บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะละกอสุกที่ใช้ในการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะละกอที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	มะละกอแดง	มะละกอเหลือง
แคโรทีนอยด์ (ppm)		
- ไลโคพีน (lycopene)	37.65 ± 0.64	< 1
- คริปโตแซนทีน (cryptoxanthin)	4.70 ± 0.25	18.29 ± 0.55
- เบต้าแคโรทีน (β-carotene)	8.24 ± 0.93	24.56 ± 0.69
ไนเตรต (ppm)	27.64 ± 1.22	35.10 ± 1.56
กรดแอสคอร์บิก (mg/100g)	76.50 ± 5.09	88.40 ± 3.11
ความเป็นกรด(%โดยน้ำหนักในรูปกรดซิตริก)	0.502 ± 0.003	0.568 ± 0.009
ความเป็นกรดด่าง (pH)	5.27 ± 0.11	5.08 ± 0.11
ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้(°Brix)	8.80 ± 0.14	8.00 ± 0.28

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะละกอ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปมะละกอกระป๋อง ดังตารางที่ 4.1 พบว่ามีรงควัตถุ carotenoids ในมะละกอ ดังนี้ มะละกอแดงจะมี lycopene 37.65 ppm อยู่ในปริมาณมากที่สุดรองลงมา ได้แก่ β-carotene 8.24 ppm และ cryptoxanthin 4.70 ppm ส่วนในมะละกอเหลืองจะมี β-carotene 24.56 ppm อยู่ในปริมาณมากที่สุดรองลงมา ได้แก่ cryptoxanthin 18.29 ppm และ lycopene < 1 ppm การที่มะละกอเหลืองมี lycopene น้อยมากทำให้เนื้อมะละกอเหลืองไม่มีสีชมพูหรือสีแดง แต่จากผลการวิเคราะห์ของ Jagtiani, Chan และSakai(1988) ดังตารางที่ 2.2 จะแสดงชนิดของ carotenoids ที่พบในมะละกอแดงและมะละกอเหลือง โดยคิดเป็นน้ำหนักร้อยละของ total carotenoids เมื่อพิจารณาเฉพาะรงควัตถุ lycopene, cryptoxanthin และ β-carotene พบว่ามะละกอแดงจะมีปริมาณ lycopene มากที่สุดรองลงมา ได้แก่ cryptoxanthin และ β-carotene ส่วนมะละกอเหลืองมีปริมาณ cryptoxanthin มากที่สุดรองลงมา ได้แก่ β-carotene และ lycopene เห็นได้ว่ามีความแตกต่างของปริมาณของชนิด carotenoids เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองนี้ โดยพบว่ามะละกอแดงและเหลืองจะมี β-carotene ในปริมาณที่มากกว่า cryptoxanthin ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างของพันธุ์มะละกอ การทดลองนี้ใช้มะละกอพันธุ์แขกดำแต่ในรายงานการวิเคราะห์ผลของ Jagtiani, Chan และSakai(1988) ไม่ได้มีการอ้างถึงพันธุ์ของมะละกอที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งโดยทั่วไปจะพบว่ามีพันธุ์มะละกออยู่หลายชนิดมาก เช่น แขกดำ สายน้ำผึ้ง และไซโล หรือมาจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ หรือแหล่งปลูก เป็นผลให้มะละกอมีความแปรปรวนของปริมาณของชนิดรงควัตถุ carotenoids

ไนเตรตที่พบในมะละกอแดงและมะละกอเหลือง มีค่าเท่ากับ 27.64 และ 35.10 ppm ตามลำดับ แหล่งที่มาของไนเตรต คือ ดิน น้ำ และปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูกทำให้เกิดการสะสมของไนเตรตในมะละกอ การที่มะละกอแดงและมะละกอเหลืองมีปริมาณไนเตรตแตกต่างกัน โดยพบว่าในมะละกอเหลืองจะมีไนเตรตมากกว่ามะละกอแดง ทั้งที่เป็นมะละกอที่มีพันธุ์ แหล่งปลูก ชนิด และการใช้ปุ๋ยที่เหมือนกัน แต่เนื่องจากความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับปริมาณไนเตรตหรือการสะสมของไนเตรตในมะละกอต่างกัน ทำให้มะละกอเหลืองมีไนเตรตมากกว่ามะละกอแดง

กรดแอสคอร์บิกที่พบในมะละกอแดงและมะละกอเหลืองมีค่าเท่ากับ 76.50 และ 88.40 mg/100g ตามลำดับ ผลที่ได้มีค่าสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอที่รายงานโดย Wilson, Fisher และ Fugua(1966) ; Jagtiani, Chan และSakai(1988) การที่กรดแอสคอร์บิกใน

มะละกอแดงและมะละกอเหลืองมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากวัตถุดิบหรือมะละกอที่นำมาใช้ในการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ความสุกไม่เท่ากันทุกผล ในทางอุตสาหกรรมการผลิตมะละกอกระป๋องได้กำหนดเปอร์เซนต์ความสุกของมะละกอ ที่เหมาะสมต่อการนำมาแปรรูปอยู่ในช่วงกว้าง คือ ความสุกที่ 65-85% จึงมีผลต่อความแตกต่างของกรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ในมะละกอ

ความเป็นกรด (%acidity) คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักที่คำนวณอยู่ในรูปกรดซิตริก มะละกอแดงมีค่าเท่ากับ 0.502% และมะละกอเหลือง 0.568% ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะมีค่าสูงกว่าผลการวิเคราะห์ที่รายงานโดย Jagtiani, Chan และSakai(1988)แต่ก็มีค่าสอดคล้องกับที่รายงานโดย Kulwal, Patwardham และ Sullachmath(1985) อย่างไรก็ตามผลที่ได้ก็มีความสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดด่าง(pH)ที่วิเคราะห์ได้ คือ ที่ค่า %acidityสูงกว่าจะส่งผลให้มีค่า pH ลดลง ค่า pH ในมะละกอแดงและมะละกอเหลืองมีค่าเท่ากับ 5.27 และ 5.08 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในมะละกอเหลืองมีค่า %acidity สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมะละกอแดง ทำให้ค่า pH ในมะละกอเหลืองต่ำกว่ามะละกอแดง นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซนต์ความสุกของมะละกอมีผลต่อ %acidity และ pH ด้วย ยิ่งมะละกอมีเปอร์เซนต์ความสุกมากขึ้น %acidity จะมีค่าลดลงและ pH มีค่าสูงขึ้น

ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้($^{\circ}$Brix) ในมะละกอแดงมีค่าเท่ากับ 8.8 $^{\circ}$Brix ส่วนในมะละกอเหลืองมีค่า 8.0°Brix ผลที่ได้มีค่าต่ำกว่าที่วิเคราะห์โดย Kulwal, Patwardham และ Sullachmath(1985) ความแตกต่างของปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ของชนิดมะละกอ เนื่องจากความแตกต่างของเปอร์เซนต์ความสุกของมะละกอ ถ้ายิ่งมะละกอมีความสุกมากขึ้นจะมีผลต่อปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น หรือทำให้ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้มีปริมาณมากขึ้น และในการเตรียมมะละกอกระป๋องที่ใช้ในการทดลองนี้ ต้องใช้มะละกอเป็นจำนวนมากทำให้มีความแปรปรวนของวัตถุดิบในด้านความสุกเกิดขึ้นได้

ศึกษาผลของความเข้มข้นน้ำเชื่อม ชนิดมะละกอ และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องต่อการละลายของดีบุกจากภาชนะบรรจุ

ศึกษาผลความเข้มข้นน้ำเชื่อมต่อการละลายของดีบุกในมะละกอกระป๋อง ปัจจัยสำคัญที่ใช้เป็นตัวแปรในการศึกษานี้ คือ ความเข้มข้นน้ำเชื่อม ชนิดมะละกอ และอายุการเก็บมะละกอกระป๋อง โดยเลือกใช้ความเข้มข้นน้ำเชื่อมให้มีความหวานในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 14-18 °Brix และ 18-22 °Brix สาเหตุที่ไม่ใช้ระดับความเข้มข้นน้ำเชื่อมให้มีการกระจายค่าครอบคลุมมากกว่านี้ เพราะว่าในทางปฏิบัติเชิงอุตสาหกรรม โดยทั่วไปแล้วจะมีการผลิตมะละกอกระป๋องให้มีความหวานของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 14-18 °Brix และ 18-22 °Brix ซึ่งเป็นความหวานที่อยู่ในช่วงที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ ข้อมูลดังกล่าวได้จากบริษัทสับปะรดไทยจำกัด(มหาชน) ซึ่งเป็นบริษัทที่ให้ความอนุเคราะห์การเตรียมตัวอย่างมะละกอกระป๋องเพื่อการศึกษาในงานวิจัยนี้ ดังนั้นเพื่อประโยชน์สูงสุดที่จะได้รับจากผลการทดลอง และเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานวิจัย จึงได้พิจารณาเลือกความเข้มข้นน้ำเชื่อมให้มีความหวานในผลิตภัณฑ์เป็น 14-18 °Brix และ 18-22 °Brix

จากการติดตามผลด้วยการวิเคราะห์ปริมาณดีบุก ในมะละกอกระป๋องทุกๆ 2 เดือน ดังแสดงค่าเฉลี่ยและอิทธิพลของปัจจัยร่วมต่อการละลายของดีบุก ที่วิเคราะห์ได้จากมะละกอกระป๋องที่มีความเข้มข้นของน้ำเชื่อม ชนิดมะละกอ และอายุการเก็บต่างกัน ดังตารางที่ ก.1 (ภาคผนวกก.) เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยการละลายของดีบุกในมะละกอกระป๋องมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ ก.2 พบว่าความเข้มข้นน้ำเชื่อม(A) ชนิดมะละกอ(B) และอายุการเก็บ(C) รวมทั้งปัจจัยร่วมระหว่าง AB, BC และ ABC มีผลต่อปริมาณการละลายของดีบุกอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95($p \leq 0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของดีบุกด้วย Duncan's new multiple range test ได้ผลดังตารางที่ ก.1 และ ก.3-ก.5 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดีบุกกับอายุการเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มะละกอแดงและมะละกอเหลือง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกที่ความหวาน 18-22 °Brix มีการละลายของดีบุกต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่มีความหวาน 14-18 °Brix ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ ลดาวัลย์ โชติมงคล และคณะ(2532) ที่พบว่าอัตราการสึกกร่อนของแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกจะลดลงเมื่อความหวานเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมสูงขึ้นมีผลต่อความหนืดของสารละลายน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้น เป็นผลให้การเคลื่อนไหวของอิออนต่างๆเคลื่อนที่ได้ช้าลง และส่งผลให้ปฏิกิริยาการกัดกร่อนเกิดได้ช้าลง

นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำตาลเมื่ออยู่ในสภาพที่มีความร้อน หรือกรดสามารถเกิดการไฮโดรไลส์ได้เป็นน้ำตาลอินเวอร์ต(D-glucose และ D-fructose) ซึ่งมีสมบัติเป็น chelating agent และมีความสามารถในการจับกับโลหะหนักโดยเฉพาะกับทองแดงได้ดี จึงมีผลทำให้ลดการกัดกร่อน

เมื่อพิจารณาผลของชนิดมะละกอต่อการละลายของดีบุก ในมะละกอที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก พบว่ามะละกอเหลืองมีการละลายของดีบุกมากกว่าในมะละกอแดง เนื่องจากความแตกต่างของสมบัติองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอเหลืองและมะละกอแดง ดังตารางที่ 4.1 โดยพบว่าในมะละกอเหลืองมีปริมาณไนเตรต กรดแอสคอร์บิก ร้อยละความเป็นกรด และค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่าในมะละกอแดง ส่วนปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ในมะละกอเหลืองมีค่าต่ำกว่าในมะละกอแดง นอกจากนี้ยังพบว่ามีความแตกต่างของชนิด และปริมาณแคโรทีนอยด์ที่พบในมะละกอเหลืองและมะละกอแดง จากสมบัติของไนเตรตที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอน และผลของปัจจัยที่มีผลต่อ nitrate-induced detinning(Chakravorty and Ghosh, 1981) ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนมีค่าสูงหรือที่ค่า pH < 6 ทำให้การละลายของดีบุกเนื่องจากไนเตรตมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณไนเตรตมีค่าสูงจะมีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุก ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Mahadeviah และคณะ(1975) ที่ได้ศึกษาการละลายของดีบุกในน้ำมะม่วงกระป๋องที่มีปริมาณไนเตรตแตกต่างกัน พบว่าน้ำมะม่วงที่มีความเข้มข้นไนเตรต 2 ppm ไม่พบความแตกต่างการกัดกร่อน แต่ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 ppm ทำให้เกิดการเร่งการละลายของดีบุกเมื่อเปรียบเทียบกับ control และจากการศึกษาของ Fu และ Tuan(1983) โดยการเติมไนเตรตในปริมาณ 5-10 และ 30-50 ppm ลงในมะเขือเทศกระป๋อง พบว่าที่ความเข้มข้นของไนเตรตมีค่าสูงขึ้นมีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุกให้เกิดได้มากขึ้น

ผลของกรดแอสคอร์บิก และร้อยละความเป็นกรด มีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดด่างหรือค่า pH ยิ่งปริมาณกรดแอสคอร์บิกและร้อยละความเป็นกรดมีค่ามากจะมีผลต่อค่า pH ยิ่งต่ำลงหรือมีค่าความเป็นกรดสูง ค่า pH ยิ่งต่ำเป็นผลให้มีการเร่งการละลายของดีบุกมากขึ้น (Monier, 1979) รวมทั้งส่งผลให้เกิดการเร่งการละลายของดีบุกเนื่องจากไนเตรตให้เกิดได้เร็วขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Rouseff และ Ting (1985) ที่ได้ศึกษาผลของ pH ต่อการละลายของดีบุกในน้ำส้มกระป๋อง พบว่าน้ำส้มกระป๋องที่มี pH 3 จะมีการละลายของดีบุกมากกว่าที่ pH 4.0 ประมาณ 3 เท่า กนกทิพย์ สันตะบุตร (2533) ได้ศึกษาผลของ pH ต่อการละลายของดีบุกในสับปะรดกระป๋อง พบว่าสับปะรดกระป๋องที่มี pH 3.4 มีการละลายของดีบุกมากกว่าที่ pH 4.0 นอกจากนี้ยังพบว่ากรดแอสคอร์บิกมีผลต่อการละลายของดีบุก จากการ

I1669

ศึกษาของ Mahadeviah(1975) โดยการเติมกรดแอสคอร์บิก 50, 100 และ 150 mg/kg ลงในน้ำมะม่วงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก พบว่าการกัดกร่อนจะมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัตน์จิกา ชานะมัย(2535) ที่ได้ศึกษาการเติมกรดแอสคอร์บิก 700 ppm ลงในสับปะรดที่บรรจุในกระป๋องชนิดต่างๆ กัน พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อน และจากการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก โดยศึกษาการเติม dehydroascorbic acid และ diketogulonic acid ในน้ำมะเขือเทศกระป๋อง(Hernandez, 1961) และการศึกษาปริมาณ furfural ต่อการละลายของดีบุกในน้ำส้มกระป๋อง(Mahadeviah et al. 1975) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก คือ dehydroascorbic acid, diketogulonic acid และ furfural มีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุก

ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ พบว่าที่ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้มีค่าต่ำมีผลต่อความสัมพันธ์ของความหนืดลดลง ที่ความหนืดของผลิตภัณฑ์ยิ่งน้อยการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนจะเกิดได้เร็วขึ้น และมีอัตราการ diffusion สูงเป็นผลให้สารที่มีสมบัติการกัดกร่อนสามารถเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ใกล้กับกระป๋องมากขึ้น และยังสามารถกำจัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการกัดกร่อนได้เร็วขึ้นเป็นผลให้เร่งการกัดกร่อนให้เกิดได้เร็วขึ้น

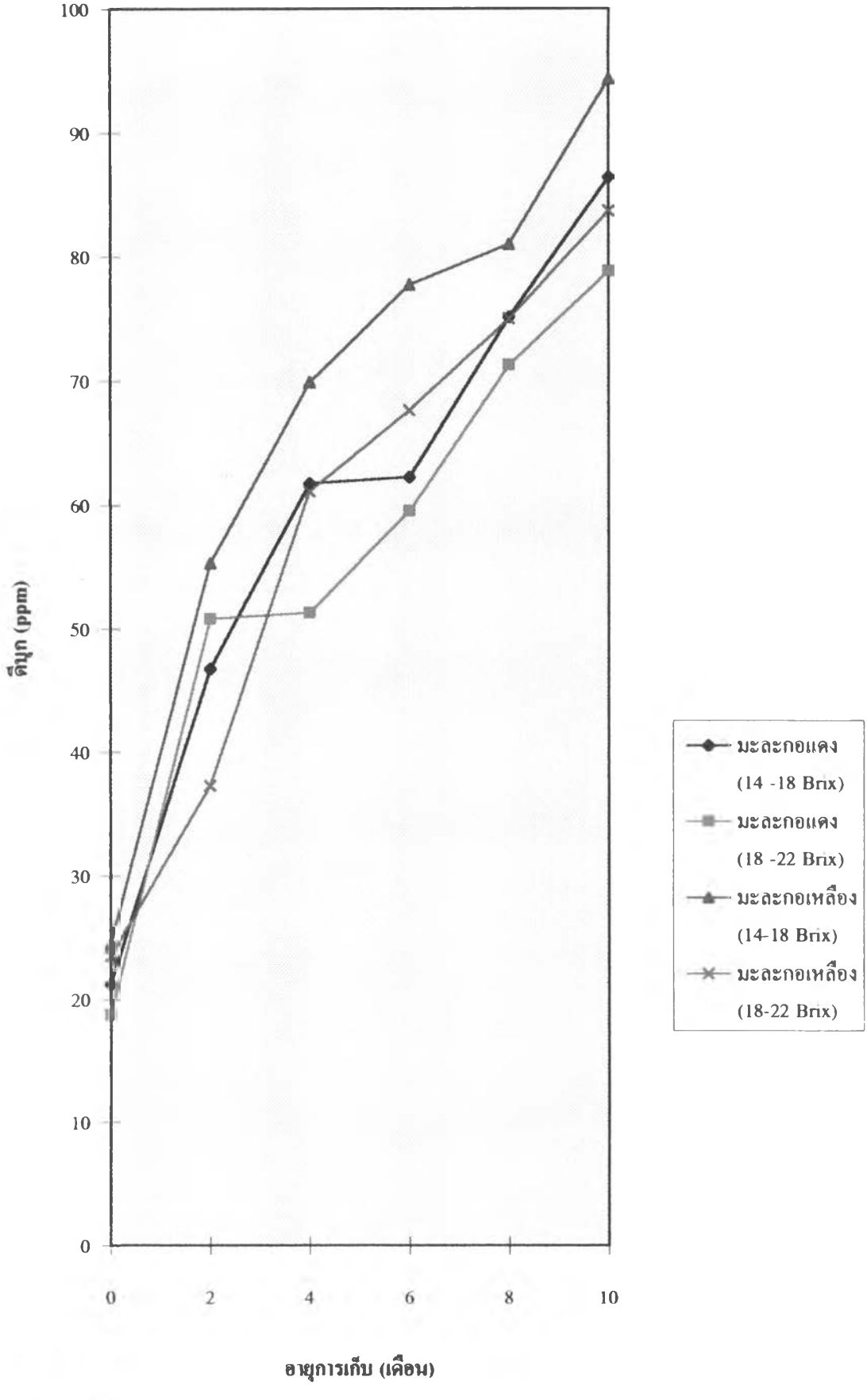
จากความแตกต่างของชนิดและปริมาณ carotenoids ที่พบในมะละกอ โดยพบว่าในมะละกอแดงจะมีปริมาณ lycopene มากที่สุดรองลงมา ได้แก่ β-carotene และ cryptoxanthin ส่วนในมะละกอเหลืองจะมีปริมาณ β-carotene มากที่สุดรองลงมา ได้แก่ cryptoxanthin และ lycopene จากความแตกต่างของปริมาณ carotenoids ที่พบในมะละกอไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่า lycopene หรือ β-carotene หรือ cryptoxanthin มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อน เนื่องจากไม่ทราบถึงกลไกของปฏิกิริยา หรือกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่าง carotenoids กับโลหะที่ตัวกระป๋อง หรือสารละลายน้ำเชื่อมที่บรรจุอยู่ โดยอาจเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติของ carotenoids หรือมีผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนหรือไม่ก็ได้ แต่มีข้อที่น่าสังเกตว่าการที่มะละกอเหลืองมีการละลายของดีบุกมากกว่ามะละกอแดง มีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลง หรือการสลายตัวของ cryptoxanthin โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าในวัตถุดิบมะละกอเหลืองมี cryptoxanthin 18.2 ppm หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นมะละกอกระป๋องจะไม่สามารถตรวจพบ cryptoxanthin ทำให้สามารถตั้งข้อสมมุติฐานได้ว่าการเปลี่ยนแปลง

หรือการสลายตัวของ cryptoxanthin ที่เกิดขึ้นน่าจะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนของดีบุก ทำให้มะละกอเหลืองมีการละลายของดีบุกมากกว่ามะละกอแดง

ที่อายุการเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ทำให้การละลายของดีบุกมีค่าเพิ่มขึ้น (Brekke และคณะ, 1976) โดยพบว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอเหลืองและมะละกอแดง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกเป็นเวลานาน 10 เดือน ปริมาณการละลายของดีบุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณการละลายของดีบุกในมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก ที่มีความหวาน 14-18 °Brix และ 18-22 °Brix ตามลำดับดังนี้ คือ 94.30 และ 83.71 ppm ส่วนในมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกที่มีความหวาน 14-18 °Brix และ 18-22 °Brix มีปริมาณการละลายของดีบุกตามลำดับดังนี้ คือ 86.40 และ 78.82 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณสารปนเปื้อนที่ยอมให้มีได้มากสุดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ที่กำหนดให้มีปริมาณสูงสุดของดีบุกได้ไม่เกิน 250 ppm และยังสอดคล้องกับการทดลองของ Mahadeviah และคณะ(1975) ที่ได้ศึกษาผลของอายุการเก็บต่อปริมาณการละลายของดีบุกในมะม่วงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก พบว่าที่อายุการเก็บมะม่วงกระป๋องนานขึ้น ปริมาณการละลายของดีบุกมีค่ามากขึ้น Brekke และคณะ(1976) ได้ศึกษาผลของอายุการเก็บในเนคต้ามะละกอที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ปริมาณการละลายของดีบุกในเนคต้ามะละกอกระป๋องจะเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาอัตราเร็วของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋อง ที่อายุการเก็บเป็นเวลาต่างๆ กัน พบว่าในช่วงแรกของอายุการเก็บที่ 0-2 เดือน ปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นสูงและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการรีดิวซ์ของออกซิเจน และสารที่มีสมบัติเป็น depolarizer เช่น ไนเตรต สังเกตได้จากรูปที่ 4.1 กราฟในช่วงแรกจะมีความชันสูงและเมื่ออายุการเก็บมะละกอกระป๋องนานขึ้น ปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงสังเกตจากกราฟที่ได้ว่าเริ่มมีความชันลดลง ซึ่งเป็นระยะที่มีช่วงระยะเวลาการเกิดนานที่สุด ผลที่ได้เป็นไปตามปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ Mannheim และ Passy(1982) ได้กล่าวไว้

สำหรับอิทธิพลของอายุการเก็บ และปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นน้ำเชื่อมกับชนิดมะละกอ ชนิดมะละกอกับอายุการเก็บ และความเข้มข้นน้ำเชื่อมกับชนิดมะละกอกับอายุการเก็บต่อการละลายของดีบุกในผลิตภัณฑ์มะละกอป่อง ดังตารางที่ ก.1 และ ก.3-ก.5 พบว่าอิทธิพลของอายุการเก็บ มีผลต่อความแตกต่างของปริมาณการละลายของดีบุกมากกว่าปัจจัยอื่น สังเกตจากค่า F ที่ได้มีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลของความเข้มข้นน้ำเชื่อม และชนิดมะละกอ ดังตารางที่ ก.2 ผลของปัจจัยร่วมต่อการละลายของดีบุกของความเข้มข้นน้ำเชื่อมกับชนิดมะละกอ ดังตารางที่ ก.4 พบว่ามะละกอเหลืองบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก ที่มีความเข้มข้นน้ำเชื่อม 14-18 $^{\circ}$Brix มีการละลายของดีบุกมากที่สุด ผลของปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอกับอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.5 พบว่ามะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกที่อายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือน มีการละลายของดีบุกมากที่สุด สำหรับอิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอกับความเข้มข้นน้ำเชื่อมและอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.2 พบว่ามะละกอเหลืองบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกที่มีความเข้มข้นน้ำเชื่อม 14-18 $^{\circ}$Brix และมีอายุการเก็บนาน 10 เดือน มีการละลายของดีบุกมากที่สุด



รูปที่ 4.1 การละลายของดีบุกกับอายุการเก็บในมะละกอบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก

ศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมีของชนิดมะละกอ ชนิดภาชนะบรรจุ และระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องต่อการละลายของดีบุกจากภาชนะบรรจุ ร่วมกับการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

โดยมีการแปรชนิดมะละกอ 2 ชนิด คือ มะละกอแดงและมะละกอเหลือง แปรชนิดกระป๋องบรรจุ 2 ชนิด คือ กระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ แปรอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่อายุการเก็บทุก 2 เดือน

ปัจจัยสำคัญที่ใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาครั้งนี้ คือ ชนิดมะละกอ ชนิดของภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บมะละกอกระป๋อง โดยมีการนำมะละกอพันธุ์แขกดำที่มีสีของเนื้อมะละกอต่างกัน คือ มะละกอแดง และมะละกอเหลืองมาบรรจุกระป๋อง เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการละลายของดีบุกของชนิดมะละกอ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลา10เดือนที่อุณหภูมิห้อง โดยมีการใช้ภาชนะบรรจุ 2 ชนิด คือ กระป๋องเคลือบดีบุก และกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ชนิด epoxy-phenolic 2 ชั้น เพื่อที่จะได้พิจารณาเลือกภาชนะบรรจุที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้บรรจุมะละกอกระป๋อง ซึ่งจะให้ค่าการละลายของดีบุกในมะละกอกระป๋องมีค่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ และปลอดภัยต่อการบริโภค แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคมาประกอบการพิจารณาด้วย

1. ศึกษาผลของชนิดมะละกอ ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บต่อการละลายของดีบุก

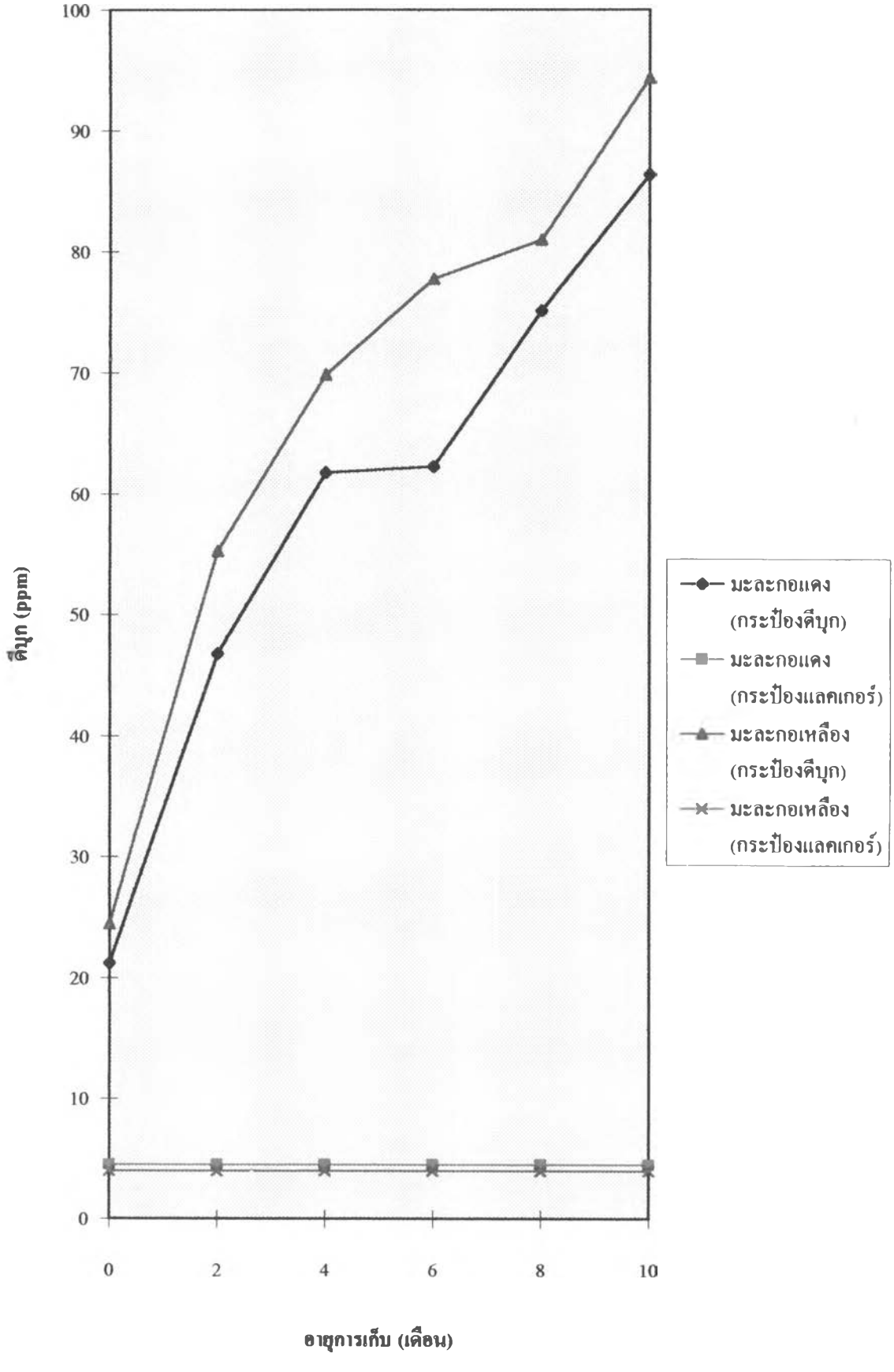
จากการติดตามผลด้วยการวิเคราะห์ปริมาณดีบุกในมะละกอกระป๋อง ที่ได้จากชนิดมะละกอ ที่มีภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ผลเป็นเวลาทุก 2 เดือน ผลที่ได้ดังตารางที่ ก.6 (ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังตารางที่ ก.7 พบว่าชนิดมะละกอ(A) ภาชนะบรรจุ(B) และอายุการเก็บ(C) รวมทั้งปัจจัยร่วมระหว่าง AB, BC, AC และ ABC มีผลต่อการละลายของดีบุกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของดีบุกด้วย Duncan's new multiple range teast ได้ผลดังตารางที่ ก.6 และ ก.8-ก.11 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดีบุกกับอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋อง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระป๋องเคลือบดีบุก มีปริมาณการละลายของดีบุกในมะละกอเหลือง

มากกว่ามะละกอแดง เนื่องจากความแตกต่างของสมบัติองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอแดงและมะละกอเหลือง ที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นในเรื่องผลของความเข้มข้นน้ำเชื่อม ชนิดมะละกอและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องต่อการละลายของดีบุกจากภาชนะบรรจุ

เมื่อพิจารณาผลของภาชนะบรรจุต่อการละลายของดีบุก เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลานาน 10 เดือน พบว่ามะละกอเหลืองและมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกมีการละลายของดีบุกเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น แต่ในผลิตภัณฑ์มะละกอเหลืองและมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงการละลายของดีบุก โดยมีการละลายของดีบุกอยู่ในช่วงที่คงที่ คือ< 4 ppm ตลอดช่วงอายุการเก็บ 10 เดือน เนื่องจากในกระป๋องเคลือบดีบุกกาซออกซิเจนสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อน ทำให้ดีบุกละลายออกมาได้มาก ขณะที่ในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ออกซิเจนจะไปทำปฏิกิริยากับกรดแอสคอร์บิกแทน ทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ลดลงอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าจะมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก เช่น dehydroascorbic acid และ diketogulonic acid ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาการละลายของดีบุกได้ แต่เนื่องจากสมบัติของแลกเกอร์ที่ใช้ในการเคลือบกระป๋องเคลือบดีบุก สามารถไปขัดขวางการถ่ายเทของอิเลคตรอนระหว่างโลหะกับอาหาร หรือป้องกันการสัมผัสของสารที่เป็นตัวเร่งการละลายของดีบุกกับโลหะดีบุก และยิ่งจำนวนชั้นของแลกเกอร์หรือความหนาแลกเกอร์เพิ่มขึ้น อัตราการกัดกร่อนยิ่งลดลง(Greger and Baier, 1981) ในงานวิจัยนี้มีการใช้แลกเกอร์ชนิด epoxy-phenolics ที่มีความหนา 2 ชั้น ทำให้สามารถป้องกันการละลายของดีบุกได้ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahadeviah และคณะ (1975) ที่ได้รายงานว่ามะม่วงที่บรรจุในกระป๋องเคลือบดีบุกจะมีปริมาณการละลายของดีบุกเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น เนื่องจากออกซิเจนที่เหลืออยู่บริเวณ headspace ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อน ทำให้ดีบุกละลายออกมามากขึ้น และจากงานวิจัยของ รัตน์จิกา ชานะมัย (2535) ที่ได้ศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิก และโซเดียมอิริธอร์เบทต่อการละลายของดีบุกจากกระป๋องชนิดต่างๆที่ใช้บรรจุสับปะรด พบว่าปริมาณดีบุกในสับปะรดกระป๋อง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก กระป๋องเคลือบแลกเกอร์(epoxy-phenolic)ทั้งชั้นเดียวและ 2 ชั้น มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 12 เดือน โดยมีปริมาณการละลายของดีบุกสูงสุด 130 ppm ในสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก 28 ppm ในสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ชั้นเดียว และ 32 ppm ในสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ 2 ชั้น ซึ่งเห็นได้ว่ามีความแตกต่างของปริมาณการละลายของดีบุกทั้งในกระป๋องเคลือบดีบุก และกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ โดยพบว่าในงานวิจัยของ รัตน์จิกา ชานะมัย(2535) มีการละลายของดีบุกมาก

กว่าเมื่อเทียบกับภาชนะบรรจุที่เหมือนกัน เนื่องจากในงานวิจัยของ รัตน์จิกา ชานะมัย(2535) มีการเติมกรดแอสคอร์บิกและโซเดียมอิริธอร์เบท ซึ่งเป็นผลให้มีการเร่งการละลายของดีบุก แต่ก็มีแนวโน้มการละลายของดีบุกเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นานขึ้นเช่นเดียวกัน

สำหรับอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ต่อการละลายของดีบุก ได้แก่ ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอกับภาชนะบรรจุ ดังตารางที่ ก.9 พบว่ามะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกมีการละลายของดีบุกมากที่สุด ผลของปัจจัยร่วมระหว่างภาชนะบรรจุกับอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.10 พบว่าผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกที่อายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือนมีการละลายของดีบุกมากสุด ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอกับอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.11 พบว่ามะละกอเหลืองที่มีอายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือนมีการละลายของดีบุกสูงสุด และอิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอ ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.6 พบว่ามะละกอเหลืองที่บรรจุในกระป๋องเคลือบดีบุก ที่มีอายุการเก็บนาน 10 เดือนมีการละลายของดีบุกสูงสุด



รูปที่ 4.2 การละลายของดีบุกกับอายุการเก็บในมะละกอกระป๋อง

2. ศึกษาผลของชนิดภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องต่อปริมาณรงควัตถุ carotenoids

จากการวิเคราะห์ชนิด carotenoids ได้แก่ lycopene β-carotene และ cryptoxanthin ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่ามะละกอแดงจะมีชนิดของ carotenoids เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ lycopene, β-carotene และ cryptoxanthin ส่วนมะละกอเหลืองจะมีชนิดของ carotenoids เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ β-carotene, cryptoxanthin และ lycopene ดังนั้นในการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของ carotenoids ของชนิดมะละกอ จึงได้เลือกชนิดของ carotenoids ที่มีปริมาณมากที่สุดที่มีอยู่ในมะละกอ คือ lycopeneในมะละกอแดง β-carotene และ cryptoxanthin ในมะละกอเหลือง

2.1 ศึกษาผลของชนิดภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บของมะละกอแดงกระป๋องต่อปริมาณ lycopene

ผลจากการทดลองดังแสดงค่าเฉลี่ย และอิทธิพลของปัจจัยร่วมต่อปริมาณ lycopene ที่วิเคราะห์ได้จากมะละกอแดงกระป๋อง ที่มีภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บต่างกัน ดังตารางที่ ก.12 (ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ผล ดังตารางที่ ก.14 พบว่าอายุการเก็บ และปัจจัยร่วมระหว่างภาชนะบรรจุกับอายุการเก็บ มีผลต่อปริมาณ lycopene อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ lycopene ด้วย Duncan's new multiple range test ดังตารางที่ ก.12 และ ก.15 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ lycopene กับอายุการเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากรูปแสดงให้เห็นว่ามะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ไม่มีความแตกต่างต่อการเปลี่ยนแปลงของ lycopene เนื่องจากได้มีการควบคุมคุณภาพในแต่ละขั้นตอนการแปรรูปมะละกอกระป๋อง โดยมีการควบคุมการ delay time ระหว่างกระบวนการผลิต เช่น การบรรจุ การปิดฝาและการนึ่งฆ่าเชื้อ การควบคุมอุณหภูมิ และเวลาในการฆ่าเชื้อตามที่ได้กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ผลจากการควบคุมคุณภาพดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นผลให้สภาพเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีความใกล้เคียงกันมาก เช่น ปริมาณออกซิเจนที่หลงเหลืออยู่บริเวณ headspace ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การเปลี่ยนแปลง lycopene ที่เกิดขึ้นในกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ อาจมีกลไกของการเกิดปฏิกิริยาคล้ายกันหรือแตกต่างก็ได้

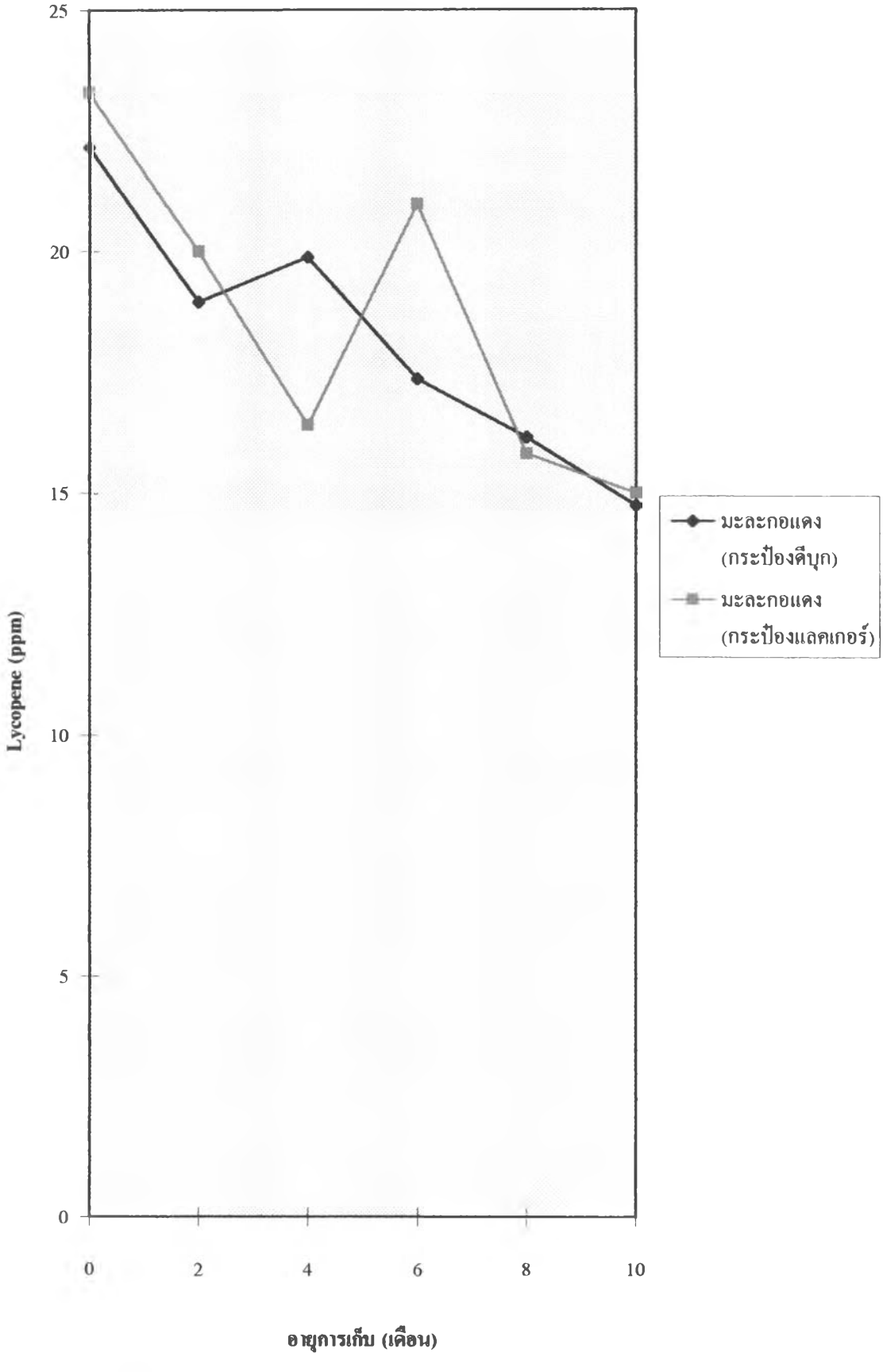
เนื่องจากไม่ทราบถึงกลไกของปฏิกิริยารวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จึงเป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงของ lycopene ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อใช้กระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์

เมื่อพิจารณาอายุการเก็บมะละกอกระป๋อง พบว่าที่อายุการเก็บนานขึ้นปริมาณ lycopene มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในกระป๋อง เช่น ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายน้ำเชื่อมที่บรรจุ ปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกับอาหาร เช่น ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และปริมาณไนเตรต และยังรวมถึงปริมาณออกซิเจนที่ยังคงหลงเหลืออยู่ภายในกระป๋อง จากสภาพภายในกระป๋องดังที่ได้กล่าวจะมีสภาวะเหมาะสมที่จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ผลของการแปรรูปและการเก็บรักษายังเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ lycopene ได้มากขึ้น เนื่องจากสมบัติของรงควัตถุในกลุ่ม carotenoids ที่มีโครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยหมู่ไอโซพรีนที่ต่อกันเป็นสายยาว และมีสมบัติเป็น highly unsaturated ทำให้โครงสร้างไม่คงตัวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและไวต่อการออกซิไดซ์ โดยเฉพาะในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันรวมอยู่ด้วย เช่น ความร้อน และกาซออกซิเจน และยังสอดคล้องกับ Onyewu, Daun, และ Tang(1982) ที่ได้รายงานว่า carotenoids จะมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเมื่อได้รับความร้อน และในสภาวะที่ได้รับความร้อนของ carotenoids มีผลต่อความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังตารางที่ 2.3 โดยพบว่าการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของ lycopene และ β-carotene ที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 10 นาที ภายใต้สภาวะบรรยากาศที่มีกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสาร xylene, toluene และ dimethylnaphthalene เกิดขึ้น เนื่องจากสภาพภายในกระป๋องที่ยังคงมีปริมาณออกซิเจนเหลืออยู่ในบริเวณ headspace หรือละลายอยู่ในอาหาร และในการเก็บรักษายังมีผลของอุณหภูมิที่มาเกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-35 °C

เมื่อพิจารณาถึงผลของ lycopeneต่อการละลายของดีบุกในมะละกอแดงกระป๋อง จากงานวิจัยนี้พบว่ามะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกมีแนวโน้มการละลายของดีบุกมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างไปจากมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มีแนวโน้มการละลายของดีบุกอยู่ในช่วงที่คงที่เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น โดยศึกษาที่อายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือน ผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างของการลดลงของปริมาณ lycopene ในมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ อาจเป็นไปได้ว่าผลการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสลายตัวของ lycopene เนื่องจากสภาวะในกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาอาจไม่มีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุก เพราะว่าในงาน

วิจัยนี้ไม่ได้มีการติดตามผลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของ lycopene จึงไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่า lycopene มีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุกหรือไม่ เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพียงที่จะศึกษาถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ของปริมาณ carotenoids ต่อการกัดกร่อนของดีบุก และจากงานวิจัยของ สิรินดา กุสุมภ์(2538) ที่ได้ศึกษาผลของชนิดของผลไม้และน้ำเชื่อมต่อการละลายของดีบุกในผลไม้รวมกระป๋อง พบว่าผลิตภัณฑ์มะละกอเหลืองและผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของมะละกอเหลือง ที่บรรจุอยู่ในน้ำเชื่อมต่างชนิด ได้แก่ น้ำเชื่อม (จากน้ำตาลทราย) น้ำเชื่อมผสมน้ำเสาวรส น้ำสับปะรด และน้ำเชื่อมผสมน้ำเสาวรสผสมน้ำสับปะรด ที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน มีแนวโน้มการละลายของดีบุกสูงกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่มีส่วนผสมเป็นมะละกอแดงแทนมะละกอเหลือง และจากรายงานของ Jagtini, Chan และ Sakai(1988) ที่กล่าวว่าการนำมะละกอเพียงชนิดเดียวมาบรรจุในภาชนะที่เป็นกระป๋องเคลือบดีบุกจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของดีบุก โดยมีการแนะนำว่าควรบรรจุในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ชนิด epoxy-lacquered cans ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาถึงความแตกต่างของการละลายดีบุกในมะละกอเหลืองและมะละกอแดง โดยเน้นที่จะศึกษาถึงความแตกต่างของสมบัติขององค์ประกอบที่มีในมะละกอเหลืองและมะละกอแดง เช่น รงควัตถุ carotenoids ปริมาณไนเตรต และกรดแอสคอร์บิกเป็นต้น เมื่อระยะเวลาการเก็บมะละกอแดงกระป๋องนานขึ้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นยังคงดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ทำให้ lycopene มีแนวโน้มลดต่ำลง แต่ก็มีผลการวิเคราะห์ lycopene ที่อายุการเก็บเป็นบางเวลาที่ไม่ได้ลดลงตามแนวโน้มที่ได้กล่าวไว้ ทั้งนี้อาจเป็นสาเหตุเนื่องจากความแปรปรวนของวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของรงควัตถุ carotenoids ที่มีอยู่ในมะละกอ ซึ่งในทางปฏิบัติเชิงอุตสาหกรรมได้มีการกำหนดเกณฑ์การยอมรับของวัตถุดิบในด้านคุณภาพให้อยู่ในช่วงกว้าง เพื่อให้สามารถสะดวกต่อการทำงาน เช่น การคัดเลือกสีของเนื้อมะละกอแดงที่จะนำมาใช้บรรจุกระป๋องให้มีสีส้มถึงสีแดงเข้ม ทำให้เกิดความแปรปรวนของรงควัตถุเกิดขึ้น

อิทธิพลของอายุการเก็บต่อปริมาณ lycopene ในมะละกอแดงกระป๋อง ดังตารางที่ ก.15 พบว่าที่อายุการเก็บมะละกอแดงกระป๋องเป็นเวลานาน 10 เดือน มีปริมาณ lycopene เหลืออยู่ต่ำสุด



รูปที่ 4.3 Lycopene กับอายุการเก็บในมะละกอแดงกระป๋อง

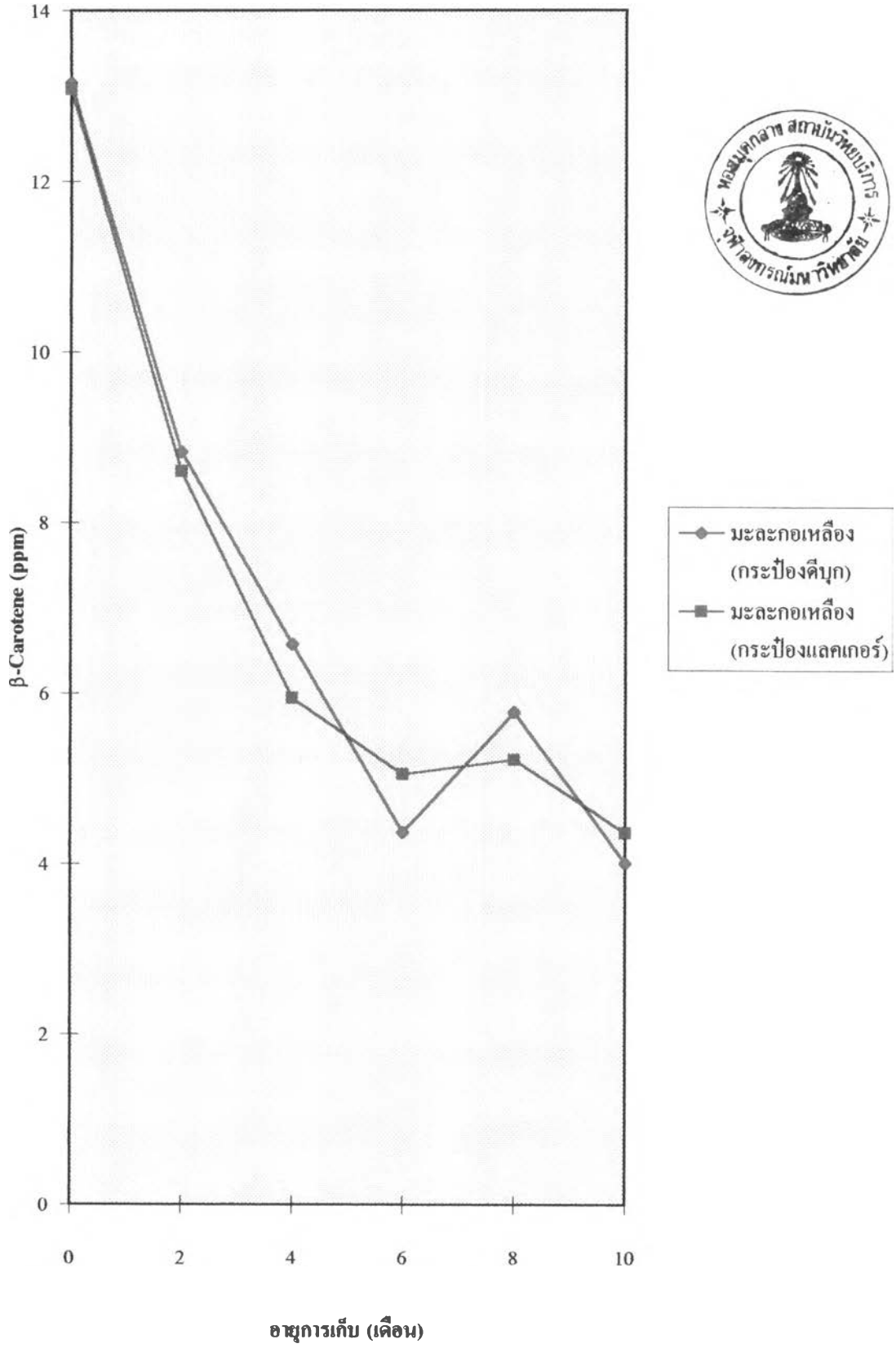
2.2 ศึกษาผลของชนิดภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บของมะละกอเหลืองกระป๋องต่อปริมาณ β-carotene และ cryptoxanthin

ผลการทดลองดังแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณ β-carotene และ cryptoxanthin ที่วิเคราะห์ได้จากมะละกอเหลืองกระป๋อง ที่มีภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บต่างกัน ดังตารางที่ ก.13 (ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ผล ดังตารางที่ ก.14 พบว่าอายุการเก็บมีผลต่อปริมาณ β-carotene อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ β-carotene ด้วย Duncan's new multiple range test ดังตารางที่ ก.15 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ β-carotene กับอายุการเก็บดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากรูปแสดงให้เห็นว่ามะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก และกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ไม่มีความแตกต่างต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ β-carotene เมื่ออายุการเก็บมะละกอเหลืองกระป๋องนานขึ้น β-carotene มีแนวโน้มลดลง โดยมีเหตุผลดังที่ได้อธิบายไว้แล้ว (2.1) นอกจากนี้ยังได้มีรายงานของ Onyewu, Daun และ Tang(1982) ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ β-carotene เมื่อได้รับความร้อนจะให้ผลิตภัณฑ์ของ carotenoids ที่มีโครงสร้างสั้นลงกว่าเดิม เนื่องจากเกิดการแตกตัวให้ toluene และยังมีการทดลองให้ความร้อนกับ carotenoidss ที่สภาวะต่างๆ ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละสภาวะมีความแตกต่างกันขึ้นกับสภาวะที่ให้ความร้อน ดังตารางที่ 2.3

เมื่อพิจารณาผลของ β-carotene ต่อการละลายของดีบุกในมะละกอเหลืองกระป๋อง พบว่ามะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกมีแนวโน้มการละลายของดีบุกมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ส่วนในมะละกอเหลืองที่บรรจุอยู่ในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มีแนวโน้มการละลายของดีบุกอยู่ในช่วงที่คงที่ เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นโดยทำการศึกษาที่อายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือน โดยไม่มีความแตกต่างของการลดลงของปริมาณ β-carotene ทั้งในมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ เหตุผลดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในเรื่องผลของ lycopene ต่อการละลายของดีบุกในมะละกอแดงกระป๋อง (2.1) จากเหตุผลดังกล่าวไม่สามารถสรุปได้ว่า β-carotene มีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุกหรือไม่ เนื่องจากไม่ทราบถึงกลไกของปฏิกิริยาหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

สำหรับผลการวิเคราะห์ cryptoxanthin ในมะละกอเหลือง พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อบรรจุเป็นมะละกอกระป๋องหรือที่ผลิตใหม่ ปริมาณ cryptoxanthin ที่วิเคราะห์ได้จะเหลืออยู่น้อยมาก คือ < 1ppm ซึ่งในทางปฏิบัติของการวิเคราะห์ถือว่าค่าดังกล่าวมีความผิดพลาดสูง เนื่องจากเป็นขีดจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นอาจถือได้ว่าไม่พบ cryptoxanthin อย่างไรก็ตามยังได้มีการติดตามวิเคราะห์ปริมาณ cryptoxanthin ในมะละกอเหลืองต่อไปอีกเป็นระยะเวลาหนึ่ง คือ ที่อายุการเก็บ 2 และ 4 เดือน ดังตารางที่ ก.13 ผลที่ได้ไม่สามารถตรวจพบ cryptoxanthin จากสมบัติของ carotenoids ที่ไม่คงตัว และสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย แต่เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดของชนิด carotenoids เช่น cryptoxanthin อาจมีสมบัติแตกต่างจาก carotenoids ออกไปบ้าง เช่น มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงมาก หรือมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเกิดเป็นสารอื่นได้ง่าย เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีสารละลายในสภาพเป็นกรดทำให้เกิดการสลายตัวของ cryptoxanthin ทำให้ตรวจไม่พบ

อิทธิพลของอายุการเก็บ ต่อปริมาณ β-carotene ในมะละกอเหลืองกระป๋อง ดังตารางที่ ก.15 พบว่าที่อายุการเก็บมะละกอเหลืองกระป๋องเป็นเวลานาน 10 เดือน มีปริมาณ β-carotene เหลืออยู่ต่ำสุด



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.4 β-Carotene กับอายุการเก็บในมะละกอเหลืองกระป๋อง

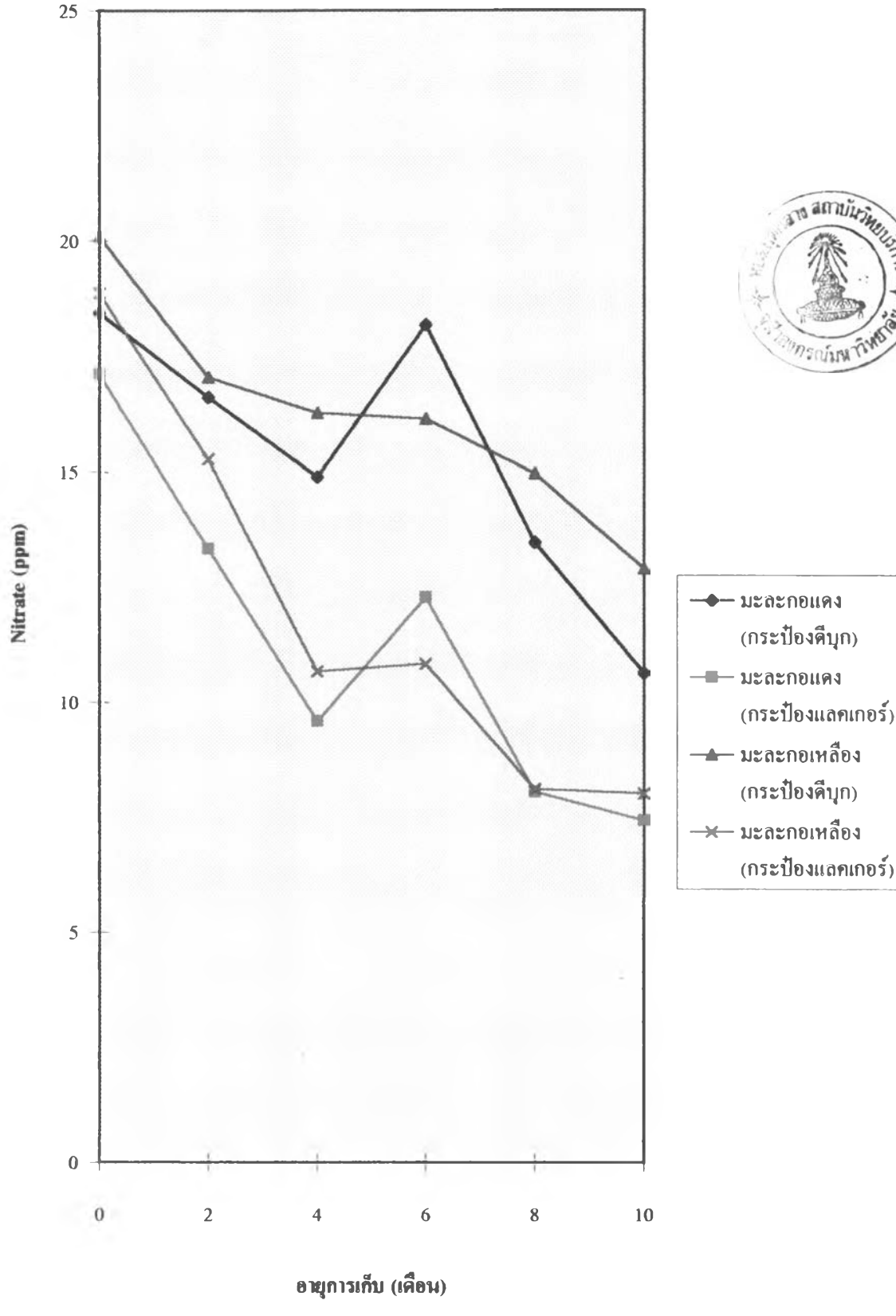
3. ศึกษาผลของชนิดมะละกอ ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บต่อปริมาณไนเตรต ในมะละกอกระป๋อง

ผลจากการทดลองดังแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณไนเตรต และกรดแอสคอร์บิกที่วิเคราะห์ได้จากชนิดมะละกอ ที่มีภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บต่างกัน ดังตารางที่ ก.16 (ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังตารางที่ ก.17 พบว่าชนิดมะละกอ(A) ภาชนะบรรจุ(B) และอายุการเก็บ(C) รวมทั้งปัจจัยร่วมระหว่าง BC และ AC มีผลต่อปริมาณไนเตรตอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p \leq 0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไนเตรตด้วย Duncan's new multiple range test ได้ผลดังตารางที่ ก.18-ก.20 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรตกับอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋อง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากรูปแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของปริมาณไนเตรตในมะละกอเหลือง และมะละกอแดง โดยมีปริมาณไนเตรตตามลำดับดังนี้ คือ 35.10 ppm และ 27.64 ppm จากสมบัติของไนเตรตที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอน หรือ depolarizer และผลของปัจจัยที่มีผลต่อ nitrate-induced detinning(Chakravorty and Ghosh, 1981) ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนมีค่าสูงหรือที่ค่า pH < 6 ทำให้การละลายของดีบุกเนื่องจากไนเตรตมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณไนเตรตมีค่าสูงจะมีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุก และยังสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ โดยพบว่าในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไนเตรตอยู่สูง คือ มะละกอเหลือง จะมีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุกได้มากกว่าในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไนเตรตอยู่ต่ำกว่า คือ มะละกอแดง นอกจากนี้ยังมีผลเนื่องจาก nitrate-induced detinning ของความเข้มข้นไฮโดรเจนอิออนหรือค่า pH คือ ผลิตภัณฑ์มะละกอเหลืองและมะละกอแดงที่บรรจุอยู่ในกระป๋องเคลือบดีบุกมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.8±0.2 ซึ่งจะส่งผลให้มีการเร่งการละลายของดีบุกได้มากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าในมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกมีการกัดกร่อนของดีบุกมากกว่าในมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก เนื่องจากการเร่งการกัดกร่อนของสมบัติของไนเตรตที่มีอยู่ในมะละกอ

เมื่ออายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องนานขึ้นปริมาณไนเตรตมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะในมะละกอบรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ พบว่าปริมาณไนเตรตมีแนวโน้มลดลงมากกว่าในมะละกอที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก จากสมบัติของไนเตรตที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอน หรือ depolarizer(Board, 1973) เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตไปเป็นไนไตรท์ และสารประกอบแอมโมเนีย รวมทั้งเป็นผลให้มีการละลายของดีบุกเพิ่มขึ้น โดยที่

ปฏิกิริยาการกัดกร่อนของดีบุกเนื่องจากไนเตรดยังคงเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ตลอดช่วงอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ทำให้ไนเตรตมีปริมาณลดลง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตจะได้สารพวก nitrogen end products เช่น แอมโมเนีย, nitric oxide, nitrous oxide และ hydroxylamine ซึ่งน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในมะละกอกระป๋องที่บรรจุอยู่ในกระป๋องเคลือบดีบุก และกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ เช่น การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยผลิตภัณฑ์ของไนเตรตที่เกิดขึ้นอาจมีการรวมตัว หรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับผลิตภัณฑ์อื่น ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมี เช่น การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก และการหลุดลอกหรือการละลายของแลกเกอร์ที่ใช้ในการเคลือบกระป๋อง ทำให้มีผลต่อการเร่งการสลายตัวของไนเตรตในผลิตภัณฑ์มะละกอเหลืองและมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ให้เกิดได้เร็วขึ้น

อิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ต่อปริมาณไนเตรด ได้แก่ ปัจจัยร่วมระหว่างภาชนะบรรจุกับอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.19 พบว่าผลิตภัณฑ์มะละกอที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์จะมีปริมาณไนเตรตเหลืออยู่ต่ำสุด และปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอกับอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.20 พบว่าผลิตภัณฑ์มะละกอแดงที่มีอายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือน มีปริมาณไนเตรตเหลืออยู่ต่ำสุด



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.5 Nitrate กับอายุการเก็บในมะละกอกระป๋อง

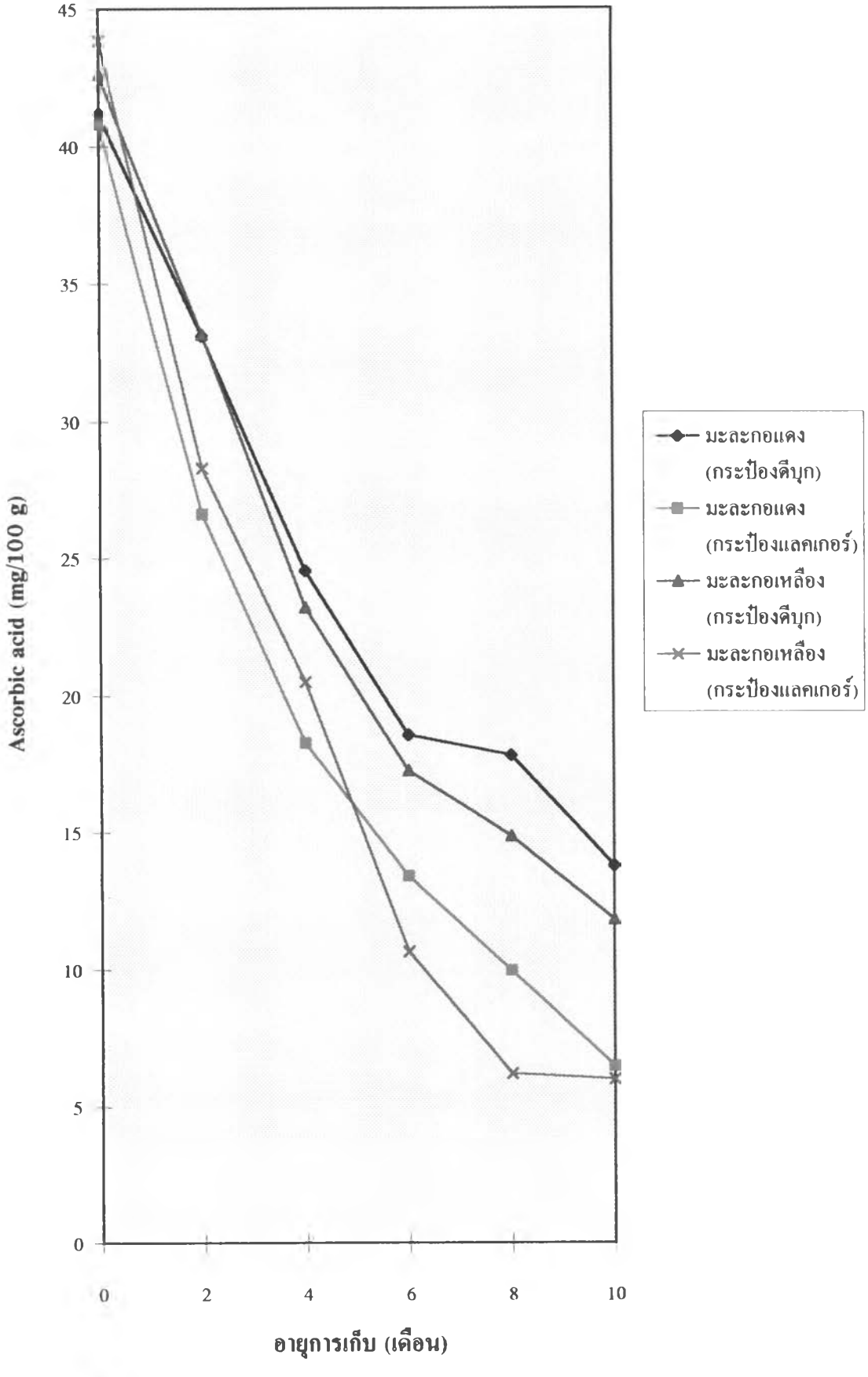
4. ศึกษาผลของชนิดมะละกอ ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บ ต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิก

จากข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมะละกอกระป๋อง ดังตารางที่ ก.16 (ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งแสดงความแปรปรวนของปริมาณไนเตรต และกรดแอสคอร์บิก ที่วิเคราะห์ได้จากชนิดมะละกอ ที่มีภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บต่างกัน ดังตารางที่ ก.17 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p \leq 0.05$) ได้แก่ ภาชนะบรรจุ อายุการเก็บ และปัจจัยร่วมระหว่างภาชนะบรรจุกับอายุการเก็บ จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกด้วย Duncan's new multiple range test ได้ผลดังตารางที่ ก.18-ก.19 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแอสคอร์บิก(mg/100g)กับอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋อง ดังรูปที่ 4.6 จากรูปแสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างของปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมะละกอแดงและมะละกอเหลือง

เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องไว้นานขึ้น ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีแนวโน้มลดลง โดยมีการลดลงของกรดแอสคอร์บิกในมะละกอที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มากกว่ากระป๋องเคลือบดีบุก เนื่องจากในกระป๋องเคลือบดีบุกกาซออกซิเจนสามารถเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนทำให้ดีบุกละลายออกมาได้มาก ขณะที่ในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ออกซิเจนจะไปทำปฏิกิริยากับกรดแอสคอร์บิกแทน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกขึ้น ได้แก่ เช่น dehydroascorbic acid, diketogulonic acid และ furfural เป็นต้น เป็นผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กนกทิพย์ สันตะบุตร(2533) ที่เสนอว่าเมื่ออายุการเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น สับปะรดที่บรรจุอยู่ในกระป๋อง full lacquered can มีอัตราการลดลงของกรดแอสคอร์บิกมากกว่าสับปะรดที่บรรจุอยู่ในกระป๋อง partial lacquered can และกระป๋อง plain can รัตน์จิกา ชานะมัย (2535) ได้รายงานว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกในสับปะรดกระป๋องจะลดลง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นและยังพบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกในสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ชนิด epoxy-phenolic ที่มีความหนาของแลกเกอร์ทั้ง 1 และ 2 ชั้น มีการลดลงของกรดแอสคอร์บิกมากกว่าสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก เนื่องจากสับปะรดที่บรรจุในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ชนิด epoxy-phenolic ทั้ง 1 และ 2 ชั้น มีการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกไปเป็นสารสีน้ำตาล(furfural) มากกว่าสับปะรดที่บรรจุในกระป๋องเคลือบดีบุก นอกจากนี้ Nagy, Rouseff และ Ting(1980) ยังได้เสนอว่าชนิด

ของภาชนะบรรจุมีผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ในน้ำส้มกระป๋อง โดยพบว่าเมื่ออายุการเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกในกระป๋องแลกเกอร์มีมากกว่าในกระป๋องเคลือบดีบุก ทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกทำปฏิกิริยากับกาซออกซิเจนมากขึ้น ดังนั้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่จึงลดน้อยลงอย่างมาก

สำหรับอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิก ได้แก่ ปัจจัยร่วมระหว่างภาชนะบรรจุกับอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.19 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ที่อายุการเก็บเป็นเวลานาน 10 เดือน มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่ต่ำสุด



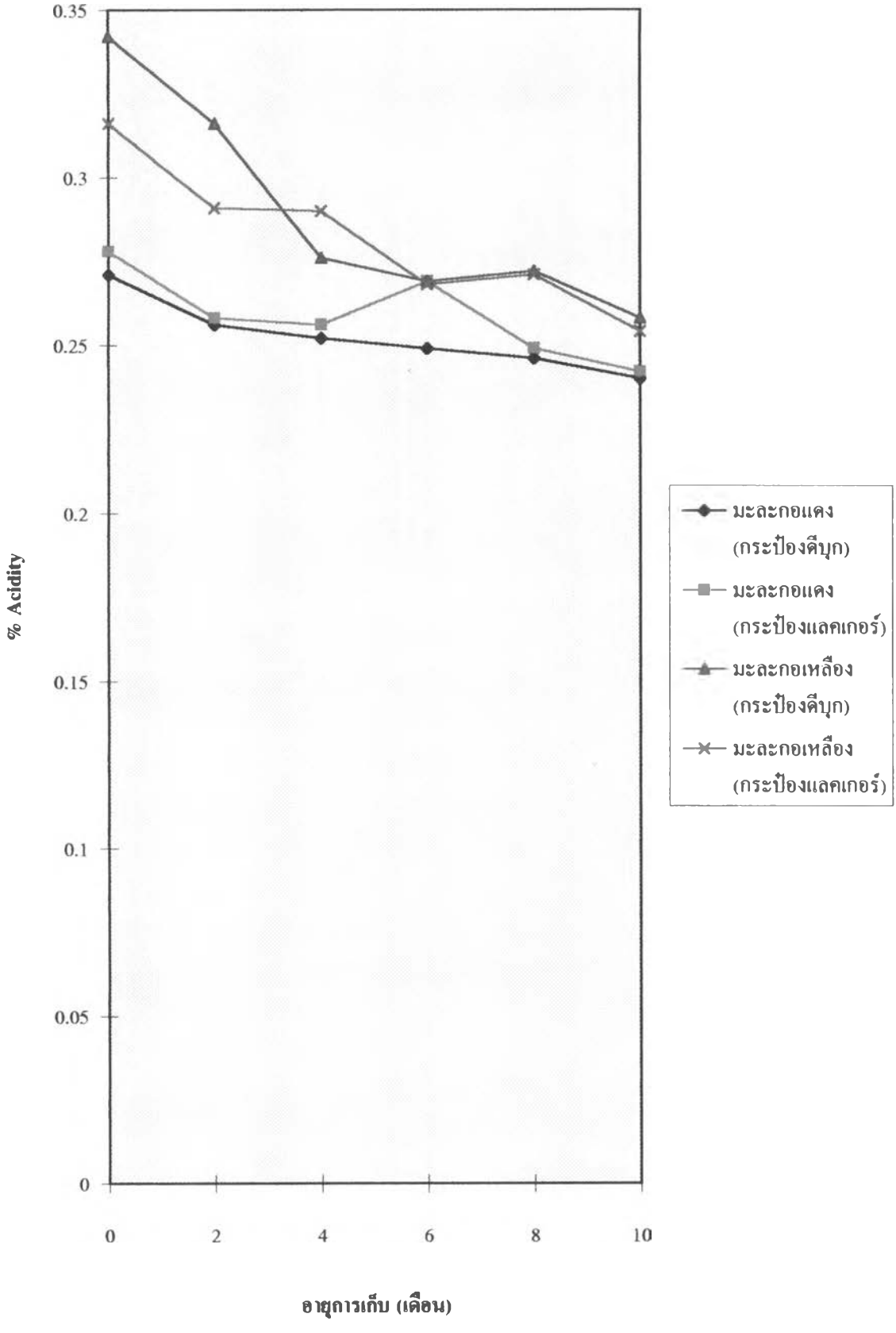
รูปที่ 4.6 Ascorbic acid กับอายุการเก็บในมะละกอกระป๋อง

5. ศึกษาผลของชนิดมะละกอ ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บ ต่อร้อยละความเป็นกรดที่คำนวณในรูปกรดซิตริก(%acidity)

จากผลการวิเคราะห์ ดังแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละความเป็นกรดที่คำนวณในรูปกรดซิตริก(%acidity) ค่าความเป็นกรดด่าง(pH) และปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ ($^{\circ}$Brix) ดังตารางที่ ก.21(ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ ก.22 พบว่า ชนิดมะละกอ อายุการเก็บ รวมทั้งปัจจัยร่วมของชนิดมะละกอกับภาชนะบรรจุ และปัจจัยร่วมของชนิดมะละกอกับอายุการเก็บมีผลต่อ %acidity อย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อ %acidity ด้วย Duncan's new multiple range test ได้ผลดังตารางที่ ก.23-ก.24 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %acidity กับอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋อง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จากรูปแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของ %acidity ของชนิดมะละกอ โดยพบว่ามะละกอเหลืองจะมี % acidity มากกว่ามะละกอแดง เนื่องจากความแตกต่างของสมบัติองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอแดงและมะละกอเหลือง ที่นำมาใช้เป็นวัตถุในการแปรรูป จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของมะละกอ ดังตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าในมะละกอเหลืองและมะละกอแดงมี % acidity ตามลำดับดังนี้ คือ 0.568 และ 0.502 ดังนั้นเมื่อมีการนำมะละกอมาแปรรูปเพื่อบรรจุกระป๋อง จึงเป็นผลทำให้ % acidity ในมะละกอเหลืองมีค่าสูงกว่าในมะละกอแดง

เมื่ออายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องนานขึ้น %acidity มีแนวโน้มลดลง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยของ รัตน์จิกา ชานะมัย(2535) ที่แสดงให้เห็นว่าสับปะรดกระป๋องที่บรรจุอยู่ในกระป๋องเคลือบดีบุก กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ทั้งชั้นเดียวและ 2 ชั้น ที่มีอายุการเก็บ 12 เดือนมี %acidity อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน คือ 0.58-0.67 และพบว่าเมื่ออายุการเก็บนานขึ้น %acidityมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกรดที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในมะละกอกระป๋องเกิดการสลายตัว เช่น กรดแอสคอร์บิก หรือเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก เช่น กรดซิตริก เป็นผลให้เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นปริมาณ %acidity มีค่าลดลง

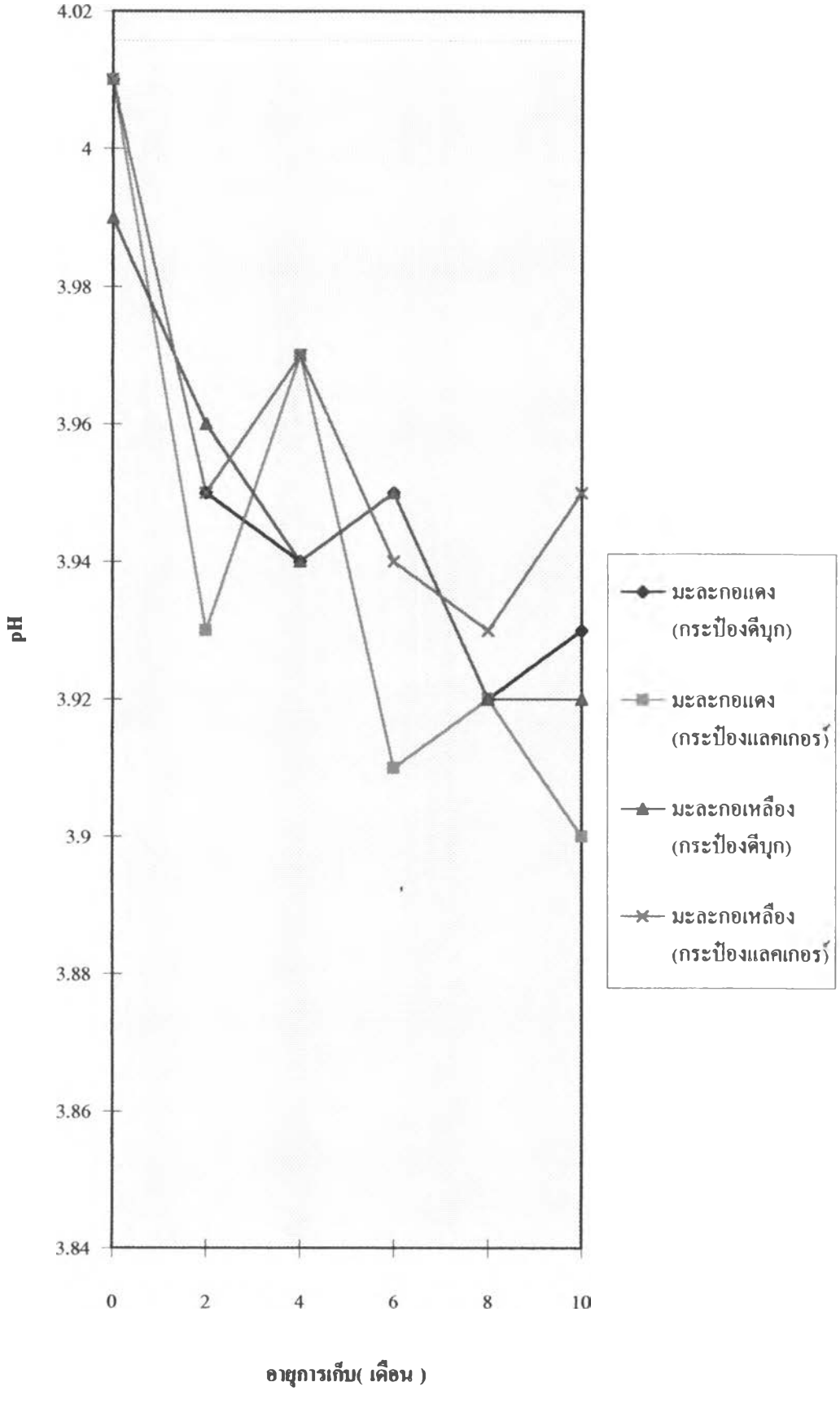
อิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอกับภาชนะบรรจุ ดังตารางที่ ก.24 พบว่ามะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มี %acidity เหลืออยู่สูงสุด และปัจจัยร่วมระหว่างชนิดมะละกอกับอายุการเก็บ ดังตารางที่ ก.25 พบว่ามะละกอเหลืองและมะละกอแดง ที่อายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือน มี %acidity เหลืออยู่ต่ำสุด



รูปที่ 4.7 % Acidity กับอายุการเก็บในมะละกอกระป๋อง

6. ศึกษาผลของชนิดมะละกอ ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บ ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)

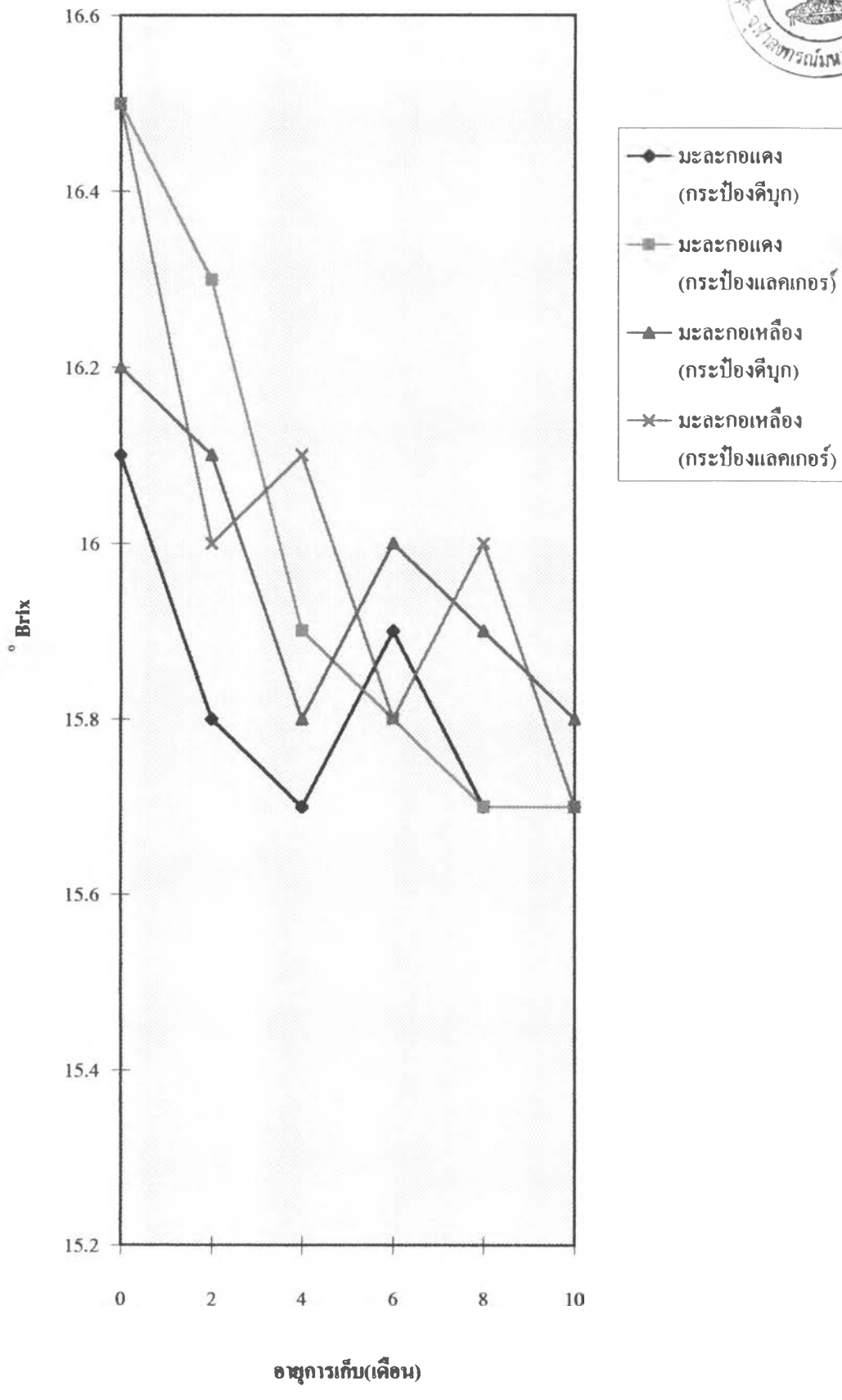
จากผลการวิเคราะห์แสดงค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ดังตารางที่ ก.21 เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังตารางที่ ก.22(ภาคผนวก ก.) พบว่าอายุการเก็บ(C) มีผลต่อค่า pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p \leq 0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่มีผลต่อ pH ด้วย Duncan's new multiple range test ได้ผลดังตารางที่ ก.23 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับอายุการเก็บมะละกอกระป๋อง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากรูปแสดงให้เห็นว่า pH มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่ออายุการเก็บมะละกอกระป๋องนานขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยของ สิรินดา กุสุมภ์(2538) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มะละกอแดงและมะละกอเหลืองในน้ำเชื่อมที่บรรจุอยู่ในกระป๋องเคลือบดีบุก ที่อายุการเก็บเป็นเวลา 12 เดือน pH ที่ได้มีแนวโน้มลดลงโดยมี pH อยู่ในช่วง 4.21-4.09 สำหรับค่า pH ที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่ามะละกอแดงและมะละกอเหลือง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ที่อายุการเก็บเป็นเวลา 10 เดือนมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.01-3.91 เห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของ %acidity กับค่า pH พบว่าที่อายุการเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น %acidity มีค่าลดลงเนื่องจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในข้างต้นค่า pH ที่ได้ควรมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดลดลงแต่ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น pH มีแนวโน้มลดลง แต่จากข้อมูลที่ได้เห็นว่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่า pH น้อยมาก คือ อยู่ในช่วง 3.91-4.01 ซึ่งอาจถือได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยสังเกตได้จากตารางที่ ก.23 ซึ่งแสดงอิทธิพลของอายุการเก็บต่อปริมาณ %acidity pH และ $^{\circ}$Brix พบว่าค่า pH ที่อายุการเก็บ 0 เดือน มีค่า pH สูงสุด คือ 4.00 เมื่ออายุการเก็บนานขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน pH ที่ได้มีค่า 3.94, 3.95, 3.94, 3.92, และ 3.93 ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่างของ pH ที่อายุการเก็บต่างๆ กัน เห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างของ pH ที่อายุการเก็บ 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ยกเว้นเดือนที่ 0 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ที่ได้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความแปรปรวนของวัตถุดิบที่นำมาใช้แปรรูปเป็นมะละกอกระป๋อง



รูปที่ 4.8 pH กับอายุการเก็บในมะละกอกระป๋อง

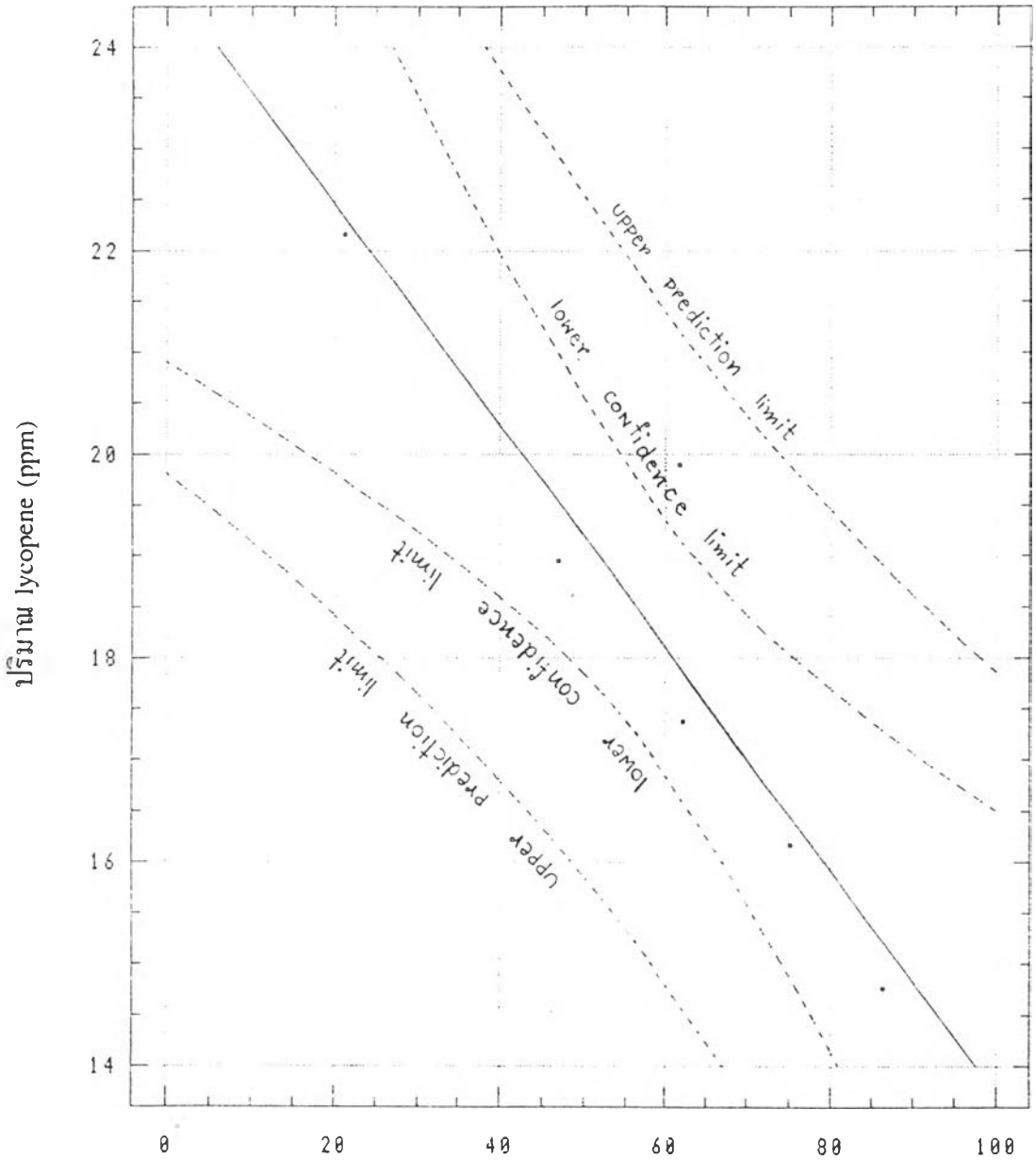
7. ศึกษาผลของชนิดมะละกอ ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บ ต่อปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้(°Brix)

จากผลการวิเคราะห์ แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำ(°Brix) ดังตารางที่ ก.21(ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังตารางที่ ก.22 พบว่า ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บ มีผลต่อค่า °Brix อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่มีผลต่อค่า °Brix ด้วย Duncan's new multiple range test ได้ผลดังตารางที่ ก.22 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง °Brix กับอายุการเก็บมะละกอกระป๋อง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่า °Brix มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บมะละกอกระป๋องนานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ในสับปะรดที่มีการเติมกรดแอสคอร์บิกและโซเดียมอิริธอร์เบท ที่บรรจุในกระป๋องต่างชนิดที่อายุการเก็บนาน 12 เดือน จากงานวิจัยของ รัตน์จิกา ชานะมัย(2535) พบว่าสับปะรดที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก มีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้อยู่ในช่วงที่ค่อนข้างคงที่ คือ 13.25-13.75 °Brix และสับปะรดที่มีการเติมโซเดียมอิริธอร์เบทที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกมีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อสังเกตจากข้อมูลที่ได้จะมีแนวโน้มลดลงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 14.05-13.25 °Brix และในทุกผลิตภัณฑ์สับปะรดกระป๋องมีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 13.10-14.25 °Brix ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่าผลิตภัณฑ์มะละกอเหลืองและมะละกอแดง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ที่อายุการเก็บ 10 เดือน มีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้อยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ 15.7-16.5 °Brix

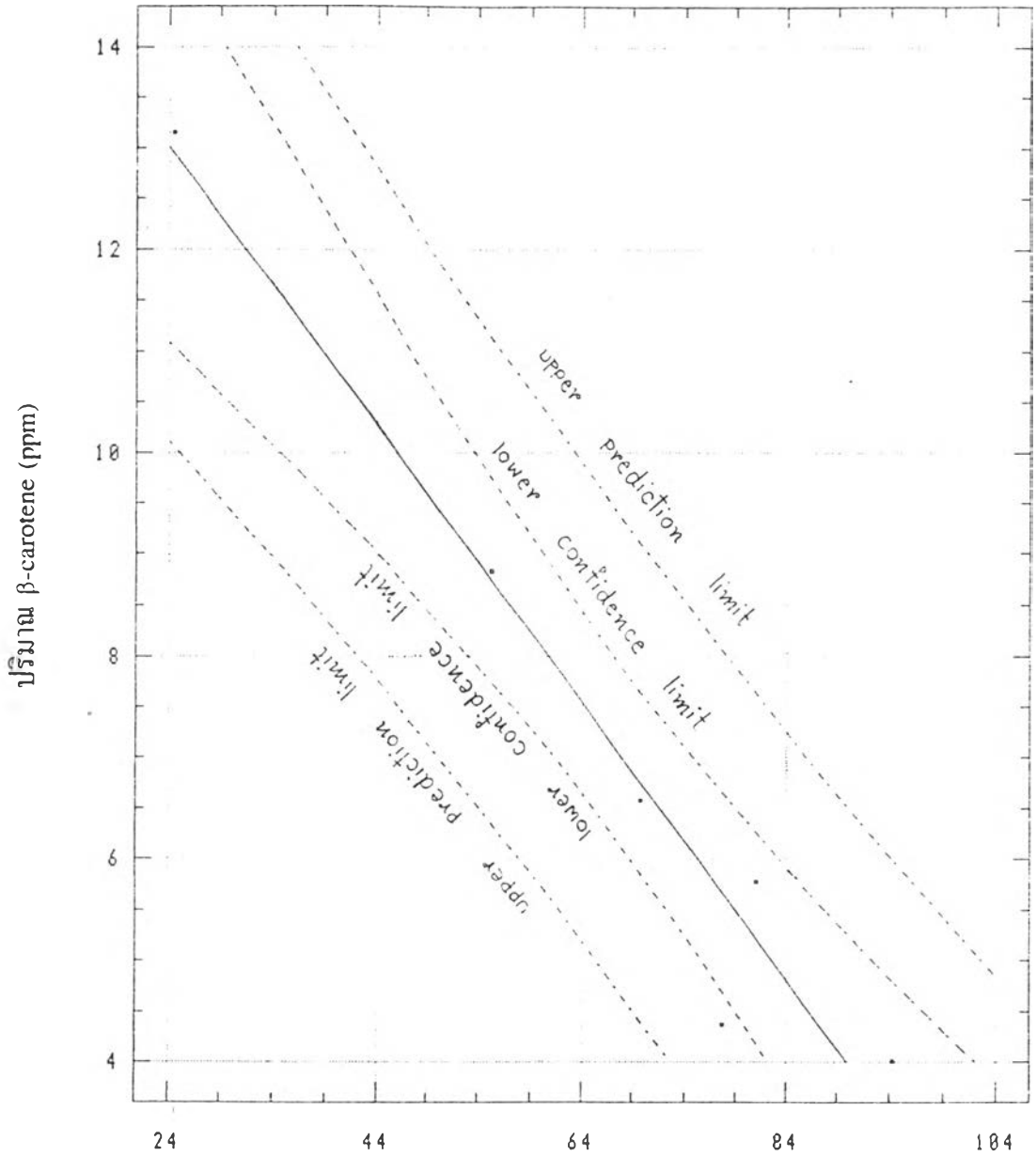


รูปที่ 4.9 ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ในน้ำกับอายุการเก็บในมะละกอกระป๋อง

จากการศึกษาผลขององค์ประกอบมะละกอกระป๋องต่อการละลายของดีบุกจากภาชนะบรรจุ โดยติดตามปริมาณการละลายของดีบุกในผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋องที่อายุการเก็บ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ร่วมกับการการวิเคราะห์ผลองค์ประกอบทางเคมีของมะละกอกระป๋อง เช่น ปริมาณ lycopene, β-carotene, cryptoxanthin ไนเตรต และกรดแอสคอร์บิก เป็นต้น พบว่าเมื่ออายุการเก็บมะละกอกระป๋องเพิ่มขึ้น ปริมาณ lycopene, β-carotene, cryptoxanthin ไนเตรต และกรดแอสคอร์บิกในมะละกอแดงและมะละกอเหลือง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มีค่าลดลง ขณะที่ปริมาณการละลายของดีบุกในมะละกอแดงและมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการละลายของดีบุกในมะละกอแดงและมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มีค่าคงที่ และจากสมบัติของไนเตรตและกรดแอสคอร์บิกที่ได้กล่าวไว้แล้วว่ามีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุก ทำให้มะละกอเหลืองบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก มีการละลายของดีบุกมากกว่ามะละกอแดงบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก เนื่องจากมะละกอเหลืองมีปริมาณไนเตรต และกรดแอสคอร์บิกมากกว่าในมะละกอแดง เมื่อพิจารณาถึงผลของรงควัตถุ lycopene และ β-carotene พบว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น lycopene ในมะละกอแดง และ β-carotene ในมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มีปริมาณลดลง โดยไม่มีความแตกต่างการลดลงของ lycopene และ β-carotene ระหว่างภาชนะบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า lycopene ที่มีอยู่ในมะละกอแดงและ β-carotene ในมะละกอเหลืองไม่มีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุก ดังนั้นจึงนำผลที่ได้จากการลดลงของปริมาณ lycopene และ β-carotene ที่มีอยู่ในมะละกอแดงและมะละกอเหลืองตามลำดับ มาพิจารณาหาความสัมพันธ์กับปริมาณการละลายของดีบุกในมะละกอแดงและมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.11 โดยแสดงความสัมพันธ์ของ lycopene ต่อการละลายของดีบุกในมะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก ดังในรูปที่ 4.10 มีค่า r = -0.865 และความสัมพันธ์ของ β-carotene ต่อการละลายของดีบุกในมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก ดังในรูปที่ 4.11 มีค่า r = -0.958 พบว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เส้นตรง และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางลบ กล่าวคือ ถ้าปริมาณ lycopene หรือ β-carotene ลดลงปริมาณการละลายของดีบุกมีค่าเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับสูง หรือมีขนาดของความสัมพันธ์มาก เนื่องจากมีค่า r > 0.8(ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง.) แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้ว่า lycopene และ β-carotene มีผลต่อการเร่งการละลายของดีบุก เนื่องจากไม่ทราบถึงกลไกของปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของ lycopene และ β-carotene



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง lycopene ต่อการละลายของดีบุก ในมะละกอแคงบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง β-carotene ต่อการละลายของดีบุก ในมะละกอเหลืองบรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก

การประเมินผลทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋อง ได้แก่ มะละกอแดงที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ มะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ให้มีความเข้มข้นของน้ำเชื่อมในผลิตภัณฑ์ 14-18 °Brix ทำการประเมินผลที่อายุการเก็บที่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ดังแสดงค่าเฉลี่ยของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะละกอกระป๋อง เมื่อพิจารณาในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ดังตารางที่ ก.26-ก.29 (ภาคผนวก ก.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติแบบ two-way analysis of variance ดังตารางที่ ก.30-ก.33

ผลของอายุการเก็บต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีของมะละกอกระป๋อง จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านสีของมะละกอกระป๋อง ดังตารางที่ ก.26 และก.31 พบว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับทางด้านสีของมะละกอแดงและมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องคลือบแลกเกอร์มีค่าลดลง เนื่องจากการเกิดสารสีน้ำตาล ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสาร furfural ที่ได้จากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก(รัตน์จิกา ชานะมัย, 2535) เป็นผลให้มะละกอมีสีออกสีน้ำตาลเล็กน้อยหรือมีสีคล้ำลง นอกจากนี้ยังพบว่ามีความแตกต่างของคะแนนการยอมรับในด้านสีของมะละกอแดงและมะละกอเหลือง โดยมะละกอเหลืองมีคะแนนการยอมรับทางด้านสีมากกว่ามะละกอแดง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างดีบุกที่ละลายออกมากับ β-carotene หรือ cryptoxanthin ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีอยู่ปริมาณมากในมะละกอเหลือง ทำให้มะละกอมีสีเหลืองสดขึ้น และยังสอดคล้องกับรายงานของ Priestly (1979) ที่ได้พบว่า β-carotene ในสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก มีการรวมตัวกับดีบุกเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเป็นผลให้สับปะรดมีสีเหลืองสด ดังนั้นเมื่อพิจารณาสีของมะละกอเหลืองโดยรวมแล้ว การยอมรับทางด้านสีจึงมากกว่ามะละกอแดง

ผลของอายุการเก็บต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในด้านกลิ่นรสของมะละกอกระป๋อง จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของมะละกอกระป๋อง ดังตารางที่ ก.27 และ ก.31 พบว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นรสของมะละกอแดงและมะละกอเหลือง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องคลือบแลกเกอร์มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ในมะละกอกระป๋องทุกชนิดมีปริมาณน้อยลง และจากการเกิดปฏิกิริยาของกรดแอสคอร์บิกเป็นผลให้เกิดการสะสม

ของไฮดรอกซิลเมทธิลเฟอร์ฟิวรอลมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสแปลกปลอมเป็นผลให้คะแนนด้านกลิ่นรสลดลง นอกจากนี้ยังพบว่ามะละกอแดงและมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุก มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสมากกว่ามะละกอแดงและมะละกอเหลืองที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahadeviah (1979) ที่ได้ทดลองบรรจุมะม่วงในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์พบว่ามีกลิ่นแปลกปลอมเนื่องจากกลิ่นของแลกเกอร์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Cabral และคณะ(1983) ที่ได้ศึกษาการบรรจุสับปะรดในกระป๋องเคลือบดีบุกกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ทั้ง 1 และ 2 ชั้น พบว่าสับปะรดที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ทั้ง 1 และ 2 ชั้น มีกลิ่นแปลกปลอม และการทดสอบด้านกลิ่นรสอยู่ในเกณฑ์ไม่ยอมรับ ทั้งนี้เป็นเพราะสับปะรดที่บรรจุในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ มีกลิ่นแปลกปลอมเนื่องจากสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และกลิ่นของแลกเกอร์ที่ละลายออกมา

ผลของอายุการเก็บต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในด้านเนื้อสัมผัสของมะละกอกระป๋อง จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ดังตารางที่ ก.28 และ ก.32 พบว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัสของมะละกอแดงและมะละกอเหลือง ที่บรรจุกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ รัตน์จิกา ชานะมัย(2535) ; Cabral และคณะ(2526) ที่ได้รายงานว่าการบรรจุสับปะรดในกระป๋องเคลือบดีบุก กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ 1 และ 2 ชั้น พบว่าเมื่ออายุการเก็บนานขึ้นคะแนนการยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัสลดลงแต่ไม่ได้อธิบายถึงเหตุผลไว้ สำหรับคะแนนการยอมรับในด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ ก.29-ก.33 พบว่ามีคะแนนการยอมรับตลอดช่วงอายุการเก็บ 10 เดือน