1 |
| Alcohol Content (%) | Max. 1 |

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

| SPECIFICATION PECTIN | Red Ribbon Pure |
|---|---|
| Nitrogen (%) | Max. 0.5 |
| (after washing with acid and alcohol) | |
| $SO_2$ (ppm) | Max. 10 |
| Sugars and Organic Acids (mg) | Max. 0.1 |
| Sodium methyl Sulfate (%) | conform to the legal requirements |
| Heavy Metals | |
| **Microbiology** | |
| Total Plate Count 30 °C | Max. 1,000/g |
| (aerobic, mesophilic cfu) | |
| Mould Propagules | Max. 100/g |
| Yest Colony Count | Max. 100/g |
| Enterobacteriaceae | |
| Coliforms | not detectable/g |
| *Escherichia coli* | not detectable/g |
| Salmonellae | not detectable/10g |

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# ภาคผนวก ง
# วิธีการทำเยลลี่สับปะรดแคลอรี่ต่ำ

## วัตถุดิบ

1. สับปะรด
2. โซเดียมแซคคาริน
3. กรดเบนโซอิก ($C_6H_5COOH$)
4. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.2H_2O$)
5. เพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน
6. เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ (Pectin E440, Red Ribbon Pure, Obipktin, ประเทศอังกฤษ)

## สูตรการทำเยลลี่แคลอรี่ต่ำ

| | | |
|---|---|---|
| น้ำผลไม้ | 275.00 | กรัม |
| โซเดียมแซคคาริน | 0.40 | กรัม |
| เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ | 6.50 | กรัม |
| กรดเบนโซอิก | 0.35 | กรัม |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 1.30 | กรัม |
| น้ำ | 225.00 | กรัม |

## วิธีทำ

1. นำสับปะรดมาทำการปอกเปลือกและแยกแกนออก บดเนื้อสับปะรดให้ละเอียด กรองแต่น้ำสับปะรด นำมาเคี่ยวด้วยไฟอ่อน ๆ
2. เติมโซเดียมเซคคาริน กรดเบนโซอิก และน้ำตามสูตร แล้วเคี่ยวต่อจนส่วนผสมละลายเข้ากัน
3. ค่อย ๆ เติมเพกทินลงไปช้า ๆ คนให้เพกทินละลายจนหมด เคี่ยวต่อไปจนเดือด
4. ตักฟองที่ลอยหน้าทิ้ง
5. ละลายแคลเซียมคลอไรด์กันน้ำ แล้วเติมลงไปช้า ๆ คนให้เข้ากัน จากนั้นบรรจุลงภาชนะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

## ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

### ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในการคัดเลือกชนิดของส่วนเหลือทิ้ง (เปลือก ซัง และแกนขนุน) ที่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้

ตารางภาคผนวก จ-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเพกทินที่สกัดจากเปลือก ซัง และแกนขนุน ภายใต้ภาวะความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.3 นอร์มัล อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อปริมาณกรดเป็น 1: 15 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Corrected model | 0.335 | 2 | 0.168 | 2.910 | 0.000 |
| Intercept | 438.344 | 1 | 438.344 | 7616.883 | 1.307 |
| Type | 0.335 | 2 | 0.168 | $2.910^{ns}$ | |
| Error | 0.345 | 6 | 0.058 | | |
| Total | 439.024 | 9 | | | |
| Corrected total | 0.680 | 8 | | | |

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุน

ตารางภาคผนวก จ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Corrected Model | 72.086 | 16 | 4.505 | 692.357 | 0.000 |
| Intercept | 376.308 | 1 | 376.308 | 57828.520 | 0.000 |
| Conc. | 0.059 | 1 | 0.059 | 9.000 | 0.040 |
| Temp. | 12.996 | 1 | 12.996 | 1997.146 | 0.000 |
| Time | 0.150 | 1 | 0.150 | 23.075 | 0.009 |
| Ratio | 0.227 | 1 | 0.227 | 34.819 | 0.004 |
| Conc.×Temp. | 3.595 | 1 | 3.595 | 552.428 | 0.000 |
| Conc.×Time | 0.825 | 1 | 0.825 | 126.838 | 0.000 |
| Conc.×Ratio | 1.985 | 1 | 1.985 | 305.085 | 0.000 |
| Temp.×Time | 0.016 | 1 | 0.016 | 2.459 | 0.192 |
| Temp.×Ratio | 0.578 | 1 | 0.578 | 88.762 | 0.001 |
| Time.×Ratio | 0.288 | 1 | 0.288 | 44.232 | 0.003 |
| Conc.×Temp.×Time | 0.004 | 1 | 0.004 | 0.639 | 0.469 |
| Conc.×Temp.×Ratio | 0.019 | 1 | 0.019 | 2.927 | 0.162 |
| Conc.×Time×Ratio | 0.062 | 1 | 0.062 | 9.490 | 0.037 |
| Temp.×Time×Ratio | 0.009 | 1 | 0.009 | 1.372 | 0.306 |
| Conc.×Temp.×Time×Ratio | 0.059 | 1 | 0.059 | 9.037 | 0.040 |
| Error | 0.026 | 4 | 0.007 | | |
| Total | 466.203 | 21 | | | |
| Corrected Total | 72.112 | 20 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 1.000 (Adjust $R^2$ = 0.998)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำหนักสมมูลย์

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Corrected Model | 505306.698 | 16 | 31581.669 | 716.385 | 0.000 |
| Intercept | 9484866.570 | 1 | 9484866.570 | 215150.600 | 0.000 |
| Conc. | 27741.900 | 1 | 27741.900 | 629.285 | 0.000 |
| Temp. | 248116.063 | 1 | 248116.063 | 5628.157 | 0.000 |
| Time | 9194.413 | 1 | 9194.413 | 208.562 | 0.000 |
| Ratio | 120758.335 | 1 | 120758.335 | 2739.230 | 0.000 |
| Conc.×Temp. | 65.732 | 1 | 65.732 | 1.491 | 0.289 |
| Conc.×Time | 235.699 | 1 | 235.699 | 5.346 | 0.082 |
| Conc.×Ratio | 2242.496 | 1 | 2242.496 | 50.868 | 0.002 |
| Temp.×Time | 11254.239 | 1 | 11254.239 | 255.286 | 0.000 |
| Temp.×Ratio | 39546.692 | 1 | 39546.692 | 897.060 | 0.000 |
| Time.×Ratio | 36805.847 | 11 | 36805.847 | 834.888 | 0.000 |
| Conc.×Temp.×Time | 606.243 | 1 | 606.243 | 13.752 | 0.021 |
| Conc.×Temp.×Ratio | 0.575 | 1 | 0.575 | 0.013 | 0.915 |
| Conc.×Time×Ratio | 52.933 | 1 | 52.933 | 1.201 | 0.335 |
| Temp.×Time×Ratio | 52.071 | 1 | 52.071 | 1.181 | 0.338 |
| Conc.×Temp.×Time×Ratio | 9.753 | 1 | 9.753 | 0.221 | 0.663 |
| Error | 176.339 | 4 | 44.085 | | |
| Total | 10056612.300 | 21 | | | |
| Corrected Total | 505483.037 | 20 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 1.000 (Adjust $R^2$ = 0.998)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเมทอกซิล

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Corrected Model | 28.883 | 16 | 1.805 | 3516.855 | 0.000 |
| Intercept | 239.413 | 1 | 239.413 | 466419.000 | 0.000 |
| Conc. | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.095 | 0.773 |
| Temp. | 3.484 | 1 | 3.484 | 6787.107 | 0.000 |
| Time | 0.831 | 1 | 0.831 | 1618.609 | 0.000 |
| Ratio | 0.207 | 1 | 0.207 | 403.322 | 0.000 |
| Conc.×Temp. | 0.727 | 1 | 0.727 | 1415.851 | 0.000 |
| Conc.×Time | 0.118 | 1 | 0.118 | 229.870 | 0.000 |
| Conc.×Ratio | 0.012 | 1 | 0.012 | 23.146 | 0.009 |
| Temp.×Time | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.125 | 0.749 |
| Temp.×Ratio | 23.199 | 1 | 23.199 | 45195.153 | 0.000 |
| Time.×Ratio | 0.011 | 1 | 0.011 | 21.275 | 0.010 |
| Conc.×Temp.×Time | 0.003 | 1 | 0.003 | 5.472 | 0.079 |
| Conc.×Temp.×Ratio | 0.004 | 1 | 0.004 | 7.368 | 0.053 |
| Conc.×Time×Ratio | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.059 | 0.820 |
| Temp.×Time×Ratio | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.859 | 0.406 |
| Conc.×Temp.×Time×Ratio | 0.001 | 1 | 0.001 | 1.527 | 0.284 |
| Error | 0.002 | 4 | 0.001 | | |
| Total | 270.097 | 21 | | | |
| Corrected Total | 28.885 | 20 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 1.000 (Adjust $R^2$ = 1.000)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิก

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Corrected Model | 1627.670 | 16 | 101.729 | 79.121 | 0.000 |
| Intercept | 42944.324 | 1 | 42944.324 | 33400.252 | 0.000 |
| Conc. | 24.550 | 1 | 24.550 | 19.094 | 0.012 |
| Temp. | 351.553 | 1 | 351.553 | 273.423 | 0.000 |
| Time | 1.074 | 1 | 1.074 | 0.835 | 0.412 |
| Ratio | 228.561 | 1 | 228.561 | 177.765 | 0.000 |
| Conc.×Temp. | 48.494 | 1 | 48.494 | 37.716 | 0.004 |
| Conc.×Time | 0.007 | 1 | 0.007 | 0.006 | 0.943 |
| Conc.×Ratio | 39.385 | 1 | 39.385 | 30.632 | 0.005 |
| Temp.×Time | 378.332 | 1 | 378.332 | 294.250 | 0.000 |
| Temp.×Ratio | 24.818 | 1 | 24.818 | 19.302 | 0.012 |
| Time.×Ratio | 35.674 | 1 | 35.674 | 27.746 | 0.006 |
| Conc.×Temp.×Time | 5.138 | 1 | 5.138 | 3.996 | 0.116 |
| Conc.×Temp.×Ratio | 28.534 | 1 | 28.534 | 22.193 | 0.009 |
| Conc.×Time×Ratio | 1.929 | 1 | 1.929 | 1.500 | 0.288 |
| Temp.×Time×Ratio | 9.445 | 1 | 9.445 | 7.346 | 0.054 |
| Conc.×Temp.×Time×Ratio | 3.676 | 1 | 3.676 | 2.859 | 0.166 |
| Error | 5.143 | 4 | 1.286 | | |
| Total | 45240.933 | 21 | | | |
| Corrected Total | 1632.813 | 20 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.997 (Adjust $R^2$ = 0.984)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเกิดเอสเทอร์

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Corrected Model | 5527.747 | 16 | 345.484 | 554.601 | 0.000 |
| Intercept | 39182.044 | 1 | 39182.044 | 62898.413 | 0.000 |
| Conc. | 4.320 | 1 | 4.320 | 6.935 | 0.058 |
| Temp. | 0.219 | 1 | 0.219 | 0.351 | 0.585 |
| Time | 170.943 | 1 | 170.943 | 274.412 | 0.000 |
| Ratio | 848.499 | 1 | 848.499 | 1362.084 | 0.000 |
| Conc.×Temp. | 59.560 | 1 | 59.560 | 95.611 | 0.001 |
| Conc.×Time | 15.441 | 1 | 15.441 | 24.787 | 0.008 |
| Conc.×Ratio | 1.777 | 1 | 1.777 | 2.852 | 0.167 |
| Temp.×Time | 431.746 | 1 | 431.746 | 693.076 | 0.000 |
| Temp.×Ratio | 3731.011 | 1 | 3731.011 | 5989.342 | 0.000 |
| Time.×Ratio | 0.144 | 1 | 0.144 | 0.232 | 0.655 |
| Conc.×Temp.×Time | 6.368 | 1 | 6.368 | 10.223 | 0.033 |
| Conc.×Temp.×Ratio | 22.973 | 1 | 22.973 | 36.878 | 0.004 |
| Conc.×Time×Ratio | 6.360 | 1 | 6.360 | 10.210 | 0.033 |
| Temp.×Time×Ratio | 54.023 | 1 | 54.023 | 86.722 | 0.001 |
| Conc.×Temp.×Time×Ratio | 1.798 | 1 | 1.798 | 2.887 | 0.165 |
| Error | 2.492 | 4 | 0.623 | | |
| Total | 466.203 | 21 | | | |
| Corrected Total | 5530.239 | 20 | | | |

หมายเหตุ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 1.000 (Adjust $R^2$ = 0.998)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนในภาวะที่เหมาะสม

ตารางภาคผนวก จ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม

| Source | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Conc. (L) | 0.153 | 1 | 0.153 | 23.266 | 0.009 |
| Conc. (Q) | 4.996 | 1 | 4.996 | 759.254 | 0.000 |
| Temp. (L) | 20.980 | 1 | 20.980 | 3188.165 | 0.000 |
| Temp. (Q) | 11.947 | 1 | 11.947 | 1815.525 | 0.000 |
| Time (L) | 0.239 | 1 | 0.239 | 36.262 | 0.004 |
| Time (Q) | 47.607 | 1 | 47.607 | 7234.603 | 0.000 |
| Ratio (L) | 0.503 | 1 | 0.503 | 76.545 | 0.001 |
| Ratio (Q) | 35.826 | 1 | 35.826 | 5444.268 | 0.000 |
| Conc. (L)×Temp. (L) | 3.724 | 1 | 3.724 | 565.890 | 0.000 |
| Conc. (L)×Time (L) | 0.888 | 1 | 0.888 | 134.912 | 0.000 |
| Conc. (L)×Ratio (L) | 1.891 | 1 | 1.891 | 287.422 | 0.119 |
| Temp. (L)×Time (L) | 0.026 | 1 | 0.026 | 3.901 | 0.001 |
| Temp. (L)×Ratio (L) | 0.528 | 1 | 0.528 | 80.157 | 0.002 |
| Time (L)×Ratio (L) | 0.325 | 1 | 0.325 | 49.412 | 0.002 |
| Lack of Fit | 0.256 | 10 | 0.026 | 3.884 | 0.101 |
| Pure Error | 0.026 | 4 | 0.007 | | |
| Total SS | 101.967 | 28 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.997 (Adjust $R^2$ = 0.994)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ในภาวะที่เหมาะสม

| Source | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Conc. (L) | 39887.004 | 1 | 39887.004 | 904.779 | 0.000 |
| Conc. (Q) | 48863.550 | 1 | 48863.550 | 1108.399 | 0.000 |
| Temp. (L) | 370300.089 | 1 | 370300.089 | 8399.726 | 0.000 |
| Temp. (Q) | 47453.495 | 1 | 47453.495 | 1076.414 | 0.000 |
| Time (L) | 8549.411 | 1 | 8549.411 | 193.931 | 0.000 |
| Time (Q) | 22.131 | 1 | 22.131 | 0.502 | 0.518 |
| Ratio (L) | 175171.167 | 1 | 175171.169 | 3973.506 | 0.000 |
| Ratio (Q) | 47680.089 | 1 | 47680.089 | 1081.554 | 0.000 |
| Conc. (L)×Temp. (L) | 65.729 | 1 | 65.729 | 1.491 | 0.289 |
| Conc. (L)×Time (L) | 235.697 | 1 | 235.697 | 5.346 | 0.081 |
| Conc. (L)×Ratio (L) | 2242.452 | 1 | 2242.492 | 50.868 | 0.002 |
| Temp. (L)×Time (L) | 11254.251 | 1 | 11254.251 | 255.287 | 0.000 |
| Temp. (L)×Ratio (L) | 39546.808 | 1 | 39546.808 | 897.063 | 0.000 |
| Time (L)×Ratio (L) | 36805.898 | 1 | 36805.898 | 834.889 | 0.000 |
| Lack of Fit | 2588.430 | 10 | 258.843 | 5.871 | 0.051 |
| Pure Error | 176.339 | 4 | 44.085 | | |
| Total SS | 856825.880 | 28 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.977 (Adjust $R^2$ = 0.944)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเมทอกซิล ในภาวะที่เหมาะสม

| Source | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Conc. (L) | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.050 | 0.833 |
| Conc. (Q) | 0.236 | 1 | 0.236 | 458.080 | 0.000 |
| Temp. (L) | 5.105 | 1 | 5.105 | 9898.587 | 0.000 |
| Temp. (Q) | 0.359 | 1 | 0.359 | 696.609 | 0.000 |
| Time (L) | 1.349 | 1 | 1.349 | 2614.739 | 0.000 |
| Time (Q) | 0.147 | 1 | 0.147 | 284.288 | 0.000 |
| Ratio (L) | 0.326 | 1 | 0.326 | 632.035 | 0.000 |
| Ratio (Q) | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.058 | 0.821 |
| Conc. (L)×Temp. (L) | 0.754 | 1 | 0.754 | 1461.697 | 0.000 |
| Conc. (L)×Time (L) | 0.107 | 1 | 0.107 | 208.283 | 0.000 |
| Conc. (L)×Ratio (L) | 0.009 | 1 | 0.009 | 16.860 | 0.015 |
| Temp. (L)×Time (L) | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.116 | 0.750 |
| Temp. (L)×Ratio (L) | 23.351 | 1 | 23.351 | 45275.832 | 0.000 |
| Time (L)×Ratio (L) | 0.014 | 1 | 0.014 | 28.037 | 0.006 |
| Lack of Fit | 0.029 | 10 | 0.003 | 5.534 | 0.057 |
| Pure Error | 0.002 | 4 | 0.001 | | |
| Total SS | 31.642 | 28 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.969 (Adjust $R^2$ = 0.928)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิก ในภาวะที่เหมาะสม

| Source | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Conc. (L) | 33.315 | 1 | 33.315 | 25.897 | 0.007 |
| Conc. (Q) | 48.743 | 1 | 48.743 | 37.891 | 0.004 |
| Temp. (L) | 422.136 | 1 | 422.136 | 328.148 | 0.000 |
| Temp. (Q) | 448.716 | 1 | 448.716 | 348.809 | 0.000 |
| Time (L) | 0.673 | 1 | 0.673 | 0.523 | 0.510 |
| Time (Q) | 195.238 | 1 | 195.238 | 151.768 | 0.000 |
| Ratio (L) | 313.615 | 1 | 313.615 | 243.789 | 0.000 |
| Ratio (Q) | 170.756 | 1 | 170.756 | 132.737 | 0.000 |
| Conc. (L)×Temp. (L) | 49.543 | 1 | 49.543 | 38.513 | 0.003 |
| Conc. (L)×Time (L) | 0.026 | 1 | 0.026 | 0.020 | 0.894 |
| Conc. (L)×Ratio (L) | 38.448 | 1 | 38.448 | 29.887 | 0.005 |
| Temp. (L)×Time (L) | 375.419 | 1 | 375.419 | 291.831 | 0.000 |
| Temp. (L)×Ratio (L) | 25.570 | 1 | 25.570 | 19.877 | 0.011 |
| Time (L)×Ratio (L) | 36.578 | 1 | 36.578 | 28.434 | 0.006 |
| Lack of Fit | 69.608 | 10 | 6.961 | 5.411 | 0.059 |
| Pure Error | 5.146 | 4 | 1.286 | | |
| Total SS | 1981.372 | 28 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.962 (Adjust $R^2$ = 0.925)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเกิดเอสเทอร์ในภาวะที่เหมาะสม

| Source | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Conc. (L) | 8.102 | 1 | 8.102 | 13.007 | 0.023 |
| Conc. (Q) | 0.001 | 1 | 0.001 | 0.001 | 0.977 |
| Temp. (L) | 16.397 | 1 | 16.397 | 26.323 | 0.007 |
| Temp. (Q) | 128.421 | 1 | 128.421 | 206.166 | 0.000 |
| Time (L) | 317.026 | 1 | 317.026 | 508.952 | 0.000 |
| Time (Q) | 63.779 | 1 | 63.779 | 102.391 | 0.001 |
| Ratio (L) | 1061.029 | 1 | 1061.029 | 1703.371 | 0.000 |
| Ratio (Q) | 187.652 | 1 | 187.652 | 301.255 | 0.000 |
| Conc. (L)×Temp. (L) | 59.556 | 1 | 59.556 | 95.611 | 0.001 |
| Conc. (L)×Time (L) | 15.440 | 1 | 15.440 | 24.787 | 0.008 |
| Conc. (L)×Ratio (L) | 1.776 | 1 | 1.776 | 2.851 | 0.167 |
| Temp. (L)×Time (L) | 431.734 | 1 | 431.734 | 693.104 | 0.000 |
| Temp. (L)×Ratio (L) | 3730.971 | 1 | 3730.971 | 5989.683 | 0.000 |
| Time (L)×Ratio (L) | 0.144 | 1 | 0.144 | 0.232 | 0.655 |
| Lack of Fit | 162.952 | 10 | 16.295 | 26.160 | 0.003 |
| Pure Error | 2.492 | 4 | 0.623 | | |
| Total SS | 6113.597 | 28 | | | |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.973 (Adjust $R^2$ = 0.946)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษากับปริมาณและคุณภาพของเพกทินเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

ตารางภาคผนวก จ-12 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของปริมาณเพกทินที่สกัดได้

| Model | Regr. Coefficient ($\beta$) | Std. Error | t | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -55.615 | 0.758 | -73.367 | 0.000 |
| $X_1$ | 67.033 | 1.646 | 40.728 | 0.000 |
| $X_2$ | 0.648 | 0.012 | 51.298 | 0.000 |
| $X_3$ | 0.387 | 0.006 | 53.435 | 0.000 |
| $X_4$ | 1.741 | 0.033 | 52.901 | 0.000 |
| $X_1^2$ | -43.882 | 1.593 | -27.555 | 0.000 |
| $X_2^2$ | -0.003 | 0.000 | -42.609 | 0.000 |
| $X_3^2$ | -0.003 | 0.000 | -85.056 | 0.000 |
| $X_4^2$ | -0.047 | 0.001 | -73.785 | 0.000 |
| $X_1X_2$ | -0.322 | 0.014 | -23.788 | 0.000 |
| $X_1X_3$ | -0.105 | 0.009 | -11.615 | 0.000 |
| $X_1X_4$ | -0.688 | 0.041 | -16.954 | 0.000 |
| $X_2X_4$ | -0.002 | 0.000 | -8.953 | 0.001 |
| $X_3X_4$ | 0.001 | 0.000 | 7.029 | 0.002 |

หมายเหตุ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.997 (Adjust $R^2$ = 0.994)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-13 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของปริมาณน้ำหนักสมมูลย์

| Model | Regr. Coefficient ($\beta$) | Std. Error | t | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 2824.281 | 60.219 | 46.900 | 0.000 |
| $X_1$ | 1840.975 | 93.703 | 19.647 | 0.000 |
| $X_2$ | -41.431 | 0.992 | -41.771 | 0.000 |
| $X_3$ | 0.584 | 0.556 | 1.049 | 0.353 |
| $X_4$ | -51.241 | 2.694 | -19.018 | 0.000 |
| $X_1^2$ | -4339.680 | 130.350 | -33.293 | 0.000 |
| $X_2^2$ | 0.190 | 0.006 | 32.809 | 0.000 |
| $X_3^2$ | -0.002 | 0.003 | -0.709 | 0.518 |
| $X_4^2$ | -1.715 | 0.052 | -32.887 | 0.000 |
| $X_1X_4$ | 23.677 | 3.320 | 7.132 | 0.002 |
| $X_2X_3$ | -0.079 | 0.005 | -15.978 | 0.000 |
| $X_2X_4$ | 0.663 | 0.022 | 29.951 | 0.000 |
| $X_3X_4$ | 0.426 | 0.015 | 28.894 | 0.000 |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.976 (Adjust $R^2$ = 0.944)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-14 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของปริมาณเมทอกซิล

| Model | Regr. Coefficient ($\beta$) | Std. Error | t | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -13.169 | 0.212 | -62.053 | 0.000 |
| $X_1$ | -3.359 | 0.461 | -7.289 | 0.002 |
| $X_2$ | 0.246 | 0.003 | 72.485 | 0.000 |
| $X_3$ | 0.024 | 0.002 | 15.154 | 0.000 |
| $X_4$ | 1.188 | 0.009 | 128.860 | 0.000 |
| $X_1^2$ | -9.542 | 0.446 | -21.403 | 0.000 |
| $X_2^2$ | -0.001 | 0.000 | -26.393 | 0.000 |
| $X_3^2$ | 0.0001 | 0.000 | -16.861 | 0.000 |
| $X_4^2$ | 0.00004 | 0.000 | 0.242 | 0.821 |
| $X_1X_2$ | 0.145 | 0.004 | 38.232 | 0.000 |
| $X_1X_3$ | -0.036 | 0.003 | -14.432 | 0.000 |
| $X_1X_4$ | 0.047 | 0.011 | 4.106 | 0.015 |
| $X_2X_4$ | -0.016 | 0.000 | -212.781 | 0.000 |
| $X_3X_4$ | -0.0003 | 0.000 | -5.295 | 0.006 |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.969 (Adjust $R^2$ = 0.928)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-15 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของปริมาณกรดยูโรนิก

| Model | Regr. Coefficient (β) | Std. Error | t | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 3.479 | 11.131 | 0.312 | 0.770 |
| $X_1$ | -40.469 | 21.383 | -1.893 | 0.131 |
| $X_2$ | 1.425 | 0.179 | 7.975 | 0.001 |
| $X_3$ | -0.539 | 0.095 | -5.673 | 0.005 |
| $X_4$ | 3.228 | 0.460 | 7.014 | 0.002 |
| $X_1^2$ | -137.064 | 22.267 | -6.156 | 0.004 |
| $X_2^2$ | -0.018 | 0.001 | -18.676 | 0.000 |
| $X_3^2$ | -0.005 | 0.000 | -12.319 | 0.000 |
| $X_4^2$ | -0.103 | 0.009 | -11.521 | 0.000 |
| $X_1X_2$ | 1.173 | 0.189 | 6.026 | 0.003 |
| $X_1X_4$ | 3.100 | 0.567 | 5.467 | 0.005 |
| $X_2X_3$ | 0.014 | 0.001 | 17.083 | 0.000 |
| $X_2X_4$ | -0.017 | 0.004 | -4.458 | 0.011 |
| $X_3X_4$ | 0.013 | 0.003 | 5.332 | 0.006 |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.962 (Adjust $R^2$ = 0.930)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก จ-16 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของระดับการเกิดเอสเทอร์

| Model | Regr. Coefficient ($\beta$) | Std. Error | t | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -118.200 | 7.540 | -15.677 | 0.000 |
| $X_1$ | -73.094 | 14.879 | -4.913 | 0.008 |
| $X_2$ | 2.169 | 0.124 | 17.445 | 0.000 |
| $X_3$ | 0.706 | 0.066 | 10.671 | 0.000 |
| $X_4$ | 10.713 | 0.273 | 39.240 | 0.000 |
| $X_1^2$ | 0.482 | 15.494 | 0.031 | 0.977 |
| $X_2^2$ | 0.010 | 0.001 | 14.358 | 0.000 |
| $X_3^2$ | 0.003 | 0.000 | 10.119 | 0.001 |
| $X_4^2$ | 0.108 | 0.006 | 17.357 | 0.000 |
| $X_1X_2$ | 1.286 | 0.132 | 9.778 | 0.001 |
| $X_1X_3$ | -0.437 | 0.088 | -4.979 | 0.008 |
| $X_2X_3$ | -0.015 | 0.001 | -26.327 | 0.000 |
| $X_2X_4$ | -0.204 | 0.003 | -77.393 | 0.000 |

<u>หมายเหตุ</u> ระดับนัยสำคัญที่ 0.05, $R^2$ = 0.973 (Adjust $R^2$ = 0.952)

## ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตารางภาคผนวก จ-17 ผลการวิเคราะห์ Independent Sample t-Test ในขั้นตอนการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้

| ภาวะ | ระดับปัจจัยที่ศึกษา (โดยการสุ่มเลือก) | | | | ปริมาณเพกทิน (%น้ำหนักแห้ง) | | df | t | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Conc. | Temp. | Time | Ratio | ทดลอง | ทำนาย | | | |
| 1 | 0.24 | 89 | 70 | 1: 15 | 7.730 | 7.578 | 1 | 1.186 | 0.446 |
| 2 | 0.10 | 60 | 90 | 1: 20 | 2.096 | 2.150 | 1 | -1.065 | 0.480 |
| 3 | 0.15 | 89 | 70 | 1: 15 | 7.316 | 7.249 | 1 | 0.586 | 0.662 |
| 4 | 0.25 | 75 | 90 | 1: 20 | 4.348 | 4.285 | 1 | 0.083 | 0.948 |
| 5 | 0.30 | 100 | 50 | 1: 5 | 1.682 | 1.739 | 1 | -1.712 | 0.337 |

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University