บทที่ 7

อภิปรายผลการทดลอง

7.1 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มโปรตีนให้กับมันสำปะหลัง

การทำลายจุลินทรีย์ปนเปื้อนและการเปลี่ยนสภาพของชิ้นมันโดยวิธีการต้มชิ้นมัน การเลือกวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แบบนี้ เนื่องจากราคาต้นทุนถูกที่สุดและพบว่าที่อุณหภูมิน้ำร้อน 80–100 °ซ สามารถทำลายจุลินทรีย์ปนเปื้อนได้ และไม่มีเชื้อราใด ๆ ขึ้นบนชิ้นมัน อาจเป็นเพราะว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมากเกินไปคือประมาณ 80% (wet basis) ซึ่งปริมาณความชื้นนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อรา สำหรับการหมักแบบอาหารแข็งจึงต้องทำการลดปริมาณความชื้นของชิ้นมันด้วยการอบแห้งในตู้อบแบบถาด การทดลองที่ใช้แบ่งลักษณะการอบแห้งเป็น 2 แบบ คือ ลมร้อนไหลขนานและลมร้อนไหลตั้งฉากกับชิ้นมันเพื่อที่จะหาเวลา, อุณหภูมิอบแห้ง และลักษณะการอบแห้ง ผลการทดลองปรากฏว่าที่อุณหภูมิเดียวกันแบบลมร้อนไหลขนานกับชิ้นมัน จะใช้เวลาลดปริมาณความชื้นนานกว่าแบบลมร้อนไหลตั้งฉากกับชิ้นมัน และที่ลักษณะการให้ลมร้อนเหมือนกัน ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการลดปริมาณความชื้น ได้น้อยกว่าที่ลมร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาการต้มชิ้นมันและการอบแห้งชิ้นมันนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิที่ใช้ต้มชิ้นมัน 90°ซ เวลาที่ใช้ต้ม 1 ชั่วโมง และการอบแห้งจะเลือกแบบการให้ลมร้อนไหลตั้งฉากกับชิ้นมันที่อุณหภูมิ 90°ซโดยใช้เวลาอบแห้ง 1 ชั่วโมง จากการเลือกสภาวะนี้จึงนำมาใช้ออกแบบถังต้ม และถังอบแห้งให้มีขนาดเท่ากัน และการเคลื่อนที่ของสายพานภายในถังเป็นแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.2 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพชุดแรก

7.2 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพชุดที่สอง

หลังจากสร้างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพชุดแรก และทำการทดลองเดินเครื่องพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับชิ้นมันสำปะหลังหล่นออกจากสายพานในช่องที่สายพานเคลื่อนที่ลงไปในถังต้มและถังอบแห้ง จึงทำการออกแบบการทำลายจุลินทรีย์ปนเปื้อนและการอบแห้งใหม่ โดยนำถังต้มและถังอบแห้งออกไปและเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่ของสายพานเป็นแนวระดับเช่นเดียวกับชั้นหมัก ดังนั้นการต้มชิ้นมันจึงเปลี่ยนแปลงเป็นการพ่นไอน้ำลงบนชิ้นมันแทน เนื่องจากพบว่าชิ้นมันจะสุกภายในเวลา 30

นาที ทั้งนี้เป็นเพราะความร้อนที่ได้จากไอน้ำสูงกว่าความร้อนที่ได้จากน้ำร้อนและพบว่าเมื่อทำการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของชิ้นมันลงเหลือประมาณ 50 - 55 % (wet basis) โดยใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 90° ซ ไหลตั้งฉากกับชิ้นมันใช้เวลาเพียง 30 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าในตู้อบแบบถาด เนื่องจากระยะทางลมร้อนไปยังชิ้นมันนั้นสั้นกว่าในตู้อบแบบถาด

โดยทั่วไประบบการหมักอาหารแข็งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 60-65%(wet basis) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับสภาวะความชื้นของชิ้นมัน โดยการสเปรย์สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราและสารอาหาร จากการคำนวณพบว่าจะต้องสเปรย์ของเหลวเพิ่ม 0.4 มล/กรัมมันแห้ง ที่มีปริมาณสปอร์ของเชื้อรา R.oligosporus ประมาณ $4.5x10^7$ สปอร์/มล จึงจะทำให้มีปริมาณสปอร์เริ่มต้นที่เหมาะสม สำหรับการเพิ่มโปรตีนมันสำปะหลังคือประมาณ$2.5x10^6$ สปอร์/ กรัมมันแห้ง

เมื่อทำการปรับสภาวะความชื้นเริ่มต้นแล้ว ชิ้นมันสำปะหลังก็จะผ่านเข้าสู่กระบวนการหมัก โดยเดินเครื่องให้สายพานพาเคลื่อนที่ไปจนเกือบถึงทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพพบว่าชิ้นมันสำปะหลังใช้เวลาเดินทางเพียง 6 ชั่วโมง ซึ่งในการทดลองนี้การหมักต้องใช้เวลา 30 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องทำการหยุดมอเตอร์เพื่อให้ชิ้นมันอยู่ในตู้หมัก 30 ชั่วโมงก่อนที่จะนำออกจากเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ วิธีการแก้ปัญหาในเรื่องนี้ทำได้โดยการนำเฟืองทดที่มีอัตราส่วน 1:5 มาต่อเข้ากับมอเตอร์ หลังจากต่อเฟืองทดแล้วปรากฏว่าสายพานไม่เคลื่อนที่จึงได้ทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนเป็นการเพิ่มสเตอร์รถจักรยานเข้าไปอีก 1 ชิ้น ผลการเพิ่มสเตอร์พบว่าสายพานเคลื่อนที่อยู่ในตู้หมักได้นาน 12 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มสเตอร์รถจักรยานขึ้นอีก 1 ชิ้นปรากฏว่าสายพานไม่เคลื่อนที่

การให้อากาศร้อนชื้น โดยใช้ขดลวดความร้อนจุ่มอยู่ในน้ำภายในถัง และต้องควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนไว้ที่ 50°ซ เนื่องจากเมื่อป้อนชิ้นมันเข้าไปในตู้หมักแล้วอุณหภูมิภายในตู้หมักจะได้ประมาณ 37° ซ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา R.oligosporus

7.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลังในกล่องหมัก

ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้สภาวะการทดลองหัวข้อ 6.1 สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้ประมาณ 10% ซึ่งน้อยกว่าผลการทดลองที่ได้จากการวิจัยในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้น

เนื่องจากการต้มมันสำปะหลัง อาจมีผลทำให้มีการสูญเสียสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา

7.4 ผลการเพิ่มปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ

ผลการทดลองพบว่าปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเป็น 11% ซึ่งใกล้เคียงกับผลงานวิจัยในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้น (ได้ปริมาณโปรตีน 12%) นับว่าผลการทดลองนั้นได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

การศึกษาแบบจำลองการเพิ่มปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลัง โดยได้เขียนโปรแกรมภาษาเบสิก เพื่อใช้สำหรับการออกแบบกำหนดระยะเวลาที่จะใช้ในการหมัก สามารถใช้แบบจำลองนี้ทำนายปริมาณของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นตามเวลาได้ ตามสมการข้างล่างนี้

$$P = P_C + \frac{M_C P_O}{P_O + (M_C - 1)\exp[-K_C M_C t]}$$

โดยที่ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น , $P_O = 0.1$ %

ปริมาณโปรตีนสูงสุดที่ได้จากจุลินทรีย์ , $M_C = 14.4$ %

และค่าคงที่ K_C ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างค่าคงที่ของอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ (k) และค่าสัดส่วนโปรตีนต่อจำนวนจุลินทรีย์ (C_r) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29

ในกรณีนี้เมื่อคำนวณโดยใช้สมการข้างบน จะเห็นว่าถ้าหมักเป็นเวลา 30 ชั่วโมง ก็จะได้โปรตีน (P) เท่ากับ 12 % ด้วย