5. วิจารณ์ผลและสรุปผล (Discussion and Summary)

5.1 สรุปและอภิปรายผล

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพของซังข้าวโพด

จากการศึกษาพบว่ามีลักษณะสีของซังข้าวโพดเป็นสีน้ำตาลอ่อน เป็นผงละเอียด เนื่องจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงทำให้สีของ ซังข้าวโพดเกิดการเปลี่ยนแปลง จากนั้นซังข้าวโพดมาบดโดยใช้เครื่องบดสมุนไพร นำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมซ ทำให้ได้ผงซังข้าวโพดที่ละเอียดและมีขนาดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ซ่าย และคณะ (T.W.Tsai *et al*. 1998 : 211-217)

5.1.2 การย่อยซังข้าวโพดให่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์โดยเชื้อรา *Trichoderma .reesei*

จากการหมักเพื่อย่อยซังข้าวโพดโดยเชื้อรา *T. reesei* นั้นพบว่าเชื้อดังกล่าวสามารถย่อยซังข้าวโพดเพื่อสร้างน้ำตาลรีดิวซ์ได้สูงสุดจากการใช้ปริมาณความเข้มข้นของซังข้าวโพดเริ่มต้นที่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 4.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และให้กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุด 4.67 หน่วย ซึ่งสภาวะดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการหมักเพื่อผลิตเอทานอลต่อไป เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ ปรามินเดอร์ และคณะ (Parminder, P *et al*. 1998 : 267-269) ที่ใช้เชื้อดังกล่าวและวัสดุใกล้เคียงกันในการศึกษาแต่มีการเตรียมซังข้าวโพดโดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการหมักสามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 268.5 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ ซังข้าวโพดที่ไม่ได้กำจัด เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกก่อนด้วยเหตุผลดังกล่าวอาจมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ นอกจากนั้นการศึกษาในครั้งนี้ต้องการที่จะทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์เซลลูเลสที่สร้างโดยเชื้อรา *T. reesei* ว่าสามารถย่อยซังข้าวโพดที่ไม่ได้กำจัด เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกได้มากน้อยเพียงใด และเนื่องจากการใช้ความเข้มข้นของซังข้าวโพดที่สูงกว่านี้จะทำให้สารละลายสำหรับหมักเกิดความหนืดสูง ทำให้น้ำจะจับกับโมเลกุลของอาหารที่เรียกว่า “bound water” ซึ่งจะส่งผลต่อกิจกรรมทางชีวิทยาต่างๆ ส่งผลให้เชื้อราไม่สามารถใช้และย่อยซังข้าวโพดได้หมดโดยพบว่าเชื้อราจะย่อยซังข้าวโพดและเจริญได้เฉพาะบริเวณผิวหน้าของซังข้าวโพดเท่านั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการหมัก (วราวุฒิ ครูส่ง. 2538 : 55)

5.1.3 การตรึงเซลล์แบคทีเรีย *Zymomonas mobilis*

5.1.3.1 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนท

จากการศึกษาลักษณะการคงตัวของเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนท ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมอัลจิเนท 3.5 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่จะใช้ความเข้มข้นของอัลจิเนท 0.5-10 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 0.05-2 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 0-80 องศาเซลเซียส ขนาดของเม็ดเจลเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1-5.0 มิลลิเมตร และปริมาณเซลล์สูงสุดที่ใช้ได้ถึง 30 กรัมต่อมิลลิลิตร (สมใจ ศิริโภค. 2547 : 229) ได้เม็ดเจลที่มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5-5.0 มิลลิเมตร ลักษณะผิวนอกของเม็ดเจลเรียบและคงรูป ส่วนภายในของเม็ดเจลมีลักษณะนุ่ม เนื่องจากแคลเซียมอัลจิเนทหลังจากทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะ Ca^{2+} ทำให้มีโครงสร้างทางเคมีที่มีลักษณะของเจล คล้ายกล่องไข่ โดยมีแคลเซียมไอออนเกาะอยู่กับสาย พอลิเมอร์ จึงทำให้เม็ดเจลคงรูปอยู่ (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545)

5.1.3.2 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* ภายในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนท โดยสังเกตจากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ก่อนการหมัก

จากการศึกษาลักษณะของเซลล์แบคทีเรีย *Z. mobilis* ภายในเม็ดเจลภายใต้กล้องจุลทรรศน์ก่อนการหมัก พบว่าเซลล์จะมีการกระจายตัวอยู่ในเม็ดเจลน้อยกว่าหลังจากเสร็จสิ้นการหมัก เนื่องจากการตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจิเนทเป็นวิธีดักจับในสภาวะที่ไม่รุนแรงทำให้เซลล์สามารถอยู่รอดและเจริญได้ภายในเม็ดเจลโดยที่เซลล์จุลินทรีย์ดังกล่าวจะใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตขึ้นนั้นมาใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ และเซลล์จุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์ให้เป็นเอทานอลออกมาละลายอยู่ในน้ำหมัก โดยที่แคลเซียมอัลจิเนทป้องกันไม่ให้เอทานอลไปทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้เซลล์ที่อยู่ภายในเม็ดเจลแคลเซียมอัลจิเนท สามารถเจริญเติบโตได้ (สมใจ ศิริโภค. 2547 : 224) และเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ คานนัน ที อาร์ และคณะ (Kannan, T.R *et al.* 1998 : 179-184) ซึ่งศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลซูโครสโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* ที่ตรึงโดยใช้อัลจิเนท (alginate) โดยที่มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่หลังจากเสร็จสิ้นการหมักพบว่าความเข้มข้นของเซลล์เพิ่มเป็น 28.5 มิลลิกรัมต่อกรัม

5.1.4 การผลิตเอทานอลโดยใช้เซลล์ตรึงของเชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* จากสารละลายที่ได้จากการย่อยซังข้าวโพดโดยเชื้อรา *T. reesei*

กระบวนการหมักเอทานอลได้เริ่มหลังจากการกระบวนการย่อยซังข้าวโพดที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เชื้อรา *T. reesei* พบว่าสามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุด 2.33

เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ ลินดา ดาวิส และคณะ (Linda Davis *et al*. 2005 : 49-59) ซึ่งมีการเตรียมตัวอย่างก่อนโดยใช้กรดซัลฟูริก สามารถผลิต เอทานอลได้ 11 กรัมต่อลิตร ในเวลา 70 ชั่วโมง ซึ่งโดยทฤษฎีแล้วน้ำตาลกลูโคสจะเปลี่ยนไปเป็นเอทานอลในอัตราส่วน 1:2 แต่ในการศึกษาในครั้งนี้น้ำตาลที่ผลิตได้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งมีผลทำให้เชื้อแบคทีเรีย *Z. mobilis* ผลิตเอทานอลได้น้อยกว่าทฤษฎี (วราวุฒิ ครูส่ง. 2538 : 148)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ซังข้าวโพดนับเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิต เอทานอลทั้งนี้เพราะในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีซังข้าวโพดเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก และมีการนำมาใช้ประโยชน์ไม่มากนัก

ในการศึกษาเบื้องต้นนี้ พบว่าซังข้าวโพดสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอล แม้ว่าในการศึกษาครั้งนี้ผลผลิตของเอทานอลที่ได้อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ แต่มีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น โดยควรมีการกำจัดเฮมิเซลลูโลส และลิกนินออกจากซังข้าวโพดก่อน หรือทำการย่อยเฮมิเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลด้วย เพื่อจะปรับปรุงประสิทธิภาพของการศึกษาครั้งนี้ด้วย