

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารจากรำข้าวเหนียวดำ เพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

1. ความมุ่งหมายของการวิจัย
2. สรุปผล
3. อภิปรายผล
4. ข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวเหนียวดำ ได้แก่ ปริมาณสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ทริน ต่อปริมาณผงสีปรุงแต่งอาหาร แอนโทไซยานิน ค่าสี ค่าความสามารถในการละลายและค่าวอเตอร์แอคทีวิตีของผงสีปรุงแต่งอาหารที่ผลิตได้
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารร่วมกับระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีของผงสีปรุงแต่งอาหาร
4. เพื่อเปรียบเทียบระดับการเติมสีปรุงแต่งอาหารที่คัดเลือกจากกรรมวิธีที่เหมาะสมในโยเกิร์ตร่วมกับระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตต่อค่าพีเอช ปริมาณกรด และค่าสีของโยเกิร์ต

สรุปผล

จากการวิจัยครั้งนี้ สรุปได้ว่า

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของรำข้าวเหนียวดำ

รำข้าวเหนียวดำที่นำมาทำการศึกษาเป็นรำข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งมีค่าความชื้นอยู่ที่ 10.41% โปรตีน 11.60% ไขมัน 19.11% เส้นใยอาหาร 10.77% เถ้า 9.45% และ

คาร์โบไฮเดรต 38.66% และมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล ปริมาณ 3.86 มิลลิกรัมแกลลิก/กรัม แอนโธไซยานินมีปริมาณ 3.31 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/กรัมรำข้าว แคมมาอริซานอล 7.00 มิลลิกรัม/กรัม และแอลฟาโทโคเฟอรอล 105.20 ไมโครกรัม/กรัม

2. การศึกษากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหาร

2.1 ตอนที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของผงสีปรุงแต่งอาหาร

2.1.1 ปริมาณผลผลิตของสีปรุงแต่งอาหาร

วิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำและปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณสีปรุงแต่งอาหาร ($p>0.05$) แต่วิธีการสกัดเพียงอย่างเดียวที่มีผลต่อปริมาณสีปรุงแต่งอาหาร ($p<0.05$) โดยวิธีการใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ให้ปริมาณสีปรุงแต่งอาหารสูงกว่าวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาคือ วิธีการใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 50 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ และวิธีการใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 40 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ ตามลำดับ

2.1.2 ค่าสีของสีปรุงแต่งอาหาร ได้แก่ ค่าความสว่าง ค่าความเข้มสีและค่ามุมของสี

จากการศึกษาค่าความสว่างของผงสีปรุงแต่งอาหารพบว่าวิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำและปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความสว่างของผงสีปรุงแต่งอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีการใช้รำข้าวปริมาณ 40 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% ให้ค่าความสว่างสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ($p<0.05$)

จากการศึกษาค่าความเข้มสีพบว่าวิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำและปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินมีอิทธิพลร่วมต่อค่าความเข้มสีของผงสีปรุงแต่งอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการใช้รำข้าวปริมาณ 50 และ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% ให้ค่าความเข้มสีสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.02 และ 21.78

จากการศึกษาค่ามุมของสีพบว่าสีปรุงแต่งอาหารผงที่ผลิตได้จากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการไม่เติมและเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2%, 3% และ 4% มีค่ามุมของสีอยู่ระหว่าง 351.67-1.47 องศา ส่วนวิธีการใช้รำข้าวเหนียวดำ 40, 50 และ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ ร่วมกับการไม่เติมและเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2%, 3% และ 4% ให้สีปรุงแต่งอาหารที่มีค่ามุมของสีอยู่ระหว่าง 8.97-12.60 องศา

2.1.3 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีและค่าความสามารถในการละลายน้ำของสีปรุงแต่ง

อาหาร

จากการศึกษาค่าวอเตอร์แอกติวิตีพบว่าวิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำและปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินมีอิทธิพลร่วมต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผงสีปรุงแต่งอาหาร ($p < 0.05$) โดยวิธีการสกัดด้วยเอทานอลร่วมกับการไม่เติมมอลโตเด็กซ์ตรินให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผงสีปรุงแต่งอาหารสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.318

จากการศึกษาค่าความสามารถในการละลายน้ำพบว่าวิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำและปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินมีอิทธิพลร่วมต่อค่าความสามารถในการละลายน้ำของผงสีปรุงแต่งอาหาร ($p < 0.05$) โดยพบว่า การใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2%, 3% และ 4%, การใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 50 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2%, 3% และ 4% และการใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 40 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% มีค่าความสามารถในการละลายสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$)

2.1.4 ปริมาณแอนโธไซยานิน

จากการศึกษาปริมาณแอนโธไซยานินของผงสีปรุงแต่งอาหาร พบว่าวิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำและปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณแอนโธไซยานินของผงสีปรุงแต่งอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการใช้รำข้าวปริมาณ 60 กรัมร่วมกับการไม่เติมมอลโตเด็กซ์ตรินให้ปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 983.43 มิลลิกรัมไซยานิดินกลูโคไซด์ (cyd-3-glu)/ 100 กรัมของสีปรุงแต่งอาหาร

ผลการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของผงสีปรุงแต่งอาหารในตอนที่ 1 เพื่อคัดเลือกกรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารเพียง 6 วิธี เพื่อนำสีปรุงแต่งอาหารไปศึกษาความคงตัวต่อการเก็บรักษาต่อไปในตอนที่ 2 โดยคัดเลือกเอากรรมวิธีการผลิตที่ใช้วิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ ใช้รำข้าวปริมาณ 50 กรัมและ 60 กรัม จากนั้นเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2, 3 และ 4% (w/v) ก่อนการนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากพิจารณาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติด้านสารสีโดยรวมแล้วพบว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการคัดเลือกไปศึกษาคูสมบัติด้านอื่น ๆ ต่อไป

2.2 ตอนที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสีปรุงแต่งอาหาร 6 สี จากตอนที่ 1 ในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อคัดเลือกสถานะการเตรียมสีปรุงแต่งอาหารที่เหมาะสม

2.2.1 การศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

2.2.1.1 ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอล

พบว่ากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารที่ใช้วิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำด้วยเอทานอลและการใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 40, 50 และ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์ ตามวิธีการที่ใช้ในการวิจัยนี้ ตรวจไม่พบสารแอลฟาโทโคเฟอรอลในผงสีปรุงแต่งอาหาร

2.2.1.2 ปริมาณแกมมาออริซานอล

พบว่ากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแกมมาออริซานอล ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0, 1 และ 2 มีปริมาณแกมมาออริซานอลสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.14, 18.09 และ 17.70 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ

2.2.1.3 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอล

พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างกรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล ($p > 0.05$) แต่พบว่าทั้งกรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลอยู่ในช่วง 3.29-3.71 กรัม/100 กรัม และในส่วนของระยะเวลาการเก็บรักษานั้น พบว่าที่สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าที่สัปดาห์ที่ 6 ($p < 0.05$)

2.2.1.4 การศึกษาปริมาณแอนโทไซยานิน

พบว่ากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานิน ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 และ 1 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 941.89 และ 934.63 มิลลิกรัมไซยานิดินกลูโคไซด์ (cyd-3-glu)/100 กรัมของสีปรุงแต่งอาหาร

2.2.2 การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระรวมได้แก่ total antioxidant capacity, ABTS⁺⁺ radical scavenging activity และ FRAP method ระหว่างการเก็บรักษา

2.2.2.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี total antioxidant capacity

การศึกษาพบว่ากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ($p > 0.05$) แต่พบว่าทั้งกรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติม

มอลโตเด็กซ์ตริน 2% และ 3% มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี total antioxidant capacity สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$) ซึ่งอยู่ในช่วง 31.76-35.38 และ 31.63-35.26 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/ มิลลิกรัมของผงสปีรูล่าผงแห้งอาหาร ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่าที่สัปดาห์ที่ 0 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี total antioxidant capacity สูงกว่าที่สัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$)

2.2.2.2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS⁺ radical scavenging activity

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS⁺ radical scavenging activity แสดงผลในรูปของค่า IC₅₀ พบว่ามีอิทธิพลร่วมกันระหว่างกรรมวิธีการผลิตสปีรูล่าผงแห้งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่า IC₅₀ ($p<0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษา สัปดาห์ที่ 1 มีค่า IC₅₀ น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 532.87 ไมโครกรัม/ กรัม

2.2.2.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP method

การศึกษาพบว่ากรรมวิธีการผลิตสปีรูล่าผงแห้งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ($p<0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษา สัปดาห์ที่ 0 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP method สูงกว่าวิธีอื่น ๆ ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 797.13 มิลลิโมลต่อกรัม

2.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสี

จากการศึกษาพบว่ากรรมวิธีการผลิตสปีรูล่าผงแห้งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสปีรูล่าผงแห้งอาหาร ($p>0.05$) แต่พบว่าทั้งกรรมวิธีการผลิตสปีรูล่าผงแห้งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง ($p<0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวปริมาณ 50 และ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% ทำให้สปีรูล่าผงแห้งอาหารมีค่าความสว่างสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$) ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่า ที่เวลาการเก็บรักษา สัปดาห์ที่ 0 มีค่าความสว่างสูงกว่าสัปดาห์ที่ 6 ($p<0.05$)

การศึกษาการพบว่ากรรมวิธีการผลิตสปีรูล่าผงแห้งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีของผงสปีรูล่าผงแห้งอาหาร ($p<0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวปริมาณ 50 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% ที่เวลาการเก็บรักษา สัปดาห์ที่ 0 และกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% สัปดาห์ที่ 1 มีค่าความเข้มสีสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่ามุมของสีให้ผลการศึกษาดังแสดงในตาราง 18 พบว่ากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมของสี ($p<0.05$) (ตาราง 30 ภาคผนวก ง) โดยสีปรุงแต่งอาหารที่ผลิตจากกรรมวิธีที่ใช้รำข้าวปริมาณ 50 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% และ 3% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 มีค่ามุมของสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$)

ดังนั้น โดยสรุปแล้วเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผงสีปรุงแต่งอาหารทั้งปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีของตัวอย่างผงสีปรุงแต่งอาหารที่เตรียมได้จากทั้ง 6 สภาวะเมื่อนำมาทดสอบความคงตัวต่อการเก็บรักษา โดยการพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดังกล่าวในทุก ๆ สัปดาห์ของการเก็บรักษา และการวิเคราะห์ที่เป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าความคงตัวของสีปรุงแต่งอาหารที่เตรียมได้จากทั้ง 6 สภาวะของการผลิตไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ในแต่ละตัวอย่างพบว่าสีปรุงแต่งอาหารที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีสกัดด้วยเอนไซม์ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัมแล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตรินปริมาณ 2% ก่อนการทำแห้งแบบเยือกแข็งให้ปริมาณสารออกฤทธิ์สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่มีค่าสูงกว่าตัวอย่างสีปรุงแต่งอาหารที่เตรียมจากสภาวะอื่น ๆ ดังนั้นในการศึกษาสภาวะการเตรียมสีปรุงแต่งอาหารครั้งนี้ พบว่าการเตรียมสีปรุงแต่งอาหารโดยใช้รำข้าวเหนียวดำ 60 กรัมสกัดด้วยเอนไซม์ แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตรินปริมาณ 2% ก่อนการนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตสีปรุงแต่งอาหารเพื่อสุขภาพจากรำข้าวเหนียวดำ

3. การศึกษาประสิทธิภาพของสีปรุงแต่งอาหารเมื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

3.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ของโยเกิร์ต

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของโยเกิร์ตที่เติมสีปรุงแต่งอาหารระดับต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ พบว่าระดับความเข้มของสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช ($p>0.05$) แต่พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าพีเอช ($p<0.05$) โดยที่เวลาการเก็บรักษาวันที่ 21 มีผลทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงกว่าวันอื่น ๆ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.36-4.39

3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของโยเกิร์ต

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของโยเกิร์ตที่เติมสีปรุงแต่งอาหารระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ พบว่าระดับความเข้มของสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด ($p>0.05$) แต่พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อปริมาณกรด ($p<0.05$) โดยที่เวลาการเก็บรักษาวันที่ 21 มีผลทำให้ปริมาณกรดสูงขึ้นกว่าวันอื่น ๆ ($p<0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 0.85-0.86%

3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีในโยเกิร์ต พบว่าระดับความเข้มของสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสี ($p<0.05$) โดยโยเกิร์ตที่เติมสีปรุงแต่งอาหาร 0.6% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ตั้งแต่ (วันที่ 0-21) มีค่าความสว่างของสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสีในโยเกิร์ต พบว่าระดับความเข้มของสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสี ($p<0.05$) โดยโยเกิร์ตที่เติมสีปรุงแต่งอาหาร 0.6% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ (วันที่ 0-21) มีค่าความเข้มของสีสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความหมุมของสีในโยเกิร์ต พบว่าระดับความเข้มของสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหมุมของสี ($p<0.05$) โดยโยเกิร์ตที่เติมสีปรุงแต่งอาหาร 0.6% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 3, 6, 12 และ 15 มีค่าความหมุมของสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$)

อภิปรายผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวเหนียวดำ

องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวเหนียวดำที่สำคัญนอกเหนือองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหาร และความชื้นแล้ว ยังประกอบไปด้วยสารออกฤทธิ์ชีวภาพซึ่งอยู่ในรำข้าวเหนียวดำ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลมีปริมาณ 3.86 มิลลิกรัม แกลลิกต่อกรัมซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Goffman และ Bergman (2004 : 1235-1240) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลในรำข้าวมีค่าอยู่ในช่วง 3.10-45.40 มิลลิกรัมแกลลิก/ กรัมรำข้าว ส่วน Chi และคณะ (2007 : 887-893) กล่าวว่าจากรายงานการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลในเมล็ดข้าวมีสีมีอยู่ในช่วง 437-994 ไมโครกรัมแกลลิก/ กรัม (0.437-0.994 มิลลิกรัมแกลลิก/ กรัม) ส่วนแอนโธไซยานินมีปริมาณ 3.31 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ กรัมรำข้าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abdel-Aal และคณะ (2006 : 4696-4704) ที่กล่าวไว้ว่าในการศึกษาปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวมีสี 10 สายพันธุ์มีปริมาณแอนโธไซยานินชนิดไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์อยู่ในช่วง 0-470 มิลลิกรัม/ 100 กรัม (0-4.70 มิลลิกรัม/ กรัม) แกมมาออริซานอล 7.00 มิลลิกรัม/ กรัม และแอลฟาโทโคเฟอรอล 105.20 ไมโครกรัม/ กรัม ซึ่งในการสกัดสารออกฤทธิ์ชีวภาพดังกล่าวมานั้นอาจต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานในรำข้าวเหนียวดำ ซึ่งอาจมีผลต่อวิธีการสกัด เช่น ปริมาณไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และความชื้นของรำข้าว

2. การศึกษากรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหาร

2.1 ตอนที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของผงสีปรุงแต่งอาหาร

วิธีการเตรียมสีปรุงแต่งอาหารโดยการสกัดด้วยเอนไซม์ซึ่งใช้รำในปริมาณ 60 กรัม ให้ปริมาณผลผลิตของสารสกัดสูงสุด รองลงมาคือการใช้รำข้าวปริมาณ 50 กรัม เนื่องมาจากการใช้เอนไซม์ในการสกัดมีผลทำให้เกิดการปลดปล่อยสารต่าง ๆ ในรำข้าวเหนียวดำได้มากขึ้น จากการศึกษาของ Pinelo และ Meyer (2008 : 3217-3220) กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลจากเซลล์พืชด้วยเอนไซม์เพคตินเอส เซลลูเลส และโปรติเอส ทั้งการใช้เอนไซม์แบบร่วมกันและแบบเดี่ยว ๆ สามารถเพิ่มความสามารถในการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลจากเซลล์พืชได้ โดยความสามารถในการสลายพันธะที่จับกันระหว่างสารประกอบฟีนอลและสารโพลีแซคคาไรด์ที่ผนังเซลล์ และเนื่องจากการย่อยสลายสารโพลีแซคคาไรด์ทำให้เพิ่มการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลในสารสกัดได้มากขึ้น

ค่าสีของผงสีปรุงแต่งอาหารที่เตรียมได้โดยสกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้ได้สีปรุงแต่งอาหารที่อยู่ในเฉดของสีแดง (ค่ามุมของสีอยู่ระหว่าง 8.97-12.60 องศา) ส่วนสีปรุงแต่งอาหารที่เตรียมได้จากการสกัดด้วยเอทานอลมีลักษณะเป็นสีม่วง (ค่ามุมของสีอยู่ระหว่าง 351.67-1.47 องศา) การใช้รำข้าวปริมาณน้อย (40 กรัม) สกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น (4%) มีผลทำให้ค่าความสว่างของผงสีเพิ่มขึ้นแต่ในปริมาณเล็กน้อย ส่วนการใช้รำข้าวปริมาณเพิ่มขึ้น (50 และ 60 กรัม) สกัดด้วยเอนไซม์ ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ทริน ทำให้ค่าความเข้มของสีแดงสูงขึ้น ลักษณะของสีที่ผลิตได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินปริมาณต่าง ๆ โดยรวมแล้วจะมีลักษณะเป็นสีแดงสด เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพด้านสีโดยใช้สารให้ความคงตัวมอลโตเด็กซ์ทรินที่ทำหน้าที่เป็น wall material (Ersus and Yurdagel. 2007 : 805-812) ซึ่งจะมีผลต่อโครงสร้างของสารสีหรือแอนโทไซยานินให้มีความเสถียรมากขึ้น และนอกจากนี้ความเข้มของสีก็ขึ้นกับปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารให้สีในผงสีปรุงแต่งอาหารด้วย

วิธีการสกัดด้วยเอทานอลร่วมกับการไม่เติมมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผงสีปรุงแต่งอาหารสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ (0.318) และให้ค่าความสามารถในการละลายต่ำอยู่ (88.63%) ในส่วนวิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินปริมาณต่าง ๆ มีผลในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการละลายน้ำ (95.35-98.38%) และค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผงสีให้ดีขึ้น (0.099-0.156) เนื่องจากองค์ประกอบที่ปนอยู่ในสีปรุงแต่งอาหารบางส่วนที่ละลายได้ยาก เช่น โปรตีน ถูกทำให้มีโมเลกุลเล็กลงโดยการทำกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส ทำให้การละลายน้ำของผงสีดีขึ้น โดยเฉพาะการเติมสารมอลโตเด็กซ์ทรินซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ดีในน้ำทำให้ผงสีมีการละลายน้ำได้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการสกัดด้วยเอทานอลร่วมกับ

การเติมมอลโตเด็กซ์ทรินปริมาณต่าง ๆ ช่วยลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (0.09-0.154) สอดคล้องกับงานวิจัยของพรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ (2545 : 257-277) ที่พบว่าค่าการละลายของน้ำผักผลไม้รวมชนิดผงที่มีการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินมากขึ้นในปริมาณร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก ค่าการละลายที่สูงขึ้นตามไปด้วย โดยสูงกว่าการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละ 13 และ 16 โดยน้ำหนักซึ่งร้อยละของตะกอนที่พบต่ำถึง 1.70% นอกจากนี้สารมอลโตเด็กซ์ทรินยังมีคุณสมบัติช่วยลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Duangmal และคณะ (2008 : 1437-1445) ซึ่งพบว่าการเติมมอลโตเด็กซ์ทริน ปริมาณ 2 และ 3% (w/v) ในสารละลายของสารสกัดจากแอนโธไซยานินในกระเจียบแดงก่อนการนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีผลทำให้สีปรงแต่งอาหารที่ผลิตได้มีการละลายได้อย่างสมบูรณ์ และทำให้ผงสีมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลง โดยเติมมอลโตเด็กซ์ทรินปริมาณ 4% (w/v) ทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผงสีปรงแต่งอาหารต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ (2545 : 257-277) ที่พบว่าการผลิตน้ำผักผลไม้รวมชนิดผงโดยเติมมอลโตเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่ลดลงมีผลต่อความคงตัวของระหว่างการเก็บรักษาของผงสีปรงแต่งอาหาร จากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษามีความเกี่ยวข้องกับค่าวอเตอร์แอกติวิตีซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของสารสีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้ประสิทธิภาพของผงสีปรงแต่งอาหารลดลง แต่หากค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลงจนอยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาก็จะสามารถชะลอระยะเวลาในการสลายตัวของสารสีรวมทั้งสารออกฤทธิ์ชีวภาพได้ โดยค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่ลดลงเพราะมีการเติมมอลโตเด็กซ์ทริน โดยคุณสมบัติของมอลโตเด็กซ์ทรินจะช่วยลดการดูดความชื้นเข้าหาตัวได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำ (เบญจรักษ์ วาญภาพ. 2542 : 283-291)

ปริมาณแอนโธไซยานินในผงสีปรงแต่งอาหารมีปริมาณสูงที่สุดในผงสีที่สกัดด้วยเอนไซม์และไม่เติมมอลโตเด็กซ์ทริน โดยการใช้รำข้าว 60 กรัมสกัดด้วยเอนไซม์แล้วไม่เติมมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้สีปรงแต่งอาหารที่เตรียมได้มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงที่สุด เนื่องจากประสิทธิภาพของวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์และปริมาณรำข้าวที่เหมาะสม แต่สีปรงแต่งอาหารที่ได้จากการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินก่อนการทำแห้งทำให้ปริมาณแอนโธไซยานินมีความเจือจางลง แต่ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินคือความคงตัวของสารสีและสารออกฤทธิ์ชีวภาพในผงสีปรงแต่งอาหาร แต่ต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมที่จะไปมีผลต่อคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของผงสีปรงแต่งอาหารที่ผลิตได้ด้วย

ในการคัดเลือกกรรมวิธีการผลิตสีปรงแต่งอาหารจาก 16 กรรมวิธี มาเพียง 6 กรรมวิธี เพื่อนำมาศึกษาความคงตัวต่อการเก็บรักษานั้น ใช้การพิจารณาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ตามที่

ได้ศึกษามาข้างต้น ซึ่งจะเห็นว่าบางกรรมวิธีที่คัดเลือกมาอาจมีบางคุณสมบัติที่ไม่เด่นมาก แต่จากการพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญโดยรวมแล้วเป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2 ตอนที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสีปรุงแต่งอาหาร 6 สีจากตอนที่ 1 ในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อคัดเลือกสภาวะการเตรียมสีปรุงแต่งอาหารที่เหมาะสม

2.2.1 การศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

วิธีการสกัดรำข้าวเหนียวด้วยเอทานอลและเอนไซม์ในสภาวะที่ใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและโปรติเอสตามวิธีการที่ใช้ในการวิจัยนี้ ไม่สามารถสกัดสารแอลฟาโทโคเฟอรอลในรำข้าวเหนียวออกมาได้ในปริมาณที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ ดังนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์จึงไม่สามารถตรวจพบสารแอลฟาโทโคเฟอรอลได้

นอกจากนี้ปริมาณแกมมาออริซานอลที่พบในผงสีปรุงแต่งอาหารยังมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่มากในรำ (7.00 มิลลิกรัม/ กรัม) ซึ่งกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเดกซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษา สัปดาห์ที่ 0, 1 และ 2 มีปริมาณแกมมาออริซานอลสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.14, 18.09 และ 17.70 ไมโครกรัม/ กรัม ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณแกมมาออริซานอลแปรผันกับปริมาณรำข้าวที่ใช้ในการสกัด และเมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาวะเร่งที่ศึกษาพบว่าปริมาณแกมมาออริซานอลในสีปรุงแต่งอาหารที่ผลิตได้จากสภาวะดังกล่าวเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา และเนื่องจากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ตามสภาวะที่ใช้ในการวิจัยยังมีประสิทธิภาพน้อยในการสกัดสารออกฤทธิ์ชีวภาพเหล่านี้ให้ออกมาอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำได้ ซึ่งสารออกฤทธิ์ชีวภาพดังกล่าวมีลักษณะเป็นสารที่ค่อนข้างไม่มีขั้ว ชอบละลายในสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้สกัดเป็นน้ำจึงละลายออกมาได้ยาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ลดลง และทำให้ได้สารออกฤทธิ์ชีวภาพชนิดนี้ในผงสีปรุงแต่งอาหารน้อยไปด้วย เพราะในวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์อาศัยกระบวนการสกัดด้วยความจำเพาะเจาะจงของเอนไซม์กับ สับสเตรท ซึ่งย่อยบริเวณผนังเซลล์ส่วนประกอบโครงสร้างที่มีเมดิไคมัน (lipid bodies) เกาะติดอยู่ จึงส่งผลให้เมดิไคมันเหล่านั้นหลุดออกมาจากเซลล์ในระบบน้ำหรือบัฟเฟอร์ (Rosenthal, Pyle and Niranjana, 1996 : 402-420 : Singh and others, 1999 : 511-514) ซึ่งในวิธีการสกัดนี้ใช้เพียงเอนไซม์โปรติเอสและแอลฟาอะไมเลส อาจยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายส่วนของผนังเซลล์ในชั้นรำ ทำให้การปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ชีวภาพชนิดดังกล่าวในส่วนที่เป็นน้ำมันออกมาได้ยาก ดังนั้นจึงอาจปรับปรุงวิธีการสกัดโดยใช้เอนไซม์อื่นร่วมด้วย เช่น เอนไซม์เซลลูเลส และ/หรือเฮมิเซลลูเลสร่วมด้วยเพื่อให้ประสิทธิภาพในการสลายผนังเซลล์และการทำกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสกับแอลฟาอะไมเลสดียิ่งขึ้นได้

กรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล ($p>0.05$) แต่พบว่าทั้งกรรมวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล ($p<0.05$) โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$) ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลอยู่ในช่วง 3.29-3.71 กรัม/100 กรัม และในส่วนของระยะเวลาการเก็บรักษานั้นพบว่าที่สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าที่สัปดาห์ที่ 6 ($p<0.05$)

กรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 และ 1 มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($p<0.05$) ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 941.89 และ 934.63 มิลลิกรัมไซยานิดินกลูโคไซด์ (cyd-3-glu)/100 กรัมของสีปรุงแต่งอาหาร เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านปริมาณของวอเตอร์แอคติวิตีในสารสกัดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่จะส่งผลต่อการสลายตัวของสารออกฤทธิ์ชีวภาพเป็นไปได้อย่างช้า ๆ จึงสามารถชะลอการสลายตัวของสารออกฤทธิ์ชีวภาพในผงสีปรุงแต่งอาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Duangmal และคณะ (2008 : 1437-1445) พบว่าการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินปริมาณ 2 และ 3% (w/v) ในสารละลายแอนโธไซยานินที่สกัดจากกระเจี๊ยบแดงก่อนการทำแห้งสามารถชะลอการสลายตัวของแอนโธไซยานินในสารสกัดผงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระดับของมอลโตเด็กซ์ตริน 2% นั้นทำให้ปริมาณแอนโธไซยานินเจือจางน้อยกว่าที่ระดับ 3 และ 4%

2.2.2 การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

ในทำนองเดียวกันฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผงสีปรุงแต่งอาหารจะสอดคล้องกับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เนื่องจากความสามารถในการชะลอการสลายตัวของสารออกฤทธิ์ชีวภาพโดยสารให้ความคงตัวของมอลโตเด็กซ์ตริน จึงทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสีปรุงแต่งอาหารที่ผลิตได้ยังคงคุณภาพอยู่ โดยงานวิจัยของ Duangmal และคณะ (2008 : 1437-1445) ศึกษาการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในสารสกัดแอนโธไซยานินในกระเจี๊ยบแดงก่อนการทำแห้ง พบว่าการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินปริมาณ 3% (w/v) ช่วยชะลอการสลายตัวของสารแอนโธไซยานินได้ ซึ่งการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นสามารถชะลอการสลายตัวของสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผงสีปรุงแต่งอาหารไม่แตกต่างกัน แต่จะทำให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ในผงสีปรุงแต่งอาหารลดน้อยลง ดังนั้นการเติมในปริมาณน้อย (2% w/v) จึงน่าจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% และ 3% มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี total antioxidant capacity สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งอยู่ในช่วง 31.76-35.38 และ

31.63-35.26 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/ มิลลิกรัมของผงสีปรุงแต่งอาหาร ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่าที่สัปดาห์ที่ 0 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี total antioxidant capacity สูงกว่าที่สัปดาห์ที่ 7 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS⁺ radical scavenging activity จะเห็นว่ากรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1 มีค่า IC₅₀ ต่ำที่สุด ($p<0.05$) (532.87 ไมโครกรัม/ กรัม) ซึ่งหมายถึงมีฤทธิ์การยับยั้ง ABTS⁺ radical ได้มากที่สุดนั่นเอง และนอกจากนี้ในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP method ยังพบว่ากรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP method สูงที่สุด ($p<0.05$) (797.13 มิลลิโมลต่อกรัม) อีกด้วย

2.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสี

ในส่วนของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีนั้นจะเห็นว่ากรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวปริมาณ 50 และ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% ทำให้สีปรุงแต่งอาหารมีค่าความสว่างสูงที่สุด ($p<0.05$) นั่นคือค่าความสว่างของผงสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่าที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 มีค่าความสว่างสูงกว่าวันที่ 7 ($p<0.05$) นั่นคือระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มทำให้ค่าความสว่างลดลงแต่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ซึ่งค่าความสว่างมีผลต่อลักษณะของสีแดงทำให้ผงสีมีลักษณะเป็นสีแดงสด

กรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวปริมาณ 50 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 และกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 4% สัปดาห์ที่ 1 มีค่าความเข้มสีสูงที่สุด ($p<0.05$) และพบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานินที่ลดลงเนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารให้สีในผงสีปรุงแต่งอาหาร

เช่นเดียวกับค่ามุมของสีซึ่งบ่งบอกถึงเฉดของสี สีปรุงแต่งอาหารที่ผลิตจากกรรมวิธีที่ใช้รำข้าวปริมาณ 50 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน 2% และ 3% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 มีค่ามุมของสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ จะเห็นว่าค่ามุมของสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น นั่นคือสอดคล้องกับค่าความเข้มสีที่มีลักษณะของความเป็นสีแดงสดลดลง แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่นที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ส่งผลให้ผงสีที่ได้ยังคงอยู่ในเฉดสีเดียวกันคือเป็นลักษณะของสีแดง

โดยสรุปในตอนที 2 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผงสีปรุงแต่งอาหารที่ผลิตได้จาก

6 กรรมวิธีเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าการลดลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสีนั้น โดยรวมแล้วมีการเปลี่ยนแปลงที่เล็กน้อย เนื่องจากปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความคงตัวของสีปรุงแต่งอาหาร โดยในการศึกษาใช้เติมลงในสารละลายของสารสกัดในปริมาณ 2, 3 และ 4% w/v ให้ผลในการชะลอการสลายตัวของสารสีและสารออกฤทธิ์ชีวภาพได้ค่อนข้างไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นวิธีเตรียมสีปรุงแต่งอาหารในการศึกษานี้จึงพิจารณาในด้านปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและค่าสีของตัวอย่างสีปรุงแต่งอาหาร ซึ่งกรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็คซ์ตริน 2% ที่เวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 0 โดยรวมแล้วพบมีความเหมาะสมมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งในบางคุณลักษณะอาจไม่ดีที่สุด แต่ในภาพรวมแล้วทั้งปริมาณของสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระนั้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตสีปรุงแต่งอาหารเพื่อการประยุกต์ใช้ต่อไป

3. การศึกษาความคงตัวของสีปรุงแต่งอาหารในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 21 มีผลทำให้ค่าพีเอชลดต่ำกว่าวันอื่น ๆ ($p < 0.05$) ซึ่งโยเกิร์ตที่ไม่เติมและเติมสีปรุงแต่งอาหารในระดับต่าง ๆ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.36-4.39 เนื่องจากการทำกิจกรรมของหัวเชื้อที่ใช้ทำโยเกิร์ตผลิตกรดแลคติกออกมาทำให้พีเอชของโยเกิร์ตนั้นลดลง ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยที่เวลาการเก็บรักษาวันที่ 21 มีผลทำให้ปริมาณกรดสูงขึ้นกว่าวันอื่น ๆ ($p < 0.05$) ซึ่งโยเกิร์ตที่ไม่เติมและเติมสีปรุงแต่งอาหารในระดับต่าง ๆ มีปริมาณกรดอยู่ในช่วง 0.85-0.86%

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีในโยเกิร์ต จะเห็นว่าโยเกิร์ตที่เติมสีปรุงแต่งอาหาร 0.6% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ตั้งแต่ (วันที่ 0-21) มีค่าความสว่างของสีต่ำที่สุด ($p < 0.05$) โดยอยู่ในช่วง 68.42-68.91 และมีค่าความเข้มของสีสูงที่สุด ($p < 0.05$) อยู่ในช่วง 15.23-15.59 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนโยเกิร์ตที่เติมสีปรุงแต่งอาหาร 0.6% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 3, 6, 12 และ 15 มีค่ามุมของสีต่ำที่สุด ($p < 0.05$) จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตเพิ่มขึ้น แนวโน้มของค่าความสว่างและความเข้มสีคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แม้ว่าพีเอชของโยเกิร์ตจะลดลงพร้อม ๆ กับปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นก็ตาม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Obon และคณะ (2009 : 471-479) ได้ทำการประยุกต์ใช้สีปรุงแต่งอาหารที่มีสีม่วงแดงซึ่งผลิตจากผล *Opuntia stricta* โดยมีการเติมสารให้ความคงตัวชนิดมอลโตเด็คซ์ตรินก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพบว่าค่าสีของโยเกิร์ตทั้งค่าความสว่าง ค่าความเข้มสีและค่ามุมของสีมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เนื่องจากว่าสีที่ได้นี้เป็นสีจากธรรมชาติและสารสียังมีความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้ดีซึ่งจะไม่ทำให้โยเกิร์ตมีสีซีดจางหรือสีเปลี่ยนไปจนดูเหมือนผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้สีปรุงแต่งอาหารที่ได้ยังมีสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่สำคัญซึ่งมีบทบาทต่อสุขภาพดังที่ได้ศึกษาไว้ข้างต้น แต่เนื่องจากปริมาณสีที่เติมลงในโยเกิร์ตเพื่อทำให้เกิดสีนั้นเดิมในปริมาณน้อย เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อลักษณะปรากฏของสี ดังนั้นสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่มีในโยเกิร์ตเติมสีปรุงแต่งอาหารจึงอาจมีปริมาณน้อยไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ก็ได้ความรู้เกี่ยวกับวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารที่มีคุณภาพโดยเป็นสีจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัยกว่าสีสังเคราะห์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 นำวิธีการผลิตสีปรุงแต่งอาหารจากรำข้าวเหนียวดำไปพัฒนาให้เป็นวิธีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมอาหารสีผสมอาหารเพื่อสุขภาพ

1.2 กากรำข้าวเหนียวดำที่เหลือจากการสกัดสามารถนำไปผลิตเป็นอาหารสุขภาพ หรือนำไปสกัดเอาสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่ยังคงเหลืออยู่ได้

2. ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อ

2.1 ควรปรับปรุงสภาวะสกัดด้วยเอนไซม์เพื่อเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพให้ได้ในปริมาณมากขึ้น เช่น เพิ่มเอนไซม์ชนิดที่ช่วยให้เกิดการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากรำข้าวได้ดีขึ้นได้แก่ เอนไซม์เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส เป็นต้น

2.2 นำสีปรุงแต่งอาหารที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นที่เหมาะสม เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสภาวะใกล้เคียงกับโยเกิร์ต

2.3 การศึกษาการประยุกต์ใช้สีปรุงแต่งอาหารในโยเกิร์ต เพื่อให้ได้ระดับสีที่เหมาะสม และแน่นอนในการเติมลงในผลิตภัณฑ์ควรทำการศึกษาร่วมกับวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยให้ผู้ทดสอบประเมินด้วย