บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาความสุก-แก่ที่เหมาะสมของมะม่วงพันธุ์สามปีที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

4.1.1 ศึกษาระดับค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเก็บเกี่ยวมะม่วงผลแก่ที่เหมาะสมสำหรับนำไปบ่มต่อไป

เกณฑ์การคัดเลือกมะม่วงผลแก่ (mature) ที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปบ่มต่อไป คือมะม่วงที่เจริญเต็มที่ TSS~7.0-8.0°brix, pH~ 3.0-4.0, %TA~ 2.6-2.8 และมีปริมาณแป้งสะสมมากที่สุด (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2529) จากผลการทดลองมะม่วงสามปีกลุ่มที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.000-1.015 จะมีค่า TSS เฉลี่ย 7.30 pH เฉลี่ย 3.53 %TA เฉลี่ย 2.78 และมี %AIS เฉลี่ย 10.13 AIS คือการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ ได้แก่ แป้ง เส้นใยและเถ้า โดยปริมาณของเส้นใยและเถ้ามีน้อยมาก ดังนั้นจึงนิยมวัด %AIS เทียบเคียงเป็นปริมาณ % แป้ง เนื่องจากเป็นวิธีวัดที่ทำได้ง่าย (Ranganna,1978) จะเห็นว่ามะม่วงความถ่วงจำเพาะ 1.000-1.015 มีปริมาณแป้งสะสมมากที่สุดและมีค่า TSS, pH และ %TA อยู่ในช่วงของผลมะม่วงแก่ตามเกณฑ์ที่ต้องการ ดังนั้นมะม่วงพันธุ์สามปีความถ่วงจำเพาะ 1.000-1.015 จัดเป็นมะม่วงผลแก่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปบ่มต่อไป จากการวิเคราะห์ พบว่ามะม่วงสามปีผลแก่ที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันจะมีค่า TSS, pH, %TA และ %AIS แตกต่างกันด้วย มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะมากจะมีค่า TSS และ pH มากกว่า แต่จะมี %TA และ %AIS น้อยกว่ามะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.2 รายละเอียดผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1.1 : องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงสามปีที่ระดับความถ่วงจำเพาะต่างๆ

specific gravity	TSS(°brix)	pH	%TA	%AIS
<1.000	$6.37^{c}\pm0.58$	$3.41^{c}\pm0.03$	$2.97^{a}\pm0.16$	$8.78^{ab}\pm0.51$
1.000-1.015	$7.30^{c}\pm0.79$	$3.53^{bc}\pm0.07$	$2.78^{ab}\pm0.09$	$10.13^{a}\pm0.23$
1.015-1.028	$9.40^{b}\pm1.22$	$3.63^{b}\pm0.16$	$2.47^{b}\pm0.28$	$8.27^{b}\pm1.45$
1.028-1.042	$15.40^{a}\pm0.53$	$4.07^{a}\pm0.04$	$0.97^{c}\pm0.09$	$4.89^{c}\pm0.47$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.1.2 พบว่า ระดับความถ่วงจำเพาะมีผลต่อค่าสี(L,a,b) ของเปลือกและเนื้อมะม่วงสามปีอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) (ภาคผนวกตารางที่ ข.1) มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะมากจะมีค่าสีแดง(a) และสีเหลือง(b) มากกว่ามะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) นั่นคือเมื่อมะม่วงสามปีมีความถ่วงจำเพาะมากขึ้นหรือผลแก่มากขึ้น เปลือกและเนื้อมะม่วงจะมีค่าสีเหลืองแดงเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะ maturation ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) จะลดน้อยลงในขณะที่สารให้สี (pigment) ชนิดอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ และปริมาณก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ (Lizada,1990)

มะม่วงสามปีที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.000-1.015 ซึ่งเป็นระดับความแก่ที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวมีค่าสี (L,a,b)เปลือกเฉลี่ย (48.20,-14.84,+28.72) และค่าสี (L,a,b) เนื้อมะม่วงเฉลี่ย (78.44,-5.41,+40.16)

ตารางที่ 4.1.1.2 : ค่าสี(L,a,b) เปลือกและเนื้อมะม่วง และค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงสามปีที่ระดับความถ่วงจำเพาะต่างๆ

response		specific gravity <1.000	specific gravity 1.000-1.015	specific gravity 1.015-1.028	specific gravity 1.028-1.042
สีเปลือก :	L	$51.34^{ab} \pm 1.44$	$48.20^{b} \pm 2.36$	$49.48^{b} \pm 7.77$	$58.76^{a} \pm 1.93$
	a	$-14.79^{a} \pm 0.71$	$-14.84^{a} \pm 0.90$	$-14.03^{a} \pm 0.89$	$-4.43^{b} \pm 2.94$
	b	$+27.65^{b} \pm 2.39$	$+28.72^{b} \pm 3.37$	$+32.95^{b} \pm 8.83$	$+45.95^{a} \pm 4.06$
สีเนื้อ :	L	$81.93^{a} \pm 3.39$	$78.44^{b} \pm 1.04$	$77.67^{b} \pm 1.98$	$71.64^{b} \pm 1.09$
	a	$-5.51^{a} \pm 3.08$	$-5.41^{a} \pm 0.80$	$-1.39^{a} \pm 4.08$	$+7.85^{b} \pm 1.42$
	b	$+37.98^{c} \pm 4.87$	$+40.16^{bc} \pm 1.78$	$+46.56^{b} \pm 6.46$	$+69.17^{a} \pm 2.06$
ความแน่นเนื้อ (kg/cm^2)		$3.64^{a} \pm 0.07$	$3.62^{a} \pm 0.13$	$3.33^{b} \pm 0.25$	$2.21^{c} \pm 0.10$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อ (kg/cm^2) ซึ่งวัดได้อย่างง่ายๆด้วย penetrometer พบว่ามะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ1.000-1.015 เริ่มจะมีค่าความแน่นเนื้อลดลงแต่ยังไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.000 ซึ่ง ดังตารางที่ 4.1.1.2 ข้างต้น แต่สำหรับมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.015 ขึ้นไป พบว่าอาจเป็นระยะที่มะม่วงแก่จัด

และกำลังจะสุก เมื่อมะม่วงเริ่มสุกเอนไซม์สำคัญ 2 ชนิดคือ polygalacturonase(PG) และ pectinesterase(PE) จะเริ่มเปลี่ยนสารประกอบพวก pectin ซึ่งแต่เดิมอยู่ในรูปของ protopectin ที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนไปเป็นรูป pectic acid ที่ละลายน้ำได้ เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลไม้ (Lizada,1990) มะม่วงสามปีที่มีความถ่วงจำเพาะ1.000-1.015 ซึ่งเป็นระดับความแก่ที่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวจะมีค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย 3.62 kg/cm^2

4.1.2 ศึกษาการบ่มมะม่วงสามปีด้วย CaC_2 ที่อัตราส่วนและระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ได้มะม่วงสามปีที่เหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่ม

จากการทดลอง ได้ทำการบ่มมะม่วงสามปีความถ่วงจำเพาะ 1.000-1.015 ด้วย CaC_2: มะม่วง อัตราส่วน 0,3 และ 5 g/kg เป็นระยะเวลา 0-5 วัน ผลการทดลองพบว่า มะม่วงสามปีบ่มด้วย CaC_2 :มะม่วง 3 g/kg 4 วัน เหมาะสำหรับผลิตเป็นน้ำมะม่วงพร้อมดื่มต่อไป มะม่วงสามปีที่บ่มด้วย CaC_2: มะม่วง 3 g/kg นาน 4 วัน จะมี TSS เฉลี่ย 17.00°brix , pH เฉลี่ย 4.66 , %TA เฉลี่ย 0.56 , %AIS เฉลี่ย 2.93 และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเฉลี่ย 61.62 ug/g ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด และคณะ (2541) ที่ได้กล่าวว่า มะม่วงสุกระดับที่เหมาะสำหรับการแปรรูปเป็นน้ำมะม่วง ควรจะมี TSS ~16.0-18.0°brix, pH~4.0-5.0 และ %TA~0.3-0.6

จากผลการทดลองตารางที่ 4.1.2.1 พบว่า อัตราส่วน CaC_2:มะม่วงและระยะเวลาในการบ่มมีอิทธิพลร่วมต่อค่า TSS, pH, %TA, %AIS และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของมะม่วงสามปีในระหว่างการบ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.4 มะม่วงสามปีที่บ่มด้วย CaC_2: มะม่วง 0 g/kg จะสุกได้ช้ากว่ามะม่วงที่บ่มด้วย CaC_2: มะม่วง 3 และ 5 g/kg การใช้ CaC_2 บ่มจะมีผลเร่งให้มะม่วงสุกเร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลทำให้ลักษณะของการสุกเปลี่ยนแปลงไป (Dara, 1988) และมะม่วงที่บ่มนานขึ้น TSS , pH และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้นแต่ %TA และ %AIS จะลดลง ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับ Kapur (1974) ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของมะม่วงพันธุ์ Desheri, Safeda และ Samarbahist พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวระหว่างการสุก มะม่วงจะมี TSS, pH เพิ่มมากขึ้น แต่กรดและวิตามินซีจะลดลงอย่างรวดเร็วทุกสายพันธุ์ และมะม่วงสุกจะมีแคโรทีนอยด์สะสมอยู่มาก

สำหรับมะม่วงที่บ่มด้วย CaC_2:มะม่วง 3 และ 5 g/kg นาน 4 และ 5 วัน มะม่วงสุกที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และมะม่วงสุกระดับนี้ จัดเป็นมะม่วงที่เหมาะสำหรับทำเป็นน้ำมะม่วงพร้อมดื่มต่อไป (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด และคณะ, 2541) ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกบ่ม

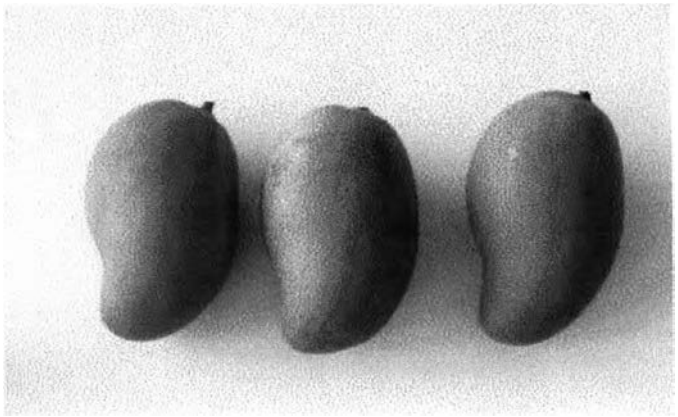
มะม่วงสามปีด้วย CaC_2:มะม่วง 3 g/kg นาน 4 วัน เนื่องจากจะเป็นการประหยัด CaC_2และประหยัดเวลาในการบ่มนั่นเอง มะม่วงสามปีที่บ่มด้วย CaC_2:มะม่วง 3 g/kg 4 วัน จะสุกเต็มที่ผิวเปลือกมีสีเหลืองส้มทั้งผล เนื้อนิ่มและมีกลิ่นหอม แต่เมื่อบ่มนานถึง 6 วัน พบว่าผลมะม่วงจะเริ่มมีการเน่าเสีย มีจุดดำตามผิวเปลือกเกิดขึ้นมากและเนื้อนิ่มเละ

ตารางที่ 4.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างการบ่มมะม่วงสามปีด้วย CaC_2 (CaC_2 : มะม่วง ; g/kg) ที่อัตราส่วนต่างๆ และระยะเวลาต่างๆ

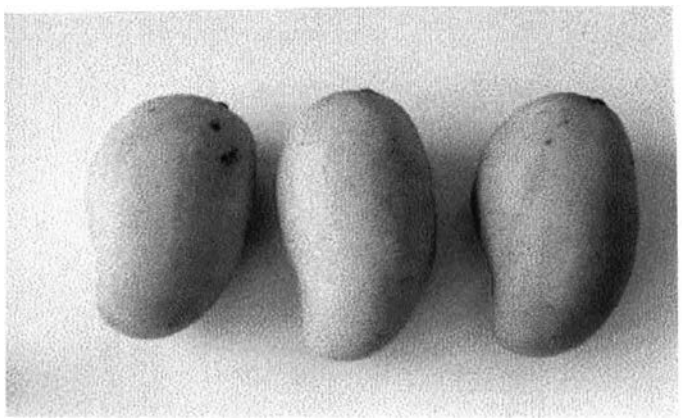
CaC_2 (g/kg)	aging time (days)	TSS (°brix)	pH	%TA	%AIS	total carotenoids (ug/g)
0	0	$7.35^{a} \pm 0.21$	$3.47^{ab} \pm 0.03$	$3.56^{f} \pm 0.01$	$12.20^{f} \pm 0.95$	1.75^{a} 0.08
	1	$10.05^{b} \pm 0.78$	$3.42^{a} \pm 0.03$	$3.53^{f} \pm 0.12$	$8.31^{e} \pm 0.67$	$3.45^{a} \pm 0.29$
	2	$11.75^{cd} \pm 0.35$	$3.50^{ab} \pm 0.03$	$3.22^{ef} \pm 0.07$	$5.88^{c} \pm 0.33$	$4.94^{a} \pm 0.94$
	3	$12.50^{d} \pm 0.71$	$4.44^{e} \pm 0.03$	$0.88^{a} \pm 0.09$	$3.74^{b} \pm 0.64$	$29.55^{c} \pm 0.72$
	4	$15.25^{g} \pm 0.35$	$4.50^{ef} \pm 0.01$	$0.67^{a} \pm 0.05$	$3.43^{ab} \pm 0.64$	$40.97^{cde} \pm 3.11$
	5	$15.75^{g} \pm 0.35$	$4.60^{fg} \pm 0.00$	$0.53^{a} \pm 0.06$	$3.26^{ab} \pm 0.11$	$45.89^{c} \pm 3.45$
	8	17.50 ± 0.30	4.78 ± 0.12	0.42 ± 0.02	2.32 ± 0.14	70.66 ± 4.21
3	0	$8.00^{a} \pm 0.28$	$3.50^{ab} \pm 0.14$	$3.27^{ef} \pm 0.57$	$12.03^{f} \pm 0.99$	$1.78^{a} \pm 0.02$
	1	$11.60^{cd} \pm 0.57$	$3.57^{bc} \pm 0.07$	$2.74^{cd} \pm 0.50$	$7.71^{de} \pm 0.21$	$4.39^{a} \pm 0.18$
	2	$13.75^{e} \pm 0.75$	$4.17^{d} \pm 0.01$	$2.31^{bc} \pm 0.20$	$5.67^{c} \pm 0.08$	$7.40^{a} \pm 0.89$
	3	$15.00^{fg} \pm 0.71$	$4.39^{e} \pm 0.02$	$0.79^{a} \pm 0.07$	$2.99^{ab} \pm 0.22$	$43.64^{de} \pm 6.59$
	4	$17.00^{h} \pm 0.15$	$4.66^{gh} \pm 0.05$	$0.56^{a} \pm 0.04$	$2.93^{ab} \pm 0.04$	$61.62^{f} \pm 2.69$
	5	$17.75^{h} \pm 0.35$	$4.77^{h} \pm 0.01$	$0.44^{a} \pm 0.03$	$2.61^{a} \pm 0.15$	$57.26^{f} \pm 6.25$
5	0	$7.70^{a} \pm 0.42$	$3.50^{ab} \pm 0.14$	$2.89^{de} \pm 0.37$	$11.48^{f} \pm 0.77$	$1.55^{a} \pm 0.47$
	1	$10.90^{bc} \pm 0.42$	$3.65^{c} \pm 0.01$	$2.04^{b} \pm 0.04$	$7.29^{d} \pm 0.18$	$2.84^{a} \pm 0.69$
	2	$14.25^{ef} \pm 0.35$	$4.20^{d} \pm 0.02$	$2.14^{b} \pm 0.05$	$5.63^{c} \pm 0.27$	$5.12^{a} \pm 2.34$
	3	$15.75^{g} \pm 0.35$	$4.43^{e} \pm 0.01$	$0.81^{a} \pm 0.21$	$3.24^{ab} \pm 0.22$	$35.48^{c} \pm 0.40$
	4	$17.00^{h} \pm 0.50$	$4.65^{gh} \pm 0.01$	$0.55^{a} \pm 0.06$	$2.94^{ab} \pm 0.10$	$43.08^{de} \pm 3.11$
	5	$17.75^{h} \pm 0.35$	$4.75^{h} \pm 0.12$	$0.39^{a} \pm 0.04$	$2.60^{a} \pm 0.19$	$54.63^{f} \pm 3.37$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

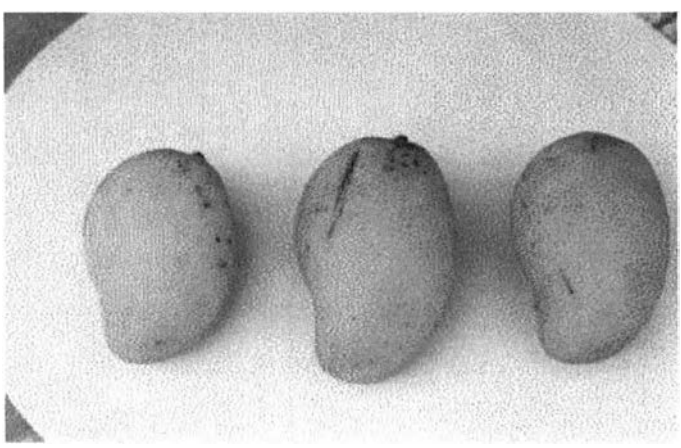
ค่าตัวเลขแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)



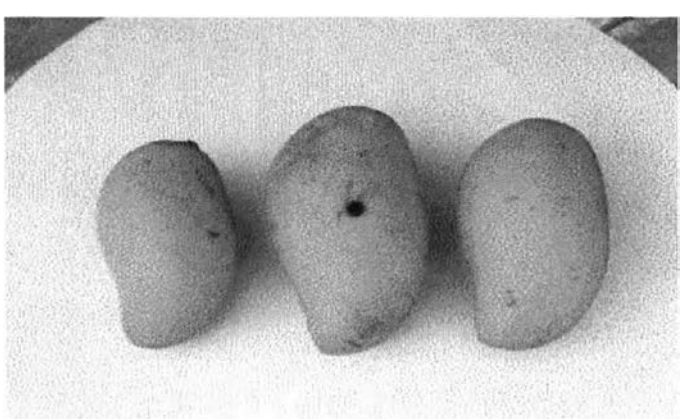
มะม่วงสามปีบ่มด้วย CaC_2:มะม่วง 3 g/kg นาน 0 วัน



มะม่วงสามปีบ่มด้วย CaC_2 :มะม่วง 3 g/kg นาน 2 วัน



มะม่วงสามปีบ่มด้วย CaC_2:มะม่วง 3 g/kg นาน 4 วัน



มะม่วงสามปีบ่มด้วย CaC_2 :มะม่วง 3 g/kg นาน 5 วัน

รูปที่ 4.1.2.1 : มะม่วงสามปีที่บ่มด้วย CaC_2:มะม่วง 3 g/kg ระยะเวลาต่างๆ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติภาคผนวกตารางที่ ข.3 พบว่า อัตราส่วน CaC_2:มะม่วง และระยะเวลาในการบ่มมีอิทธิพลร่วมต่อค่าสี(L,a,b) เปลือกและเนื้อมะม่วงสามปี ในระหว่างการบ่มให้สุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P\leq0.05$) รูปที่ 4.1.2.1 แสดงลักษณะมะม่วงสามปีที่บ่มด้วย CaC_2: มะม่วง 3 g/kg ระยะเวลา 0, 2, 4 และ 5 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มมากขึ้นสีผิวเปลือกจะมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผล การที่ผิวเปลือกมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เนื่องจากเมื่อผลไม้มีการสุก จะมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นจะมีผลให้เกิดก๊าซเอทิลีนมากขึ้นด้วย ซึ่งก๊าซเอทิลีนจะมีผลเร่งให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และทำให้แคโรทีนอยด์เกิดมากขึ้น ดังนั้นสีของมะม่วงจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองระหว่างการสุกนั่นเอง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542 : Gross,1991) โดยเมื่อบ่มนาน 4 วัน ผิวเปลือกมีสีเหลืองทั่วทั้งผล ที่ขั้วผลด้านบนมีสีน้ำตาลเล็กน้อยซึ่งพิจารณาว่าเป็นระยะที่มะม่วงสุกเต็มที่แล้ว และเมื่อบ่มนานขึ้น พบว่ามะม่วงที่บ่ม 5 วัน สีเปลือกจะเหลืองเข้มมากขึ้นและมีเริ่มจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นด้วย และหลังจากบ่ม 5 วัน มะม่วงจะสุกมากเกินไปและเริ่มมีการเสื่อมสลายเน่าเสียต่อไป ดังที่กล่าวในข้างต้น

ดังนั้นมะม่วงสามปีความถ่วงจำเพาะ 1.000-1.015 บ่มด้วย CaC_2:มะม่วง 3 g/kg 4 วัน เป็นมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มต่อไป

จากนั้นได้นำมะม่วงสามปีที่บ่มด้วย CaC_2:มะม่วง 3 g/kg นาน 2, 3, 4 และ 5 วัน ผลิตเป็นน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่ม และวัดค่าสี(L,a,b) ความหนืดและปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของน้ำมะม่วงที่ผลิตได้ จากผลการทดลอง พบว่า ระยะเวลาในการบ่มมะม่วงมีผลต่อค่าสี (L,a,b) ความหนืดและปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของน้ำมะม่วงที่ผลิตได้ อย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.5 และ ข.6 น้ำมะม่วงที่ผลิตจากมะม่วงที่บ่มนานขึ้น(สุกมากขึ้น) จะมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน แต่ค่าสีแดงและสีเหลืองของน้ำมะม่วงจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ความหนืดของน้ำมะม่วงจะลดลง อาจเนื่องจากมะม่วงที่สุกมากกว่ามีการสลายสารอาหารสะสมไปมากกว่า ทำให้มีปริมาณแป้งเหลือน้อยกว่า (Singh, 1960 ; Blanshard, 1989) เมื่อผ่านความร้อนจากกระบวนการผลิตน้ำมะม่วงแล้ว น้ำมะม่วงที่ได้จึงมีความหนืดน้อยกว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของน้ำมะม่วงที่ผลิตจากมะม่วงบ่ม 4 และ 5 วันจะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากเมื่อมะม่วงสุก แคโรทีนอยด์จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น (Kapur, 1974 ; Kalra และคณะ, 1995) นั่นคือ น้ำมะม่วงที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แคโรทีนอยด์เป็น pro vitamin A (Klaui และ Bavernfeind, 1981) น้ำมะม่วงสามปีที่ผลิตจากมะม่วงที่บ่ม 4 และ 5 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.1.3.1

I20395292

ตารางที่ 4.1.2.2 : ค่าสี(L,a,b) ความหนืด(viscosity) และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของน้ำมะม่วงสามปีที่ผลิตจากมะม่วงบ่ม CaC_2:มะม่วง3 g/kg ที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลาบ่ม (วัน)	L^{ns} (lightness)	a (redness)	b (yellowness)	viscosity (cPs)	total carotenoids (ug/100ml)
2	33.92±0.25	-3.37^{a}±0.12	$+6.00^{a}$±0.25	115.43^{a}±2.97	335.13^{a}±4.88
3	33.07±0.68	-3.24^{ab}±0.03	$+6.47^{a}$±0.31	106.27^{b}±2.53	474.46^{b}±1.55
4	33.51±0.88	-2.90^{bc}±0.23	$+8.61^{b}$±0.63	103.80^{b}±1.28	703.72^{c}±49.5
5	33.42±0.84	-2.88^{c}±0.11	$+8.64^{b}$±0.53	102.30^{b}±0.78	688.33^{c}±42.2

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

ดังนั้นมะม่วงสามปีบ่มด้วย CaC_2 : มะม่วง 3 g/kg 4 วัน จึงเป็นมะม่วงสุกที่เหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นน้ำมะม่วงพร้อมดื่ม และน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่ผลิตได้ มีค่าสี(L,a,b) เฉลี่ย (33.51,-2.90,+8.61) ความหนืดเฉลี่ย 103.80 cPs และมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเฉลี่ย 703.72 ug/100ml

4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด

การผลิตน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด แบ่ง 3 ขั้นตอนคือ (1)การเตรียมน้ำมะม่วงพร้อมดื่ม 25%, TSS 15°brix และ%TA 0.4 รายละเอียดแสดงในวิธีการทดลอง 3.1.2 ผสมส่วนต่างๆ ให้ละลายเข้ากัน (2) ให้ความร้อนน้ำมะม่วงที่ 80-85°C 5 นาที ในภาชนะเปิดและระหว่างการให้ความร้อนจะมีการคนน้ำมะม่วงตลอดเวลา เพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วกันและป้องกันไม่ให้ภาชนะไหม้ แลบรรจุแบบ hot fill ลงขวดแก้ว 250 ml ปิดด้วยฝาจีบ (3)นำน้ำมะม่วงที่บรรจุขวดให้ความร้อนอีกครั้งโดยการต้ม (boiled) ในน้ำเดือด 15 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างขั้นตอนกระบวนการผลิต

จากผลการทดลอง พบว่าขั้นตอนการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตมีผลต่อปริมาณบีตาแคโรทีน, แคโรทีนอยด์ทั้งหมด, ค่าสีแดง(a), สีเหลือง(b), vitamin C และ non enzymatic browning ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.7, ข.8 และ ข.9

ตารางที่ 4.2.1.1 : การเปลี่ยนแปลงสี องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะม่วงสามปีในระหว่างการผลิต

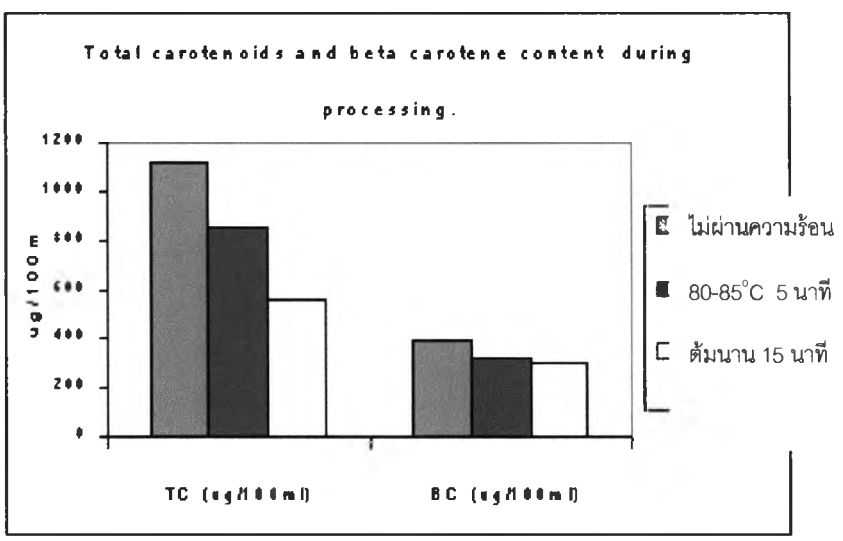
response	น้ำมะม่วงที่ไม่ผ่านความร้อน	น้ำมะม่วงที่ผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม (boiled 15 min)
1) L(lightness)^{ns}	34.43±1.95	35.30±0.58	34.07±0.48
2) a(redness)	-3.51^{a}±0.20	-2.91^{b}±0.06	-2.66^{b}±0.24
3) b(yellowness)	+9.41^{a}±0.38	+7.86^{b}±0.15	+6.85^{c}±0.11
4) pH^{ns}	3.49 ±0.01	3.49 ±0.01	3.50 ±0.01
5) vitaminC(mg/100ml)	3.970^{a}±0.001	1.024^{b}±0.004	0.816^{c}±0.007
6) non-enzymic browning	0.058^{a}±0.004	0.091^{b}±0.007	0.091^{b}±0.002
7) total carotenoid(ug/100ml)	1126.37^{a}±50.20	859.76^{b}±5.44	556.42^{c}±14.72
8) beta carotene (ug/100ml)	392.37^{a}±22.71	329.07^{b}±15.74	303.37^{c}±19.88

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวนอน)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

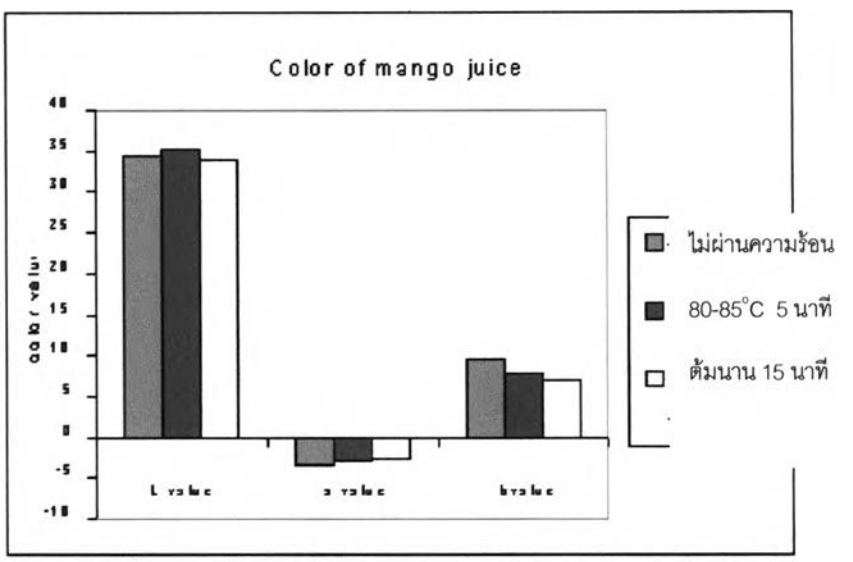
น้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่ผ่านการให้ความร้อน 80-85°C นาน 5 นาที และผ่านการต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีน แคโรทีนอยด์ทั้งหมด ค่าสีเหลืองและวิตามินซีลดลง แต่ค่าสีแดงและ non enzymatic browning มีปริมาณเพิ่มขึ้น แสดงผลดังตารางที่ 4.2.1.1 , 4.2.1.2 และ 4.2.1.3

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีน พบว่าแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนจะลดลงทุกขั้นตอนของการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) เมื่อผ่านความร้อน 80-85°C นาน 5 นาที โดยต้มในภาชนะเปิดและมีการคนน้ำมะม่วงตลอดเวลา แคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลง 266.61 ug/100ml และบีตาแคโรทีนลดลง 63.30 ug/100 ml เมื่อบรรจุขวดแบบ hot fill และต้มในน้ำเดือด 15 นาที แคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลงอีก 303.34 ug/100 ml และบีตาแคโรทีนลดลงอีก 25.70 ug/100ml จากผลการทดลอง จะเห็นว่าแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาก ในขั้นตอนที่น้ำมะม่วงผ่านการให้ความร้อน 80-85°C นาน 5 นาที อาจเนื่องจากช่วงนี้ น้ำมะม่วงผ่านความร้อนโดยต้มในภาชนะเปิด ซึ่งจะมีโอกาสได้สัมผัสกับออกซิเจนในปริมาณมาก ดังนั้นความร้อนและออกซิเจนอาจมีผลเร่งให้แคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาก เกิด isomerization และ degradation (Goodwin, 1984 ;Hutchings, 1994) ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนจึงลดลงและมีผลให้ค่าสีเหลืองลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.2.1.1 และรูปที่ 4.2.1.1 น้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่ผลิตได้มีปริมาณบีตาแคโรทีนประมาณ 50% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด



รูปที่ 4.2.1.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนระหว่างขั้นตอนการผลิตน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด

ความสว่าง(L) ของน้ำมะม่วงเมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนที่ 80-85 °C นาน 5 นาที และการต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) นั่นคือความสว่างของน้ำมะม่วงไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับค่าสีแดง(a) พบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนที่ 80-85°C นาน 5 นาที ค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อผ่านการต้มในน้ำเดือด 15 นาที พบว่าค่าสีแดงไม่เพิ่มขึ้นอีก สำหรับค่าสีเหลืองพบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนที่ 80-85°C นาน 5 นาทีและเมื่อต้มนาน 15 นาที ค่าสีเหลืองจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) จากการสังเกต พบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนทั้ง 2 ช่วงแล้ว น้ำมะม่วงจะมีลักษณะสีเหลืองอ่อนลงและมีลักษณะสีแดงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะม่วงที่เตรียมเสร็จใหม่และยังไม่ผ่านการให้ความร้อน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง(a)และการลดลงของค่าสีเหลือง(b)นั่นเอง



รูปที่ 4.2.1.2 : การเปลี่ยนแปลงสี(L,a,b) ระหว่างขั้นตอนการผลิตน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด

เมื่อพิจารณาการลดลงของวิตามินซี และการเพิ่มขึ้นของ non-enzymatic browning จากตารางที่ 4.2.1.1 พบว่า การให้ความร้อนที่ 80-85°C, 5 นาทีในภาชนะเปิดและมีการคนน้ำมะม่วงตลอดเวลา วิตามินซีลดลง 2.95 mg/100ml การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจเนื่องจากความร้อนและออกซิเจนในขั้นตอนการผลิตมีผลเร่งให้เกิดการสลายตัวของวิตามินซี (Gaman และ Sherrington, 1990) และเกิด ascorbic acid oxidation นั่นคือเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) เนื่องจากวิตามินซีสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสภาวะกรด (pHน้ำมะม่วงเฉลี่ย 3.5) และมีความร้อนเป็นตัวเร่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Belitz และ Grosch, 1987) ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง และเกิด non-enzymatic browning มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ($P\leq0.05$) ซึ่งอาจส่งผลทำให้ค่าสีแดงเพิ่มมากขึ้นด้วยนั่นเอง

ascorbic acid + oxygen + heat + acid → browning pigment (melanoidins)

(Lee,1983) Nagy และคณะ (1989) ศึกษา non-enzymatic browning ในน้ำผลไม้ พบว่า non-enzymatic browning เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาของ sugar, amino acid และ ascorbic acid สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นมีหลายชนิด เช่น organic acid, furans, furanones, ketones, cyclopentanonoes, pyranones และ pyrroles เป็นต้น สารที่เกิดขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีกลิ่นและรสชาติผิดปกติไป จากผลการทดลองเมื่อผ่านบรรจุขวดแบบ hot fill และต้มในน้ำเดือด 15 นาที พบว่า วิตามินซีลดลงอีกเพียง 0.21 mg/100ml ในขั้นตอนนี้วิตามินซีอาจจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนได้ แต่อาจจะไม่เกิด ascorbic acid oxidation หรืออาจจะเกิดได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำมะม่วงบรรจุอยู่ในขวดแล้วไม่มีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนด้านนอกได้อีก และเมื่อพิจารณา non enzymatic browning ผลที่ได้มีความสอดคล้องกัน นั่นคือ ช่วงนี้ non enzymatic browning ไม่เพิ่มปริมาณขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง 4.2.1 ข้างต้น พบว่ากระบวนการผลิตมีผลทำให้สีและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะม่วงเปลี่ยนแปลง อาจเนื่องจากความร้อนและออกซิเจนในระหว่างขั้นตอนการให้ความร้อนทั้ง 2 ช่วง เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Dietz และ Gould (1986) ที่พบว่าปัจจัยความร้อนและออกซิเจนจากขั้นตอนกระบวนการผลิต มีผลทำให้ปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงในทุกช่วงของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศพาสเจอร์ไรซ์บรรจุกระป๋อง การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมะม่วงสามปีที่เกิดขึ้น อาจมีสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ (1) การเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารให้สี(pigment) และ (2) การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล(browning reaction)ในระหว่างกระบวนการผลิต จากผลการทดลอง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสี(L,a,b) ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด บีตาแคโรทีน วิตามินซี และ non-enzymatic browning มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่าปัจจัยสำคัญจากกระบวนกรผลิต คือความร้อนและออกซิเจนซึ่งอาจจะทำให้แคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนเกิด isomerization และ degradation สารไอโซเมอร์ที่มักจะเกิดขึ้น ได้แก่ 9-cis-beta carotene และ 13-cis-beta carotene ซึ่งจะมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า (Goodwin, 1984) ดังนั้นเมื่อสารให้สีเกิดการเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลให้ลักษณะสีปรากฏของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยมักจะมีสีอ่อนลง (จากเดิมสีส้มเหลืองเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen และคณะ (1995) ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีและแคโรทีนอยด์ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำแครอท พบว่า น้ำแครอทสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนจะประกอบด้วยแคโรทีนอยด์มากมายหลายชนิด โดยมีบีตาแคโรทีนอยู่มากที่สุด และเมื่อให้ความร้อนน้ำแครอทที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นจะทำให้บีตาแคโรทีนลดปริมาณลง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป ทำให้บีตาแคโรทีนเกิด

isomerization เปลี่ยนรูปจาก trans-isomer ที่พบในธรรมชาติไปเป็น cis-isomer มีผลทำให้สมบัติของการให้สีเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น น้ำแครอทจึงมีสีอ่อนลง นอกจากนี้จากผลการทดลอง 4.2.1 พบว่าความร้อนจากกระบวนการผลิตทั้ง 2 ช่วง ยังมีผลทำให้วิตามินซีเกิดการสลายตัวและมีการเกิด non enzymatic browning ซึ่งอาจจะเกิดจาก ascorbic acid oxidation ดังที่ได้กล่าวข้างต้น และส่งผลให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นลักษณะสีปรากฏของผลิตภัณฑ์จึงเปลี่ยนแปลงไปด้วยนั่นเอง

4.2.2 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงจากการเติมสาร antioxidant (vitamin C) ปริมาณต่าง ๆในระหว่างกระบวนการผลิต

จากผลการทดลองข้อ 4.2.1 พบว่าการให้ความร้อน 80-85°C นาน 5 นาที และการต้มน้ำที่มะม่วงบรรจุขวดแล้วนาน 15 นาที อาจมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ขึ้น ส่งผลให้สีและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะม่วงเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) การลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทำได้หลายวิธี เช่น การเติมสาร antioxidant เป็นต้น (Gross,1991) ดังนั้นการทดลองข้อ 4.2.2 นี้จึงมีการเติมสาร antioxidant ในน้ำมะม่วง โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น หรือลดปฏิกริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ ทำให้แคโรทีนอยด์มีเสถียรภาพที่ดีขึ้น และจากการตรวจเอกสาร พบว่า สาร antioxidant ที่นิยมเติมในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินซีมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ถูกออกซิไดซ์ (oxidized)โดยออกซิเจนได้ง่าย ดังนั้นจึงไปลดออกซิเจนที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุทำให้สารอื่นไม่ถูกออกซิไดซ์ และเนื่องจากวิตามินซีเป็นสารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและยังเป็นการเสริมวิตามินซีให้แก่ผลิตภัณฑ์ด้วย มาตราฐานอุตสาหกรรม (มอก.) น้ำมะม่วงปรุงในภาชนะบรรจุ (2527) กำหนดว่าสามารถใช้ได้ตามปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ในอัตราส่วน 0.05% สำนักงานอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาเสนอว่าควรจะบริโภควิตามินซีวันละ 60 mg (Block และ Langseth, 1994)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติภาคผนวกตารางที่ ข.12, ข.15 และ ข.18 พบว่า การเติมวิตามินซีมีผลต่อการลดลงของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่ผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) จากผลการทดลอง พบว่าขั้นตอนการให้ความร้อนที่ 80-85°C ในภาชนะเปิด ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลงไม่แตกต่างจากน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีแต่ปริมาณบีตาแคโรทีนจะลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.2.2.1 และรูปที่ 4.2.2.1

ตารางที่ 4.2.2.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีน ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่มีการเติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต

response	no vitamin C added	0.02%vitamin C added	0.05%vitamin C added
total carotenoids (ug/100ml)			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	1126.37±50.20	1101.20±29.43	1085.49±41.93
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	859.76^{a}±5.44	772.47^{b}±4.49	846.26^{a}±17.42
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	566.42^{b}±14.72	782.23^{a}±29.42	814.24^{a}±14.52
beta carotene (ug/100ml)			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	392.37±22.71	417.60±22.69	426.07±10.07
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	329.07^{b}±15.74	386.00^{a}±24.10	399.53^{a}±23.88
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	303.37^{b}±19.88	368.20^{a}±4.70	368.07^{a}±9.79

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวนอน)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

น้ำมะม่วงสามปีที่เติมวิตามินซี 0.02% และ 0.05% จะมีบีตาแคโรทีนลดลงเพียง 26-31 ug/100ml เทียบกับเดิมที่ลดลงมากถึง 60 ug/100ml เมื่อให้ความร้อน 80-85°C นาน 5 นาที การเติมวิตามินซีมีผลให้การเปลี่ยนแปลงลดลงน้อยกว่าเดิมถึงประมาณ 2 เท่า การลดลงของบีตาแคโรทีนอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและออกซิเจนในกระบวนการผลิต มีผลเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของบีตาแคโรทีน และเกิดการ degradation ขึ้น วิตามินซีเป็น oxidizing agent ที่ดี ดังนั้นวิตามินซีอาจจะจับกับออกซิเจนในระบบ ทำให้มีออกซิเจนเหลือที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับแคโรทีนอยด์ได้น้อยลง การลดลงของบีตาแคโรทีนจึงเกิดได้น้อยลง และอาจเนื่องจากลักษณะของออกซิเดชันที่เกิดจะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) คือมี free radical molecule ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาเกิดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ (Klaui และ Bavernfeind, 1981) การลดลงของบีตาแคโรทีน เกิดได้น้อยกว่าน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซี อาจเนื่องมาจากวิตามินซีสามารถจับกับ free radical ที่เกิดขึ้นทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดได้ช้าลง การออกซิเดชันจึงเกิดน้อยลง (Goodwin, 1984) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Goldman, Horev และ Saguy (1983) ที่พบว่า อาหารผงที่มีการเติมสาร antioxidant จะสามารถรักษาปริมาณบีตาแคโรทีนไว้ได้

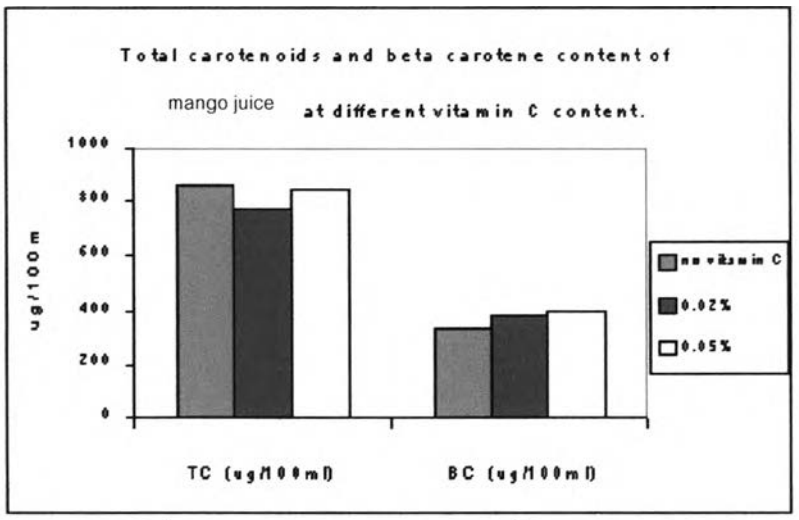
มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสาร antioxidant เนื่องจากสาร antioxidant จะป้องกันการออกซิเดชันของบีตาแคโรทีน โดยทำปฏิกิริยากับ free radical ที่เกิดขึ้นในช่วง initiation step จึงสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ ดังนี้

Initiation step : RH --------→ R● + H●

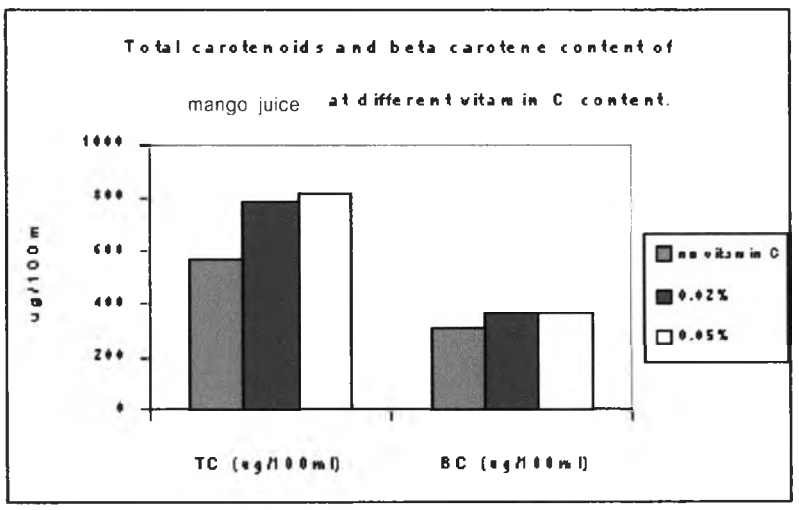
เมื่อเติมสาร antioxidant : R● + AH ------→ RH + A●

RH แทน บีตาแคโรทีน และ AH แทน antioxidant

ดังนั้นปริมาณบีตาแคโรทีนจึงลดลงน้อยกว่าการไม่เติมวิตามินซีนั่นเอง การเติมวิตามินซี 0.02% เพียงพอที่จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีนที่เกิดขึ้นได้ จากตารางที่ 4.2.2.1 และรูปที่ 4.2.2.2 พบว่า น้ำมะม่วงบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ เมื่อผ่านการต้มนาน 15 นาที ปริมาณการลดลงของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) น้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจะลดลงอีก 293.34 ug/100ml แต่น้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.02% แคโรทีนอยด์ทั้งหมดจะลดลงอีกเพียง 10 ug/100 ml สำหรับการลดลงของบีตาแคโรทีนในช่วงหลังจากต้มนาน 15 นาที พบว่าปริมาณการลดลงไม่แตกต่างกัน คือจะลดลงอีกประมาณ 20-30 ug/100 ml แต่จากผลการทดลอง พบว่าตัวอย่างน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีจะเหลือบีตาแคโรทีนในน้ำมะม่วงน้อยกว่าตัวอย่างที่เติมวิตามินซี ทั้งนี้เนื่องจากการวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการวิเคราะห์จากกระบวนการผลิตที่ต่อเนื่องทั้งหมด ช่วงการให้ความร้อนน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 80-85°C นาน 5 นาทีในภาชนะเปิดมีผลทำให้บีตาแคโรทีนลดลงอย่างมาก ดังนั้นหลังจากผ่านการต้ม 15 นาที น้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีจึงมีบีตาแคโรทีนเหลือเพียง 303.37 ug/100mlซึ่งน้อยกว่าน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) วิตามินซีมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนได้ในลักษณะเช่นเดียวกับช่วงการให้ความร้อนที่ 80-85°C นาน 5 นาที ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น น้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.02% การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างจากน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.05% อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)



รูปที่ 4.2.2.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ และผ่านการให้ความร้อน 80-85°C นาน 5 นาที



รูปที่ 4.2.2.2 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆและผ่านการต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที

จากตารางที่ 4.2.2.2 แสดงเปอร์เซนต์ (%) การลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนระหว่างกระบวนการผลิตที่ระดับปริมาณวิตามินซีต่างๆ พบว่าการลดลงของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด จะเกิดขึ้นมากในขั้นตอนการให้ความร้อนน้ำมะม่วงที่ 80-85°C, 5 นาที ซึ่งทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลง 23.67% การเติมวิตามินซีไม่สามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในช่วงนี้ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากขั้นตอนนี้น้ำมะม่วงได้รับผลอิทธิพลจากทั้งความร้อนและ

ออกซิเจนในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นสภาวะเร่งการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ที่รุนแรง (Chou และ Bree, 1972) ดังนั้นการลดลงยังคงเกิดได้มากเช่นเดิม น้ำมะม่วงบรรจุขวดและต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที มีผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลงจากเริ่มต้น 49.72% น้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.02% ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจะลดลงเพียง 28.97% นั่นคือ การเติมวิตามินซีจะมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ได้อย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) และสำหรับการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีน พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนจะลดลงมากในช่วงการให้ความร้อน 80-85°C นาน 5 นาที คือลดลง 16.14% การเติมวิตามินซีมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ น้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.02% บีตาแคโรทีนจะลดลงเพียง 7.57% นั่นคือการเติมวิตามินซีจะมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีนได้มากกว่า 2 เท่า และเมื่อผ่านการต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที บีตาแคโรทีนจะลดลง 22.66 % เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะม่วงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน น้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.02% พบว่าบีตาแคโรทีนลดลงเพียง 11.83 % จากตารางที่ 4.2.2.1 พบว่าน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่เติมวิตามินซี 0.02% เมื่อผ่านกระบวนการผลิตทั้งหมด การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างจากน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.05% อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.2.2.2 : เปอร์เซนต์(%) การลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต

	no vitamin C added	0.02%vitamin C added	0.05%vitamin C added
total carotenoid			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	0.00%	0.00%	0.00%
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	23.67%	29.95%	22.04%
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	49.72%	28.97%	24.95%
beta carotene			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	0.00%	0.00%	0.00%
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	16.14%	7.57%	6.23%
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	22.66%	11.83%	13.61%

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์ (%)ในตาราง คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของ fresh juice เริ่มต้นในกระบวนการผลิต โดยใช้ค่าตัวเลขเฉลี่ยการคำนวณจากตารางข้อมูลที่ 4.2.2.1 ข้างต้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติภาคผนวกตารางที่ ข.11, ข.14 และ ข.17 พบว่าการเติมวิตามินซีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH และปริมาณวิตามินซีของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่ผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4.2.2.3

ตารางที่ 4.2.2.3 : การเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณวิตามินซี และ non enzymatic browning ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่มีการเติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต

response	no vitamin C added	0.02%vitamin C added	0.05%vitamin C added
pH			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	$3.49^{a}\pm0.01$	$3.29^{b}\pm0.01$	$3.24^{c}\pm0.01$
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	$3.50^{a}\pm0.01$	$3.26^{b}\pm0.01$	$3.20^{c}\pm0.01$
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	$3.49^{a}\pm0.01$	$3.24^{b}\pm0.01$	$3.20^{c}\pm0.01$
vitamin C			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	$3.95^{c}\pm0.03$	$23.31^{b}\pm0.24$	$32.81^{a}\pm0.40$
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	$1.02^{c}\pm0.04$	$21.15^{b}\pm0.14$	$28.06^{a}\pm0.88$
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	$0.82^{c}\pm0.06$	$20.76^{b}\pm0.49$	$27.72^{a}\pm0.51$
non-enzymatic browning			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	0.0576 ± 0.0039	0.0601 ± 0.0019	0.0604 ± 0.0050
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	$0.0925^{a}\pm0.0078$	$0.0778^{b}\pm0.0023$	$0.0905^{a}\pm0.0014$
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	0.0906 ± 0.0021	$0\ 0852\pm0.0050$	0.0938 ± 0.0055

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ $\pm$ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวนอน)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2.2.3 พบว่า non-enzymatic browning ที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน นั่นคือ การเกิดสีน้ำตาลยังคงเกิดได้เช่นเดิม ทั้งนี้อาจเนื่องจาก non-enzymatic browning เกิดจากปฏิกิริยา ascorbic acid oxidation ดังที่กล่าวไว้ในผลการทดลองข้อ 4.2.1 ข้างต้น ซึ่งมีวิตามินซีเป็นสารตั้งต้น ดังนั้นการลักษณะลดลงของวิตามินซีและการเกิด non-enzymatic browning จึงคงเดิมไม่แตกต่างกัน และส่งผลให้ค่าความสว่างลดลงและค่าสีแดงเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันด้วย เมื่อน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซี ผ่านการต้มในน้ำเดือด 15 นาที พบว่าปริมาณวิตามินซีที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P\leq0.05$) ตัวอย่างน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซีการลดลงจะเกิดมากกว่า แต่เมื่อพิจารณา non enzymatic browning พบว่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากวิตามินซีในน้ำมะม่วงที่มีอยู่มากเกินพออาจถูกนำไปใช้ในการป้องกันการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ (Charles และ Linder, 1991) ดังนั้นน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซีเพิ่ม ปริมาณวิตามินซีจึงลดลงมากกว่า

จากผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2.2.4 พบว่าการเติมวิตามินซีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง คือลดการเปลี่ยนแปลงของความสว่างที่เกิดขึ้นได้ แต่จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่ม ที่ผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนทั้ง 2 ช่วง อย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.10, ข.13 และ ข.16 นั่นคือ วิตามินซีไม่มีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสีแดงและเหลืองที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนทั้ง 2 ช่วงแล้ว สีแดงยังคงเพิ่มมากขึ้นและสีเหลืองยังคงลดลงเช่นเดิม การเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลืองจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ เนื่องจากแคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบที่ให้สีเหลืองส้มแดง (Hutchings, 1994 ; Goodwin, 1984) ถ้าปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง ค่าสีเหลืองก็จะลดลงด้วย และการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าสีแดงจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของ non enzymatic browning นั่นคือ non enzymatic browning ที่เกิดขึ้นจะมีผลให้ค่าความสว่างลดลง และค่าสีแดงเพิ่มขึ้นด้วย (Clegg,1988) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมะม่วงมีสาเหตุ 2 ประการ ดังเหตุผลข้างต้น จากผลการทดลอง พบว่า วิตามินซีมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณบีตาแคโรทีนและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดได้ แต่พบว่าไม่มีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการมี non enzymatic browning หรือปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหลักที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้น นั่นเอง จากการสังเกต พบว่าน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีเมื่อผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 ขั้นตอนแล้ว จะมีสีที่คล้ำมากกว่าน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซีเล็กน้อย

ตารางที่ 4.2.2.4 : การเปลี่ยนแปลงสี(L,a,b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มที่มีการเติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต

response	no vitamin C added	0.02%vitamin C added	0.05%vitamin C added
L(lightness)			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	$35.74^{b}\pm0.20$	$36.22^{ab}\pm0.68$	$39.66^{a}\pm0.03$
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	$35.30^{b}\pm0.58$	$37.05^{a}\pm1.10$	$37.65^{a}\pm0.44$
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	$34.07^{c}\pm0.48$	$35.68^{b}\pm0.19$	$37.09^{a}\pm0.04$
a(redness)			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	-3.51±0.20	-3.18±0.20	-3.49±0.49
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	-2.91±0.06	-2.63±0.30	-2.92±0.54
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	-2.66±0.24	-2.55±0.22	-0.63±3.43
b(yellowness)			
-น้ำมะม่วงไม่ผ่านความร้อน	+9.41±0.38	+9.01±0.68	+8.89±0.63
-น้ำมะม่วงผ่านความร้อน (80-85°C, 5 min)	+7.86±0.15	+7.87±1.20	+7.86±0.75
-น้ำมะม่วงบรรจุขวดผ่านการต้ม 15 นาที	+6.85±0.11	+7.51±0.91	+7.40±1.01

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

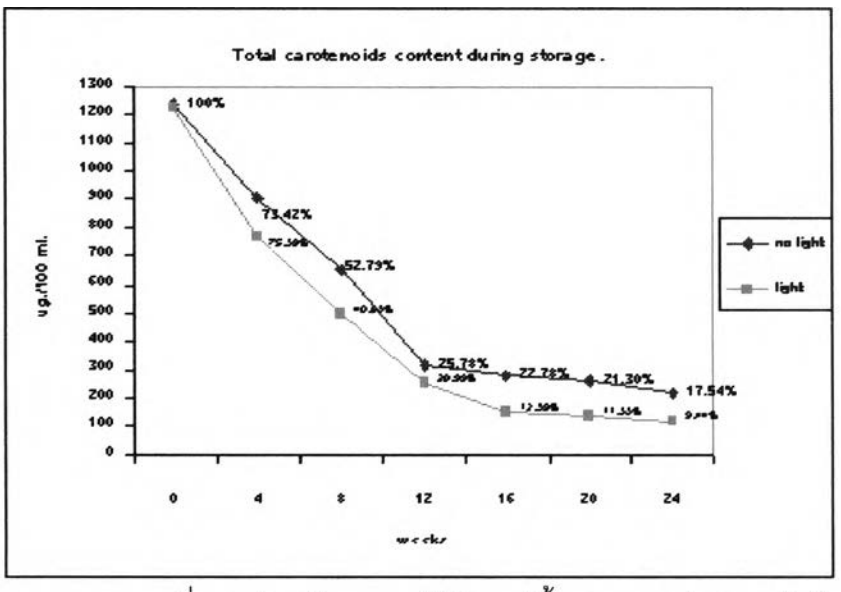
ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวนอน)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P\leq0.05$)

4.3 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสี และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด ในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ

น้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่ผลิตจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูง (high acid food) มี pH ประมาณ 3.5 ดังนั้นการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อแบบใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C จึงเพียงพอในการฆ่าเชื้อสำหรับผลิตภัณฑ์นี้ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2524) ผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่ผลิตจะมีอายุการเก็บประมาณ 6 เดือน แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Godoy และ Rodriguez-Amaua, 1987) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับสภาวะการเก็บนั้นๆ ดังนั้นการทดลองต่อไปนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะการเก็บที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะและคุณภาพคงเดิมตลอดอายุการเก็บหรือหาสภาวะการเก็บที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นน้อยที่สุดนั่นเอง

4.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดระหว่างสภาวะการเก็บที่มีและไม่มีแสง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติภาคผนวกตารางที่ ข.21 พบว่า แสงและระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อการลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่4.3.1.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสง ระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ % total carotenoids retention

ตารางที่ 4.3.1.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด ระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสง ระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

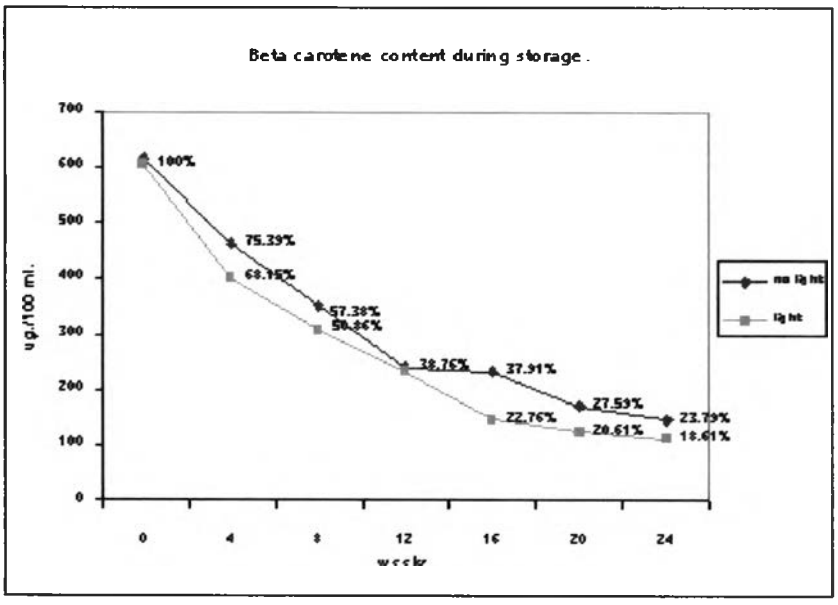
storage condition	time (weeks)	total carotenoids (ug/100ml)	beta carotene (ug/100ml)
dark	0	$1235.18^{a}\pm6.58$	$615.15^{a}\pm9.55$
	4	$906.77^{b}\pm4.31$	$463.78^{b}\pm14.74$
	8	$652.11^{d}\pm15.02$	$353.00^{d}\pm9.40$
	12	$318.44^{f}\pm4.48$	$238.44^{f}\pm16.56$
	16	$281.37^{g}\pm7.12$	$233.19^{f}\pm16.56$
	20	$263.15^{gh}\pm2.95$	$169.70^{g}\pm22.20$
	24	$216.70^{i}\pm10.01$	$146.37^{gh}\pm2.14$
light	0	$1223.36^{a}\pm13.13$	$607.00^{a}\pm11.67$
	4	$771.91^{c}\pm24.22$	$413.70^{c}\pm10.47$
	8	$497.07^{e}\pm11.81$	$308.76^{e}\pm11.98$
	12	$256.86^{h}\pm3.13$	$234.41^{f}\pm8.87$
	16	$151.60^{j}\pm11.26$	$138.16^{hi}\pm1.87$
	20	$138.64^{j}\pm1.58$	$125.09^{hi}\pm3.90$
	24	$115.43^{k}\pm8.07$	$112.99^{i}\pm3.41$

หมาย.หตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.3.1.1 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่คงเหลือในระหว่างการเก็บรักษา และจากรูปที่ 4.3.1.1 พบว่าในช่วงแรกของการเก็บ(0-12 สัปดาห์) ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วงหลัง(12-24 สัปดาห์) พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงอย่างช้าๆ ในภาวะการเก็บที่มีแสงการเปลี่ยนแปลงจะเกิดได้มากกว่าการเก็บในที่ไม่มีแสง ตลอดระยะเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ อาจเกิดได้เนื่องจากแสงมีผลเร่งให้แคโรทีนอยด์เกิด isomerization และ degradation ได้มากกว่าการเก็บในภาวะไม่มีแสง การที่ช่วงแรกของการเก็บแคโรทีนอยด์ลดลงอย่างรวดเร็ว อาจเนื่องจากในน้ำมะม่วงมีแคโรทีนอยด์อยู่มากมายกว่า 30 ชนิด เช่น beta-carotene, alpha-carotene, cryptoxanthin, zeaxanthin, violaxanthin และ neoxanthin เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกัน โดยมีบีตาแคโรทีน

มากที่สุดประมาณ 30-50% (Cano และ Ancos ,1994) และแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อสภาวะการเร่งด้วยแสงและปัจจัยอื่นๆต่างกัน (บางชนิดอาจทนต่อการเร่งได้ดีบางชนิดทนได้ไม่ดี) (Goodwin, 1984 ; Klaui และ Bavernfeind,1981) ช่วงแรกของการเก็บรักษาอาจเกิดการ degradation ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดขึ้น โดยแคโรทีนอยด์ชนิดที่ไม่ทนต่อแสงซึ่งมีอยู่ปริมาณมากจะเกิดการออกซิเดชันและลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นช่วงแรกของการเก็บปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจึงลดลงอย่างรวดเร็วด้วย ซึ่งอาจทำให้ในน้ำมะม่วงสามปีที่เก็บรักษาเหลือเพียงแคโรทีนอยด์ชนิดที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดีอยู่มากกว่าเท่านั้น ช่วงหลัง(12-24 สัปดาห์) การลดลงเกิดอย่างช้าๆ อาจเนื่องจากการ degradation เกิดได้น้อยลง เพราะในน้ำมะม่วงมีแคโรทีนอยด์ชนิดที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงเหลืออยู่มากนั่นเอง การเปลี่ยนแปลงจึงเกิดอย่างช้าๆ หรืออาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์เป็นแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ มี free radical molecule เกิดขึ้น ดังที่กล่าวข้างต้น ในช่วงแรกจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว แต่ในช่วงหลัง free radical molecule อาจถูกนำไปใช้หมดไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงจึงเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งแสดงดังรูป 4.3.1.1



รูปที่4.3.1.2 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีน ระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสง ระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ % beta carotene retention

จากตารางที่ 4.3.1.1 และรูปที่ 4.3.1.2 ข้างต้น แสดงการลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา พบว่าบีตาแคโรทีนลดลงตลอดเวลาการเก็บ การเก็บในที่มีแสงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นั่นคือ แสงอาจมีผลเร่งให้บีตาแคโรทีนเกิด isomerization และ degradation ได้ดีกว่า บีตาแคโรทีนอาจเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดที่ไม่ทนต่อแสง

นั่นเอง น้ำมะม่วงสามปีที่เก็บในที่มืดตลอดเวลา 24 สัปดาห์ จะมีปริมาณบีตาแคโรทีนเหลือ 23.79% แต่น้ำมะม่วงที่เก็บในที่มีแสงจะมีปริมาณบีตาแคโรทีนเหลือเพียง 18.61%

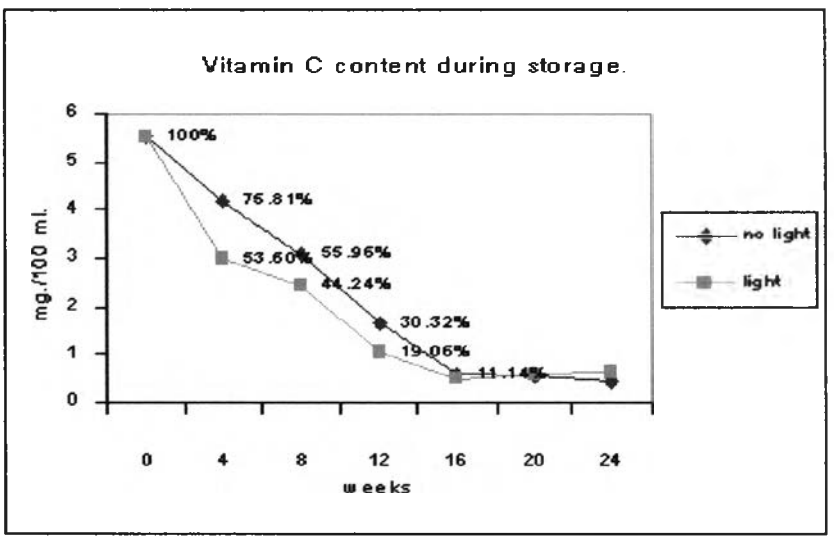
ตารางที่ 4.3.1.2 : การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด ระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสง ระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

storage condition	time (weeks)	TSS(^{o}brix)^{ns}	pH	vitamin C (mg/100ml)	non-enzymatic browning
dark	0	15.10±0.14	3.50^{a}±0.01	5.54^{a}±0.03	0.0941^{i} ±0.0006
	4	15.25±0.07	3.44^{b}±0.01	4.20^{b}±0.05	0.0993^{h}±0.0006
	8	15.40±0.01	3.37^{d}±0.01	3.10^{c}±0.11	0.1073^{g}±0.0004
	12	16.00±0.01	3.30^{f}±0.01	1.68^{e}±0.11	0.1099^{g}±0.0011
	16	16.00±0.01	3.19^{h}±0.01	0.62^{g}±0.02	0.1118^{g}±0.0006
	20	15.70±0.01	3.10^{i}±0.01	0.54^{g}±0.08	0.1635^{d}±0.0053
	24	16.00±0.01	3.04^{j}±0.01	0.44^{g}±0.09	0.1787^{c}±0.0036
light	0	15.25±0.07	3.49^{a}±0.01	5.56^{a}±0.04	0.1008^{h}±0.0011
	4	15.30±0.14	3.42^{c}±0.01	2.98^{c}±0.14	0.1076^{g}±0.0004
	8	15.45±0.07	3.35^{e}±0.01	2.46^{d}±0.11	0.1128^{g}±0.0022
	12	16.00±0.01	3.27^{g}±0.07	1.06^{f}±0.09	0.1203^{f}±0.0008
	16	16.10±0.14	3.20^{h}±0.01	0.52^{g}±0.05	0.1290^{e}±0.0027
	20	15.50±0.01	3.09^{i}±0.01	0.58^{g}±0.03	0.1856^{b}±0.0020
	24	16.00±0.01	3.03^{j}±0.01	0.62^{g}±0.06	0.2007^{a}±0.0049

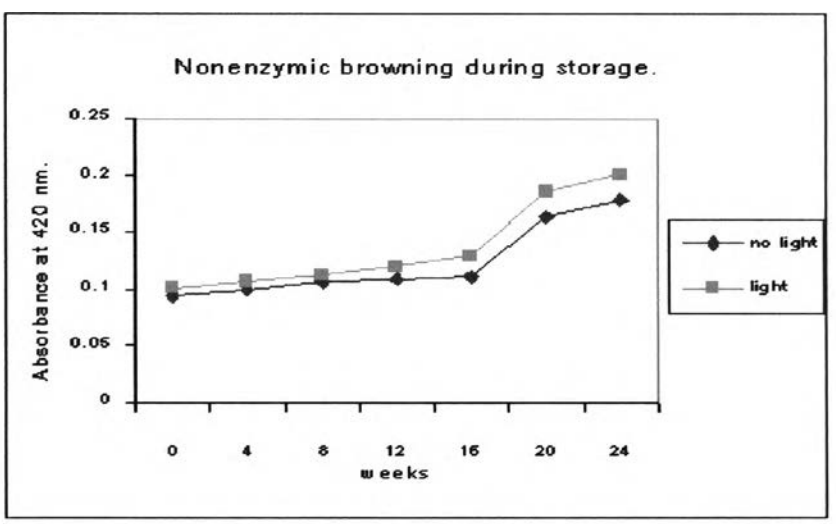
หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 4.3.1.2 และรูปที่ 4.3.1.3, 4.3.1.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี พบว่า แสงและระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณวิตามินซี และ non enzymatic browning ที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.20 วิตามินซีลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-16 สัปดาห์แรกของการเก็บ หลังจากสัปดาห์ที่ 16 วิตามินซีเหลือในน้ำมะม่วงอยู่น้อยมาก และจากรูปพบว่าช่วง 0-16 สัปดาห์แรก การเกิดสารสีน้ำตาลจาก non enzymatic browning เกิดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย หลังจากสัปดาห์ที่ 16 สารสีน้ำตาลเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยภาวะที่มีแสงเร่งการเปลี่ยน

แปลงเกิดได้มากกว่า การเกิดสารสีน้ำตาลจาก non enzymatic browning reaction ระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ (Hutchings, 1994) และการเกิด ascorbic acid oxidation ร่วมกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการรายงานของ Belitz และ Grosch (1987) ; Dominic (1989) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษาเกิดจาก non enzymatic browning ปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นได้แก่ Maillard reactionโดยมีกรดอะมิโนและน้ำตาลเป็นสารตั้งต้น และปฏิกิริยา ascorbic acid oxidation โดยน้ำผลไม้ที่มี malic acid และมี pH อยู่ในช่วง 2.2-4.5 จะมีผลเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น



รูปที่ 4.3.1.3 : วิตามินซีของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสงระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์



รูปที่ 4.3.1.4 : non enzymatic browning ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสงระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

ในช่วงแรกปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดอย่างช้าๆ อาจเนื่องจากน้ำมะม่วงยังคงมีปริมาณวิตามินซีที่มากพอที่จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้จากการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้ แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 16 ปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือน้อยมาก ไม่เพียงพอที่จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อีกต่อไป สารสีน้ำตาลจึงเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว

จากผลการทดลองตารางที่ 4.3.1.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสี(L,a,b) พบว่า แสงและระยะเวลาในการเก็บรักษา มีอิทธิพลร่วมต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดงและการลดลงของค่าสีเหลืองของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่ม ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) การวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.19

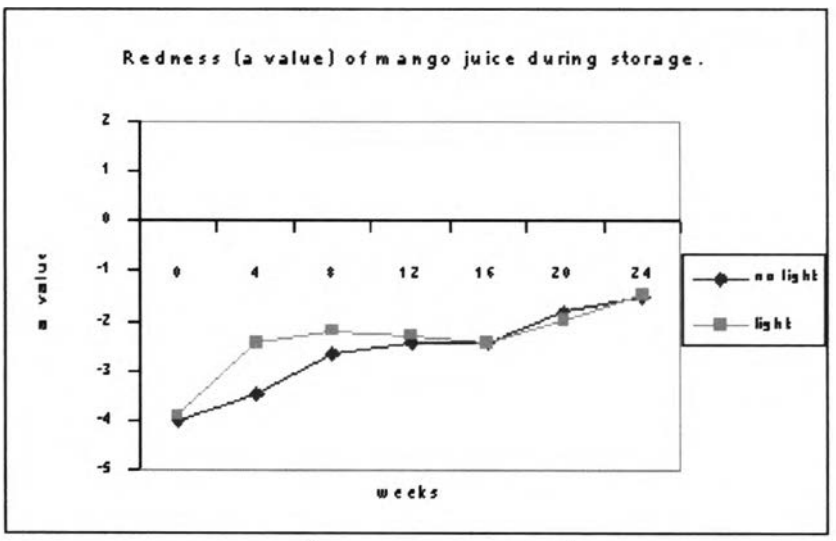
ตารางที่ 4.3.1.3 : การเปลี่ยนแปลงสี(L,a,b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด ระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสง ระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

storage condition	time(weeks)	L ^{ns}	a	b
dark	0	36.90±0.13	-4.01^{a}±0.07	+9.77^{a}±0.09
	4	34.03±0.01	-3.48^{b}±0.24	+7.49^{b}±0.23
	8	33.45±0.63	-2.62^{c}±0.06	+5.46^{c}±0.32
	12	32.80±0.18	-2.44^{cd}±0.02	+4.35^{cde}±0.71
	16	32.44±0.24	-2.43^{cd}±0.02	+4.14^{cde}±0.22
	20	32.28±0.06	-1.83^{efg}±0.37	+3.56^{de}±0.46
	24	32.26±0.26	-1.58^{fg}±0.48	+3.64^{de}±0.30
light	0	36.10±0.26	-3.91^{ab}±0.22	+9.92^{a}±0.18
	4	33.18±0.12	-2.44^{cd}±0.05	+4.87^{cd}±0.14
	8	33.46±0.06	-2.20^{cde}±0.14	+4.34^{cde}±0.05
	12	32.56±0.16	-2.27^{cde}±0.21	+4.07^{cde}±0.02
	16	31.89±1.15	-2.42^{cd}±0.26	+5.20^{c}±2.20
	20	32.37±0.37	-1.99^{def}±0.10	+3.29^{e}±0.15
	24	32.42±0.23	-1.46^{g}±0.10	+3.11^{e}±0.04

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

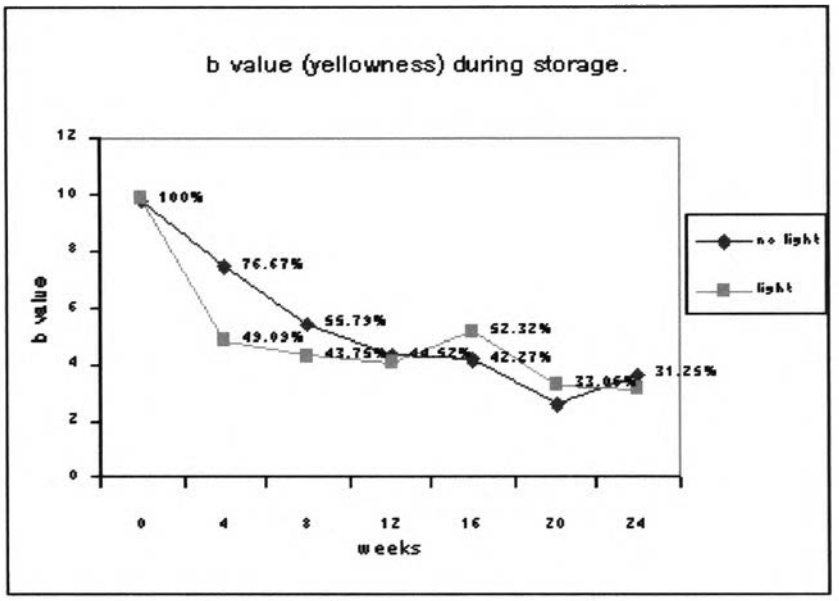
ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.3.1.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง(a)ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ในช่วงแรกของการเก็บ(0-12 สัปดาห์) แสงมีผลเร่งให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นมากกว่า แต่ในช่วงหลังของการเก็บ (12-24 สัปดาห์) ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน และจากรูปที่ 4.3.1.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง(b) พบว่า ช่วงแรกของการเก็บ(0-12 สัปดาห์) ค่าสีเหลืองลดลงอย่างรวดเร็ว โดยสภาวะที่มีแสงการเปลี่ยนแปลงเกิดได้มากกว่า และช่วงหลังของการเก็บ(12-24 สัปดาห์) ค่าสีเหลืองจะลดลงอย่างช้าๆ และไม่มีความแตกต่างกันจากสภาวะการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4.3.1.3 ข้างต้น จากการสังเกต พบว่าสีของน้ำมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-12 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา น้ำมะม่วงจะมีสีเหลืองอ่อนลงจากเดิม แต่ลักษณะสีจะคล้ำมากขึ้น ช่วงหลังของการเก็บรักษาสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนักโดยสภาวะการเก็บที่มีแสงจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าการเก็บในที่มืด



รูปที่ 4.3.1.5 : ค่าสีแดง(a) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสงระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูปที่ 4.3.1.6 คือ %b value retention (%ค่าสีเหลืองที่คงเหลืออยู่) ของน้ำมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา จะพบว่าในช่วง 0-4 สัปดาห์แรก ภาวะการเก็บที่มีแสงมีผลเร่งทำให้เกิดการลดลงของค่าสีเหลืองอย่างรวดเร็ว คือมี %b value retention เหลือเพียง 49.09 การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมากกว่าภาวะการเก็บที่ไม่มีแสง ซึ่งจะมี %b value retention เท่ากับ 76.67 หลังจากนั้นค่าสีเหลืองจะลดลงอย่างช้าๆ ทั้ง 2 สภาวะการเก็บ และหลังจากเก็บนาน 24 สัปดาห์ น้ำมะม่วงพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เก็บที่ภาวะไม่มีแสงจะมี %b value retention เท่ากับ 31.25



รูปที่ 4.3.1.6 : ค่าสีเหลือง(b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่ภาวะมีและไม่มีแสงระยะเวลาเก็บ 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป C คือ % b value retention

พิจารณารูปที่ 4.3.1.1 และรูปที่ 4.3.1.6 พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลืองและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจะมีลักษณะคล้ายกัน นั่นคือการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคโรทีนอยด์จะมีผลโดยตรงกับค่าสีเหลืองของน้ำมะม่วง ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลงค่าสีเหลืองจะลดลงด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าสี(L,a,b)ของน้ำมะม่วงยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวอีก เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

4.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยด้านแสงเมื่อมีการเติมวิตามินซี

การเติมวิตามินซีมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการผลิตได้ ดังแสดงในผลการทดลองข้อ 4.2.2 การทดลองข้อ 4.2.3 มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาว่า การเติมวิตามินซีจะมีผลช่วยลดการลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีน แคโรทีนอยด์ทั้งหมดและสีที่เกิดขึ้น เนื่องจากแสงในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมะม่วงพร้อมดื่มบรรจุขวดได้หรือไม่ จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาคผนวกตารางที่ ข.23, ข.24 และ ข.25 พบว่า วิตามินซีและระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อการลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีน แคโรทีนอยด์ทั้งหมด, ค่าสีเหลือง(b), vitamin C และการเพิ่มขึ้นของ non enzymatic browning ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง มีแสงตลอดเวลา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จึงพิจารณาจากอิทธิพลร่วมของทั้งการเติมวิตามินซีและระยะเวลาในการเก็บ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.3.2.1, 4.3.2.2 และ 4.3.2.3

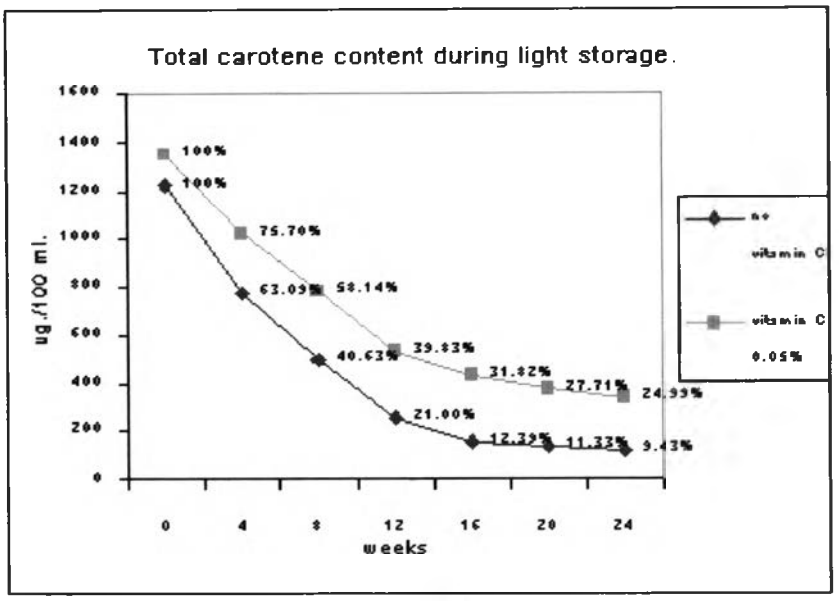
ตารางที่ 4.3.2.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และบีตาแคโรทีน ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์

vitamin C	time (weeks)	total carotenoids (ug/100ml)	beta carotene (ug/100ml)
no vitamin C added	0	$1223.36^{b}\pm13.13$	$607.00^{b}\pm11.67$
	4	$771.91^{d}\pm24.22$	$413.70^{e}\pm10.47$
	8	$497.07^{e}\pm11.81$	$308.76^{g}\pm11.98$
	12	$256.86^{h}\pm3.13$	$234.41^{h}\pm8.87$
	16	$151.60^{j}\pm11.26$	$138.16^{j}\pm1.87$
	20	$138.64^{jj}\pm1.58$	$125.09^{jj}\pm3.90$
	24	$115.43^{j}\pm8.07$	$112.99^{j}\pm3.41$
0.05% vitamin C added	0	$1348.94^{a}\pm26.28$	$694.18^{a}\pm10.01$
	4	$1021.20^{c}\pm70.77$	$540.75^{c}\pm19.16$
	8	$784.32^{d}\pm8.92$	$472.28^{d}\pm16.44$
	12	$537.23^{e}\pm16.66$	$368.55^{f}\pm13.93$
	16	$429.30^{f}\pm5.51$	$325.32^{g}\pm5.07$
	20	$373.77^{g}\pm4.17$	$249.00^{h}\pm6.36$
	24	$337.24^{g}\pm14.45$	$238.02^{h}\pm5.68$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

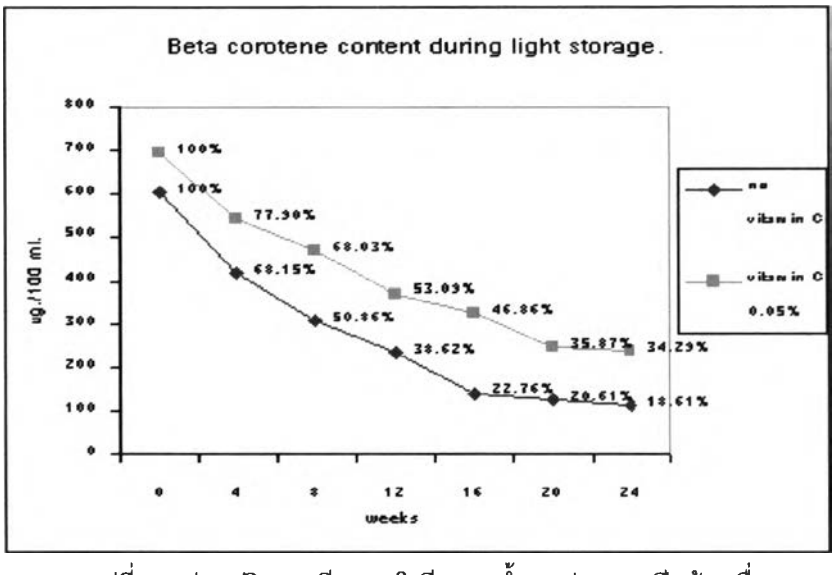
ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P\leq0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 4.3.2.1 รูปที่ 4.3.2.1 และ 4.3.2.2 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนที่คงเหลือในระหว่างการเก็บในที่มีแสง พบว่า การเติมวิตามินซีในน้ำมะม่วงจะช่วยลดการลดลงที่เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) น้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่ไม่เติมวิตามินซีเก็บในที่มีแสงนาน 24 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเหลือเพียง 9.43% และบีตาแคโรทีนเหลือเพียง 18.61% แต่สำหรับน้ำมะม่วงสามปีที่เติมวิตามินซี 0.05% พบว่า มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเหลือ 24.99% และบีตาแคโรทีนจะเหลืออยู่มากถึง 34.29%



รูปที่ 4.3.2.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ %total carotenoids retention



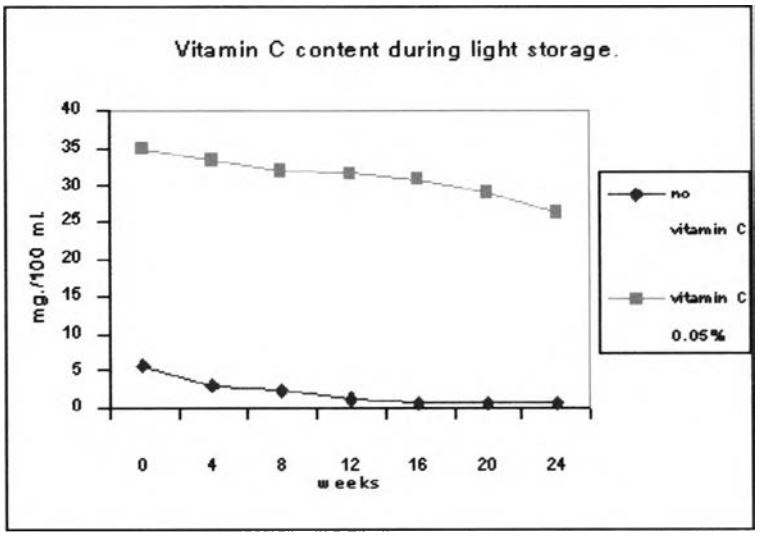
รูปที่4.3.2.2 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ %beta carotene retention

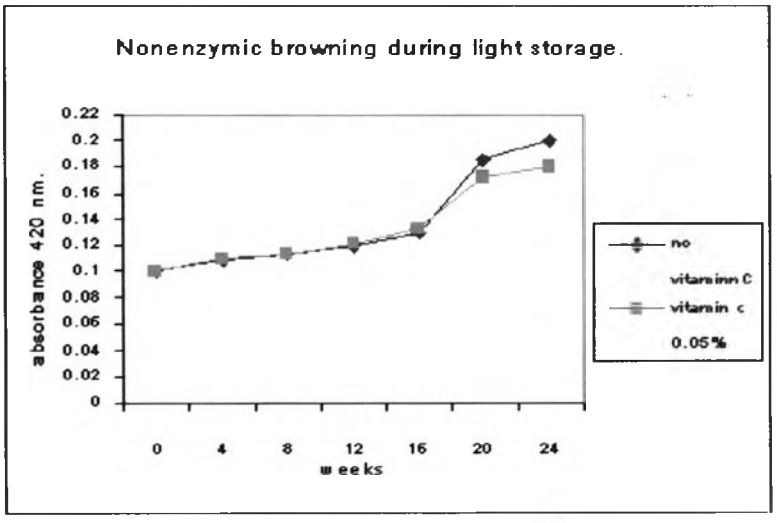
การลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซีและเก็บในที่มีแสง จะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซี อาจเนื่องมาจาก วิตามินซีสามารถจับกับออกซิเจนและถูกออกซิไดซ์ไปได้ดีกว่าแคโรทีนอยด์ จึงช่วยลดหรือป้องกันการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้ (Gaman และ Sherrington,1990) หรืออาจเนื่องจากวิตามินซีสามารถจับกับ free radical molecule ที่เกิดในระหว่างปฏิกิริยาการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ (ปฏิกิริยาลูกโซ่) ทำให้การ

degradation ของแคโรทีนอยด์เกิดได้ช้าลง (Goldman, Horev และ Saguy, 1983) ดังนั้น การเติมวิตามินซีจึงช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนได้ ซึ่งจะส่งผลให้การลดลงของสีเหลืองเกิดได้ช้าลงด้วยเช่นกัน

จากตารางที่ 4.3.2.2 รูปที่ 4.3.2.3 และ 4.3.2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี และ non-enzymatic browning พบว่าเมื่อเวลาเก็บเพิ่มมากขึ้นวิตามินซีลดลงตลอดระยะเวลาเก็บ ช่วง 0-16 สัปดาห์แรก non-enzymatic browning เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 16 non-enzymatic browning จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีจะเพิ่มขึ้นมากกว่า จากรูปจะพบว่าการเติมวิตามินซีอาจไม่มีผลช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล หรืออาจมีผลช่วยลดได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากระหว่างการเก็บรักษามีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ขึ้น ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลนี้อาจมาจากปฏิกิริยาหลายๆอย่างร่วมกัน เช่น Maillard reaction, carotenoids oxidation และ ascorbic acid oxidation (Beiltz และ Grosch, 1987) วิตามินอาจมีผลช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาได้เพียงบางอย่าง ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นว่าน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี การเกิดสีน้ำตาลจะน้อยกว่าน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.3.2.3 : การเปลี่ยนแปลงวิตามินซี ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์



รูปที่ 4.3.2.4 :การเปลี่ยนแปลงnon enzymatic browning ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์

ตารางที่ 4.3.2.2 : การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์

vitamin C	time (weeks)	TSS (^{o}brix)	pH	vitamin C (mg/100 ml)	non-enzymatic browning
no vitamin C added	0	15.25^{e}±0.07	3.49^{a}±0.01	5.56^{g}± 0.04	0.1008^{h}± 0.0011
	4	15.30^{de}±0.14	3.42^{b}±0.01	2.98^{h}± 0.14	0.1076^{gh}± 0.0004
	8	15.45^{de}±0.07	3.35^{c}±0.01	2.46^{i}± 0.11	0.1128^{fg} ±0.0022
	12	16.00^{ab}±0.01	3.27^{d}±0.01	1.06^{j}± 0.08	0.1203^{ef}±0.0008
	16	16.10^{a}±0.14	3.20^{gh}±0.01	0.52^{k}± 0.05	0.1290^{d} ±0.0027
	20	15.50^{d}±0.01	3.09^{l}±0.01	0.58^{k} ± 0.03	0.1856^{b} ±0.0021
	24	16.00^{ab}±0.01	3.03^{m}±0.01	0.62^{k} ± 0.05	0.2007^{a} ±0.0049
0.05% vitamin C added	0	15.25^{e}±0.07	3.25^{e}±0.01	34.97^{a} ±0.33	0.1003^{h}±0.0083
	4	15.30^{de}±0.14	3.23^{fg}±0.01	33.50^{b}±0.11	0.1101^{g}±0.0005
	8	15.50^{d}±0.01	3.20^{g}±0.00	32.08^{c}±0.34	0.1142^{efg}±0.0023
	12	15.45^{de}±0.07	3.18^{h}±0.01	31.78^{c}±0.11	0.1212^{e}±0.0006
	16	15.50^{d}±0.01	3.16^{l}±0.00	30.61^{d}±0.37	0.1335^{d} ±0.0006
	20	15.90^{bc}±0.14	3.14^{j}±0.01	28.99^{e}±0.08	0.1718^{c}±0.0036
	24	15.80^{c}±0.01	3.10^{k}±0.01	26.24^{f} ±0.34	0.1811^{b}±0.0057

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3.1.3, 4.3.1.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีและ non-enzymatic browning ในระหว่างการเก็บที่ภาวะมีและไม่มีแสง และรูปที่ 4.3.2.3, 4.3.2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีและ non-enzymatic browning ในระหว่างการเก็บในที่แสงที่มีและไม่มีการเติมวิตามินซี จะพบว่า เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะคล้ายกัน นั่นคือ ในช่วงแรก(0-16 สัปดาห์) การเปลี่ยนแปลงจะขึ้นกับเวลาในการเก็บรักษา แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 16 การเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น โดยเฉพาะรูปที่ 4.3.2.3 และ4.3.2.4 จะเห็นว่าช่วงแรกวิตามินซีไม่มีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของ non-enzymatic browning ในระหว่างการเก็บ แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 16 พบว่า non-enzymatic browning เกิดขึ้นแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากวิธีการวัด non-enzymatic browning ที่ใช้ในการทดลอง เป็นวิธีการวัดกลุ่มสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น ซึ่งจะดูดกลืนแสงได้ในช่วงคลื่น 420 nm ไม่สามารถระบุได้ว่าสารที่เกิดขึ้นคือสารชนิดใดจึงทำให้ไม่สามารถทราบได้แน่ชัดว่ากลไกใดที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสารสีน้ำตาลนี้ได้

Robretson และ Samaniego (1986) ทำการศึกษาการเกิด non-enzymatic browning ในน้ำมะนาวพาสเจอร์ไรซ์ แปรระดับออกซิเจนในระหว่างการเก็บรักษา โดยพิจารณาว่า non-enzymatic browning ที่เกิดขึ้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของวิตามินซี ดังสมการต่อไปนี้

ascorbic acid ----$^{\text{oxygen}}_{\text{heat}}$----> furfural + hydroxylmethyfurfural --------> browning

(intermediate substance) (Abs. 420 nm)

วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี , furfural , hydroxylmethyfurfural และ browning substance ที่เกิด พบว่าช่วง 6สัปดาห์แรกจะเกิดการสะสม furfural และ hydroxylmethyfurfural ในระบบ เมื่อวัด browning substance พบว่าปริมาณมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เรียกลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ว่า lag period ช่วงนี้สาร intermediate ของปฏิกิริยาซึ่งคือ furfural และ hydroxylmethyfurfural ยังมีปริมาณไม่มากพอที่จะเกิดเป็น browning substance ที่ตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ 420 nm ได้ ซึ่งช่วงระยะเวลาของ lag period จะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นที่ละลายอยู่ (dissolve oxygen) ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณวิตามินซีที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ และปริมาณออกซิเจนที่มากเกินพอก็ไม่มีผลด้วยเช่นกัน นั่นคือ ในผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นที่ละลายอยู่ในปริมาณที่สมดุลย์ระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นเมื่อทำการทดลองแปรปริมาณออกซิเจนจึงพบว่า lag period จะอยู่ในช่วง 5-6 สัปดาห์แรกของการเก็บเช่นเดียวกันที่ทุกระดับปริมาณออกซิเจนที่ละลาย แต่หลังจากช่วง lag period ไปแล้ว พบว่าปริมาณออกซิเจนที่มากกว่าจะทำให้เกิด browning substance ขึ้นได้มากกว่า เมื่อพิจารณาผลการทดลองของ Robretson และ Samaniego ข้างต้น และจากผลการทดลองรูปที่ 4.3.1.3, 4.3.1.4 และรูปที่ 4.3.2.3, 4.3.2.4 พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกัน การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการมี lag period

เกิดในระหว่างการเก็บรักษาได้เช่นเดียวกัน คือช่วงแรก non-enzymatic browning เกิดเพียงเล็กน้อยและใกล้เคียงกันทุกสภาวะ นั่นคือแสงไม่มีผลต่อ lag period ที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจากปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นที่ละลายอยู่เท่ากันและวิตามินซีเริ่มต้นก็ไม่มีผลต่อ lag period ด้วย ดังนั้นจึงมีผลให้เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงของช่วงแรกไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากผ่านช่วง lag period แล้ว แสงจะมีผลทำให้เกิด browning substance ได้เพิ่มมากขึ้น

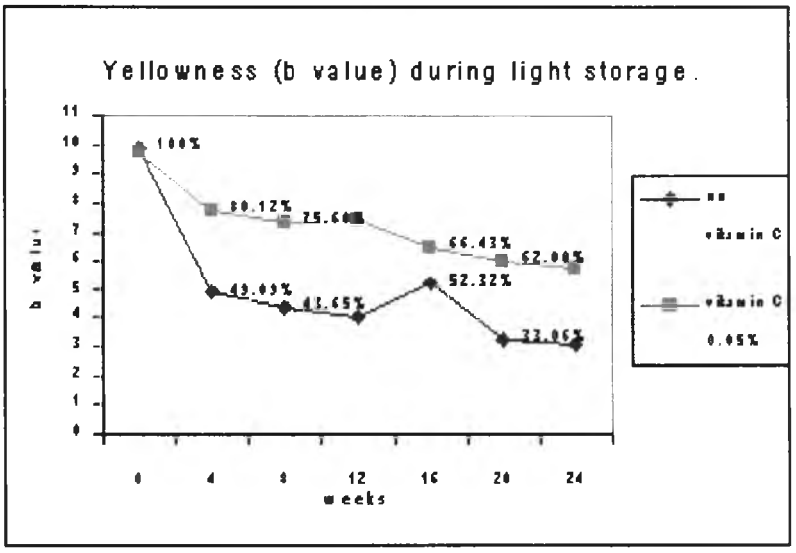
ตารางที่ 4.3.2.3 : การเปลี่ยนแปลงสี(L,a,b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์

vitamin C	time (weeks)	L^{ns}	a^{ns}	b
no vitamin C	0	36.10±0.26	-3.91±0.22	+9.92^{a}±0.18
added	4	33.18±0.12	-2.44±0.05	+4.87^{ef}±0.14
	8	33.46±0.06	-2.20±0.14	+4.34^{fg}±0.05
	12	32.56±0.16	-2.27±0.21	+4.07^{fg}±0.02
	16	31.89±1.15	-2.43±0.26	+5.20^{def}±2.19
	20	32.37±0.37	-1.99±0.10	+3.29^{g}±0.15
	24	32.42±0.27	-1.46±0.10	+3.11^{g}±0.04
0.05%	0	36.41±0.67	-3.78^{a}±0.11	+9.71^{a}±0.25
vitamin C added	4	35.51±0.52	-2.72^{b}±0.01	+7.78^{b}±0.23
	8	34.60±0.08	-2.28^{cd}±0.20	+7.34^{bc}±0.20
	12	35.34±1.27	-2.15^{cd}±0.38	+7.44^{bc}±0.38
	16	32.30±0.09	-1.98^{de}±0.07	+6.45^{bcd}±0.29
	20	33.55±0.18	-1.71^{ef}±0.20	+6.03^{cde}±0.09
	24	33.36±0.56	-1.69^{ef}±0.11	+5.79^{de}±0.06

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ความสว่าง(L) และค่าสีแดง(a)ของน้ำมะม่วงระหว่างการเก็บ พบว่าเมื่อเก็บนานขึ้นความสว่างลดลงและสีแดงเพิ่มมากขึ้น แต่ผลจากการเติมวิตามินซี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4.3.2.3 นั่นคือ วิตามินซีไม่มีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของความสว่างและค่าสีแดง ซึ่งอาจจะเกิดจากการมีปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดในระหว่างการเก็บนั่นเอง จากการสังเกต พบว่า น้ำมะม่วงที่เก็บนานขึ้นสีจะคล้ำลงเรื่อยๆ จากรูปที่ 4.3.2.5 แสดงการ

เปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b) พบว่า ค่าสีเหลืองจะลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ น้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซีเก็บในที่มีแสง อุณหภูมิห้อง 24 สัปดาห์ จะมีค่าสีเหลืองคงเหลือ 33.06% แต่สำหรับน้ำมะม่วงที่เติมวิตามินซี 0.05% พบว่า ค่าสีเหลืองจะคงเหลือมากถึง 62% ดังนั้นการเติมวิตามินซีจึงช่วยลดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.3.2.5 : การเปลี่ยนแปลงสีเหลือง(b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาในที่มีแสง 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ %b value retention

4.3.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมะม่วงสามปีระหว่างการเก็บรักษา

จากการผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลอิทธิพลร่วมต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีน ค่าความสว่าง(L), ค่าสีแดง(a), ค่าสีเหลือง(b), TSS, pH , vitamin C และ non-enzymatic browning, ในระหว่างการเก็บรักษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ข.25, ข.26 และ ข.27 ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจึงพิจารณาจากอิทธิพลร่วมของทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.3.3.1, 4.3.3.2 และ 4.3.3.3

จากตารางที่ 4.3.3.1 และรูปที่ 4.3.3.1 แสดงการลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด พบว่า เมื่อเก็บนานขึ้นปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจะลดลง การเก็บที่อุณหภูมิ 4°C และ 27°C ลักษณะการลดลงไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับการเก็บที่อุณหภูมิ 45°C มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับค่าสีเหลือง นั่นคือที่อุณหภูมิ 45°C ความร้อนมีผลทำให้แคโรทีนอยด์เกิดการ

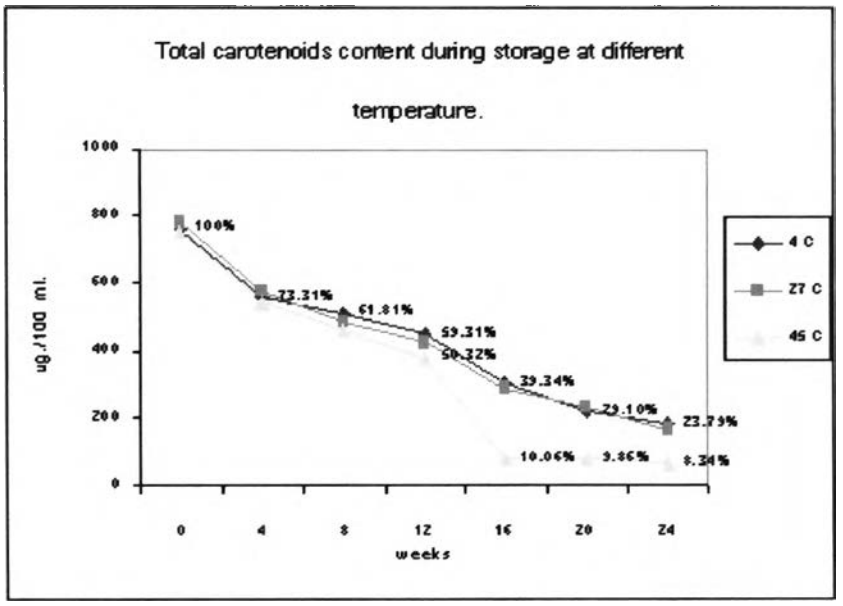
degradation ได้มากกว่าที่อุณหภูมิอื่น ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลง มีผลทำให้ค่าสีเหลืองของน้ำมะม่วงลดลงด้วย

ตารางที่ 4.3.3.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

temperature (°C)	time (weeks)	total carotenoids (ug/100ml)	beta carotene (ug/100ml)
4°C	0	$759.71^{a} \pm 17.85$	$424.01^{b} \pm 11.35$
	4	$560.76^{bc} \pm 36.17$	$397.34^{c} \pm 5.57$
	8	$511.39^{d} \pm 18.61$	$369.49^{d} \pm 3.87$
	12	$450.56^{fg} \pm 1.41$	$344.76^{ef} \pm 4.35$
	16	$298.89^{i} \pm 5.19$	$264.73^{h} \pm 15.20$
	20	$221.06^{j} \pm 9.58$	$122.50^{l} \pm 7.14$
	24	$180.78^{k} \pm 11.55$	$106.23^{j} \pm 5.34$
room temp. (27-30°C)	0	$784.09^{a} \pm 1.32$	$461.90^{a} \pm 1.03$
	4	$574.78^{b} \pm 9.95$	$423.97^{b} \pm 6.06$
	8	$484.64^{de} \pm 6.74$	$381.31^{d} \pm 4.35$
	12	$424.23^{g} \pm 2.35$	$333.36^{f} \pm 3.01$
	16	$290.66^{i} \pm 7.82$	$223.16^{i} \pm 16.44$
	20	$233.63^{j} \pm 5.44$	$122.55^{j} \pm 2.76$
	24	$165.12^{k} \pm 21.87$	$88.20^{k} \pm 12.52$
45°C	0	$757.16^{a} \pm 11.84$	$471.39^{a} \pm 2.56$
	4	$544.37^{c} \pm 19.25$	$406.06^{c} \pm 5.71$
	8	$459.56^{ef} \pm 6.01$	$353.74^{e} \pm 5.03$
	12	$381.02^{h} \pm 2.07$	$302.99^{g} \pm 10.69$
	16	$76.14^{l} \pm 17.73$	$56.40^{l} \pm 3.37$
	20	$74.14^{l} \pm 6.64$	> 40.00
	24	$63.11^{l} \pm 6.02$	> 40.00

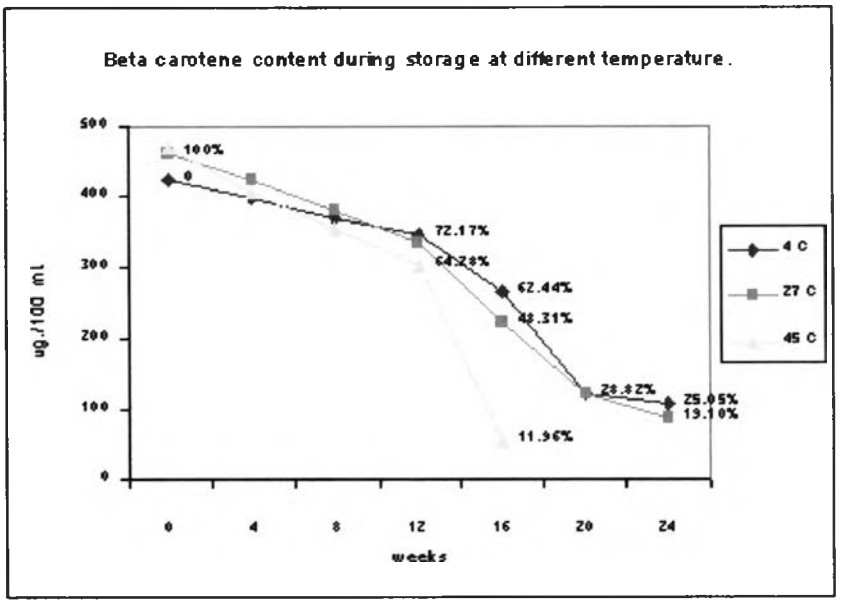
หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ(P=0.05)



<u>รูปที่ 4.3.3.1</u> : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์ (%) ที่แสดงในรูป คือ % total carotenoids retention

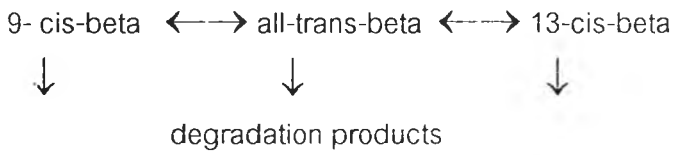


<u>รูปที่ 4.3.3.2</u> :การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์ (%) ที่แสดงในรูป คือ % beta carotene retention

จากรูปที่ 4.3.3.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณบีตาแคโรทีน ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด คือ ที่อุณหภูมิ 4°C และ 27°C การลดลงไม่แตกต่างกัน และพิจารณาเส้นกราฟการลดลงจะพบว่าในช่วงแรก 0-12 สัปดาห์ การลดลงเกิดอย่าง

ช้าๆ แต่หลังนั้นการลดลงของบีตาแคโรทีนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิการเก็บ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีน มีลักษณะดังนี้



บีตาแคโรทีนเมื่อมีพลังงานกระตุ้นจากแสง ความร้อน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยเกิด isomerization (การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง) จะเปลี่ยนรูปจาก all-trans-beta carotene (ในธรรมชาติ มีความเสถียร) ไปเป็น cis-beta carotene ชนิดที่พบมากคือ 9-cis-beta carotene และ 13-cis-beta carotene ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เสถียรเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ง่าย ในสภาวะที่พลังงานกระตุ้นไม่มากนัก cis-beta ที่เกิดอาจเปลี่ยนกลับเป็น all-trans-beta ได้ แต่เมื่อมีพลังงานมากระตุ้นสะสมมากขึ้น cis-beta และ all-trans-beta จะเกิด degradation (การสลายตัว)ขึ้นได้ จากผลการทดลองพบว่าช่วงแรก(0-12 สัปดาห์) บีตาแคโรทีนลดลงอย่างช้าๆ อาจเนื่องจากความร้อนและปัจจัยอื่นๆระหว่างเก็บ มีผลทำให้เกิด isomerization (all-trans⟷ cis-beta) มากกว่าการเกิด degradation แต่ช่วงหลังจากสัปดาห์ที่ 12 ปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงอย่างรวดเร็ว ก็อาจเนื่องมาจากช่วงนี้เกิด degradation ได้มากกว่าการเกิด isomerization เนื่องจากมีพลังงานสะสมกระตุ้นมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวได้ (Goodwin,1984 ; Pesek และ Warthesen, 1990)

ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้น พบว่าการเก็บรักษาน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด ที่อุณหภูมิ 4°C (ตู้เย็น) เป็นอุณหภูมิการเก็บที่ดีกว่าอุณหภูมิ 27°C และ 45°C เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสี(L,a,b) ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีน เกิดขึ้นน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่น

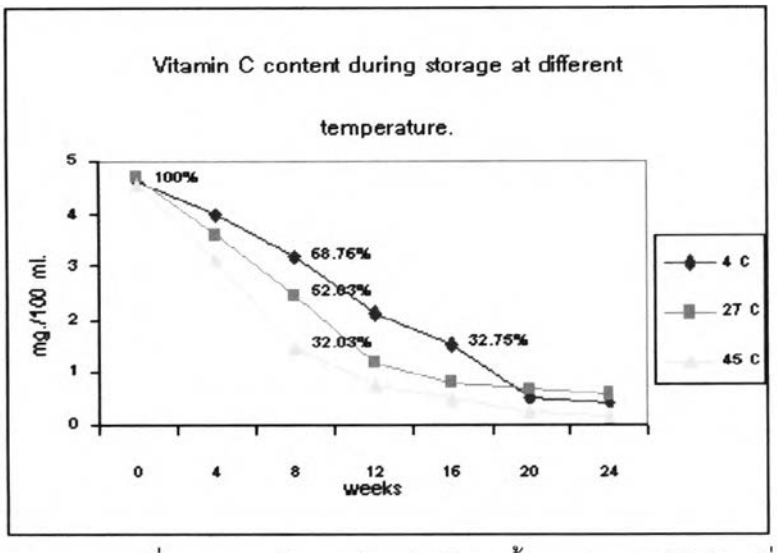
จากตารางที่ 4.3.3.2 และ รูปที่ 4.3.3.3 แสดงการลดลงของปริมาณวิตามินซีระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 45°C วิตามินซีลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิอื่น จากรูปที่ 4.3.3.4 แสดงลักษณะการเกิด non enzymatic browning พบว่าที่อุณหภูมิ 45°C non enzymatic browning เกิดได้มากกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิ 45°C มีผลเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายต่างๆ ให้เกิดขึ้นได้ดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C และ 27°C

ตารางที่ 4.3.3.2 : การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวด ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

temperature (°C)	time (weeks)	TSS (°brix)	pH	vitamin C (mg/100ml)	non-enzymatic browning
4°C	0	15.50^{cd}±0.00	3.51^{a}± 0.01	4.61^{a}±0.06	0.0930^{lm}±0.0015
	4	15.35^{d}±0.21	3.47^{b} ±0.01	3.98^{b}±0.17	0.0965^{lm}±0.0032
	8	15.50^{cd}±0.00	3.41^{d} ±0.01	3.17^{d}±0.13	0.1013^{l}±0.0008
	12	15.50^{cd}±0.00	3.36^{f}± 0.01	2.10^{f}±0.03	0.1099^{k}±0.0021
	16	15.55^{cd}±0.07	3.27^{h}± 0.01	1.51^{g}±0.17	0.1303^{ij} ±0.0016
	20	15.55^{cd}±0.07	3.21^{j} ±0.01	0.52^{jk}±0.01	0.1371^{l}±0.0043
	24	15.6^{bcd}±0.21	3.16^{k} ±0.01	0.42^{kl}±0.06	0.1590^{h}±0.0025
room temp. (27-30°C)	0	15.50^{cd}±0.00	3.50^{a} ±0.01	4.69^{a}±0.08	0.0885^{m}±0.0032
	4	15.35^{d}±0.21	3.45^{c} ±0.01	3.61^{c}±0.28	0.1150^{k}±0.0053
	8	15.35^{d}±0.21	3.38^{e} ±0.01	2.44^{e}±0.14	0.1266^{j}±0.0029
	12	15.90^{ab}±0.14	3.29^{g} ±0.01	1.19^{h}±0.24	0.1384^{l}±0.0039
	16	15.55^{cd}±0.07	3.26^{i} ±0.01	0.80^{l}±0.08	0.1579^{h}±0.0033
	20	15.80^{abc}±0.28	3.16^{k}± 0.01	0.68^{ijk}±0.04	0.1684^{g}±0.0028
	24	15.65^{bcd}±0.21	3.08^{m} 0.01	0.63^{ijk}±0.06	0.1988^{e}±0.0101
45°C	0	15.50^{cd}±0.00	3.48^{b} ±0.01	4.59^{a}±0.06	0.0938^{lm}±0.0022
	4	15.90^{ab}±0.14	3.39^{e} ±0.01	3.12^{d}±0.08	0.1276^{j}±0.0035
	8	15.90^{ab}±0.14	3.30^{g} ±0.01	1.47^{g}±0.16	0.1798^{f}±0.0032
	12	16.10^{a}±0.14	3.22^{ij} ±0.01	0.76^{ij}±0.02	0.2634^{d}±0.0071
	16	15.70^{bcd}±0.14	3.13^{l}±0.01	0.50^{jk}±0.01	0.2898^{c}±0.0018
	20	15.50^{cd}±0.00	3.08^{m} ±0.01	0.24^{l}±0.06	0.3195^{b}±0.0036
	24	15.90^{ab}±0.14	2.92^{n} ±0.01	0.16^{l}±0.03	0.3462^{a}±0.0063

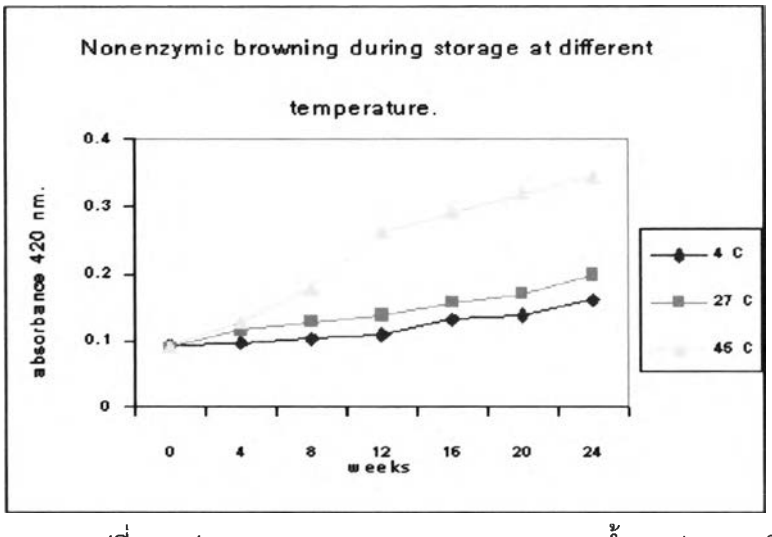
หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.3.3.3 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่ม บรรจุขวด ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์ (%) ที่แสดงในรูปคือ % vitamin C retention



รูปที่ 4.3.3.4 : การเปลี่ยนแปลง non enzymatic browning ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่ม บรรจุขวด ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

จากการวิเคราะห์ ค่าสี(L,a,b) ของน้ำมะม่วงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าอุณหภูมิในการเก็บน้ำมะม่วงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) และการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ค่าความสว่างจะลดลงและค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 27°C และ 45°C ตามลำดับ สำหรับค่าสีเหลือง พบว่า เมื่อเก็บนานขึ้นค่าสีเหลืองจะลดลง การเก็บที่อุณหภูมิ 4°C และ 27°C ลักษณะการลดลงไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับการเก็บที่อุณหภูมิ 45°C อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) การเก็บที่

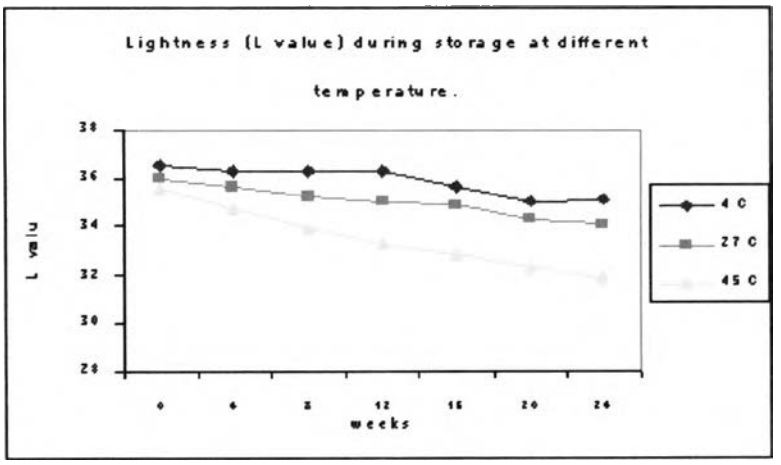
อุณหภูมิ 45°C มีผลทำให้สีของน้ำมะม่วงเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แสดงผลดังตารางที่ 4.3.3.3 และรูปที่ 4.3.3.5, 4.3.3.6 และ 4.3.3.7

ตารางที่ 4.3.3.3 : การเปลี่ยนแปลงสี(L,a,b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

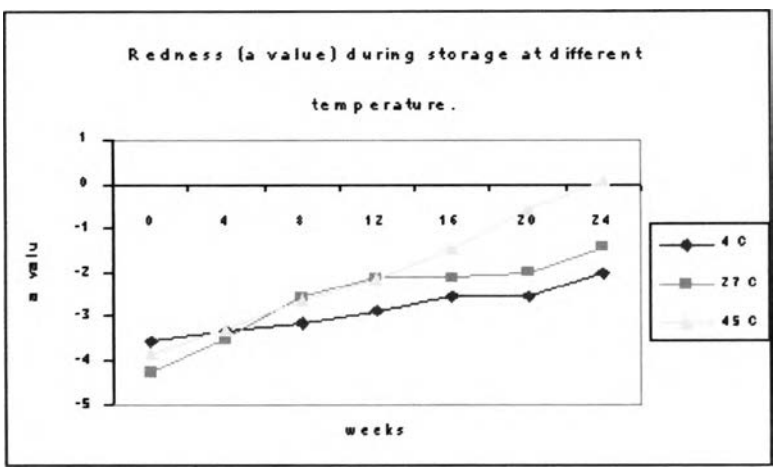
temperature(°C)	time (weeks)	L	a	b
4°C	0	$36.50^{a}\pm0.48$	$-3.56^{abc}\pm0.04$	$+10.28^{a}\pm0.49$
	4	$36.28^{ab}\pm0.11$	$-3.32^{abc}\pm0.04$	$+8.60^{b}\pm0.30$
	8	$36.29^{ab}\pm0.09$	$-3.13^{abc}\pm0.07$	$+7.70^{c}\pm0.09$
	12	$36.33^{a}\pm0.11$	$-2.85^{abcd}\pm0.18$	$+6.98^{de}\pm0.17$
	16	$35.65^{bc}\pm0.28$	$-2.55^{abcd}\pm0.14$	$+6.48^{ef}\pm0.29$
	20	$35.04^{cd}\pm0.08$	$-2.53^{abcd}\pm0.37$	$+5.93^{fg}\pm0.18$
	24	$35.11^{cd}\pm0.08$	$-2.04^{abcd}\pm0.19$	$+4.91^{hi}\pm0.42$
room temp. (27-30°C)	0	$36.03^{ab}\pm0.30$	$-4.24^{a}\pm0.18$	$+10.12^{a}\pm0.01$
	4	$35.63^{bc}\pm0.32$	$-3.49^{abc}\pm0.30$	$+8.60^{b}\pm0.41$
	8	$35.25^{cd}\pm0.09$	$-2.55^{abcd}\pm0.25$	$+7.46^{cd}\pm0.28$
	12	$35.03^{cd}\pm0.55$	$-2.10^{abcd}\pm0.09$	$+6.56^{ef}\pm0.08$
	16	$34.93^{de}\pm0.15$	$-2.09^{abcd}\pm0.04$	$+6.03^{fg}\pm0.13$
	20	$34.31^{ef}\pm0.52$	$-1.97^{abcd}\pm0.27$	$+5.45^{gh}\pm0.35$
	24	$34.07^{f}\pm0.35$	$-1.42^{cde}\pm0.21$	$+4.72^{ij}\pm0.41$
45°C	0	$35.65^{bc}\pm0.25$	$-3.84^{ab}\pm0.25$	$+10.17^{a}\pm0.23$
	4	$34.76^{de}\pm0.22$	$-3.28^{abc}\pm0.04$	$+7.73^{c}\pm0.31$
	8	$33.98^{f}\pm0.11$	$-2.61^{abcd}\pm0.23$	$+6.20^{f}\pm0.35$
	12	$33.27^{g}\pm0.19$	$-2.14^{abcd}\pm0.05$	$+4.20^{j}\pm0.18$
	16	$32.88^{g}\pm0.29$	$-1.46^{cde}\pm0.29$	$+3.58^{k}\pm0.12$
	20	$32.24^{h}\pm0.18$	$-0.57^{de}\pm0.24$	$+3.53^{k}\pm0.34$
	24	$31.92^{h}\pm0.38$	$0.09^{e}\pm0.20$	$+2.67^{l}\pm0.14$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

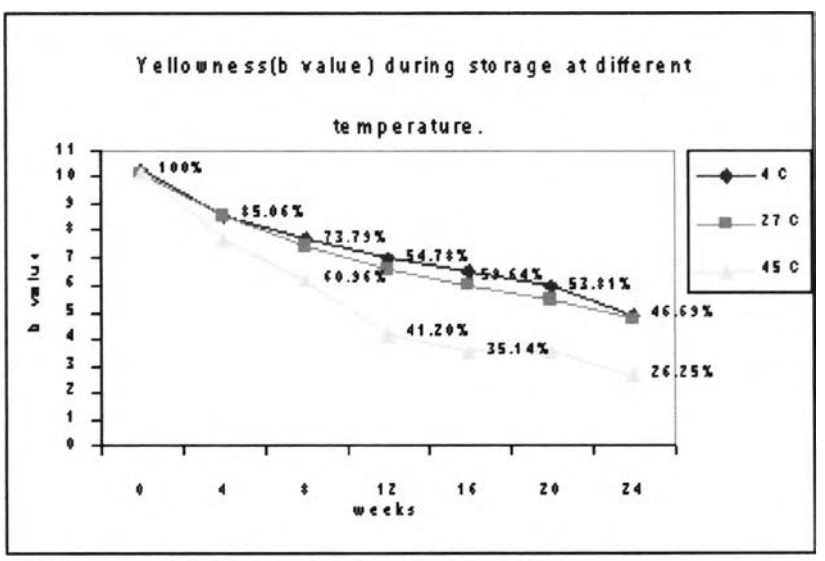
ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P\leq0.05$)



รูปที่ 4.3.3.5 : การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(L) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์



รูปที่ 4.3.3.6 : การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง(a) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์



รูปที่ 4.3.3.7 : การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง(b)ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ % b value retention

จากการสังเกต พบว่า น้ำมะม่วงที่เก็บ 4°C นาน 24 สัปดาห์ สีของน้ำมะม่วงจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย จากสีเหลืองส้มไปเป็นสีเหลืองอ่อน สำหรับน้ำมะม่วงที่เก็บ 27°C หรืออุณหภูมิห้องนาน 24 สัปดาห์ พบว่า น้ำมะม่วงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าที่ 4°C คือสีเหลืองจะอ่อนลงและมีความคล้ำมากขึ้น และน้ำมะม่วงที่เก็บที่ 45°C นาน 24 สัปดาห์ พบว่า น้ำมะม่วงจะเปลี่ยนจากสีเหลืองส้มเริ่มต้นไปเป็นสีแดงอ่อนและมีความคล้ำมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงเกิดมากกว่าการเก็บที่ 4°C และ 27°C อย่างชัดเจน

4.3.4 ศึกษาผลของการเติมวิตามินซี ต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมะม่วงสามปีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

จากผลการทดลองข้อ 4.2.2 และ 4.3.2 พบว่า การเติมวิตามินซีในน้ำมะม่วงมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสงได้ เนื่องจาก จะช่วยลดการเกิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเสื่อมสลายต่างๆ และจากผลการทดลองข้อ 4.3.3 จะพบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษานับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งมีผลทำให้สีและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะม่วงเปลี่ยนแปลงไป และการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4°C จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ดี ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาต่อไปว่า การเติมวิตามินซีในน้ำมะม่วงจะมีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 4°C ได้อีกหรือไม่และอย่างไร เพื่อให้ได้สภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติภาคผนวกตารางที่ ข.28, ข.29 และ ข.30 พบว่า การเติมวิตามินซีและระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีน ค่าความสว่าง(L), ค่าสีเหลือง(b), pH, vitamin C และ non-enzymatic browning ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจึงพิจารณาจากอิทธิพลร่วมของทั้งการเติมวิตามินซีและระยะเวลาในการเก็บรักษา ดังแสดงผลในตารางที่ 4.3.4.1, 4.3.4.2 และ 4.3.4.3

จากการผลการทดลอง พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนลดลงระหว่างการเก็บ วิตามินซีช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีนในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) อาจเนื่องจากวิตามินซีช่วยลดการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์และบีตาแคโรทีนได้ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แสดงผลดังตารางที่ 4.3.4.1 จากรูปที่ 4.3.4.2 แสดงการลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีน ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C พบว่า การเติมวิตามินซีในน้ำมะม่วงจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีนในระหว่างการเก็บได้ดี

ตารางที่ 4.3.4.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์

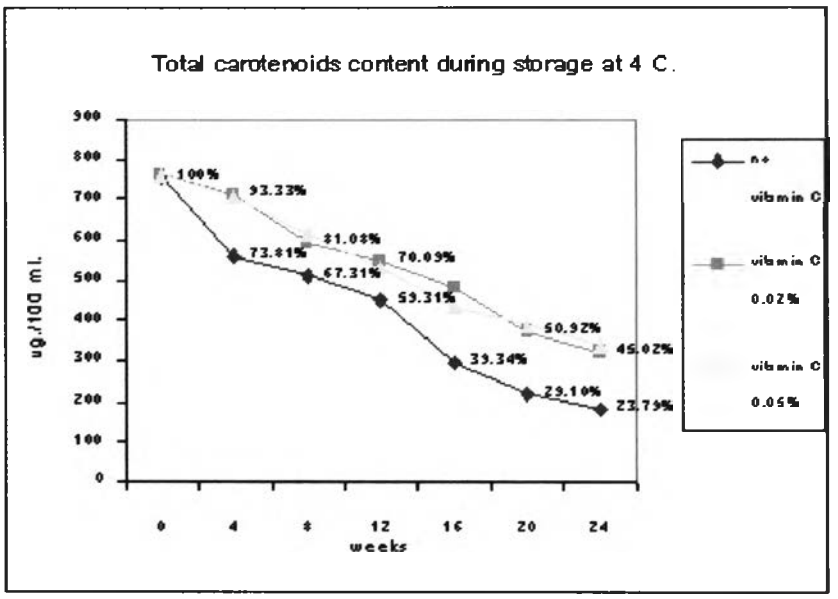
vitamin C	time (weeks)	total carotenoids (ug/100ml)	beta carotene (ug/100 ml)
no added vitamin C	0	$759.71^{a}\pm17.85$	$424.01^{e}\pm11.35$
	4	$560.73^{d}\pm36.17$	$397.34^{f}\pm5.57$
	8	$511.39^{fg}\pm18.61$	$369.49^{g}\pm3.87$
	12	$450.56^{g}\pm1.41$	$344.76^{h}\pm4.35$
	16	$198.89^{j}\pm5.19$	$264.73^{i}\pm15.20$
	20	$221.06^{k}\pm9.58$	$122.50^{k}\pm7.14$
	24	$180.78^{l}\pm11.55$	$106.23^{k}\pm5.34$
0.02% vitamin C added	0	$764.61^{a}\pm7.32$	$465.32^{abc}\pm2.38$
	4	$711.71^{b}\pm19.42$	$460.27^{abc}\pm1.93$
	8	$594.84^{c}\pm16.85$	$444.28^{cd}\pm8.17$
	12	$550.09^{d}\pm9.35$	$435.88^{de}\pm12.66$
	16	$484.37^{f}\pm5.64$	$347.07^{h}\pm7.66$
	20	$375.71^{h}\pm4.00$	$281.50^{l}\pm9.83$
	24	$322.57^{ij}\pm23.78$	$229.51^{j}\pm11.83$
0.05% vitamin C added	0	$760.23^{a}\pm17.08$	$477.63^{a}\pm2.58$
	4	$709.51^{b}\pm17.83$	$469.17^{ab}\pm3.27$
	8	$616.43^{c}\pm11.18$	$452.45^{bcd}\pm2.40$
	12	$532.81^{de}\pm17.88$	$449.53^{bcd}\pm13.36$
	16	$432.97^{g}\pm4.38$	$332.08^{h}\pm13.57$
	20	$387.09^{h}\pm0.19$	$281.28^{i}\pm16.02$
	24	$342.24^{i}\pm10.93$	$235.40^{j}\pm9.57$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P\leq0.05$)

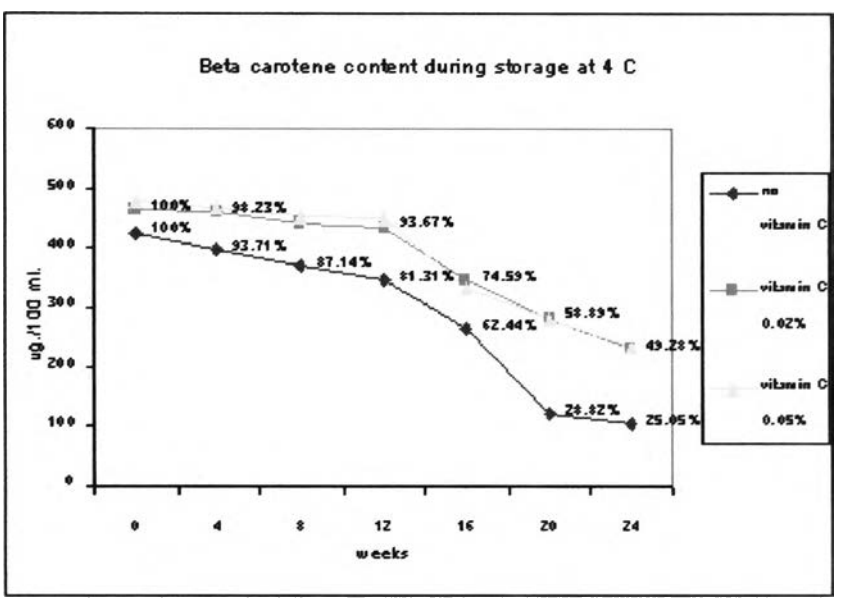
ลักษณะเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น มีลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีนในน้ำมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ (ผลการทดลองข้อ 4.3.3) ซึ่งอธิบายได้ว่าช่วง

แรกของการเก็บแคโรทีนอยด์จะเกิด isomerization ได้ดีกว่า degradation ดังนั้นการลดลงของแคโรทีนอยด์จะเกิดได้อย่างช้าๆ แต่ช่วงหลังเกิดการลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากแคโรทีนอยด์เกิด degradation ได้ดีกว่านั่นเอง การเติมวิตามินซี 0.02%และ 0.05% มีผลต่อการลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและบีตาแคโรทีน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)



รูปที่ 4.3.4.1 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์

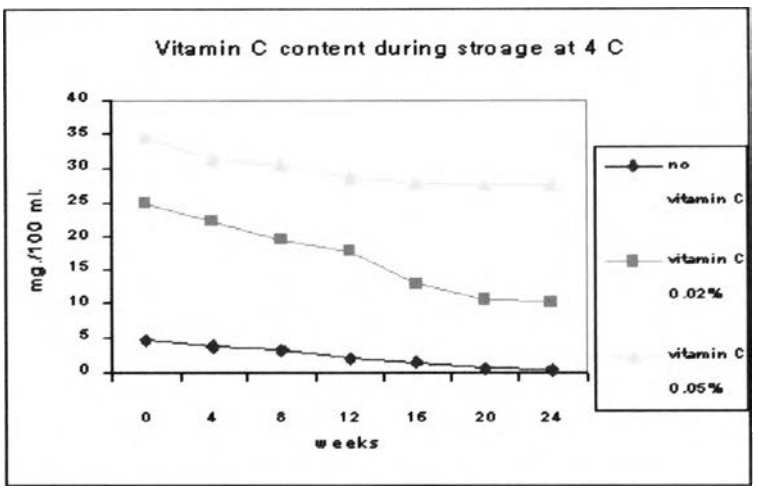
หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ % total carotenoids retention



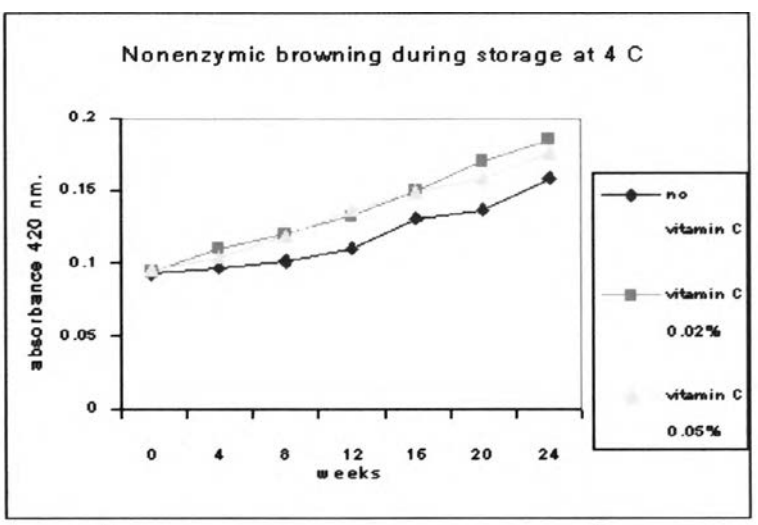
รูปที่ 4.3.4.2 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ % beta carotene retention

จากการวิเคราะห์ การลดลงของวิตามินซีระหว่างการเก็บ พบว่าปริมาณวิตามินซีลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น และ non-enzymatic browning เกิดมากขึ้นด้วย น้ำมะม่วงที่มีการเติมวิตามินซีจะเกิด non-enzymatic browning มากกว่าน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซี ดังนั้นจะเห็นว่าการเติมวิตามินซีไม่มีผลช่วยลด non-enzymatic browning ที่เกิดขึ้น และอาจจะพิจารณาได้ว่า non-enzymatic browning ที่เกิดในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากปฏิกิริยา ascorbic acid oxidation นั่นเอง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3.4.2 รูปที่ 4.3.2.3 และ 4.3.2.4



รูปที่ 4.3.4.3 : การเปลี่ยนแปลงวิตามินซีของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์



รูปที่ 4.3.4.4 :การเปลี่ยนแปลง non enzymatic browning ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์

ตารางที่ 4.3.4.2 : การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์

vitamin C	time (weeks)	TSS^{ns} (°brix)	pH	vitamin C (mg/100ml)	non-enzymatic browning
No vitamin C added	0	15.50±0.07	3.51^{a}± 0.01	4.61^{l}±0.06	0.0930^{ij}±0.0015
	4	15.35±0.21	3.47^{b}± 0.01	3.98^{lm}±0.17	0.0965^{ij}±0.0032
	8	15.50±0.07	3.41^{c} ±0.01	3.17^{m}±0.13	0.1013^{hi}±0.0008
	12	15.50±0.07	3.36^{d} ±0.01	2.10^{n}±0.03	0.1099^{g}±0.0021
	16	15.55±0.07	3.27^{e}± 0.01	1.51^{n}±0.17	0.1303^{e}±0.0016
	20	15.55±0.07	3.21^{ghij}±0.01	0.52^{o}±0.01	0.1371^{e}±0.0043
	24	15.65±0.21	3.16^{k}± 0.01	0.42^{o}±0.06	0.1590^{c}±0.0025
0.02% vitamin C added	0	15.55±0.07	3.19^{ij} ±0.01	25.03^{f}±0.11	0.0935^{j}±0.0017
	4	15.35±0.21	3.20^{hij} ±0.00	22.25^{g}±0.66	0.1103^{g}±0.0013
	8	15.35±0.21	3.22^{fgh}± 0.01	19.66^{h}±0.48	0.1202^{f}±0.0028
	12	15.65±0.21	3.22^{fgh} ±0.01	17.76^{i}±0.74	0.1320^{e}±0.0035
	16	15.70±0.14	3.21^{fghi}±0.01	13.13^{j}±0.24	0.1501^{d}±0.0022
	20	15.35±0.21	3.25^{e} ±0.01	10.53^{k}±0.19	0.1701^{b}±0.0033
	24	15.65±0.21	3.21^{fghi}±0.00	10.47^{k}±1.01	0.1857^{a}±0.0035
0.05% vitamin C added	0	15.35±0.21	3.23^{fg} ±0.01	34.56^{a} ±0.13	0.0959^{ij}±0.0045
	4	15.35±0.21	3.23^{f} ±0.01	31.47^{b}± 0.49	0.1041^{gh}±0.0037
	8	15.35±0.21	3.22^{fgh}± 0.01	30.42^{c} ±0.37	0.1185^{f}± 0.0027
	12	15.55±0.07	3.21^{fgh} ±0.01	28.73^{d} ±0.81	0.1367^{e} ±0.0052
	16	15.50±0.07	3.23^{fg} ±0.01	27.85^{de}± 0.27	0.1502^{d}± 0.0014
	20	15.75±0.35	3.21^{ghij}±0.01	27.45^{e}± 0.24	0.1583^{c} ±0.0027
	24	15.55±0.07	3.19^{j}± 0.01	24.61^{e}± 0.50	0.1764^{b}± 0.0057

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3.4.3 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณสี (L,a,b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์

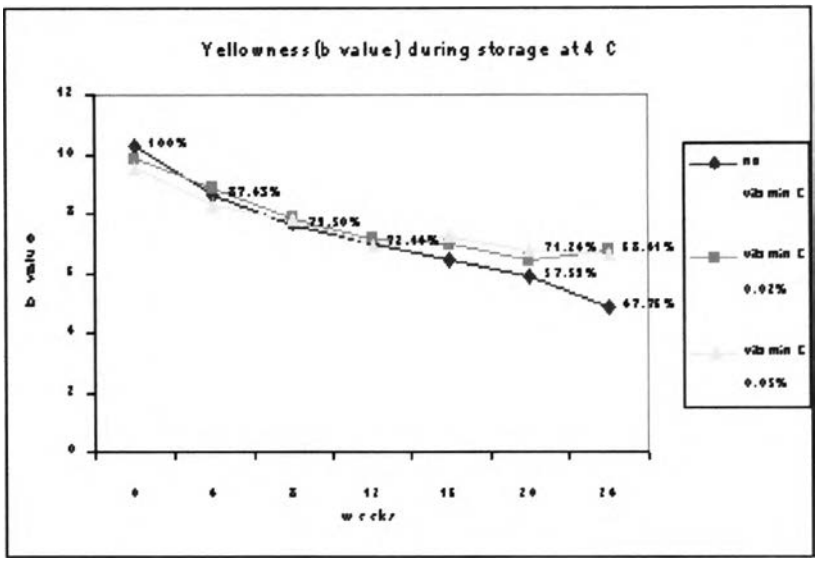
vitamin C	time (weeks)	L	a ^{ns}	b
no vitamin C added	0	36.50^{a} ±0.48	-3.56±0.04	$+10.28^{a}$± 0.49
	4	36.28^{ab} ±0.11	-3.32±0.04	$+8.60^{cd}$ ±0.30
	8	36.29^{ab} ±0.01	-3.13±0.07	$+7.70^{efg}$± 0.09
	12	36.33^{ab} ±0.11	-2.86±0.18	$+6.98^{ghi}$ ±0.17
	16	35.65^{cde} ±0.28	-2.55 ±0.14	$+6.48^{hij}$ ±0.29
	20	35.04^{g} ±0.08	-2.53± 0.37	$+5.93^{j}$± 0.18
	24	35.11^{fg}± 0.08	-2.04 ±0.19	$+4.91^{k}$± 0.42
0.02% vitamin C added	0	35.84^{bcd}±0.08	-3.64 ±0.54	$+9.93^{a}$ ±0.30
	4	35.94^{bcd}±0.11	-3.02±0.09	$+8.92^{bc}$ ±0.21
	8	35.62^{de} ±0.05	-2.96± 0.21	$+7.89^{def}$ ±0.20
	12	35.53^{def}±0.16	-2.39± 0.10	$+7.17^{fghi}$±0.43
	16	35.72^{cde}±0.23	-2.86 ±0.10	$+6.95^{ghi}$ ±0.18
	20	35.03^{g}± 0.33	-2.68 ±0.16	$+6.42^{ij}$ ±0.79
	24	35.12^{fg} ±0.27	-1.71 ±0.03	$+6.78^{hi}$± 0.05
0.05% vitamin C added	0	36.14^{abc} ±0.18	-3.96 ±0.15	$+9.55^{ab}$ ±0.46
	4	36.15^{abc}±0.12	-3.44 ±0.22	$+8.35^{cde}$ ±0.09
	8	36.34^{ab} ±0.13	-3.12±0.03	$+7.80^{ef}$ ±0.24
	12	36.33^{ab}± 0.11	-2.86 ±0.18	$+6.98^{ghi}$ ±0.17
	16	35.99^{bcd}±0.06	-2.63 ±0.02	$+7.26^{fgh}$ ±0.10
	20	36.01^{abcd}±0.44	-2.56 ±0.37	$+6.80^{hi}$ ±0.68
	24	35.34^{efg}±0.18	-1.86± 0.03	$+6.64^{hij}$ ±0.08

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน(แนวตั้ง)มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ ค่าความสว่างและค่าสีแดง ของน้ำมะม่วงที่มีการเติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C พบว่า เมื่อเก็บนานขึ้นค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) นั่นคือวิตามินไม่มีผลช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น แสดงผลดังตารางที่ 4.3.4.3 และจากรูปที่ 4.3.4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง พบว่าช่วง 12

สัปดาห์แรกของการเก็บ ค่าสีเหลืองลดลงช้าๆ และลักษณะการลดลงไม่แตกต่างกันที่ระดับวิตามินซีต่างๆ หลังจากนั้นเมื่อเก็บนานขึ้นสีเหลืองจะลดลงมากขึ้น และน้ำมะม่วงที่มีการเติมวิตามินซี 0.02% และ 0.05% ค่าสีเหลืองจะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าน้ำมะม่วงที่ไม่เติมวิตามินซี การเติมวิตามินซี 0.02%และ 0.05% ค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)



รูปที่ 4.3.4.5 : การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง(b) ของน้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดที่เติมวิตามินซีปริมาณต่างๆ ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 24 สัปดาห์

หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซนต์(%) ที่แสดงในรูป คือ % b value retention

ดังนั้นการเติมวิตามินซี 0.02% จึงเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่ม น้ำมะม่วงสามปีพร้อมดื่มบรรจุขวดเติมวิตามินซี 0.02% เก็บที่อุณหภูมิ 4°C นาน 24 สัปดาห์ จะมีค่าสีเหลืองคงเหลือ 68.41% ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดคงเหลือ 45.02% และบีตาแคโรทีนคงเหลืออยู่ 49.28%