

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาคัดเลือกชนิดของเอนไซม์เพื่อใช้ในการสกัดน้ำลินจี่

จากการศึกษาคัดเลือกชนิดของเอนไซม์เพื่อใช้ในการสกัดน้ำลินจี่ วางแผนการทดลอง Central composite design แบบ linear (2x2 factorial experiment with 3 center points) โดยมี การผันแปร 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในการสกัด ศึกษาเอนไซม์ 3 ชนิด คือ เอนไซม์เพคตินเนส เอนไซม์เซลลูเลส และเอนไซม์เพคตินเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น ร้อยละ 0.10-0.30 แล้วสกัดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง สกัดตามสภาวะที่ กำหนดและนำมาขยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แยกน้ำออกด้วยเครื่องแยกกาก ชั่งน้ำหนักหาร้อยละปริมาณผลผลิตและตรวจวิเคราะห์สมบัติทาง กายภาพและทางเคมีได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์เพคตินเนสเพื่อใช้ในการสกัดน้ำลินจี่

ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำลินจี่ที่เติมเอนไซม์ เพคตินเนสลงในเนื้อลินจี่ตีปั่น ความเข้มข้นร้อยละ 0.10, 0.20 และ 0.30 และทำการสกัดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักหาร้อยละปริมาณผลผลิต วัดความเป็น กรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก และค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 ได้ผลแสดงดังตาราง 4.1

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำลินจี่โดยใช้เอนไซม์เพคตินเนส พิจารณาจากความเข้มข้น ของเอนไซม์และเวลาในการสกัดโดยใช้ Response surface โปรแกรม Design expert V.7.0 นำ ค่าเฉลี่ยของปริมาณผลผลิต ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด ทั้งหมดในรูปกรดมาลิก และค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 จากตาราง 4.1 มาวิเคราะห์ความ แปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังตาราง 4.2 และผลวิเคราะห์สมการถดถอยซึ่งเป็นสมการเส้นตรง (Linear model) ได้ผลดังตาราง 4.3 และ 4.4

จากตาราง 4.4 พิจารณาสมการความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตซึ่งมีค่า $R^2 = 0.9011$ พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสและเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสหรือเพิ่มเวลาในการสกัดต่างมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง โดยพบว่าการสกัดน้ำลินจี่ที่สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสร้อยละ 0.10 และใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือ ร้อยละ 75.33 การที่เพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงนั้นอาจเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ทำให้แอกติวิตีของเอนไซม์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีจำนวนโมเลกุลของเอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยากับสับสเตรทมากขึ้นจนกระทั่งถึงความเข้มข้นของเอนไซม์ระดับหนึ่งจะให้แอกติวิตีสูงสุด หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์สูงขึ้นกลับทำให้แอกติวิตีลดลง เนื่องจากหมู่ที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์จะถูกบดบัง โดยสายโมเลกุลที่ยาวของเอนไซม์เองทำให้หมู่ที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสับสเตรทได้ (กมลทิพย์, 2537) และเกิดการรวมตัวของโปรตีนกับเพคตินเพิ่มขึ้น (Lee และคณะ, 2006) และพบว่าการทดลองแตกต่างจากการทดลองของดวงกรณ์ (2546) ที่ศึกษาการแปรรูปน้ำขนุนเข้มข้นโดยใช้เอนไซม์เพคตินเนสที่ความเข้มข้น 6 ระดับ คือ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าร้อยละของน้ำขนุนเข้มข้นที่สกัดได้มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ในทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด และให้ปริมาณน้ำขนุนสกัดสูงสุดที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.10 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัม ซึ่งการใช้เอนไซม์จะเข้าไปช่วยย่อยเนื้อเยื่อทำให้ปริมาณน้ำมากขึ้น เนื่องจากเนื้อเยื่อของเซลล์ผลไม้ถูกทำลายแล้วปลดปล่อยของเหลวออกมา ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินในขนุนตีป่นได้มากขึ้น จึงมีผลทำให้ได้ร้อยละของน้ำขนุนสกัดสูงขึ้น การที่ผลการทดลองต่างกัน ก็เนื่องจากระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในการศึกษาแตกต่างกัน การทดลองของดวงกรณ์เป็นการศึกษาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ในระดับต่ำ และระดับสูงสุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด แต่การทดลองที่ศึกษากำหนดระดับความเข้มข้นของเอนไซม์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.10-0.30 ซึ่งผลการทดลองเหมือนกัน คือ ปริมาณผลผลิตสูงสุดที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.10

ความเป็นกรด-ด่างมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8750 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสและเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมีแนวโน้มทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง โดยเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมง มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 3.88 เป็น 3.86 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7000 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ เพคติเนสและเวลาในการสกัด ไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสหรือเวลาในการสกัด มีแนวโน้มทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมง มีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเพิ่มขึ้นจาก 0.65 เป็น 0.67 การที่ปริมาณกรดสูงขึ้นอาจเกิดจากปฏิกิริยา การย่อยสลายสารประกอบเพคตินโดยเอนไซม์เพคติเนส

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8750 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส และเวลาในการสกัด ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เวลาในการสกัดที่ยาวนานมีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้เอนไซม์เพคติเนสจะช่วยปลดปล่อยโพลีแซคคาไรด์จากผนังเซลล์ ของผลไม้ นอกจากนี้ยังช่วยกำจัด pectic material ด้วยจึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำผลไม้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pilnik และ Voragen (1991) ที่พบว่า การใช้เอนไซม์ เพคติเนสกับแอปเปิ้ลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของซ้อลัดดา และ สายสนม (2544) ที่ศึกษาการสกัดน้ำมะม่วงโดยใช้เอนไซม์เพคติเนส พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ไปย่อยสลายสารเพคติก ทำให้ได้สารประกอบที่ละลายน้ำปริมาณมากขึ้น

ค่าสี L^* (ความสว่าง) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8196 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสทำให้ค่าสี L^* ลดลงเช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดทำให้ค่าสี L^* ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Pilnik และ Voragen (1991) ที่รายงานว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสทำให้ค่าสี L^* ของน้ำพลัมลดลงประมาณร้อยละ 30 เนื่องจากเอนไซม์เพคติเนสจะไปเพิ่มการปลดปล่อยรงควัตถุของเซลล์ออกมาแต่เนื่องจากรงควัตถุในน้ำล้นจี้อยู่ในรูปของลิวโคแอนโทไซยานินซึ่งไม่มีสีจึงทำให้ค่าสี L^* เปลี่ยนแปลงไม่มาก และงานวิจัยของ Abdullah และคณะ (2007) ที่พบว่าเวลาในการสกัดนานขึ้นมีผลทำให้ค่าสี L^* ลดลงเนื่องจากเกิดการรวมตัวของสารประกอบแทนนินเพิ่มขึ้น

สำหรับค่าสี a^* (สีแดง) ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8924 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสและเวลาในการสกัดมีผลต่อค่าสี a^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่ม

ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสทำให้ค่าสี a^* เพิ่มขึ้น (สีเขียวมากขึ้น) แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมีผลทำให้ค่าสี a^* ลดลง (สีเขียวลดลง) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกลไกเอนโทไซยานินในน้ำลึนจีเกิดการสลายตัว (Wu, 1970)

ค่าสี b^* (สีเหลือง) ค่าสี C^* (ความเข้มของสี) และค่าสี H° (เฉดสี) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7008, 0.7601 และ 0.8167 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสและเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อค่าสี b^* ค่าสี C^* และค่าสี H° อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ความเข้มข้นของเอนไซม์ยิ่งสูงและเวลาในการสกัดยิ่งนานมีแนวโน้มทำให้ค่าสี b^* และค่าสี C^* เพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มทำให้ค่าสี H° ลดลงเป็นผลจากค่าสี a^* ที่ลดลง

ตาราง 4.1 ปริมาณผลผลิต ผลวิเคราะห์ทางเคมี และค่าสีของน้ำล้นจีที่สกัดด้วยเอโนไซม์เพคตินเอส

| สิ่งทดลอง | ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | ปริมาณกรดทั้งหมด ในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | ค่าสี | | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------------|---|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | | L* | a* | b* | C* | H° |
| 1 | 75.33 ± 1.15 | 3.88 ± 0.01 | 18.4 ± 0.20 | 0.65 ± 0.01 | 53.31 ± 0.76 | -0.61 ± 0.26 | 3.12 ± 0.41 | 3.18 ± 0.32 | 99.8 ± 0.42 |
| 2 | 75.00 ± 1.00 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 53.23 ± 0.23 | -0.45 ± 0.24 | 3.15 ± 0.29 | 3.20 ± 0.23 | 99.7 ± 0.35 |
| 3 | 74.67 ± 1.15 | 3.88 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.65 ± 0.01 | 53.11 ± 0.90 | -0.77 ± 0.18 | 3.19 ± 0.16 | 3.26 ± 0.27 | 99.2 ± 0.45 |
| 4 | 74.00 ± 2.00 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 52.87 ± 0.28 | -0.56 ± 0.21 | 3.27 ± 0.31 | 3.30 ± 0.20 | 99.5 ± 0.32 |
| 5 | 74.67 ± 1.15 | 3.87 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.66 ± 0.01 | 53.14 ± 0.71 | -0.61 ± 0.31 | 3.19 ± 0.19 | 3.26 ± 0.19 | 99.5 ± 0.30 |
| 6 | 74.67 ± 1.15 | 3.87 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.66 ± 0.01 | 53.03 ± 0.98 | -0.57 ± 0.16 | 3.25 ± 0.23 | 3.29 ± 0.26 | 99.7 ± 0.58 |
| 7 | 75.00 ± 1.00 | 3.88 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.65 ± 0.01 | 53.21 ± 0.24 | -0.67 ± 0.11 | 3.15 ± 0.19 | 3.23 ± 0.30 | 99.4 ± 0.21 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.2 ANOVA ของแต่ละค่าตอบสนองของน้ำล้นจี่สกัดด้วยเอโนไซม์เพคตินเนส

| Source | df | Sum of squares | | | | | | | | |
|----------------|----|--------------------------|--------------------------|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | ค่าสี L* | ค่าสี a* | ค่าสี b* | ค่าสี C* | ค่าสี H° |
| Model | 2 | 0.94 ** | 7.50x10 ⁻⁵ NS | 7.50x10 ⁻³ NS | 1.00x10 ⁻² NS | 0.10 * | 0.05 ** | 0.01 NS | 9.1 x10 ⁻³ NS | 0.21 NS |
| Residual | 4 | 0.10 | 1.07x10 ⁻⁵ | 1.07x10 ⁻³ | 4.29x10 ⁻³ | 0.02 | 6.32x10 ⁻³ | 5.41x10 ⁻³ | 2.87x10 ⁻³ | 0.05 |
| - Lack-of-fit | 2 | 0.03 NS | 1.07x10 ⁻⁵ | 1.07x10 ⁻³ | 4.29x10 ⁻³ | 6.42x10 ⁻³ NS | 1.26x10 ⁻³ NS | 3.44x10 ⁻⁴ NS | 1.07x10 ⁻³ NS | 4.76x10 ⁻⁴ NS |
| -Pure error | 2 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 5.07x10 ⁻³ | 5.07x10 ⁻³ | 1.80x10 ⁻³ | 0.05 |
| R ² | | 0.9011 | 0.8750 | 0.8750 | 0.7000 | 0.8196 | 0.8924 | 0.7008 | 0.7601 | 0.8167 |
| C.V. | | 0.21 | 0.05 | 0.10 | 4.88 | 0.14 | 6.56 | 1.37 | 0.95 | 0.13 |

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

NS แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ตาราง 4.3 สมการถดถอยที่ไม่ได้ถดถอยห้สของค่าตอบสนองของน้ำล้นจืดสกัดด้วยเอนไซม์เพคตินเอส

| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------|---------------------------|----------------|
| ปริมาณผลผลิต | $74.76 - 0.41A - 0.25B$ | 0.9011 |
| ค่าสี L* | $53.13 - 0.14A - 0.08B$ | 0.8196 |
| ค่าสี a* | $(-0.61) - 0.07A + 0.09B$ | 0.8924 |

หมายเหตุ : A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเอส
B แทน เวลาในการสกัด

ตาราง 4.4 สมการถดถอยที่ถดถอยห้สแล้วของค่าตอบสนองของน้ำล้นจืดสกัดด้วยเอนไซม์เพคตินเอส

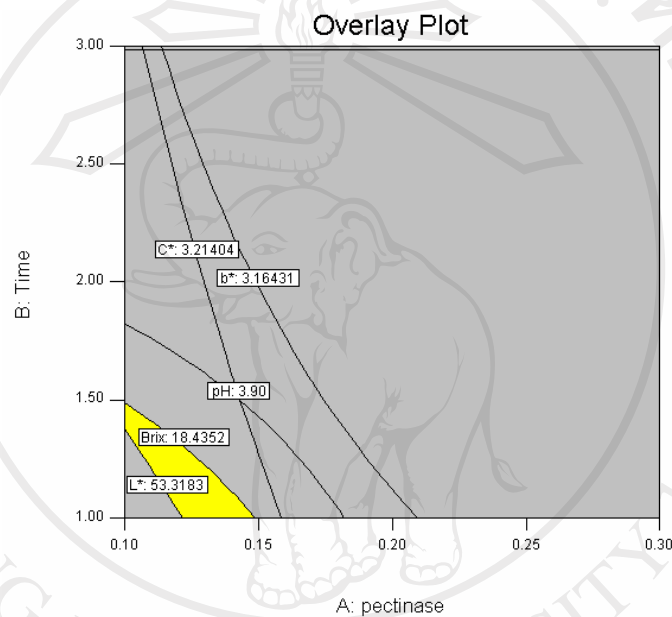
| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------|---------------------------|----------------|
| ปริมาณผลผลิต | $76.09 - 4.15A - 0.25B$ | 0.9011 |
| ค่าสี L* | $53.57 - 1.40A - 0.08B$ | 0.8196 |
| ค่าสี a* | $(-0.66) - 0.68A + 0.09B$ | 0.8924 |

หมายเหตุ : A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเอส
B แทน เวลาในการสกัด

เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ปริมาณผลผลิต ค่าสี L* และ ค่าสี a* มาสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนอง (Response surface) ได้ดังภาพ ง-1 ถึง ง-3 (ภาคผนวก)

เมื่อพิจารณาสมการของค่าตอบสนองแต่ละค่า พบว่าสมการของปริมาณผลผลิต ค่าสี L* และค่าสี a* มีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Variance ratio (significant) ค่า Lack of fit (non-significant) และค่า R² (มีค่ามากกว่า 0.750) พบว่าปริมาณผลผลิต ค่าสี L* และค่าสี a* มีค่า R² เท่ากับ 0.9011, 0.8196 และ 0.8924 ตามลำดับ แสดงว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเอสและเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณผลผลิต ค่าสี L* และค่าสี a* สำหรับความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก ค่าสี b* ค่าสี C* และค่าสี H⁰ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเอสและเวลาในการสกัด ดังนั้นในการเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมของน้ำล้นจืด โดยใช้เอนไซม์เพคตินเอสจึงพิจารณาสภาวะที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดซึ่งได้กราฟแสดงพื้นที่สภาวะที่เหมาะสม ดังภาพ 4.1 และเพื่อเป็นการ

ลดต้นทุนในการสกัดน้ำลีนจี้จะเลือกใช้สภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่ำ และระยะเวลาในการสกัดสั้น โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ การใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส ร้อยละ 0.12 เวลาในการสกัด 1.14 ชั่วโมง ให้ค่าทำนายคือ ปริมาณผลผลิตร้อยละ 75.31 ค่าสี L* เท่ากับ 53.31 และค่าสี a* เท่ากับ (-0.65) เมื่อนำสภาวะที่ได้ไปทดลอง พบว่าได้ปริมาณผลผลิต ร้อยละ 75.67 ± 0.58 ค่าสี L* เท่ากับ 53.29 ± 0.36 และค่าสี a* เท่ากับ $(-0.64) \pm 0.09$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้ (ตาราง 4.5)



ภาพ 4.1 กราฟพื้นที่สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำลีนจี้สกัดด้วยเอนไซม์เพคติเนส

ตาราง 4.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากการทำนายและค่าที่วัดได้จริงของน้ำลีนจี้สกัดด้วย เอนไซม์เพคติเนส

| คุณลักษณะ | ค่าการทำนาย | ค่าที่วัดได้จริง | ร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|-----------------------|-------------|------------------|-----------------------|
| ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | 75.31 | 75.67 ± 0.58 | 0.48 |
| ค่าสี L* | 53.31 | 53.29 ± 0.36 | 0.04 |
| ค่าสี a* | -0.65 | -0.64 ± 0.09 | 1.54 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อใช้ในการสกัดน้ำลันจิ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำลันจิที่เติมเอนไซม์เซลลูเลสลงในเนื้อลันจิที่ปนความเข้มข้นร้อยละ 0.10, 0.20 และ 0.30 และทำการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักหาร้อยละปริมาณผลผลิต วัดความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก และค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 ได้ผลแสดงดังตาราง 4.6

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำลันจิโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส พิจารณาจากความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการสกัดโดยใช้ Response surface โปรแกรม Design expert V.7.0 โดยนำค่าเฉลี่ยของปริมาณผลผลิต ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก และค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 จากตาราง 4.6 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังตาราง 4.7 และผลวิเคราะห์สมการถดถอยซึ่งเป็นสมการเส้นตรง (Linear model) ได้ผลดังตาราง 4.8 และ 4.9

จากตาราง 4.9 พิจารณาสมการความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9011 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส และเวลาในการสกัด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง และถ้าเพิ่มเวลาในการสกัดทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงเช่นเดียวกัน โดยพบว่าการสกัดน้ำลันจิที่สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.10 และใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือ ร้อยละ 75.00 อาจเนื่องจากสารประกอบที่เป็นสับสเตรทของเอนไซม์ คือ เซลลูโลสได้ถูกย่อยสลายไปอย่างสมบูรณ์แล้ว (Sakho และคณะ, 1998) ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จะกลับทำให้แอกติวิตีลดลงเนื่องจากหมู่ที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์จะถูกบดบังโดยสายโมเลกุลที่ยาวของเอนไซม์เอง ทำให้หมู่ที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสับสเตรทได้ (กมลทิพย์, 2537)

ความเป็นกรด-ด่างมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7000 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมีแนวโน้มทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง โดยเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมง มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 3.86 เป็น 3.84 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8750 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ เซลลูเลสและเวลาในการสกัด ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัด มีแนวโน้มทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเวลาที่ใช้ในการสกัด เพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมง มีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเพิ่มขึ้นจาก 0.66 เป็น 0.68 ทั้งนี้เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ เมื่อเวลาสกัดนานขึ้น ผนังเซลล์ถูกย่อยสลายได้มากขึ้นเป็นเหตุให้สารละลายต่างๆ ภายในเซลล์ออกมาได้มากขึ้น

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8750 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัด ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เวลาในการสกัดที่ยาวนานมีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสจะย่อยผนังเซลล์ทำให้เซลลูโลสสลายตัวได้ส่วนที่ละลายน้ำปริมาณมากขึ้น (ช่อถัสดา และ สายสนม, 2544)

ค่าสี L^* (ความสว่าง) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9793 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัดมีผลต่อค่าสี L^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจะทำให้ค่าสี L^* ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์หรือเพิ่มเวลาในการสกัด สำหรับค่าสี a^* (สีเขียว) ค่าสี b^* (สีเหลือง) ค่าสี C^* (ความเข้มของสี) และค่าสี H° (เฉดสี) ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8300, 0.9823, 0.8750 และ 0.9674 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ค่าสี b^* ค่าสี C^* และค่าสี H° อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสหรือเพิ่มเวลาในการสกัดทำให้ค่าสี a^* ลดลง ค่าสี b^* ค่าสี C^* เพิ่มขึ้นและค่าสี H° ลดลง การที่ค่าสีเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสจะไปย่อยผนังเซลล์ ทำให้เพิ่มการปลดปล่อยลิพิดแอนโทไซยานิน และคาทีชินออกมาประกอบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อเวลาสกัดเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้สารทั้งสองชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงให้สารสีชมพู (Wu, 1970)

ตาราง 4.6 ปริมาณผลผลิต ผลวิเคราะห์ทางเคมี และค่าสีของน้ำล้นจีที่สกัดด้วยเอทิลอะซิเตท

| สิ่งทดลอง | ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | ปริมาณกรดทั้งหมด ในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | ค่าสี | | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------------|---|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | | L* | a* | b* | C* | H° |
| 1 | 75.00 ± 1.00 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.66 ± 0.01 | 54.17 ± 0.27 | -0.52 ± 0.11 | 3.25 ± 0.25 | 3.30 ± 0.24 | 99.6 ± 1.45 |
| 2 | 74.33 ± 1.15 | 3.84 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.68 ± 0.01 | 53.49 ± 0.25 | -0.43 ± 0.10 | 3.36 ± 0.22 | 3.41 ± 0.25 | 98.9 ± 1.08 |
| 3 | 75.00 ± 1.00 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 53.90 ± 0.28 | -0.53 ± 0.12 | 3.30 ± 0.50 | 3.32 ± 0.28 | 99.4 ± 1.10 |
| 4 | 74.00 ± 1.00 | 3.84 ± 0.01 | 18.6 ± 0.20 | 0.68 ± 0.01 | 53.23 ± 0.60 | -0.34 ± 0.11 | 3.42 ± 0.28 | 3.43 ± 0.36 | 98.8 ± 1.05 |
| 5 | 73.67 ± 0.58 | 3.85 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 53.66 ± 0.22 | -0.47 ± 0.13 | 3.34 ± 0.30 | 3.39 ± 0.34 | 99.2 ± 1.50 |
| 6 | 74.33 ± 1.53 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 53.63 ± 0.34 | -0.45 ± 0.09 | 3.34 ± 0.16 | 3.40 ± 0.12 | 99.2 ± 0.72 |
| 7 | 74.33 ± 0.58 | 3.85 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 53.77 ± 0.75 | -0.50 ± 0.16 | 3.32 ± 0.20 | 3.35 ± 0.41 | 99.3 ± 0.53 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.7 ANOVA ของแต่ละค่าตอบสนองของน้ำล้นจีสกัดด้วยเอโนไซม์เซลลูเลส

| Source | df | Sum of squares | | | | | | | | |
|----------------|----|--------------------------|--------------------------|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | ค่าสี L* | ค่าสี a* | ค่าสี b* | ค่าสี C* | ค่าสี H° |
| Model | 2 | 0.94 ** | 1.00x10 ⁻² NS | 7.50x10 ⁻³ NS | 7.50x10 ⁻⁵ NS | 0.53 ** | 0.02 ** | 0.02 ** | 0.01 ** | 0.44 ** |
| Residual | 4 | 0.10 | 4.29x10 ⁻³ | 1.07x10 ⁻³ | 1.07x10 ⁻⁵ | 0.01 | 4.34x10 ⁻³ | 2.93x10 ⁻⁴ | 1.79x10 ⁻³ | 0.02 |
| - Lack-of-fit | 2 | 0.03 NS | 4.29x10 ⁻³ | 1.07x10 ⁻³ | 2.10x10 ⁻⁷ NS | 2.26x10 ⁻⁴ NS | 3.08x10 ⁻³ NS | 2.62x10 ⁻⁵ NS | 3.86x10 ⁻⁴ NS | 8.33x10 ⁻³ NS |
| -Pure error | 2 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.26x10 ⁻³ | 2.67x10 ⁻⁴ | 1.40x10 ⁻³ | 6.67x10 ⁻³ |
| R ² | | 0.9011 | 0.7000 | 0.8750 | 0.8750 | 0.9793 | 0.8300 | 0.9823 | 0.8750 | 0.9674 |
| C.V. | | 0.22 | 0.85 | 0.10 | 0.27 | 0.10 | 7.12 | 0.26 | 0.63 | 0.06 |

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

NS แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ตาราง 4.8 สมการถดถอยที่ไม่ได้ถดถอยห้สของค่าตอบสนองของน้ำล้นจืดสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------|---------------------------------------|----------------|
| ปริมาณผลผลิต | $74.24 - 0.42A - 0.25B$ | 0.9011 |
| ค่าสี L* | $53.69 - 0.13A - 0.34B$ | 0.9793 |
| ค่าสี a* | $(-0.46) + 0.02A + 0.07B$ | 0.8300 |
| ค่าสี b* | $3.33 + 0.03A + 0.06B$ | 0.9823 |
| ค่าสี C* | $3.37 + 1.00 \times 10^{-2}A + 0.55B$ | 0.8750 |
| ค่าสี H° | $99.20 - 0.08A - 0.33B$ | 0.9674 |

หมายเหตุ : A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส

B แทน เวลาในการสกัด

ตาราง 4.9 สมการถดถอยที่ถดถอยห้สแล้วของค่าตอบสนองของน้ำล้นจืดสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------|---------------------------|----------------|
| ปริมาณผลผลิต | $75.57 - 4.15A - 0.25B$ | 0.9011 |
| ค่าสี L* | $54.63 - 1.33A - 0.34B$ | 0.9793 |
| ค่าสี a* | $(-0.64) + 0.20A + 0.07B$ | 0.8300 |
| ค่าสี b* | $3.16 + 0.28A + 0.06B$ | 0.9823 |
| ค่าสี C* | $3.24 + 0.10A + 0.06B$ | 0.8750 |
| ค่าสี H° | $100.00 - 0.75A - 0.33B$ | 0.9674 |

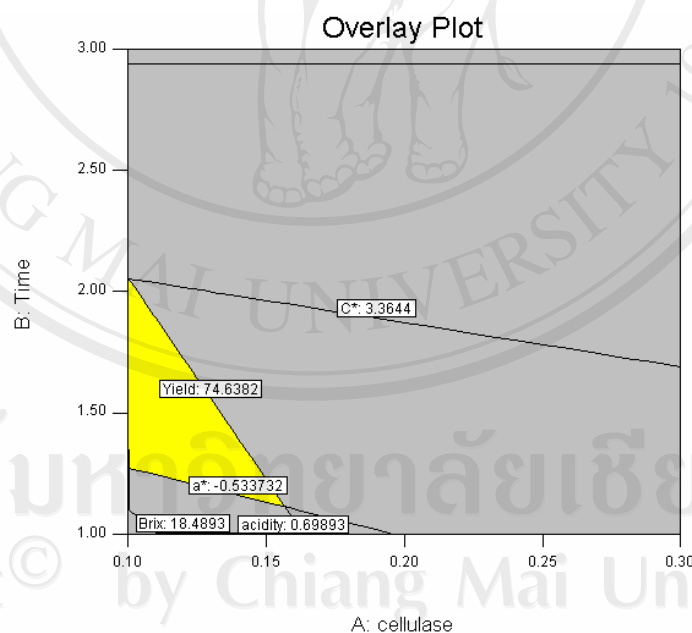
หมายเหตุ : A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส

B แทน เวลาในการสกัด

เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ปริมาณผลผลิต ค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° มาสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนอง (Response surface) ได้ดังภาพ ง-4 ถึง ง-9 (ภาคผนวก)

เมื่อพิจารณาสมการของค่าตอบสนองแต่ละค่า พบว่าสมการของปริมาณผลผลิต ค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° มีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Variance ratio (significant) ค่า Lack of fit (non-significant) และค่า R² (มีค่ามากกว่า 0.750) ซึ่งปริมาณผลผลิต ค่าสี L*, a*, b*, C* และ H°

มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9011, 0.8235, 0.8300, 0.9823, 0.8750 และ 0.9674 ตามลำดับ แสดงว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณผลผลิต ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H° สำหรับความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัด ดังนั้นในการเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมของน้ำล้นจี โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสจึงพิจารณาสภาวะที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดซึ่งได้กราฟแสดงพื้นที่สภาวะที่เหมาะสม ดังภาพ 4.2 และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการสกัดน้ำล้นจี จะเลือกใช้สภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่ำและระยะเวลาในการสกัดสั้น โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ การใช้ความเข้มข้นของเซลลูเลสร้อยละ 0.10 เวลาในการสกัด 1.33 ชั่วโมง ให้ค่าทำนาย คือ ปริมาณผลผลิตร้อยละ 74.82 ค่าสี L^* เท่ากับ 54.05 ค่าสี a^* เท่ากับ (-0.53) ค่าสี b^* เท่ากับ 3.27 ค่าสี C^* เท่ากับ 3.32 และค่าสี H° เท่ากับ 99.5 เมื่อนำสภาวะที่ได้ไปทดลอง พบว่าได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 74.67 ± 0.58 ค่าสี L^* เท่ากับ 53.98 ± 0.23 ค่าสี a^* เท่ากับ $(-0.53) \pm 0.04$ ค่าสี b^* เท่ากับ 3.27 ± 0.14 ค่าสี C^* เท่ากับ 3.32 ± 0.13 และค่าสี H° เท่ากับ 99.5 ± 0.21 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้ (ตาราง 4.10)



ภาพ 4.2 กราฟพื้นที่สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำล้นจีสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ตาราง 4.10 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากการทำนายและค่าที่วัดได้จริงของน้ำลินจี่สกัดด้วย
เอนไซม์เซลลูเลส

| คุณลักษณะ | ค่าการทำนาย | ค่าที่วัดได้จริง | ร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|-----------------------|-------------|------------------|-----------------------|
| ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | 74.82 | 74.67 ± 0.58 | 0.20 |
| ค่าสี L* | 54.05 | 53.98 ± 0.72 | 0.13 |
| ค่าสี a* | -0.53 | -0.52 ± 0.17 | 1.89 |
| ค่าสี b* | 3.27 | 3.29 ± 0.26 | 0.61 |
| ค่าสี C* | 3.32 | 3.35 ± 0.13 | 0.90 |
| ค่าสี H° | 99.5 | 99.6 ± 0.21 | 0.10 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์เพคตินเอนร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อใช้ในการสกัดน้ำลินจี่

ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำลินจี่ที่เติมเอนไซม์เพคตินเอนร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสในอัตราส่วน 1: 1 ลงในเนื้อลินจี่ตีปั่นความเข้มข้นร้อยละ 0.10, 0.20 และ 0.30 และทำการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งนำน้ำหนักหาร้อยละปริมาณผลผลิต วัดความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก และค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° ได้ผลแสดงดังตาราง 4.11

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำลินจี่ โดยใช้เอนไซม์เพคตินเอนร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส พิจารณาจากความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการสกัดโดยใช้ Response surface โปรแกรม Design expert V.7.0 โดยนำค่าเฉลี่ยของปริมาณผลผลิต ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก และค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° จากตาราง 4.1 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังตาราง 4.12 และผลวิเคราะห์สมการถดถอยซึ่งเป็นสมการเส้นตรง (Linear model) ได้ผลดังตาราง 4.13 และ 4.14

จากตาราง 4.14 พิจารณาสมการความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8337 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส และเวลาในการสกัด มีผลต่อปริมาณผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากสับสเตรทของเอนไซม์เพคติเนสและเอนไซม์เซลลูเลส คือ เพคตินและเซลลูโลสนั้นเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งขัดขวางการสกัดน้ำผลไม้ เมื่อเพคตินและเซลลูโลสถูกทำลายจึงสกัดน้ำผลไม้ได้ง่ายขึ้นทำให้ของเหลวภายในเซลล์พืชละลายออกมาได้มากขึ้น (Rombouts และ Pilnik, 1997; Mehrlander และคณะ, 2002) และการย่อยสลายสารประกอบเพคตินด้วยเอนไซม์เพคติเนสทำให้การย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นไปได้ง่ายขึ้น เนื่องจากไม่มีการขัดขวางปฏิกิริยาการย่อยสลายเซลลูโลสโดยสารประกอบเพคติน ทำให้น้ำผลไม้ที่อยู่ภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์ได้ซึ่งจะปลดปล่อยองค์ประกอบสำคัญ เช่น สารที่ให้กลิ่นรสออกมาด้วย (Noach, 1986) แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลง สำหรับสภาวะการสกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.30 และใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดคือ ร้อยละ 75.33 ซึ่งปริมาณผลผลิตของน้ำลิ้นจี่ที่ได้ สอดคล้องกับผลการทดลองของอรุณี และ ปราณี (2536) ที่พบว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสร้อยละ 0.05 ร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.06 ใช้เวลาสกัด 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตน้ำกล้วยร้อยละ 73

ความเป็นกรด-ด่างมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7532 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัด ไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เวลาในการสกัดที่ยาวนานมีแนวโน้มทำให้ความเป็นกรด-ด่างลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7604 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัด ไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เวลาในการสกัดที่ยาวนานมีแนวโน้มทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเพิ่มขึ้น

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8750 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เวลาในการสกัดที่ยาวนานมีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเพคติกและเส้นใยต่างๆ โดยเฉพาะเซลลูโลสสลายตัวทำให้ได้ส่วนที่ละลายน้ำปริมาณมากขึ้น (ช่อลัดดา และ สายสนม, 2544) จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำผลไม้เพิ่มขึ้น

ค่าสี L* (ความสว่าง) ค่าสี a* (สีเขียว) ค่าสี b* (สีเหลือง) ค่าสี C* (ความเข้มของสี) และค่าสี H° (เฉดสี) มีค่า R² เท่ากับ 0.9214, 0.8170, 0.8769, 0.9177 และ 0.9419 ตามลำดับ พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเอนร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัด มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่าสี C* และค่าสี H° อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเอนร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสทำให้ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* และค่าสี C* เพิ่มขึ้น แต่ค่าสี H° ลดลง เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดทำให้ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* และค่าสี C* ลดลง แต่ค่าสี H° เพิ่มขึ้น โดยถ้าเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัดจาก 1 เป็น 3 ชั่วโมง ทำให้ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* และค่าสี C* ลดลงจาก 55.11 เป็น 54.28, จาก (-0.71) เป็น (-0.51) (สีเขียวลดลง), จาก 2.92 เป็น 2.85 และจาก 2.78 เป็น 2.64 ตามลำดับ แต่ค่าสี H° จาก 102.1 เป็น 102.4 การที่ค่าสีของน้ำลีนี่เกิดการเปลี่ยนแปลงสาเหตุเกิดจากการย่อยสลายสารประกอบเพคติน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสให้อยู่ในรูปสารละลาย และการปลดปล่อยน้ำภายในโมเลกุลออกมามากขึ้น ทำให้น้ำลีนี่มีความขุ่นลดลงเป็นเหตุให้ค่าสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้น ค่าสีลดลงอาจเนื่องจากเกิด haze formation เป็นผลจากการรวมตัวของโปรตีนกับแทนนินหรือการรวมตัวของโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรต (Sin และคณะ, 2006)

ตาราง 4.11 ปริมาณผลผลิต ผลวิเคราะห์ทางเคมี และค่าสีของน้ำล้นจี่ที่สกัดด้วยเอนไซม์เพคตินเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส

| สิ่งทดลอง | ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | ปริมาณกรดทั้งหมด ในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | ค่าสี | | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------------|---|---|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | | L* | a* | b* | C* | H° |
| 1 | 74.67 ± 0.58 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 55.11 ± 1.36 | -0.70 ± 0.21 | 2.92 ± 0.29 | 2.78 ± 0.18 | 102.1 ± 0.81 |
| 2 | 74.33 ± 0.58 | 3.85 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 54.28 ± 0.22 | -0.51 ± 0.10 | 2.85 ± 0.41 | 2.64 ± 0.23 | 102.4 ± 0.66 |
| 3 | 75.33 ± 1.15 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.68 ± 0.01 | 56.74 ± 1.52 | -0.72 ± 0.24 | 3.38 ± 0.26 | 3.12 ± 0.17 | 101.2 ± 1.52 |
| 4 | 74.67 ± 1.15 | 3.84 ± 0.01 | 18.6 ± 0.01 | 0.69 ± 0.01 | 56.14 ± 1.23 | -0.58 ± 0.23 | 3.14 ± 0.15 | 2.94 ± 0.14 | 101.6 ± 0.72 |
| 5 | 75.00 ± 1.00 | 3.85 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.68 ± 0.01 | 54.98 ± 0.39 | -0.55 ± 0.21 | 3.21 ± 0.29 | 2.97 ± 0.17 | 101.6 ± 1.80 |
| 6 | 74.67 ± 0.58 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 55.42 ± 0.97 | -0.64 ± 0.14 | 3.07 ± 0.13 | 2.83 ± 0.22 | 101.7 ± 0.64 |
| 7 | 74.67 ± 1.15 | 3.86 ± 0.01 | 18.5 ± 0.12 | 0.67 ± 0.01 | 55.32 ± 0.63 | -0.64 ± 0.19 | 3.10 ± 0.12 | 2.87 ± 0.14 | 101.7 ± 0.56 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.12 ANOVA ของแต่ละค่าตอบสนองของน้ำล้นจืดสกัดโดยเอนไซม์เพคตินเอนร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส

| Source | df | Sum of squares | | | | | | | | |
|----------------|----|--------------------------|--------------------------|---|---|----------|--------------------------|----------|--------------------------|-----------------------|
| | | ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | ค่าสี L* | ค่าสี a* | ค่าสี b* | ค่าสี C* | ค่าสี H° |
| Model | 2 | 0.50 ** | 2.75x10 ⁻⁴ NS | 7.50x10 ⁻³ NS | 2.57x10 ⁻⁴ NS | 3.56 ** | 0.03 * | 0.16 * | 0.13 ** | 0.84 ** |
| Residual | 4 | 0.10 | 9.64x10 ⁻⁵ | 1.07x10 ⁻³ | 8.09x10 ⁻⁵ | 0.30 | 6.55x10 ⁻³ | 0.02 | 0.01 | 0.05 |
| - Lack-of-fit | 2 | 0.03 NS | 2.98x10 ⁻⁵ NS | 1.07x10 ⁻³ | 1.23x10 ⁻⁵ NS | 0.20 NS | 1.15x10 ⁻³ NS | 0.01 NS | 1.09x10 ⁻³ NS | 0.05 NS |
| -Pure error | 2 | 0.07 | 6.67x10 ⁻⁵ | 0.00 | 6.87x10 ⁻⁵ | 0.11 | 5.40x10 ⁻³ | 0.11 | 0.01 | 6.67x10 ⁻³ |
| R ² | | 0.8337 | 0.7404 | 0.8750 | 0.7604 | 0.9214 | 0.8170 | 0.8769 | 0.9177 | 0.9419 |
| C.V. | | 0.21 | 0.15 | 0.10 | 0.77 | 0.50 | 6.53 | 2.46 | 1.86 | 0.11 |

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

NS แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ตาราง 4.13 สมการถดถอยที่ไม่ได้ถดถอยหีสของค่าตอบสนองของน้ำลื่นจีสกัดโดยเอนไซม์
เพคตินสรว่มกับเอนไซม์เซลลูเลส

| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------|---------------------------|----------------|
| ปริมาณผลผลิต | $74.76 + 0.25A - 0.25B$ | 0.8337 |
| ค่าสี L* | $55.43 + 0.87A - 0.36B$ | 0.9214 |
| ค่าสี a* | $(-0.62) - 0.02A + 0.08B$ | 0.8170 |
| ค่าสี b* | $3.10 + 0.19A - 0.08B$ | 0.8769 |
| ค่าสี C* | $2.88 + 0.16A - 0.08B$ | 0.9177 |
| ค่าสี H° | $101.76 - 0.42A + 0.18B$ | 0.9419 |

หมายเหตุ : A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินสรว่มกับเอนไซม์เซลลูเลส
B แทน เวลาในการสกัด

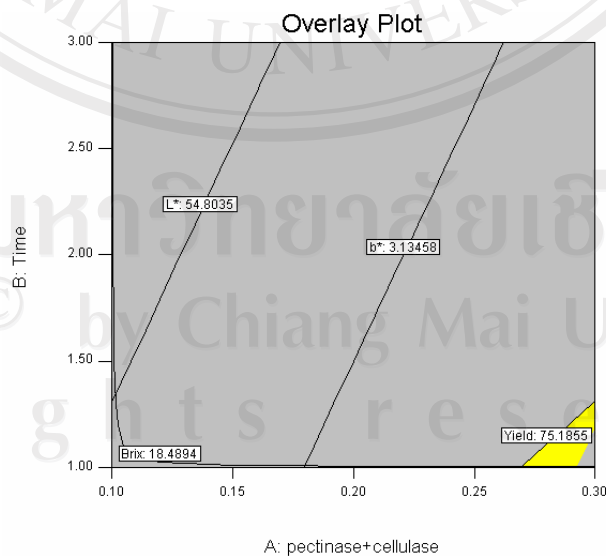
ตาราง 4.14 สมการถดถอยที่ถดถอยหีสแล้วของค่าตอบสนองของน้ำลื่นจีสกัดโดยเอนไซม์
เพคตินสรว่มกับเอนไซม์เซลลูเลส

| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------|---------------------------|----------------|
| ปริมาณผลผลิต | $74.76 + 2.50A - 0.25B$ | 0.8337 |
| ค่าสี L* | $54.40 + 8.73A - 0.36B$ | 0.9214 |
| ค่าสี a* | $(-0.74) - 0.23A + 0.08B$ | 0.8170 |
| ค่าสี b* | $2.88 + 1.88A - 0.08B$ | 0.8769 |
| ค่าสี C* | $2.72 + 1.60A - 0.08B$ | 0.9177 |
| ค่าสี H° | $102.26 - 4.25A + 0.18B$ | 0.9419 |

หมายเหตุ : A แทน ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินสรว่มกับเอนไซม์เซลลูเลส
B แทน เวลาในการสกัด

เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ปริมาณผลผลิต ค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° มาสร้างกราฟ
พื้นที่การตอบสนอง (Response surface) ได้ดังภาพ ง-10 ถึง ง-15 (ภาคผนวก)

เมื่อพิจารณาสมการของค่าตอบสนองแต่ละค่า พบว่าสมการของปริมาณผลผลิต ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H° มีความเหมาะสมโดยพิจารณาจากค่า Variance ratio (significant) ค่า Lack of fit (non-significant) และค่า R^2 (มีค่ามากกว่า 0.750) ซึ่งปริมาณผลผลิต ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H° มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8337, 0.9214, 0.8170, 0.8769, 0.9177 และ 0.9419 ตามลำดับ แสดงว่าความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการสกัด มีผลต่อปริมาณผลผลิต ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H° สำหรับความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส และเวลาในการสกัด ดังนั้นในการเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมของน้ำลิ้นจี่โดยใช้เอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส จึงพิจารณาสภาวะที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด ซึ่งได้กราฟแสดงพื้นที่สภาวะที่เหมาะสม ดังภาพ 4.3 และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการสกัดน้ำลิ้นจี่ จะเลือกใช้สภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่ำและระยะเวลาในการสกัดสั้นโดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ การใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.29 เวลาในการสกัด 1.04 ชั่วโมง ได้ค่าทำนาย คือ ปริมาณผลผลิตร้อยละ 75.23 ค่าสี L^* เท่ากับ 56.57 ค่าสี a^* เท่ากับ (-0.72) ค่าสี b^* เท่ากับ 3.34 ค่าสี C^* เท่ากับ 3.10 และค่าสี H° เท่ากับ 101.2 เมื่อนำสภาวะที่ได้ไปทดลอง พบว่าปริมาณผลผลิตร้อยละ 75.27 ± 0.42 ค่าสี L^* เท่ากับ 55.11 ± 0.51 ค่าสี a^* เท่ากับ (-0.67 ± 0.14) ค่าสี b^* เท่ากับ 3.02 ± 0.18 ค่าสี C^* เท่ากับ 2.93 ± 0.17 และค่าสี H° เท่ากับ 101.6 ± 0.26 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้ (ตาราง 4.15)



ภาพ 4.3 กราฟพื้นที่สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำลิ้นจี่ด้วยเอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส

ตาราง 4.15 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ห่าจากการทำนายและค่าที่วัดได้จริงของน้ำล้นจี่ด้วยเอนไซม์ เพคตินเสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส

| คุณลักษณะ | ค่าการทำนาย | ค่าที่วัดได้จริง | ร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|-----------------------|-------------|------------------|-----------------------|
| ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | 75.23 | 75.27 ± 0.42 | 0.05 |
| ค่าสี L* | 56.57 | 55.11 ± 0.51 | 2.58 |
| ค่าสี a* | -0.72 | -0.67 ± 0.14 | 6.94 |
| ค่าสี b* | 3.34 | 3.02 ± 0.18 | 9.58 |
| ค่าสี C* | 3.10 | 2.93 ± 0.17 | 5.48 |
| ค่าสี H° | 101.2 | 101.6 ± 0.26 | 0.40 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การศึกษาคัดเลือกชนิดของเอนไซม์เพื่อใช้ในการสกัดน้ำล้นจี่ ได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดของเอนไซม์แต่ละชนิดดังนี้คือ เอนไซม์เพคตินเสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสใช้ความเข้มข้นร้อยละ 0.12 เป็นเวลา 1.14 ชั่วโมง เอนไซม์เซลลูเลสใช้ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 เป็นเวลา 1.33 ชั่วโมง และเอนไซม์เพคตินเสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสใช้ความเข้มข้นร้อยละ 0.29 เป็นเวลา 1.04 ชั่วโมง ดังตาราง 4.19 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การสกัดน้ำล้นจี่โดยไม่เติมเอนไซม์ พบว่าปริมาณผลผลิตของน้ำล้นจี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการเติมเอนไซม์เพคตินเสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส และเอนไซม์เพคตินเสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสได้ปริมาณผลผลิตคือ ร้อยละ 75.67±0.58, 74.67±0.58 และ 75.27±0.14 ตามลำดับ มากกว่าการสกัดที่ไม่เติมเอนไซม์ซึ่งได้ปริมาณผลผลิตเพียงร้อยละ 61.00±1.00 การใช้เอนไซม์ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเอนไซม์สามารถย่อยเนื้อเยื่อของล้นจี่ทำให้ได้ปริมาณน้ำมากขึ้น (ปราณี, 2547) และส่วนของ intermediary layer ซึ่งเป็นชั้นที่มี protopectinic network จับน้ำไว้ในโครงสร้างทำให้น้ำไม่ถูกปลดปล่อยออกมา การใช้เอนไซม์จะลดปริมาณโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะไปมีส่วนในการทำลายโครงสร้างของเจลที่อุ้มน้ำ และปลดปล่อยน้ำออกมาพร้อมกับเพิ่มสมบัติในการซึมผ่านของแข็ง (Sreenath และคณะ, 1984) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shah และ Nath (2007) รายงานว่าการเติมเอนไซม์ลงในเนื้อล้นจี่ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้นคือร้อยละ 68.93-79.21 ซึ่งมากกว่าการไม่เติมเอนไซม์ที่ได้ปริมาณผลผลิตเพียงร้อยละ 60.14 และจากงานวิจัยของวิภาดา และ ปราณี (2537) รายงานว่า ได้ใช้เอนไซม์เพคตินเสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส และอะมัยเลส เพื่อสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนและให้ค่าปริมาณผลผลิต

ของน้ำหัวเชื้อทุเรียนถึงร้อยละ 44.49 และงานวิจัยของช่อถัสดา และ สายสนม (2544) ที่พบว่า การใช้เอนไซม์เพคตินเอสในการสกัดน้ำมะม่วงทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ รุจิรา (2542) ที่ศึกษาการใช้เอนไซม์เพคตินเอสในการสกัดน้ำสาเล่ พบว่าปริมาณผลผลิตของน้ำสาเล่ ที่ไม่เติมเอนไซม์น้อยกว่าน้ำสาเล่ที่เติมเอนไซม์เพคตินเอส โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 50.08 และ 60.72 ตามลำดับ

จากตาราง 4.16 เนื่องจากปริมาณผลผลิตจากการใช้เอนไซม์เพคตินเอส เอนไซม์เซลลูเลส และเอนไซม์เพคตินเอสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จึงพิจารณาในเรื่องของความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้และราคาเอนไซม์ พบว่าการสกัดน้ำลิ้นจี่โดยใช้เอนไซม์เพคตินเอสใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.12 ราคาเอนไซม์ 45.60 บาทต่อเนื้อลิ้นจี่ 10 กิโลกรัม เอนไซม์เซลลูเลสใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.10 ราคาเอนไซม์ 47.00 บาทต่อเนื้อลิ้นจี่ 10 กิโลกรัม และเอนไซม์เซลลูเลสร่วมกับเอนไซม์เพคตินเอสใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.29 ราคาเอนไซม์ 123.75 บาทต่อเนื้อลิ้นจี่ 10 กิโลกรัม จะเห็นว่าการสกัดน้ำลิ้นจี่โดยใช้เอนไซม์เพคตินเอสนั้นมีราคาเอนไซม์ที่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงเลือกเอนไซม์เพคตินเอสในการสกัดน้ำลิ้นจี่โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 0.12 และใช้เวลาในการสกัด 1.14 ชั่วโมง เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

ตาราง 4.16 สภาวะที่ใช้ในการสกัดน้ำลิ้นจี่เมื่อไม่เติมเอนไซม์และเติมเอนไซม์เพคตินเอส เอนไซม์เซลลูเลส และเอนไซม์เพคตินเอสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส

| ชนิดของเอนไซม์ | ความเข้มข้น ของเอนไซม์ (ร้อยละ) | เวลาที่ใช้ ในการสกัด (ชั่วโมง) | ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) | ราคาเอนไซม์ที่ ใช้ต่อเนื้อลิ้นจี่ 10 กิโลกรัม |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
| ไม่เติมเอนไซม์ | 0 | 0 | 61.00 ^b ± 1.00 | 0.00 |
| เพคตินเอส | 0.12 | 1.14 | 75.67 ^a ± 0.58 | 45.60 |
| เซลลูเลส | 0.10 | 1.33 | 74.67 ^a ± 0.58 | 47.00 |
| เพคตินเอสร่วมกับเซลลูเลส | 0.29 | 1.04 | 75.27 ^a ± 0.42 | 123.75 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วางแผนการทดลอง Central composite design แบบ linear (2x2 Factorial experiment with 3 center points) โดยมีความผันแปร 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการสกัด 65-95 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 30-120 นาที นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินและวัดค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 ได้ผลแสดงดังตาราง 4.17 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน พิจารณาจากความเข้มข้นของแอนโทไซยานินและเวลาในการสกัดโดยใช้ Response surface โปรแกรม Design expert V.7.0 โดยนำค่าเฉลี่ยของปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 จากตาราง 4.17 มาวิเคราะห์ ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังตาราง 4.18 และผลวิเคราะห์สมการถดถอยซึ่งเป็นสมการเส้นตรง (Linear model) ได้ผลดังตาราง 4.19 และ 4.20

จากตาราง 4.20 พิจารณาสมการความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9060 พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดยิ่งสูงทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินยิ่งได้น้อย จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้มีปริมาณสูงสุด รองลงมา คือ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และปริมาณแอนโทไซยานินต่ำสุด คือ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจาก 65 องศาเซลเซียส เป็น 95 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงจาก 2.27 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 2.14 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Laleh และคณะ (2006) ที่ศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้ยิ่งน้อยลง เนื่องจากความร้อนไปทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัว ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Chiriboga และ Francis (1970) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับเวลาในการสกัดพบว่าถ้าเวลาสกัดยิ่งนานทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเช่นเดียวกัน โดยเมื่อเพิ่มเวลาจาก 30 นาที เป็น 120 นาที จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงจาก 2.27 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 2.22 มิลลิกรัมต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องจากแอนโทไซยานินที่พบในดอกอัญชัน ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเซลล์พินิดินที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ (Kuzuma และคณะ, 2003) จึงสามารถสกัดออกมาได้อย่างรวดเร็วในเวลาสั้น ประกอบกับโครงสร้างของเซลล์พินิดินที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีความคงตัวต่ำกว่าที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 (Cabrita และคณะ, 2007) ทำให้เกิดการสลายตัวเมื่อสกัดนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของยูพาพร (2547) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานิน

จากเปลือกมังคุดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 1 ในเมธานอลร้อยละ 95 พบว่าเวลาในการสกัด มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด โดยเวลาในการสกัดน้อยที่สุดที่ทำให้ได้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด คือ 1 ชั่วโมง และไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของสุภาพรณ และ อรไท (2529) ที่ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกมังคุดด้วยกรดไฮโดรคลอริกในเมธานอล โดยทำการศึกษาที่เวลาในการสกัด 3 ระดับ คือ 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นสามารถสกัดแอนโทไซยานินได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน และงานวิจัยของจาวรณ และ น้ำอ้อย (2547) ในการศึกษาวิธีการสกัดแอนโทไซยานินจากถั่วดำด้วยตัวทำละลายหลายชนิด พบว่าเวลาในการสกัด 150 นาที ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด คือ 22.08 มิลลิกรัม

ค่าสี L^* พิจารณาสมการความสัมพันธ์ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9382 พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมีผลต่อค่าสี L^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าสี L^* ลดลง ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 65 องศาเซลเซียส เป็น 95 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าสี L^* ลดลงจาก 8.81 เป็น 8.53 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำลายเซลล์ได้มากกว่าทำให้สารประกอบอื่นๆ ภายในดอกอัญชันละลายออกมาด้วย น้ำสีที่ได้จึงมีลักษณะขุ่นกว่า แต่เมื่อเวลาในการสกัดนานขึ้นทำให้ค่าสี L^* เพิ่มขึ้น โดยถ้าเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที เป็น 120 นาที มีค่าสี L^* เพิ่มขึ้นจาก 8.81 เป็น 8.93 เนื่องจากเกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน สำหรับค่าสี a^* ค่าสี C^* และค่าสี H^0 เมื่อพิจารณาสมการความสัมพันธ์ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9590, 0.9220 และ 0.8835 พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ค่าสี C^* และ ค่าสี H^0 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลายังนานทำให้ค่าสี a^* ค่าสี C^* และค่าสี H^0 ลดลง ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 65 องศาเซลเซียส เป็น 95 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าสี a^* ลดลงจาก 19.77 เป็น 19.50 ค่าสี C^* ลดลงจาก 22.41 เป็น 22.15 และค่าสี H^0 ลดลงจาก 331.7 เป็น 331.2 เช่นเดียวกับถ้าเวลาในการสกัดนานขึ้นทำให้ค่าสี a^* ค่าสี C^* และค่าสี H^0 ลดลง โดยถ้าเพิ่มเวลาในการสกัดจาก 30 นาที เป็น 120 นาที ทำให้ค่าสี a^* ลดลงจาก 19.77 เป็น 19.42 ค่าสี C^* ลดลงจาก 22.41 เป็น 22.36 และค่าสี H^0 ลดลงจาก 331.7 เป็น 331.6 สำหรับค่าสี b^* ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9130 พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลายังนานทำให้ค่าสี b^* ลดลง ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 65 องศาเซลเซียส เป็น 95 องศาเซลเซียสทำให้ค่าสี b^* ลดลงจาก (-10.69) เป็น (-10.53) เช่นเดียวกับถ้าเพิ่มเวลาในการสกัดจาก 30 นาที เป็น 120 นาที ทำให้ค่าสี b^* ลดลงจาก (-10.69) เป็น (-10.64) (สีน้ำเงินลดลง) นั่นคือ น้ำอัญชันที่สกัดได้มีสีน้ำเงินจางลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัด

ตาราง 4.17 ปริมาณแอนโทไซยานินและค่าสีที่อุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่างกัน

| สิ่งทดลอง | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | เวลา (นาที) | ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัม) | ค่าสี | | | | |
|-----------|----------------------------|----------------|--|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | | L* | a* | b* | C* | H° |
| 1 | 65 | 30 | 2.26 ± 0.01 | 8.81 ± 0.23 | 19.77 ± 0.07 | -10.69 ± 0.06 | 22.41 ± 0.13 | 331.7 ± 0.35 |
| 2 | 65 | 120 | 2.22 ± 0.02 | 8.93 ± 0.22 | 19.64 ± 0.26 | -10.64 ± 0.02 | 22.36 ± 0.14 | 331.6 ± 0.06 |
| 3 | 95 | 30 | 2.14 ± 0.02 | 8.53 ± 0.14 | 19.50 ± 0.22 | -10.53 ± 0.12 | 22.15 ± 0.26 | 331.2 ± 0.40 |
| 4 | 95 | 120 | 2.09 ± 0.07 | 8.69 ± 0.06 | 19.42 ± 0.14 | -10.45 ± 0.19 | 22.01 ± 0.31 | 331.1 ± 0.20 |
| 5 | 80 | 75 | 2.21 ± 0.11 | 8.72 ± 0.21 | 19.60 ± 0.43 | -10.60 ± 0.08 | 22.22 ± 0.41 | 331.4 ± 0.32 |
| 6 | 80 | 75 | 2.21 ± 0.06 | 8.69 ± 0.26 | 19.60 ± 0.34 | -10.63 ± 0.03 | 22.31 ± 0.31 | 331.6 ± 0.36 |
| 7 | 80 | 75 | 2.20 ± 0.08 | 8.79 ± 0.17 | 19.54 ± 0.13 | -10.62 ± 0.08 | 22.28 ± 0.14 | 331.4 ± 0.25 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.18 ANOVA ของแต่ละค่าตอบสนองของสารสกัดจากดอกอัญชัน

| Source | df | Sum of squares | | | | | |
|----------------|----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | ปริมาณแอนโทไซยานิน | ค่าสี L* | ค่าสี a* | ค่าสี b* | ค่าสี C* | ค่าสี H° |
| Model | 3 | 0.02 ** | 0.09 ** | 0.07 ** | 0.04 ** | 0.10 ** | 0.26 * |
| Residual | 3 | 1.40x10 ⁻³ | 5.74x10 ⁻³ | 3.04x10 ⁻³ | 3.32x10 ⁻³ | 8.64x10 ⁻³ | 0.03 |
| - Lack-of-fit | 1 | 1.73x10 ⁻³ NS | 4.76x10 ⁻⁴ NS | 6.36x10 ⁻⁴ NS | 2.86x10 ⁻³ NS | 4.44x10 ⁻³ NS | 7.62x10 ⁻³ NS |
| -Pure error | 2 | 1.70x10 ⁻³ | 5.27x10 ⁻³ | 2.40x10 ⁻³ | 4.67x10 ⁻⁴ | 4.20x10 ⁻³ | 0.03 |
| R ² | | 0.9060 | 0.9328 | 0.9590 | 0.9130 | 0.9220 | 0.8835 |
| C.V. | | 0.99 | 0.43 | 0.14 | 0.27 | 0.21 | 0.03 |

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

NS แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ตาราง 4.19 สมการที่ไม่ได้ถดถอห้สของค่าตอบสนองของสารสกัดจากดอกอัญชัน

| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| ปริมาณแอนโทไซยานิน | 2.19 - 0.06A - 0.25B | 0.9060 |
| ค่าสี L* | 8.74 - 0.13A + 0.07B | 0.9328 |
| ค่าสี a* | 19.58 - 0.12A - 0.053B | 0.9590 |
| ค่าสี b* | (-10.59) + 0.09A + 0.33B | 0.9130 |
| ค่าสี C* | 22.25 - 0.15A - 0.05B | 0.9220 |
| ค่าสี H° | 331.43 - 0.25A - 0.05B | 0.8835 |

หมายเหตุ : A แทน อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

B แทน เวลาในการสกัด

ตาราง 4.20 สมการที่ถดถอยแล้วของสารสกัดจากดอกอัญชัน

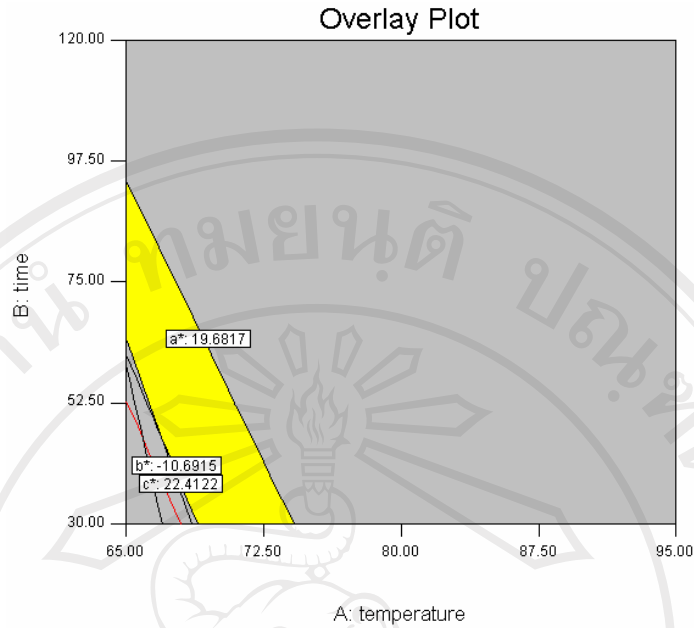
| ค่าตอบสนอง | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|--------------------|--|----------------|
| ปริมาณแอนโทไซยานิน | $2.57 - 4.20 \times 10^{-3}A - 5.47 \times 10^{-4}B$ | 0.9060 |
| ค่าสี L* | $9.31 - 8.67 \times 10^{-3}A + 1.56 \times 10^{-3}B$ | 0.9382 |
| ค่าสี a* | $20.32 - 8.17 \times 10^{-3}A - 1.17 \times 10^{-3}B$ | 0.9590 |
| ค่าสี b* | $(-11.12) + 5.83 \times 10^{-3}A + 7.22 \times 10^{-4}B$ | 0.9130 |
| ค่าสี C* | $23.14 - 0.01A - 1.06 \times 10^{-3}B$ | 0.9220 |
| ค่าสี H° | $332.85 - 0.02A - 1.11 \times 10^{-3}B$ | 0.8835 |

หมายเหตุ : A แทน อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

B แทน เวลาในการสกัด

เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L*, a*, b*, C* และค่าสี H° มาสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนอง (Response surface) ได้ดังภาพ ง-16 ถึง ง-21 (ภาคผนวก)

เมื่อพิจารณาสมการของค่าตอบสนองแต่ละค่า พบว่าสมการของปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° มีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Variance ratio (significant) ค่า Lack of fit (non-significant) และค่า R² (มีค่ามากกว่า 0.750) ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° มีค่า R² เท่ากับ 0.9060, 0.9382, 0.9590, 0.9130, 0.9220 และ 0.8835 ตามลำดับ แสดงว่าอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L*, a*, b*, C* และ H° ดังนั้นในการเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสม ในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันจึงพิจารณาสภาวะที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด ซึ่งได้กราฟแสดงพื้นที่สภาวะที่เหมาะสม ดังภาพ 4.4 และเพื่อเป็นการลดต้นทุนและเวลาในการสกัดสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันจึงเลือกใช้สภาวะที่ใช้อุณหภูมิต่ำ และระยะเวลาในการสกัดสั้น โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ที่อุณหภูมิ 69.20 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 30 นาที ซึ่งได้ค่าทำนาย คือ ปริมาณแอนโทไซยานิน 2.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าสี L* เท่ากับ 8.76 ค่าสี a* เท่ากับ 19.72 ค่าสี b* เท่ากับ (-10.69) ค่าสี C* เท่ากับ 22.41 และ ค่าสี H° เท่ากับ 331.66 เมื่อนำสภาวะที่ได้ไปทดลอง พบว่าได้ปริมาณแอนโทไซยานิน 2.27 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าสี L* เท่ากับ 8.74 ± 0.15 ค่าสี a* เท่ากับ 19.85 ± 0.37 ค่าสี b* เท่ากับ $(-10.68) \pm 0.17$ ค่าสี C* เท่ากับ 22.48 ± 0.46 และ ค่าสี H° เท่ากับ 331.7 ± 0.44 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้ (ตาราง 4.21)



ภาพ 4.4 กราฟพื้นที่สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

ตาราง 4.21 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์จากการทำนายและค่าที่วัดได้จริงของสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

| คุณภาพทางเคมีและกายภาพ | ค่าการทำนาย | ค่าที่วัดได้จริง | ร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|---------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------|
| ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัม) | 2.26 | 2.27 ± 0.06 | 0.44 |
| ค่าสี L* | 8.76 | 8.74 ± 0.15 | 0.23 |
| ค่าสี a* | 19.72 | 19.85 ± 0.37 | 0.66 |
| ค่าสี b* | -10.69 | -10.68 ± 0.17 | 0.09 |
| ค่าสี C* | 22.41 | 22.48 ± 0.46 | 0.31 |
| ค่าสี H° | 331.6 | 331.7 ± 0.44 | 0.03 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3 การพัฒนาสูตรน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่ผู้บริโภคพอใจที่สุด

4.3.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

น้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันจำนวน 12 สิ่งทดลองถูกนำเสนอให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม โดยการให้คะแนนแบบ 9-points hedonic scale ได้ผลดังตาราง 4.22 เมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Design expert V.7.0 พบว่าผลของสี รสชาติ และความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) แต่ผลของกลิ่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($P > 0.05$) (ตาราง 4.23) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ของค่าทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมได้สมการแสดงความสัมพันธ์ ดังตาราง 4.24 โดยมีค่า R^2 ของความชอบในด้านสี รสชาติ และความชอบรวมเท่ากับ 0.9026, 0.8013 และ 0.7699 ตามลำดับ และ Contour plot ดังภาพ ง-22 ถึง ง-24 (ภาคผนวก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในด้านสี ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9026 พบว่าปริมาณน้ำลิ้นจี่ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมาลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำลิ้นจี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำลิ้นจี่กับกรดมาลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิก มีผลต่อคะแนนความชอบในด้านสีของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำลิ้นจี่ ปริมาณกรดมาลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำลิ้นจี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน จะมีความชอบเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำลิ้นจี่กับกรดมาลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิก จะมีความชอบลดลง จากการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 2, 4, 5, 8 และ 12 ที่มีการเติมปริมาณสารสกัดร้อยละ 1.24-3.72 ได้คะแนนเฉลี่ย 6.76-6.88 อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางซึ่งใกล้เคียงกับคะแนนเฉลี่ยของน้ำลิ้นจี่ที่ไม่เติมสารสกัดจากดอกอัญชัน และพบว่าถ้าเพิ่มปริมาณสารสกัดเป็นร้อยละ 4.95 ขึ้นไป คะแนนความชอบในด้านสีจะลดลงดังสิ่งทดลองที่ 1, 6 และ 9 โดยมีคะแนนเฉลี่ย 6.10-6.26 อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสีของสารสกัดจากดอกอัญชันที่ได้มีสีน้ำเงินเข้มมาก เมื่อผสมลงในน้ำลิ้นจี่จึงให้สีน้ำเงินประกอบกับสิ่งทดลองที่มีส่วนผสมของกรดมาลิกสูงสีของน้ำลิ้นจี่เป็นสีม่วงน้ำเงิน เนื่องจากในสถานะเป็นกลางเคลฟิเนตินมีสีน้ำเงินและในสถานะเป็นกรดจะมีสีแดง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในด้านกลิ่น พบว่าปริมาณน้ำล้นจี่ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมอลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำล้นจี่กับกรดมอลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมอลิก ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบในด้านกลิ่นของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในด้านรสชาติ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8013 พบว่าปริมาณน้ำล้นจี่ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมอลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำล้นจี่กับกรดมอลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมอลิก มีผลต่อคะแนนความชอบในด้านรสชาติของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี่ อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี่กับกรดมอลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมอลิก จะมีผลทำให้ความชอบเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมอลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน จะมีผลให้ความชอบลดลง จากการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ได้คะแนนต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 7.12 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของสิ่งทดลองที่ 6 พบว่ามีการเติมสารสกัดจากดอกอัญชันและปริมาณกรดมอลิกสูงสุด สำหรับคะแนนความชอบที่มีต่อรสชาติของสิ่งทดลองอื่นๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 2 ได้คะแนนสูงสุดเท่ากับ 7.60 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งมากกว่าสูตรน้ำล้นจี่ที่ไม่มีการเติมสารสกัดและกรดมอลิก หรือสิ่งทดลองที่มีการเติมกรดมอลิกหรือสารสกัดเพียงอย่างเดียว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในด้านความชอบรวม ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7699 พบว่าปริมาณน้ำล้นจี่ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมอลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำล้นจี่กับกรดมอลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมอลิก มีผลต่อคะแนนความชอบในด้านความชอบรวมของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี่ ปริมาณกรดมอลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี่กับกรดมอลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมอลิก จะมีผลทำให้ความชอบเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน จะมีผลให้ความชอบลดลง จากการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 12 ได้คะแนนความชอบรวมสูงสุดเท่ากับ 7.50 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก และสิ่งทดลองที่ 6 ได้คะแนนความชอบรวมต่ำสุดเท่ากับ 6.84 อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของสิ่งทดลอง พบว่าปริมาณสารสกัดยิ่งมากคะแนนความชอบรวมยิ่งลดลงโดย

ปริมาณสารสกัดร้อยละ 1.24 และปริมาณกรดมาลิกร้อยละ 0.01 เป็นปริมาณที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมสูงสุด และมากกว่าน้ำลิ้นจี่ที่ไม่เติมสารสกัดและกรดมาลิกหรือน้ำลิ้นจี่ที่เติมกรดมาลิกหรือสารสกัดเพียงอย่างเดียว

ตาราง 4.22 คะแนนความพอใจเฉลี่ยของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน

| สิ่งทดลอง | สี | กลิ่น | รสชาติ | ความชอบรวม |
|-----------|----------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | 6.12 ^c ± 1.36 | 7.28 ± 0.78 | 7.32 ^{ab} ± 1.27 | 7.36 ^{ab} ± 1.12 |
| 2 | 6.82 ^a ± 1.06 | 7.40 ± 1.03 | 7.60 ^a ± 1.36 | 7.34 ^{ab} ± 1.124 |
| 3 | 6.64 ^{abc} ± 1.41 | 7.32 ± 0.98 | 7.50 ^{ab} ± 1.27 | 7.40 ^{ab} ± 1.01 |
| 4 | 6.88 ^a ± 1.38 | 7.30 ± 1.05 | 7.40 ^{ab} ± 1.47 | 7.32 ^{ab} ± 1.27 |
| 5 | 6.86 ^a ± 1.14 | 7.32 ± 0.94 | 7.22 ^{ab} ± 1.49 | 7.32 ^{ab} ± 1.38 |
| 6 | 6.26 ^{bc} ± 1.48 | 7.26 ± 0.99 | 7.12 ^b ± 1.48 | 6.84 ^c ± 1.16 |
| 7 | 6.86 ^a ± 1.43 | 7.34 ± 1.02 | 7.26 ^{ab} ± 0.99 | 7.22 ^{bc} ± 1.04 |
| 8 | 6.76 ^{ab} ± 1.39 | 7.32 ± 0.89 | 7.42 ^{ab} ± 1.20 | 7.06 ^{bc} ± 1.02 |
| 9 | 6.10 ^c ± 1.36 | 7.30 ± 0.84 | 7.44 ^{ab} ± 1.26 | 7.32 ^{ab} ± 1.13 |
| 10 | 6.84 ^a ± 1.76 | 7.40 ± 1.14 | 7.42 ^{ab} ± 0.99 | 7.18 ^{bc} ± 1.06 |
| 11 | 6.78 ^{ab} ± 1.42 | 7.40 ± 1.11 | 7.40 ^{ab} ± 1.09 | 7.42 ^{ab} ± 1.09 |
| 12 | 6.76 ^{ab} ± 1.24 | 7.32 ± 1.11 | 7.50 ^{ab} ± 1.23 | 7.50 ^a ± 1.07 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.23 P – value ในแต่ละคุณลักษณะต่างๆ

| ค่าทางประสาทสัมผัส | P – value |
|--------------------|-----------|
| สี | 0.0054* |
| กลิ่น | 0.0570 |
| รสชาติ | 0.0404* |
| ความชอบรวม | 0.0127* |

หมายเหตุ : * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ตาราง 4.24 สมการแสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบทางประสาทสัมผัส

| คุณลักษณะ | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|------------|--|----------------|
| สี | $0.07A - 7.03B + 21356.49C + 0.07AB - 213.64AC - 213.36BC$ | 0.9026 |
| รสชาติ | $0.07A - 1.32B - 47140.27C - 0.01AB + 471.62AC + 471.35BC$ | 0.8013 |
| ความชอบรวม | $0.07A + 1.06B - 31723.80C - 0.01AB + 317.35AC + 316.37BC$ | 0.7699 |

หมายเหตุ : A = น้ำลีนี่
 B = สารสกัดจากดอกอัญชัน
 C = กรดมาลิก
 AB = น้ำลีนี่*สารสกัดจากดอกอัญชัน
 AC = น้ำลีนี่*กรดมาลิก
 BC = สารสกัดจากดอกอัญชัน*กรดมาลิก

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำลีนี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันทั้ง 12 ถึงทดลอง ดังตาราง 4.25 และ 4.26 พบว่าผลของความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่าสี C* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) แต่ผลของค่าสี H^o ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($P > 0.05$) (ตาราง 4.27) ซึ่งผลที่มีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากในการทำการทดลองได้มีการผันแปรส่วนผสมต่างๆ คือ น้ำลีนี่ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมาลิกที่ระดับต่างกันจึงส่งผลต่อค่าทางเคมีและกายภาพ เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ของค่าทางเคมีและทางกายภาพได้สมการแสดงความสัมพันธ์ ดังตาราง 4.28 โดยมีค่า R² ของความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* และค่าสี C* เท่ากับ 0.9719, 0.8199, 0.9368, 0.9972, 0.9942, 0.9956, 0.9703 และ 0.9922 ตามลำดับ และ Contour plot ดังภาพ ง-25 ถึง ง-32 (ภาคผนวก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งมีค่า R² เท่ากับ 0.9719 พบว่าปริมาณน้ำลีนี่ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมาลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำลีนี่กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำลีนี่กับกรดมาลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิก มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำลีนี่ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมาลิก จะมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอิทธิพลร่วม

ระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับกรดมาลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิก จะมีผลให้ความเป็นกรดต่างลดลง เช่นเดียวกับปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9368 พบว่าปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมาลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำล้นจี้กับกรดมาลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิก มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมาลิก จะมีผลทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในแต่ละสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันในปริมาณกรดมาลิก ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณน้ำล้นจี้ โดยสิ่งทดลองที่ 6, 7 และ 10 มีการเติมกรดมาลิกสูงสุดทำให้ค่าความเป็นกรดต่ำสุดและมีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกสูงสุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1, 3, 5 และ 11 ไม่มีการเติมกรดในส่วนผสม มีค่าความเป็นกรดต่ำสุด และมีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกต่ำสุดเช่นกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8119 พบว่าปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมาลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำล้นจี้กับกรดมาลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิก มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณกรดมาลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน จะมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับกรดมาลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิกจะมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 18.0-18.3 เนื่องจากไม่มีการเติมน้ำตาลในทุกๆ สิ่งทดลอง และค่าที่แตกต่างของสิ่งทดลองอาจเป็นผลของส่วนผสมอื่นๆ ที่ต่างกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ปริมาณแอนโทไซยานิน ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9986 พบว่าปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมาลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำล้นจี้กับกรดมาลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมาลิก มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมาลิก จะมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่าง

น้ำล้นจี้กับกรดมัลลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง จากการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 1 มีการเติมสารสกัดจากดอกอัญชันมากที่สุดจะมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด และสอดคล้องกับค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 ที่วัดได้ กล่าวคือ สิ่งทดลองที่มีการเติมสารสกัดจากดอกอัญชันมากมีค่าสี L^* น้อย ค่าสี a^* และค่าสี b^* สูง สีที่ปรากฏเป็นสีม่วงน้ำเงินเข้ม มีความทึบแสงมาก ขณะที่สิ่งทดลองที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากดอกอัญชันมีค่าสี L^* มาก ค่าสี a^* และค่าสี b^* น้อย สีที่ปรากฏเป็นสีเหลืองเกือบขาว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* ค่าสี C^* และ H^0 ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9942, 0.9956, 0.9703, 0.9922 และ 0.9572 ตามลำดับ พบว่าปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาณกรดมัลลิก อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน น้ำล้นจี้กับกรดมัลลิก และสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมัลลิก มีผลต่อค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* และค่าสี C^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าสี H^0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ค่าสี L^* จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่าสี L^* เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับกรดมัลลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่าสี L^* ลดลง สำหรับค่าสี a^* จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับกรดมัลลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่าสี a^* เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี้ ปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่าสี a^* ลดลง สำหรับค่าสี b^* จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่าสี b^* เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี้ อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับกรดมัลลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่าสี b^* ลดลง สำหรับค่าสี C^* จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้นจี้ อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับสารสกัดจากดอกอัญชัน อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำล้นจี้กับกรดมัลลิก และอิทธิพลร่วมระหว่างสารสกัดจากดอกอัญชันกับกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่าสี C^* เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชัน และปริมาณกรดมัลลิก จะมีผลทำให้ค่า C^* ลดลง

จากการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 3, 7, 10, และ 11 มีค่าสี L* อยู่ในช่วง 50.47-51.82 ซึ่งสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ แต่ค่าสี a* ค่าสี b* ค่าสี C* อยู่ในช่วง (-0.95)-(-1.31), (-2.02)-(-1.52) และ 2.10-2.36 ซึ่งน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ สีที่ปรากฏเป็นสีเหลืองเกือบขาวและมีความเข้มน้อยเนื่องจากไม่มีการเติมสารสกัดจากดอกอัญชัน สิ่งทดลองที่ 1 และ 9 มีค่าสี L* อยู่ในช่วง 23.54-23.87 ซึ่งต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ แต่มีค่าสี a* ค่าสี b* ค่าสี C* อยู่ในช่วง 20.61-20.14, (-26.19)-(-26.01) และ 33.04-33.19 ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ สีที่ปรากฏเป็นสีม่วงน้ำเงินเข้มเนื่องจากการเติมสารสกัดจากดอกอัญชันมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ

ตาราง 4.25 ผลวิเคราะห์ทางด้านเคมีของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

| สิ่งทดลอง | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|-----------|---------------------------|--|--|---------------------------------------|
| 1 | 3.81 ^a ± 0.01 | 18.0 ^d ± 0.12 | 0.65 ^d ± 0.01 | 6.15 ^a ± 0.03 |
| 2 | 3.74 ^d ± 0.01 | 18.0 ^d ± 0.01 | 0.66 ^c ± 0.01 | 3.11 ^d ± 0.13 |
| 3 | 3.80 ^{ab} ± 0.01 | 18.1 ^c ± 0.12 | 0.65 ^d ± 0.01 | 0.65 ^f ± 0.02 |
| 4 | 3.74 ^d ± 0.01 | 18.3 ^a ± 0.12 | 0.67 ^b ± 0.01 | 4.66 ^c ± 0.27 |
| 5 | 3.80 ^{ab} ± 0.01 | 18.1 ^c ± 0.12 | 0.64 ^c ± 0.01 | 3.07 ^d ± 0.09 |
| 6 | 3.74 ^d ± 0.01 | 18.2 ^b ± 0.01 | 0.68 ^a ± 0.01 | 5.71 ^b ± 0.07 |
| 7 | 3.74 ^d ± 0.01 | 18.3 ^a ± 0.12 | 0.68 ^a ± 0.01 | 0.77 ^f ± 0.14 |
| 8 | 3.74 ^d ± 0.01 | 18.2 ^b ± 0.01 | 0.67 ^b ± 0.01 | 1.67 ^c ± 0.13 |
| 9 | 3.75 ^{cd} ± 0.01 | 18.0 ^d ± 0.01 | 0.67 ^b ± 0.01 | 5.85 ^b ± 0.04 |
| 10 | 3.74 ^d ± 0.01 | 18.3 ^a ± 0.12 | 0.68 ^a ± 0.01 | 0.72 ^f ± 0.10 |
| 11 | 3.79 ^b ± 0.01 | 18.1 ^c ± 0.12 | 0.64 ^c ± 0.01 | 0.64 ^f ± 0.03 |
| 12 | 3.75 ^{cd} ± 0.01 | 18.0 ^d ± 0.01 | 0.66 ^c ± 0.01 | 1.61 ^c ± 0.03 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.26 การวิเคราะห์ทางกายภาพของค่าสี L*, a*, b*, C* และ H°

| สิ่งทดลอง | ค่าสี | | | | |
|-----------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | L* | a* | b* | C* | H° |
| 1 | 23.87 ^{fg} ± 0.43 | 20.61 ^a ± 0.14 | -26.01 ^a ± 0.31 | 33.19 ^a ± 0.32 | 308.3 ^a ± 0.21 |
| 2 | 31.32 ^c ± 0.28 | 13.74 ^c ± 0.64 | -22.50 ^{ab} ± 1.18 | 26.36 ^c ± 1.34 | 301.4 ^b ± 0.17 |
| 3 | 50.47 ^b ± 1.17 | -0.95 ^f ± 0.37 | -1.52 ^d ± 0.91 | 2.10 ^f ± 0.44 | 237.3 ^d ± 5.55 |
| 4 | 24.85 ^f ± 0.16 | 19.35 ^b ± 0.13 | -25.88 ^a ± 0.10 | 32.31 ^{ab} ± 0.17 | 306.7 ^a ± 0.10 |
| 5 | 30.88 ^e ± 0.55 | 13.34 ^c ± 0.50 | -15.91 ^c ± 12.13 | 26.21 ^c ± 0.75 | 300.4 ^b ± 0.25 |
| 6 | 24.30 ^{fg} ± 0.19 | 19.00 ^b ± 0.62 | -25.23 ^a ± 0.60 | 31.58 ^{ab} ± 0.85 | 306.9 ^a ± 0.25 |
| 7 | 51.82 ^a ± 0.08 | -1.21 ^f ± 0.01 | -2.02 ^d ± 0.09 | 2.36 ^f ± 0.05 | 239.4 ^d ± 1.36 |
| 8 | 36.28 ^d ± 0.10 | 9.14 ^d ± 0.38 | -18.70 ^{bc} ± 0.37 | 21.08 ^d ± 0.39 | 296.2 ^c ± 0.31 |
| 9 | 23.54 ^g ± 0.23 | 20.14 ^a ± 0.27 | -26.19 ^a ± 0.09 | 33.04 ^a ± 0.23 | 307.5 ^a ± 0.26 |
| 10 | 51.50 ^a ± 0.14 | -1.26 ^f ± 0.03 | -1.87 ^d ± 0.17 | 2.31 ^f ± 0.06 | 235.9 ^d ± 2.91 |
| 11 | 51.78 ^a ± 0.39 | -1.31 ^f ± 0.02 | -1.97 ^d ± 0.05 | 2.36 ^f ± 0.03 | 236.4 ^d ± 1.00 |
| 12 | 38.01 ^c ± 0.11 | 8.05 ^c ± 0.09 | -17.70 ^{bc} ± 0.11 | 19.44 ^c ± 0.1 | 294.4 ^c ± 0.15 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.27 P – value ของค่าวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

| ค่าทางเคมีและกายภาพ | P – value |
|---------------------------------|----------------------|
| ความเป็นกรด-ด่าง | 0.0001 |
| ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด | 0.0348 |
| ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก | <0.0001 |
| ปริมาณแอนโทไซยานิน | <0.0001 |
| ค่าสี L* | <0.0001 |
| ค่าสี a* | <0.0001 |
| ค่าสี b * | 0.0002 |
| ค่าสี C * | <0.0001 |
| ค่าสี H° | 0.5688 ^{NS} |

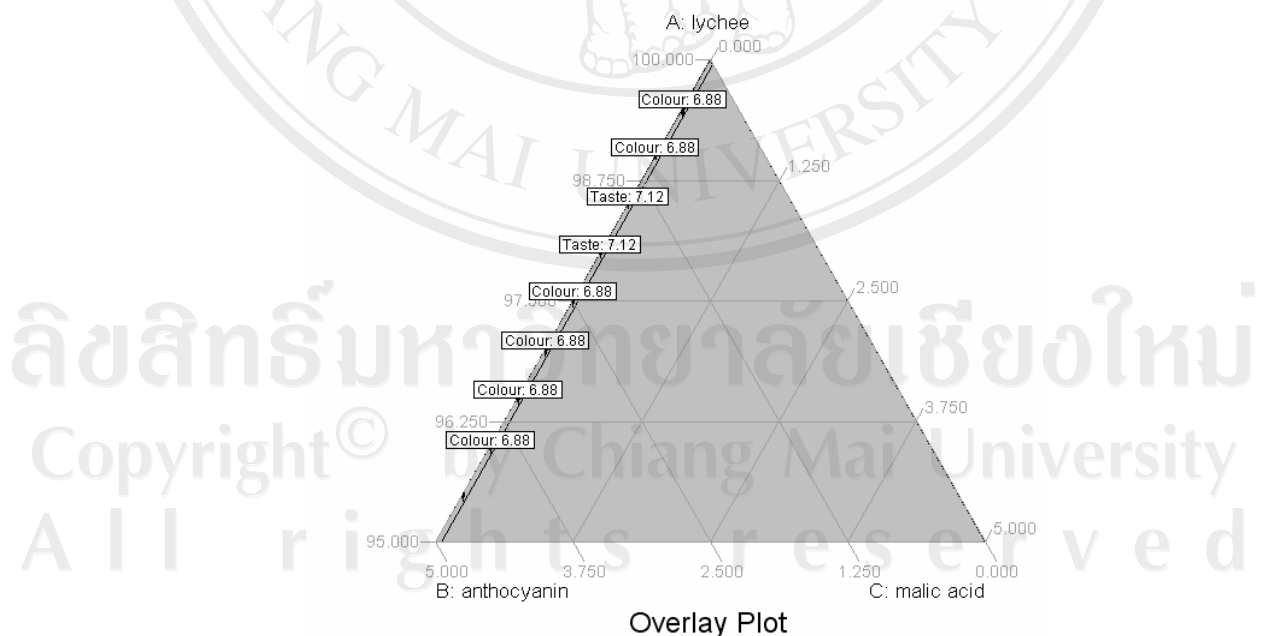
หมายเหตุ : ^{NS} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 4.28 สมการแสดงความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ทางเคมีและคุณภาพ

| คุณลักษณะ | สมการแสดงความสัมพันธ์ | R ² |
|---------------------------------|---|----------------|
| ความเป็นกรด-ด่าง | $0.04A + 0.08B + 4419.38C - 4.11 \times 10^{-4} AB - 44.23AC - 44.29BC$ | 0.9719 |
| ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด | $0.18A - 1.27B + 21782.41C + 0.02 AB - 217.89AC - 217.52BC$ | 0.8119 |
| ปริมาณกรดทั้งหมด | $6.45 \times 10^{-3} A + 7.13 \times 10^{-3} B + 0.73C$ | 0.9368 |
| ปริมาณแอนโทไซยานิน | $3.07 \times 10^{-3} A + 2.12B + 1837.94C - 0.01AB - 18.36AC - 20.07BC$ | 0.9986 |
| ค่าสี L* | $0.51A + 103.21B + 1.73 \times 10^5 C - 1.14AB - 1727.53AC - 1729.05BC$ | 0.9942 |
| ค่าสี a* | $(-0.01)A - 63.28B - 1.59 \times 10^5 C + 0.71AB + 1595.56AC + 1591.84BC$ | 0.9956 |
| ค่าสี b * | $(-0.02)A + 80.98B + 7.72 \times 10^5 C - 0.90AB - 7726.18AC - 7724.77BC$ | 0.9703 |
| ค่าสี C * | $0.02A - 137.03B - 2.99 \times 10^5 C + 1.51AB + 2990.08AC + 2984.11BC$ | 0.9922 |

หมายเหตุ : A = น้ำลีนจี้ AB = น้ำลีนจี้*สารสกัดจากดอกอัญชัน
 B = สารสกัดจากดอกอัญชัน AC = น้ำลีนจี้*กรดมาลิก
 C = กรดมาลิก BC = สารสกัดจากดอกอัญชัน*กรดมาลิก

ในการคัดเลือกอัตราส่วนของน้ำลิ้นจี่ สารสกัดจากดอกอัญชัน และกรดมาลิกที่เหมาะสม ด้วยการนำค่าตอบสนอง ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) คือ ค่าทางประสาทสัมผัสด้านสี รสชาติ ความชอบรวม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และค่าสี L^* , a^* , b^* และ C^* มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Design expert V.7.0 พบว่าสูตรที่เหมาะสม คือน้ำลิ้นจี่ร้อยละ 96.98 สารสกัดจากดอกอัญชันร้อยละ 3.00 และกรดมาลิกร้อยละ 0.02 โดยได้ค่าทำนายค่าเฉลี่ยของสี ค่าเฉลี่ยของรสชาติ ค่าเฉลี่ยของความชอบรวม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน และค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* และค่าสี C^* คือ 6.74, 7.49, 7.34, 3.74, 18.07, 0.66, 3.67, 27.18, 16.63, (-25.48) และ 3.67 ตามลำดับ (ภาพ 4.5) เมื่อนำมาทดลอง พบว่าได้ค่าเฉลี่ยของสี ค่าเฉลี่ยของรสชาติ ค่าเฉลี่ยของความชอบรวม ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* และค่าสี C^* เท่ากับ 6.92 ± 0.80 , 7.66 ± 0.96 , 7.52 ± 0.78 , 3.75 ± 0.01 , 18.20 ± 0.01 , 0.66 ± 0.01 , 3.81 ± 0.02 , 27.31 ± 0.19 , 16.69 ± 0.17 , $(-25.58) \pm 0.28$ และ 3.55 ± 0.02 ตามลำดับ ดังตาราง 4.29 โดยค่าที่วัดได้จริงสูงกว่าค่าการทำนายยกเว้นปริมาณแอนโทไซยานินต่ำกว่าค่าการทำนายเล็กน้อย



ภาพ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำลิ้นจี่ สารสกัดจากดอกอัญชัน และกรดมาลิกในสัดส่วนที่เหมาะสม

ตาราง 4.29 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์จากการทำนายและจากค่าที่วัดได้จริงของสูตรน้ำลื่นจีเสริม สารสกัดจากดอกอัญชันที่เหมาะสม

| คุณลักษณะ | ค่าการทำนาย | ค่าที่วัดจริง | ร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|--|-------------|---------------|-----------------------|
| ค่าทางประสาทสัมผัส | | | |
| สี | 6.74 | 6.92 ± 0.80 | 2.67 |
| รสชาติ | 7.49 | 7.66 ± 0.96 | 2.27 |
| ความชอบรวม | 7.34 | 7.52 ± 0.78 | 2.45 |
| ค่าทางเคมีและกายภาพ | | | |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | 3.74 | 3.75 ± 0.01 | 0.27 |
| ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | 18.07 | 18.20 ± 0.01 | 0.72 |
| ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (ร้อยละ) | 0.66 | 0.66 ± 0.01 | 0.00 |
| ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | 3.67 | 3.55 ± 0.02 | 3.27 |
| ค่าสี L* | 27.18 | 27.31 ± 0.19 | 0.48 |
| ค่าสี a* | 16.63 | 16.69 ± 0.17 | 0.36 |
| ค่าสี b* | -25.48 | -25.58 ± 0.28 | 0.39 |
| ค่าสี C* | 31.01 | 31.07 ± 0.13 | 0.19 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.4 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาน้ำลื่นจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน

นำผลิตภัณฑ์น้ำลื่นจีที่มีส่วนผสมลื่นจีร้อยละ 96.98 สารสกัดจากดอกอัญชันร้อยละ 3.00 และกรดมาลิกร้อยละ 0.02 พาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ทางด้านเคมี ทางด้านประสาทสัมผัส และทางด้านจุลชีววิทยา ได้ผลดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

ผลของการเก็บรักษาน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเป็นเวลา 3 เดือนที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ H^0 ดังตาราง ง-1 ถึง ง-3 (ภาคผนวก) ของน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาทั้ง 3 อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงลดลงแปรผันตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น นั่นคือยิ่งเก็บรักษานานค่าสียิ่งลดลง และค่าสีที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละสัปดาห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังภาพ 4.6-4.10

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ พบว่าที่การเก็บรักษา 0 สัปดาห์น้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุมีค่าสี L^* สูงกว่าน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุเล็กน้อย แต่ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำลึนจีพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ลดลงมากกว่าน้ำลึนจีพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุทั้งที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส และจะเห็นได้ชัดเจนใน 8 สัปดาห์ ดังภาพ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตลอดอายุการเก็บรักษา 3 เดือน พบว่าค่าสี L^* ของน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุมีค่าสี L^* มากกว่าหลังบรรจุอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* ของน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่ 0 สัปดาห์ พบว่าค่าสี a^* ของน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุ มีค่าสูงกว่าน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุ แสดงว่าในการพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุ ความร้อนสามารถไปทำลายแอนโทไซยานินได้มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุ น้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันสัมผัสความร้อนนานกว่าเนื่องจากการกระจายความร้อนจากน้ำเดือดต้องผ่านภาชนะเข้าไป เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* ในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส มีค่าสี a^* ลดลง โดยน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุมีการลดลงของค่าสี a^* มากกว่าน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุตั้งแต่ 0 สัปดาห์จนถึง 6 สัปดาห์ หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ในน้ำลึนจีเสริมสารสกัดจาก

ดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุมากกว่าโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสี a^* เฉลี่ยตลอดอายุการเก็บรักษาของน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ พบว่าค่าสี a^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทำนองเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* ทุกประการ ดังภาพ 4.8 แต่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* อย่างมากที่สุด 2 สัปดาห์ จากนั้นค่าสี b^* จะสูงขึ้นและลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว พบในน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุมากกว่าก่อนบรรจุ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสี b^* เฉลี่ยตลอดอายุการเก็บรักษาของน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสี C^* พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเหมือนค่าสี a^* และค่าสี b^* การที่มีค่าสี C^* ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาย่อมเป็นการบ่งชี้ถึงความเข้มของสีน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันลดลง โดยน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุมีความเข้มน้อยกว่า ดังภาพ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสี C^* เฉลี่ยตลอดอายุการเก็บรักษาของน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา

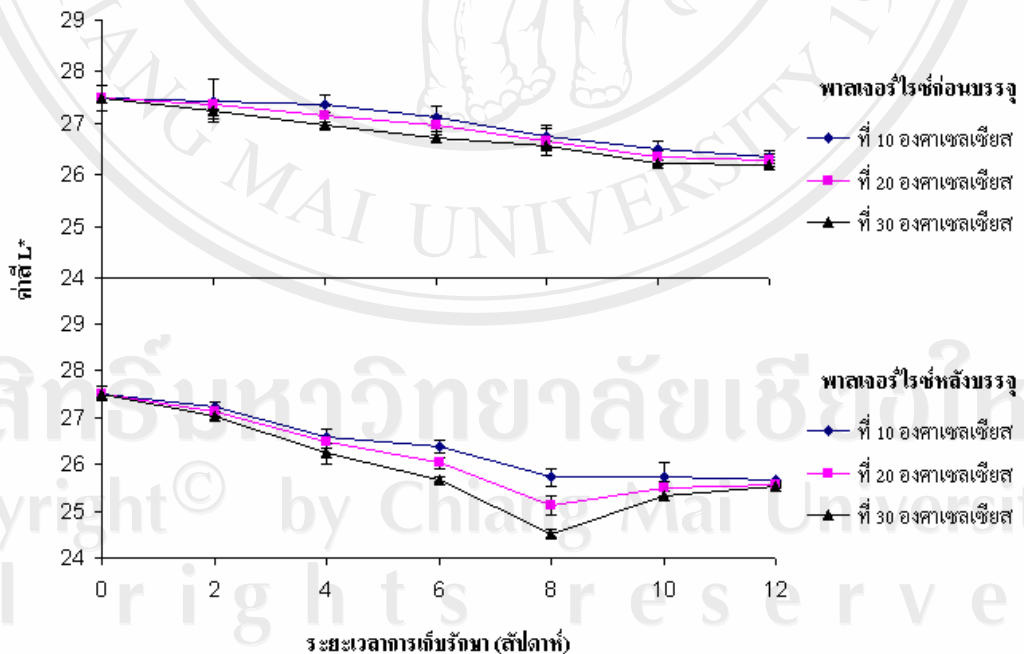
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสี H^0 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเหมือนค่าสี a^* และค่าสี b^* โดยค่าเฉลี่ยของค่าสี H^0 ของน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุตลอดอายุการเก็บรักษามีค่าประมาณ 291 แสดงว่าสีของน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่ปรากฏยังเป็นสีน้ำเงิน

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการลดลงของค่าสีของน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน ที่นำมาเก็บรักษาทั้ง 3 อุณหภูมิ พบว่าอัตราการลดลงของค่าสีจะแปรผันตามอุณหภูมิที่เก็บรักษา นั่นคืออัตราการลดลงของค่าสีจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Maccarone และคณะ (1985) ที่พบว่าความคงตัวของแอนโทไซยานินลดลง 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส การที่ค่าสีของน้ำลีนจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน

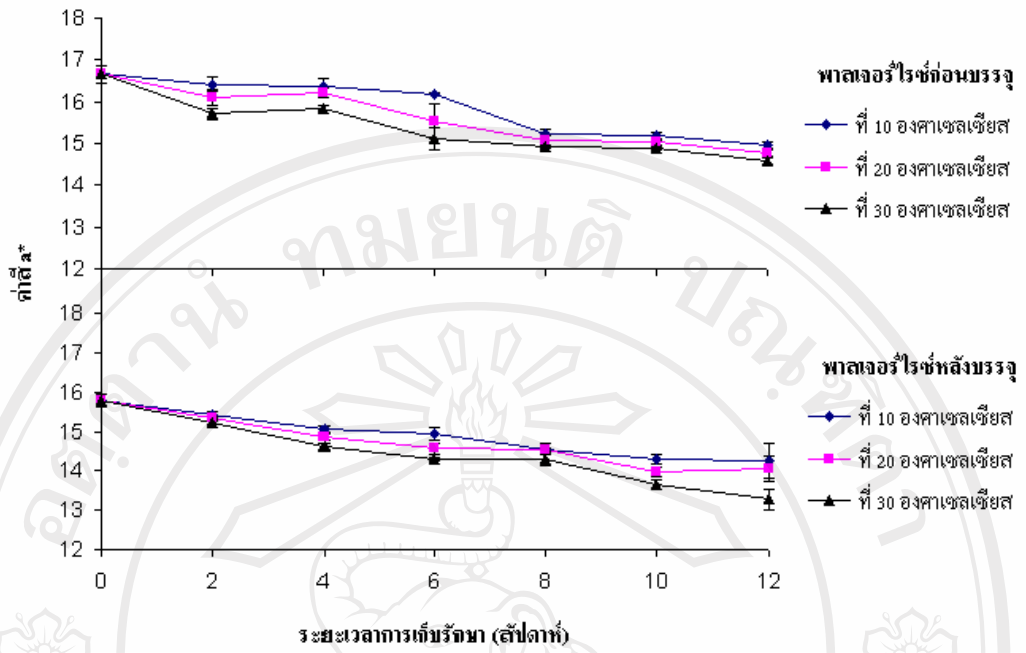
มีค่าลดลงสาเหตุอาจเกิดมาจากปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินเป็นเหตุให้ค่าสี a^* และค่าสี b^* ลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิยิ่งสูงแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงยิ่งมาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lalsh และคณะ (2006) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินยิ่งมากขึ้นและระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินยิ่งลดลง (Fossen และคณะ, 1998) และงานวิจัยของ Kammerer และคณะ (2007) ที่พบว่าน้ำผลไม้จะเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยค่าสี L^* และ a^* มีค่าลดลง นอกจากนั้นงานวิจัยของยุพาพร (2547) พบว่าเมื่อเวลาเก็บรักษานานขึ้นจะทำให้ค่าสี a^* จะลดลงซึ่งการลดลงค่าสี a^* จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มากกระตุ้น ในสถานะที่มีอุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินได้เร็วมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสมดุลเลื่อนจากซ้ายไปขวาดังนี้

blue quinonoid \longleftrightarrow red flavylum \longleftrightarrow colorless carbinol base \longleftrightarrow colorless chalcone

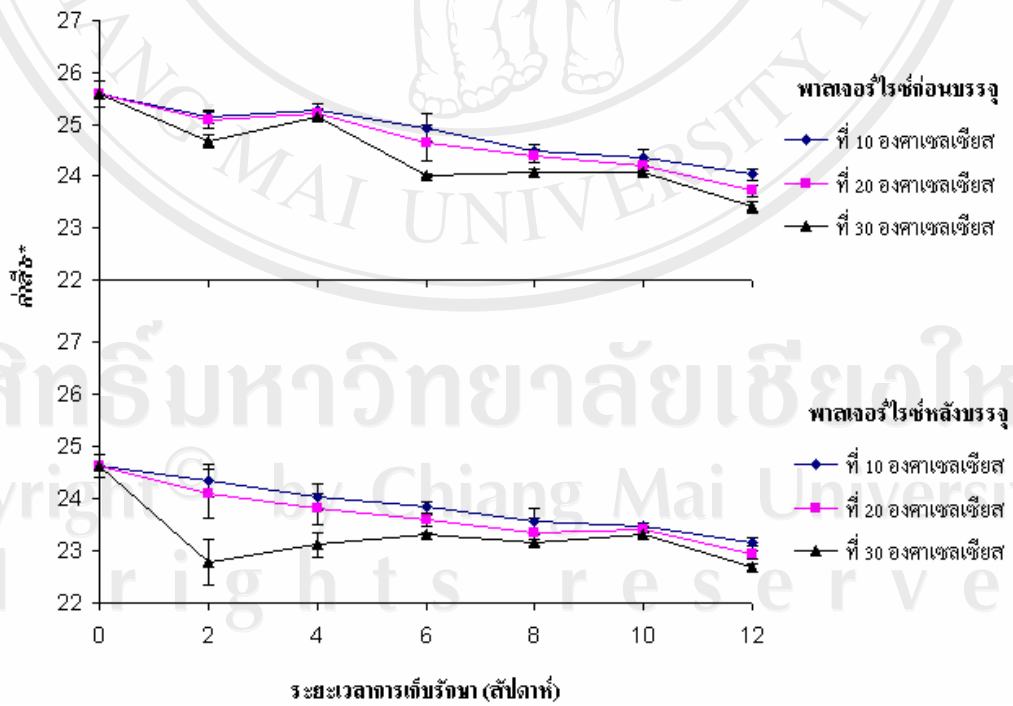
ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิด chalcone มากขึ้น ปริมาณ flavylum ลดลงความคงตัวของสีแดงของแอนโทไซยานินจึงลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kiattisak และคณะ (2004) ซึ่งพบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ค่าสี C^* ของเครื่องดื่มลดลง เนื่องจากการสลายตัวของแอนโทไซยานิน



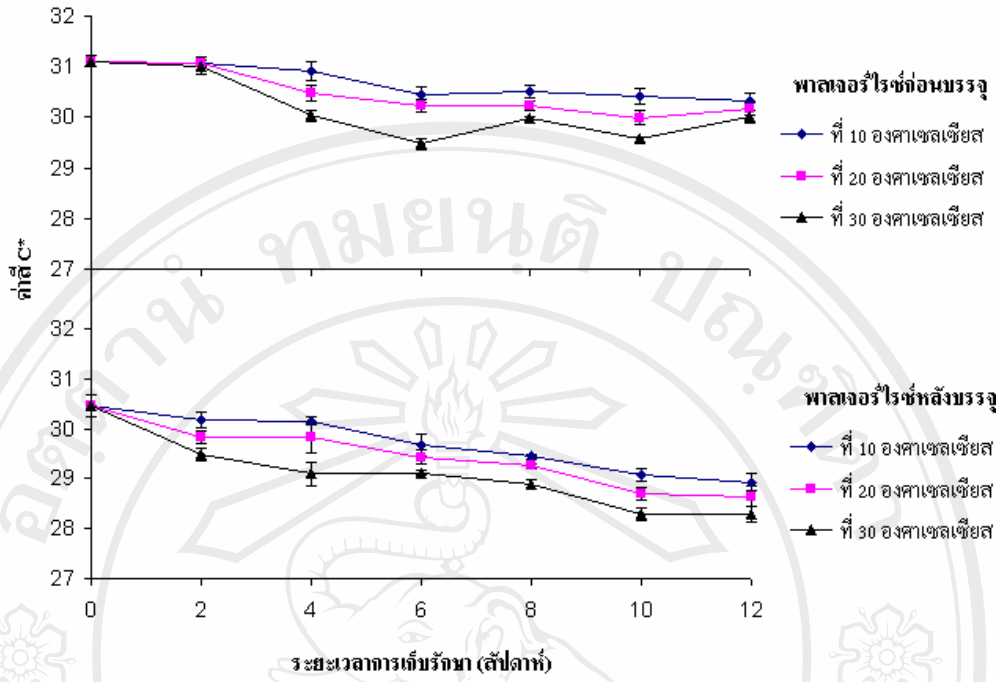
ภาพ 4.6 ค่าสี L^* ของน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



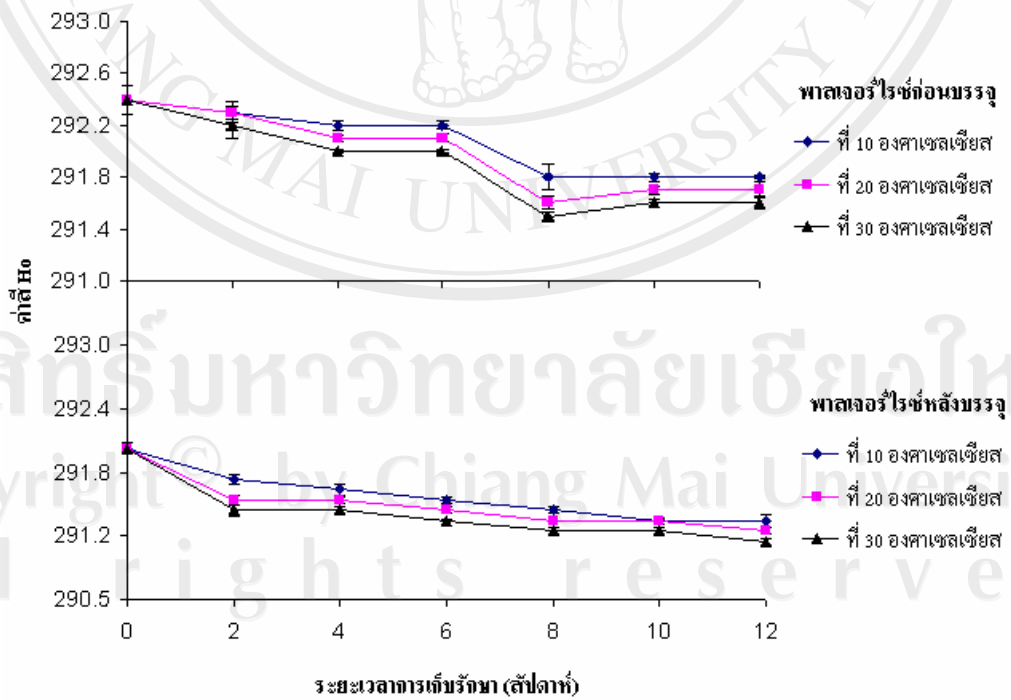
ภาพ 4.7 ค่าสี a* ของน้ำลึนจีพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.8 ค่าสี b* ของน้ำลึนจีพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.9 ค่าสี C* ของน้ำดื่มจีพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.10 ค่าสี H* ของน้ำดื่มจีพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส

4.4.1.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

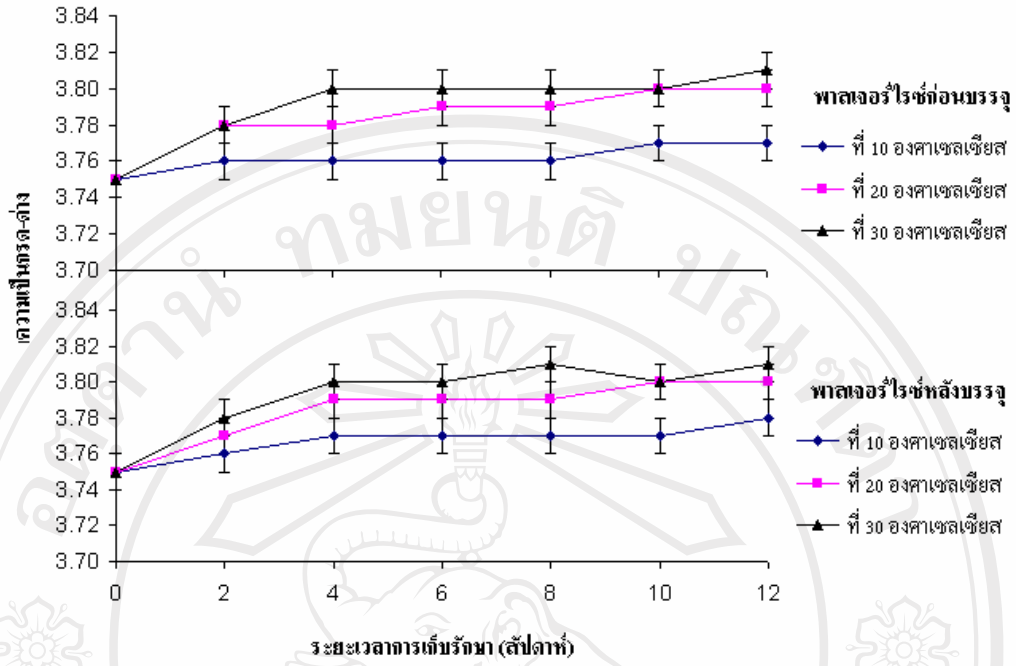
ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำลีนจี้เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน ดังตาราง ง-4 ถึง ง-6 (ภาคผนวก) เมื่อเปรียบเทียบการพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดอายุการเก็บรักษาของความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ความเป็นกรด-ด่าง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลีนจี้เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่เก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส โดยความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูง การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างยิ่งเพิ่มขึ้น ดังภาพ 4.11

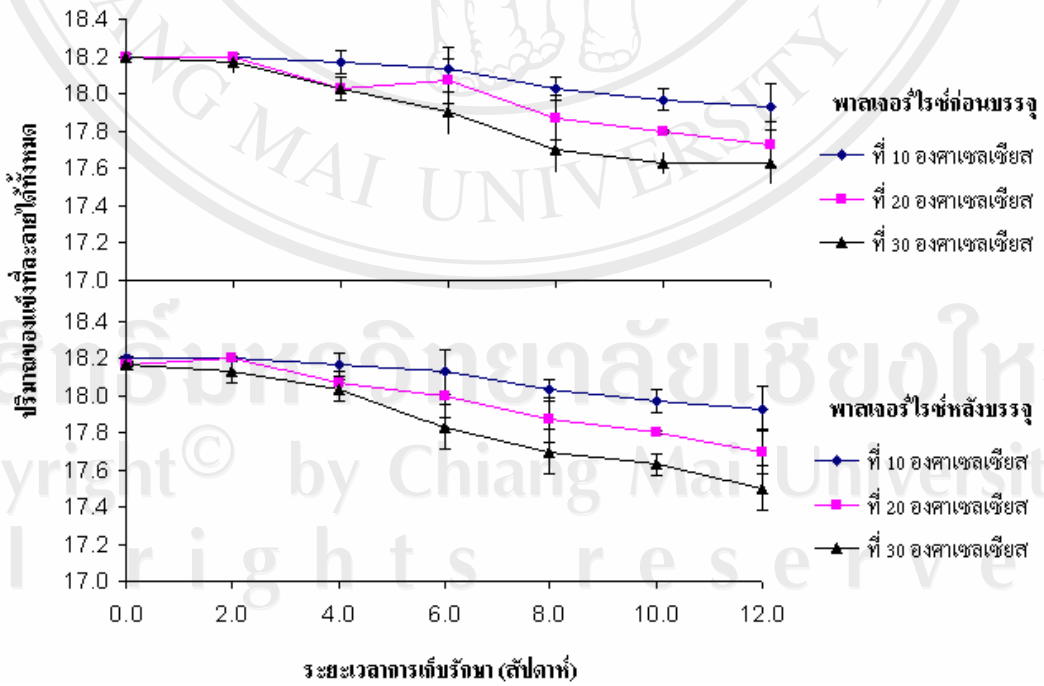
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลีนจี้เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่เก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำลีนจี้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 นั่นคือ อัตราการลดลงแปรผันตามอุณหภูมิที่เก็บรักษา ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราการลดลงยิ่งมาก ดังภาพ 4.12 สาเหตุการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอาจเกี่ยวกับการสลายตัวของของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น ปริมาณกรดและปริมาณแอนโทไซยานิน

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกของน้ำลีนจี้เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่เก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส โดยปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกลดลงอย่างช้าๆ ตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงอัตราการลดลงของปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกยิ่งเพิ่มขึ้น ดังภาพ 4.13 การที่ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกลดลงอาจเกิดจากกรดบางส่วนไปเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (Akhavan และ Wrolstad, 1980)

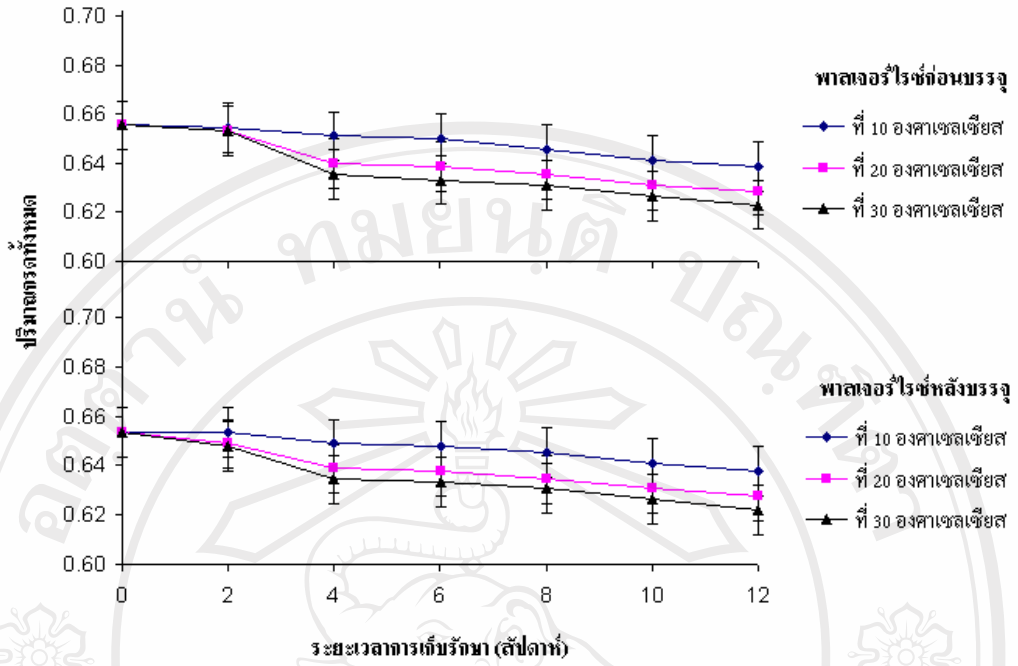
ปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำลิ้นจี่ เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่เก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส โดยอัตราการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินจะแปรผันตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษา นั่นคือ อัตราการลดลงเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิยิ่งสูงและเวลาการเก็บรักษายิ่งนาน ดังภาพ 4.14 ซึ่งสอดคล้องกับ Kammerer และคณะ (2007) ที่พบว่าอัตราการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น และงานวิจัยของ Palamidis และ Markakis (1975) ที่ศึกษาเสถียรภาพของแอนโทไซยานินที่สกัดจากองุ่น และใช้เป็นสีผสมอาหารเติมลงในเครื่องดื่มอัดก๊าซ โดยพบว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงน้อยกว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิสูงเช่นเดียวกับงานวิจัยของเกียรติศักดิ์ (2535) ที่พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในรูปสารละลายสกัด โดยปริมาณแอนโทไซยานินในสารละลายสกัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงช้ากว่าในสารละลายสกัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นอกจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาที่เป็นปัจจัยทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงแล้ว ปริมาณกรดที่มีอยู่ในน้ำลิ้นจี่โดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติสามารถเร่งให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวได้มากขึ้น ทำให้ความคงตัวลดลง (Garcia และ Bridle, 1999) และงานวิจัยของ Darravingas และ Cain (1965) ที่ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินใน canned red raspberries ที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 21 และ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 30, 60 และ 90 วัน พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณแอนโทไซยานินจะลดลง และในสภาวะที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินลดลงมากขึ้น



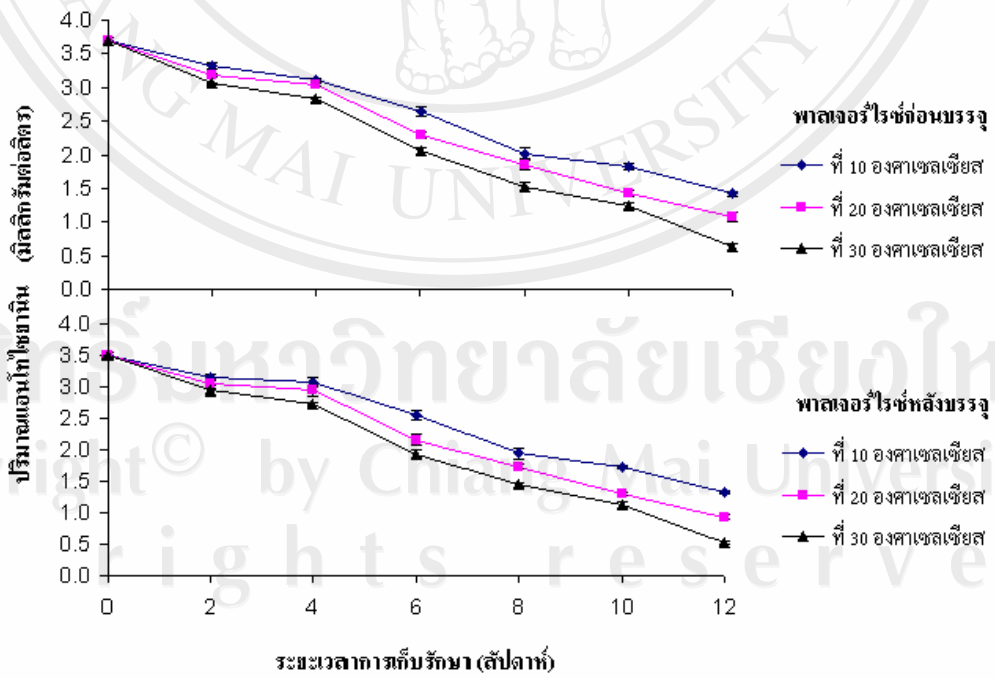
ภาพ 4.11 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงที่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุ และหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.12 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำเลี้ยงที่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.13 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกของน้ำดื่มจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.14 ปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำดื่มจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส

4.4.1.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคะแนนความชอบที่มีต่อสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมของ น้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ 0 สัปดาห์ พบว่า น้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุได้คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านกลิ่น และความชอบรวมมากกว่า แต่ได้คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านสีและรสชาติน้อยกว่าน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุ และพบว่าคะแนนความชอบที่มีต่อสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมจะลดลงแปรผันตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูง คะแนนความชอบยิ่งลดลง ดังตาราง ๓-7 ถึง ๓-9 (ภาคผนวก) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของคะแนนความชอบที่มีต่อสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ ($P > 0.05$)

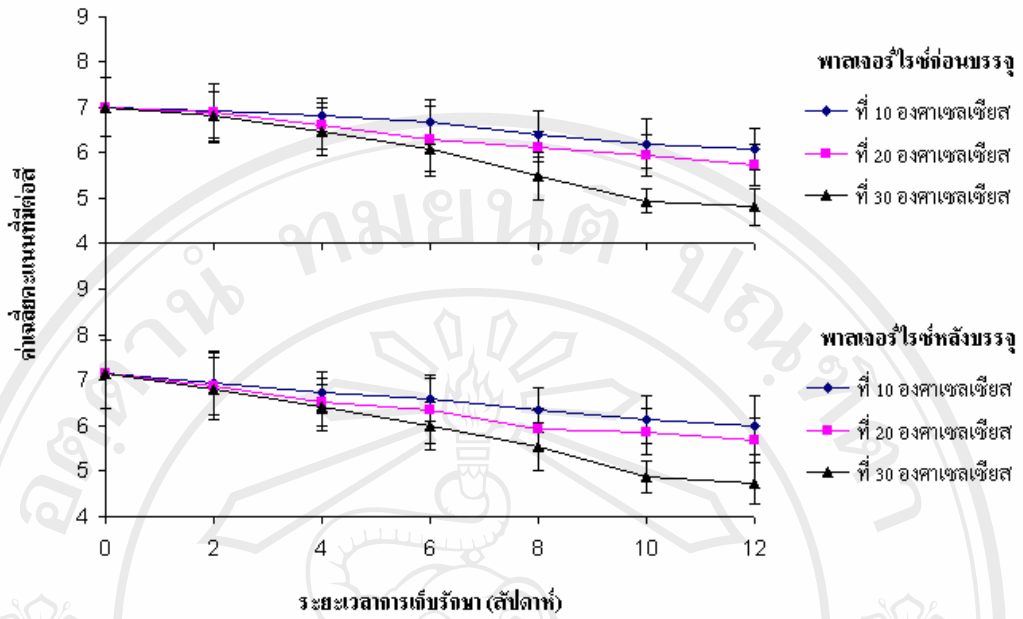
คุณลักษณะทางด้านสี พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาทั้ง 3 อุณหภูมิที่ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อสีของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันทั้งพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังภาพ 4.15 โดยน้ำลิ้นจี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าความชอบต่อสีลดลงอย่างช้าๆ จากชอบปานกลางมาเป็นชอบเล็กน้อย ในสัปดาห์ที่ 12 มีคะแนนความชอบ 6.00-6.07 เช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่พบว่าในสัปดาห์ที่ 8 คะแนนความชอบที่มีต่อสีลดลงจากชอบปานกลางมาเป็นชอบเล็กน้อย และลดลงเป็นเฉยๆ จนถึงสิ้นสุดการเก็บรักษา โดยสัปดาห์ที่ 12 มีคะแนนความชอบ 5.67-5.73 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีคะแนนความชอบที่ลดลงมาก คือ ในสัปดาห์ที่ 6 มีคะแนนความชอบลดลงจากชอบปานกลางเท่ากับ 7.00-7.13 มาเป็นชอบเล็กน้อยเท่ากับ 6.00-6.07 จากนั้นคะแนนความชอบที่มีต่อสีลดลงอย่างมากจนอยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบเล็กน้อยอาจเป็นเพราะสีน้ำเงินของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันเปลี่ยนไป เนื่องจากการสลายตัวของแอนโทไซยานินและการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในน้ำลิ้นจี่จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee (2006) ที่พบว่าคะแนนความชอบจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำกล้วยเพิ่มขึ้น โดยมีสีเหลืองจากการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น

คุณลักษณะทางด้านกลิ่น พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาทั้ง 3 อุณหภูมิที่ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อกลิ่นของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังภาพ 4.16 โดยคะแนนความชอบ

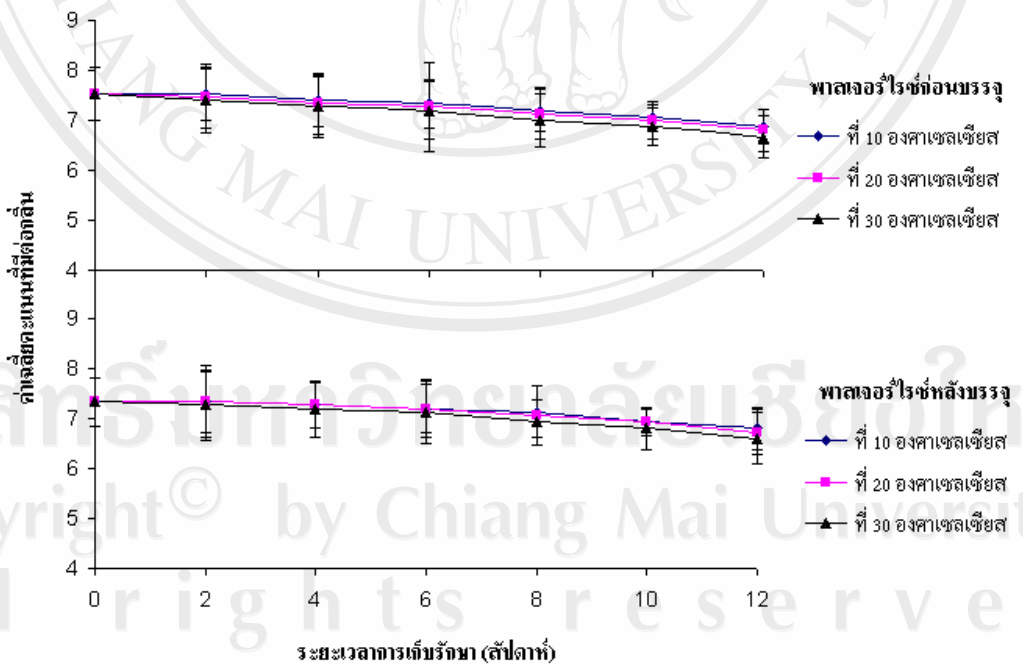
ที่มีต่อกลิ่นลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอายุการเก็บรักษา และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม พบว่าในสัปดาห์ที่ 12 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยเท่ากับ 6.80-6.87, 6.73-6.80 และ 6.60-6.67 ตามลำดับ

คุณลักษณะทางด้านรสชาติ พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาทั้ง 3 อุณหภูมิที่ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อรสชาติของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังภาพ 4.17 โดยคะแนนความชอบที่มีต่อรสชาติมีการเปลี่ยนแปลงลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอายุการเก็บรักษาและอุณหภูมิ โดยจะเห็นได้ชัดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 8 คะแนนความชอบที่มีต่อรสชาติของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันหลังบรรจุลดลง จากชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อย ส่วนน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันก่อนบรรจุมีคะแนนความชอบต่อรสชาติลดลง จากชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อย ในสัปดาห์ที่ 10 อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบที่มีต่อรสชาติของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันก่อนบรรจุและหลังบรรจุ เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษามีคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย

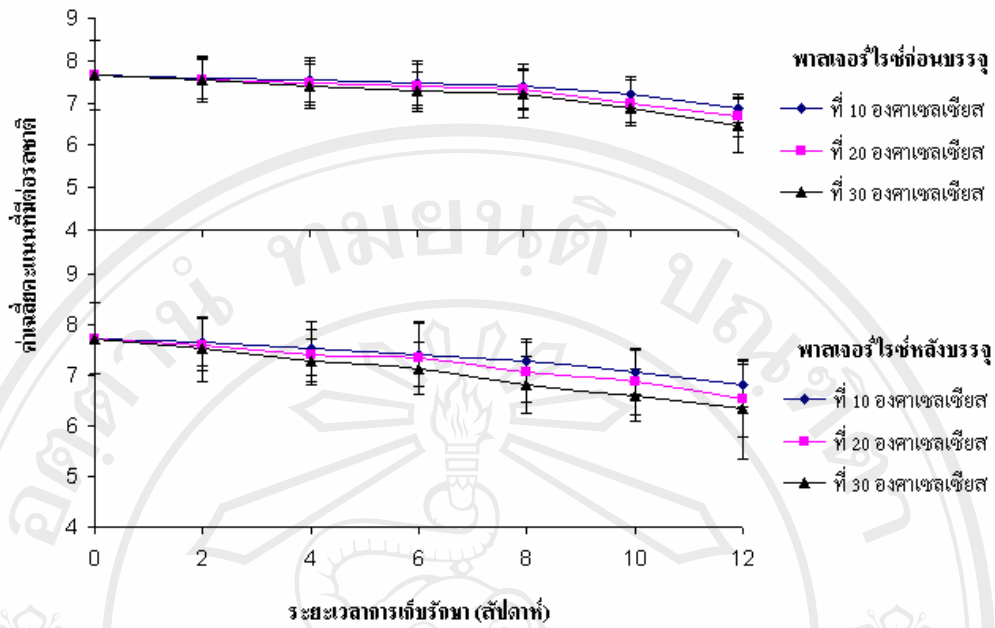
คุณลักษณะทางด้านความชอบรวม พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาทั้งอุณหภูมิที่ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อความชอบรวมของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังภาพ 4.18 โดยคะแนนความชอบรวมจะมีค่าลดลงตามอายุการเก็บรักษา และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าที่สัปดาห์ที่ 10 คะแนนความชอบที่มีต่อน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันหลังบรรจุลดลงจากชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อย สำหรับน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันก่อนบรรจุคะแนนความชอบลดลง จากชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 12 เช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าสัปดาห์ที่ 8 คะแนนความชอบรวมลดลง จากชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อยในน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันหลังบรรจุ ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าสัปดาห์ที่ 6 น้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันก่อนบรรจุคะแนนความชอบลดลง จากชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อย สำหรับน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันหลังบรรจุคะแนนความชอบลดลงจากชอบปานกลางเป็นชอบเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 4



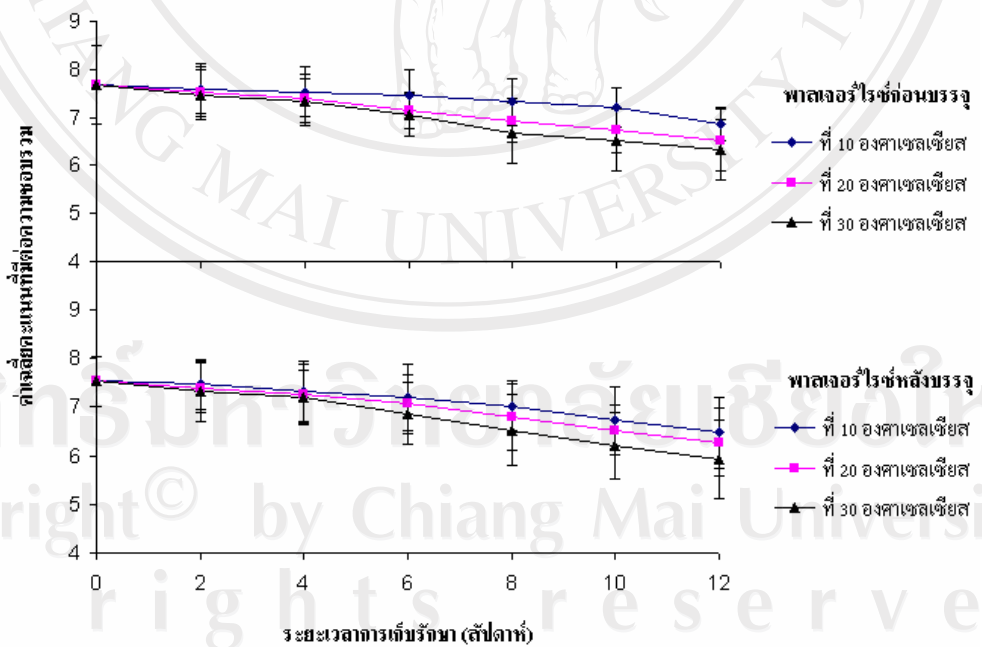
ภาพ 4.15 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน พาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน พาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.18 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบรวมของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส

4.4.1.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์ม อีโคไล ยีสต์และรา ในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ดังตาราง 30 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษาและอุณหภูมิที่เก็บรักษาสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในน้ำล้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน เห็นได้ว่าวิธีการพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าทั้งนี้เนื่องจากวิธีการพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุสามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากภายนอกได้ดีกว่า แต่ตรวจไม่พบทั้งโคลิฟอร์ม อีโคไล ยีสต์และรา ในน้ำล้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน ทั้งพาสเจอร์ไรซ์ก่อนและหลังบรรจุในทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษาตลอดระยะเวลา 3 เดือน ซึ่งผลการตรวจเชื้อจุลินทรีย์ตรงตามข้อกำหนดในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214 พ.ศ. 2543 เรื่องเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิทในส่วนของโคลิฟอร์ม อีโคไล ยีสต์ และรา ต้องไม่พบ การที่จุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ คือ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้จุลินทรีย์ที่เหลืออยู่สามารถเจริญเติบโตได้ในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีการกำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 701/2547, 1310/2547 ดังนั้นวิธีการพาสเจอร์ไรซ์น้ำล้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันหลังบรรจุจะดีกว่าก่อนบรรจุ เพราะโอกาสปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากภายนอกเข้าไปในระหว่างบรรจุจะไม่มี และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจำนวนน้อยกว่าทั้งที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส

ตาราง 4.30 ผลของการวิเคราะห์จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ของน้ำล้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันด้วยวิธีพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส (ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์)

| อายุการเก็บรักษา (เดือน) | ชนิดจุลินทรีย์ | อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส) | | | | | |
|-----------------------------|--|---------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| | | การพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุ | | | การพาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุ | | |
| | | 10 | 20 | 30 | 10 | 20 | 30 |
| 0 | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 |
| | โคลิฟอร์ม (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 |
| | อีโคไล (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| | ยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| 1 | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | 15 | 18 | 28 | 12 | 21 | 28 |
| | โคลิฟอร์ม (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 |
| | อีโคไล (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| | ยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| 2 | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | 95 | 1.2×10^2 | 1.6×10^2 | 50 | 70 | 2.1×10^2 |
| | โคลิฟอร์ม (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 |
| | อีโคไล (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| | ยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| 3 | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | 4.0×10^2 | 6.5×10^2 | 9.0×10^2 | 2.3×10^2 | 5.0×10^2 | 7.5×10^2 |
| | โคลิฟอร์ม (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 | น้อยกว่า 2.2 |
| | อีโคไล (แบคทีเรียต่อ 100 มิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| | ยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |

ในการศึกษาเพื่อให้ทราบอายุการเก็บรักษาของน้ำลิ้นจี่ในสภาวะเร่ง (Accelerated shelf life testing; ASLT) ซึ่งใช้ในการประมาณผลของปัจจัยภายนอก (Extrinsic factor) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสงที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยให้อาหารอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุม และให้ปัจจัยภายนอกหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งปัจจัยอยู่ในระดับสูงกว่าปกติทำให้ อัตราการเกิดการเสื่อมเสียถูกเร่งให้เร็วขึ้นมีผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับในช่วงเวลาหนึ่งสั้นขึ้น สามารถคำนวณขนาดของการเร่งและคำนวณหาอายุการเก็บรักษาที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ในสภาวะปกติ เนื่องจากสามารถประมาณผลของปัจจัยภายนอกที่มีต่อปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย (Labuza, 1982) จากผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชัน ในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลชีววิทยา และทางการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในการทดลอง ได้กำหนดให้น้ำลิ้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่พาสเจอร์ไรซ์หลังบรรจุหมดยุ เมื่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินต่ำกว่า 1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร พิจารณาจากปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 100 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ที่อายุการเก็บรักษา 2 เดือน น่าจะเป็น คุณลักษณะที่บ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค จึงได้นำเอาค่าปริมาณ แอนโทไซยานินที่วัดได้มาสร้างกราฟ (ภาพ 4.19) จากกราฟที่ได้พบว่าเป็นเส้นตรงซึ่งเป็นปฏิกิริยา อันดับ 0 โดยมีสมการดังนี้

$$\text{ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีสมการ } y = -0.1855x + 3.5290 \quad R^2 = 0.9935 \quad (4.1)$$

$$\text{ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีสมการ } y = -0.2167x + 3.5147 \quad R^2 = 0.9970 \quad (4.2)$$

$$\text{ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีสมการ } y = -0.2442x + 3.4396 \quad R^2 = 0.9927 \quad (4.3)$$

แทนค่าปริมาณแอนโทไซยานิน 1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในสมการ 4.1-4.3 ดังนั้นสรุป อายุการเก็บรักษาได้ คือ ที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษา 9.10, 7.73 และ 6.55 สัปดาห์ ตามลำดับ นำอายุการเก็บรักษาที่ได้มาทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยใช้สมการของ Labuza (1982) แทนค่าในสูตร

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } T_1}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } T_1 + 10 \text{ องศาเซลเซียส}} \quad (4.4)$$

$$= \frac{9.10 \text{ สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส}}{7.73 \text{ สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส}}$$

$$= 1.18$$

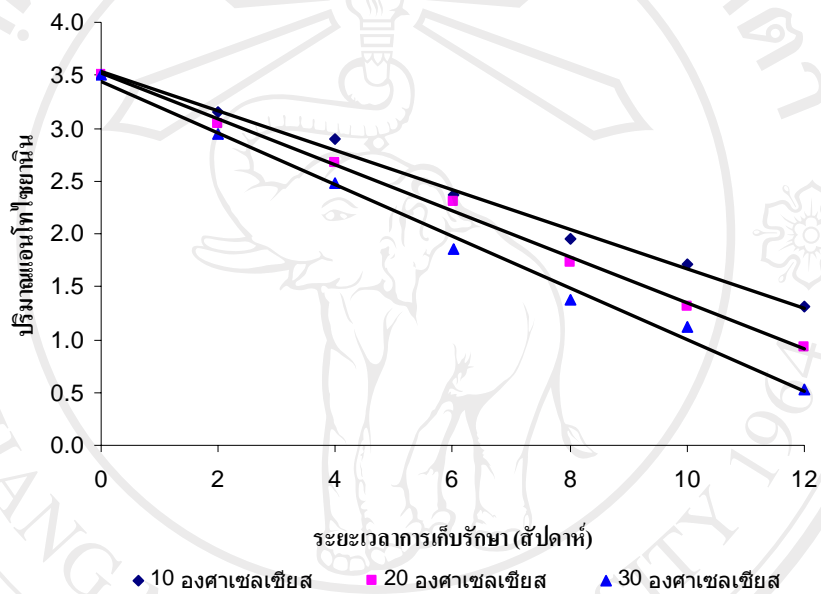
$$\text{จากสูตร } Q_{10}^{\Delta T/10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } T_1}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } T_2} \quad (4.5)$$

$$= \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส}}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส}}$$

$$1.18^{(20-4)/10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส}}{7.73 \text{ สัปดาห์}}$$

$$\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส} = 10.07 \text{ สัปดาห์}$$

ดังนั้น อายุการเก็บรักษาของน้ำดื่มจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่พาสเจอร์ไรซ์หลัง
บรรจุที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ประมาณ 70 วัน



ภาพ 4.19 ปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำดื่มจีเสริมสารสกัดจากดอกอัญชันที่พาสเจอร์ไรซ์หลัง
บรรจุระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส

ตาราง 4.31 ผลของการวิเคราะห์หาค่าคุณภาพต่างๆ ของน้ำล้นจี่เสริมสารสกัดจากดอกอัญชันด้วยวิธีพาสเจอร์ไรซ์ก่อนบรรจุและหลังบรรจุที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส (ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์)

| ค่าตอบสนอง | อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส) | | | | | |
|--|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 10 | | 20 | | 30 | |
| | ก่อนบรรจุ | หลังบรรจุ | ก่อนบรรจุ | หลังบรรจุ | ก่อนบรรจุ | หลังบรรจุ |
| ค่าสี L* | 27.00 ^a ± 0.47 | 26.40 ^a ± 0.77 | 26.89 ^a ± 0.48 | 26.19 ^a ± 0.89 | 26.77 ^a ± 0.49 | 25.97 ^a ± 1.04 |
| ค่าสี a* | 15.86 ^a ± 0.70 | 14.90 ^b ± 0.58 | 19.87 ^a ± 6.04 | 14.73 ^b ± 0.66 | 15.39 ^a ± 0.72 | 14.45 ^b ± 0.87 |
| ค่าสี b* | -24.90 ^a ± 0.53 | -23.86 ^b ± 0.51 | -24.69 ^a ± 0.64 | -23.68 ^b ± 0.55 | -24.42 ^a ± 0.75 | -23.28 ^b ± 0.64 |
| ค่าสี C* | 30.68 ^a ± 0.34 | 29.70 ^b ± 0.59 | 30.47 ^a ± 0.45 | 29.45 ^b ± 0.66 | 30.17 ^a ± 0.65 | 29.09 ^b ± 0.74 |
| ค่าสี H ^o | 292.1 ^b ± 0.26 | 291.5 ^a ± 0.25 | 292.0 ^a ± 0.32 | 291.5 ^b ± 0.26 | 291.9 ^a ± 0.38 | 291.4 ^b ± 0.30 |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | 3.76 ± 0.01 | 3.77 ± 0.01 | 3.78 ± 0.02 | 3.78 ± 0.02 | 3.79 ± 0.02 | 3.79 ± 0.02 |
| ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | 18.09 ± 0.11 | 18.09 ± 0.12 | 17.99 ± 0.19 | 17.97 ± 0.19 | 17.88 ± 0.27 | 17.86 ± 0.26 |
| ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) | 0.65 ± 0.01 | 0.65 ± 0.01 | 0.64 ± 0.01 | 0.64 ± 0.01 | 0.67 ± 0.01 | 0.63 ± 0.01 |
| ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | 2.60 ± 0.83 | 2.42 ± 0.80 | 2.39 ± 1.01 | 2.21 ± 0.94 | 2.14 ± 1.10 | 1.97 ± 1.06 |
| สี | 6.58 ± 0.36 | 6.55 ± 0.42 | 6.36 ± 0.48 | 6.33 ± 0.54 | 5.93 ± 0.89 | 5.93 ± 0.93 |
| กลิ่น | 7.28 ± 0.25 | 7.14 ± 0.21 | 7.22 ± 0.26 | 7.12 ± 0.23 | 7.13 ± 0.30 | 7.04 ± 0.27 |
| รสชาติ | 7.38 ± 0.28 | 7.35 ± 0.33 | 7.30 ± 0.35 | 7.22 ± 0.42 | 7.20 ± 0.41 | 7.06 ± 0.51 |
| ความชอบรวม | 7.39 ± 0.29 | 7.10 ± 0.39 | 7.13 ± 0.43 | 6.98 ± 0.47 | 7.01 ± 0.51 | 6.80 ± 0.60 |

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่าก่อนและหลังบรรจุของแต่ละอุณหภูมิมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)