

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ศึกษาคุณสมบัติของผลหม่อนและน้ำหม่อนแท้

4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลหม่อน

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของผลหม่อน

ความยาวเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	18.94 ± 1.72
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	9.92 ± 0.66
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	1.39 ± 0.18

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=30)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อทำการวัดขนาดทั้งความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ ระยะการสุกเต็มที่มีความยาวเฉลี่ย 18.94 ± 1.72 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 9.92 ± 0.66 มิลลิเมตร ซึ่งความยาวเฉลี่ยนั้นมีค่าแตกต่างกับรายงานของ มนต์วีดี (2552) แต่เส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ มนต์วีดี (2552) ที่ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันของผลหม่อน สายพันธุ์เชียงใหม่ พบว่าในระยะสุกเต็มที่มีทั้งความยาวเท่ากับ 26 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 11.6 มิลลิเมตร ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากแหล่งเพาะปลูก สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ ดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ฤดูกาล และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าที่ได้ไม่ใกล้เคียงกัน

4.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำหม่อนแท้

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำหม่อนแท้

ผลผลิตที่ได้ (%)	4.24 ± 1.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (°Brix)	16.00 ± 0.00
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	4.12 ± 0.00
Monomeric anthocyanin pigment (มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ลิตร)	557.03 ± 0.54
ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.68 ± 0.00

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำหม่อนแท้

ค่าสี	L*	1.97 ± 0.59
	a*	0.40 ± 0.03
	b*	-0.57 ± 0.18

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 16.00 ± 0.00 °Brix ซึ่งอยู่ในเกณฑ์รายงานของ Ercisli และ Orhan (2007) ที่ทำการศึกษากลมหม่อนสุกสายพันธุ์ตุรกี พบว่ามีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำอยู่ในช่วง $15.90-20.40$ °Brix และค่า pH เท่ากับ 4.12 ± 0.00 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันกับรายงานของ วสันต์ (2546) พบว่ามีค่า pH เท่ากับ 5.90 ในกระบวนการแปรรูปผลหม่อนให้เป็นน้ำหม่อนนั้น สามารถคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้เท่ากับ 4.24 ± 1.40 ค่าที่ได้มีค่าน้อยมากเกิดจากที่ผลหม่อนเป็นผลไม้ที่มีขนาดเล็ก องค์ประกอบของน้ำในผลไม้มีน้อย อีกทั้งในกระบวนการแปรรูปได้ผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนจึงทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตขึ้น และจากการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเริ่มต้นในน้ำหม่อนโดยวิธี pH-differential พบว่ามีค่าเท่ากับ 557.03 ± 0.54 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ลิตร ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ของรายงาน มนต์วดี (2552) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์คือ สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 สายพันธุ์เชียงใหม่ และสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยมีปริมาณตั้งแต่ 2.6 ถึง 1,843.6 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ลิตร โดยมนต์วดี (2552) กล่าวว่าผลหม่อนที่สุกเต็มที่ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือผลสุก ผลกึ่งสุก และผลอ่อน ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสีที่สังเกตเห็นได้ โดยเมื่อผลหม่อนยังอ่อนอยู่จะมีสีเขียวซึ่งพบแอนโทไซยานินทั้งหมดในปริมาณที่น้อยมาก คือ 2.6 ถึง 6.8 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ลิตร และเมื่อเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีสีชมพู สีแดง และสีม่วงเข้ม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลไม้ที่มีสีแดงส่วนใหญ่แล้วจะมีการสะสมแอนโทไซยานินและมีการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ เมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (ธนะบุญย์, 2548; Mozetic และคณะ, 2004) และปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.68 ± 0.00 (กรัม/100 มิลลิลิตร) ซึ่งในการคำนวณจะคิดในรูปของกรดซิตริก เมื่อพิจารณาค่าสีพบว่าค่า L* คือค่าความสว่างเริ่มจากสีขาว ($L^* = 100$) ไปจนถึงสีดำ ($L^* = 0$) ค่า a* เป็นสีแดงเมื่อเป็นบวกรหรือเป็นสีเขียวเมื่อเป็นลบ และค่า b* เป็นสีเหลืองเมื่อเป็นบวกรหรือเป็นสีน้ำเงินเมื่อเป็นลบ จากผลการทดลองที่ได้น้ำหม่อนมีค่า L* เท่ากับ 1.97 ± 0.59 ค่า a* มีค่าเท่ากับ 0.40 ± 0.03 และค่า b* มีค่าเท่ากับ -0.57 ± 0.18 และเมื่อสังเกตด้วยสายตา น้ำหม่อนมีสีแดงเลือดหมู

4.2 ศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อความคงตัวของสี และปริมาณแอนโทไซยานิน ในน้ำหม่อนแท้

4.2.1 ศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำหม่อนแท้

ตารางที่ 4.3 ผลของ pH ที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำหม่อนแท้

ค่า pH	โมโนแมริกแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ลิตร)
2.5	541.39 ± 106.43 ^a
4.0	434.15 ± 88.08 ^a
6.0	1.76 ± 0.74 ^b
8.0	59.82 ± 25.79 ^b

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

^{a-b} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.3 ตารางภาคผนวกที่ ง.1.1 และตารางภาคผนวกที่ ง.1.2 พบว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินจะมีค่าลดลง โดยที่ pH 2.5 และ 4.0 จะมีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าที่ pH 6.0 และ 8.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และปริมาณแอนโทไซยานินที่ pH 2.5 และ 4.0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินเป็น 541.39 ± 106.43 และ 434.15 ± 88.08 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ลิตร ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันที่ pH 6.0 และ 8.0 มีปริมาณแอนโทไซยานินเป็น 1.76 ± 0.74 และ 59.82 ± 25.79 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้พบว่าน้ำหม่อนที่มีค่า pH เท่ากับ 2.5 จะมีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด รองลงมาคือ pH 4.0 8.0 และ 6.0 ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินในสภาวะที่เป็นกรดมีความคงตัวมากกว่าในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง (Bae และ Suh, 2007 และ Markakis, 1982) ดังนั้นแอนโทไซยานินในน้ำหม่อนที่มีค่า pH เท่ากับ 2.5 จึงเกิดการสลายตัวช้าที่สุดในระหว่างการให้ความร้อน จึงทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Kirca และคณะ (2007) พบว่าแอนโทไซยานินของแครอทม่วง (black carrot) เกิดการสลายตัวมากขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นในระหว่างที่ให้ความร้อน ทั้งนี้ที่ pH ต่ำกว่า 2 แอนโทไซยานินอยู่ในรูปของ flavylium cation (สีแดง) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัว แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้น flavylium cation จะอยู่ในสภาวะที่ไม่คงตัวซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น colourless pseudobase (ไม่มีสี) ที่ pH 4-5, quinoidal base (สีน้ำเงิน) ที่ pH

6-7 และ chalcone (สีเหลืองอ่อน-ไม่มีสี) ที่ pH มากกว่า 7 (Markakis, 1982; Stintzing และ Carle, 2004 และ Kulling, 2007)

และเมื่อพิจารณาที่ pH 8.0 พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าที่ pH 2.5, 4.0 และ 6.0 เนื่องจากแอนโทไซยานินส่วนมากอยู่ในรูปของ chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัวน้อย (Markakis, 1982) จึงอาจเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นน้อยกว่าที่ pH อื่น ๆ

ทั้งนี้แอนโทไซยานินสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตและในระหว่างการเก็บอาหาร Markakis (1982) รายงานว่าเมื่อให้ความร้อนแก่สตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้แอนโทไซยานินในสตรอเบอรี่เกิดการเสื่อมสลายไปร้อยละ 50 และมีค่าครึ่งชีวิตที่ 1 ชั่วโมง และ Kirca และ Cemeroglu (2003) ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินของ blood orange ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียสพบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความคงตัวของแอนโทไซยานินลดลง และมีค่าครึ่งชีวิตลดลง อีกทั้ง Kirca และคณะ (2007) ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินของแครอทม่วง (black carrot) ในสารละลายซีเตรทฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ pH 2.5 - 7.0 โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าความคงตัวของแอนโทไซยานินที่ pH เดียวกันลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และรงควัตถุแอนโทไซยานินที่อยู่ในผักและผลไม้ จะถูกทำลายได้ง่ายในกระบวนการแปรรูปอาหาร ตัวอย่างเช่น การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง pH กรดอะมิโน กรดแอสคอร์บิก และภาวะที่มีออกซิเจน จะมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโทไซยานินกับสารประกอบเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น แยมสตรอเบอรี่ซึ่งมีสีแดง เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ปีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล-แดง เนื่องจากมีสารฟิลาบาเฟน (phlobaphen) เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

4.2.2 ศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อความคงตัวของสีในน้ำหมอนแท้

ตารางที่ 4.4 ผลของ pH ที่มีผลต่อความคงตัวของสีในน้ำหมอนแท้

ค่า pH	L*	a*	b*	C*	h* (องศา)
2.5	4.82 ± 0.24 ^d	14.00 ± 1.00 ^a	3.56 ± 0.08 ^b	14.63 ± 0.92 ^a	14.31 ± 1.28 ^{bc}
4.0	6.97 ± 0.22 ^c	12.75 ± 0.65 ^b	2.04 ± 0.51 ^c	12.92 ± 0.65 ^b	9.10 ± 2.27 ^c
6.0	14.30 ± 0.49 ^a	3.78 ± 0.32 ^c	1.80 ± 0.57 ^c	4.23 ± 0.19 ^c	25.51 ± 8.23 ^b
8.0	10.47 ± 0.31 ^b	2.15 ± 0.27 ^d	4.72 ± 0.30 ^a	5.19 ± 0.32 ^c	65.43 ± 2.72 ^a

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

^{a-d} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

จาก L^* แสดงถึงความสว่าง ถ้ามีค่าเป็นบวกมาก แสดงว่าตัวอย่างมีค่าความสว่างมาก ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าที่ pH 6.0 มีค่า L^* มากที่สุด ตามด้วย pH 8.0 pH 4.0 และ pH 2.5 ตามลำดับ ซึ่งค่า L^* ของ pH 2.5 4.0 6.0 และ 8.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อค่า pH สูงขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ค่า L^* สูงขึ้น เนื่องจากสีจะจางลงเมื่อปรับ pH เป็น 4.0-6.0 เพราะที่ pH ต่ำกว่า 2 แอนโทไซยานิน อยู่ในรูปของ flavylium cation (สีแดง) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัว แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้น flavylium cation จะอยู่ในสภาวะที่ไม่คงตัวซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น colourless pseudobase (ไม่มีสี) ที่ pH 4-5 ทำให้มีแนวโน้มค่าความสว่างมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่ pH 8.0 กลับพบว่ามีค่า L^* ลดลง เนื่องจากมาจาก pH ของสารละลายที่แอนโทไซยานินละลายอยู่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสีได้ เพราะ pH มีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง โดยที่ pH เป็นกลางถึงต่ำเล็กน้อย เช่น 8.5 จะให้สีม่วง แต่ถ้าเป็นต่างมาก ๆ เช่น ที่ pH เท่ากับ 11 จะให้สีน้ำเงิน จึงทำให้ค่าความสว่างน้อยกว่าที่ pH 6.0 อีกทั้งความร้อนก็มีผลต่อรงควัตถุแอนโทไซยานินที่อยู่ในผักและผลไม้ โดยแอนโทไซยานินเมื่ออยู่ในสารละลายทำตัวเสมือนเป็นอินดิเคเตอร์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและสี เมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปโดยในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำหรือ pH เป็นกลาง แอนโทไซยานินจะมีโครงสร้างได้ทั้ง 4 แบบ คือ flavylium cation quinoidal base carbinol pseudobase และ chalcone

จาก a^* แสดงถึงความเป็นความเป็นสีเขียวและสีแดง โดยถ้าค่า a^* เป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่า a^* เป็นลบจะแสดงถึงความเป็นสีเขียว ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าที่ pH 2.5 มีค่า a^* มากที่สุด ตามด้วย pH 4.0 pH 6.0 และ pH 8.0 ตามลำดับ ซึ่งค่า a^* ของ pH 2.5 4.0 6.0 และ 8.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อค่า pH สูงขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ค่า a^* ลดลง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า ที่ pH ต่ำกว่า 2 แอนโทไซยานินอยู่ในรูปของ flavylium cation (สีแดง) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัว แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้น flavylium cation จะอยู่ในสภาวะที่ไม่คงตัวซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น colourless pseudobase (ไม่มีสี) ที่ pH 4-5 quinoidal base (สีน้ำเงิน) ที่ pH 6-7 และ chalcone (สีเหลืองอ่อน-ไม่มีสี) ที่ pH มากกว่า 7 (Markakis, 1982; Stintzing และ Carle, 2004 และ Kulling, 2007)

จาก b^* แสดงถึงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยถ้าค่า b^* เป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีเหลือง ถ้าค่า b^* เป็นลบจะแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าที่ pH 8.0 มีค่า b^* มากที่สุด ตามด้วย pH 2.5 pH 4.0 และ pH 6.0 ตามลำดับ ซึ่งค่า b^* ของ pH 2.5 4.0 6.0 และ 8.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ pH 4.0 และ 6.0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจาก ที่ pH ต่ำกว่า 2 แอนโทไซ

ยานินอยู่ในรูปของ flavylum cation (สีแดง) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัว แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้น flavylum cation จะอยู่ในสถานะที่ไม่คงตัวซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น colourless psuedobase (ไม่มีสี) ที่ pH 4-5 quinoidal base (สีน้ำเงิน) ที่ pH 6-7 และ chalcone (สีเหลืองอ่อน-ไม่มีสี) ที่ pH มากกว่า 7 (Markakis, 1982; Stintzing และ Carle, 2004 และ Kulling, 2007)

จาก C* แสดงถึงค่าที่บอกถึงความเข้มของเนื้อสี ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า ที่ pH 2.5 มีค่า C* มากที่สุด ตามด้วย pH 4.0 8.0 และ 6.0 ตามลำดับ ซึ่งค่า C* ของ pH 2.5 4.0 6.0 และ 8.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ pH 6.0 และ 8.0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากความร้อนทำให้สารสีในน้ำหมอนที่เป็นรงควัตถุแอนโทไซยานินถูกทำลายจึงทำให้น้ำหมอนมีสีอ่อนลงเล็กน้อย อีกทั้ง pH ก็มีผลต่อค่าความคงตัวของ รงควัตถุแอนโทไซยานิน

จาก h* แสดงถึงค่าเฉดสี ที่ระบุว่าสีอยู่ในตำแหน่งใดในกราฟ มีหน่วยเป็นองศา ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า ที่ pH 8.0 มีค่า h* มากที่สุด ตามด้วย pH 6.0 2.5 และ 4.0 ตามลำดับ ซึ่งค่า h* ของ pH 2.5 4.0 6.0 และ 8.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ pH 2.5 และ 4.0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) พบว่าค่า h* มีเฉดสีแดง แต่ pH 8.0 มีค่า h* เท่ากับ 65.43 ± 2.72 องศา ซึ่งอยู่ในเฉดสีแดงค่อนข้างไปทางสีเหลืองที่ 90 องศา ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า ที่ pH ต่ำกว่า 2 แอนโทไซยานินอยู่ในรูปของ flavylum cation (สีแดง) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัว แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้น flavylum cation จะอยู่ในสถานะที่ไม่คงตัวซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น colourless psuedobase (ไม่มีสี) ที่ pH 4-5 quinoidal base (สีน้ำเงิน) ที่ pH 6-7 และ chalcone (สีเหลืองอ่อน-ไม่มีสี) ที่ pH มากกว่า 7 (Markakis, 1982; Stintzing และ Carle, 2004 และ Kulling, 2007)

4.3 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในเครื่องดื่มน้ำหมอนชนิดขุ่น 6 สูตร ในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

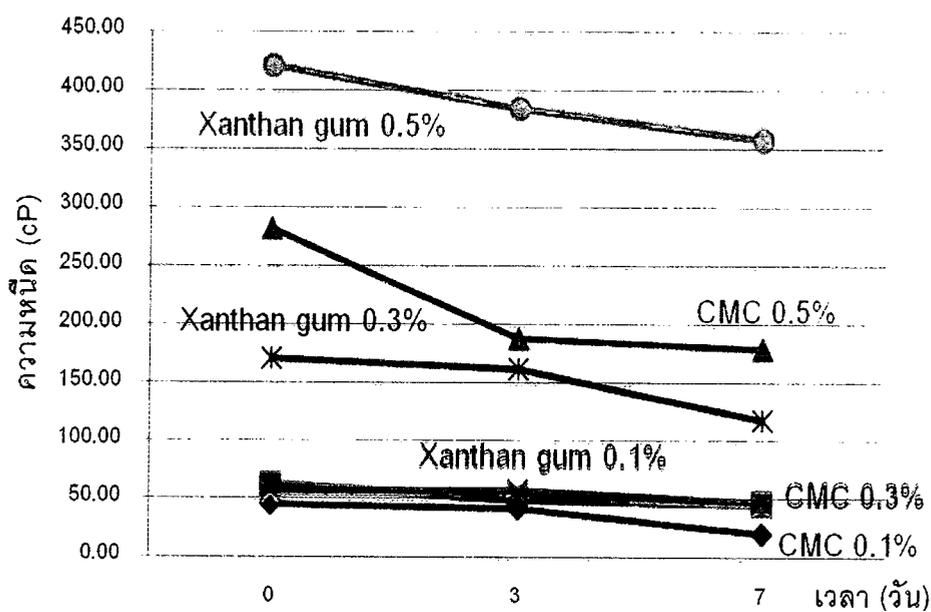
4.3.1 ศึกษาผลของความหนืดในเครื่องดื่มน้ำหมอนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของเครื่องดื่มน้ำหมอนชนิดขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4.5 และตารางภาคผนวกที่

ตารางที่ 4.5 ผลของความหนืดในเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดซุ่น 6 สูตร ในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารให้ความ คงตัว (%)	วันที่	ค่าความหนืด (cP)		
		CMC	Xanthan gum	เฉลี่ย
0.1	0	47.47 ± 0.92	57.10 ± 2.54	45.78 ± 12.23
	3	44.00 ± 0.00	56.49 ± 4.09	
	7	22.58 ± 4.46	47.04 ± 6.62	
0.3	0	63.33 ± 0.67	170.67 ± 2.31	102.19 ± 52.95
	3	50.95 ± 3.55	161.91 ± 11.88	
	7	48.00 ± 4.00	118.26 ± 16.77	
0.5	0	281.33 ± 2.31	422.11 ± 8.00	302.59 ± 97.82
	3	187.85 ± 8.18	385.89 ± 24.43	
	7	178.37 ± 5.73	360.00 ± 14.42	
เฉลี่ย		102.65 ± 86.69	197.72 ± 145.61	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว CMC และ Xanthan gum ต่อค่าความหนืดของเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดซุ่น

จากการทดลองพบว่าความหนืดของเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นอยู่ในช่วง 22.58 – 422.11 cP พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว ทำให้ค่าความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อปริมาณของสารให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการตรวจสอบค่าความหนืดที่ระยะเวลาวันที่ 0 3 และ 7 จะเห็นได้เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นทั้ง 6 สูตรจะมีแนวโน้มของความหนืดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับที่ Pangbom และคณะ (1978) รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกัมที่เติมลงในเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นโดยตรงกับการเพิ่มความหนืดทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส ซึ่งสารให้ความคงตัวที่ทำให้เครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นมีความหนืดที่ดี เมื่อพิจารณาในด้านปริมาณพบว่าสารให้ความคงตัวที่ร้อยละ 0.5 จะให้ค่าความหนืดสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 302.59 ± 97.82 cP และเมื่อพิจารณาชนิดของสารให้ความคงตัวพบว่าสารให้ความคงตัวชนิด Xanthan gum จะให้ค่าความหนืดสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 197.72 ± 145.61 cP เนื่องจาก Xanthan gum เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีกึ่งก้านมากและมีกึ่งก้านยาวกว่ากัมชนิดอื่นๆ (ปฐมพร, 2548) จึงทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนมาก ระบบจึงมีความหนืดสูง สำหรับ CMC ร้อยละ 0.1 และ 0.3 ถึงแม้ว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่หนืดเล็กน้อย แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้น การใช้ CMC ที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนืดของสารละลายจะขึ้นอยู่กับค่า degree of polymerization (DP) ของ CMC ถ้ามีค่า DP สูง (CMC ที่มีจำนวนพอลิเมอร์อยู่ในโครงสร้างมาก) จะทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น อีกทั้งสารละลาย CMC มีลักษณะคล้ายซูโดพลาสติก CMC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดต่ำและมีความเป็นซูโดพลาสติกน้อยกว่าสารละลาย CMC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และถ้าปริมาณความเข้มข้นของ CMC ในสารละลายมาก ก็จะทำให้สารละลายมีความหนืดที่มากขึ้นด้วย จากคุณสมบัติพื้นฐานของไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมคือ สามารถละลายหรือกระจายตัวได้ในน้ำและเนื่องจากมีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีโครงสร้างจำเพาะ (specific configuration) มีประจุและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน จึงสามารถลดความสามารถในการเคลื่อนย้ายของน้ำได้ เป็นผลทำให้ความสามารถในการเป็นของไหลลดลงหรือมีความหนืดสูงขึ้น (Szczesniak, 1986)

ในผลิตภัณฑ์เครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิด Xanthan gum ร้อยละ 0.5 จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูงที่สุด และเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นที่เติมสารให้ความคงตัวชนิด CMC ร้อยละ 0.1 จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดต่ำที่สุด ซึ่งมีผลทำให้เครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นที่เติมสารให้ความคงตัวชนิด CMC ร้อยละ 0.1 มีความสามารถในการคงตัวน้อยกว่า Xanthan gum ร้อยละ 0.5 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Tan (1990) พบว่าการเพิ่มความหนืดมีผลทำให้ความสามารถในการคงตัวความชุ่นเพิ่มขึ้น

4.3.2 ศึกษาผลของความขุ่นและความคงตัวของความขุ่นทางกายภาพในเครื่องต้มน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

จากการวิเคราะห์ความขุ่นในเครื่องต้มน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4.6 และตารางภาคผนวกที่ 8 และทำการวิเคราะห์ความคงตัวของความขุ่นทางกายภาพของเครื่องต้มน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ดังแสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลของความขุ่นในเครื่องต้มน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารให้ความคงตัว (%)	วันที่	ความขุ่น (NTU)		
		CMC	Xanthan gum	เฉลี่ย
0.1	0	88.80 ± 7.77	286.67 ± 16.50	129.23 ± 98.52
	1	59.03 ± 2.78	233.67 ± 22.50	
	2	29.53 ± 0.15	244.67 ± 5.69	
	3	27.80 ± 0.72	240.33 ± 3.51	
	4	25.83 ± 0.45	217.33 ± 5.51	
	5	22.57 ± 0.12	207.00 ± 8.66	
	6	20.93 ± 0.67	179.00 ± 4.36	
	7	20.17 ± 0.32	164.33 ± 4.73	
0.3	0	102.33 ± 2.52	400.67 ± 5.50	202.13 ± 157.41
	1	77.73 ± 2.04	377.67 ± 6.66	
	2	41.47 ± 0.85	377.00 ± 1.73	
	3	37.50 ± 0.36	361.67 ± 6.11	
	4	33.37 ± 1.57	349.33 ± 8.74	
	5	32.83 ± 0.76	338.33 ± 5.51	
	6	32.13 ± 0.12	322.33 ± 4.62	
	7	31.30 ± 0.35	318.33 ± 2.52	

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ผลของความขุ่นในเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

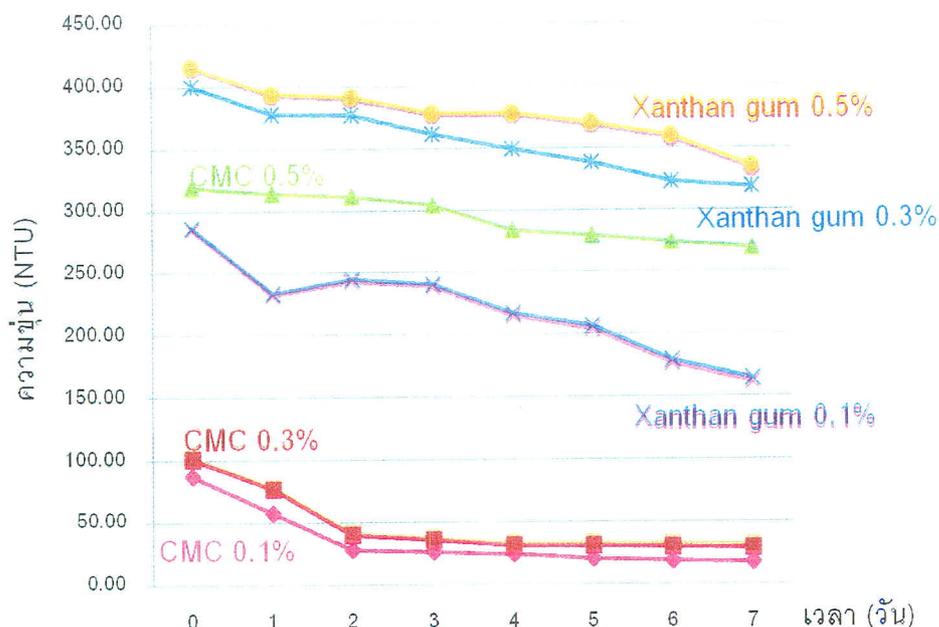
สารให้ความคงตัว (%)	วันที่	ความขุ่น (NTU)		
		CMC	Xanthan gum	เฉลี่ย
0.5	0	319.00 ± 3.00	416.33 ± 10.02	336.40 ± 47.68
	1	314.00 ± 4.58	394.67 ± 0.58	
	2	311.67 ± 11.68	391.33 ± 7.57	
	3	304.67 ± 10.70	378.33 ± 4.04	
	4	283.67 ± 12.34	378.33 ± 1.15	
	5	279.00 ± 8.00	371.33 ± 3.06	
	6	274.33 ± 2.08	361.00 ± 11.14	
	7	269.00 ± 5.57	335.67 ± 4.51	
เฉลี่ย		126.61 ± 121.75	318.56 ± 75.90	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

ตารางที่ 4.7 ผลของความคงตัวของความขุ่นทางกายภาพของเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ชนิดของสารให้ความคงตัว	ปริมาณของสารให้ความคงตัว (%)	ความคงตัวของความขุ่นทางกายภาพ (%)								
		วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่
		0	1	2	3	4	5	6	7	
CMC	0.1	-	-	48	48	48	48	48	48	
	0.3	-	-	28	28	28	29	29	32	
	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
Xanthan gum	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	
	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	
	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ: - หมายถึงไม่เกิดการแยกชั้น



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว CMC และ Xanthan gum ต่อค่าความขุ่นของเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุ่น

จากการศึกษาผลของความขุ่นในเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วันพบว่าเมื่อนำเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุ่นมาตรวจสอบทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน โดยวัดความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว ทำให้ค่าความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุ่นที่เติมสารให้ความคงตัวเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นจะมีแนวโน้มให้ความสามารถของความคงตัวของเนื้อผลไม้ลดลง ทำให้มีค่าความขุ่นลดลง โดยสอดคล้องกับการศึกษาเรื่องผลของความคงตัวของความขุ่นทางกายภาพของเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ดังแสดงตารางที่ 4.7 ซึ่งได้ทำการสังเกตการณ์ตกตะกอนด้วยสายตา แล้ววัดความสูงของตะกอน คำนวณเป็นร้อยละความคงตัวของความขุ่นทางกายภาพ ผลที่ได้รับร้อยละความคงตัวของความขุ่นทางกายภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละวัน แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการแยกชั้นมากขึ้นและจากการวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่น ถ้าผลิตภัณฑ์ที่มีความขุ่นน้อย แสดงว่าแสงสามารถส่องผ่านตัวอย่างได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดการแยกชั้นน้อยกว่า ดังนั้นค่าความขุ่นที่อ่านได้จึงมีค่าน้อย

การเพิ่มปริมาณสารความคงตัวมีผลให้อ่านค่าความขุ่นได้มากขึ้น แสดงว่าเมื่อเติมสารให้ความคงตัวที่สูง จึงมีความคงตัวที่ดีขึ้น โดยเมื่อพิจารณาชนิดของสารให้ความคงตัว

ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิด Xanthan gum มีค่าความขุ่นที่สูงมีค่าเท่ากับ 318.56 ± 75.90 NTU และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณของสารให้ความคงตัวที่ปริมาณร้อยละ 0.5 จะมีค่าความขุ่นที่สูงมีค่าเท่ากับ 336.40 ± 47.68 NTU ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการคงตัวที่ดี (จากตารางที่ 4.6)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดและค่าความขุ่นพบว่า มีความสัมพันธ์กันกล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงกว่าจะมีค่าความขุ่นที่มากกว่า แสดงว่ามีความสามารถในการคงตัวของความขุ่นที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำ สำหรับสารให้ความคงตัวแต่ละชนิดจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารให้ความคงตัวที่สูงขึ้นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดและมีความสามารถในการคงตัวสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการเลือกสารให้ความคงตัวจึงต้องพิจารณาค่าความหนืดและค่าความขุ่นควบคู่กันไป เนื่องจากความหนืดจะมีผลต่อความสามารถในการยอมรับของผู้บริโภคด้วย ถ้าหากผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการคงตัวที่ดี แต่มีความหนืดมากก็จะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และจากการที่เก็บรักษาน้ำหม่อนชนิดขุ่นเป็นเวลา 7 วัน น้ำหม่อนชนิดขุ่นที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิด Xanthan gum จะมีความคงตัวของความขุ่นที่ดี ไม่เกิดการตกตะกอนซึ่งดีกว่าน้ำหม่อนชนิดขุ่นที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิด CMC เนื่องจากสารละลายที่ได้จะมีความหนืดที่สูง ถึงแม้จะมีความเข้มข้นของ Xanthan gum ที่ต่ำ และ Xanthan gum จะมีความคงตัวสูงต่อความร้อนและ pH โดยเฉพาะความหนืดของสารละลาย Xanthan gum จะคงที่ถึงแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส หรือ pH จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 1-13 ก็ตาม แต่สารละลาย CMC จะมีค่าความคงตัวที่ pH กว้าง ๆ 4-10 แต่จะให้ค่าความหนืดสูงสุดและคงตัวดีที่สุดที่ pH 7-9 ความหนืดของสารละลาย CMC จะลดลงเมื่อ pH ลดลง และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า pH ต่ำกว่า 3 จะทำให้ CMC ที่อยู่ในรูปกรดอิสระตกตะกอนและถ้า pH สูงกว่า 10 จะทำให้สารละลายมีความหนืดลดลงเล็กน้อย ดังนั้นในน้ำหม่อนชนิดขุ่นที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิด CMC จะเกิดการตกตะกอนขึ้น เนื่องจากน้ำหม่อนชนิดขุ่นมีค่า pH ต่ำกว่า 3

โดย Rothschild และ Karsenty (1974) ได้ศึกษาการสูญเสียความขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์และน้ำส้มเข้มข้น พบว่าการสูญเสียความขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาเกิดจากความเป็นกรดสูงหรือกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (PE) ที่หลงเหลืออยู่หรือทั้งสองอย่าง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่เย็น

จากการทดลองการศึกษาลักษณะปรากฏของเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นโดยทำการตรวจสอบทุกวันเป็นเวลา 7 วัน พบว่าเมื่อพิจารณาสารให้ความคงตัวชนิด CMC ที่ปริมาณร้อยละ 0.1 และ 0.3 เกิดการตกตะกอน ส่วนที่ร้อยละ 0.5 ไม่เกิดการตกตะกอน แสดงว่ามีความสามารถในการคงตัวดี และเมื่อพิจารณาสารให้ความคงตัวชนิด Xanthan gum พบว่าไม่เกิดการตกตะกอนทั้งปริมาณร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 แสดงว่ามีความสามารถในการคงตัวดี ดังนั้น Xanthan gum จึงมีความเหมาะสมที่นำมาใช้เป็นสารให้ความคงตัวในเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นและเป็นยอมรับของผู้บริโภคเมื่อพิจารณาจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

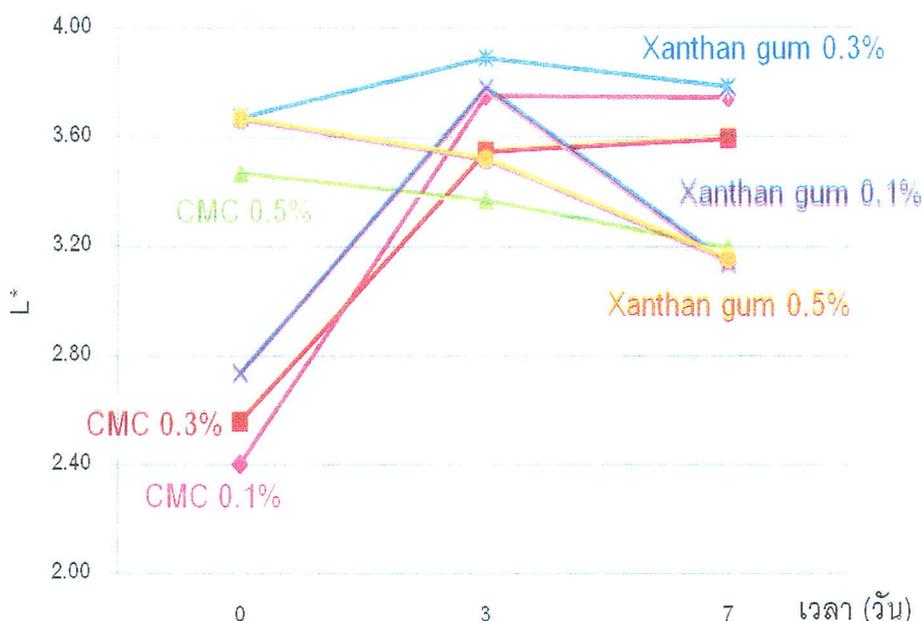
4.3.4 ศึกษาค่าสีในเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

จากการวิเคราะห์ค่าสีของเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4.9 – 4.13 และตารางภาคผนวกที่ ๙.9 – ๙.13

ตารางที่ 4.9 ค่า L^* ของเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดชุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารให้ความคงตัว (%)	วันที่	L^*		
		CMC	Xanthan gum	เฉลี่ย
0.1	0	2.41 ± 0.04	2.74 ± 0.19	3.27 ± 0.57
	3	3.76 ± 0.04	3.79 ± 0.12	
	7	3.76 ± 0.22	3.45 ± 0.37	
0.3	0	2.57 ± 0.25	3.67 ± 0.13	3.51 ± 0.47
	3	3.56 ± 0.06	3.89 ± 0.12	
	7	3.61 ± 0.12	3.70 ± 0.16	
0.5	0	3.47 ± 0.06	3.67 ± 0.06	3.40 ± 0.20
	3	3.37 ± 0.02	3.53 ± 0.17	
	7	3.20 ± 0.17	3.18 ± 0.11	
เฉลี่ย		3.30 ± 0.49	3.48 ± 0.39	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว CMC และ Xanthan gum ต่อค่า L^*

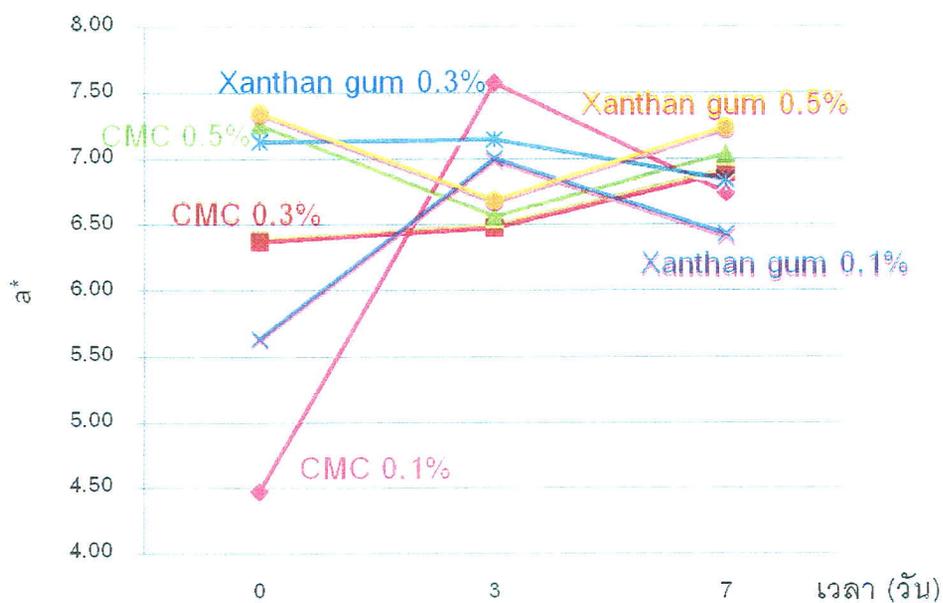
จากตารางที่ 4.9 ภาคผนวกที่ ง.9 ค่า L^* แสดงถึงความสว่าง ถ้ามีค่าเป็นบวกมาก แสดงว่าตัวอย่างมีค่าความสว่างมาก พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว ทำให้ค่า L^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากรูปที่ 4.3 เมื่อเวลาผ่านไป CMC ที่ร้อยละ 0.1 และ 0.3 มีแนวโน้มค่า L^* เพิ่มขึ้น แต่ที่ร้อยละ 0.5 ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง และ Xanthan gum ที่ร้อยละ 0.1 และ 0.3 วันที่ 0-3 ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่วันที่ 3-7 ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง และที่ร้อยละ 0.5 ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัวมีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ในเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดปั่น

ทั้งนี้ค่า L^* มีค่าตั้งแต่ 0-100 ถ้าค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าตัวอย่างให้ค่าความสว่างมาก ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าให้ค่าสีโทนสีดำ

ตารางที่ 4.10 ค่า a^* ของเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารให้ความ คงตัว (%)	วันที่	a^*		
		CMC	Xanthan gum	เฉลี่ย
0.1	0	4.49 ± 0.12	5.63 ± 0.10	6.32 ± 1.04
	3	7.60 ± 0.10	7.01 ± 0.14	
	7	6.77 ± 0.08	6.43 ± 0.04	
0.3	0	6.39 ± 0.06	7.13 ± 0.08	6.82 ± 0.31
	3	6.50 ± 0.19	7.15 ± 0.04	
	7	6.92 ± 0.08	6.85 ± 0.09	
0.5	0	7.25 ± 0.10	7.35 ± 0.05	7.02 ± 0.31
	3	6.56 ± 0.02	6.69 ± 0.08	
	7	7.04 ± 0.03	7.24 ± 0.07	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)



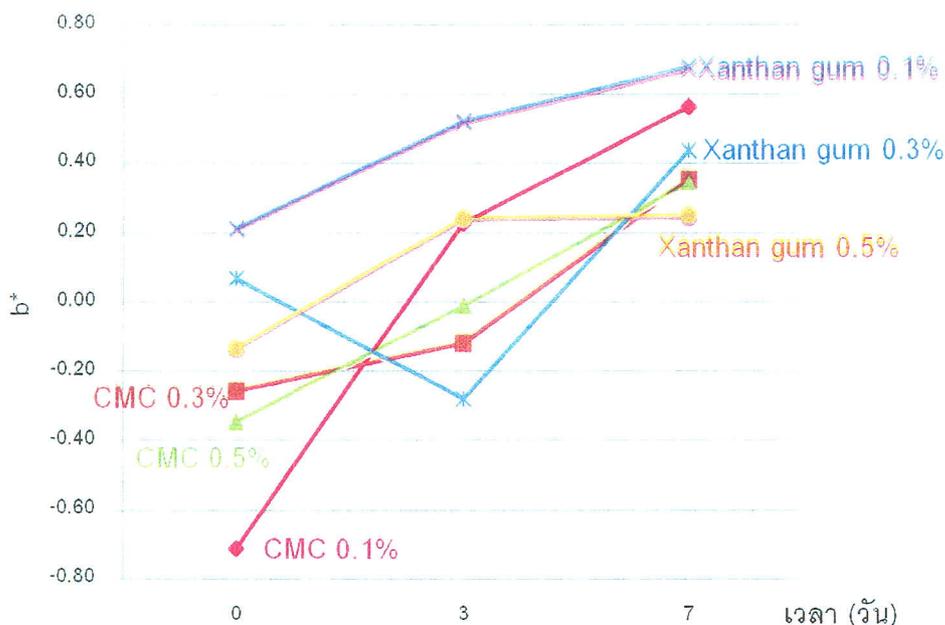
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว CMC และ Xanthan gum ต่อค่า a^*

จากตารางที่ 4.10 ภาคผนวกที่ ง.10 ค่า a^* แสดงถึงความเป็นสีเขียวและสีแดง โดยถ้าค่า a^* เป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่า a^* เป็นลบจะแสดงถึงความเป็นสีเขียว พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัวทำให้ค่า a^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากรูปที่ 4.4 เมื่อเวลาผ่านไป CMC ที่ร้อยละ 0.1 วันที่ 0-3 ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่วันที่ 3-7 ค่า a^* มีแนวโน้มลดลง ที่ร้อยละ 0.3 มีแนวโน้มค่า a^* เพิ่มขึ้น แต่ที่ร้อยละ 0.5 วันที่ 0-3 ค่า a^* มีแนวโน้มลดลง วันที่ 3-7 ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ Xanthan gum ที่ร้อยละ 0.1 และ 0.3 วันที่ 0-3 ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่วันที่ 3-7 ค่า a^* มีแนวโน้มลดลง แต่ที่ร้อยละ 0.5 วันที่ 0-3 ค่า a^* มีแนวโน้มลดลง แต่วันที่ 3-7 ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของสารให้ความคงตัวที่เติมลงในน้ำหม่อนที่ปริมาณแตกต่างกัน ระยะเวลาในการเก็บรักษา และชนิดของสารให้ความคงตัวทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของกากหม่อนในน้ำหม่อนแตกต่างกัน น้ำหม่อนและกากหม่อนมีสีแดงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดง

ตารางที่ 4.11 ค่า b^* ของเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารให้ความคงตัว (%)	วันที่	b^*		
		CMC	Xanthan gum	เฉลี่ย
0.1	0	-0.71 ± 0.02	0.21 ± 0.04	0.25 ± 0.48
	3	0.24 ± 0.14	0.52 ± 0.10	
	7	0.57 ± 0.03	0.68 ± 0.05	
0.3	0	-0.25 ± 0.11	0.07 ± 0.05	0.04 ± 0.30
	3	-0.11 ± 0.09	-0.28 ± 0.15	
	7	0.36 ± 0.18	0.44 ± 0.05	
0.5	0	-0.35 ± 0.10	-0.13 ± 0.06	0.06 ± 0.26
	3	-0.01 ± 0.03	0.24 ± 0.04	
	7	0.35 ± 0.03	0.25 ± 0.02	
เฉลี่ย		0.01 ± 0.40	0.22 ± 0.30	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ($n=3$)



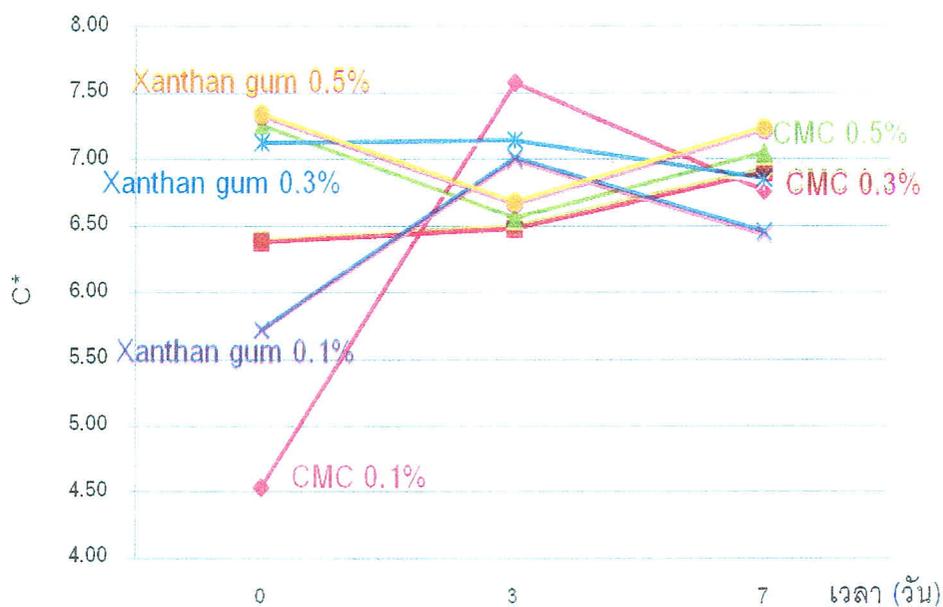
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว CMC และ Xanthan gum ต่อค่า b^*

จากตารางที่ 4.11 ภาคผนวกที่ ง.11 ค่า b^* เป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยถ้าค่า b^* เป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีเหลือง ถ้าค่า b^* เป็นลบจะแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัวทำให้ค่า b^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากรูปที่ 4.5 เมื่อเวลาผ่านไป CMC ที่ร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 ค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ Xanthan gum ที่ร้อยละ 0.1 และ 0.5 ค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ที่ร้อยละ 0.3 วันที่ 0-3 ค่า b^* มีแนวโน้มลดลง ส่วนวันที่ 3-7 ค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัวมีผลต่อค่า b^* ในเครื่องตีมน้ำหม่อนชนิดขุน

ตารางที่ 4.12 ค่า C^* ของเครื่องตีม้มน้ำหมอนชนิดขุ่น 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารให้ความ คงตัว (%)	วันที่	C^*		
		CMC	Xanthan gum	เฉลี่ย
0.1	0	4.55 ± 0.12	5.73 ± 0.16	6.36 ± 1.02
	3	7.60 ± 0.10	7.02 ± 0.13	
	7	6.79 ± 0.08	6.46 ± 0.04	
0.3	0	6.40 ± 0.05	7.13 ± 0.08	6.83 ± 0.31
	3	6.50 ± 0.19	7.15 ± 0.04	
	7	6.69 ± 0.09	6.86 ± 0.08	
0.5	0	7.26 ± 0.10	7.35 ± 0.05	7.03 ± 0.31
	3	6.56 ± 0.02	6.69 ± 0.08	
	7	7.05 ± 0.03	7.24 ± 0.06	
เฉลี่ย		6.63 ± 0.84	6.85 ± 0.49	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)



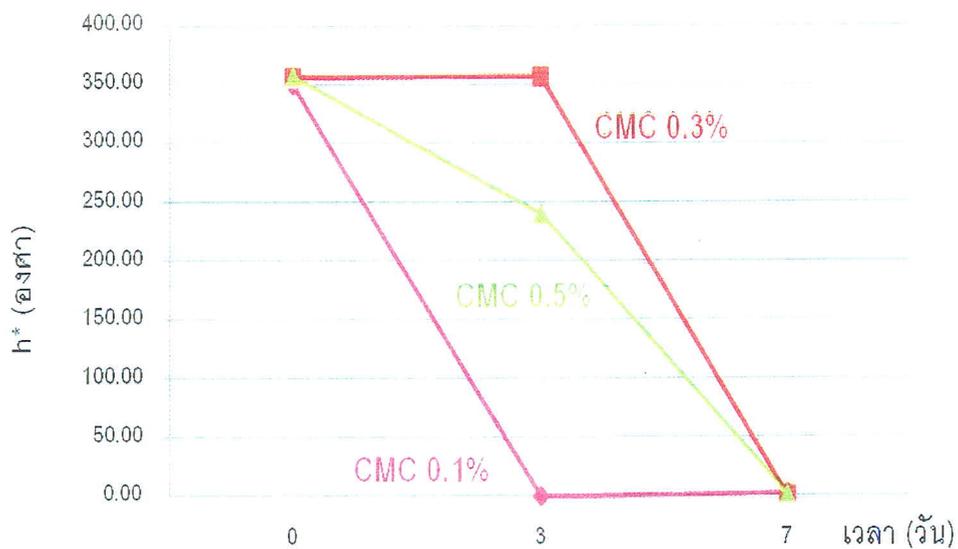
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว CMC และ Xanthan gum ต่อค่า C^*

จากตารางที่ 4.12 ภาคผนวกที่ ง.12 แสดงถึงค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของเนื้อสี พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัวทำให้ค่า C* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากรูปที่ 4.6 เมื่อเวลาผ่านไป CMC ที่ร้อยละ 0.1 วันที่ 0-3 ค่า C* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ที่วันที่ 3-7 ค่า C* มีแนวโน้มลดลง ที่ร้อยละ 0.3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และที่ร้อยละ 0.5 วันที่ 0-3 ค่า C* มีแนวโน้มลดลง แต่ที่วันที่ 3-7 ค่า C* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ Xanthan gum ที่ร้อยละ 0.1 และ 0.3 วันที่ 0-3 ค่า C* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่วันที่ 3-7 มีแนวโน้มลดลง และที่ร้อยละ 0.5 วันที่ 0-3 ค่า C* มีแนวโน้มลดลง ส่วนวันที่ 3-7 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของเนื้อสีของน้ำหม่อนชนิดขุนจะมีสารให้สีแดงคือรงควัตถุแอนโทไซยานิน ซึ่งค่า C* ที่แตกต่างกันมีผลมาจากระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัวทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของกากหม่อนในน้ำหม่อนแตกต่างกัน น้ำหม่อนและกากหม่อนมีสีแดงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดง โดยสอดคล้องกับค่า a*

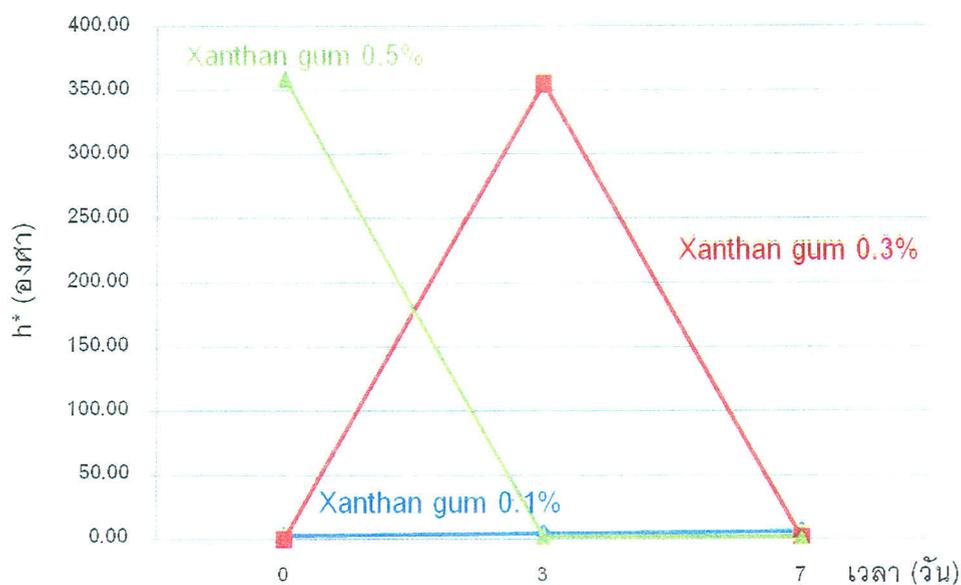
ตารางที่ 4.13 ค่า h* ของเครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดขุน 6 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารให้ความคงตัว (%)	วันที่	h* (องศา)		
		CMC	Xanthan gum	เจลลี่
0.1	0	351.79.67 ± 1.29	2.16 ± 0.39	61.81 ± 133.45
	3	1.78 ± 1.08	4.26 ± 0.85	
	7	4.84 ± 0.28	6.03 ± 0.43	
0.3	0	357.74 ± 1.00	0.56 ± 0.36	180.29 ± 183.04
	3	358.99 ± 0.81	357.76 ± 1.16	
	7	3.00 ± 1.45	3.65 ± 0.40	
0.5	0	357.28 ± 0.75	359.07 ± 0.36	160.52 ± 182.27
	3	239.90 ± 207.67	2.07 ± 0.36	
	7	2.82 ± 0.25	2.00 ± 0.12	
เจลลี่		186.46 ± 180.29	81.95 ± 150.60	

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว CMC ต่อค่า h^*



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว Xanthan gum ต่อค่า h^*

จากตารางที่ 4.13 ภาคผนวกที่ ง.13 h* แสดงถึงค่าเฉลี่ย ที่ระบุว่ามีอยู่ในตำแหน่งใด ในกราฟ หน่วยเป็นองศา พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัว h* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาที่ 2 ปัจจัยรวมจะเห็นว่าปริมาณของสารให้ความคงตัว และชนิดของสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อค่า h* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยสารให้ความคงตัวชนิด CMC และ Xanthan gum ที่ร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 มีแนวโน้มเฉลี่ย เป็นสีม่วงแดงหรือแดง

4.4 ศึกษาผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบความชอบโดยการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วย 9-Point Hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แสดงดังตารางที่ 4.14 และภาคผนวกที่ ง.14-ง.19

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-Point Hedonic scale ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำหม่อนชนิดชุ่น

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ผลิตภัณฑ์น้ำหม่อนชนิดชุ่น	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.60 ± 1.47	6.75 ± 1.59
สี ^{ns}	6.80 ± 1.70	7.00 ± 1.59
กลิ่น	5.65 ± 2.03 ^b	6.10 ± 1.80 ^a
รสชาติ ^{ns}	6.80 ± 1.88	6.55 ± 1.99
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.10 ± 1.80	6.40 ± 1.47
ความชอบโดยรวม ^{ns}	7.15 ± 1.31	6.90 ± 1.37

หมายเหตุ: ^{a-b} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ^{ns} ในแนวนอนหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: สูตรที่ 1 ผลิตภัณฑ์น้ำหม่อนชนิดชุ่นที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิด CMC ร้อยละ 0.5

: สูตรที่ 2 ผลิตภัณฑ์น้ำหม่อนชนิดชุ่นที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิด Xanthan gum ร้อยละ 0.5

4.4.1 ลักษณะปรากฏ

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ พบว่าสูตรที่ 1 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.60 ± 1.47 คะแนน สูตรที่ 2 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.75 ± 1.59 คะแนน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากคะแนนด้านลักษณะปรากฏจะพบว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มากไม่แตกต่างจากสูตรที่ 1 แสดงว่าสารให้คงตัวทั้ง 2 ชนิดที่เติมลงในน้ำหม่อนชนิดขุนไม่มีผลทางด้านลักษณะปรากฏ

4.4.2 สี

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบทางด้านสี พบว่าสูตรที่ 1 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.80 ± 1.70 คะแนน สูตรที่ 2 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.00 ± 1.59 คะแนน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากคะแนนด้านสีจะพบว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มากไม่แตกต่างจากสูตรที่ 1 แสดงว่าสารให้คงตัวทั้ง 2 ชนิดที่เติมลงในน้ำหม่อนชนิดขุนไม่มีผลทางด้านสี ซึ่งสอดคล้องกับค่า a^* ที่ได้จากการวัดค่าสี พบว่าเมื่อเติมสารให้ความคงตัวทั้ง 2 ชนิดคือ CMC หรือ Xanthan gum ที่ปริมาณร้อยละ 0.5 ผลิตภัณฑ์จึงมีสีแดง

4.4.3 กลิ่น

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบทางด้านกลิ่น พบว่าสูตรที่ 1 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.65 ± 2.03 คะแนน สูตรที่ 2 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.10 ± 1.80 คะแนน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสูตรที่ 1 และ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากคะแนนด้านกลิ่นจะพบว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มากกว่าสูตรที่ 1 แสดงว่าสารให้คงตัวทั้ง 2 ชนิดที่เติมลงในน้ำหม่อนชนิดขุนมีผลทางด้านกลิ่น เนื่องจาก Xanthan gum มักใช้กับเครื่องดื่มผลไม้ตระกูลส้ม และเครื่องดื่มที่มีกลิ่นรสผลไม้ ทำให้มีความรู้สึกในปาก และมีการปลดปล่อยกลิ่นรสที่ดี จึงมักใช้เป็นสารให้ความคงตัวแก่กลิ่นรสในเครื่องดื่ม (Enriquez และ Flick, 1989)

4.4.4 รสชาติ

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบทางด้านรสชาติ พบว่าสูตรที่ 1 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.80 ± 1.88 คะแนน สูตรที่ 2 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.55 ± 1.99 คะแนน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากคะแนนด้านรสชาติจะพบว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์

สูตรที่ 1 มากไม่แตกต่างจากสูตรที่ 2 แสดงว่าสารให้คงตัวทั้ง 2 ชนิดที่เติมลงในน้ำหม่อนชนิดขุน ไม่มีผลทางด้านรสชาติ

4.4.5 เนื้อสัมผัส

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบทางด้านเนื้อสัมผัส พบว่าสูตรที่ 1 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.10 ± 1.80 คะแนน สูตรที่ 2 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.40 ± 1.47 คะแนน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากคะแนนด้านเนื้อสัมผัสจะพบว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มาก ไม่แตกต่างจากสูตรที่ 1 แสดงว่าสารให้คงตัวทั้ง 2 ชนิดที่เติมลงในน้ำหม่อนชนิดขุนไม่มีผลทางด้านเนื้อสัมผัส

4.4.6 ความชอบโดยรวม

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบทางด้านความชอบโดยรวม พบว่าสูตรที่ 1 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.15 ± 1.31 คะแนน สูตรที่ 2 มีคะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.90 ± 1.37 คะแนน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากคะแนนด้านความชอบโดยรวมจะพบว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มากไม่แตกต่างจากสูตรที่ 2 แสดงว่าสารให้คงตัวทั้ง 2 ชนิดที่เติมลงในน้ำหม่อนชนิดขุนไม่มีผลทางด้านความชอบโดยรวม

น้ำหม่อนชนิดขุนที่มีคุณภาพดีควรมีการกระจายตัวของกากผลหม่อนดี ซึ่งตัวอย่างที่มีลักษณะดังกล่าวและได้รับการยอมรับสูงสุดคือ CMC และ Xanthan gum ในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยที่การยอมรับโดยรวมของ CMC ร้อยละ 0.5 อยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.15 ± 1.31) ส่วน Xanthan gum ร้อยละ 0.5 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.90 ± 1.37)