

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาผลของสภาวะในการเตรียม โดยเจลาตินโซ่เป้งด้วยเครื่องหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 30 และ 60 นาที และทำให้เป้งเจลาตินตัวลงแบบช้าและแบบเร็ว และการใช้เป้งมันสำปะหลังรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เป้งอะเซททิเลต เป้งออกทินิลซัคซิเนต เป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด/เอนไซม์พุลูลานาส เป้งในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดปาล์มมิก และกรดโอเลอิก ต่อปริมาณและขนาดของสเฟียรูไลต์ที่ได้ รวมถึงศึกษาสมบัติด้านต่างๆของสเฟียรูไลต์สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การศึกษาผลของสภาวะในการเจลาตินโซ่ อัตราในการทำให้เย็น และอุณหภูมิในการเก็บต่อปริมาณและขนาดของสเฟียรูไลต์

1. เมื่อนำเป้งมันสำปะหลังไปให้ความร้อนด้วยเครื่องหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 60 นาที ทำให้ได้สเฟียรูไลต์ปริมาณมากกว่าการ autoclave เป็นเวลา 30 นาที
2. การทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว (เก็บที่อุณหภูมิ -15 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บไว้ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C หรือ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) ทำให้ได้ปริมาณสเฟียรูไลต์มากกว่าการทำให้เย็นอย่างช้า (เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึง 46 °C เก็บไว้เป็นเวลา 22 ชั่วโมง)
3. หลังจากการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วและนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C หรือ 50 °C พบว่าอุณหภูมิในการเก็บไม่มีผลต่อปริมาณของสเฟียรูไลต์ที่ได้
4. การเตรียมสเฟียรูไลต์จากเป้งมันสำปะหลังภายใต้สภาวะต่างๆ พบว่าสเฟียรูไลต์ที่ได้มีลักษณะกลมและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-8 μm เหมือนกัน

การศึกษาลักษณะและปริมาณของสเฟียรูไลต์ที่เตรียมจากตัวอย่างเป้งชนิดต่างๆ

1. การเตรียมสเฟียรูไลต์จากเป้งมันสำปะหลังคัดแปร พบว่าเมื่อใช้เป้งอะเซททิเลตเป็นวัตถุดิบ มีสเฟียรูไลต์เกิดขึ้นน้อยมาก ในขณะที่สเฟียรูไลต์จากเป้งออกทินิลซัคซิเนต มีทั้งลักษณะกลมและรูปร่างไม่แน่นอนปะปนอยู่รวมกัน ดังนั้นเป้งมันสำปะหลังคัดแปรด้วยวิธีการ

แทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (แป้งอะเซททิลเลตและแป้งออกทีนิลซัคซิเนต) จึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้เตรียมสเฟียรูไลด์

2. การเตรียมสเฟียรูไลด์จากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด HCl ความเข้มข้น 2.2 M เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีสเฟียรูไลด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 μm เกิดขึ้น ในขณะที่การเตรียมจากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดที่เวลานานขึ้น จะทำให้ได้อนุภาคขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1 μm) นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการย่อยมีผลต่อปริมาณสเฟียรูไลด์ที่ได้
3. การเตรียมสเฟียรูไลด์จากแป้งตัดกิ่งด้วยเอนไซม์ พบว่าสเฟียรูไลด์จะมีขนาดเล็กลงเมื่อเพิ่มเวลาในการย่อยนานขึ้น และการเตรียมสเฟียรูไลด์จากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นเวลา 15 นาที มีปริมาณสเฟียรูไลด์ทั้งหมดมากที่สุดเมื่อเทียบกับการเตรียมจากแป้งที่ผ่านการย่อยที่เวลาอื่นๆ
4. การเตรียมสเฟียรูไลด์จากสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดไขมันชนิดต่างๆ พบว่าการเตรียมจากสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดอะซิติกและกรดบิวทิริก จะได้สเฟียรูไลด์ที่มีลักษณะกลม ประกอบด้วยสเฟียรูไลด์ขนาดใหญ่ (5-20 μm) และสเฟียรูไลด์ขนาดเล็ก (1-5 μm) จำนวนมาก การเตรียมสเฟียรูไลด์จากสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดปาล์มมิก จะทำให้ได้สเฟียรูไลด์ขนาด 1-10 μm ปะปนอยู่กับอนุภาคทรงกลมขนาดเล็ก (< 1 μm) จำนวนมาก ในขณะที่การเตรียมจากสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดโอเลอิก พบว่าอนุภาคที่ได้มีรูปร่างคล้ายโดนัท ปะปนอยู่กับอนุภาคทรงกลมขนาดเล็ก จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของกรดไขมันที่ใช้มีผลต่อรูปร่างลักษณะและขนาดของสเฟียรูไลด์ที่ได้
5. การเตรียมสเฟียรูไลด์จากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 5 นาที จะได้ปริมาณสเฟียรูไลด์ไม่แตกต่างกันกับการเตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง แต่สเฟียรูไลด์ที่ได้จะมีขนาดไม่เกิน 5 μm ในขณะที่สเฟียรูไลด์จากแป้งมันสำปะหลังมีขนาดใหญ่ถึง 20 μm สำหรับการเตรียมสเฟียรูไลด์จากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดที่ระยะเวลาอื่นๆ พบว่าได้ปริมาณสเฟียรูไลด์น้อยกว่าการเตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง
6. เจลแป้งสเฟียรูไลด์จากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์และสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดโอเลอิกมีลักษณะเกาะตัวกันเป็นก้อนวุ้น ไม่มีความเหนียว ทำให้สามารถล้างเจลและเก็บสเฟียรูไลด์ได้ง่ายกว่าสเฟียรูไลด์จากแป้งมันสำปะหลัง แป้งออกทีนิลซัคซิเนต สารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดปาล์มมิก

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีกายภาพ

1. สเฟียรูไลด์จากแป้งมันสำปะหลัง แป้งที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นเวลา 15 นาที สารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดอะซิดิก กรดบิวทริก และกรดปาล์มมิก พบว่ามีลักษณะกลม เกาะกลุ่มกัน และมีพื้นผิวไม่เรียบ ในขณะที่สเฟียรูไลด์จากตัวอย่างแป้งอื่นๆ พบว่ามีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอนและพื้นผิวไม่เรียบ
2. ลักษณะของสเฟียรูไลด์ที่ถูกตัดตามขวาง พบว่าภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็ก โดยที่รอบนอกของเม็ดนั้นจะมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า ซึ่งรูพรุนภายในของสเฟียรูไลด์มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ถูกตัดตามขวาง
3. ลักษณะโครงสร้างผลึกของสเฟียรูไลด์จากตัวอย่างแป้งต่างๆ พบว่ามีโครงสร้างผลึกที่เปลี่ยนไปจากโครงสร้างผลึกของแป้งมันสำปะหลังที่เดิมมีโครงสร้างผลึกแบบ C_A โดยที่สเฟียรูไลด์จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทินิลซัคซิเนตไม่สามารถระบุชนิดของผลึกได้ สเฟียรูไลด์จากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ และจากสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดอะซิดิกและกรดบิวทริก มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ B ในขณะที่สารประกอบเชิงซ้อนของแป้งมันสำปะหลังกับกรดปาล์มมิกและกรดโอเลอิก มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ V_7 -amylose

การศึกษาความสามารถในการทนย่อยของสเฟียรูไลด์

สเฟียรูไลด์ที่เตรียมจากตัวอย่างแป้งต่างๆ สามารถทนต่อการย่อยด้วยกรด HCl ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 M (pH 1.2) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงได้อย่างสมบูรณ์เช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลัง ส่วนการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (10U/100 มิลลิกรัมแป้ง) พบว่าสเฟียรูไลด์ทนต่อการย่อยได้น้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังโดยที่เวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีแป้งคงเหลืออยู่มากกว่า 50% ของแป้งเริ่มต้นในขณะที่แป้งมันสำปะหลังมีแป้งคงเหลือมากกว่า 80%

จากการทดลองเพิ่มผลผลิตสเฟียรูไลด์โดยการเตรียมจากแป้งมันสำปะหลังรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การใช้แป้งคัดแปรที่มีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลแป้งด้วยหมู่แทนที่ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำคือ แป้งอะเซททีเลตและแป้งออกทินิลซัคซิเนต การใช้แป้งตัดกิ่งด้วยกรดและเอนไซม์เพื่อเพิ่มพอลิเมอร์เชิงเส้น และการใช้กรดไขมันเพื่อให้เกิด amylose-lipid complex พบว่าผลผลิตของสเฟียรูไลด์ที่ได้ยังต่ำ เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสในระดับปานกลาง (15-20%) ซึ่งทำให้ผลที่ได้ไม่แตกต่างจากการเตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง ดังนั้นแป้งมันสำปะหลังอาจยังไม่ใช่วัตถุดิบที่เหมาะสม

แนวทางการนำสเฟียรูไลต์ไปประยุกต์ใช้

จากการศึกษาคุณสมบัติของสตาร์ช สเฟียรูไลต์ พบว่าสตาร์ช สเฟียรูไลต์ที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุน มีขนาดในระดับไมครอน มีความทนต่อความร้อนและการย่อยด้วยกรดสูง ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสโดยระดับการย่อยขึ้นกับรูปแบบของแป้งที่ใช้ในการเตรียม จากสมบัติเหล่านี้สามารถประเมินได้ว่าสตาร์ช สเฟียรูไลต์น่าจะมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) หรือเป็นสารตัวพา (carrier) สารต่างๆ ได้ ซึ่งสตาร์ช สเฟียรูไลต์มีทั้งสมบัติที่ใกล้เคียงและแตกต่างจากสตาร์ช ไมโครสเฟียร์ โดยส่วนที่แตกต่างอย่างชัดเจนคือ สตาร์ช สเฟียรูไลต์มีโครงสร้างกิ่งผลึกในขณะที่สตาร์ช ไมโครสเฟียร์มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน สตาร์ช สเฟียรูไลต์มีความพรุนมากกว่าและสามารถทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสได้ดีกว่าสตาร์ช ไมโครสเฟียร์ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำสตาร์ช สเฟียรูไลต์ไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์และอื่นๆ ได้เช่นเดียวกับสตาร์ช ไมโครสเฟียร์ จุดเด่นที่สำคัญของสตาร์ช สเฟียรูไลต์ อีกประการหนึ่งคือ กระบวนการผลิตซึ่งไม่มีการใช้สารเคมีอื่นๆ นอกจากแป้ง ทำให้สตาร์ช สเฟียรูไลต์มีความบริสุทธิ์สูงและไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการบำบัดสารเคมี อย่างไรก็ตามผลผลิตของสตาร์ช สเฟียรูไลต์ที่ได้ยังต่ำเมื่อเทียบกับการเตรียมสตาร์ช ไมโครสเฟียร์ จึงต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้วิธีการผลิตที่เหมาะสมต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองใช้แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสสูงและแป้งถั่วเขียว ซึ่งในประเทศไทยมีการผลิตในปริมาณมากเช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลัง ร่วมกับการเพิ่มผลผลิตสเฟียรูไลต์ด้วยวิธีการต่างๆ อาจทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น
2. ควรทดลองเพิ่มระยะเวลาการเก็บในขั้นตอนการเตรียมสเฟียรูไลต์ เช่น เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 7 วัน ซึ่งอาจทำให้มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกแน่นมากขึ้น
3. ขั้นตอนการเตรียมแป้งย่อยด้วยกรดในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการรองและล้างด้วยน้ำจำนวนมาก จนกระทั่งเป็นกลาง ซึ่งใช้เวลานานส่งผลให้ในระหว่างที่ล้างแป้งอาจจะยังคงถูกย่อยอยู่ จึงควรเปลี่ยนเป็นวิธีใช้ด่างปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนนำไปกรองและล้างด้วยน้ำ ซึ่งจะทำให้ได้แป้งที่ผ่านการย่อยตามเวลาที่กำหนด
4. ควรวิเคราะห์หาขนาดรูพรุนและความพรุน (porosity) และศึกษาความสามารถในการพองตัวของสเฟียรูไลต์ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปประยุกต์ใช้
5. ควรทดลองนำสเฟียรูไลต์ไปใช้เป็นตัวนำส่งสำหรับยาที่ต้องการให้ดูดซึมในลำไส้เล็ก เนื่องจากสเฟียรูไลต์สามารถทนย่อยด้วยกรดและถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสได้