บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ และอายุการวางจำหน่ายของผัก 25 ชนิด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้

สารสกัดจากกะหล่ำปลีสีม่วงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้มากที่สุดในกลุ่มผักบริโภคใบ และมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับผักทั้งหมดในการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 4427.8±381.7 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมากกว่าบรอกโคลีและยอดผักชาโยเต้ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้เท่ากับ 1765.6±183.0 และ 1007.5±54.8 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 3) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Mattila and Hellström (2006) ที่พบว่าสารสกัดจากกะหล่ำปลีสีม่วงมีปริมาณกรดฟีนอลที่ละลายได้มากกว่าบรอกโคลี พริกหวานสีเขียว สีเหลือง สีแดง แครอท และบีท สำหรับกลุ่มผักบริโภคผล พริกหวานสีแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้สูงที่สุดเท่ากับ 2870.5±116.6 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด มากกว่าพริกหวานสีเหลืองและสีเขียวที่มีปริมาณเท่ากับ 2560.3±81.2 และ 1989.2±64.5 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 4) กลุ่มผักบริโภคส่วนราก บีทมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้สูงกว่าแครอท ซึ่งมีค่า 620.8±79.6 และ 267.1±17.2 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 5)

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัย (r) เท่ากับ 0.90 (ภาพ 13) ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงถึงความเกี่ยวข้องกันระหว่างสองปัจจัย โดยปัจจัยทั้งสองจะเกี่ยวข้องกันมากที่สุดเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งความสัมพันธ์ในเชิงบวกของปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou and Yu (2005) ที่ได้ศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผัก 8 ชนิด โดยพบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอล นอกจากนี้ Mahattanatawee *et al.* (2006) ศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้เขตร้อนทั้งจากวิธี DPPH และ ORAC พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัย (*r*) สูงถึง 0.96 แต่พบว่าปริมาณต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณวิตามินซีเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีค่า *r* เท่ากับ 0.23 เท่านั้น อาจเป็นเพราะว่าสารประกอบฟีนอลเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีกิจกรรมสูง (Mahattanatawee *et al.*, 2006; Cao *et al.*, 1996) Cai *et al.* (2003) ศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ betalains จากพืชวงศ์ Amaranthaceae พบว่า บีตาเลนมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีถึง 4 เท่า และ Vaillant *et al.* (2005) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างแก้วมังกรสีขาวและสีแดง พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลโดยเฉพาะ betalains และสารสีในผลไม้

ปริมาณวิตามินซี คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน

ผักแต่ละชนิดมีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกัน ในผักบริโภคใบพบว่าผักที่มีปริมาณวิตามินซีสูงสุด 3 ชนิดแรก คือ บรอกโคลี กะหล่ำปลีสีม่วง และผักกาดขาวปลี ซึ่งปริมาณเท่ากับ 56.0±7.3, 49.1±12.3 และ 30.4±8.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 3) สำหรับผักบริโภคผลพบว่าพืชตระกูลพริกมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผักทุกชนิดในกลุ่มเดียวกัน โดยพริกหวานสีแดงมีปริมาณวิตามินซีสูงถึง 165.8±4.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง 4) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Howard *et al.* (2000) ที่รายงานว่าพริกหวานพันธุ์การค้าแทบทุกชนิด (*Capsicum* sp.) เป็นแหล่งของวิตามินเอ ซี และกรดฟีนอลหลายชนิด ส่วนปริมาณวิตามินซีในแครอทมีค่าใกล้เคียงกับบีท

จากการศึกษาสารประกอบที่ให้สีม่วงแดงหรือสีชมพูในบีท ผักกาดหอมใบแดง และกะหล่ำปลีสีม่วง พบว่ามีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 51.1±0.9, 9.9±1.1 และ 143.2±13.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 6) ในหัวบีทมีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด betacyanins สูง แต่สามารถสลายตัวได้ง่ายภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 14 องศาเซลเซียส รวมทั้งการสัมผัสกับอากาศและแสง (Cai *et al.*, 1998)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมพบว่ามะเขือเทศเชอรีและมะเขือเทศผลโตมีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสูงถึง 12.37±0.19 และ 15.74±0.06 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดย lycopene, lutein และ β-carotene เป็นชนิดของแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่ที่พบ ซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 70 ของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Tonucci *et al.*, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

ในกลุ่มผักบริโภคใบ กะหล่ำปลีสีม่วงมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเท่ากับ 241.7±22.3 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือผักปวยเล้ง และผักกาดหอมใบแดง ที่มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 96.4±3.4 และ 51.3±1.3 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 3) สาเหตุที่กะหล่ำปลีสีม่วงมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากมีรายงานว่าในใบของกะหล่ำปลีสีม่วงมีสารประกอบ acylated anthocyanins หรือแอนโทไซยานินชนิดที่มีการเชื่อมต่อกับกรดและหมู่ของน้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม สารชนิดนี้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีกิจกรรมสูง มีความคงตัวสูงและนิยมนำมาเป็นอาหารเสริมในปัจจุบัน (Giusti and Wrolstad, 2003) นอกจากนี้แอนโทไซยานินชนิด cyanidin ที่พบในกะหล่ำปลีสีม่วงเมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC พบว่ามีค่ามากกว่าฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของ black carrot อีกทั้งมีประสิทธิภาพมากกว่าแอนโทไซยานินชนิดอื่นในสารสีกลุ่มเดียวกัน (Stintzing *et al.*, 2002) สำหรับกลุ่มผักบริโภคผลพริกหวานสีแดงมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเท่ากับ 99.8±3.9 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีเขียวและพริกหวานสีเหลืองซึ่งมีค่าเท่ากับ 89.7±11.0 และ 85.6±3.5 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 4) อาจเนื่องมาจากในพริกหวานทั้ง 3 สี มีแคโรทีนอยด์ชนิดเดียวกันคือ capsanthin, β-carotene และ violaxanthin และยังพบในผักประเภทใบ เช่น ปวยเล้ง แคโรทีนอยด์ทั้ง 3 ชนิด นี้เป็นสารประกอบสำคัญและถูกจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน (Zhang and Hamauzu, 2004; Curl, 1962) สำหรับกลุ่มผักบริโภคส่วนรากพบว่าบีทมีกิจกรรมของต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแครอท ซึ่งมีค่า 81.6±6.1 และ 11.6±3.9 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 5) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cao *et al.* (1996) ที่รายงานว่า บีทมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแครอทถึง 4 เท่า เมื่อเทียบเป็นน้ำหนักแห้งของตัวอย่างผักแต่ละชนิด เนื่องจากในเนื้อเยื่อของบีทมีสารประกอบที่เรียกว่าบีตาเลนหรือ multiple betalain components (บีตาไซยานิน: betacyanins มีสีม่วงแดง และบีตาแซนทิน: betaxanthins มีสีเหลือง) (Lee *et al.*, 2005) บีตาเลนที่มีศักยภาพสูงประกอบไปด้วยโมเลกุลของกรดฟีนอลหรืออนุพันธุ์หมู่เอสเทอร์ของกรดนั้น (Bokern *et al.*, 1991; Waldron *et al.*, 1997) ในทางการแพทย์พบว่า บีตาไซยานิน กรดฟีนอล และฟลาโวนอยด์ที่พบในบีทจัดเป็นสารชีวเคมีที่มีความสามารถในการป้องกันโรคมะเร็ง โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดสารก่อมะเร็ง (carcinogens) หลายชนิดตัวอย่าง เช่น อนุมูลอิสระ และ genotoxic electrophiles เป็นต้น (Wettasinghe *et al.*, 2002) ดังนั้นผักหรือผลไม้ที่มีสีแดงหรือสีม่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นองค์ประกอบหลัก จัดได้ว่าเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลที่สำคัญ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน (Cieslik *et al*., 2006) และกรดฟีนอล เช่น caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, cholorogenic acid, hydroxybenzoic acid และอนุพันธุ์ของสารประกอบเหล่านี้สามารถมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้เป็นอย่างดี (Mattila and Hellström, 2006) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของสารสีที่พบในผักชนิดนั้น ซึ่งมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน

อายุการวางจำหน่าย

เมื่อนำผัก 25 ชนิด มาเก็บรักษาในสภาพจำลองชั้นวางจำหน่าย (ภาพภาคผนวก 1) เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษา พบว่า ลักษณะการเสื่อมสภาพทางทางสรีรวิทยาหลายประการสามารถใช้เป็นดัชนีกำหนดอายุการวางจำหน่ายของผักบางชนิดได้ ตัวอย่างอาการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยาระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ผักแสดงอาการใบเหี่ยว เช่น ปวยเล้ง ผักกาดหวาน และผักกาดขาวปลี และผลเหี่ยว เช่น พริกหวานและมะเขือเทศ ผักบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงสีของใบหรือดอก ตัวอย่างเช่น อาการดอกเหลืองของบรอกโคลี อาการใบเหลืองของเซเลอรีและหอมต้น นอกจากนี้ผักบางชนิดเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด เช่น กะหล่ำปลี กะหล่ำปลีสีม่วง ผักกาดหางหงส์ ผักกาดหอมใบแดง และผักกาดหอมห่อ เป็นต้น สำหรับถั่วแขก มะเขือเทศผลโต และมะเขือเทศเชอรีมีการเจริญของเชื้อราและเกิดโรคเน่าเละบริเวณขั้วผลขึ้น เมื่อนำลักษณะต่างๆ มาใช้ประเมินอายุการวางจำหน่ายโดยกลุ่มตัวแทนผู้บริโภค สามารถแบ่งอายุการวางจำหน่ายของผัก 25 ชนิด ได้ 3 ช่วงการเก็บรักษาคือ ผักที่มีอายุการวางจำหน่ายน้อยกว่า 7 วัน ได้แก่ กระเทียมต้น ปวยเล้ง ผักกาดหอมห่อ เซเลอรี ผักกาดหวาน ยอดผักชาโยเต้ ถั่วแขก ผักกาดหอมใบแดง และบรอกโคลี (ภาพ 15) กลุ่มผักที่มีอายุการวางจำหน่าย มากกว่า 7 วัน แต่ไม่เกิน 14 วัน ได้แก่ กะหล่ำปลี แตงกวายาว ผักกาดหางหงส์ ข้าวโพดหวาน บีท หอมต้น ซุกินี ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีสีม่วง (ภาพ 16) โดยผักที่มีอายุการวางจำหน่าย มากกว่า 14 วัน ได้แก่ แครอท พริกหวานสีเขียว พริกหวานสีเหลือง พริกหวานสีแดง ฟักทองญี่ปุ่น มะเขือเทศผลโต และมะเขือเทศเชอรี (ภาพ 17) โดยอายุการวางจำหน่ายของผัก 25 ชนิด แสดงใน ตาราง 7 นอกจากลักษณะปรากฏในเรื่องสี ความสด และการเกิดโรคหรือแผลแล้ว ผักบางชนิดแสดงอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาระหว่างการวางจำหน่าย เช่น อาการสะท้านหนาวของซุกินี แตงกวายาว และพริกหวาน หรือการงอกของต้นอ่อนและรากอ่อนของบีทและแครอท ซึ่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและความผิดปกติทางสรีรวิทยาดังกล่าวผู้ประเมินได้นำมาใช้เป็นเงื่อนไขประกอบการประเมินคุณภาพด้านลักษณะปรากฏเพื่อกำหนดอายุการวางจำหน่ายของผักทั้ง 25 ชนิด (ภาพภาคผนวก 2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักกลุ่มบริโภคใบ

ตัวอย่างผัก	ส่วนที่นำมาวิเคราะห์	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
กระเทียมต้น	ใบ, กาบใบ	375.0±9.8^{de}	9.5±2.9^{d}	4.2±1.2^{e}
กะหล่ำปลี	ใบ	560.9±20.8^{d}	25.3±3.8^{bc}	8.2±3.9^{e}
เซเลอรี	ใบ, กาบใบ	289.6±7.3^{ef}	3.8±0.0^{e}	8.2±3.1^{e}
ปวยเล้ง	ใบ	992.5±16.7^{c}	18.8±1.1^{bc}	96.4±3.4^{b}
ผักกาดขาวปลี	ใบ	297.1±28.0^{ef}	30.4±8.4^{b}	15.2±2.6^{e}
ผักกาดหวาน	ใบ	307.6±20.1^{ef}	4.4±0.6^{e}	9.4±1.6^{e}
ผักกาดหอมใบแดง	ใบ	1040.5±96.3^{c}	3.8±0.0^{e}	51.3±1.3^{c}
ผักกาดหอมห่อ	ใบ	210.1±20.7^{f}	3.2±0.6^{e}	17.1±1.2^{de}
ผักกาดหางหงส์	ใบ	250.6±14.3^{ef}	16.4±0.6^{cd}	15.2±2.5^{e}
หอมต้น	กาบใบ	649.3±22.5^{d}	13.0±1.1^{cd}	23.3±5.7^{de}
ยอดผักชาโยเต้	ยอดและใบอ่อน	1007.5±54.8^{c}	5.6±0.0^{d}	25.3±1.7^{de}
บรอกโคลี	ดอก	1765.6±183.0^{b}	56.0±7.3^{a}	39.0±5.3^{cd}
กะหล่ำปลีสีม่วง	ใบ	4427.8±381.7^{a}	49.1±12.3^{a}	241.7±22.3^{a}
$LSD_{0.05}$	-	314.0	14.0	22.8
C.V. (%)	-	29.6	35.2	39.7

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักกลุ่มบริโภคผล

ตัวอย่างผัก	ส่วนที่นำมาวิเคราะห์	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
ข้าวโพดหวาน	เมล็ดทั้งหมด	646.3±50.3^{e}	8.8±0.6^{de}	24.4±1.6^{bc}
ซุกินี	ผลทั้งหมด	508.4±19.9^{efg}	4.5±0.6^{e}	11.4±1.8^{cd}
แตงกวายาว	ผลทั้งหมด	331.5±17.5^{g}	4.9±1.2^{e}	15.2±1.7^{cd}
ถั่วแขก	ฝัก	574.3±29.1^{ef}	5.8±1.1^{e}	22.6±1.7^{bcd}
พริกหวานเขียว	ผลทั้งหมด	1989.2±64.5^{c}	114.9±14.9^{b}	89.7±11.0^{a}
พริกหวานแดง	ผลทั้งหมด	2870.5±116.6^{a}	165.8±4.7^{a}	99.8±3.9^{a}
พริกหวานเหลือง	ผลทั้งหมด	2560.3±81.2^{b}	163.4±2.7^{a}	85.6±3.5^{a}
ฟักทองญี่ปุ่น	เนื้อสีเหลือง	655.3±55.7^{e}	6.3±0.6^{e}	5.2±2.2^{d}
มะเขือเทศผลโต	ผลทั้งหมด	456.0±28.8^{fg}	22.0±2.6^{cd}	29.1±2.8^{bc}
มะเขือเทศเชอรี	ผลทั้งหมด	889.1±104.1^{d}	25.6±0.6^{c}	36.3±1.7^{b}
$LSD_{0.05}$	-	186.6	15.1	17.9
C.V. (%)	-	14.0	17.0	34.9

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 5 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักกลุ่มบริโภคส่วนราก

ตัวอย่างผัก	ส่วนที่นำมาวิเคราะห์	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
แครอท	รากสะสมอาหาร	267.1±17.2	3.1±0.6	11.6±3.9
บีท	รากสะสมอาหาร	620.8±79.6	31.7±6.3	81.6±6.1
P-value	-	0.006	0.045	0.000

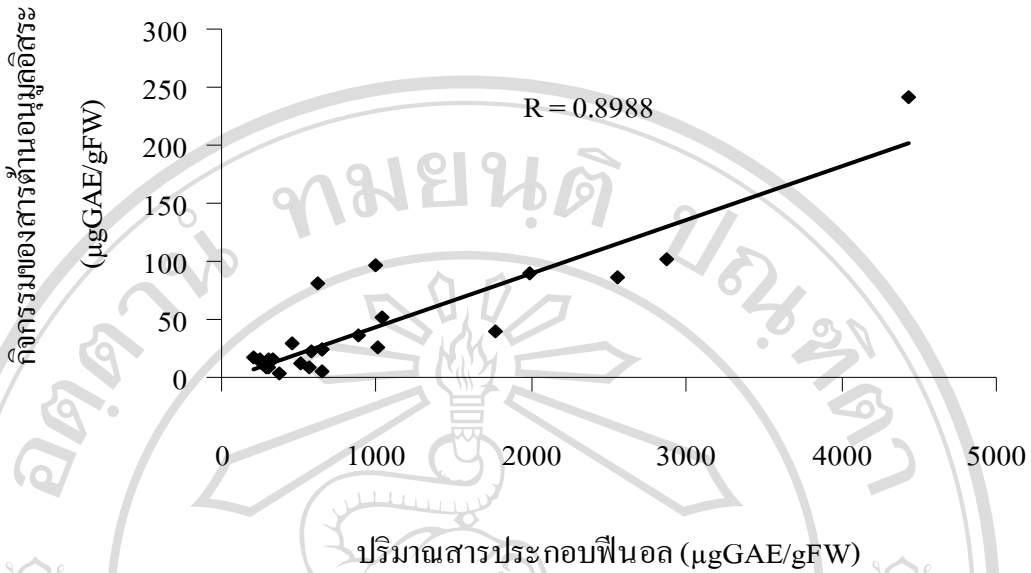
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 6 ปริมาณแอนโทไซยานิน คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์รวมของผัก 25 ชนิด

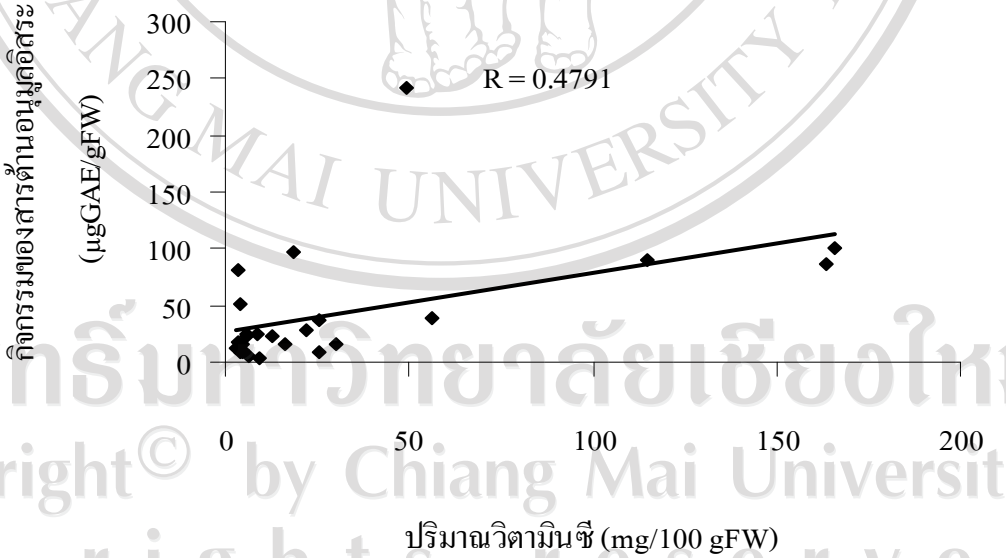
ตัวอย่างผัก	ปริมาณ แอนโทไซยานิน (mg/100 gFW)	ปริมาณ คลอโรฟิลล์รวม (mg/100 gFW)	ปริมาณ แคโรทีนอยด์รวม (µg/gFW)
กระเทียมต้น	-	0.045±0.007	-
กะหล่ำปลี	-	0.015±0.006	-
ข้าวโพดหวาน	-	-	0.69±0.07
แครอท	-	-	0.75±0.09
ซุกินี	-	0.076±0.014	-
เซเลอรี	-	0.089±0.019	-
แตงกวายาว	-	0.058±0.007	-
ถั่วแขก	-	0.070±0.001	-
บีท	51.1±0.9	-	-
ปวยเล้ง	-	0.235±0.030	-
ผักกาดขาวปลี	-	0.006±0.006	-
ผักกาดหวาน	-	0.106±0.037	-
ผักกาดหอมใบแดง	9.9±1.1	0.285±0.015	-
ผักกาดหอมห่อ	-	0.018±0.009	-
ผักกาดหางหงส์	-	0.006±0.000	-
พริกหวานสีเขียว	-	0.092±0.004	-
พริกหวานสีแดง	-	-	5.43±0.14
พริกหวานสีเหลือง	-	-	4.64±0.15
ฟักทองญี่ปุ่น	-	-	8.73±0.54
หอมต้น	-	0.049±0.009	-
ยอดผักชาโยเต้	-	0.174±0.009	-
บรอกโคลี	-	0.065±0.007	-
กะหล่ำปลีสีม่วง	143.2±13.0	-	-
มะเขือเทศผลโต	-	-	12.37±0.19
มะเขือเทศเชอรี	-	-	15.74±0.06

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

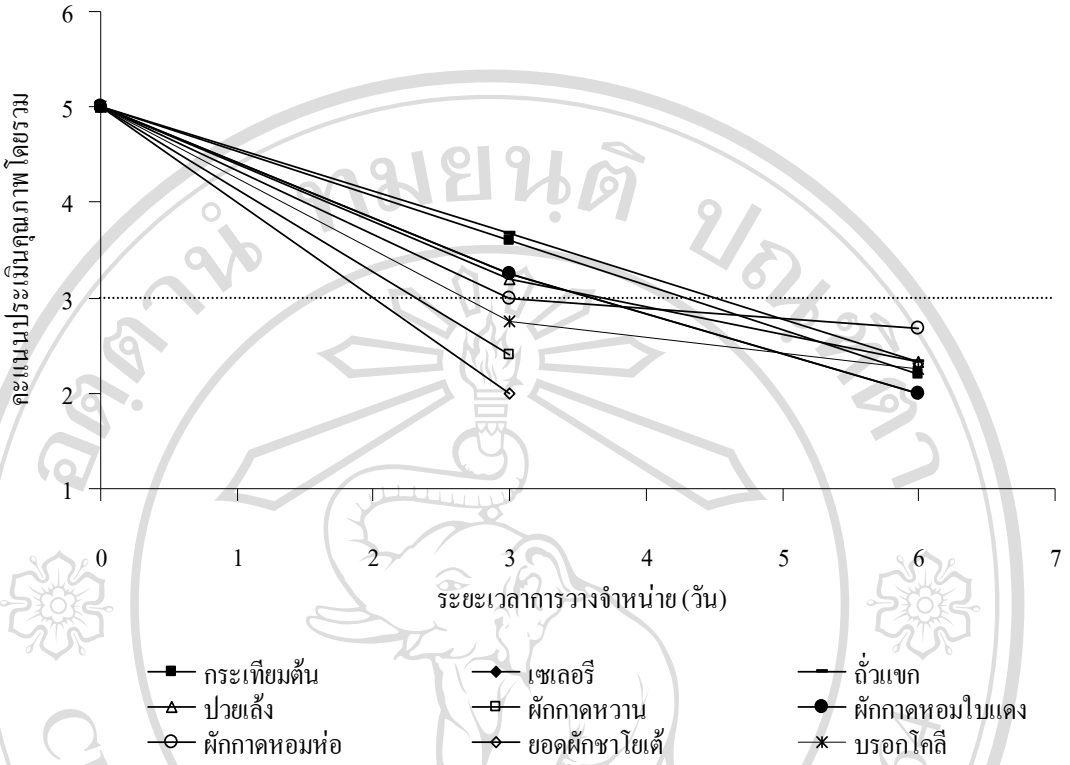


ภาพ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณสารประกอบฟีนอลของผัก 25 ชนิด



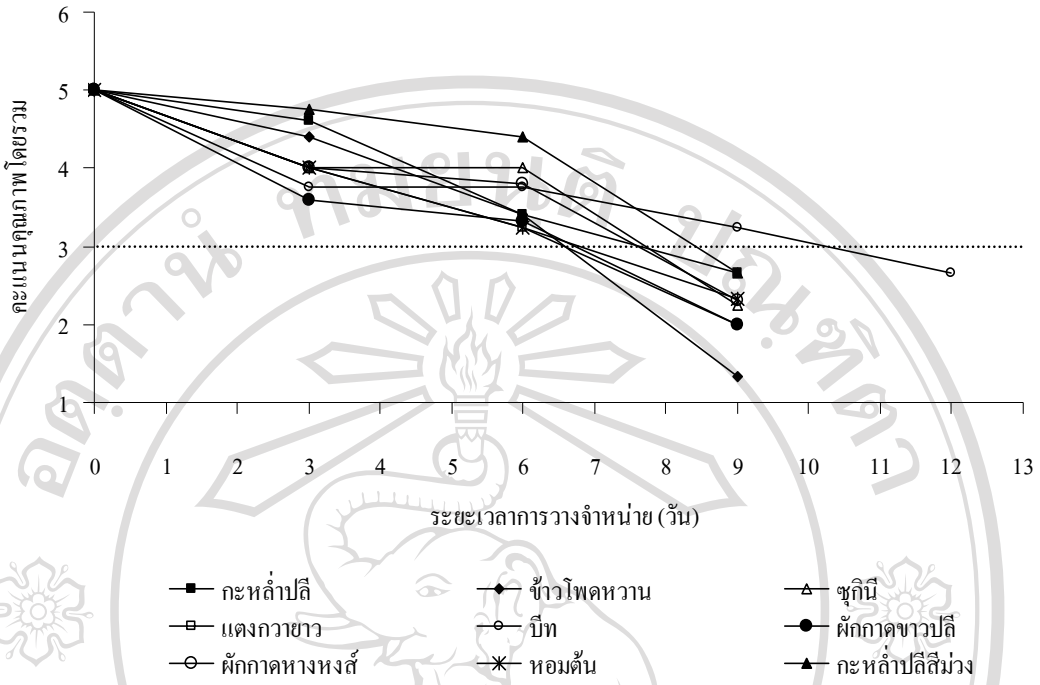
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณวิตามินซีของผัก 25 ชนิด



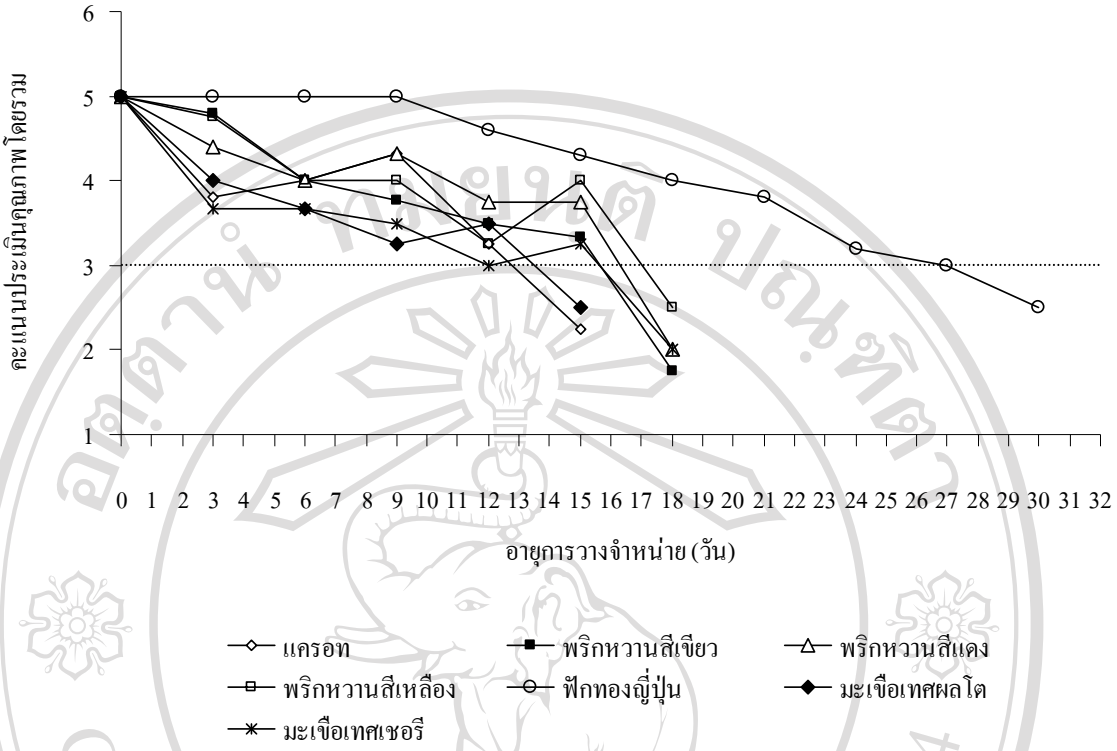
ภาพ 15 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการประเมินคุณภาพโดยรวมของผักที่มีอายุการวางจำหน่ายน้อยกว่า 7 วัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 16 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการประเมินคุณภาพโดยรวมของผักที่มีอายุการวางจำหน่ายมากกว่า 7 วัน แต่ไม่เกิน 14 วัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 17 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการประเมินคุณภาพโดยรวมของผักที่มีอายุการวางจำหน่ายมากกว่า 14 วัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 7 อายุการวางจำหน่ายของผัก 25 ชนิด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10.0 ± 2.0 องศาเซลเซียส ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยและค่าแสดงความผิดพลาด (n=10)

ตัวอย่างผัก	ระยะเวลาการวางจำหน่าย (วัน)
กระเทียมต้น	5.80±0.13
กะหล่ำปลี	9.00±0.17
ข้าวโพดหวาน	8.60±0.15
แครอท	13.60±0.23
ซุกินี	9.00±0.00
เซเลอรี	5.60±0.21
แตงกวายาว	8.80±0.13
ถั่วแขก	5.60±0.15
บีท	11.20±0.18
ปวยเล้ง	5.40±0.15
ผักกาดขาวปลี	8.40±0.19
ผักกาดหวาน	2.60±0.15
ผักกาดหอมใบแดง	5.60±0.13
ผักกาดหอมห่อ	5.60±0.23
ผักกาดหางหงส์	8.60±0.15
พริกหวานสีเขียว	17.00±0.17
พริกหวานสีแดง	16.60±0.22
พริกหวานสีเหลือง	17.40±0.15
ฟักทองญี่ปุ่น	28.20±0.13
หอมต้น	8.00±0.00
ยอดผักชาโยเต้	2.60±0.19
บรอกโคลี	5.20±0.18
กะหล่ำปลีสีม่วง	8.60±0.23
มะเขือเทศผลโต	14.20±0.23
มะเขือเทศเชอรี	17.20±0.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักบางชนิดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

การทดลองที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณสารประกอบฟีนอล

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุดเท่ากับ 1807.8±27.3 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิก 1 กรัมน้ำหนักสด และที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยที่สุดเท่ากับ 1387.1±17.6 ไมโครกรัมต่อกรดแกลลิก 1 กรัมน้ำหนักสด สำหรับพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 1611.3±20.2 และ1482.0±11.3 ไมโครกรัมต่อกรดแกลลิก 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลของทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 8) พริกหวานมีสารประกอบฟีนอลปริมาณสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง flavonoids, quercetin และ luteolin (Lee *et al*., 1995) สารประกอบฟีนอลเหล่านี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้สารประกอบฟีนอลเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นสารประกอบ *o*-quinones ซึ่งสูญเสียหน้าที่การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงการส่งผลให้เนื้อเยื่อของผลิตผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งทำให้คุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเสื่อมไป (Mayer and Harel, 1979; Lamikanra and Watson, 2001; Gónzalez-Barrio *et al.*, 2005)

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 26 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 18, ตารางภาคผนวก 33) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบฟีนอลและการทำงานของเอนไซม์ PPO ในพริกหวานสีแดง เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ PPO คือ 40 องศาเซลเซียส (Xu, 2005) นอกจากนี้ พริกหวานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังคงเกิดการสะสมอนุพันธุ์ของ สารประกอบ hydroxycinnamic acid

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ (Raffo *et al.*, 2008) จึงส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลของพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงท้ายของการเก็บรักษา

ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 171.7±6.8, 163.8±5.8 และ 180.1±4.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 191.0±6.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่ามากกว่าพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส (ตาราง 8) พริกหวานสีแดงเป็นแหล่งของสารอาหารที่จำเป็นสำหรับร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินซี (Biacs *et al.*, 1992) ปริมาณวิตามินซีของพริกหวานสีแดงมีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 157 ถึง 211 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (Raffo *et al.*, 2007) พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่ากรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ10 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากวิตามินซีเป็นสารอาหารที่ถูกทำลายได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะเร่งกระบวนการออกซิเดชันของวิตามินซีให้เปลี่ยนเป็นสารอื่น (สายชล, 2528)

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 26 วัน พบว่า พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา ในผลไม้และผักบริโภคผลมักไม่มีการสูญเสียวิตามินซีระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นเพราะผลิตผลดังกล่าวมีกรดอินทรีย์อยู่มาก โดยทั่วไปการสูญเสียวิตามินซีของผลิตผลมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาของการเก็บรักษา ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิสูง มักจะมีการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามในบางกรณีพบว่า การเก็บผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำอาจเป็นสาเหตุให้ผลิตผลสูญเสียวิตามินซีมากขึ้น ตัวอย่างเช่น มันฝรั่งที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าที่อุณหภูมิสูง (จริงแท้, 2544) ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยา ascorbate peroxidation ซึ่งมีเอนไซม์ ascorbate peroxidase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ถูกยับยั้ง (Jiménez *et al.*, 2002) จึงส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณวิตามินซีมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 19,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางภาคผนวก 26) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ González-Aguilar *et al.* (2004) ที่พบว่า ปริมาณวิตามินซีของพริกหวานสีแดงพร้อมปรุงมีค่าคงที่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 วัน เนื่องจากระหว่างกระบวนการชราภาพของพริกหวานสีแดง เอนไซม์ ascorbate peroxidase มีกิจกรรมลดลง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยา ascorbate peroxidation ลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีในเนื้อเยื่อของพริกหวานสีแดงมีปริมาณคงที่ระหว่างการเก็บรักษาหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Jiménez *et al.*, 2002)

ปริมาณแคโรทีนอยด์

เมื่อนำพริกหวานสีแดงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง พบว่า วันที่ 6 ของการเก็บรักษา ปริมาณของแคโรทีนอยด์ของพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิห้องและ 0 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 7.24±0.10 และ 6.76±0.10 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่ามากกว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.10±0.28 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด สำหรับพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าเท่ากับ 5.82±0.51 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส (ตาราง 8) สารสีแคโรทีนอยด์หลายชนิดถูกสังเคราะห์เพิ่มขึ้นในระยะความแก่ของผลพริกหวานสีแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแคโรทีนอยด์ที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง (oxygenated carotenoids) เช่น capsanthin, capsorubin และ crypto-capsin ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Matsufuji *et al.*, 1998) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พริกหวานสีแดงในกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สารสีแคโรทีนอยด์หลายชนิดถูกสังเคราะห์เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด ส่วนการเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสารทางเมแทบอลิซึมได้ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าใกล้เคียงกับวันแรกของการเก็บรักษา Raffo *et al.* (2007) รายงานว่า การเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 7.5 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน ปริมาณแคโรทีนอยด์อาจมีค่าคงที่หรือลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ชนิด capsanthin และ cucurbitaxanthin A ที่เพิ่มสูงขึ้น หรือแคโรทีนอยด์ชนิด β-carotene ที่มีปริมาณลดลง

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 26 วัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริกหวานสีแดงในกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา สำหรับพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 20, ตารางภาคผนวก 30) ความผันแปรของปริมาณแคโรทีนอยด์ลักษณะนี้สามารถอธิบายในด้านการจัดการหลังเก็บเกี่ยวได้ว่า พริกหวานสีแดงยังคงเกิดปฏิกิริยาทางสรีระวิทยาเคมีอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์ทางชีวเคมี และการเปลี่ยนแปลงสารทางเมแทบอลิซึมในระหว่างกระบวนการพัฒนาสี ขณะที่การลดลงของสารดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น การเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยา และการหายใจของเนื้อเยื่อพืช อย่างไรก็ตาม ปริมาณแคโรทีนอยด์ในพริกหวานสีแดงอาจเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา และอาจเพิ่มมากขึ้น 2 ถึง 3 เท่าจากปริมาณที่มีอยู่เดิม (Hornero-Méndez *et al.*, 2000)

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 10 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 259.1±3.2 และ 248.3±4.1 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าเท่ากับ 226.4±7.9 และ 227.9±6.0 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีกิจกรรมน้อยกว่ากรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 10 องศาเซลเซียส (ตาราง 8) กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในพริกหวานสีแดงขึ้นอยู่กับปริมาณแคโรทีนอยด์ (Hornero-Méndez *et al.*, 2000) ปริมาณวิตามินซี (Deepa *et al.*, 2006) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (Rice-Evans and Miller, 1996; Hasler, 1998) โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณแคโรทีนอยด์และวิตามินซีมากที่สุดซึ่งอาจส่งผลให้มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงตามไปด้วย

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 26 วัน พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา สำหรับกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องพบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ภาพ 21, ตารางภาคผนวก 32) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณแคโรทีนอยด์ กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ในพริกหวานสีแดง ซึ่ง Raffo *et al.* (2008) รายงานว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงสัมพันธ์กับปริมาณแคโรทีนอยด์ชนิด capsanthin, cucurbitaxanthin A, zeaxanthin, β-carotene และ β-cryptoxanthin มากกว่าฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ และ hydroxycinnamate derivatives

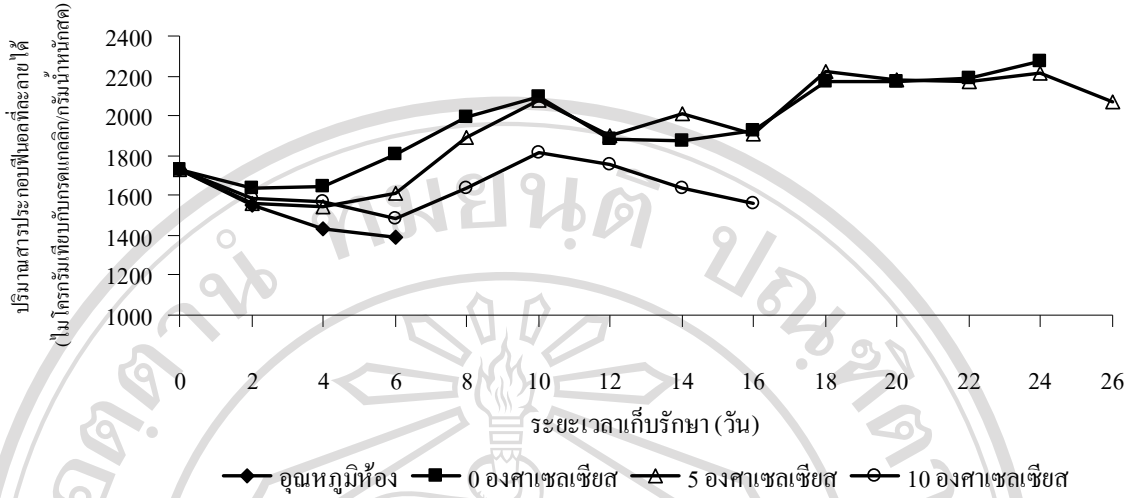
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 8 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

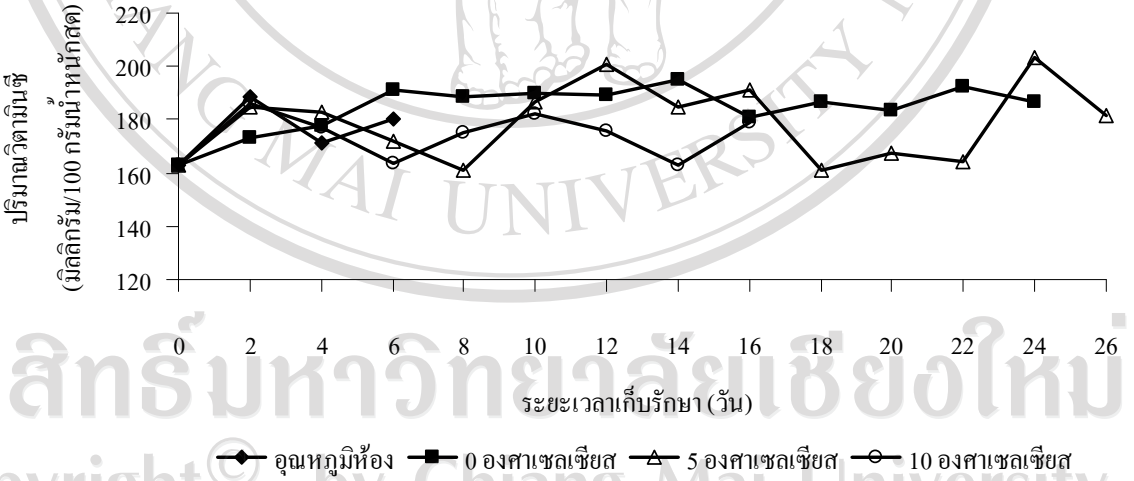
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (µg/gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
อุณหภูมิห้อง	1387.1±17.6^{d}	180.1±4.3^{ab}	7.24±0.10^{a}	259.1±3.2^{a}
0 ºC	1807.8±27.3^{a}	191.0±6.0^{a}	6.76±0.10^{ab}	226.4±7.9^{b}
5 ºC	1611.3±20.2^{b}	171.7±6.8^{b}	5.10±0.28^{c}	227.9±6.0^{b}
10 ºC	1482.0±11.3^{c}	163.8±5.8^{b}	5.82±0.51^{bc}	248.3±4.1^{a}
C.V. (%)	3.1	5.7	7.7	4.3
$LSD_{0.05}$	58.9	18.9	0.98	15.3

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

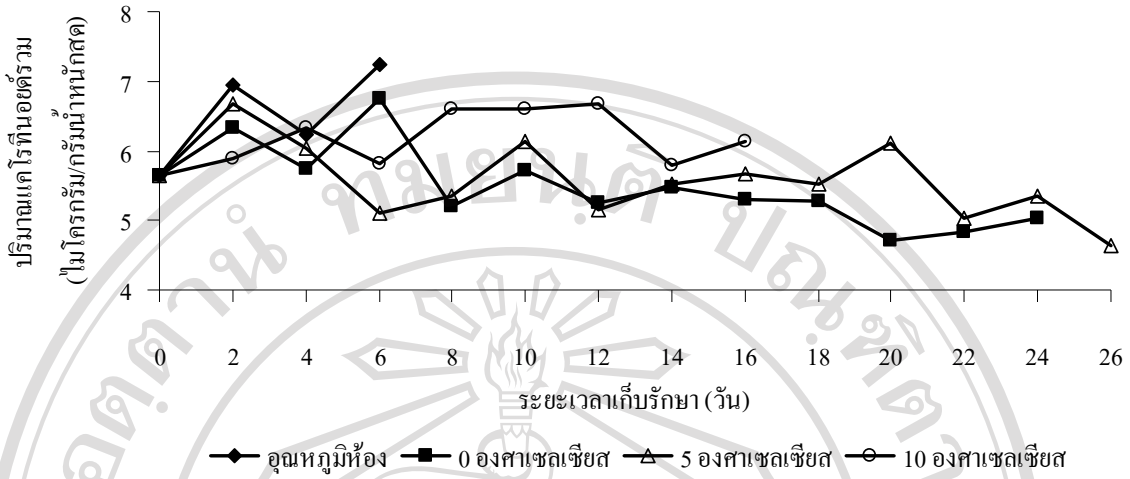


ภาพ 18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

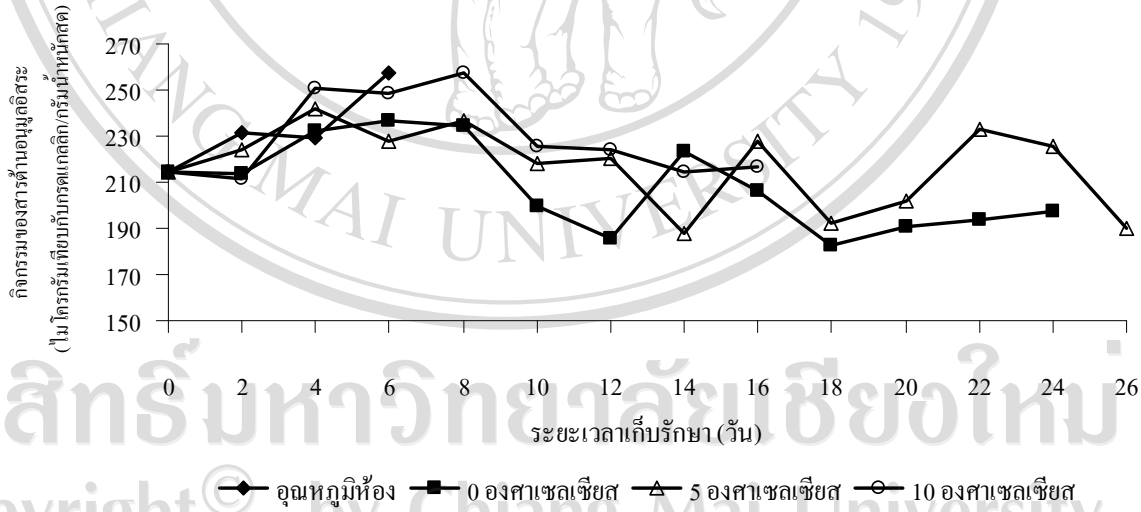


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน



ภาพ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์รวมของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 21 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

สี

การศึกษาทางกายภาพของพริกหวานสีแดง โดยการนำพริกหวานสีแดงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ผลของพริกหวานสีแดงมีค่า L* เท่ากับ 33.16±0.46, 32.07±0.53, 33.03±1.07 และ 33.92±0.45 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 9) นอกจากนี้ เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงเป็นเวลา 26 วัน พบว่า ค่า L* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในทุกกรรมวิธีการเก็บรักษา (ภาพ 22 , ตารางภาคผนวก 27) ค่า L* เป็นค่าที่บอกถึงความสว่างของวัตถุที่แสงตกกระทบ มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ถ้าค่า L* มากหมายถึงวัตถุนั้นมีความสว่างมาก และถ้าค่า L* น้อยหมายถึงวัตถุนั้นมีความมืดมาก (McGuire, 1992) การที่ค่า L* ลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษาอาจเป็นเพราะผลพริกมีการพัฒนาสีจากสีแดงไปเป็นสีแดงที่เข้มมากขึ้นจึงส่งผลให้ความสว่างของสีผลพริกลดลงตามไปด้วย

ค่า chroma ของสีผลพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 36.70±1.92 โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสีของผลพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.17±2.31, 43.96±1.34 และ 42.78±0.78 ตามลำดับ (ตาราง 9) เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงเป็นเวลา 26 วัน พบว่า ค่า chroma ของกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา แต่กลับพบว่ามีแนวโน้มลดลงในผลพริกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ภาพ 23, ตารางภาคผนวก 28) ค่า chroma เป็นค่าที่แสดงถึงความอิ่มตัวของสี มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 60 ซึ่งหากค่า chroma ของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุนั้นมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงสีดังกล่าวของวัตถุนั้นมีสีซีดจาง ในทางตรงกันข้าม หากค่า chroma มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึงสีดังกล่าวของวัตถุนั้นมีสีเข้มหรือมีความอิ่มตัวของสีนั้นสูง (McGuire, 1992) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สีของผลพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีความซีดจางกว่าสีของผลพริกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อาจเป็นเพราะผลพริกหวานสีแดงกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สารสีแคโรทีนอยด์หลายชนิดยังคงถูกสังเคราะห์เพิ่มขึ้น เช่น β-carotene และ zeaxanthin ซึ่งมีสีส้มและสีเหลือง ตามลำดับ (Matsufuji *et al.*, 1998) โดยมีความสอดคล้องกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการทดลอง จึงส่งผลให้สีของผลพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีความซีดจางหรือมีสีแดงจางกว่าเนื่องจากสีส้มหรือสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับค่า hue angle พบว่า พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 24.76±0.42, 23.68±0.67 และ 24.60±1.48 องศา ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สีของผลพริกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีที่ค่าเท่ากับ 20.68±0.27 ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (ตาราง 9) นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เวลา 26 วัน พบว่า ค่า hue angle ของผลพริกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ค่า hue angle มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 24, ตารางภาคผนวก 29) เนื่องจากค่า hue angle (h^o) เป็นค่าที่แสดงถึงมุมในการตกกระทบของค่า a* ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา โดยค่าที่แสดงในช่วง 0-45 องศา แสดงว่าวัตถุนั้นมีสีแดงถึงสีแดงส้มตามช่วงที่กำหนด (McGuire, 1992) เมื่อพิจารณาจากค่า chroma ร่วมกับค่า hue angle พบว่า ผลพริกมีสีแดงอมส้ม (ภาพ 12) การแสดงออกของสีในพริกหวานสีแดงเกี่ยวข้องกับสารสีแคโรทีนอยด์ 5 ชนิดหลัก คือ capsanthin, cucurbitaxanthin A, zeaxanthin, β-carotene และ β-cryptoxanthin สารประกอบเหล่านี้ให้สีส้มและสีแดงแก่ผลพริกยกเว้น zeaxanthin ที่ให้สีเหลือง (Hornero-Méndez *et al.*, 2000) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ผลพริกหวานสีแดงมีการแสดงออกของสารสีแคโรทีนอยด์มากกว่าผลพริกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงอาจส่งผลให้การแสดงออกของสีเป็นไปในทางสีแดงหรือสีส้มแดง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

การสูญเสียน้ำหนักสด

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าหลังจากเก็บรักษานาน 6 วัน พริกหวานสีแดงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.11±0.04 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด เท่ากับ 1.65±0.08, 0.80±0.03 และ1.55±0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 10) เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเซลล์ของผักและผลไม้ ซึ่งผักและผลไม้โดยทั่วไปแล้วมีน้ำเป็นส่วนประกอบ 80-95 เปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2540) หลังจากเก็บเกี่ยวผลิตผลแล้ว ผลิตผลนั้นๆ ยังคงเกิดการสูญเสียน้ำได้ตลอดเวลา (สายชล, 2528; ดนัย, 2540) ผลิตผลที่เก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิสูงจะมีอัตราการคายน้ำสูงและสูญเสียน้ำได้รวดเร็วมากเมื่อความดันไอน้ำภายในผลิตผลแตกต่างกับความดันไอน้ำของสภาพแวดล้อม (จริงแท้, 2544; ดนัย และนิธิยา, 2548)

จากการทดลองเก็บรักษาพริกหวานสีแดงเป็นเวลา 26 วัน การสูญเสียน้ำหนักสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 25, ตารางภาคผนวกที่ 31) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ González-Aguilar *et al.* (2004) ที่การเก็บรักษาพริกหวานสีแดงหั่นชิ้นที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere packaging; MAP) สามารถรักษาคุณภาพโดยรวมของผลิตผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้เกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลิตผลภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิต่ำเกินไปอาจทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหายได้ อุณหภูมิที่สามารถก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury; CI) ในพริกหวานสีแดงคืออุณหภูมิที่ต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส (Forney and Lipton, 1990) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Kang and Lee (1997) ที่รายงานว่า พริกหวานสีเขียวและแตงกวาหั่นชิ้นสามารถเกิด chilling injury ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยอาการสะท้านหนาวจะส่งผลให้ผลิตผลมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เกิดการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าผลพริกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส อันเนื่องมาจากอาการสะท้านหนาวที่รุนแรงกว่าโดยส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงด้วยเช่นกัน (ตาราง 11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 9 ค่า L*, chroma และค่า hue angle ของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

วิธีการ	ค่า L*	chroma	hue angle
อุณหภูมิห้อง	33.92±0.45	36.70±1.92[b]	20.68±0.27[b]
0 ºC	33.16±0.46	44.17±2.31[a]	24.76±0.42[a]
5 ºC	32.07±0.53	43.96±1.34[a]	23.68±0.67[a]
10 ºC	33.03±1.07	42.78±0.78[a]	24.60±1.48[a]
C.V. (%)	4.6	9.0	8.1
$LSD_{0.05}$	2.03	5.07	2.55

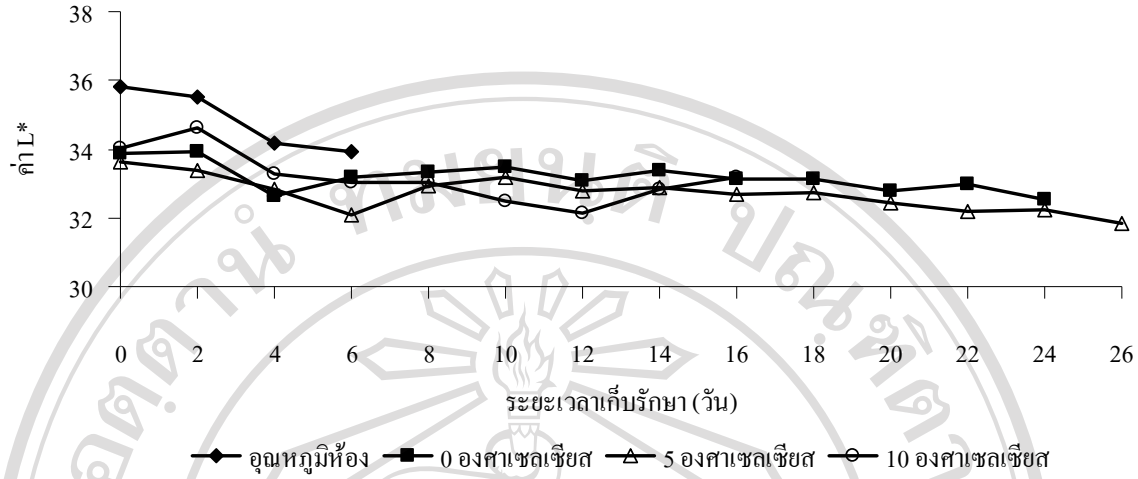
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 10 การสูญเสียน้ำหนักสดของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

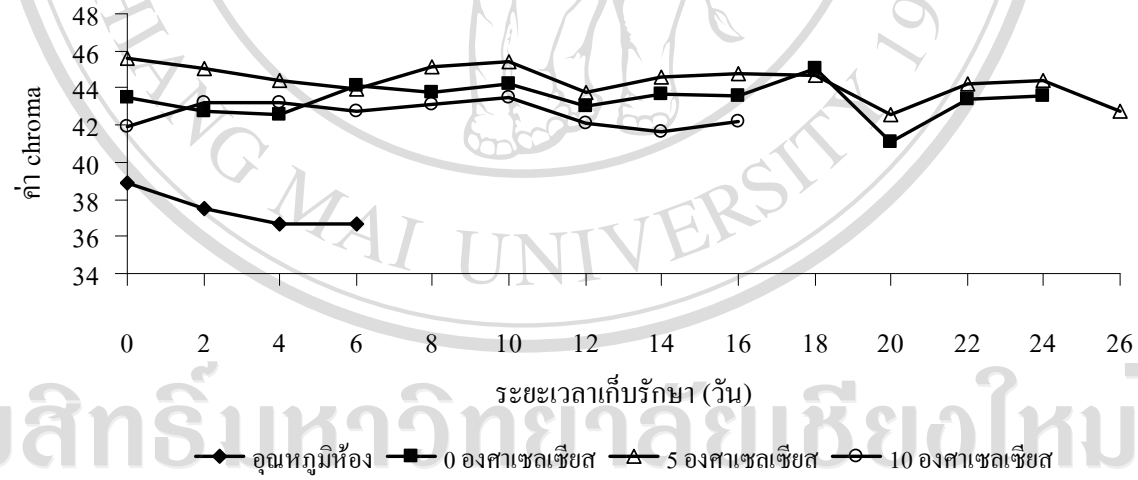
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
อุณหภูมิห้อง	3.11±0.04[a]
0 ºC	1.65±0.08[b]
5 ºC	0.80±0.03[c]
10 ºC	1.55±0.09[b]
C.V. (%)	11.7
$LSD_{0.05}$	0.19

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

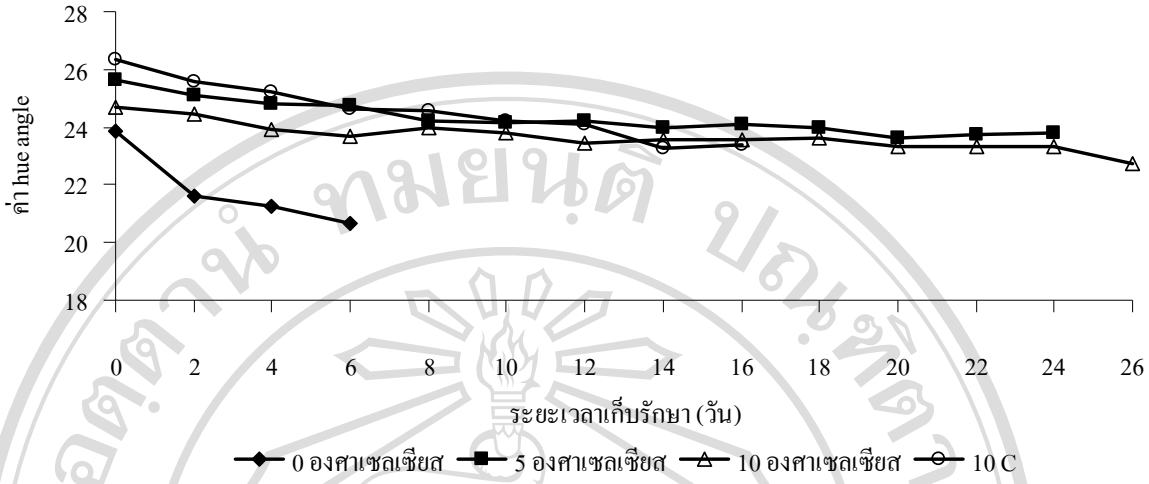


ภาพ 22 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

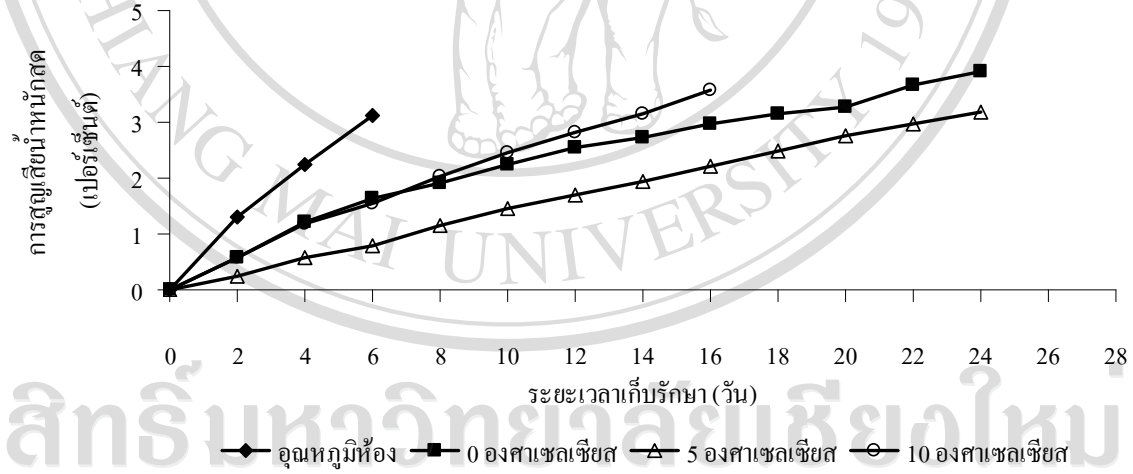


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 23 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน



ภาพ 24 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน



ภาพ 25 การสูญเสียน้ำหนักสดของพริกหวานสีแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 11 อายุการเก็บรักษาของพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิห้อง	5.67±0.33[d]
0 ºC	24.00±1.15[b]
5 ºC	26.67±0.67[a]
10 ºC	13.33±0.67[c]
C.V. (%)	7.6
$LSD_{0.05}$	2.49

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณสารประกอบฟีนอล

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องพบว่าวันที่ 8 ของการเก็บรักษา กะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 3407.2±69.9 และ 3231.8±77.4 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3194.9±68.7 0 และ 3072.9±60 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 12) กะหล่ำปลีสีม่วงอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอล โดยแอนโทไซยานินจัดเป็นชนิดของฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุด (Wu *et al.*, 2006; Charron *et al.*, 2007) Wu *et al.* (2004) พบว่า กะหล่ำปลีสีม่วงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมสูงถึง 254 มิลลิกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ประมาณ 2540.0 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด) Benítez *et al.* (2002) รายงานว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีความสัมพันธ์กับการปรากฏของฟลาโวนอยด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระและโลหะ (metal chelators) สารประกอบฟีนอลสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเอนไซม์ PPO ซึ่งทำให้หน้าที่การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไป (Mayer and Harel, 1979) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยา polyphenol oxidation ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงเป็นเวลา 26 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 2266.6±50.0 ถึง 4232.6±89.1 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด โดยในช่วงแรกของการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลของทุกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นเพราะเอนไซม์ PPO ยังสามารถเร่งปฏิกิริยา polyphenol oxidation ได้อย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ อุณหภูมิต่ำยังไม่สามารถชะลอหรือยับยั้งเอนไซม์ PPO ของกะหล่ำปลีสีม่วงได้ อย่างไรก็ตาม สารประกอบฟีนอลของกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีปริมาณคงที่ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา ส่วนกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า สารประกอบฟีนอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 26, ตารางภาคผนวก 41) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาของ Hagen *et al*. (2009) ที่รายงานว่า การเก็บรักษาคะน้าใบหยิกไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นาน 6 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของคะน้าใบหยักมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์แรกแต่กลับมีปริมาณเพิ่มขึ้นและคงที่ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา

ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 146.3±10.6, 146.3±10.6 และ 146.3±21.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกะหล่ำปลีสีม่วงซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 91.5±18.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง 12) โดยทั่วไปผักจะมีการสูญเสียปริมาณวิตามินซีอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (Podsedek, 2006) เนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถเร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น การสลายตัวของ L-ascorbic acid ได้ (Lee and Kader, 2000) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Favell (1998) ที่เก็บรักษาบรอกโคลีที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน ปริมาณวิตามินซีในบรอกโคลีมีค่าลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงเป็นเวลา 26 วัน พบว่า ปริมาณวิตามินซีของกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องมีแนวโน้มลดลง ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 27, ตารางภาคผนวก 34) วิตามินซีในผลิตผลพืชสวนเป็นสารประกอบที่ง่ายแก่การสลายตัวภายใต้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (Lee and Kader, 2000) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีมีอิทธิพลมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยอุณหภูมิที่เก็บรักษาผลิตผลมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของกรด ascorbic กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียกรด ascorbic จะมีมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การเก็บรักษากะหล่ำปลีที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีการสูญเสียกรด ascorbic เกิดขึ้นเลย (จริงแท้, 2544) สำหรับปัจจัยเรื่องระยะเวลาการเก็บรักษา Hounsome *et al.* (2009) พบว่า กะหล่ำปลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ นาน 3 เดือน ปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณแอนโทไซยานิน

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา กะหล่ำปลีสีม่วงมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 101.5±7.2, 85.3±8.6, 88.5±10.3 และ 106.9±6.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธีการเก็บรักษา (ตาราง 12) กะหล่ำปลีสีม่วงมีแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดินเป็นองค์ประกอบ (Charron *et al*, 2007; Wu and Prior, 2005) โดย 85 เปอร์เซ็นต์ ของแอนโทไซยานินทั้งหมดที่พบในกะหล่ำปลีสีม่วงเป็นไซยานิดินประเภทที่เชื่อมพันธะกับกรด (Wu *et al.*, 2006) จากการศึกษาโครงสร้างทางเคมีพบว่าเป็นแอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-*O*-diglucoside-5-*O*-glucoside ที่เชื่อมต่อกับ hydroxycinnamic acids หลายชนิด ซึ่งความร้อนไม่สามารถชักนำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ (Scalzo *et al.*, 2008) และทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างสูง (McDougall *et al.*, 2007) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาจไม่มีผลต่อการเปลี่ยนปริมาณแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีสีม่วง

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงเป็นเวลา 26 วัน พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินของทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงในช่วงสองวันแรกของการเก็บรักษา โดยกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส แอนโทไซยานินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโทไซยานินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ภาพ 28, ตารางภาคผนวก 38) ซึ่งการลดลงในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา อาจเกิดจากความแปรผันของตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานินระหว่างการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จึงทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินที่มีปริมาณเท่าเดิมภายในเซลล์มีความเข้มข้นมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้มีรายงานวิจัยที่พบว่า การเก็บรักษาผักสกุล *Brassica* sp. ที่อุณหภูมิต่ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินแต่อย่างใด (Volden, 2009a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เท่ากับ 208.8±15.7 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 161.3±13.6, 157.8±6.3, 152.2±14.4 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1

กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 12) การที่กะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดอาจเนื่องมาจาก ที่อุณหภูมิห้องผลิตผลมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด จึงอาจทำให้สารที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีความเข้มข้นสูงขึ้นตามไปด้วย โดยในกะหล่ำปลีสีม่วงมีสารประกอบแอนไทไซยานินซึ่งจัดเป็นฟลาโวนอยด์ชนิดสำคัญที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในการกำจัดอนุมูลอิสระออกซิเจน (Tanchev and Timberlake, 1969; Singh *et al.,* 2006; Scalzo, *et al*, 2008) มีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องพบว่า แอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีสีม่วงมีความเสถียรหรือมีความคงตัวสูง ไม่สามารถถูกชักนำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้แม้อยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหรือสภาพอุณหภูมิห้อง (Scalzo, *et al.*, 2008)

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงเป็นเวลา 26 วัน พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มคงที่ และกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 29, ตารางภาคผนวก 40) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลและปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในสารสกัดหยาบของกะหล่ำปลีสีม่วง (ภาพ 26, ภาพ 28) โดยผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Volden (2009b) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำดอกสีม่วงโดยวิธี DPPH radical scavenging activity assay ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเป็นเวลา 12 เดือน และพบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอล และมีค่าคงที่ในระยะแรกแต่จะลดลงในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา

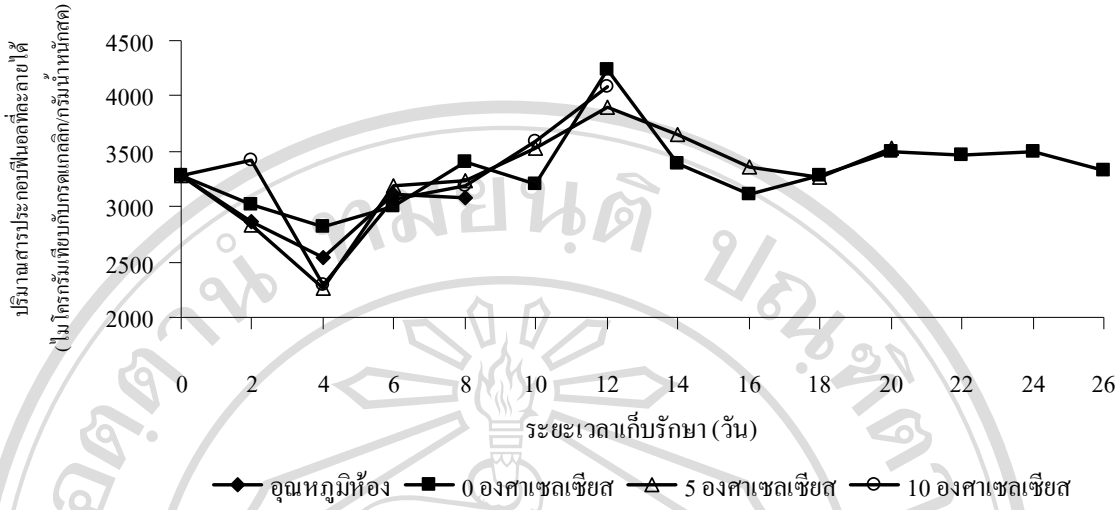
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 12 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

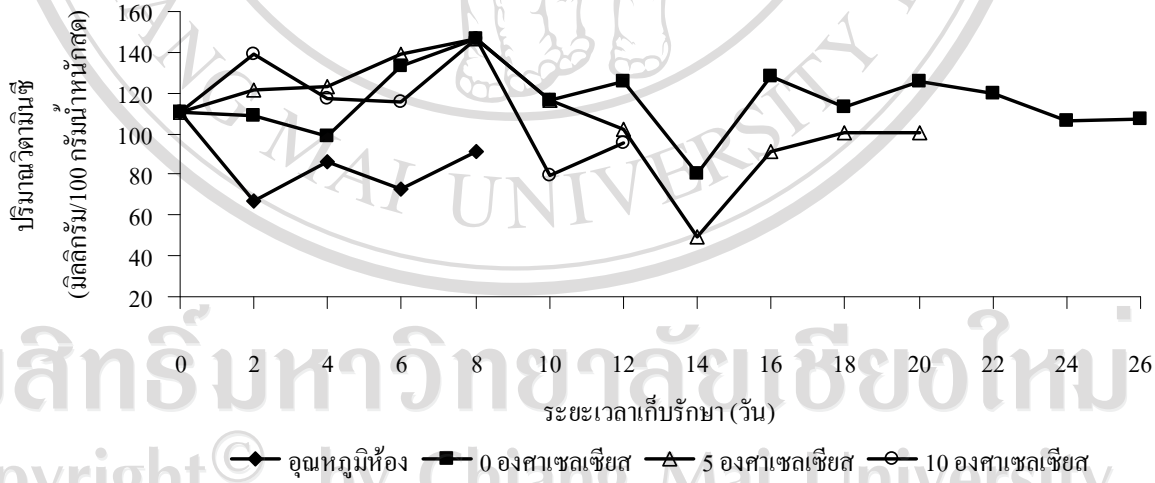
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/100 gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
อุณหภูมิห้อง	3072.9±60.0^{b}	91.5±18.3^{b}	106.9±6.0	208.8±15.7^{a}
0 ºC	3407.2±69.9^{a}	146.3±10.6^{a}	101.5±7.2	161.3±13.6^{b}
5 ºC	3231.8±77.4^{ab}	146.3±10.6^{a}	85.3±8.6	157.8±6.3^{b}
10 ºC	3194.9±68.7^{b}	146.3±21.1^{a}	88.5±10.3	152.2±14.4^{b}
C.V. (%)	5.1	14.2	14.8	18.8
$LSD_{0.05}$	204.3	51.6	26.6	38.4

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

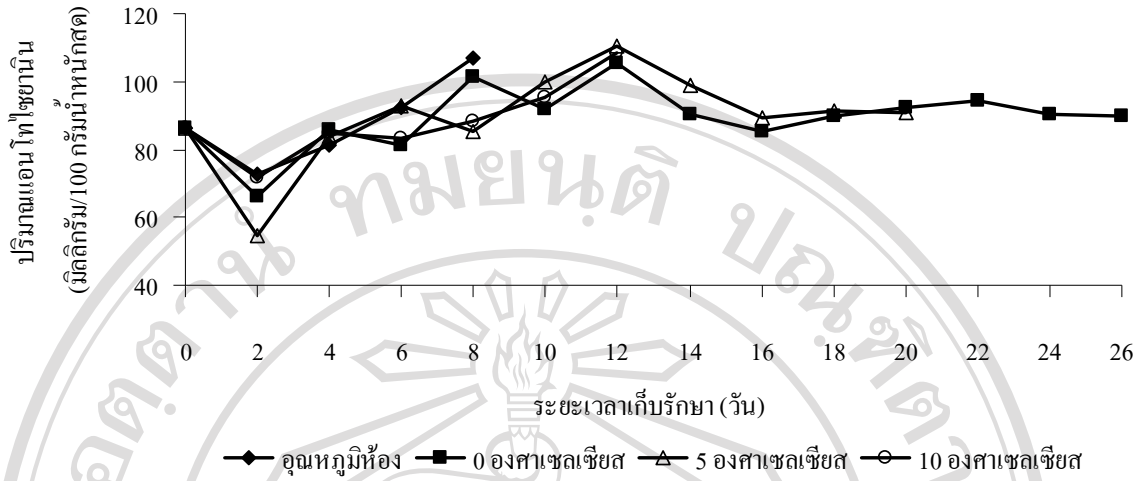


ภาพ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

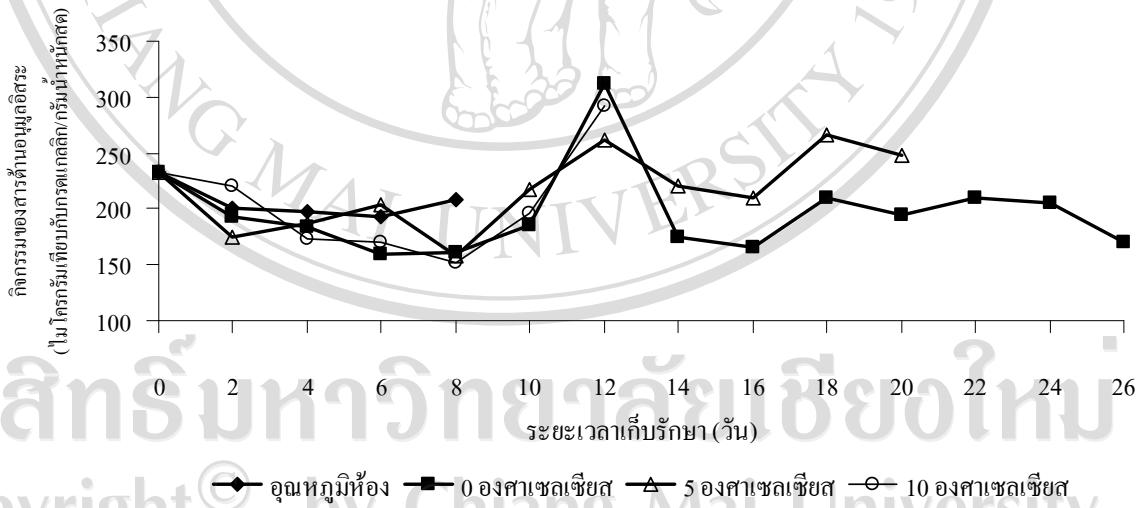


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน



ภาพ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 29 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

สี

เมื่อนำกะหล่ำปลีสีม่วงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า หลังการเก็บรักษานาน 8 วัน ค่า L* ของสีใบกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 27.26±0.92 ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสีของใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 23.75±0.52, 23.42±0.52 และ 24.82±0.44 ตามลำดับ (ตาราง 13) นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษานาน 26 วัน พบว่า ค่า L* ของสีใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพ 30, ตารางภาคผนวก 35) เนื่องจากค่า L* คือค่าที่แสดงความสว่างของสีที่แสงตกกระทบ (McGuire, 1992) การลดลงของค่าความสว่างของสีใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดจากใบของกะหล่ำปลีสีม่วงคล้ำลงระหว่างการเก็บรักษา

ค่า chroma ของสีใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 20.69±3.54, 26.71±0.99, 23.35±0.97 และ 24.69±2.32 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 13) เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงนาน 26 วัน พบว่า ค่า chroma ของทุกกรรมวิธีการเก็บรักษามีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง (ภาพ 31, ตารางภาคผนวก 36) ค่า chroma เป็นค่าที่แสดงถึงความอิ่มตัวของสี (McGuire, 1992) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสีของใบกะหล่ำปลีสีม่วงมีความอิ่มตัวของสีม่วงลดลงระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นเพราะใบชั้นนอกของกะหล่ำปลีเกิดการชราภาพก่อนใบที่ห่ออยู่ชั้นในจึงทำให้แอนโทไซยานินและสารสีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกของสีม่วงหรือน้ำเงินม่วงสลายตัวระหว่างกระบวนการชราภาพดังกล่าว (Voden *et al*., 2009b) ซึ่งส่งผลให้ค่า chroma ของสีใบลดลง

ส่วนค่า hue angle ของสีใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 353.14±1.29 และ 352.20±1.22 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่า hue angle ของกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 349.16±1.40 และ 348.90±0.68 องศา ตามลำดับ (ตาราง 13) ค่า hue angle ที่อยู่ในช่วง 315 ถึง 360 องศา แสดงถึงสีม่วงถึงม่วงแดง (McGuire, 1992) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีลักษณะสีแดงมากกว่ากะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 0 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษานาน 26 วัน พบว่า ค่า hue angle ของสีใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 347.58±0.45 ถึง 353.76±0.62 องศา ซึ่งค่า hue angle ของวันสุดท้ายในแต่ละกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกับวันแรกที่ทำการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

เมื่อนำกะหล่ำปลีสีม่วงมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา กะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด เท่ากับ 2.86±0.18 และ 2.78±0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส ที่มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 1.27±0.10 และ 1.58±0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 14) กะหล่ำปลีสีม่วงมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 70-90 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลเป็นผลทำให้ผลิตผลมีน้ำหนักสดลดลง อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะของเหลวไปอยู่ในสถานะแก๊สมากขึ้น ความดันไอน้ำภายในผักและผลไม้จึงสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามความดันไอน้ำของอากาศรอบๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความดันไอน้ำไม่ได้สูงตามไปด้วย เพราะมีปริมาณโมเลกุลของน้ำอยู่เท่าเดิมแต่ไม่ได้ถูกจำกัดปริมาณเหมือนในผลไม้ ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอระหว่างภายในผลิตผลกับภายนอกจึงเพิ่มสูงมากขึ้น โอกาสที่ไอน้ำจะออกจากผลิตผลสู่บรรยากาศภายนอกจึงมีมากขึ้น (จริงแท้, 2549) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 10 องศาเซลเซียส โมเลกุลของน้ำภายในผลิตผลอาจเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปอยู่ในสถานะแก๊สมากกว่ากรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส จึงส่งผลให้ผลิตผลมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่า

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงเป็นเวลา 26 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 33) โดยกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่ากะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 10 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวก 39) เนื่องจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้การหายใจและการคายน้ำของผลิตผลลดลง รวมไปถึงเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในพืชช้าตามไปด้วย (สายชล, 2528) โดยการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ (จริงแท้, 2549) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า กะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แสดงอาการเหี่ยวและอาการช้ำของใบช้ากว่าส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.00±1.15 วัน โดยกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 11.33±0.67 และ 7.33±0.67วัน ตามลำดับ เนื่องจากใบของกะหล่ำปลีสีม่วงแสดงอาการเหี่ยว ช้ำ เกิดแผลกระจายทั่วใบชั้นนอกและมีการเข้าทำลายของโรคเน่าเละบริเวณรอยตัด ซึ่งผู้ประเมินใช้เป็นเงื่อนไขในการกำหนดอายุการเก็บรักษา (ตาราง 15)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 13 ค่า L*, chroma และค่า hue angle ของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

วิธีการ	ค่า L*	chroma	hue angle
อุณหภูมิห้อง	27.26±0.92[a]	20.69±3.54	349.16±1.40[b]
0 ºC	23.75±0.52[b]	26.71±0.99	348.90±0.68[b]
5 ºC	23.42±0.52[b]	23.35±0.97	353.14±1.29[a]
10 ºC	24.82±0.44[b]	24.69±2.32	352.20±1.22[ab]
C.V. (%)	5.7	20.8	0.8
$LSD_{0.05}$	1.88	6.67	3.54

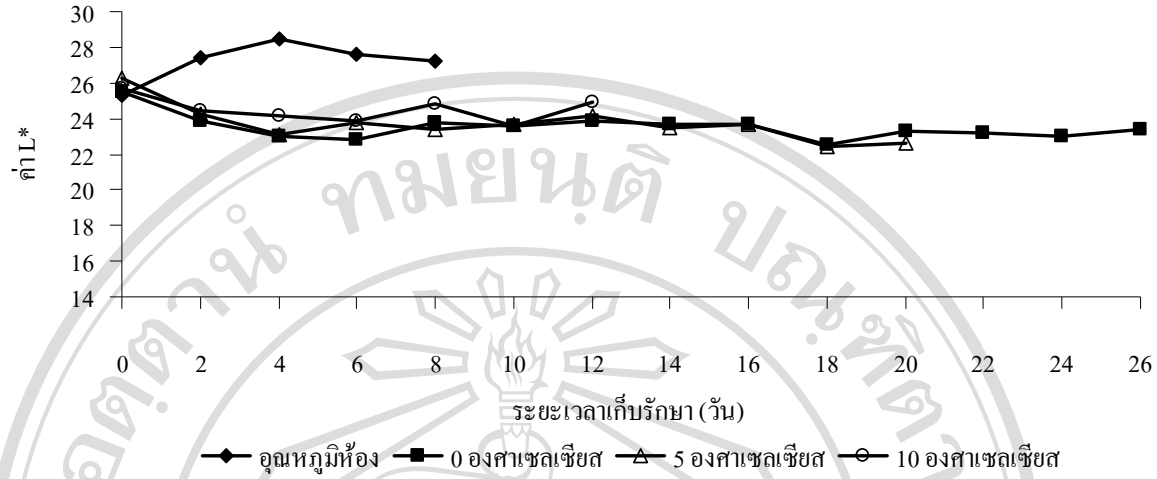
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 14 การสูญเสียน้ำหนักสดของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 วัน

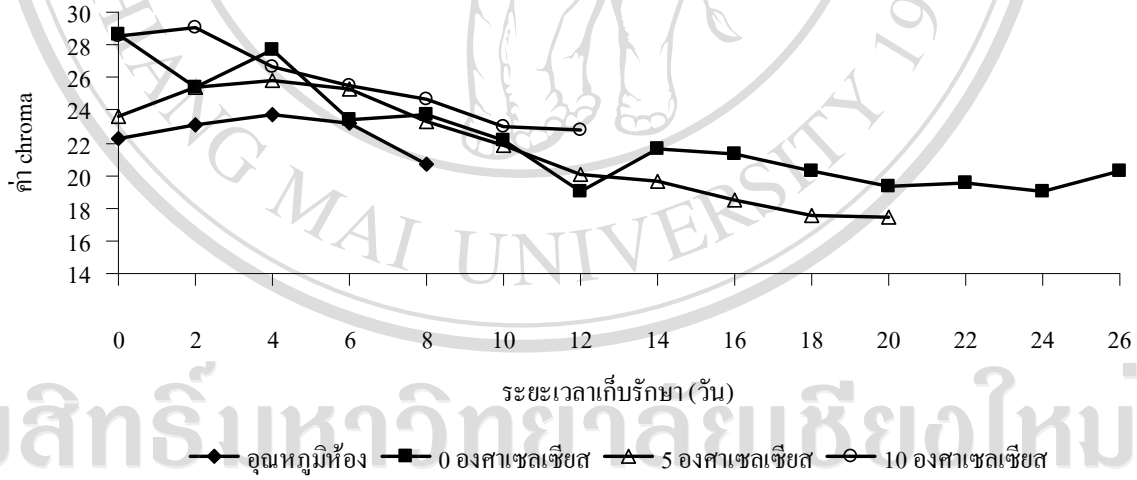
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
อุณหภูมิห้อง	2.78±0.17[a]
0 ºC	1.27±0.10[b]
5 ºC	1.58±0.09[b]
10 ºC	2.86±0.18[a]
C.V. (%)	21.2
$LSD_{0.05}$	0.41

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

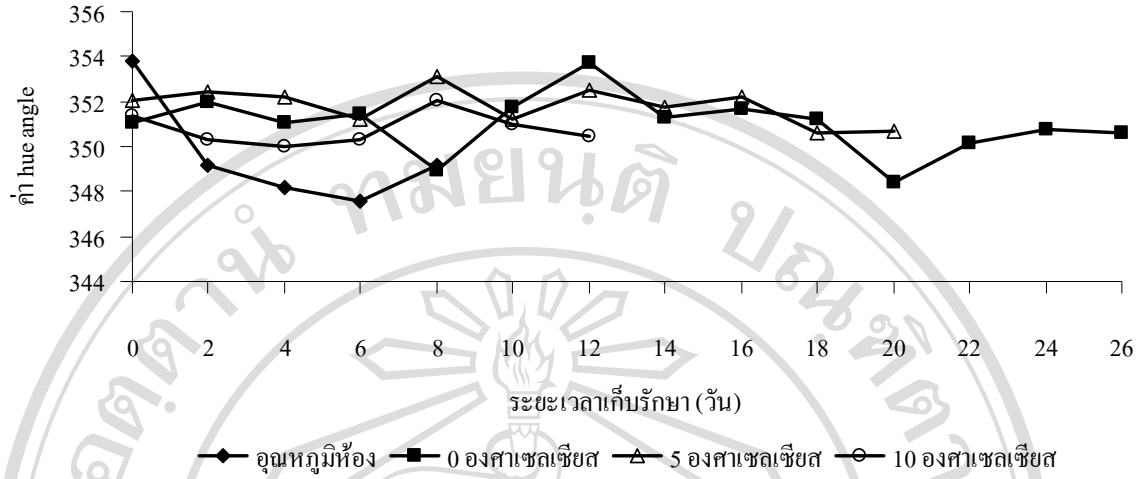


ภาพ 30 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26วัน

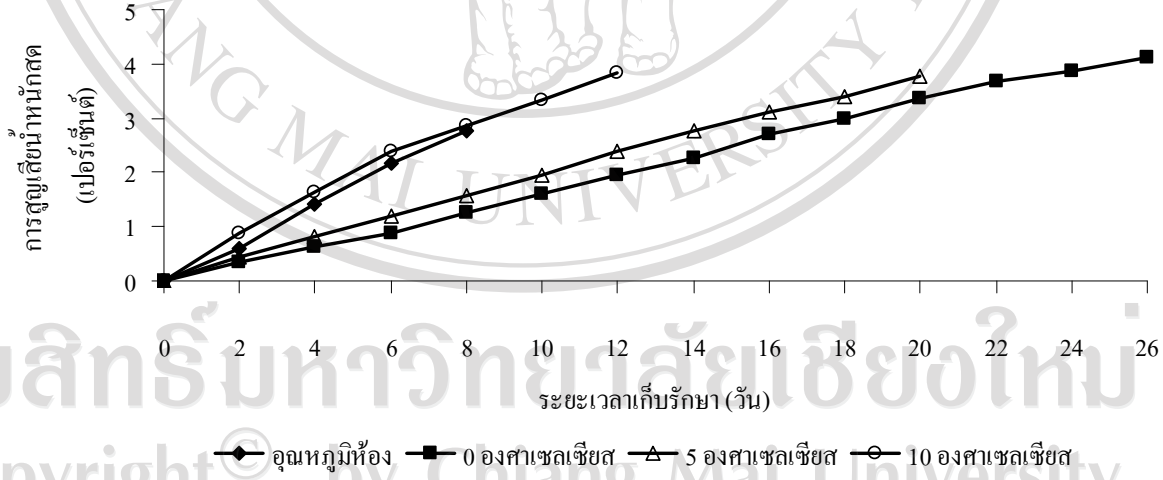


ภาพ 31 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 32 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 33 การสูญเสียน้ำหนักสดของกะหล่ำปลีสีม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 26 วัน

ตาราง 15 อายุการเก็บรักษาของกะหล่ำปลีสีม่วงที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิห้อง	7.33±0.67[d]
0 ºC	26.00±1.15[a]
5 ºC	20.00±0.00[b]
10 ºC	11.33±0.67[c]
C.V. (%)	8.0
$LSD_{0.05}$	2.43

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของบีทระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณสารประกอบฟีนอล

เมื่อเก็บรักษาบีทที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา บีทมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 955.5±76.2, 898.4±30.2, 960.8±49.7 และ 1009.1±39.6 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลของบีทในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 16) บีทสีแดงมีสารประกอบฟีนอลที่สำคัญได้แก่ betanin, isobetanin, phenolic amides และฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ ได้แก่ betagarin, betavulgarin, cochliophilin A และ dihydroisorhamnetin (Kujala *et al.* 2000; Kujala *et al,* 2002) Winter and Herrmann (1986) ยังพบว่า พืชในวงศ์ Chenopodiaceae ตัวอย่างเช่น ปวยเล้ง และบีท มีสารประกอบฟีนอลที่เป็นหมู่ของเอสเทอร์และชนิดที่เชื่อมพันธะกับหมู่ของน้ำตาลกับ hydroxycinnamic acid อยู่เป็นจำนวนมาก ปริมาณสารประกอบฟีนอลโดยเฉพาะบีตาเลนในบีทขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปัจจัยทางสภาพแวดล้อมในการปลูก ตัวอย่างเช่น ความสมบูรณ์ของดิน ความชื้นในดิน ปริมาณน้ำ และวันที่เก็บเกี่ยวผลิตผล (Lee and Wiley, 1981) โดยอุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดการสลายตัวสารประกอบฟีนอลของบีท และก่อให้เกิดสีแดงที่จางลงของเนื้อบีทเนื่องจากการสลายตัวของบีตาไซยานินที่ทำให้เกิดอาการ white blush ที่พบในบีทพร้อมปรุง (Herbach *et al*., 2004)

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 40 วัน พบว่า ระหว่างการเก็บรักษา กรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มคงที่ (ภาพ 34, ตารางภาคผนวก 49) การที่บีทไม่เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลอาจเป็นเพราะ รากบีทเป็นผลิตผลที่มีการผนึกตัวของโครงสร้างหนาแน่นและมีส่วนที่ห่อหุ้มเนื้อเยื่อชัดเจน จึงอาจทำให้สารประกอบฟีนอลในเนื้อของบีทไม่ถูกออกซิไดซ์โดยการสัมผัสกับออกซิเจน อุณหภูมิสูง และแสง ส่งผลให้บีทมีปริมาณสารประกอบฟีนอลคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอันเนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณวิตามินซี

เมื่อนำบีทมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา บีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด เท่ากับ 57.7±0.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38.5±0.0, 32.1±6.4 และ 25.6±6.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 16) เนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถเร่งการสูญเสียวิตามินซีในผักและผลไม้ ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสลายตัวของวิตามินซีในผลิตผลทางพืชสวนได้ (Lee and Kader, 2000) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาบีทที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสลายตัวของวิตามินซีในเนื้อเยื่อของบีทได้

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 40 วัน พบว่า ปริมาณวิตามินซีของบีทในกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณวิตามินซีในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีปริมาณลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณของวันแรก (ภาพ 35, ตารางภาคผนวก 42) วิตามินซีที่พบในบีทประกอบด้วย L-ascorbic acid และ dehydroascorbic acid ซึ่งโครงสร้าง dehydroascorbic acid สามารถสลายตัวได้ช้ากว่าโครงสร้าง L-ascorbic acid และมีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า (Marchesini *et al.*, 1975) โดยการลดลงของปริมาณวิตามินซีในบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของ L-ascorbic acid ระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณบีตาเลน

เมื่อนำบีทมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 10 วัน บีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส มีปริมาณบีตาเลนเท่ากับ 68.9±4.8 และ 61.2±3.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งปริมาณบีตาเลนของหัวบีทในกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีค่ามากกว่าปริมาณบีตาเลนของกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.3±2.8 และ 51.2±7.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 16) บีตาเลนเป็นสารสีที่มีคุณสมบัติละลายน้ำภายในโมเลกุลประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน สังเคราะห์จากกรดอะมิโนไทโรซีน โดยมีโครงสร้างของ betalamic acid เป็นโครงสร้างหลัก (Strack *et al.*, 2003) สีแดงของเนื้อและเปลือกประกอบด้วยบีตาเลนสองชนิดปนกันคือ บีตาไซยานิน (betacyanins) มีสีม่วงแดง และบีตาแซนทิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(betaxanthins) มีสีเหลือง (Gasztonyi *et al.*, 2001) บีตาเลนเป็นสารสีที่สลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีแสงและอุณหภูมิสูง (Attoe and von Elbe, 1981; García *et al.*, 1998) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาบีทที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส บีตาเลนมีการสลายตัวน้อยที่สุด

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 40 วัน พบว่า ปริมาณบีตาเลนของหัวบีทในทุกกรรมวิธีการเก็บรักษามีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง (ภาพ 36, ตารางภาคผนวก 46) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณบีตาเลนน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสลายตัวของบีตาเลนได้ (García *et al.*, 1998) Vitti *et al.* (2005) รายงานว่า การเก็บรักษาบีทหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดอาการซีดจางหรืออาการ white blush ที่เกิดจากการสลายตัวของบีตาไซยานินของเนื้อบีทได้ และสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายได้ถึง 10 วัน ตรงข้ามกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส ที่พบว่ามีอายุวางจำหน่ายเพียง 6 วันเท่านั้น

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อนำบีทมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา บีทมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 112.6±3.3, 106.3±10.4, 109.0±16.2 และ 92.6±4.0 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 16) สารชีวเคมีที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในเนื้อเยื่อของบีทคือสารประกอบฟีนอล และสารสีที่เรียกว่าบีตาเลนหรือ multiple betalain components (Lee *et al.*, 2005) สารสีชนิดนี้จะถูกสะสมอยู่ในแวคูโอลของดอก ผล และใบ (Jackman and Smith, 1996) สารสีบีตาเลนที่มีศักยภาพสูงจะประกอบไปด้วยโมเลกุลกรดฟีนอลหรืออนุพันธุ์หมู่เอสเทอร์ของกรดนั้น (Bokern *et al.*, 1991; Waldron *et al.*, 1997) ในทางการแพทย์บีตาไซยานิน กรดฟีนอล และฟลาโวนอยด์ที่พบในบีทจัดเป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการป้องกันโรคมะเร็งโดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดสารก่อมะเร็ง (carcinogens) หลายชนิด ตัวอย่างเช่น อนุมูลอิสระออกซิเจนและ genotoxic electrophiles (Wettasinghe *et al.*, 2002) จากผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา บีทมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธีการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม มีรายงานการศึกษาที่พบว่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณวิตามินซีในบีท โดยวิตามินซีที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบในบีทสามารถกำจัดอนุมูลอิสระออกซิเจนได้เป็นอย่างดี โดยการทำลายลำดับโครงสร้างของอนุมูลนั้นๆ (Ou *et al.* 2002)

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 40 วัน พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของหัวบีทในทุกกรรมวิธีการเก็บรักษามีค่าแปรผัน ซึ่งอาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตาม กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง มีค่าใกล้เคียงกับวันแรกของการเก็บรักษา ส่วนกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา โดยบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้องมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระแปรผันอยู่ในช่วง 79.9 ถึง 116.9 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด (ภาพ 37, ตารางภาคผนวก 48) แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในกรรมวิธีการเก็บรักษาบีทที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส อาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้นหรือวิตามินซีชนิด dehydroascorbic acid (Dewanto *et al.* 2002)

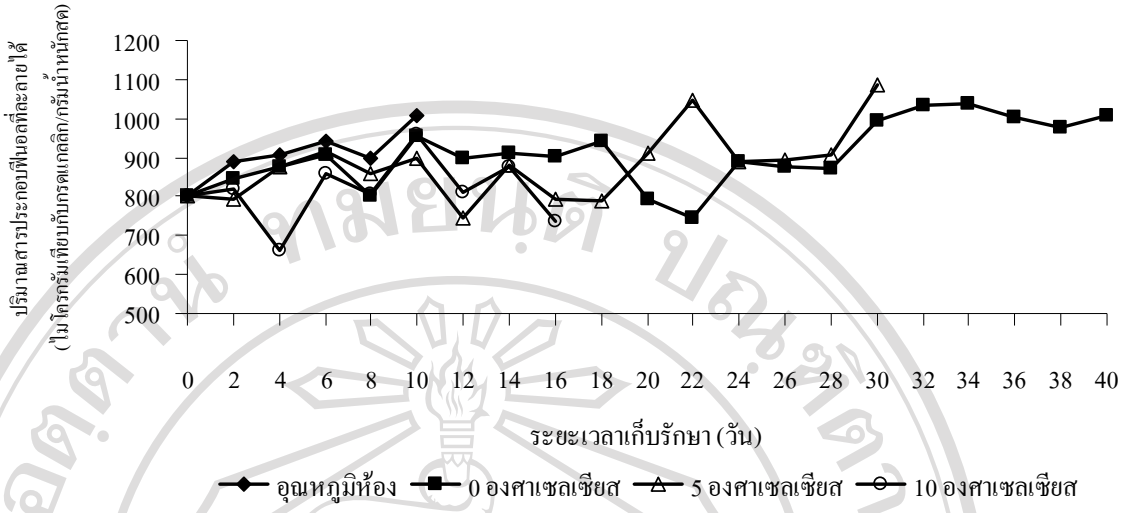
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 16 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี ปริมาณบีตาเลน และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน

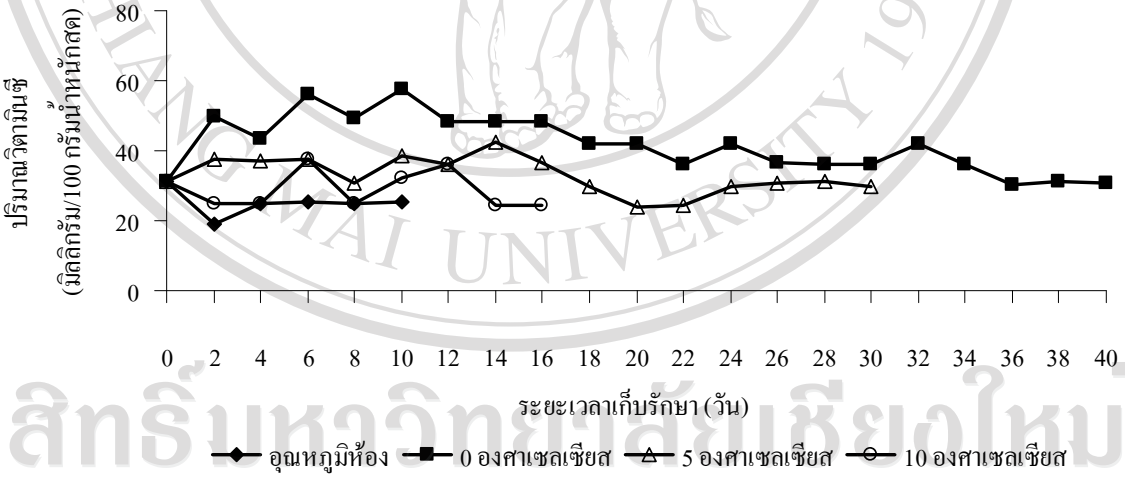
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	ปริมาณบีตาเลน (mg/100 gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
อุณหภูมิห้อง	1009.1±39.6	25.6±6.4^{b}	51.2±7.5^{b}	92.6±4.0
0 ºC	955.5±76.2	57.7±0.0^{a}	68.9±4.8^{a}	112.6±3.3
5 ºC	898.4±30.2	38.5±0.0^{b}	61.2±3.2^{ab}	106.3±10.4
10 ºC	960.8±49.7	32.1±6.4^{b}	50.3±2.8^{b}	109.0±16.2
C.V. (%)	13.3	20.5	14.7	23.2
$LSD_{0.05}$	153.0	14.8	16.1	29.4

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

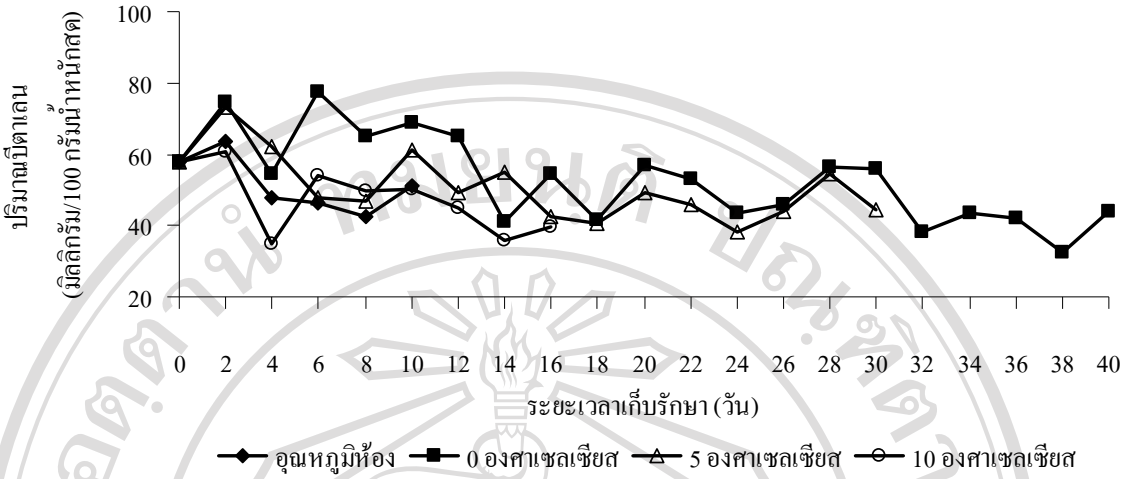


ภาพ 34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน

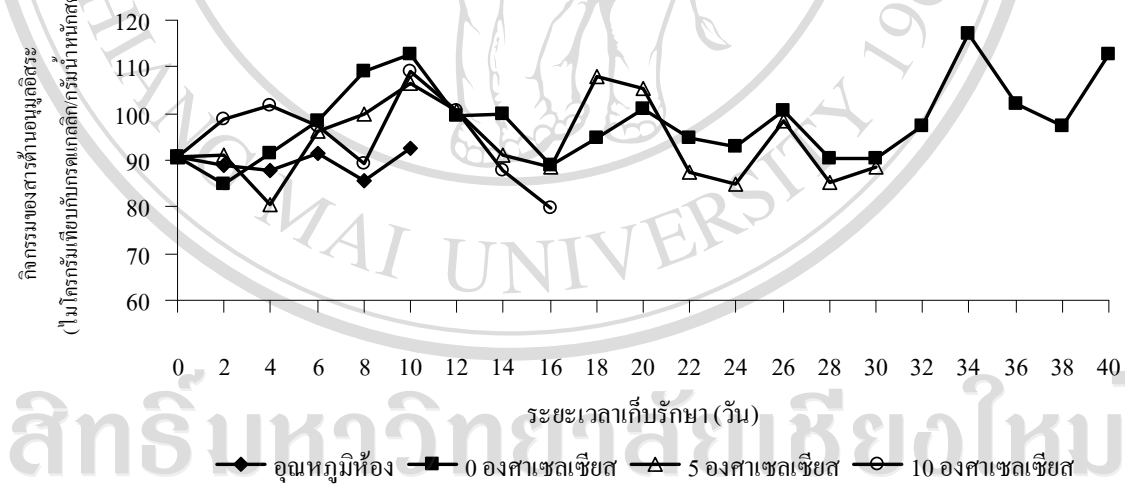


ภาพ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาเลนของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน



ภาพ 37 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สี

เมื่อนำบีทมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ค่า L* ของเนื้อบีทมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเท่ากับ 22.68±1.45, 22.14±0.90, 21.37±0.58 และ 20.21±1.33 ตามลำดับ (ตาราง 17) ค่า L* เป็นค่าที่บอกถึงความสว่างของวัตถุเมื่อมีแสงมาตกกระทบ จากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าเนื้อบีทในทุกกรรมวิธีมีความสว่างเท่ากัน นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 40 วัน พบว่า ค่า L* มีความแปรผันสูง อาจเป็นเพราะตัวอย่างบีทที่ใช้ในการทดลองมีสีเนื้อไม่สม่ำเสมอ (ภาพ 38, ตารางภาคผนวก 43)

ค่า chroma ของเนื้อบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า มีค่าเท่ากับ 39.17±2.75, 38.07±1.47, 34.62±1.47 และ 35.27±3.50 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธี (ตาราง 17) โดยค่า chroma เป็นค่าที่บอกถึงความอิ่มตัวของสีที่แสงตกกระทบ (McGuire, 1992) นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 40 วัน พบว่าค่า chroma ของทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 39, ตารางภาคผนวก 44) อาจเนื่องมาจากเนื้อบีทสูญเสียสารสีบีตาเลนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้ความอิ่มตัวของสีม่วงแดงที่เกิดจากบีตาไซยานินลดลง Vitti *et al.* (2005) รายงานว่าในวันที่ 10 ของการวางจำหน่าย บีทหั่นชิ้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส สูญเสียบีตาไซยานินถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความอิ่มตัวของสีม่วงแดงลดลงและมีอายุการวางจำหน่ายสั้น

ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ค่า hue angle ของเนื้อบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง มีค่าเท่ากับ 13.26±0.90, 11.99±1.11, 12.67±0.38 และ 13.73±1.43 องศา ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 17) ค่า hue angle เป็นค่าที่แสดงช่วงสีของวัตถุ โดยค่าที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 45 องศา หมายถึงวัตถุนั้นมีสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง (McGuire, 1992) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่า hue angle ของบีทในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 40, ตารางภาคผนวก 45) อาจเป็นเพราะเนื้อบีทสูญเสียบีตาไซยานินอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้สีเนื้อเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีส้มแดงมากขึ้น โดยการปรากฏของสีส้มแดงดังกล่าวอาจเนื่องมาจากบีตาเลนชนิดบีตาแซนทินซึ่งมีสีเหลืองมีการแสดงออกมากขึ้นระหว่างการสลายตัวของบีตาไซยานินที่มีสีแดง (García Barrera *et al.*, 1998; Gasztonyi *et al.*, 2001) ทำให้ค่า hue angle ของเนื้อบีทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

เมื่อนำบีทมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา บีทมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 0.55±0.07, 0.76±0.02, 1.03±0.04 และ 1.79±0.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 18) โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธีการเก็บรักษา เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเซลล์ของผักและผลไม้ ซึ่งผักและผลไม้โดยทั่วไปมีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 80-95 เปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2540) หลังจากเก็บเกี่ยวผลิตผลแล้ว ผลิตผลยังคงเกิดการสูญเสียน้ำได้ตลอดเวลา (สายชล, 2528; ดนัย, 2540) เนื่องจากความดันไอน้ำของสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกับความดันไอน้ำภายในผลิตผล ดังนั้นผลิตผลที่เก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิสูงจะมีอัตราการคายน้ำสูง และสูญเสียน้ำได้รวดเร็วมาก (จริงแท้, 2544; ดนัย และนิธิยา, 2548) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า บีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำและคายน้ำน้อยที่สุด ส่วนบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีการสูญเสียน้ำมากที่สุดเนื่องจากความดันไอน้ำของสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องมีความแตกต่างกับความดันไอน้ำภายในบีทมาก จึงส่งผลให้บีทมีอัตราการคายน้ำสูงตามไปด้วย

นอกจากนี้ เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 40 วัน พบว่า บีทที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพ 41, ตารางภาคผนวก 47) เนื่องจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำทำให้การหายใจของผลิตผลลดลง ผลิตผลมีการคายน้ำน้อยกว่าที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง และเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในพืชช้าลง (สายชล, 2528) การเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ (จริงแท้, 2549) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า บีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่าในสภาพความชื้นที่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดอาการเหี่ยวของรากช้ากว่าและมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด เท่ากับ 39.67±0.88 วัน ในทางตรงกันข้ามบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และกรรมวิธีควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 15.67±0.67 และ 10.33±0.33 วัน ตามลำดับ เนื่องจากบีทในกรรมวิธีดังกล่าวรากบีทแสดงอาการเหี่ยว เกิดการงอกของต้นอ่อนและเกิดการเจริญของเส้นใยเชื้อราบริเวณรอยตัดจำนวนมาก ซึ่งกลุ่มตัวอย่างผู้ประเมินใช้เป็นเงื่อนไขในการกำหนดอายุการเก็บรักษา (ตาราง 19)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 17 ค่า L*, chroma และค่า hue angle ของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

วิธีการ	ค่า L*	chroma	hue angle
อุณหภูมิห้อง	20.21±1.33	35.27±3.50	13.73±1.43
0 ºC	22.68±1.45	39.17±2.75	13.26±0.90
5 ºC	22.14±0.90	38.07±1.47	11.99±1.11
10 ºC	21.37±0.58	34.62±1.47	12.67±0.38
C.V. (%)	12.7	16.4	29.5
$LSD_{0.05}$	3.31	6.93	3.16

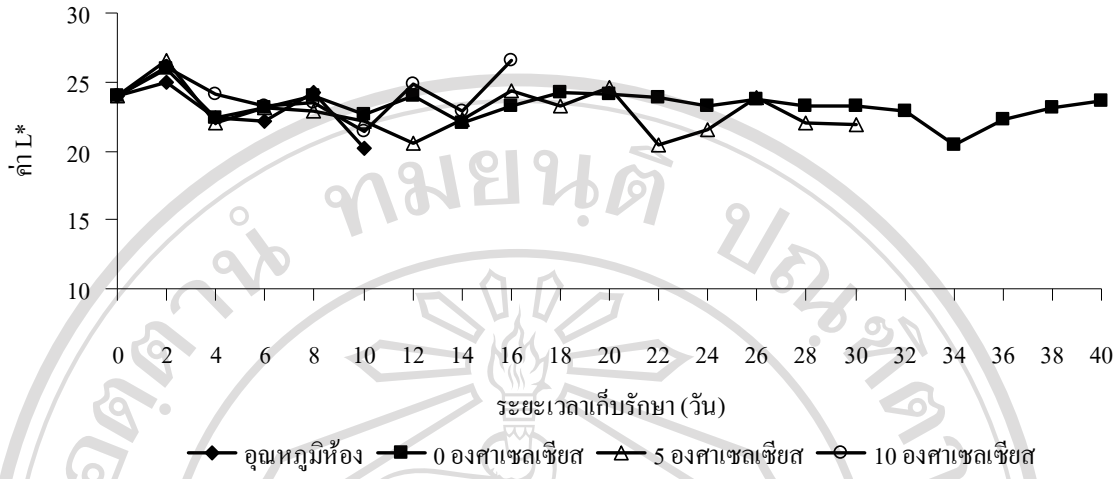
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 18 การสูญเสียน้ำหนักสดของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

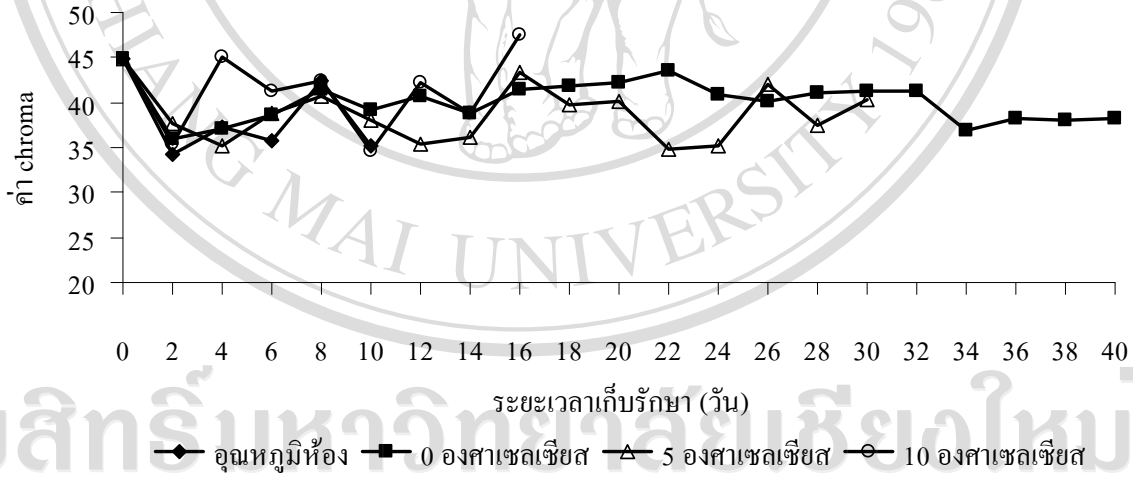
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
อุณหภูมิห้อง	1.79 ± 0.10^{a}
0 ºC	0.55 ± 0.07^{d}
5 ºC	0.76 ± 0.02^{c}
10 ºC	1.03 ± 0.04^{b}
C.V. (%)	17.9
$LSD_{0.05}$	0.18

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

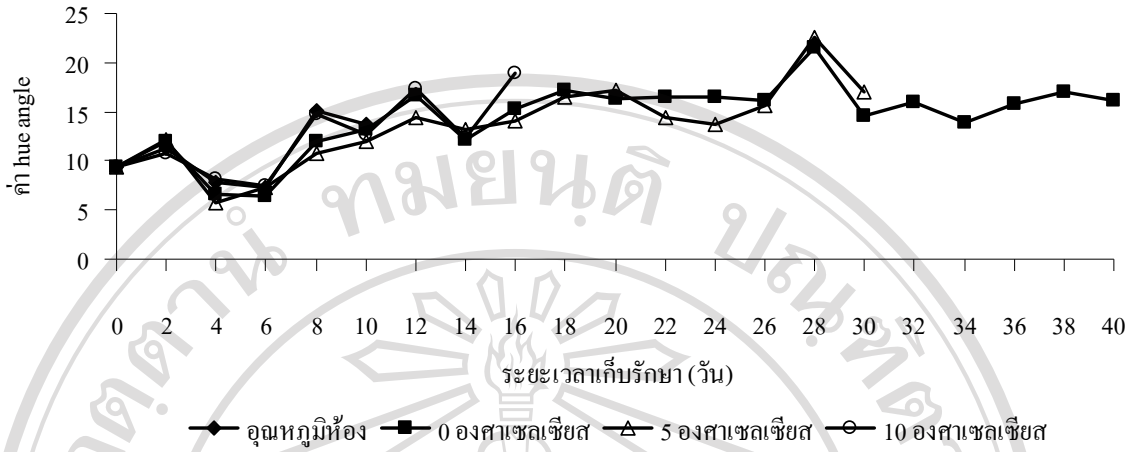


ภาพ 38 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน

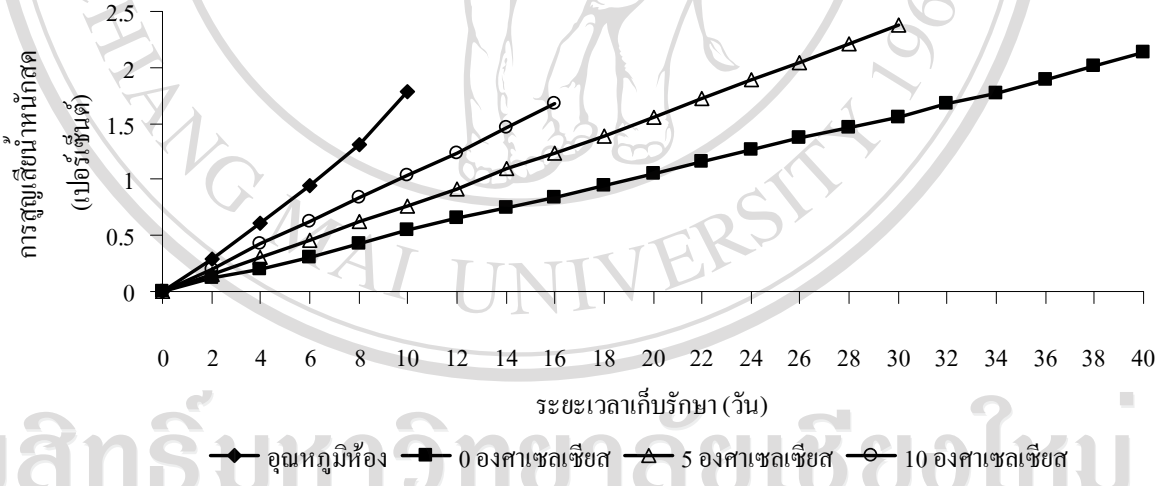


ภาพ 39 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 40 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน



ภาพ 41 การสูญเสียน้ำหนักสดของบีทเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 19 อายุการเก็บรักษาของบีทที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส) 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียสเป็น ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิห้อง	10.33±0.33[d]
0 ºC	39.67±0.88[a]
5 ºC	30.33±0.33[b]
10 ºC	15.67±0.67[c]
C.V. (%)	4.3
$LSD_{0.05}$	1.96

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 ผลของการลดอุณหภูมิแบบ vacuum cooling และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของต้านอนุมูลอิสระของผักบางชนิด

การทดลองที่ 3.1 ผลของการลดอุณหภูมิแบบ vacuum cooling และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดง

ปริมาณสารประกอบฟีนอล

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่พริกหวานในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด เท่ากับ 1540.7±59.3 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณสารประกอบฟีนอลของพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 1327.8±17.6 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด และพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยที่สุด เท่ากับ 1192.8±27.8 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิก 1 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง 20) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อาจไปยับยั้งหรือชะลอการทำงานของเอนไซม์ PPO ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลของพริกหวานสีแดงมีปริมาณมากที่สุด ในทางตรงกันข้าม การเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิห้อง เอนไซม์ดังกล่าวสามารถเร่งปฏิกิริยา polyphenol oxidation ได้ จึงส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา การลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วก่อนการเก็บรักษาสามารถชะลอการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลได้ดีกว่าการนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากเอนไซม์ PPO ถูกยับยั้งหรือชะลอการทำงานของเอนไซม์

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 34 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มคงที่ในช่วง 26 วัน แรกของการเก็บรักษา แต่กรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิร่วมกับการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา (ภาพ 42) เนื่องจากอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ PPO ในปฏิกิริยา polyphenol oxidation จึงอาจส่งผลให้สารประกอบฟีนอลไม่ถูกออกซิไดซ์และมีปริมาณใกล้เคียงกับวันแรกของการเก็บรักษา Raffo *et al*. (2008) รายงานว่า พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังคงเกิดกระบวนการสะสมอนุพันธุ์ของ hydroxycinnamic acid และฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ อยู่ ซึ่งส่งผลให้พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาไว้ที่สภาพอุณหภูมิต่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลใกล้เคียงกับวันแรกของการเก็บรักษาหรือมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในทางตรงกันข้าม พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงอย่างเห็นได้ชัดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิและแก๊สออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับปฏิกิริยา polyphenol oxidation เหมาะสม จึงอาจส่งผลให้สารประกอบฟีนอลภายในเนื้อเยื่อของผลิตผลถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ PPO อย่างต่อเนื่อง และทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ภาพ 42, ตารางภาคผนวก 57)

ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่พริกหวานในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 173.8±5.0, 175.6±8.8 และ 159.3±10.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 20) พริกหวานเป็นผลิตผลที่อุดมไปด้วยวิตามินซี ซึ่งปริมาณวิตามินซีมาตรฐานของพริกหวานสีแดงสายพันธุ์การค้ามีค่าเท่ากับ 160 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (Marín *et al*., 2004) โดยการสลายตัวของวิตามินซีในพริกหวานสีแดงขึ้นอยู่กับ การเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ ascorbate peroxidase ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา (Yahia *et al*., 2001) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีของพริกหวานสีแดงในช่วงแรกของการเก็บรักษา

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 34 วัน พบว่า ปริมาณวิตามินซีของพริกหวานสีแดงในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณวิตามินซีในวันสุดท้ายมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณในวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 43, ตารางภาคผนวก 50) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ลดลง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยา ascorbate peroxidation ลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีในเนื้อเยื่อของพริกหวานสีแดงมีปริมาณคงที่ (Jiménez *et al.*, 2002) ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raffo *et al.* (2007) ที่พบว่า การเก็บรักษาพริกหวานสีแดงหั่นชิ้นไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน ปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงเพียง 6.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณวิตามินซีในวันเริ่มต้น อย่างไรก็ตาม Zhang and Sun (2005) พบว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของบรอกโคลีและแครอทหั่นชิ้น แต่การสูญเสียวิตามินซีของผลิตผลดังกล่าวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา

ปริมาณแคโรทีนอยด์

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่พริกหวานในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา ปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 6.80±0.16 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.66±0.10 และ 5.00±0.18 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 20) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พริกหวานสีแดงในกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แคโรทีนอยด์บางชนิดอาจถูกสังเคราะห์เพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการแก่ของผลพริก (Matsufuji *et al.*, 1998) จึงส่งผลให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด นอกจากนี้ Bouvier *et al.* (1998) รายงานว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์สามารถกระตุ้นการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในพริกหวานสีแดงได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พริกหวานสีแดงมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระดับเซลล์สูง ได้แก่ ปฏิกิริยา polyphenol oxidation, ascorbate oxidation และ peroxidation จึงอาจส่งผลให้สารสีแคโรทีนอยด์มีการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวได้ จึงส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าใกล้เคียงกับวันแรกของการเก็บรักษา

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 34 วัน พบว่า พริกหวานสีแดงในกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเป็นเพราะในสภาพธรรมชาติ พริกหวานสีแดงยังคงมีกระบวนการสะสมแคโรทีนอยด์อย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่ง β-carotene (Howard *et al.* 1994) สำหรับพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา โดยมีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 4.65 ถึง 5.97 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (ภาพ 44, ตารางภาคผนวก 54) เนื่องจากการลดอุณหภูมิเบื้องต้นและการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึมและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระดับเซลล์ได้ ซึ่งรวมถึงกระบวนการสังเคราะห์สารสีแคโรทีนอยด์ระหว่างการเก็บรักษาของผลพริกหวานสีแดง (Matsufuji *et al.*, 1998) โดยสารสีแคโรทีนอยด์ชนิดสำคัญที่พบในพริกหวานสีแดง ได้แก่ cucurbitaxanthin A, capsanthin, zeaxanthin และ betacryptoxanthin เป็นแคโรทีนอยด์ที่มีความคงตัวสูงแม้ในสภาวะที่อุณหภูมิและความเข้มแสงไม่เหมาะสม (Hornero-Méndez *et al.*, 2000) จึงอาจส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่พริกหวานในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 245.1±3.6 และ 231.1±6.6 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่ามากกว่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงในกรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 208.0±9.1 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง 20) เนื่องจากกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในพริกหวานสีแดงขึ้นอยู่กับปริมาณแคโรทีนอยด์ (Hornero-Méndez *et al.*, 2000) และปริมาณสารประกอบฟีนอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Rice-Evans and Miller, 1996; Hasler, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า พริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกรรมวิธีเก็บรักษา นอกจากนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พริกหวานสีแดงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดสูงที่สุด จึงอาจส่งผลให้ความเข้มข้นของสารที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณสูงตามไปด้วย สำหรับพริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด อาจเป็นเพราะพริกหวานสีแดงในกรรมวิธีดังกล่าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสูงที่สุด จึงอาจส่งผลให้มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงตามไปด้วย โดยการลดอุณหภูมิเบื้องต้นให้แก่ผลิตผลร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสลายตัวหรือการเสื่อมสภาพของวิตามินซี และสารประกอบฟีนอลในพริกหวานสีแดงได้ (Lee and Kader, 2000; Jiménez *et al.*, 2002; Raffo *et al.*,2008) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang and Sun (2005) ที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการลดอุณหภูมิ 4 วิธี ประกอบด้วย vacuum cooling, air blast cooling, cold room cooling และ plate cooling กับบรอกโคลีและแครอทหั่นชิ้นซึ่งพบว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากสามารถรักษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีได้ดีกว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีอื่น

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 34 วัน พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา และมีกิจกรรมคงที่ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา (ภาพ 45, ตารางภาคผนวก 56) โดยการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในพริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศอาจเป็นเพราะการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) และ peroxidase (POD) เพิ่มขึ้น (Tao *et al.*, 2007) โดยเอนไซม์ดังกล่าวเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับระบบของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzymes) ทำหน้าที่ร่วมกันในการกำจัดอนุมูลอิสระออกซิเจน (ROS) Jung (2004) รายงานว่า เอนไซม์ SOD จะทำปฏิกิริยาเปลี่ยน O_2^- ไปเป็น H_2O_2 หลังจากนั้นเอนไซม์ CAT และ POD จะออกซิไดซ์ H_2O_2 ในภายหลัง ทำให้อนุมูลอิสระภายในเนื้อเยื่อพืชลดลงและเกิดการเสื่อมสภาพของผลิตผลช้าตามไปด้วย นอกจากนี้ Tao *et al.*, 2007 พบว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ SOD, CAT และ POD ในเห็ดเพิ่มขึ้น 1.2, 1.2 และ 1.1 เท่า ตามลำดับ

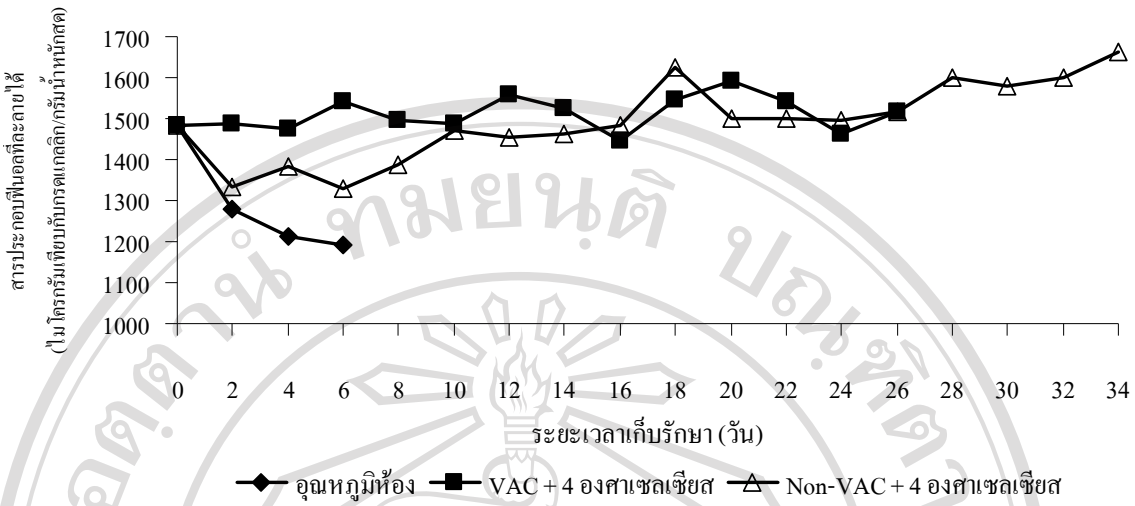
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 20 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

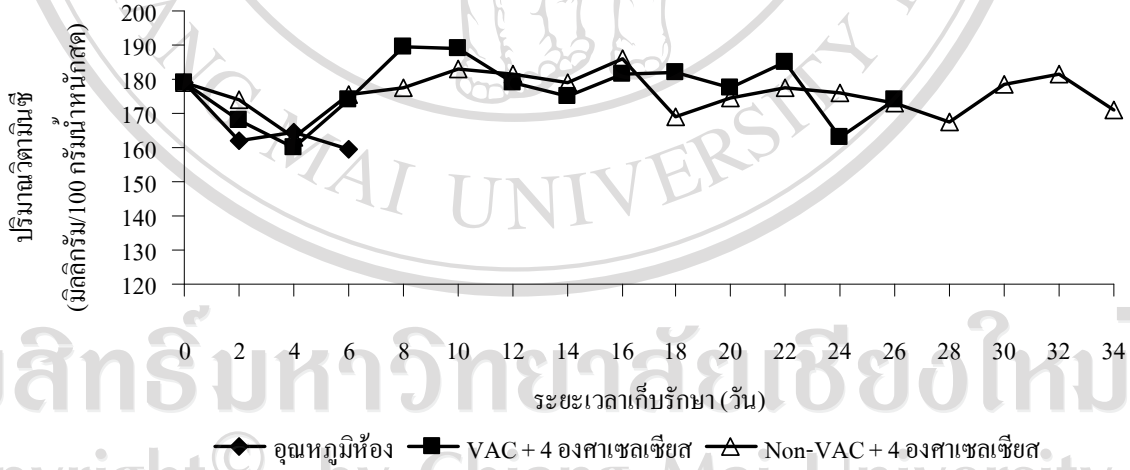
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (µg/gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
อุณหภูมิห้อง	1192.8±27.8^{c}	159.3±10.5	6.80±0.16^{a}	245.1±3.6^{a}
VC + 4 ºC	1540.7±59.3^{a}	173.8±5.0	5.66±0.10^{b}	231.1±6.6^{a}
NV + 4 ºC	1327.8±17.6^{b}	175.6±8.8	5.00±0.18^{b}	208.0±9.1^{b}
C.V. (%)	7.1	9.4	4.7	9.0
$LSD_{0.05}$	117.9	29.1	0.52	13.9

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

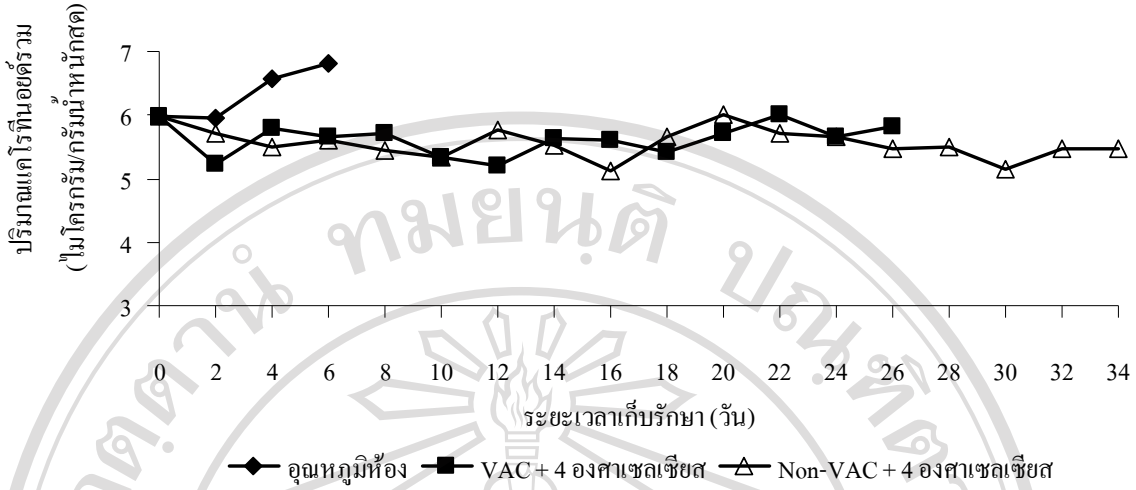


ภาพ 42 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน

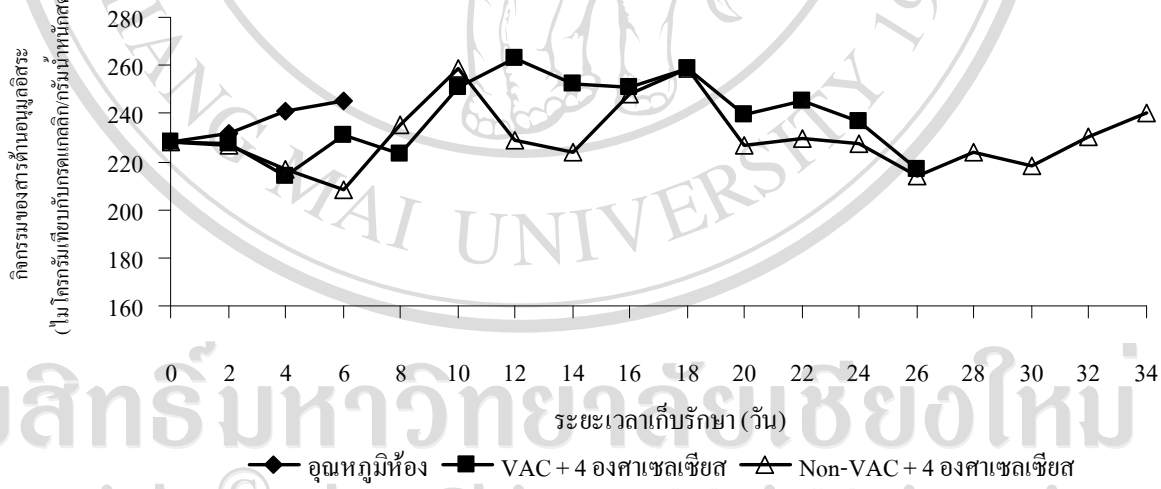


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 43 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน



ภาพ 44 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์รวมของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 45 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน

สี

ในการเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่พริกหวานในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิห้องและที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่า L* เท่ากับ 36.80±1.21 และ 34.09±0.71 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่า L* ของพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 34.03±0.49 (ตาราง 21) ค่า L* ของพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 46, ตารางภาคผนวก 51) ตามดัชนีแสดงค่าสีของการสะท้อนแสง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของผลพริกหวานสีแดง

ค่า chroma ของพริกหวานสีแดงกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 36.74±0.95, 35.33±0.66 และ 33.69±1.90 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 21) อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาแนวโน้มของค่า chroma ของสีผลพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษานาน 34 วัน พบว่า ค่า chroma ของพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และกรรมวิธีควบคุมมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่พริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ (ภาพ 47, ตารางภาคผนวก 52) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และกรรมวิธีควบคุมมีความซีดจางของสีแดงเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา อาจเป็นเพราะกรรมวิธีดังกล่าวสารสีแคโรทีนอยด์ชนิด capsanthin และ capsorubin ที่มีสีแดงสดเกิดการสลายตัวในขณะที่ β-carotene และ zeaxanthin ซึ่งมีสีส้มและสีเหลืองถูกสังเคราะห์ขึ้น (Matsufuji *et al.*, 1998) ทำให้สีของผลพริกหวานมีการแสดงออกของสีส้มหรือสีเหลืองมากขึ้นและส่งผลให้ผลพริกมีสีแดงจางลง สำหรับพริกหวานที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ พบว่าค่า chroma มีแนวโน้มคงที่ ซึ่งอาจเป็นเพราะการลดอุณหภูมิเบื้องต้นก่อนการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอกระบวนสลายตัวของ capsanthin และ capsorubin ได้จึงส่งผลให้ค่า chroma หรือความอิ่มตัวของสีแดงมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Matsufuji *et al.*, 1998; Hornero-Mendez *et al.*, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับค่า hue angle ของพริกหวานสีแดงกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 33.10±2.05, 30.46±1.11 และ 31.42±3.18 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 21) เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 34 วัน พบว่า ค่า hue angle มีแนวโน้มลดลงในทุกกรรมวิธีการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งพริกหวานในกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ค่า hue angle มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด (ภาพ 48, ตารางภาคผนวก 53) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีรายงานว่าหากเก็บรักษาผลพริกหวานสีแดงไว้ที่อุณหภูมิห้องมีการแสดงออกของสารสีแคโรทีนอยด์ชนิด capsanthin, cucurbitaxanthin A, zeaxanthin, β-carotene และ β-cryptoxanthin (Raffo *et al.*, 2008) มากกว่าผลพริกที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงอาจส่งผลให้การแสดงออกของสีเป็นไปในทางลักษณะสีแดงส้มเข้มขึ้น และทำให้ค่า hue angle ลดลง

การสูญเสียน้ำหนักสด

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่พริกหวานในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา พริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.80±0.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและพริกหวานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.24±0.09 และ 1.10±0.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) แสดงว่าการเก็บรักษาพริกหวานไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพริกหวานที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาและไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิจะพบว่า น้ำหนักสดของพริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาลดลงช้ากว่าการไม่ลดอุณหภูมิ ซึ่งการลดอุณหภูมิผักด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาสามารถลดการสูญเสียน้ำโดยชะลอกระบวนการหายใจและการคายน้ำของผลิตผลได้รวดเร็ว (จริงแท้, 2544; ดนัย และนิธิยา, 2548; Kader, 1988; Lee and Kader, 2000; Ozturk and Ozturk, 2009) และสามารถชะลอการการสูญเสียน้ำของพริกหวานสีแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเก็บรักษาพริกหวานสีแดงนาน 34 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนักสดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษา โดยพริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีการสูญน้ำหนักสดน้อยกว่าพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และพริกหวานสีแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 49, ตารางภาคผนวก 55) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานทดลองของ Sherman *et al.*, 1982 ที่รายงานว่า การลดอุณหภูมิพริกหวานสีเขียวด้วยระบบสุญญากาศสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ Sherman and Allen (1983) ได้ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อคุณภาพหลังเก็บเกี่ยวและการเกิดโรคเน่าเละ (soft rot) ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Erwinia carotovora* ซึ่งพบว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศสามารถชะลอการเกิดโรคเน่าเละในพริกหวานระหว่างการเก็บรักษาได้ เมื่อเทียบกับผลพริกที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีลดอุณหภูมิเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองพบว่า อายุการเก็บรักษาของพริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศสั้นกว่าพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ อาจเป็นเพราะการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงอย่างรวดเร็วด้วยวิธีลดความดันร่วมกับการเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว หรือ chilling injury (CI) ซึ่งอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 7.5 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวในพริกหวานสีแดง (Forney and Lipton, 1990) ผลพริกหวานสีแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศจึงแสดงอาการยุบตัวของผิวหรือ surface pitting โดยพบกระจายบริเวณพื้นที่ผิวของผลพริกหวานสีแดง ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาเพียง 25.80±0.58 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอายุการเก็บรักษาของผลพริกหวานสีแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาซึ่งมีค่าเท่ากับ 34.20±0.49 วัน (ตาราง 23)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 21 ค่า L*, chroma และค่า hue angle ของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

วิธีการ	ค่า L*	chroma	hue angle
อุณหภูมิห้อง	36.80±1.21[a]	33.69±1.90	31.42±3.18
VC + 4 ºC	34.09±0.71[ab]	36.74±0.95	33.10±2.05
NV + 4 ºC	34.03±0.49[b]	35.33±0.66	30.46±1.11
C.V. (%)	5.4	8.1	13.0
$LSD_{0.05}$	2.63	3.95	5.67

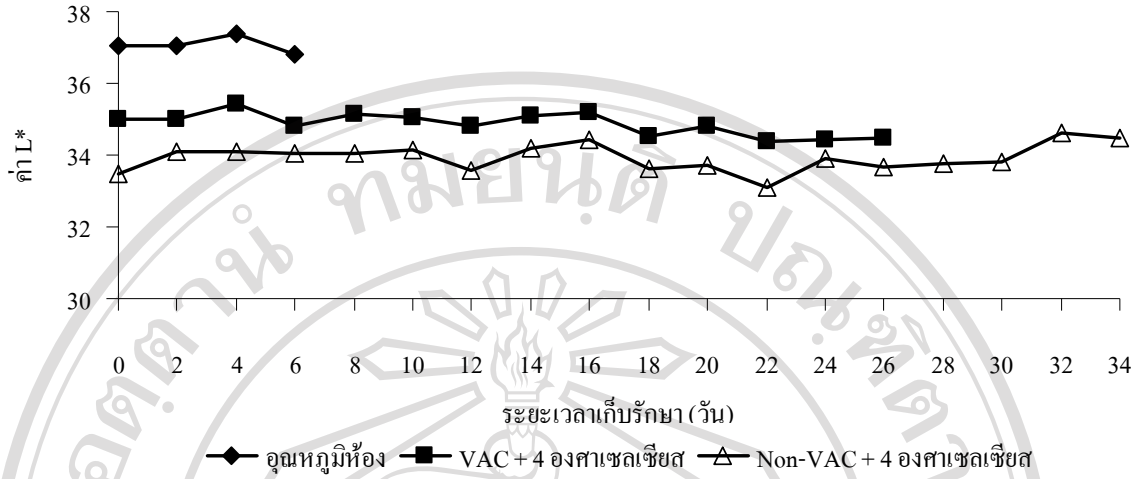
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 22 การสูญเสียน้ำหนักสดของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

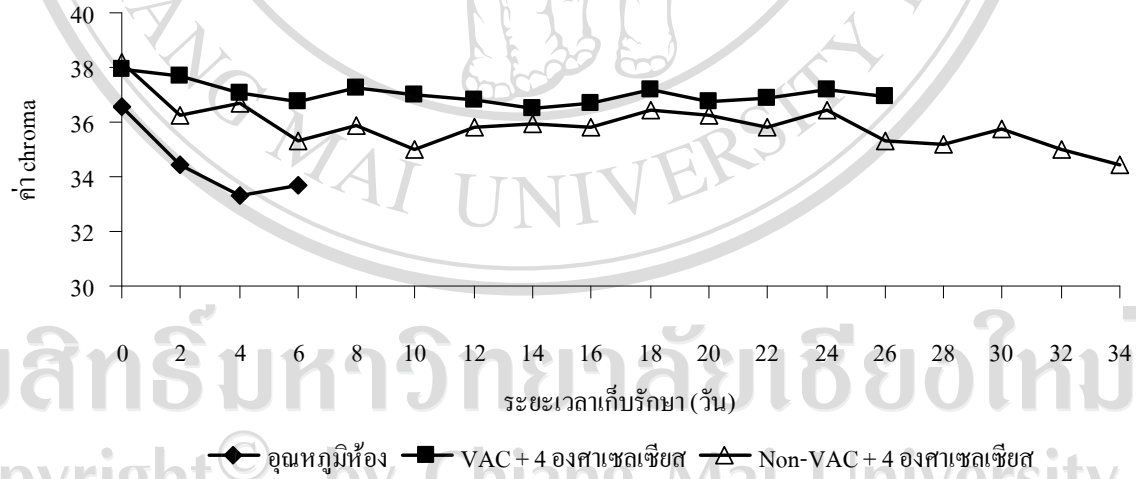
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
อุณหภูมิห้อง	1.10±0.07[a]
VC + 4 ºC	0.80±0.06[b]
NV + 4 ºC	1.24±0.09[a]
C.V. (%)	22.4
$LSD_{0.05}$	0.22

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

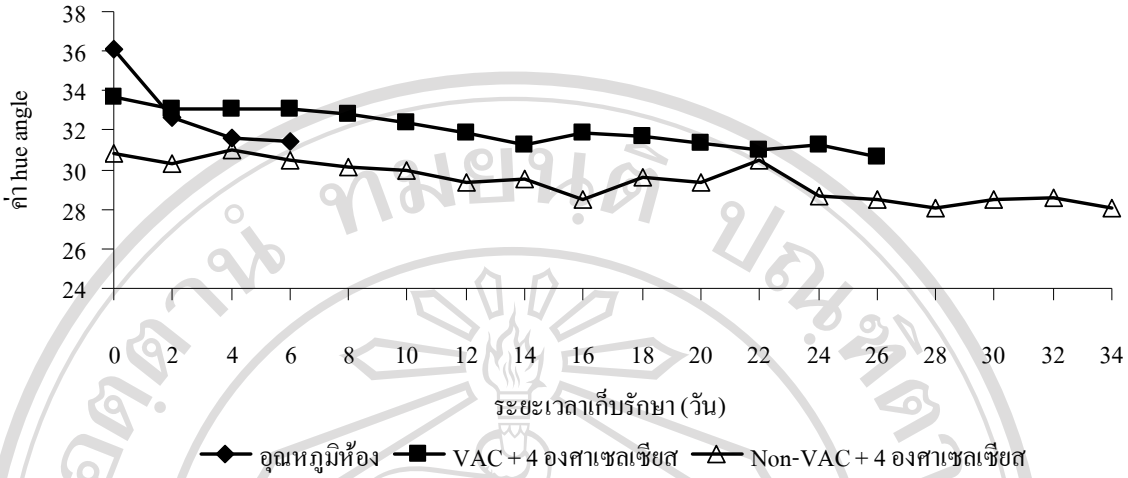


ภาพ 46 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน

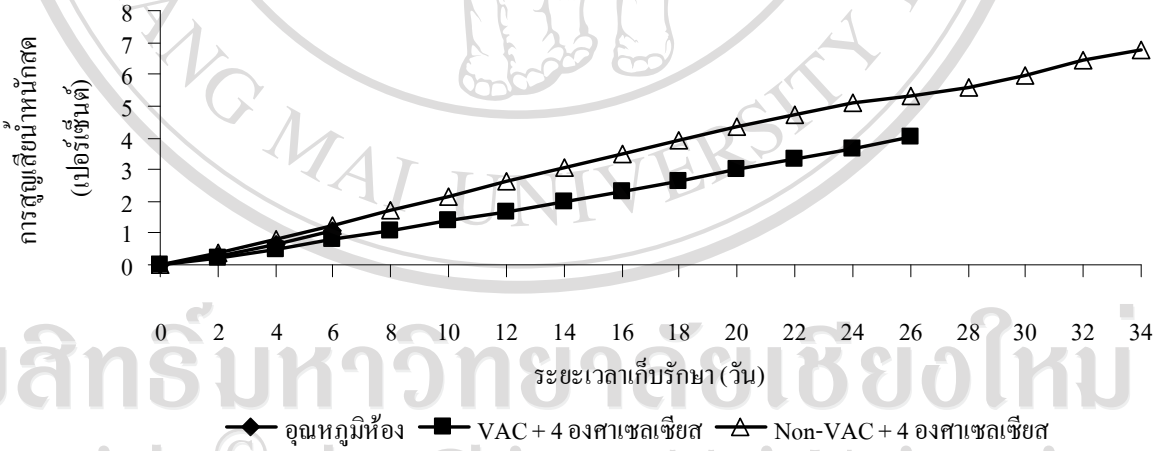


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 47 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน



ภาพ 48 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 49 การสูญเสียน้ำหนักสดของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 34 วัน

ตารางที่ 23 อายุการเก็บรักษาของพริกหวานสีแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิห้อง	6.00 ± 0.32^{c}
VC + 4 ºC	25.80 ± 0.58^{b}
NV + 4 ºC	34.20 ± 0.49^{a}
C.V. (%)	4.8
$LSD_{0.05}$	1.47

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3.2 ผลของการลดอุณหภูมิแบบ vacuum cooling และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วง

ปริมาณสารประกอบฟีนอล

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลของกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 3408.3±65.3, 3221.2±54.6 และ 3253.8±96.8 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 24) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและอุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะหล่ำปลีสีม่วง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากภาพ 50 และตารางภาคผนวก 65 แสดงให้เห็นว่า ในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะหล่ำปลีสีม่วงในทุกกรรมวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้นทำการทดลอง และในช่วงวันที่ 2-20 ของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีปริมาณคงที่ในช่วงสุดท้ายเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา

กะหล่ำปลีสีม่วงอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอล โดยแอนโทไซยานินเป็นชนิดของฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุด (Wu *et al*., 2006; Charron *et al*., 2007) โดย acylated anthocyanins หรือแอนโทไซยานินชนิดที่มีการเชื่อมต่อกับกรดและหมู่ของน้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม มีความคงตัวทางโครงสร้างและพันธะสูงถึงแม้ว่าอยู่ในสภาพการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเป็นกรด-ด่างสูง หรืออุณหภูมิสูง (Giusti and Wrolstad, 2003) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลสอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินของกะหล่ำปลีสีม่วง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโทไซยานินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา (ภาพ 52, ตารางภาคผนวก 62) อาจเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้ปริมาณแอนไทไซยานินทั้งหมดภายในเซลล์มีความเข้มข้นมากขึ้นตามไปด้วย

ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีของกะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 107.5±25.0, 108.8±12.5 และ 80.3±6.2 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 24) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในกะหล่ำปลีสีม่วงในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา แต่เมื่อเก็บรักษาผลิตผลนาน 30 วัน ปริมาณวิตามินซีของกะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 51, ตารางภาคผนวก 58) อาจเป็นเพราะการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase และชะลอการสลายตัวของวิตามินซีตามธรรมชาติได้ (Zepplin and Elvehjein, 1944) ในทางตรงกันข้าม ปริมาณวิตามินซีของกะหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตผลสูญเสียปริมาณวิตามินซีอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (Podsedek, 2006) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณวิตามินซีของกะหล่ำปลีสีม่วงทั้งสองกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในกะหล่ำปลีสีม่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณแอนโทไซยานิน

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธี

ควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา ปริมาณแอนโทไซยานินของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 81.4±2.9, 84.5±1.1 และ 78.2±4.3 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 24) เนื่องจากแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีสีม่วงเป็นแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดินที่เชื่อมพันธะกับกลูโคสหรือไดกลูโคไซด์และกรดอะลิฟาติกหลายชนิด (Arapitsas *et al.*, 2008) จึงสลายตัวได้ยากแม้จะเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หรือสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง (McDougall *et al.*, 2007; Scalzo *et al.*, 2007) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนปริมาณแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีสีม่วง

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อเก็บรักษานาน 4 วัน กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 277.7±5.5 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด โดยมีค่ามากกว่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 259.1±4.8 และ 252.6±4.1 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของทั้งสองกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 24) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงไม่สัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณวิตามินซี และสารประกอบฟีนอล เพราะเมื่อพิจารณาสารดังกล่าวของกะหล่ำสีม่วงในทุกกรรมวิธีแล้วพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าสูงที่สุด

พืชตระกูลกะหล่ำนอกจากวิตามินซีและสารประกอบฟีนอลที่จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญแล้วยังมีสารประกอบอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้อีก เช่น isothiocyanate, ∝-tocopherol, β-carotene, uric acid, coenzyme Q_{10} หรือ ubiquinone เป็นต้น (Prior and Cao, 2000; James *et al.*, 2004; Posmyk *et al.*, 2009) ดังนั้นในการทดลองนี้เมื่อผ่านไป 4 วันหลังการเก็บรักษา การที่กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีอื่นอาจเนื่องมาจากมีสารประกอบอื่นนอกจากวิตามินซีและสารประกอบฟีนอลที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกัน และดังนั้นกิจกรรมของสารต้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงในการทดลองครั้งนี้จึงไม่สัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณวิตามินซี และสารประกอบฟีนอล เพราะนอกจากสารทั้งสามชนิดยังมีสารประกอบชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิดที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงเป็นเวลา 30 วัน พบว่า กะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 2 ถึงวันที่ 24 และมีแนวโน้มลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับกิจกรรมในวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 53, ตารางภาคผนวก 64) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระภายในกะหล่ำปลีสีม่วง และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี และปริมาณแอนโทไซยานินที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองครั้งนี้ (ตารางภาคผนวก 58, 62, 64, 65) แต่อาจมีความสัมพันธ์กับสารประกอบอื่นและกิจกรรมของ antioxidant enzymes โดยการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อาจมีผลมาจากกิจกรรมของ antioxidant enzymes ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่ง Tao *et al.* (2007) รายงานว่า การลดอุณหภูมิเห็ดด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส สามารถส่งผลให้เอนไซม์ SOD, CAT และ POD มีกิจกรรมเพิ่มขึ้น 1.2, 1.2 และ 1.1 เท่า ตามลำดับ ระหว่างการเก็บรักษา

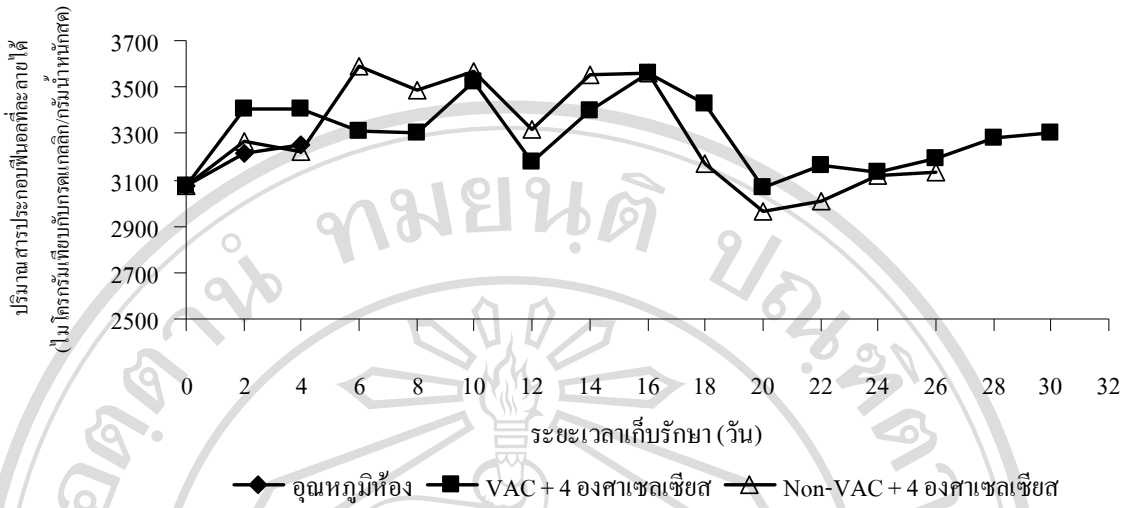
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 24 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

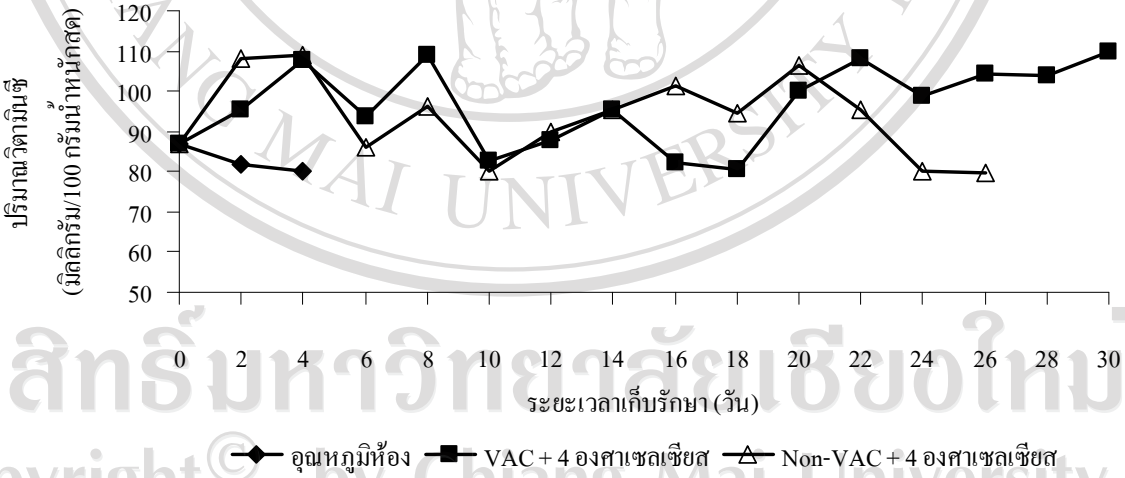
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/100 gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
อุณหภูมิห้อง	3253.8±96.8	86.3±6.2	78.2±4.3	252.6±4.1[b]
VC + 4 ºC	3408.3±65.3	107.5±25.0	81.4±2.9	277.7±5.5[a]
NV + 4 ºC	3221.2±54.6	108.8±12.5	84.5±1.1	259.1±4.8[b]
C.V. (%)	5.5	23.7	7.8	4.5
$LSD_{0.05}$	224.1	57.2	10.7	14.6

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

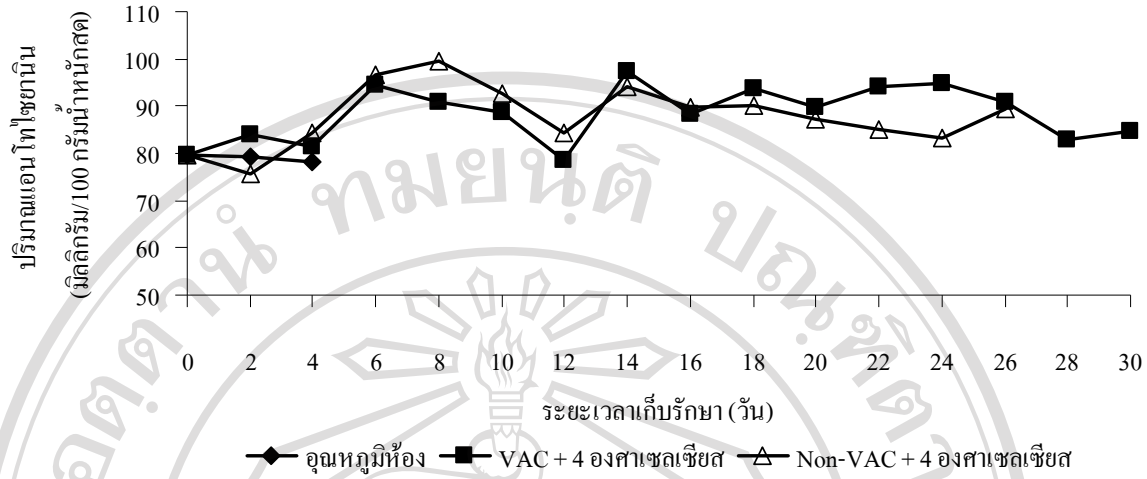


ภาพ 50 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน

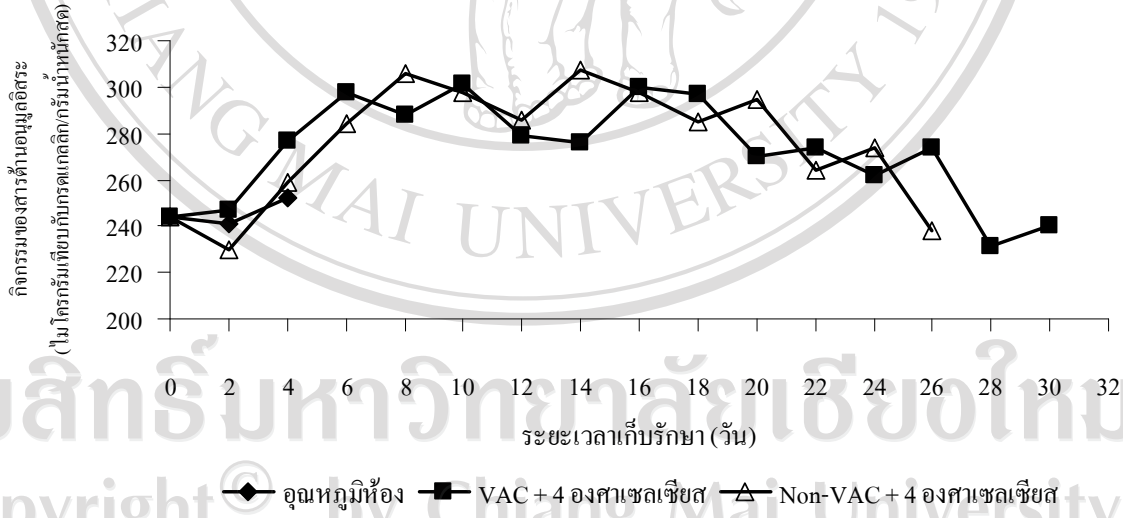


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 51 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน



ภาพ 52 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 53 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน

สี

เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา กะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่า L* ของใบสูงที่สุดเท่ากับ 28.33±0.49 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่า L* ของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 23.81±0.53 และ 23.63±0.68 ตามลำดับ (ตาราง 25) นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษานาน 30 วัน พบว่า ค่า L* ของใบกะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งอาจเป็นเพราะระหว่างการเก็บรักษา ใบของกะหล่ำปลีสีม่วงมีสีคล้ำลงเนื่องจากการสูญเสียน้ำและเกิดการช้ำ (ภาพ 54, ตารางภาคผนวก 59)

ค่า chroma ของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 24.60±1.52 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า chroma ของใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องที่มีค่าเท่ากับ 19.61±1.72 และ 19.07±0.84 ตามลำดับ (ตาราง 25) เมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีม่วงนาน 30 วัน พบว่า ค่า chroma ของใบกะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเป็นเพราะใบของกะหล่ำปลีสีม่วงเกิดการเสื่อมสภาพ เหี่ยวและสูญเสียน้ำส่งผลให้แอนโทไซยานินและสารสีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกของสีม่วงหรือน้ำเงินม่วงสลายตัวและทำให้ความอิ่มตัวของสีใบชั้นนอกที่ใช้ในการวัดสีลดลงระหว่างการเก็บรักษา (ภาพ 55, ตารางภาคผนวก 60)

ค่า hue angle ของใบกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 350.26±1.48 และ 348.78±0.79 องศา ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ใบกะหล่ำปลีสีม่วงมีค่า hue angle เท่ากับ 346.16±1.32 โดยมีค่าน้อยกว่าค่า hue angle ของใบกะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ตาราง 25) ค่า hue angle ที่อยู่ในช่วง 315 ถึง 360 องศา หมายถึงวัตถุนั้นมีสีม่วงถึงม่วงแดง (McGuire, 1992) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนสีจากสีม่วงแดงไปเป็นสีม่วงคล้ำได้ ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสีใบของกะหล่ำปลีสีม่วงมีความคล้ำเกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของค่า L* ค่า chroma และค่า hue angle (ภาพ 54, ภาพ 55, ภาพ 56, ตารางภาคผนวก 61)

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา กะหล่ำปลีสีม่วงในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.27±0.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ที่มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 0.52±0.07 และ 0.60±0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 26) น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเซลล์ของผักและผลไม้ ซึ่งผักและผลไม้โดยทั่วไปแล้วมีน้ำเป็นส่วนประกอบ 80-95 เปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2540) การเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำทำให้การหายใจของผลิตผลลดลง ส่งผลให้มีการคายน้ำน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง และเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในพืชช้าลง (สายชล, 2528) การลดอุณหภูมิเบื้องต้นหรือ precooling สามารถลดการคายน้ำและชะลอการเน่าเสียของผลิตผลพืชสวนบางชนิดได้ (Wang and Sun, 2001) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถลดการสูญเสียน้ำของกะหล่ำปลีสีม่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสดของกะหล่ำปลีสีม่วง พบว่า กรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษา มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ากรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษา (ภาพ 57, ตารางภาคผนวก 63) เนื่องจากการลดอุณหภูมิของกะหล่ำปลีสีม่วงลงอย่างรวดเร็วในกระบวนการลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยระบบสุญญากาศส่งผลต่อการหายใจของผลิตผลเร็วกว่าการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงอย่างช้าๆ ด้วยการนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าทั้งกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศจะมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่การลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยระบบสุญญากาศสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักสดได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของกะหล่ำปลีสีม่วงได้นานกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับการลดอุณหภูมิเบื้องต้น ซึ่งมีอายุการเก็บรักษานาน 30.60±0.75 และ 25.60±0.60 วัน ตามลำดับ (ตาราง 27) โดยกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแสดงอาการเหี่ยว ช้ำ การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และการเข้าทำลายของโรคเน่าเละช้ากว่ากรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิเบื้องต้นก่อนการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 25 ค่า L*, chroma และค่า hue angle ของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

วิธีการ	ค่า L*	chroma	hue angle
อุณหภูมิห้อง	28.33±0.49[a]	19.07±0.84[b]	346.16±1.32[b]
VC + 4 ºC	23.81±0.53[b]	19.61±1.72[b]	350.26±1.48[a]
NV + 4 ºC	23.63±0.68[b]	24.60±1.52[a]	348.78±0.79[ab]
C.V. (%)	5.1	14.4	0.8
$LSD_{0.05}$	1.76	4.60	3.80

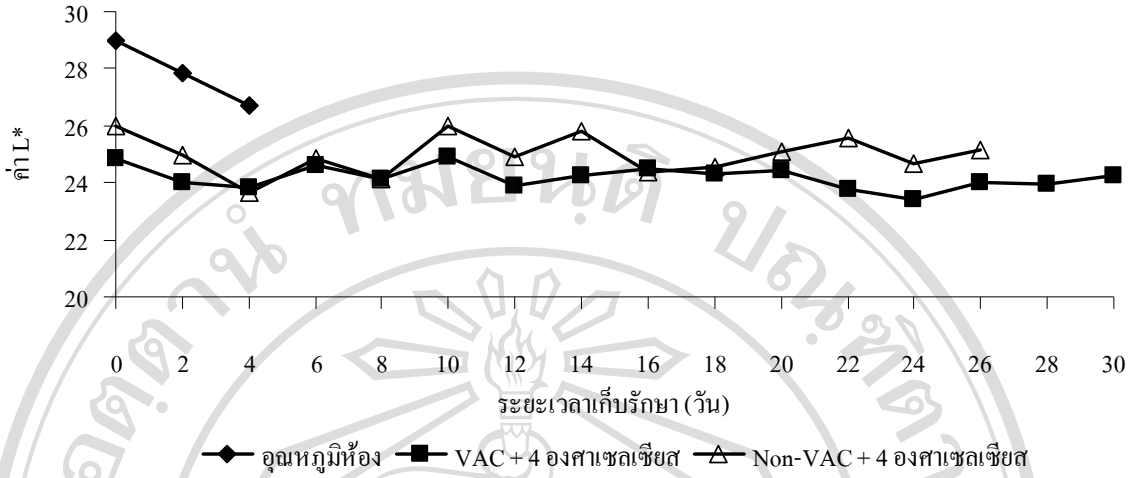
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 26 การสูญเสียน้ำหนักสดของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

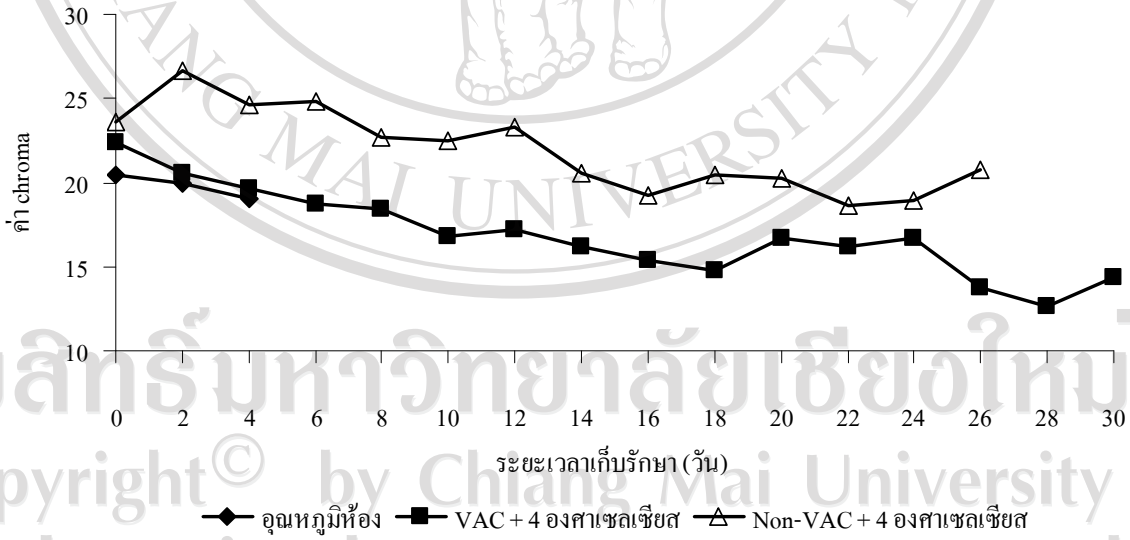
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
อุณหภูมิห้อง	0.60±0.01[a]
VC + 4 ºC	0.27±0.06[b]
NV + 4 ºC	0.52±0.07[a]
C.V. (%)	35.9
$LSD_{0.05}$	0.10

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

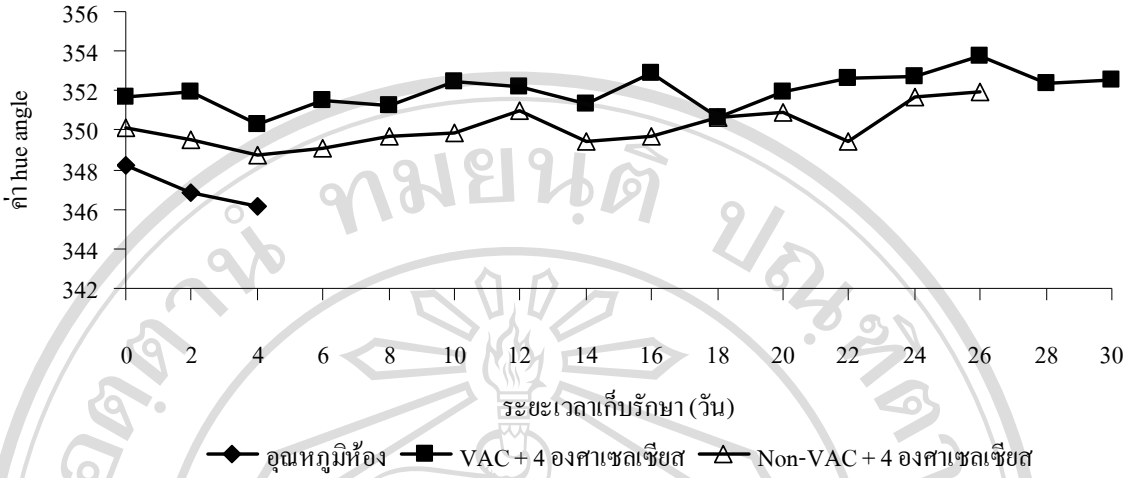


ภาพ 54 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน

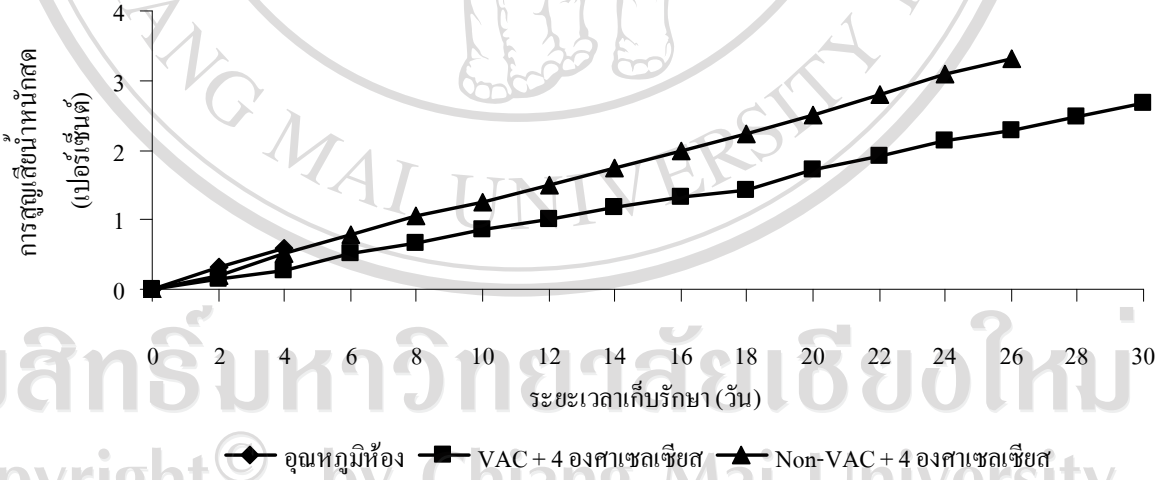


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 55 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน



ภาพ 56 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 57 การสูญเสียน้ำหนักสดของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน

ตาราง 27 อายุการเก็บรักษาของกะหล่ำปลีสีม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิห้อง	4.20±0.20[c]
VC + 4 ºC	30.60±0.75[a]
NV + 4 ºC	25.60±0.60[b]
C.V. (%)	6.3
$LSD_{0.05}$	1.74

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3.3 ผลของการลดอุณหภูมิแบบ vacuum cooling และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และกิจกรรมของต้านอนุมูลอิสระของบีท

ปริมาณสารประกอบฟีนอล

เมื่อเก็บรักษาบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กรรมวิธีควบคุมสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา บีทที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด เท่ากับ 1272.9±55.6 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือบีทที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 1125.2±17.1 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด สำหรับหัวบีทในกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยที่สุด เท่ากับ 942.4±48.4 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง 28) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลในหัวบีทสามารถสลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (Herbach *et al*., 2004) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การนำความร้อนที่ติดมากับแปลงปลูกออกจากหัวบีทด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลในหัวบีทได้ดีที่สุด

เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 36 วัน พบว่า ในช่วงแรกของการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลของหัวบีทในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีค่าค่อนข้างผันแปร แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลในวันสุดท้ายมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณในวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 58, ตารางภาคผนวก 73) การที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลในหัวบีททั้งสองกรรมวิธีมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลในเนื้อบีทไม่เกิดปฏิกิริยา polyphenol oxidation หรือเกิดได้น้อย ทั้งนี้เพราะการเก็บรักษาบีทที่อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งหรือชะลอการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลและปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลได้ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้มีค่าคงที่เมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษาบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กรรมวิธีควบคุมสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา บีทที่ผ่าน

และไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 41.1±7.2 และ 32.0±7.1 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณวิตามินซีของบีทในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่ามากกว่าชุดควบคุม ที่มีค่าเท่ากับ 24.7±0.0 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด อย่างไรก็ตามปริมาณวิตามินซีของบีทในชุดควบคุมพบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิเบื้องต้นร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ตาราง 28) เนื่องจากการเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสลายตัวของวิตามินซีในผลิตผลทางพืชสวนได้ (Lee and Kader, 2000) แสดงว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสลายตัวของ L-ascorbic acid และ dehydroascorbic acid ในหัวบีทได้

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 36 วัน พบว่า บีทในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซีในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่าลดลงไป 72.5 และ 63.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณวิตามินซีในวันแรกของการเก็บรักษา (ภาพ 59, ตารางภาคผนวก 66) เนื่องจากวิตามินซีที่พบในบีทประกอบด้วยโครงสร้าง L-ascorbic acid และ dehydroascorbic acid ซึ่งโครงสร้าง dehydroascorbic acid สามารถสลายตัวได้ช้ากว่าโครงสร้าง L-ascorbic acid และมีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแต่พบปริมาณน้อยในเนื้อบีท (Marchesini *et al.*, 1975) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อาจช่วยชะลออัตราการสลายตัวของ dehydroascorbic acid ได้ แต่ไม่สามารถชะลอการสูญเสีย L-ascorbic acid ในเนื้อบีทได้ (Marchesini *et al.*, 1975)

ปริมาณบีตาเลน

เมื่อเก็บรักษาบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กรรมวิธีควบคุมสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา บีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณบีตาเลนเท่ากับ 37.0±2.4 และ 36.5±3.6 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่ามากกว่าปริมาณบีตาเลนของหัวบีทในกรรมวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่มีค่าเท่ากับ 24.3±3.7 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง 28) บีตาเลนเป็นสารสีที่สังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไทโรซีน สามารถสลายตัวได้ง่ายในสภาวะการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูง (Attoe and von Elbe, 1981; Strack *et al*., 2003) ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง บีทมีการสลายตัวของบีตาเลนมากที่สุด ส่วนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสลายตัวของบีตาเลนในเนื้อบีทได้

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 36 วัน พบว่า หัวบีทในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณบีตาเลนมีค่าค่อนข้างผันแปรในช่วง 24 วันแรก อย่างไรก็ตามในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณบีตาเลนมีแนวโน้มคงที่เมื่อเทียบกับปริมาณในวันแรก (ภาพ 60, ตารางภาคผนวก 70) การที่ปริมาณบีตาเลนมีแนวโน้มคงที่อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการสลายตัวของบีตาเลนได้ Vitti *et al.* (2005) รายงานว่า การเก็บรักษาบีทพร้อมปรุงไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสลายตัวของบีตาไซยานิน และชะลอการลดลงของค่าดัชนีสีเนื้อ (color index; CI) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนของค่า a* และ b* กล่าวคือหาก CI มีค่ามากแสดงว่าเนื้อบีทมีสีแดงเข้ม และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อเก็บรักษาบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นกรรมวิธีควบคุม พบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันที่กรรมวิธีควบคุมสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา บีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 97.9±6.9 และ 103.4±1.9 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับหัวบีทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 85.3±6.7 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของหัวบีทในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่มีค่าน้อยกว่ากรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (ตาราง 28) ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากบีทมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารสีบีตาเลนและสารประกอบฟีนอลที่พบในสารสกัดนั้น (Wettasinghe *et al*., 2002) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีการแปรผันตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอลและปริมาณบีตาเลน ซึ่งการลดอุณหภูมิบีทด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำให้บีทมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและสารสีบีตาเลนสูงกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จึงอาจส่งผลให้บีทที่ผ่านการลดอุณหภูมิเบื้องต้นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตามไปด้วย

เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 36 วัน พบว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของหัวบีทในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า มีค่าผันแปรในช่วงวันที่ 2 ถึงวันที่ 22 แล้วจึงมีแนวโน้มคงที่ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับปริมาณในวันแรก (ภาพ 61, ตารางภาคผนวก 72) เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ความสามารถต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลและปริมาณบีตาเลนที่พบในหัวบีท

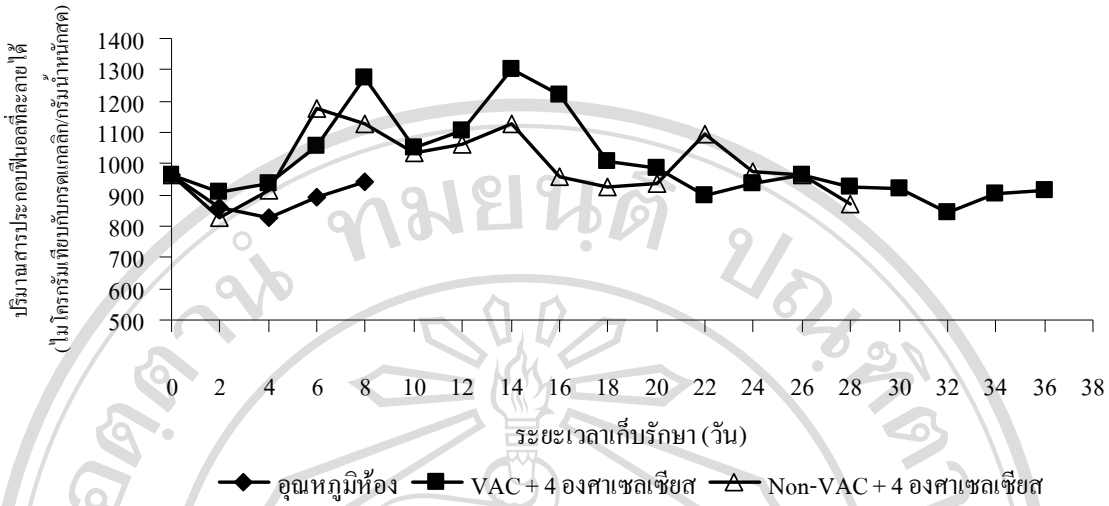
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 28 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณวิตามินซี ปริมาณบีตาเลน และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ของบีทที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

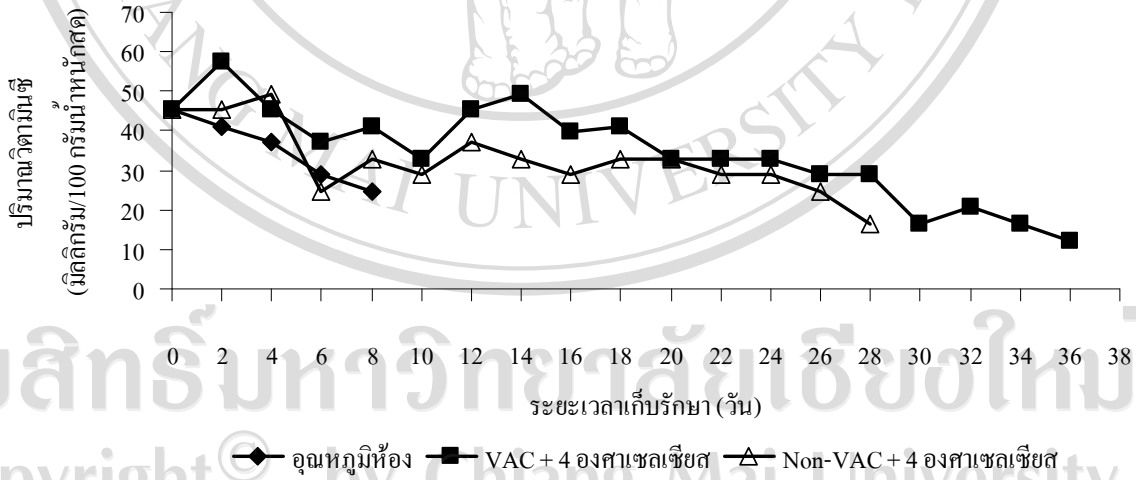
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (µgGAE/gFW)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 gFW)	ปริมาณบีตาเลน (mg/100 gFW)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µgGAE/gFW)
อุณหภูมิห้อง	942.4±48.4^{c}	24.7±0.0^{b}	24.3±3.7^{b}	85.3±6.7^{b}
VC + 4 ºC	1272.9±55.6^{a}	41.1±7.2^{a}	37.0±2.4^{a}	97.9±6.9^{ab}
NV + 4 ºC	1125.2±17.1^{b}	32.0±7.1^{ab}	36.5±3.6^{a}	103.4±1.9^{a}
C.V. (%)	9.1	17.7	15.8	14.5
$LSD_{0.05}$	131.6	11.6	6.4	17.0

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

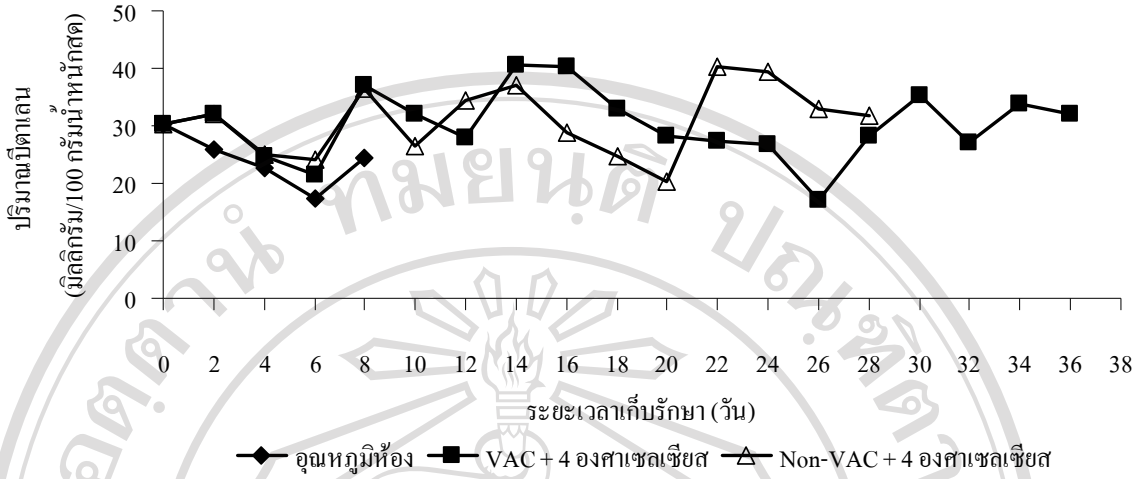


ภาพ 58 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน

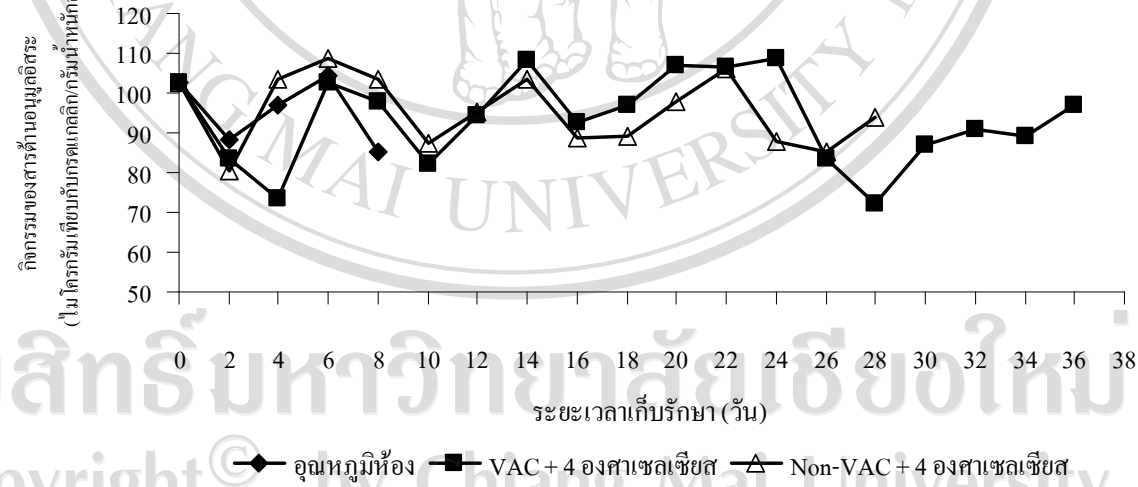


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 59 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน



ภาพ 60 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาเลนของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 61 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน

สี

เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 8 วัน ซึ่งเป็นวันที่กรรมวิธีควบคุมสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา พบว่าเนื้อบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุมมีค่า L* เท่ากับ 24.72±0.50, 24.65±1.53 และ 25.02±0.30 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 29) นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาบีทเป็นเวลา 36 วัน พบว่า ค่า L* ของทุกกรรมวิธีการเก็บรักษา มีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 21.68±0.80 ถึง 32.85±3.51 โดยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 62, ตารางภาคผนวก 67) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิเบื้องต้นและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเนื้อบีท

ค่า chroma ของเนื้อบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 42.20±0.35, 42.86±1.01 และ 45.66±0.99 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 29) เมื่อเก็บรักษาบีทเป็นเวลา 36 วัน พบว่า ค่า chroma ของทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 63, ตารางภาคผนวก 68) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า chroma ที่ลดลงอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาเลนของเนื้อบีท ซึ่งส่งผลให้ความอิ่มตัวของสีเนื้อลดลงเล็กน้อย

ค่า hue angle ของเนื้อบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 16.52±1.22 และ 15.15±0.84 องศา ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าน้อยกว่าสีเนื้อบีทในชุดควบคุม ที่มีค่าเท่ากับ 20.06±0.63 องศา (ตาราง 29) ค่า hue angle ที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 45 องศา หมายถึงวัตถุนั้นมีสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง (McGuire, 1992) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนสีเนื้อบีทจากสีม่วงแดงไปเป็นสีส้มแดงได้ เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 36 วัน พบว่า ค่า hue angle ของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 64, ตารางภาคผนวก 69) จากแนวโน้มค่า hue angle แสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนสีเนื้อบีทจากสีม่วงแดงไปเป็นสีส้มแดงได้จนผลิตผลหมดอายุการเก็บรักษา ในทางตรงกันข้าม การเก็บรักษาบีทไว้ที่อุณหภูมิห้อง สีเนื้อบีทเปลี่ยนจากสีม่วงแดงไปเป็นสีส้มแดงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจึงส่งผลให้ค่า hue angle เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสูญเสียน้ำหนักสด

เมื่อเก็บรักษาบีทนาน 8 วัน ซึ่งเป็นวันที่กรรมวิธีควบคุมสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา พบว่า บีทที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.72±0.06 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบีทที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 1.26±0.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าบีทในชุดควบคุม ที่มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดเท่ากับ 2.62±0.10 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 30) ดนัยและนิธิยา (2548) รายงานว่า การลดอุณหภูมิของผลิตผลลงอย่างรวดเร็วสามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำได้ เนื่องจากในสภาพอุณหภูมิสูง ผลิตผลจะสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งการลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยวิธีการลดความดันสามารถลดอุณหภูมิของผักได้เร็วกว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีห้องเย็นธรรมดามาก ตัวอย่างเช่น ผักกาดหอมห่อ หากใช้วิธีลดความดัน อุณหภูมิจะลดลงได้เร็วกว่าวิธีห้องเย็นธรรมดาถึง 13 เท่า (Ozturk and Ozturk, 2009) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสดของบีทได้มากกว่าการไม่ลดอุณหภูมิของผลิตผลก่อนการเก็บรักษา

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสดของบีทระหว่างการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ากรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 65, ตารางภาคผนวก 71) นอกจากนี้การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของบีทได้นานกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับการลดอุณหภูมิเบื้องต้น โดยหัวบีทในกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแสดงอาการเหี่ยวของหัวและเกิดการงอกของต้นบีทขึ้นบริเวณรอยตัดช้ากว่าหัวบีทที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษา ซึ่งอาการเหี่ยวและการงอกของต้นอ่อนบริเวณรอยตัดเป็นเงื่อนไขที่ผู้ประเมินใช้เป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษา โดยหัวบีทที่ผ่านการลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 35.40±1.08 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบีทในกรรมวิธีที่ไม่ลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่มีอายุการเก็บรักษาเพียง 25.60±0.24 วัน (ตาราง 31)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 29 ค่า L*, chroma และ hue angle ของบีทที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธี vacuum cooling แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

วิธีการ	ค่า L*	chroma	hue angle
อุณหภูมิห้อง	25.02±0.30	45.66±0.99	20.06±0.63[a]
VC + 4 ºC	24.72±0.50	42.20±0.35	16.52±1.22[b]
NV + 4 ºC	24.65±1.53	42.86±1.01	15.15±0.84[b]
C.V. (%)	7.2	4.9	10.2
$LSD_{0.05}$	2.56	3.63	2.07

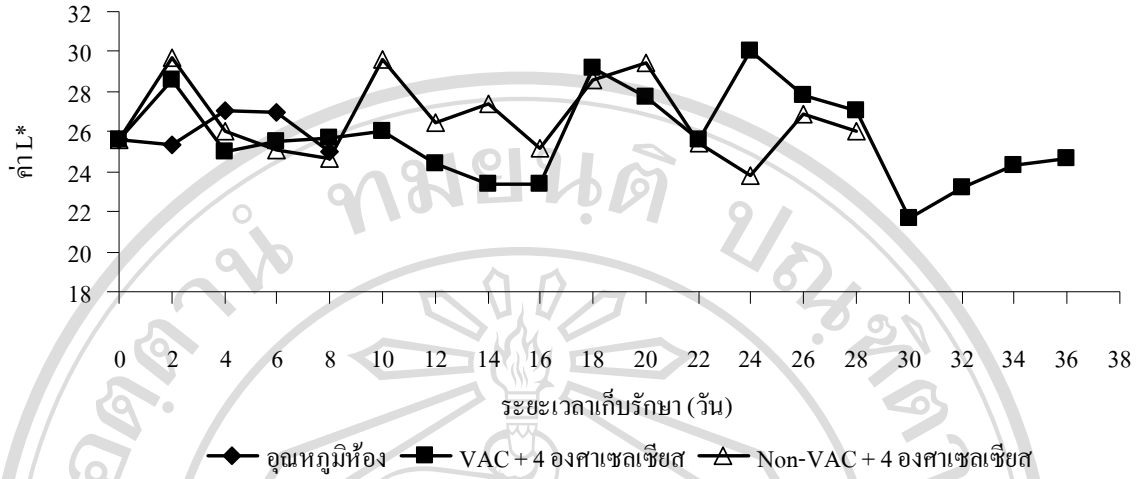
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 30 การสูญเสียน้ำหนักสดของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

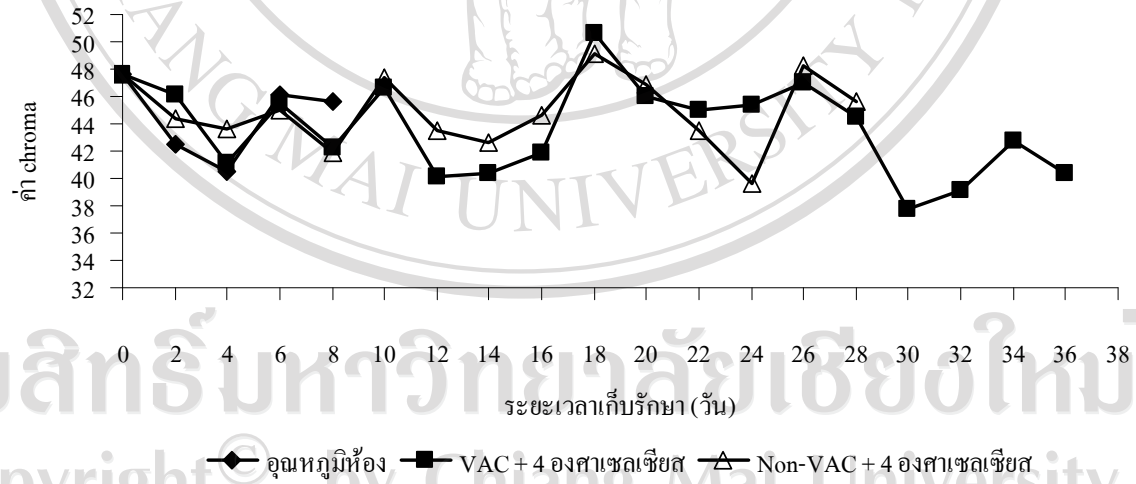
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
อุณหภูมิห้อง	2.62±0.10[a]
VC + 4 ºC	0.72±0.06[c]
NV + 4 ºC	1.26±0.12[b]
C.V. (%)	19.7
$LSD_{0.05}$	0.28

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

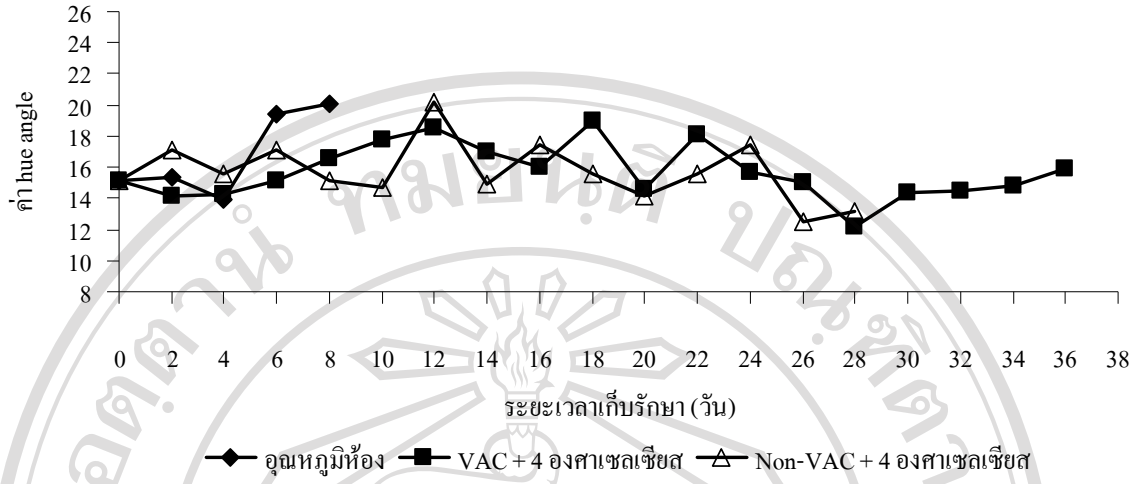


ภาพ 62 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน

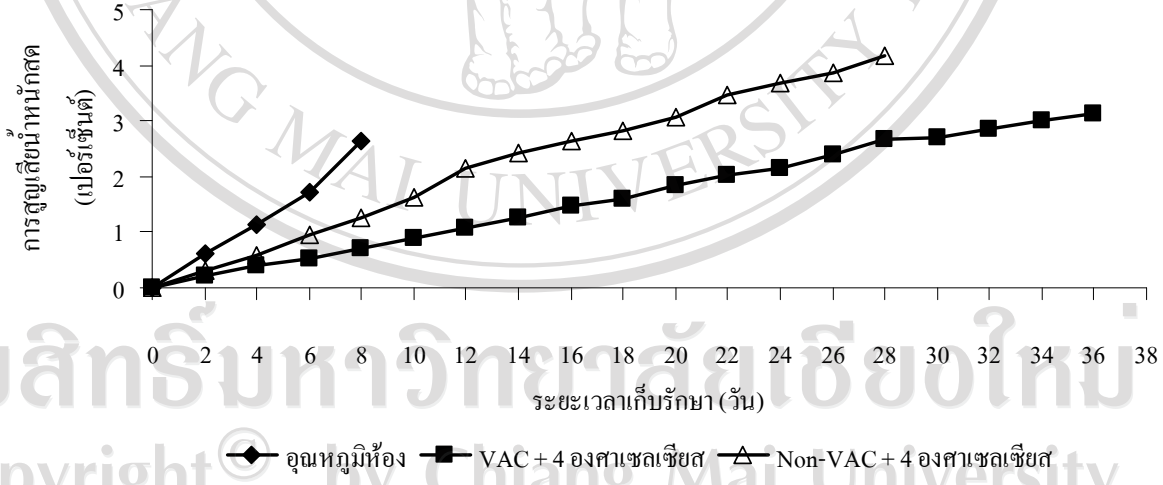


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 63 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน



ภาพ 64 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 65 การสูญเสียน้ำหนักสดของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 36 วัน

ตาราง 31 อายุการเก็บรักษาของบีทที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิห้อง	7.80±0.20[c]
VC + 4 ºC	35.40±1.08[a]
NV + 4 ºC	25.60±0.24[b]
C.V. (%)	6.3
$LSD_{0.05}$	2.00

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved