บทที่ 5
สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

สรุปผล

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง พบปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ ไฟเบอร์ เท่ากับ 8.31, 3.36, 5.01, 5.31, 77.00 และ 1.01 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำเปลือกทุเรียนมาสกัดโพลีแซคคาไรด์ พบว่าเปลือกทุเรียนปริมาณ 100 กรัม สามารถสกัดได้โพลีแซคคาไรด์ได้ 3 กรัม โดยลักษณะของโพลีแซคคาไรด์ที่ได้เป็นของแข็งสีน้ำตาล และสามารถพองตัวเป็นของเหลวได้ในน้ำ นำมาผลิตเซลล์ตรึงโดยผสมโซเดียมอัลจิเนต พบว่าเซลล์ตรึงที่ผลิตได้จากโพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียนผสมโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน เท่ากับ 40 : 60 ได้เม็ดเจลที่แข็งแรงสามารถนำไปเป็นวัสดุตรึงสำหรับการหมักไวน์กระเจี๊ยบได้ เมื่อนำไปผลิตไวน์กระเจี๊ยบโดยเปรียบเทียบกับเซลล์อิสระ หมักเป็นเวลา 12 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงมีการลดลงมากกว่าการใช้เซลล์อิสระ ค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการหมัก และปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ปริมาณแอลกอฮอล์สุดท้ายของการหมักไวน์กระเจี๊ยบที่ใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ เท่ากับ 9.20 และ 6.00 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ตามลำดับ สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไวน์ (มอก.ไวน์ 2089 – 2544) ที่ระบุว่าไวน์ผลไม้ที่ผลิตจากผลไม้หรือน้ำผลไม้ เมื่อนำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตไวน์จะต้องมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์ตรึงโดยการหมักซ้ำ พบว่าเซลล์ตรึงสามารถนำกลับมาใช้ได้มากกว่า 6 ครั้ง ในการการหมักไวน์ซ้ำ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก โดยการหมักซ้ำครั้งที่ 1 – 6 มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดของแต่ละซ้ำ เท่ากับ 7.48, 7.15, 7.10, 7.07, 6.43 และ 6.25 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ตามลำดับ สอดคล้องกับการตรวจสอบปริมาณเซลล์ พบว่า ก่อนการหมักปริมาณเซลล์เท่ากับ 12.3×10^6 CFU/ml หลังการหมักมีการหลุดออกของเซลล์ในเม็ดเจลลดลงเหลือเท่ากับ 0.20×10^6 CFU/ml จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการหมักจะลดลงเมื่อทำการหมักซ้ำเพิ่มขึ้น

อภิปรายผล

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง พบปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ ไฟเบอร์ เท่ากับ 8.31, 3.36, 5.01, 5.31, 77.00 และ 1.01 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยพบว่าคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณมากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unhasirikul และคณะ (2013) ที่ศึกษาการผลิตน้ำตาลจากเปลือกทุเรียน (*Durio zibethinus Murray*) โดย

วิธีการไฮโดรไลซีสด้วยกรด พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด เท่ากับ 57.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเปลือกทุเรียนมาสกัดโพลีแซคคาไรด์ พบว่าเปลือกทุเรียนปริมาณ 100 กรัม สามารถสกัดได้โพลีแซคคาไรด์ได้ 3 กรัม โดยลักษณะของโพลีแซคคาไรด์ที่ได้เป็นของแข็งสีน้ำตาล และสามารถพองตัวเป็นของเหลวได้ในน้ำ ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Pongsamart และ Panmaung (1998) ที่ศึกษาการแยกสารโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน (*Durio zibethinus L.*) พบว่าส่วนสกัดหยาบมีสีน้ำตาลอ่อน และส่วนสกัดบริสุทธิ์มีสีขาวนวล สามารถพองตัวได้เป็นของเหลวข้นหนืดในน้ำ เมื่อนำโพลีแซคคาไรด์มาผลิตเซลล์ตรึง จึงไม่เกิดเป็นเม็ดเจล ไม่สามารถรวมตัวเป็นเม็ดเจลได้ สุนันท์ พงษ์สามารถและคณะ (2542) ได้กล่าวว่าโพลีแซคคาไรด์มีคุณสมบัติในการพองตัวและละลายน้ำ เปรียบเทียบกับเซลล์ตรึงที่ผลิตได้จากโพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียนผสมโซเดียมอัลจิเนต พบว่าเซลล์ตรึงที่ผลิตได้จากโพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียนผสมโซเดียมอัลจิเนต ต้องใช้อัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต เท่ากับ 40 : 60 ได้เม็ดเจลที่แข็งแรงสามารถนำไปเป็นวัสดุตรึงสำหรับการหมักไวน์กระเจี๊ยบได้ แต่หลังจากการหมักพบว่า เม็ดเจลได้รับความเสียหายในระหว่างกระบวนการหมัก สุปรียา ยืนยง สวัสดิ์ และสุดใจ คงทอง (2537) ได้กล่าวว่าโพลีแซคคาไรด์มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาล และมีคุณสมบัติในการละลายน้ำ เมื่อนำมาหมักไวน์ ยีสต์จึงมีการใช้น้ำตาลในโพลีแซคคาไรด์ เพื่อเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ และเม็ดเจลมีการละลายในน้ำหมักไวน์ เม็ดเจลได้รับความเสียหาย จึงไม่สามารถเป็นวัสดุตรึงสำหรับการผลิตไวน์ได้ และเซลล์ตรึงที่ผลิตได้จากโซเดียมอัลจิเนต จะได้เม็ดเจลที่สมบูรณ์ เมื่อนำไปหมักไวน์พบว่าเซลล์ตรึงที่ผลิตจากโซเดียมอัลจิเนตให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงกว่าเซลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Surajbhan และ Lambert (2011) ที่ศึกษาการผลิตไวน์ทับทิมโดยใช้ยีสต์ตรึงบนโซเดียมอัลจิเนต พบว่า การใช้ยีสต์ตรึงรูปในการผลิตไวน์ เซลล์ตรึงมีอัตราการดูดซับน้ำตาลสูงกว่าเซลล์อิสระ จึงส่งผลให้เซลล์ตรึงมีการผลิตปริมาณแอลกอฮอล์ที่ดีกว่า โดยโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 7.8 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

จากการผลิตไวน์กระเจี๊ยบ โดยใช้โพลีแซคคาไรด์และโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึงและไวน์ที่หมักโดยเซลล์อิสระ พบว่า การหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้โพลีแซคคาไรด์และโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 12 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไวน์กระเจี๊ยบมีปริมาณลดลงจากเริ่มต้น 20 องศาบริกซ์ ตามระยะ เวลาของการหมัก โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้โพลีแซคคาไรด์และโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง มีการลดลงมากกว่าไวน์ที่หมักโดยเซลล์อิสระซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ (2550) ที่ศึกษาการตรึงเซลล์ยีสต์ด้วยโซเดียมอัลจิเนตโดยวิธีการห่อหุ้ม เพื่อผลิตไวน์ลำไยอบแห้ง พบว่าการหมักไวน์ด้วยจุลินทรีย์ที่ตรึงรูปมีการใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าการหมักไวน์ด้วยจุลินทรีย์อิสระ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของชนินทร์ อัครปัญญาวิทย์ และคณะ (2555) ที่ทำการศึกษา

การผลิตไวน์ตะขบผสมน้ำอ้อย โดยเตรียมน้ำตะขบผสมน้ำอ้อย ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 20 องศาบริกซ์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีการปรับลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่ายีสต์สามารถนำน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำอ้อยไปใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้โพลีแซคคาไรด์และโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และเซลล์อิสระ พบว่าค่าพีเอชมีการปรับลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาของการหมัก จากค่าพีเอชเริ่มต้น เท่ากับ 4.5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chamutpong และคณะ (2013) ที่ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากการหมักเปลือกทุเรียนและเปลือกขนุน พบว่าใช้ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4.5 ค่าพีเอชมีค่าลดลงเรื่อยๆ และคงที่ในที่สุด โดยพีเอชเริ่มต้น 4.5 การหมักด้วยเปลือกทุเรียน มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่าเปลือกขนุน 15 และ 13 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เนื่องจากเมื่อปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง เช่นเดียวกันกับค่าพีเอชที่ลดลง จนคงที่ในที่สุด

จากการศึกษาปริมาณแอลกอฮอล์ของไวน์กระเจี๊ยบ พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์สุดท้ายของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยเซลล์ตรึงที่ใช้โพลีแซคคาไรด์และโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และการหมักไวน์กระเจี๊ยบด้วยเซลล์อิสระ มีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 9.20 และ 6.00 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไวน์ มอก.ไวน์ 2089 – 2544 ที่ระบุว่าไวน์ผลไม้ที่ผลิตจากจำพวกผลไม้หรือน้ำผลไม้ เมื่อนำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตไวน์ จะต้องมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ อรอนงค์ พริ้งศุลกะ และคณะ (2553) ได้กล่าวว่า การใช้เซลล์ตรึงรูปในการผลิตไวน์ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่าการหมักโดยใช้เซลล์อิสระ น่าจะเกิดจากยีสต์ตรึงรูปมีการใช้น้ำตาลมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์อิสระ และใช้ในการเพิ่มจำนวน โดยอาศัยพันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ เซลล์ยีสต์จึงมีความสามารถในการยึดเกาะกับตัวพยุง จึงทำให้การสร้างแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้น

จากการทดสอบเสถียรภาพของเซลล์โดยการนำมาหมักซ้ำ พบว่าเซลล์ตรึงสามารถนำกลับมาใช้ได้มากกว่า 6 ครั้ง จากการทดลองการหมักไวน์ซ้ำ ค่าพีเอชปรับลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาของการหมัก โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีการลดลงเรื่อยๆ ซึ่งจะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอลกอฮอล์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Surajbhan และ Lambert (2014) การผลิตไวน์ฝรั่ง โดยใช้ยีสต์ตรึงรูป พบว่า ระหว่างการหมัก เมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง ปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเชื้อยีสต์ใช้น้ำตาลในการหมักเพื่อเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ โดยการหมักซ้ำครั้งที่ 1 – 6 มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดของแต่ละครั้ง คือ 7.48, 7.15, 7.10, 7.07, 6.43 และ 6.25 ปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับงานวิจัยของอมรรัตน์ ศิริ

พันธ์ (2547) ที่ศึกษากระบวนการหมักแบบกะซ้ำโดยใช้เซลล์ยีสต์ตรึงรูป เพื่อผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน พบว่าเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5048 ที่ถูกตรึงในแคลเซียมอัลจิเนต สามารถผลิตเอทานอลจากลำต้นข้าวฟ่างหวานได้ และยังมีความสามารถในการหมักเอทานอลแบบกะซ้ำได้อย่างน้อย 8 ครั้ง นอกจากนี้ยังงานวิจัยของอัษฎาวุธ อารีสิริสุข และคณะ (2554) ได้ทำการ ศึกษาการปรับปรุงการหมักเอทานอลแบบกะซ้ำโดยการตรึงเซลล์บนชานอ้อย พบว่า การใช้เซลล์ตรึงมีประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลสูงกว่าเซลล์อิสระ และยังพบว่าสามารถทำการหมักซ้ำด้วยยีสต์ตรึงรูปได้ถึง 7 ครั้ง

การศึกษาการหมักไวน์กระเจี๊ยบมีปริมาณเซลล์ก่อนการหมัก คือ 12.3×10^6 CFU/ml โดยหลังหมักมีการหลุดออกของเซลล์ในเม็ดเจลลดลงเป็น 0.20×10^6 CFU/ml ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Bangrak และคณะ (2011) ที่ศึกษาการผลิตเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยการใช้ใยบวบเป็นวัสดุตรึงเซลล์ยีสต์และใช้อัลจิเนตเป็นตัวเชื่อม พบว่า หลังการหมัก 30 วันด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* M30 เซลล์ตรึงรูปด้วยอัลจิเนตมีการเสื่อมสภาพ และการรั่วไหลของเซลล์ออกจากวัสดุตรึงเซลล์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ช่วยในการผลิตแอลกอฮอล์ ส่งผลต่อการผลิตแอลกอฮอล์ที่ลดต่ำลง

จากการนำไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระในการหมักไปประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบแบบ 5 point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปี จำนวน 100 คน ทำการทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบรวม พบว่าไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงในการหมักจะได้คะแนนการยอมรับสูงกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระในการหมักในทุก ๆ ด้าน คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการสกัดโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน เพื่อนำมาเป็นวัสดุตรึงในการผลิตไวน์กระเจี๊ยบ พบว่าโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน ไม่สามารถใช้เป็นวัสดุตรึงยีสต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จึงน่าจะมีการนำเปลือกทุเรียนมาสกัด CMC (carboxymethyl cellulose) เพคติน (Pectin) หรือสารอื่นๆ เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุในการตรึงเซลล์ยีสต์และนำไปใช้ในการผลิตไวน์ต่อไป เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่เปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร