บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการแยกแป้งจากเมล็ดข้าวโพด

5.1.1 ผลของ เวลาในการแยกแป้ง

พิจารณาจากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าในเวลา 24-120 ชั่วโมง ลักษณะของน้ำหลังแช่เป็นปกติไม่มีฟอง มีสีปกติ และไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า ซึ่งแสดงว่าเวลาไม่มีผลต่อการเน่าเสียของ เมล็ดข้าวโพดถ้ามีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในปริมาณที่เพียงพอ พบว่าที่ เวลา 24 ชั่วโมงหรือต่ำกว่า เมล็ดข้าวโพดยังอ่อนนุ่มไม่เต็มที่ ปริมาณความชื้นของ เมล็ดข้าวโพดหลังแช่มีค่าประมาณ 34% ซึ่งยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว เปอร์เซนต์ผลผลิตของแป้งมีค่าเพียง 46.8% ซึ่งแป้งบางส่วนจะติดไปกับส่วนเปลือก ทำให้ได้เปอร์เซนต์ผลผลิตของกากแป้งสูงถึง 26.6% เมื่อเพิ่มเวลาการแช่จนถึง 48 ชั่วโมง และเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึง 120 ชั่วโมง เมล็ดข้าวโพดจะอ่อนนุ่มขึ้นมาก พบว่าที่เวลา 48 ชั่วโมงความชื้นเมล็ดข้าวโพดหลังแช่ก็จะอิ่มตัว คือมีค่า 42.3% และเมื่อเวลาหลังจาก 48 ชั่วโมง ความชื้นเกือบจะไม่เพิ่มขึ้นเลย ดังนั้นเปอร์เซนต์ผลผลิตของแป้งและกากแป้งตั้งแต่ 48-120 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันมาก คืออยู่ในช่วง 57-59%

ผลของ เวลาที่มีต่อเปอร์เซนต์แป้งพบว่า ที่เวลาการแช่ 24 ชั่วโมงมีค่าเป็น 80.2% และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น คือที่เวลาการแช่ 48 ชั่วโมง มีค่าเป็น 86.5% และเมื่อเวลาเพิ่มต่อไปจนกระทั่งถึง 120 ชั่วโมง พบว่าเปอร์เซนต์แป้งเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับการแยกต้นอ่อนจากเมล็ดข้าวโพดพบว่า ที่เวลาตั้งแต่ 24-72 ชั่วโมง สามารถแยกต้นอ่อนจากเมล็ดข้าวโพดได้ดี ลักษณะต้นอ่อนที่ได้ไม่แตกหัก

ดังนั้นเลือกเวลาการแช่เมล็ดข้าวโพดที่ 48 ชั่วโมง ซึ่งทำให้เปอร์เซนต์ผลผลิตของแป้งมากที่สุด ทำให้การแยกต้นอ่อนได้ดี และมีเปอร์เซนต์แป้งมากที่สุด

5.1.2 ผลของอุณหภูมิในการแยกแป้ง

พิจารณาจากตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

นั้น ลักษณะของน้ำหลังแช่เกิดฟองขึ้นในระหว่างการแช่ มีสีเหลืองค่อนข้างคล้ำ และไม่มีกลิ่นหอมของข้าวโพด แต่ยังไม่มีกลิ่นเน่าเหม็นเกิดขึ้น แสดงว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นี้ ยังไม่สามารถหยุดยั้งจุลินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ในปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.3% นี้ ถ้าแช่เมล็ดข้าวโพดในปริมาณมาก ๆ และการหมุนเวียนของน้ำในระหว่างการแช่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้เกิดการหมักขึ้นได้ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสนี้ เมล็ดข้าวโพดหลังแช่ยังไม่อ่อนนุ่มเต็มที่ มีค่าปริมาณความชื้นประมาณ 38%, เปอร์เซนต์ผลผลิตของแป้งมีค่า 50.6% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแช่ขึ้นไปอีกจาก 40-60 องศาเซลเซียส พบว่าลักษณะของน้ำหลังแช่เป็นปกติ ไม่มีฟอง สีเหลืองปกติ และมีกลิ่นหอมของข้าวโพด เมล็ดข้าวโพดหลังแช่ที่ 40 องศาเซลเซียส จะอ่อนนุ่มขึ้นกว่าที่ 30 องศาเซลเซียสเล็กน้อย และจะอ่อนนุ่มมากยิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดจะอิ่มตัวที่ 50 องศาเซลเซียส คือมีค่าประมาณ 42%, เปอร์เซนต์ผลผลิตของแป้งมีค่ามากที่สุดที่ 50 องศาเซลเซียส คือ 58.8% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อไป ค่าเปอร์เซนต์ผลผลิตแป้งจะมีค่าเกือบคงที่โดยไม่เพิ่มขึ้นอีก

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเปอร์เซนต์แป้ง พบว่าเปอร์เซนต์แป้งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของการแช่ คือที่ 30 องศาเซลเซียส มีค่า 80.6%, ที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่า 82.4% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 50 องศาเซลเซียส และมากกว่า พบว่าเปอร์เซนต์แป้งจะมีค่าเกือบคงที่แล้วคืออยู่ในช่วง 86-88%

ในการแยกต้นอ่อนจากเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าที่ 30-40 องศาเซลเซียส การแยกต้นอ่อนยังไม่ค่อยดี ส่วนแป้งและส่วนต้นอ่อนยังติดกันอยู่เป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึง 50-60 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถแยกต้นอ่อนได้ดีพอ ๆ กัน ลักษณะต้นอ่อนที่ได้แข็งและไม่แตกหัก

ดังนั้นจะเลือกอุณหภูมิในการแช่เมล็ดข้าวโพดที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เปอร์เซนต์ผลผลิตแป้งมากที่สุด การแยกต้นอ่อนได้ดี และให้เปอร์เซนต์แป้งมากที่สุด

5.1.3 ผลของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการแยกแป้ง

พิจารณาจากตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นว่าการแช่เมล็ดข้าวโพดโดยไม่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เลย ถึงแม้อุณหภูมิในการแช่จะสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ก็ทำให้เกิดการเน่าเสียของเมล็ดข้าวโพด ดังนั้นลักษณะของน้ำหลังแช่จึงขุ่น และมีฟองมาก มีสีเหลืองคล้ำ และกลิ่น

เหม็นเน่า เมล็ดข้าวโพดเน่าเสียจนเละ เมื่อเพิ่มปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขึ้นจาก 0.1-0.4% น้ำหนัก/ปริมาตร พบว่าที่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.1% มีลักษณะน้ำแช่ขุ่น มีฟอง และมีสีเหลืองค่อนข้างคล้ำ แต่เมล็ดข้าวโพดยังไม่เกิดการเน่าเสีย ซึ่งแสดงว่าที่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.1% ยังยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ไม่สมบูรณ์ ถ้ามีการปนเปื้อนจากภายนอกเข้าไปจะทำให้เกิดการเน่าเสียในระหว่างการแช่ได้ เมื่อเพิ่มปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จนถึง 0.2% พบว่าสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้สมบูรณ์ ลักษณะของน้ำหลังแช่เป็นปกติ ไม่มีฟอง พบว่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพดหลังแช่ที่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตั้งแต่ 0.1-0.4% มีค่าประมาณ 42% ซึ่งทำให้ความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าวโพดหลังแช่ไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก เปอร์เซนต์ผลผลิตของแป้งที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตั้งแต่ 0.1-0.4% อยู่ในช่วง 57-59%

ผลของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อเปอร์เซนต์แป้ง พบว่าที่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.1% มีเปอร์เซนต์แป้ง 81.2% เมื่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เปอร์เซนต์แป้งจะเพิ่มขึ้นด้วย คือที่ 0.2% มีค่าเป็น 86.83% เนื่องจากเมื่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะช่วยกระจายโปรตีนออกจากเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น (15) เมื่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่า 0.2% เปอร์เซนต์แป้งจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การแยกต้นอ่อนจากเมล็ดข้าวโพด พบว่าตั้งแต่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก 0.1-0.4% สามารถแยกต้นอ่อนจากเมล็ดข้าวโพดได้ดี ต้นอ่อนที่ได้มีลักษณะแข็ง และไม่แตกหัก

ดังนั้นจะเลือกปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.2% น้ำหนัก/ปริมาตร ในการแช่เมล็ดข้าวโพด ซึ่งจะให้เปอร์เซนต์ผลผลิตแป้งมากที่สุด การแยกต้นอ่อนได้ดี และให้เปอร์เซนต์แป้งมากที่สุด

5.2 เปอร์เซนต์ผลผลิต, ปริมาณ และคุณภาพของแป้งข้าวโพด

พิจารณาจากตารางที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นว่าได้เปอร์เซนต์ผลผลิตของแป้งข้าวโพดที่มีสีขาว 49.8%, แป้งสีเหลือง 11.2%, ต้นอ่อน 10.5% และกากที่เหลือ 18.4% จากการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของแป้งทั้งสองชนิดเปรียบเทียบกับแป้งที่มีจำหน่ายทั่วไป พบว่าเปอร์เซนต์แป้งสำหรับแป้งสีขาวและแป้งที่มีจำหน่ายมีค่า 97.7% และ 98.0% ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดจาก Corn Industries Research Foundation (ในภาคผนวก ก) คือ 99.0% ส่วนแป้งสีเหลืองจะมีเปอร์เซนต์แป้งอยู่ 82.1% เนื่องจากมีสิ่งเจือปนอยู่มากกว่าแป้งสีขาว สำหรับคุณภาพของแป้ง พบว่า

แป้งสีขาว และแป้งที่มีจำหน่าย มีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด(ภาคผนวกที่ ก) คือ ปริมาณโปรตีน 0.38% และ 0.37%, ไขมัน 0.64% และ 0.70%, เถ้า 0.13% และ 0.15%, เส้นใย 0.12% และ 0.08%, ความชื้น 11.6% และ 12.1%, ความเป็นกรด-ด่าง 5.2 และ 5.4 ส่วนแป้งสีเหลืองคุณภาพต่าง ๆ มีค่าต่ำกว่ากำหนด คือ ปริมาณโปรตีน 11.9%, ไขมัน 1.48%, เถ้า 1.07%, เส้นใย 0.65%, ความเป็นกรด-ด่าง 4.5 จะเห็นว่าในแป้งสีเหลืองนี้มีปริมาณแป้งอยู่ถึง 82.1% แต่ยังมีสีเหลือง เนื่องจากมีสิ่งเจือปนอย่างอื่นอยู่ โดยเฉพาะโปรตีน 11.9%(19) ซึ่งไม่สามารถแยกออกได้หมดจนมีปริมาณอยู่ในค่ากำหนดได้ในห้องทดลอง แป้งสีเหลืองอาจจะนำไปใช้ประโยชน์ได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความบริสุทธิ์ของแป้งมากนัก และไม่คำนึงถึงสีของแป้ง แต่ไม่เหมาะกับการนำไปทำเป็นน้ำตาลเหลว เพราะมีปริมาณโปรตีน และไขมันอยู่มาก

จากภาคผนวก ข ในการคิดต้นทุนการผลิตแป้งข้าวโพดโดยใช้สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่า ต้นทุนแป้งข้าวโพดคือ 7.25 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งแป้งข้าวโพดที่สั่งมาจากต่างประเทศราคากิโลกรัมละ 35 บาท ซึ่งราคาที่ผลิตขึ้นเองถูกกว่าราคาที่สั่งซื้อถึง 79.3%

5.3 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการย่อยสารละลายแป้งข้าวโพดให้เป็นน้ำตาลเหลวโดยวิธีการใช้กรด

5.3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายแป้งข้าวโพดเทียบกับเวลา

พิจารณาจากตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าสมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นตามลำดับการเพิ่มของความเข้มข้นของสารละลายแป้ง และเวลาในการย่อย โดยเฉพาะเวลาในช่วง 10-100 นาที ค่าสมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาการย่อยมากกว่า 100 นาที สมมูลย์เดกโตรสจะมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นที่สารละลายของแป้ง 20%, 30%และ 40% ที่เวลาในการย่อย 10 นาที ได้ค่าสมมูลย์เดกโตรส 3.35, 8.01 และ 12.13 เมื่อเวลาการย่อยถึง 100 นาที สมมูลย์เดกโตรสเพิ่มเป็น 42.01, 53.80 และ 57.58 ตามลำดับ ถ้าปล่อยให้การย่อยดำเนินถึง 120 นาที ค่าจะเริ่มคงที่ คือ เป็น 44.51, 55.29 และ 58.33 ซึ่งถือว่าเป็นค่าสมมูลย์เดกโตรสมากที่สุดของแต่ละสารละลายแป้งนั้น ดังนั้นถ้าต้องการผลิตน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดให้มีค่าสมมูลย์เดกโตรสอยู่ในช่วง 50-55 ควรจะเลือกสารละลายแป้ง 30% เนื่องจากให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสในช่วง 53-55 ที่เวลาในการย่อย 100-120 นาที ที่ 40% นั้นให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสมากสุดใกล้เคียงกับที่ 30% คือ 57-58 ส่วนที่ 20% ให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสมากที่สุดในช่วง 42-44 เท่านั้น

5.3.2 ผลของปริมาณกรดเกลือเข้มข้นและเวลาในการย่อยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

พิจารณารูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าสมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดและเวลาที่ใช้ย่อยเพิ่มขึ้น แต่พบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นมาก ๆ ค่าสมมูลย์เดกโตรสจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยมากจนเกือบคงที่ พบว่าที่ปริมาณกรดเกลือเข้มข้น 0.75-1.0% สมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ อย่างช้า ๆ โดยไม่มีค่าสูงสุดเนื่องจากปริมาณกรดเกลือเข้มข้นยังน้อยเกินไป เมื่อเพิ่มกรดเกลือเข้มข้นเป็น 2.5%, 3.5% และ 4.0% สมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 10-100 นาที และจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการย่อยเพิ่มมากกว่า 100 นาที พบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มจาก 3.5-4.0% ค่าสมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นน้อยมากในทุก ๆ ช่วงเวลา ซึ่งถือว่าปริมาณกรดที่มากกว่า 3.5% นี้เป็นปริมาณที่มากเกินพอ

สำหรับการผลิตน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดโดยใช้กรดให้ได้ค่าสมมูลย์เดกโตรสในช่วง 50-55 จะเห็นว่า ควรเลือกใช้กรดเกลือเข้มข้นในปริมาณ 2.5% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการย่อย 100 นาที

5.3.3 <u>ผลของปริมาณกรดเกลือเข้มข้นและเวลาที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว</u>

ในการผลิตน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดให้ได้ค่าสมมูลย์เดกโตรส 50-55 ที่ 100 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลานานถึง 100 นาที และใช้ปริมาณกรดเกลือเข้มข้น 2.5% ซึ่งต้องใช้ปริมาณโซเดี่ยมคาร์บอเนตมากในการทำให้เป็นกลาง ดังนั้นจึงลดปริมาณกรดและเวลา แล้วเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยจาก 100 เป็น 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าสมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นถึงช่วง 50-55 โดยที่ใช้ปริมาณกรดและระยะเวลาที่น้อยกว่ามาก จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดเกลือเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิและความดันนี้คือ 0.25% เพราะเมื่อใช้กรดเกลือเข้มข้นในปริมาณที่ต่ำกว่านี้ เช่นที่ 0.20% จะไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการย่อยเป็นสารละลายเหลวได้ สารละลายแป้งที่ถูกย่อยจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไม่สามารถหาค่าสมมูลย์เดกโตรสได้ถูกต้อง ที่ปริมาณกรดเกลือเข้มข้น 0.25 และ 0.5% อัตราการเพิ่มของสมมูลย์เดกโตรสเป็นไปอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการย่อย 40 นาที เป็นต้นไป เมื่อปริมาณกรดเกลือเพิ่มขึ้นเป็น 1.0-2.5% พบว่าค่าสมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากในช่วงเวลา 10-40 นาที และจะเริ่มคงที่เมื่อเพิ่มเวลาการย่อยต่อไป เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจาก 2.0 เป็น 2.5% อัตราการย่อยแป้งเพิ่มขึ้นอย่างช้ามากในทุก ๆ ช่วงเวลา ดังนั้นปริมาณกรด 2% นี้เป็นปริมาณที่มากเกินพอสำหรับการย่อย ถึงแม้จะมีปริมาณมากกว่านี้ ก็จะไม่ทำให้ค่า

สมมูลย์เดกโตรสเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณที่มากเกินพอนี้แต่อย่างใด

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า ในการผลิตน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดให้มีค่าสมมูลย์เดกโตรสอยู่ในช่วง 50-55 นั้น ปริมาณกรดเกลือเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม คือ 1.5% ปริมาตร/น้ำหนักแป้งแห้ง และ 35 นาที โดยที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายแป้งข้าวโพด 30% น้ำหนักแป้งแห้ง/ปริมาตร อุณหภูมิและความดัน 121 องศาเซลเซียส และ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งจะได้ค่าสมมูลย์เดกโตรสเป็น 52.83

5.4 <u>ผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการย่อยสารละลายแป้งข้าวโพดให้เป็นน้ำตาลเหลวโดยวิธีการใช้กรดกับเอ็นไซม์</u>

5.4.1 <u>ผลของปริมาณกรดเกลือเข้มข้นที่ใช้ในช่วงการย่อยแป้งด้วยกรดและติดตามการย่อยด้วยเอ็นไซม์</u>

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า เมื่อใช้กรดเกลือเข้มข้นย่อยสารละลายแป้งในขั้นตอนการย่อยแป้งด้วยกรดในปริมาณที่ต่าง ๆ กันคือ 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเวลาในการย่อย 35 นาที จะได้ค่าสมมูลย์เดกโตรสเป็น 9.0, 20.0, 38.0 และ 52.0 จากนั้นเมื่อทำการย่อยต่อไปด้วยเอ็นไซม์ พบว่าค่าสมมูลย์เดกโตรสจะลดลงเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น เช่นเมื่อใช้เอ็นไซม์กลูโคอมิเลสในปริมาณ 0.15 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง ค่าสมมูลย์เดกโตรสจะลดลงจาก 91.96 ถึง 83.21 เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.25 เป็น 1.5% ในทำนองเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณเอ็นไซม์ขึ้นเป็น 0.175 และ 0.20 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง ค่าสมมูลย์เดกโตรสจะลดลงเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อใช้เอ็นไซม์ในปริมาณเพิ่มขึ้น อัตราการย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย คือเมื่อเพิ่มจาก 0.15 เป็น 0.175 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง สมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงของปริมาณกรด แต่เมื่อเพิ่มเอ็นไซม์จนถึง 0.20 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง แล้ว จะพบว่าสมมูลย์เดกโตรสไม่เพิ่มขึ้น แต่มีค่าน้อยลงเล็กน้อย จนเกือบใกล้เคียงกับเมื่อใช้เอ็นไซม์ 0.175 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง เนื่องจากคุณสมบัติของเอ็นไซม์นั้น เมื่อใช้ในปริมาณที่มากเกินพอโดยที่ปล่อยให้การย่อยดำเนินไปเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดปฏิกริยาผันกลับขึ้นได้ โดยการรวมตัวของกลูโคส เป็นมอลโตส หรือไอโซมอลโตส ทำให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม หรืออาจจะลดลงเล็กน้อย (29)

ดังนั้นปริมาณกรดเกลือเข้มข้นที่ควรจะใช้ในช่วงการย่อยแป้งด้วยกรด ควรจะเลือกที่ 0.25% ปริมาตร/น้ำหนักแป้งแห้ง เพราะจะให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสมากที่สุด เมื่อทำการย่อยต่อไปด้วยเอ็นไซม์

5.4.2 ผลของปริมาณเอ็นไซม์กลูโคอมิเลสและเวลา

พิจารณาจากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า อัตราการย่อยเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอ็นไซม์และเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาการย่อย 30 ชั่วโมงแรก สมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนเกือบคงที่เมื่อเวลาในการย่อยเพิ่มจาก 30 เป็น 48 ชั่วโมง เช่นที่ปริมาณเอ็นไซม์ 0.075 และ 0.10 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง ค่าสมมูลย์เดกโตรสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 30 ชั่วโมง และคงที่เมื่อเวลานานมากขึ้น ซึ่งค่าสมมูลย์เดกโตรสอยู่ในช่วง 84-88, เมื่อเพิ่มปริมาณเอ็นไซม์เป็น 0.125, 0.15, 0.175, 0.20 และ 0.225 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง อัตราการย่อยจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเอ็นไซม์และเวลาในการย่อย จนกระทั่ง เริ่มคงที่ ตั้งแต่เวลาในการย่อย 30 ชั่วโมงเป็นต้นไป และค่าสมมูลย์เดกโตรสจะคงที่อยู่ในช่วง 92-96 ที่ปริมาณเอ็นไซม์ 0.225 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง เมื่อปล่อยให้เวลาในการย่อยมากกว่า 30 ชั่วโมงแล้ว สมมูลย์เดกโตรสจะลดลง เมื่อจากใช้ปริมาณเอ็นไซม์ที่สูงมาก และปล่อยให้เวลาในการย่อยมากกว่าเวลาที่ให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสสูงสุด คือ 96.55 ที่ 30 ชั่วโมงแล้ว ปฏิกริยาผันกลับจะเป็นสาเหตุให้สมมูลย์เดกโตรสลดลงอย่างช้า ๆ (29)

ในการผลิตน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดโดยใช้กรดกับเอ็นไซม์ให้ได้ค่าสมมูลย์เดกโตรสอยู่ในช่วง 90-95 จากการทดลองจะเลือกปริมาณเอ็นไซม์กลูโคอมิเลส 0.125 มิลลิลิตร/100 กรัมแป้งแห้ง และเวลาในการย่อย 30 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นปริมาณเอ็นไซม์และเวลาที่ทำให้สมมูลย์เดกโตรสมีค่าเป็น 93.83 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ต้องการผลิต เมื่อเพิ่มปริมาณเอ็นไซม์และเวลาให้มากกว่านี้จะเห็นว่าสมมูลย์เดกโตรสจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองเอ็นไซม์, เวลา และพลังงานในการผลิตโดยเปล่าประโยชน์

5.4.3 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการทำงานของเอ็นไซม์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าการทำงานของเอ็นไซม์จะขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เอ็นไซม์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เร่งปฏิกริยา

(Inactive form) โดยที่ถือว่ารูปที่เร่งปฏิกริยาของ เอ็นไซม์ต้อง เป็น $NH_3^+ - E - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O^-$ (Active form) เมื่อความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนแปลงไปจากที่เหมาะสม เช่น น้อยกว่าค่าที่เหมาะสม เอ็นไซม์จะเปลี่ยนรูปเป็น $NH_3^+ - E - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - OH$ หรือ ถ้ามากกว่าค่าที่เหมาะสม จะเปลี่ยนรูปเป็น $NH_2 - E - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O^-$ ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เร่งปฏิกริยา ทำให้อัตราการทำงานของ เอ็นไซม์ลดลง (34) จากการทดลองใช้ เอ็นไซม์กลูโคอมิเลสนี้พบว่า ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4.0 และ 4.5 ซึ่งทำให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสสูงสุดคือ 93.28 และ 93.87

ดังนั้นความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการย่อยสารละลายแป้งข้าว โพดด้วย เอ็นไซม์กลูโคอมิเลสคือ 4.0

5.4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของ เอ็นไซม์

พิจารณาจากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของ เอ็นไซม์ ที่ความร้อนสูง ๆ มากเกินกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้น จะทำให้เอ็นไซม์สูญเสียคุณสมบัติของการ เป็นตัว เร่งได้ โดยที่จะทำให้โปรตีนของ เอ็นไซม์เริ่มเสียสภาพไป ทำให้โครงสร้าง เอ็นไซม์เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปที่ไม่เร่งปฏิกริยา ดังนั้นอัตราการทำงานของ เอ็นไซม์จึงลดลง(34) จากการทดลองใช้ เอ็นไซม์กลูโคอมิเลสย่อยสารละลายแป้งข้าวโพดตั้งแต่อุณหภูมิ 40-65 องศา เซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 60 องศา เซลเซียส ซึ่งให้ค่าสมมูลย์เดกโตรสสูงที่สุดคือ 93.31

5.5 การทำให้น้ำตาลเหลวจากข้าวโพดบริสุทธิ์ด้วยผงถ่าน

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่าปริมาณผงถ่านที่ใช้ทำให้น้ำตาลเหลวจากข้าวโพดบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง และเวลา 20 นาที นั้น น้ำตาลเหลวจากข้าวโพดจากวิธีการใช้กรด ซึ่งจะมีสีเหลืองเข้มกว่า จะใช้ปริมาณผงถ่าน 2.0% น้ำหนัก/น้ำหนัก ที่จะทำให้ค่าสภาพการดูดกลืนแสง เริ่มคงที่ สำหรับน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดจากวิธีการใช้กรดกับ เอ็นไซม์ จะมีสีอ่อนกว่า ปริมาณผงถ่าน 1.0% น้ำหนัก/น้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าสภาพการดูดกลืนแสงคงที่

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นว่าที่เวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำตาลเหลวบริสุทธิ์ สำหรับน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดทั้งสองวิธีใช้เวลาเท่ากันคือ 10 นาที เท่านั้น ก็ทำให้ค่าสภาพการดูดกลืนแสงไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มเวลาต่อไป

ดังนั้นปริมาณผงถ่านที่เหมาะสมที่ใช้กับน้ำตาลเหลวจากข้าวโพด จากวิธีการใช้กรดและวิธีการใช้กรดกับเอ็นไซม์ คือ 2.0% และ 1.0% น้ำหนัก/น้ำหนัก เวลาในการทำให้บริสุทธิ์ที่เหมาะสมคือ 10 นาที สำหรับน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดทั้ง 2 วิธี

5.6 เปอร์เซนต์ผลผลิต, ปริมาณ และคุณภาพของน้ำตาลเหลวจากข้าวโพด

จากตารางที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซนต์ผลผลิตของน้ำตาลเหลวจากข้าวโพด โดยวิธีการย่อยด้วยกรดมีค่า 85.6% เมื่อเทียบกับแป้งแห้ง และ 42.6% เมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวโพดแห้ง โดยวิธีการย่อยด้วยกรดกับเอ็นไซม์มีค่า 79.8% เมื่อเทียบกับแป้งแห้ง และ 39.7% เมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวโพดแห้ง จากตารางที่ 4.19 และ 4.20 ปริมาณและคุณภาพของน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดทั้ง 2 วิธี พบว่าปริมาณกลูโคสในรูปของสมมูลย์เดกโตรสมีค่า 52.83 สำหรับน้ำตาลเหลวที่ได้จากการย่อยด้วยกรด และ 93.84 สำหรับน้ำตาลเหลวที่ได้จากการย่อยด้วยกรดกับเอ็นไซม์ สำหรับคุณภาพด้านต่าง ๆ ของน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดทั้ง 2 วิธี พบว่าน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดโดยใช้กรดย่อยมีลักษณะข้น, สีขาวใส และมีรสหวาน ปริมาณของแข็งทั้งหมด 72.5%, ความเป็นกรด-ด่าง 5.0, เถ้าซัลเฟต 0.4%, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 15.19%, อาร์เซนิค 0.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, ทองแดง 1.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ ตะกั่ว 0.32 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

น้ำตาลเหลวจากข้าวโพดที่ได้จากการย่อยด้วยกรดกับเอ็นไซม์มีลักษณะ ข้น, สีขาวใส และมีรสหวานมากกว่า, ปริมาณของแข็งทั้งหมด 71.4%, ความเป็นกรด-ด่าง 5.0, เถ้าซัลเฟต 0.09, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 14.24%, อาร์เซนิค 0.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, ทองแดง 1.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตะกั่ว 0.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

คุณภาพด้านต่าง ๆ ของน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดทั้ง 2 วิธี มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งเป็นค่ากำหนดที่เหมาะสมสำหรับการนำน้ำตาลเหลวไปใช้ประโยชน์ในด้านอาหาร

จากภาคผนวก ช ในการคิดต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากข้าวโพดทั้ง 2 วิธี โดยใช้สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่า น้ำตาลเหลวจากข้าวโพดจากวิธีการใช้กรดต้นทุน 12.47 บาทต่อกิโลกรัม น้ำตาลเหลวจากข้าวโพด จากวิธีการใช้กรดกับเอ็นไซม์ ต้นทุน 12.79 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งน้ำตาลเหลวจากข้าวโพดที่ผลิตในต่างประเทศ เมื่อสั่งเข้ามาจำหน่ายในประเทศเรา

จะมีราคาแพง คือกิโลกรัมละ 100-150 บาท ซึ่งจะเห็นว่า ถ้าผลิตขึ้นในประเทศเราจะมีราคาถูกกว่าถึง 87.5 ถึง 89.5%