สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของหัวแก่นตะวันที่ผู้บริโภครับรู้ได้และใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพในการบริโภคหัวแก่นตะวันสด

4.1.1 ลักษณะเฉพาะของหัวแก่นตะวันสดที่ผู้บริโภครับรู้ได้

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส (sensory attributes) ของหัวแก่นตะวันสดที่ผู้บริโภคแต่ละคนรับรู้และใช้ในการประเมินคุณภาพของหัวแก่นตะวันสด โดยใช้วิธี Free Choice Profiling (FCP) พบว่า ผู้ประเมินทั้ง 24 คน ให้คำศัพท์ที่แสดงลักษณะของหัวแก่นตะวันสดทั้งสิ้น 37 ลักษณะ โดยแบ่งได้ 4 กลุ่มลักษณะ ดังนี้ (กลุ่มที่ 1) ด้านลักษณะปรากฏมี 12 ลักษณะ (กลุ่มที่ 2) ด้านกลิ่นมี 9 ลักษณะ (กลุ่มที่ 3) ด้านรสชาติมี 5 ลักษณะ และ (กลุ่มที่ 4) ด้านเนื้อสัมผัสมี 11 ลักษณะ ลักษณะทางประสาทสัมผัสและร้อยละของความถี่ของคำแสดงลักษณะที่ผู้ประเมินรับรู้ได้แสดงในตารางที่ 4.1 ลักษณะที่มีร้อยละของความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 50 ได้แก่ ลักษณะด้านความกรอบ ความฉ่ำน้ำ สีขาวของเนื้อแก่นตะวัน สีน้ำตาลของเปลือก กลิ่นเหม็นเขียว รสหวาน ความแข็ง ความเป็นเส้นใย กลิ่นฉุน จำนวนแง่งของหัวแก่นตะวัน และความฝาดเฝื่อน โดยลักษณะด้านความกรอบ ความฉ่ำน้ำ (กลุ่มลักษณะด้านเนื้อสัมผัส) และสีขาวของเนื้อแก่นตะวัน (กลุ่มลักษณะด้านลักษณะปรากฏ) มีร้อยละของความถี่ที่ถูกใช้ในการประเมินมากกว่าร้อยละ 90 ทั้งนี้วิธี FCP ให้ความสำคัญกับทุกลักษณะที่ผู้บริโภคประเมินได้และแสดงผังการรับรู้ของผู้บริโภค อีกทั้งช่วยสร้างความเข้าใจว่าลักษณะใดเป็นลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์นั้นๆ (Elmore and Heymann 1999) ซึ่งลักษณะที่มีความถี่สูงจะเป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคมีให้ความสำคัญในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Koster 2003, *cited in* Guardia and others 2010) ดังนั้นลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ ความฉ่ำน้ำ และสีขาวของเนื้อแก่นตะวันจึงเป็นลักษณะที่สำคัญและสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพของหัวแก่นตะวันสด

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางประสาทสัมผัสและร้อยละของความถี่ของจำนวนคำแสดงลักษณะที่ผู้บริโภคประเมินได้

ลักษณะทางประสาทสัมผัส (attributes)	ความถี่ (ร้อยละ)
ความกรอบ	**95.83**
ความฉ่ำน้ำ	**95.83**
สีขาวของเนื้อ	**91.67**
สีน้ำตาลของเปลือก	**79.17**
กลิ่นรสเหม็นเขียว	**75.00**
รสหวาน	**75.00**
ความแข็ง	**66.67**
ความเป็นเส้นใย	**62.50**
กลิ่นฉุน	**54.17**
จำนวนแง่ง	**50.00**
ความฝาดเฝื่อน	**50.00**
ความเผ็ด,ซ่า	45.83
ขนาดของหัวแก่นตะวัน	37.50
รสขม	33.33
มัน (คล้ายมันแกว)	33.33
ขนาดของแง่ง	12.50
ความสม่ำเสมอของสีเนื้อ	12.50
จำนวนตาที่ผิวเปลือก	12.50
กลิ่นโลหะ	12.50
การเกาะตัวกันเมื่ออยู่ในปาก	12.50
กลิ่นเฉพาะตัว	8.33
ความเนียนละเอียดของเนื้อเมื่อเคี้ยว	8.33
ความเปราะเมื่อกัดครั้งแรก	8.33
ความหยาบของผิวเปลือก	8.33

หมายเหตุ ใช้ผู้ประเมินจำนวน 24 คน

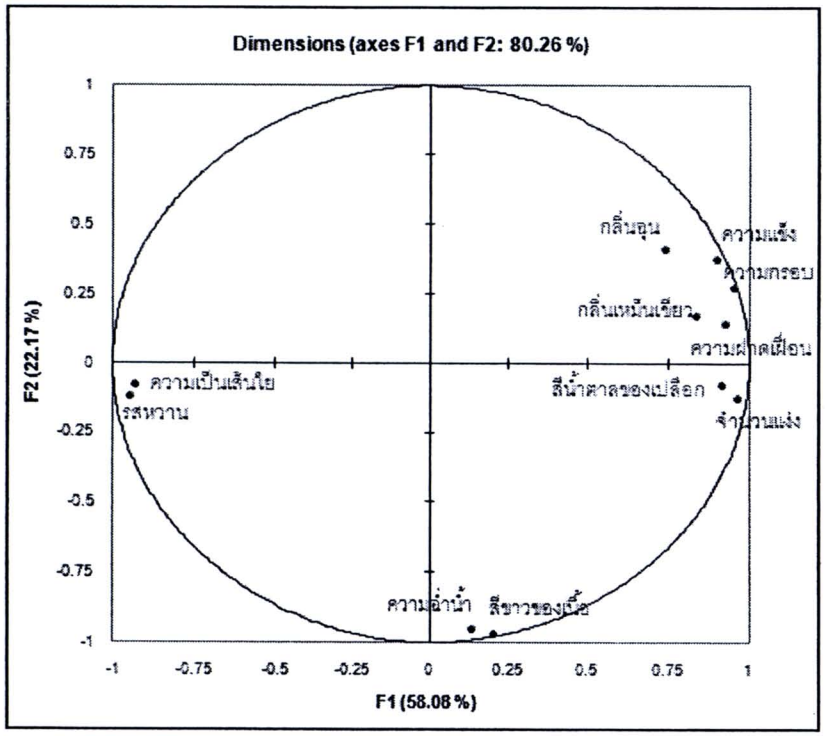
ลักษณะสำคัญของหัวแก่นตะวันที่ผู้บริโภคประเมินได้ สอดคล้องกับลักษณะสำคัญของพืชผักชนิดอื่น ซึ่งให้ความสำคัญของปัจจัยคุณภาพในด้าน ลักษณะปรากฏ(สี) และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oirschot and others (2003) ได้ทำการประเมินคุณภาพมันเทศในระหว่างการเก็บรักษาโดยวิธีการระดมความคิด (Brain storming) ร่วมกับวิธีการบรรยายเชิงพรรณนาลักษณะ (Quantitative Descriptive Analysis ; QDA) พบว่า ลักษณะทางประสาทสัมผัสของหัวมันเทศที่ที่ผู้บริโภคสำคัญ ได้แก่ ลักษณะของความเป็นเส้นใย ความแข็ง (เนื้อสัมผัส) และลักษณะด้านสี (ลักษณะปรากฏ) ของตัวอย่าง นอกจากนี้ ธีระเดช ศรีวงศ์ (2552) ได้นำวิธี FCP มาใช้เพื่อสร้างโครงร่างทางประสาทสัมผัสของผักคะน้า และสร้างความเชื่อมโยงของลักษณะทางประสาทสัมผัสกับลักษณะทางกายภาพ พบว่า ผักคะน้าที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบและมีสีเขียวเข้ม เป็นลักษณะสำคัญที่ผู้บริโภคยอมรับและมีความตั้งใจซื้อมากที่สุด ความชอบโดยรวมและความตั้งใจซื้อของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นสีเขียวของใบและลักษณะเนื้อสัมผัสที่รับรู้ได้จากการสัมผัส เช่น ลักษณะความกรอบของใบและลำต้น เป็นต้น

4.1.2 ผังโครงร่างทางประสาทสัมผัสและผังการรับรู้ผลิตภัณฑ์

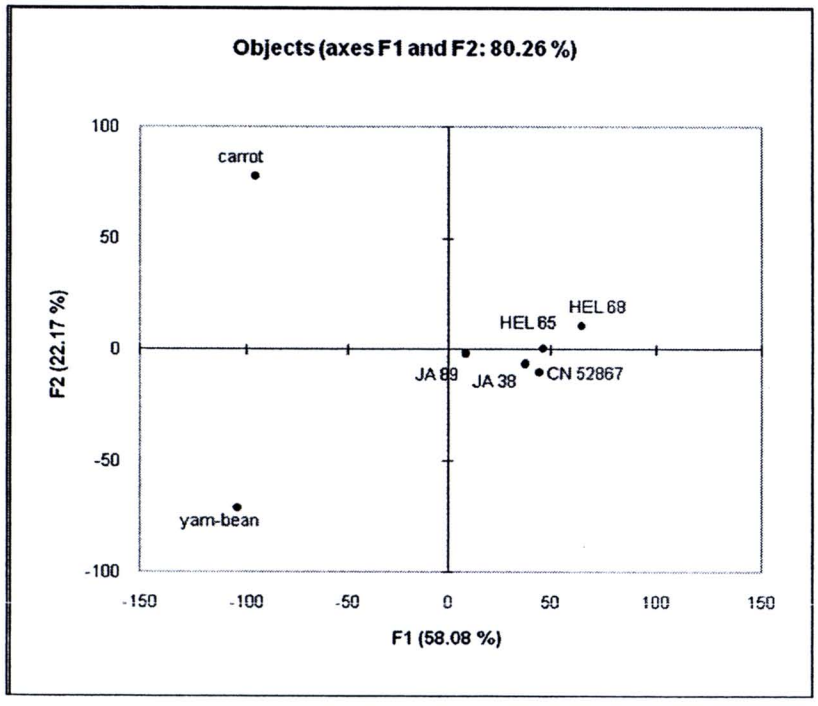
วิธี FCP เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ สร้างผังโครงร่างทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์และผังการรับรู้ผลิตภัณฑ์ ใช้แสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะด้านต่างๆ และผลิตภัณฑ์ได้ จากการศึกษาโดยนำข้อมูลลักษณะคุณภาพของหัวแก่นตะวันสดจากการประเมินโดยวิธี FCP มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Generalised Procrustes Analysis (GPA) ทำให้ทราบโครงร่างทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (sensory profile; ภาพที่ 4.1) และผังการรับรู้ผลิตภัณฑ์ (product profile; ภาพที่ 4.2) พิจารณาแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (F1) สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างมันแกวและแครอท ออกจากตัวอย่างแก่นตะวันทั้ง 5 สายพันธุ์ โดยพืชทั้งสองชนิดมีลักษณะเด่นในด้านความเป็นเส้นใยและรสหวาน ส่วนกลุ่มของแก่นตะวันทั้ง 5 สายพันธุ์มีลักษณะเด่นในด้านความกรอบ ความฉ่ำน้ำ สีขาวของเนื้อ ความแข็ง กลิ่นฉุน กลิ่นเหม็นเขียว ความฝาดเฝื่อน สีน้ำตาลของเปลือก และจำนวนแง่ง พิจารณาแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (F2) สามารถแบ่งตัวอย่างหัวแก่นตะวันได้เป็นสองกลุ่มซึ่งมีลักษณะเด่นแตกต่างกัน โดยแก่นตะวันสายพันธุ์ HEL68 และ HEL65 มีลักษณะเด่นในด้านความกรอบ ความแข็ง กลิ่นฉุน กลิ่นเหม็นเขียว และความฝาดเฝื่อน ส่วนแก่นตะวันสายพันธุ์ JA89 JA38 และ CN52867 มีลักษณะเด่นในด้านสีขาวของเนื้อ ความฉ่ำน้ำ จำนวนแง่ง และสีน้ำตาลของเปลือก (ภาพที่ 4.1 และ 4.2) ทั้งนี้ แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (F1) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลได้ร้อยละ 58.08 และแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (F2) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลได้ร้อยละ 22.17 ซึ่งทั้งสองแกนนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลโดยรวมได้ ร้อยละ 80.26

เมื่อพิจารณาผังโครงร่างทางประสาทสัมผัส (ภาพที่ 4.1) และผังการรับรู้ผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 4.2) พบว่า แก่นตะวันมีความกรอบมากกว่ามันแกวและแครอท แต่มีความหวานและความเป็นเส้นใยน้อยกว่า ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารของแก่นตะวันสายพันธุ์ HEL65 มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งร้อยละ 21 ซึ่งต่ำกว่าปริมาณใยอาหารทั้งหมดของแครอท ซึ่งมีประมาณร้อยละ 28 (สายพันธุ์ *Daucus carota* sp. *sativus* ประเทศสวีเดน) (Margareta and others 2002)

การพิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) เพื่อพิจารณาว่ามีตัวแปรใดควรอยู่ในองค์ประกอบ (factor) เดียวกัน ในการพิจารณาว่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสใดที่ควรอยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน ให้พิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัยของแต่ละตัวแปร ถ้าค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใดมีค่ามาก (เข้าสู่ +1 หรือ -1) ควรจัดตัวแปรนั้นอยู่ในองค์ประกอบดังกล่าว จากค่าน้ำหนักปัจจัย (ตารางที่ 4.2) และผังโครงร่างทางประสาทสัมผัส (ภาพที่ 4.1) สามารถระบุได้ว่า แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (F1) สามารถอธิบายลักษณะด้านต่างๆ ได้ครอบคลุมทุกด้าน คือ ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส โดยอธิบายลักษณะสีน้ำตาลของเปลือก จำนวนแง่งกลิ่นเหม็นเขียว กลิ่นฉุน ความฝาดเผื่อน ความแข็ง และความกรอบ (ค่าน้ำหนักปัจจัยเป็นบวก; +) ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับรสหวานและความเป็นเส้นใย (ค่าน้ำหนักปัจจัยเป็นลบ; -) และมีความสัมพันธ์กับผังการรับรู้ผลิตภัณฑ์ของตัวอย่างทั้ง 7 ชนิด โดยแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (F1) สามารถแบ่งกลุ่มของมันแกวและแครอทออกจากกลุ่มของแก่นตะวันทั้ง 5 สายพันธุ์ ส่วนแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (F2) อธิบายลักษณะด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส คือ สีขาวของเนื้อแก่นตะวัน และความฉ่ำน้ำ (-) ตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสดังกล่าวจึงจัดอยู่ในแกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (F2) เมื่อพิจารณาทั้งแกน F1 และ F2 ในควอรันต์ที่ 1 และ 4 (ภาพที่ 4.1 และ 4.2) จึงสามารถแบ่งกลุ่มของแก่นตะวันออกได้เป็น 2 กลุ่ม ซึ่งมีลักษณะเด่นแตกต่างกันดังที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้พิจารณาที่ค่าสัมบูรณ์น้ำหนักปัจจัยที่สูงกว่า 0.6



ภาพที่ 4.1 ผังโครงร่างทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างพืชหัว 7 ชนิด จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค GPA



ภาพที่ 4.2 ผังการรับรู้ผลิตภัณฑ์แสดงการกระจายตัวของตัวอย่างพืชหัว 7 ชนิด จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค GPA

ตารางที่ 4.2 ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ จำนวน 11 ลักษณะบนผังการรับรู้โครงร่างทางประสาทสัมผัส

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบหลักที่ 1 (F1)	องค์ประกอบหลักที่ 2 (F2)
สีน้ำตาลของเปลือก	**0.964**	-0.124
สีขาวของเนื้อ	0.204	**-0.972**
จำนวนแง่ง	**0.918**	-0.080
กลิ่นเหม็นเขียว	**0.837**	0.172
กลิ่นฉุน	**0.739**	0.410
รสหวาน	**-0.948**	-0.121
ความฝาดเฝื่อน	**0.928**	0.140
ความแข็ง	**0.902**	0.372
ความกรอบ	**0.952**	0.274
ความเป็นเส้นใย	**-0.933**	-0.080
ความฉ่ำน้ำ	0.137	**-0.951**

หมายเหตุ ตัวอักษรเข้ม หมายถึง ค่าสัมบูรณ์น้ำหนักปัจจัยที่สูงกว่า 0.60

อย่างไรก็ตามวิธี FCP เป็นการดำเนินการทดสอบกับผู้ประเมิน ซึ่งเป็นผู้บริโภคทั่วไปที่ไม่ได้รับการฝึกฝน จึงเป็นข้อจำกัดที่ส่งผลต่อความแตกต่างด้านความสามารถในการรับรู้ลักษณะทางประสาทสัมผัส การใช้คำศัพท์เพื่อสื่อความหมายทางประสาทสัมผัส และความเข้าใจในความหมายของคำศัพท์ในลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละลักษณะของผู้ประเมิน ซึ่งอาจส่งผลต่อการประเมินจำนวนคำศัพท์ และลักษณะความเข้มทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคประเมินได้ ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าคะแนนความเข้มที่ระบุ โดยอาจต่างไปจากความหมายที่แท้จริงของลักษณะทางประสาทสัมผัสนั้นๆ ซึ่งส่งผลต่อการตีความหมายของลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้วิจัย และส่งผลโดยตรงต่อข้อมูลผังโครงร่างทางประสาทสัมผัสและผังรับรู้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fillion and Kilcast (2002) ที่ได้อธิบายข้อจำกัดของวิธีการดังกล่าวว่า การดำเนินการทดสอบกับผู้ประเมินซึ่งเป็นผู้บริโภคทั่วไป ผู้บริโภคมักใช้คำศัพท์ที่มีความหมายไม่ชัดเจนในการสื่อความหมายทางประสาทสัมผัส ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับประสบการณ์และความสามารถในการเลือกใช้คำที่ชัดเจนและเหมาะสมในการสื่อความหมาย ซึ่งส่งผลต่อการตีความและแปลความหมายของคำศัพท์โดยผู้วิจัย นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของวิธี FCP อาจเกิดได้จากการวิเคราะห์ประมวลผลของโปรแกรมด้วยเทคนิค GPA ซึ่งเกิดจากการสุ่มข้อมูลเพื่อทดแทนข้อมูลที่

หายไปในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยข้อมูลที่หายไปดังกล่าวมาจากผู้ประเมินบางคนที่ไม่สามารถประเมินหรือรับรู้ลักษณะทางประสาทสัมผัสได้ในบางลักษณะ ซึ่งเกิดจากความสามารถในการรับรู้ที่แตกต่างกันดังได้กล่าวมาแล้ว จึงอาจส่งผลต่อผังโครงร่างทางประสาทสัมผัสที่ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ลักษณะเฉพาะบางลักษณะของแก่นตะวันในแต่ละสายพันธุ์อาจมีความใกล้เคียงกันมาก ผู้ประเมินจึงไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เหตุผลดังกล่าวได้ถูกอธิบายสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lachnit and others (2003) ได้ทำการทดสอบการรับรู้ทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของน้ำส้มอัดลม จำนวน 8 ตัวอย่าง โดยวิธี FCP ทำการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ โดยใช้ผู้ประเมินกลุ่มเดิม พบว่า ผู้ประเมินแต่ละคนไม่สามารถใช้คำในการบรรยายลักษณะของตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งผู้ประเมินแต่ละคน ประเมินตัวอย่างผลิตภัณฑ์เดิมไม่มีความสอดคล้องกันในแต่ละซ้ำ ทำให้ผังโครงร่างทางประสาทสัมผัสและผังการรับรู้ผลิตภัณฑ์ของตัวอย่างในแต่ละซ้ำมีความแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุอาจเกิดเนื่องจากลักษณะด้านกลิ่นรสที่ต้องการประเมินในตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง มีความแตกต่างกันน้อยมาก ผู้ประเมินจึงไม่สามารถรับรู้และประเมินได้อย่างแม่นยำโดยวิธีดังกล่าว

4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และกลุ่มโปรตีนที่อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของหัวแก่นตะวันสด

เมื่อนำหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 จากแปลงทดลองคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มาวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และองค์ประกอบของกลุ่มโปรตีนที่อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของหัวแก่นตะวันสด ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 องค์ประกอบพื้นฐานทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

องค์ประกอบพื้นฐานทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL 65 แสดงในตารางที่ 4.3

4.2.1.1 <u>องค์ประกอบพื้นฐานทางกายภาพ</u>

หัวแก่นตะวันสดมีผิวเปลือกสีเหลืองนวล-น้ำตาลอ่อน (ภาพที่ 4.3) มีค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 52.56, 7.23, 25.29 ตามลำดับ และค่ามุมของสี (hue angle) เท่ากับ 74.05 องศา ซึ่งแสดงถึงสีผิวเปลือกของหัวแก่นตะวันสดอยู่ในเฉดสีค่อนมาทางสีเหลือง (มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา) ส่วนเนื้อหลังปอกเปลือกของหัวแก่นตะวันสดมีสีขาว เนื้อสัมผัสของหัวแก่นตะวันสดมีลักษณะกรอบแน่น มีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 2196 กรัม$_{แรง}$ ซึ่งใกล้เคียงกับความแน่นเนื้อของมันแกว 2241 กรัม$_{แรง}$ (Mercado-Silva and others 1998)

ภาพที่ 4.3 ลักษณะของหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL 65 ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา

4.2.1.2 <u>องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี</u>

แก่นตะวันมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 79 ซึ่งปริมาณน้ำในหัวแก่นตะวันมีส่วนในการเกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่ฉ่ำน้ำและกรอบแน่น หัวแก่นตะวันสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 19.42 องศาบริกซ์ มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และฟรุคแทนคิดเป็นร้อยละ 1.8, 0.06, 0.95, 21.14, 12.03, 9.11 และ 54.51 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีวิตามินซีเท่ากับ 4.65 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดเท่ากับ 42.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (คิดเทียบเท่ากรดแกลลิค) และกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นเป็น 4.20 ไมโครกรัมเทียบเท่า Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (โดยวิธี DPPH) และ 4.50 ไมโครกรัมเทียบเท่า Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (โดยวิธี ABTS)

4.2.1.3 <u>องค์ประกอบทางจุลินทรีย์</u>

หัวแก่นตะวันสดที่ผ่านขั้นตอนการล้างแล้วมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราเริ่มต้นประมาณ 3 และ 2 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณไม่เกินตามมาตรฐานของเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร สำหรับอาหารพร้อมบริโภค ซึ่งกำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไว้ที่ 6.0 log CFU/g และปริมาณยีสต์และราเป็น 4.0 log CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2536)

จากองค์ประกอบของแก่นตะวันจะเห็นได้ว่า หัวแก่นตะวันสดมีปริมาณฟรุคแทน สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณเส้นใยอาหารสูง ในขณะเดียวกันก็มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นแก่นตะวันจึงมีศักยภาพในการเป็นพืชอาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยฟรุคแทนประกอบด้วยฟรุคโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์และอินนูลิน ซึ่งมีประโยชน์ในการช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบพื้นฐานทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของแก่นตะวันสายพันธุ์ HEL 65

องค์ประกอบ	หน่วยการวิเคราะห์	ปริมาณ
กายภาพ		
เนื้อสัมผัส	กรัม$_{แรง}$	2196.05±18.31
ความสว่าง (L*)	-	52.56±2.25
ความเป็นสีแดง (a*)	-	7.23±1.22
ความเป็นสีเหลือง (b*)	-	25.29±0.97
เคมี		
ความชื้น	ร้อยละ	79.01±1.48
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	องศาบริกซ์	19.42±0.88
ความเป็นกรด-ด่าง	-	6.34±0.06
โปรตีน	ร้อยละ	1.80±0.04
ไขมัน	ร้อยละ	0.06±0.01
เถ้า	ร้อยละ	0.95±0.02
ใยอาหารทั้งหมด (TDF)	ร้อยละโดยน้ำหนักตัวอย่างแห้ง	21.69±0.78
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF)	ร้อยละโดยน้ำหนักตัวอย่างแห้ง	10.95±1.52
ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (SDF)	ร้อยละโดยน้ำหนักตัวอย่างแห้ง	10.73±2.29
ฟรุคแทน (fructan)	ร้อยละโดยน้ำหนักตัวอย่างแห้ง	54.51±5.49
สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง เทียบเท่ากรดแกลลิค	42.50±9.19
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง เทียบเท่า Trolox	4.20±0.03
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง เทียบเท่า Trolox	4.50±0.05
วิตามินซี	มิลลิกรัม/100กรัม น้ำหนักสด	4.65±0.01
จุลินทรีย์		
จุลินทรีย์ทั้งหมด	log CFU/g	3.00±0.00
ยีสต์และรา	log CFU/g	2.00±0.00

หมายเหตุ ค่าสังเกต แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.2 ผลการศึกษากลุ่มโปรตีนที่อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของหัวแก่นตะวันสด

เมื่อนำหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 มาสกัดโปรตีนและวิเคราะห์มวลโมเลกุลของแถบโปรตีนที่แยกได้โดยเทคนิค SDS-PAGE โดยเปรียบเทียบมวลโมเลกุลกับแถบโปรตีนมาตรฐานในช่วง 6.5-195 kDa จากภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า สารสกัดจากแก่นตะวันมีแถบโปรตีนที่แยกได้ทั้งสิ้น 4 แถบ โดยมีขนาดของมวลโมเลกุลเท่ากับ 5.7, 35, 47 และ 59 kDa แถบโปรตีนของตัวอย่างที่ปรากฏชัดเจน คือ แถบโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 5.7 kDa

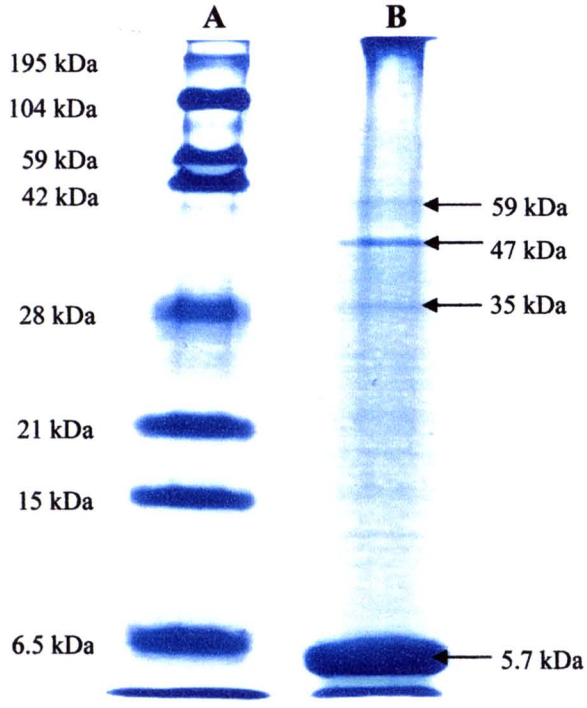
เมื่อพิจารณามวลโมเลกุลของแถบโปรตีนที่แยกได้จากสารสกัดหัวแก่นตะวันในช่วง 35 และ 47 kDa สอดคล้องกับมวลโมเลกุลของเอนไซม์ PME ซึ่งอยู่ในช่วง 33-42 kDa โดยเอนไซม์ PME จากมันฝรั่งมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 33 kDa (Mcmillan and Perombelon 1995) เอนไซม์ PME จากน้ำส้มมีมวลโมเลกุล 36 kDa (Christensen and others 1998) และเอนไซม์ PME จากผล bergamot (*Citrus bergamia* R.) มีมวลโมเลกุลเป็น 42 kDa (Laratta and others 2008) จึงอาจเป็นไปได้ว่ากลุ่มโปรตีนมวลโมเลกุล 35 และ 47 kDa อาจเป็นโปรตีนในกลุ่มเอนไซม์ PME นอกจากนี้กลุ่มโปรตีนมวลโมเลกุล 5.7 kDa อาจเป็นโปรตีนในกลุ่มเอนไซม์ PME ได้เช่นเดียวกัน เนื่องจาก Mcmillan and Perombelon (1995) รายงานว่า เอนไซม์ PME ในมันฝรั่งมีไอโซไซม์ที่มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 8.6 kDa

เอนไซม์ PPO ในบรอคโคลี่มีมวลโมเลกุลเป็น 51.3-57 kDa ในแอปเปิล ถั่ว มันฝรั่ง มะเขือเทศ กาแฟ และอะโวกาโดมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 45-67 kDa (Gawlik-Dziki and others 2007) จากรูปที่ 4.6 ปรากฏแถบโปรตีนที่มีขนาดมวลโมเลกุลเท่ากับ 47 และ 59 kDa ซึ่งอาจเป็นโปรตีนในกลุ่มของเอนไซม์ PPO อย่างไรก็ตามเอนไซม์ PPO ในแก่นตะวันมีมวลโมเลกุลเป็น 86 และ 120 kDa (Zawistowski and others 1988) นอกจากนี้แถบโปรตีนที่มีมวลโมเลกุล 35, 47 และ 59 kDa ยังอาจเป็นโปรตีนในกลุ่มของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (POD) เนื่องจากเอนไซม์ POD ในชิคอรี่ มันเทศ และหัวบีทมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 34-45 kDa (Boeuf and others 2000, Leon and others 2002 and Rudrappa and others 2007) หรือเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับกลุ่มของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสที่แยกได้จากเชื้อจุลินทรีย์มีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 29-58 kDa (Mawadza and others 2000, Ye and others 2001, Lee and others 2008 and Wang and others 2009)

อย่างไรก็ตามแถบโปรตีนที่แยกได้จากสารสกัดหัวแก่นตะวันสายพันธุ์ HEL65 (รูปที่ 4.6) ไม่พบมวลโมเลกุลที่สอดคล้องกับเอนไซม์ β-Gal ซึ่งมีมวลโมเลกุล 84 kDa (Balasubramaniam and others 2005) เอนไซม์ PAL ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 152-320 kDa (Hao and others 1996 and Sarma and Sharma 1999) เอนไซม์ PG ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 65-120 kDa (Pathak

and others 2000; Singh and Dwivedi 2008) เอนไซม์ LOX ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 93-97 kDa (Szymanowska and others 2009 and Wang and others 2008) และกลุ่มเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์และสลายอินนูลิน คือ เอนไซม์ 1-SST (65-70 kDa) เอนไซม์ 1-FFT (70 kDa) เอนไซม์ 1-FEH (75-79 kDa) (Kays and Nottingham 2008) และเอนไซม์ endoinulinases (75 kDa) (Kang and others 1998) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการสกัดโปรตีนไม่สามารถสกัดเอาโปรตีนโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ยึดติดแน่นกับโครงสร้างออกมาได้ ซึ่งอาจต้องมีการใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด

จากแถบโปรตีนในหัวแก่นตะวันที่แยกได้โดยเทคนิค SDS-PAGE จึงเป็นแนวโน้มที่ชี้บอกถึงกลุ่มโปรตีนที่อาจแสดงถึงเอนไซม์ PME, Cellulase, PPO และ POD ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสและการเปลี่ยนแปลงสี ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม แถบโปรตีนที่แยกได้ทั้ง 4 แถบอาจเป็นโปรตีนชนิดอื่นหรืออาจเป็นเอนไซม์ชนิดอื่นซึ่งมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกับเอนไซม์ดังกล่าว



ภาพที่ 4.4 SDS-PAGE ของหัวแก่นตะวัน (Lane A คือ มวลโมเลกุลของแถบโปรตีนมาตรฐาน และ Lane B คือ มวลโมเลกุลของแถบโปรตีนตัวอย่าง)

4.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหัวแก่นตะวันสด

เมื่อนำหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 มาบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (29±2°ซ), 4°ซ และ -18°ซ พบว่า หัวแก่นตะวันสดมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องน้อยกว่า 4 วัน ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ สามารถคงลักษณะคุณภาพของหัวแก่นตะวันสดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงของหัวแก่นตะวันสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

การเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 ที่อุณหภูมิห้อง (29±2 °ซ) พบว่า หัวแก่นตะวันบางส่วนในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาเกิดการเน่าเสีย โดยเฉพาะบริเวณรอยตัดหรือบาดแผลจากขั้นตอนการตัดแต่งและบริเวณโคนหัวหลัก รวมทั้งพบการเจริญของไมซีเลียมสีขาวของรา และในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเกิดการงอกของหัวแก่นตะวันสด ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า หัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้น้อยกว่า 4 วัน เนื่องจากมีลักษณะการเน่าเสียและการเกิดไมซีเลียมสีขาวของรา และในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาพบการเน่าเสีย ไมซีเลียมสีขาวของรา และการงอกของหัวแก่นตะวันสดในแต่ละถุงมากกว่าร้อยละ 40 (ภาพที่ 4.5) Policegoudra and Aradhya (2007) รายงานว่า การงอกมักเกิดกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยก่อนการงอกปริมาณโปรตีนและกรดนิวคลีอิคจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนจำเป็นสำหรับกระบวนการงอก และกรดนิวคลีอิคใช้ในกระบวนการเจริญของส่วนที่งอกออกมาใหม่

ภาพที่ 4.5 ลักษณะการเน่าเสีย การเกิดไมซีเลียมสีขาวของรา และการงอกของหัวแก่นตะวันในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (29±2 °ซ)

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของหัวแก่นตะวันสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ

อุณหภูมิ (A) และระยะเวลา (B) ในการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบด้านต่างๆ คือ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และกิจกรรมของเอนไซม์แตกต่างกันไป เมื่อนำหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ แล้วนำมาวิเคราะห์ผลของปัจจัยในการศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบด้านต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.4)

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ ของหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 (ตารางที่ 4.4) พบว่า ผลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีเหลือง (b*) ความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณเส้นใยอาหาร และปริมาณจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามผลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟรุคแทน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และความเป็นสีแดง (a*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงพิจารณาผลของปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟรุคแทน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ความเป็นสีแดง (a*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปัจจัยด้านระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟรุคแทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตารางที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและเคมีของหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ ที่เก็บรักษานาน 10 สัปดาห์

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิ (A) และระยะเวลา (B) ในการเก็บรักษา (10 สัปดาห์) ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบด้านต่างๆ ของหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ 4 °ซ และ -18 °ซ

องค์ประกอบ	A	B	A*B
กายภาพ			
ความแน่นเนื้อ (กรัม$_{แรง}$)	*	*	*
การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละปริมาณสัมพัทธ์)	*	*	*
ความสว่าง (L*)	*	*	*
ความเป็นสีแดง (a*)	*	ns	ns
ความเป็นสีเหลือง (b*)	*	*	*
ความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE*)	*	*	*
เคมี			
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	*	ns	ns
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ns	ns	ns
ใยอาหารทั้งหมด(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	*	*	*
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	*	*	*
ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	*	*	*
ฟรุคแทน (ร้อยละโดยน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)	*	*	ns
กิจกรรมของเอนไซม์ (units/mg protein)			
พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO)	ns	ns	ns
เพคตินเมทิลเอสเทอเรส (PME)	*	*	ns
อินนูลิเนส (INU)	*	ns	ns
ลิพอกซิจิเนส (LOX)	*	*	ns
จุลินทรีย์ (log CFU/g)			
จุลินทรีย์ทั้งหมด	*	*	*
ยีสต์และรา	*	*	*

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 นาน 10 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ความสว่าง (L*)		ความเป็นสีแดง (a*) ns		ความเป็นสีเหลือง (b*)		ความแตกต่างของสีโดยรวม (Δ E*)	
	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ
1	55.62±0.84^{a}	30.67±0.42^{ef}	9.27±0.28^{A}	5.29±0.16^{B}	29.55±0.21^{a}	11.42±0.33^{fg}	13.60±0.10^{a}	9.73±0.01^{ef}
2	52.96±0.25^{a}	34.39±0.97^{d}	9.55±0.65^{A}	5.97±0.11^{B}	29.03±1.05^{a}	16.67±1.25^{d}	13.53±0.14^{a}	10.68±0.22^{d}
3	53.11±1.67^{a}	31.46±0.62^{de}	8.82±1.13^{A}	4.79±0.11^{B}	28.68±0.68^{a}	12.71±0.20^{ef}	13.46±0.09^{a}	9.89±0.07^{ef}
4	54.65±4.17^{a}	29.54±0.08^{ef}	9.42±1.73^{A}	4.92±0.01^{B}	28.10±0.41^{ab}	11.20±0.32^{fgh}	13.58±0.21^{a}	9.55±0.02^{fg}
5	48.83±1.12^{bc}	31.84±1.58^{de}	11.11±2.32^{A}	5.67±0.50^{B}	27.30±0.23^{ab}	14.14±0.86^{e}	13.21±0.07^{ab}	10.16±0.19^{e}
6	49.95±0.33^{b}	29.68±1.41^{ef}	9.27±0.30^{A}	5.21±0.40^{B}	27.60±1.11^{ab}	12.00±2.19^{ef}	13.18±0.13^{ab}	9.68±0.41^{efg}
7	48.72±1.97^{bc}	27.47±0.26^{f}	8.61±0.72^{A}	4.64±0.81^{B}	25.90±1.90^{c}	8.75±0.75^{h}	12.90±0.36^{bc}	9.04±0.20^{h}
8	47.29±0.08^{bc}	28.71±1.13^{ef}	9.69±0.64^{A}	4.44±0.77^{B}	24.61±0.60^{c}	9.31±1.98^{gh}	12.77±0.09^{bc}	9.21±0.42^{gh}
9	46.45±1.22^{c}	30.72±0.37^{ef}	9.47±0.71^{A}	5.32±0.28^{B}	24.18±1.12^{c}	12.59±0.71^{ef}	12.66±0.13^{c}	9.86±0.14^{ef}
10	46.59±1.63^{c}	30.30±1.77^{ef}	10.14±1.22^{A}	4.26±0.49^{B}	24.66±0.03^{c}	12.08±2.40^{ef}	12.76±0.03^{bc}	9.65±0.448^{efg}

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; ^{ns} ผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาต่อค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

^{a,b} อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน หมายถึง อิทธิพลของผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา (A*B) ต่อค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) วิเคราะห์โดย DMRT

^{A,B} อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกัน หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) ณ ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน วิเคราะห์โดย t-test

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของหัวแก่นตะวันสดสายพันธุ์ HEL65 นาน 10 สัปดาห์ (ต่อ)

สัปดาห์ที่	ความแน่นเนื้อ ($กรัม_{แรง}$)		ความเป็นกรด-ด่าง [ns]	
	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ
1	2313.20±101.26[a]	263.90±55.27[e]	6.42±0.17	6.42±0.03
2	2014.15±50.82[bc]	263.89±2.10[e]	6.40±0.14	6.46±0.07
3	1953.51±68.49[c]	357.16±0.36[e]	6.42±0.00	6.41±0.06
4	1585.37±7.72[d]	235.28±8.23[e]	6.43±0.00	6.48±0.00
5	2088.16±8.74[bc]	265.14±42.27[e]	6.43±0.00	6.48±0.04
6	1939.57±28.01[c]	259.95±31.99[e]	6.45±0.01	6.36±0.02
7	2135.49±122.10[b]	240.06±22.89[e]	6.43±0.01	6.41±0.01
8	1993.66±164.75[bc]	245.27±1.70[e]	6.34±0.01	6.37±0.01
9	1949.13±111.08[c]	226.23±48.69[e]	6.32±0.00	6.39±0.01
10	2017.13±42.00[bc]	226.63±34.43[e]	6.31±0.02	6.42±0.05

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] ผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาต่อค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

[a,b] อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน หมายถึง อิทธิพลของผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา (A*B) ต่อค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) วิเคราะห์โดย DMRT

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของหัวแก่นตะวันสด สายพันธุ์ HEL65 นาน 10 สัปดาห์ (ต่อ)

สัปดาห์ที่	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ns (องศาบริกซ์)		ฟรุคแทน ns (%w/w dry weight)	
	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ
1	19.52±2.57[a]	16.65±0.92[b]	57.71±4.34[a, (A)]	54.52±1.93[b, (A)]
2	19.74±1.79[a]	18.14±1.32[b]	56.87±2.80[a, (A)]	46.70±6.80[b, (A)]
3	23.24±0.52[a]	18.75±0.35[b]	40.03±3.86[b, (B)]	49.02±13.79[a, (A)]
4	21.79±2.57[a]	17.54±0.47[b]	48.65±9.39[b, (AB)]	66.65±2.92[a, (A)]
5	22.67±1.51[a]	19.00±0.00[b]	49.11±2.19[b, (AB)]	55.64±3.89[a, (A)]
6	21.89±4.22[a]	19.74±1.04[b]	44.81±11.44[b, (AB)]	49.42±3.94[a, (A)]
7	21.19±0.12[a]	18.89±0.26[b]	38.97±0.93[b, (B)]	50.71±3.27[a, (A)]
8	21.50±0.71[a]	19.07±0.37[b]	36.77±4.11[b, (B)]	54.29±2.79[a, (A)]
9	20.89±0.02[a]	18.54±0.66[b]	47.93±4.96[b, (AB)]	62.93±0.77[a, (A)]
10	21.55±0.78[a]	19.25±0.35[b]	47.60±4.13[b, (AB)]	57.72±7.36[a, (A)]

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] ผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาต่อค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

[a, b] อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$; เปรียบเทียบในแนวแถว) วิเคราะห์โดย t-test

[A, B] อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกัน หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$; เปรียบเทียบในแนวคอลัมภ์) วิเคราะห์โดย DMRT

4.3.2.1 ความแน่นเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อในระหว่างการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดมีแนวโน้มการลดลงอย่างช้าๆ โดยหัวแก่นตะวันสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ หลังละลายน้ำแข็งมีความแน่นเนื้อต่ำกว่าหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4°ซ เนื่องจากผลึกน้ำแข็งในขั้นตอนการละลายน้ำแข็งทำลายผนังเซลล์ แวคิวโอล และโครงสร้างของเซลล์ (cellular structure) ส่งผลให้โครงสร้างของเซลล์โดยรวมเสียหาย และความแน่นเนื้อลดลง (Chassagne-Berces and others 2009) หัวแก่นตะวันสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 10 สัปดาห์ มีความแน่นเนื้อลดลงเพียงเล็กน้อยสอดคล้องกับ Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) พบว่า การเก็บรักษาหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 2°ซ และ 5°ซ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ยังคงความกรอบและความแน่นเนื้อของหัวแก่นตะวันไว้ได้ และสอดคล้องกับ Danilcenko and others (2008) ที่เก็บรักษาหัวแก่นตะวันพันธุ์ Swojecki ที่อุณหภูมิ 2°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 พบว่า หัวแก่นตะวันยังคงความกรอบ ความแน่นเนื้อและไม่ปรากฏการเน่าเสียหรือการงอกเมื่อเก็บรักษานาน 4 เดือน

4.3.2.2 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ซึ่งมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ 0.67 ต่อสัปดาห์) มากกว่าหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ (ร้อยละ 0.18 ต่อสัปดาห์) (ภาพที่ 4.6) Danilcenko and others (2008) กล่าวว่า หลังจาก 2 เดือนของการเก็บรักษาของการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันพันธุ์ Swojecki ที่อุณหภูมิ 2°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 หัวแก่นตะวันเกิดการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งมีสาเหตุหลักเนื่องจากกระบวนการคายน้ำ เนื่องจากหัวแก่นตะวันมีผิวเปลือกบางทำให้เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย

4.3.2.3 สีผิวเปลือกของหัวแก่นตะวัน

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีเหลือง (b*) และความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE*) มีแนวโน้มการลดลงอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษา โดยหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่า L*, a*, b* และ (ΔE*) สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ ($p \leq 0.05$) ส่งผลให้หัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4°ซ มีสีผิวเปลือกมีความสว่าง สีออกเหลือง และมีการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ -18°ซ อย่างไรก็ตามหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ -18°ซ ซึ่งหลังละลายน้ำแข็งมีสีคล้ำขึ้น โดยมีค่า L* และ b* ต่ำกว่าหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4°ซ เนื่องจากการละลายน้ำแข็งอาจมีผลให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย เป็นเหตุให้ของเหลวภายในเซลล์สามารถออกมาเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีได้ดีขึ้น (Chassagne-Berces and others 2009) ผลที่ได้สอดคล้องกับ Sapers and others (1983) ที่รายงานว่า หลังการละลายน้ำแข็งผลบลูเบอร์รี่มีสีคล้ำขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

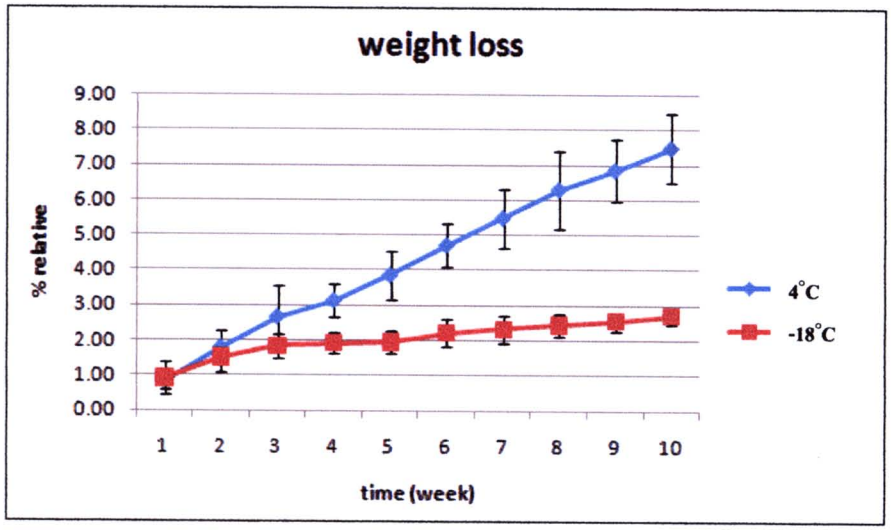
ค่า L* ลดลง โดยมีสาเหตุจากการสูญเสียสารเคลือบผิว (waxy bloom) และของเหลวภายในเซลล์ไหลออกนอกเซลล์ เนื่องจากเซลล์ถูกทำลาย

4.3.2.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าสูงกว่าการเก็บรักษาที่ -18°ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการสูญเสียในระหว่างการละลายน้ำแข็ง (drip loss) สอดคล้องกับ Graefe and others (2004) ที่รายงานว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในรากบัวหิมะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยภายหลังการเก็บรักษานาน 12 วัน ที่อุณหภูมิในช่วง 13-27 °ซ โดยในระยะเวลาการเก็บรักษาดังกล่าวรากบัวหิมะยังคงความสดไว้ได้ ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเป็นสภาวะการเก็บรักษาในที่มืด

4.3.2.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของหัวแก่นตะวันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ นาน 10 สัปดาห์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.30-6.50 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.5)



ภาพที่ 4.6 การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันนาน 10 สัปดาห์

4.3.2.6 ปริมาณฟรุคแทน

อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟรุคแทน ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการวิเคราะห์ปริมาณฟรุคแทนเป็นการวิเคราะห์หมู่รีดิวซิ่งของหน่วยย่อยในองค์ประกอบของฟรุคแทนซึ่งประกอบด้วยอินนูลินและ FOS (Suzuki 1993) ดังนั้นปริมาณฟรุคแทนจึงไม่อาจชี้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงในระดับพอลิเมอร์ของโมเลกุลอินนูลินหรือ FOS ของหัวแก่นตะวันในระหว่างการเก็บรักษาได้ แต่สามารถชี้บอกถึงการย่อยสลายและนำอินนูลินหรือ FOS ไปใช้ อย่างไรก็ตาม Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับการเกิดพอลิเมอร์ของอินนูลินในหัวแก่นตะวันสดที่เก็บรักษาในถุงพอลิเอทิลีน (ความหนา 0.075 มม.) ที่อุณหภูมิ 2 °ซ และ 5°ซ เป็นระยะเวลานาน 4-6 สัปดาห์ โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detector; HPAEC-PAD) พบว่า ปริมาณซูโครสและ DP 3-10 เพิ่มขึ้น ส่วน DP >10 ลดลง และโครมาโตแกรม HPAEC-PAD แสดงให้เห็นอินนูลินและฟรุคแทนที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด (second fructan) หลังจาก 2 สัปดาห์ของการเก็บรักษา งานวิจัยของ Ernst and others (1996) วิเคราะห์ฟรุคแทนในชิคอรี่สดด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPAEC-PAD) พบว่า ฟรุคแทนในรากชิคอรี่สดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดในปริมาณเล็กน้อย และปริมาณของฟรุคแทนที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเพิ่มจำนวนขึ้นในช่วงของการเก็บรักษา 5 สัปดาห์แรก นอกจากนี้ Cabezas and others (2002) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินนูลินและน้ำตาลอื่นในหัวแก่นตะวันและชิคอรี่ที่เก็บรักษาในที่มืดและบรรจุในถุงตาข่ายพลาสติก (plastic nets) ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบว่า ปริมาณอินนูลินในหัวแก่นตะวันและชิคอรี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ-18°ซ ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา Graefe and others (2004) กล่าวว่า การลดลงของ FOS ในรากของบัวหิมะ (yacon root) ขึ้นกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยเร่งการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์

อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.5 การเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ -18°ซ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟรุคแทนในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับ Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) และ Cabezas and others (2002) รายงานว่า การเก็บรักษาหัวแก่นตะวันและชิคอรี่ที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -18°ซ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของอินนูลินที่ระดับการเกิดพอลิเมอร์ต่างๆ ไว้ได้

4.3.2.7 ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

ในระหว่างการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า ผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (SDF) ($p \leq 0.05$; ตารางที่ 4.4 และ 4.6) โดยการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ -18°ซ มีปริมาณ SDF มากกว่าหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ส่งผลให้การเก็บรักษาหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ -18°ซ มีปริมาณ TDF สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ

ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณใยอาหารโดยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของผนังเซลล์ (Dong and others 2008) แม้การเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ -18°ซ สามารถชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ แต่กิจกรรมของเอนไซม์อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการละลายน้ำแข็งก่อนการวิเคราะห์ (ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 5±2°ซ นาน 24 ชั่วโมง) การเพิ่มขึ้นของปริมาณ SDF อาจเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ PG ซึ่งทำหน้าที่สลายพันธะ α-1,4-glycosidic ระหว่างหน่วย de-esterified homogalacturonans ของสารประกอบเพคตินในผนังเซลล์ทำให้ปริมาณ IDF ลดลง (Carpita and Gibeaut 1993, *cited in* Villaricencio and others 2004) และเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ PME สามารถลดหมู่เมทอกซิลในพอลิเมอร์ของเพคติน จึงเป็นผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ PME ในการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ -18°ซ ซึ่งสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

ในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 ของการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ 4°ซ มีปริมาณ SDF ลดลงจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (ตัวอย่างแห้ง) จากนั้นปริมาณ SDF เปลี่ยนแปลงในช่วงร้อยละ 0-2 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การลดลงของปริมาณ SDF อาจเกิดเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ PME โดยกรดเพคติกอาจเกิดการ de-methoxylated และเกิดพันธะเชื่อมข้ามกับ Ca^{2+} เกิดเป็น IDF (Wennberg and others 2002) ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีปริมาณ IDF สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหารของหัวแก่นตะวันในระหว่างการเก็บรักษานาน 10 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ใยอาหารทั้งหมด (TDF) (%w/w)		ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) (%w/w)		ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (SDF) (%w/w)	
	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ
1	17.04±0.39^{cd}	16.34±3.00^{cd}	8.60±0.30^{def}	6.64±1.30^{g}	8.44±0.70^{cd}	9.69±1.70^{bc}
2	12.43±0.82^{ef}	11.86±1.73^{efg}	10.29±0.29^{bc}	9.33±0.34^{bcde}	2.14±1.11^{ghi}	2.53±2.07^{gh}
3	12.06±0.40^{efg}	15.95±0.54^{d}	10.56±1.13^{b}	9.30±0.95^{bcde}	1.49±1.53^{hi}	6.65±0.41^{de}
4	10.69±0.18^{fgh}	13.54±0.07^{e}	9.34±0.41^{bcde}	7.76±0.36^{fg}	1.35±0.23^{hi}	5.79±0.29^{ef}
5	8.96±0.24^{h}	18.56±0.22^{bc}	7.77±0.26^{fg}	7.99±0.87^{efg}	1.19±0.02^{hi}	10.57±1.08^{b}
6	10.77±0.40^{fgh}	20.44±0.82^{b}	8.63±0.74^{def}	7.67±0.55^{fg}	2.15±0.33^{ghi}	12.77±0.26^{a}
7	15.79±0.50^{d}	16.93±0.44^{cd}	14.24±0.00^{a}	9.26±0.22^{bcde}	1.55±0.50^{hi}	7.67±0.22^{cde}
8	9.72±0.54^{gh}	22.69±1.97^{a}	9.69±0.56^{bcd}	8.93±0.18^{cdef}	0.03±0.03^{i}	13.76±2.14^{a}
9	11.29±0.51^{efgh}	23.48±1.24^{a}	10.27±0.29^{bc}	10.05±0.57^{bcd}	1.02±0.22^{hi}	13.43±0.67^{a}
10	10.53±0.12^{fgh}	12.85±1.05^{ef}	8.90±0.09^{cdef}	8.60±0.63^{def}	1.62±0.21^{hi}	4.26±0.42^{fg}

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b} อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์โดย DMRT

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ของหัวแก่นตะวันสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ

กิจกรรมของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษาจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของผักและผลไม้ได้ เมื่อวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO, PME, INU และ LOX ในหัวแก่นตะวันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ พบว่า ผลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO, PME, INU และ LOX อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$; ตารางที่ 4.4) โดยกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ (specific activity) อยู่ในช่วง 2.65-432.02, 0.16-1.50, 0.34-1.02 และ 83.63-3502.61 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ LOX อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ PME มีแนวโน้มลดลง และกิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น (ตารางที่ 4.7) และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PME, INU และ LOX อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ หลังการละลายน้ำแข็ง มีกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ LOX สูงกว่าหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่ 4°ซ ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ INU พบว่า หัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีกิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่ -18°ซ (ตารางที่ 4.7)

4.3.3.1 เอนไซม์ PPO

การเก็บรักษาหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ นาน 10 สัปดาห์ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา แต่สีผิวเปลือกหัวแก่นตะวันคล้ำขึ้นทั้งในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ จึงอาจเป็นไปได้ว่าสีผิวเปลือกที่คล้ำขึ้นอาจเกิดจากเอนไซม์ชนิดอื่น เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ POD โดยแหล่งที่อยู่ของเอนไซม์ POD ในเซลล์พืชอาจพบได้ในผนังเซลล์ พลาสทิด (plastid) ไมโตคอนเดรีย และที่ว่างในเซลล์ ส่วนเอนไซม์ PPO นั้นพบเฉพาะในพลาสทิด (Toivonen and Brummell 2008) ดังนั้นเอนไซม์ POD จึงมีโอกาสเกิดกิจกรรมมากกว่าเอนไซม์ PPO และจากการวิเคราะห์ SDS-PAGE พบกลุ่มโปรตีนในช่วงมวลโมเลกุล 35 และ 47 kDa ซึ่งเป็นช่วงใกล้เคียงกับมวลโมเลกุลของเอนไซม์ POD อย่างไรก็ตามการเกิดสีน้ำตาลโดยกิจกรรมของเอนไซม์ POD เกิดควบคู่กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เนื่องจากสับสเตรทของเอนไซม์ POD (H_2O_2) เกิดขึ้นเมื่อเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (Toivonen and Brummell 2008) ทั้งนี้ Baysal and Demirdoven (2007) รายงานว่า กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาแอปเปิลเป็นสาเหตุให้เกิดสีน้ำตาลที่ส่วนแกนของแอปเปิล นอกจากการเกิดสีน้ำตาลโดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว การเกิดสีน้ำตาลอาจ

เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เนื่องจากหัวแก่นตะวันมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 1-2 และในระหว่างการเก็บรักษาเกิดการสลายอินนูลินได้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (กลูโคสและฟรุคโตส) จึงมีโอกาสที่หมู่อะมิโนจากกรดอะมิโนและหมู่คาร์บอนิลจากน้ำตาลรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยากันและเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (glucose-amine compound) นอกจากนี้วิตามินซีในหัวแก่นตะวันซึ่งมีอยู่ประมาณ 4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้เกิดสีน้ำตาลได้เช่นกัน (อมรรัตน์ จงสวัสดิ์วรกูล และลัดดา เหมาะสุวรรณ 2545)

4.3.3.2 เอนไซม์ PME

การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PME ในระหว่างการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ มีแนวโน้มลดลง และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ มีกิจกรรมของเอนไซม์ PME สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการละลายน้ำแข็งทำลายโครงสร้างของเซลล์ซึ่งทำให้การสกัดเอนไซม์มีประสิทธิภาพดีมากขึ้น อย่างไรก็ตามความแน่นเนื้อของหัวแก่นตะวันที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิ 4°ซ และ-18°ซ ความแน่นเนื้อที่ลดลงในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ อาจเกิดเนื่องจากการสูญเสียน้ำ และในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ อาจเกิดเนื่องจากโครงสร้างเซลล์ของพืชได้รับความเสียหายจากการละลายน้ำแข็ง Villavicencio and others (2004) รายงานว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PME ในมันเทศ 2 พันธุ์ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 มีรูปแบบของกิจกรรมที่ไม่ชัดเจนแน่นอน และแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์

4.3.3.3 เอนไซม์ INU

กิจกรรมของเอนไซม์ INU ในหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ สูงกว่าหัวแก่นตะวันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิ 4°ซ พบการเจริญเติบโตของราซึ่งอาจสร้างเอนไซม์ INU ได้ นอกจากนี้กิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 4°ซ สามารถเกิดได้มากกว่าที่อุณหภูมิ -18°ซ ทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ INU สอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4°ซ ซึ่งมีค่าสูงกว่าหัวแก่นตะวันที่ -18°ซ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้หัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ -18°ซ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟรุคแทนอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม Ishimaru and others (2004) รายงานว่า การเก็บรักษารากเบอร์ดอก (burdock) ซึ่งเป็นพืชที่มีปริมาณใยอาหารสูงและพืชสะสมอินนูลินที่อุณหภูมิ 2°ซ โดยบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน (ความหนา 0.04 มม.) มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ INU มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8°ซ และ 20°ซ โดยมีกิจกรรมเกิดสูงที่สุดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา กิจกรรมของ

เอนไซม์ INU มีผลให้อินนูลินในรากเบอร์ดอคที่อุณหภูมิ 2°ซ มีปริมาณต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8°ซ และ 20°ซ

การสลายของอินนูลินเกิดเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ 1-FEH (exo-INU) (Narai-Kanayama and others 2007 and Edelman and Jefford 1968, *cited in* Saengthongpinit and Sajjaanantakul 2005) Narai-Kanayama and others (2007) รายงานว่า การเก็บรักษาบัวหิมะที่อุณหภูมิ 8°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 นาน 1 เดือน พบว่า FOS ที่มี DP ต่ำ (GF_2-GF_7) ลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือนครึ่ง ทำให้ปริมาณฟรุคโตสอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ 1-FEH ในขณะที่ FOS ที่มี DP สูง (DP > 9) โดยเฉพาะ GF_9 ถึง GF_{11} ลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุอาจเกิดเนื่องจาก (1) ปริมาณของ FOS ที่มี DP สูงไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ 1-FEH หรืออาจเป็นไปได้ว่าเอนไซม์ 1-FEH ในบัวหิมะไม่มีความเฉพาะต่อ FOS ที่มี DP สูง (2) ซูโครสอาจมีผลในการยับยั้งการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ 1-FEH โดยซูโครสที่มีความเข้มข้นมากกว่า 5 mM สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ 1-FEH ได้ในพืชบางชนิดในตระกูล Asteraceae (ตระกูลเดียวกับแก่นตะวัน) สอดคล้องกับ Marx and others (1997, *cited in* Narai-Kanayama and others 2007) กล่าวว่า การลดลงของปริมาณฟรุคแทนในหัวแก่นตะวัน อาจถูกควบคุมโดยปริมาณหรือความเข้มข้นของซูโครสในส่วนแวคิวลาร์ (vacuolar) เนื่องจากประมาณร้อยละ 80 ของซูโครส เอนไซม์ 1-FEH และน้ำรวมกันอยู่ในส่วนแวคิวโอล (vacuole) ของเซลล์

4.3.3.4 เอนไซม์ LOX

ผลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในหัวแก่นตะวันสด ($p>0.05$) ในขณะที่ปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ($p\leq0.05$; ตารางที่ 4.4) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น และหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิ -18°ซ หลังการละลายน้ำแข็งเกิดกิจกรรมสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ เช่นเดียวกับกิจกรรมของเอนไซม์ PME การละลายน้ำแข็งซึ่งทำให้เซลล์ถูกทำลายนั้นจึงอาจมีผลให้เอนไซม์ LOX สามารถทำปฏิกิริยากับสับสเตรทได้ดีขึ้น จึงมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ซึ่งไม่ได้ผ่านการละลายน้ำแข็งมาก่อน อย่างไรก็ตามกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของเอนไซม์ LOX พบในมะเขือเทศและแตงกวา (Baysal and Demirdoven 2007) ดังนั้นหัวแก่นตะวันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ แล้วนำมาละลายน้ำแข็ง ก่อนนำมาใช้บริโภคหรือใช้ประโยชน์จึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสมากกว่าหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

ตารางที่ 4.7 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO, PME, INU และ LOX (จากสารสกัดอย่างหยาบ) ในระหว่างการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ

สัปดาห์ที่	PPO activity (units/mg protein) ^{ns}		PME activity (units/mg protein) ^{ns}		INU activity (units/mg protein) ^{ns}		LOX activity (units/mg protein) ^{ns}	
	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ	4°ซ	-18°ซ
1	242.24±103.21	2.65±0.50	0.66±0.04$^{b,(B)}$	1.04±0.04$^{a,(BCDE)}$	0.50±0.07^{a}	0.39±0.04^{b}	83.63±24.64$^{b,(F)}$	94.21±25.24$^{a,(F)}$
2	250.56±27.69	85.90±31.59	0.75±0.01$^{b,(AB)}$	1.24±0.15$^{a,(AB)}$	0.67±0.04^{a}	0.35±0.02^{b}	509.42±14.51$^{b,(F)}$	641.65±21.44$^{a,(EF)}$
3	141.02±76.58	177.64±77.10	0.77±0.11$^{b,(AB)}$	1.50±0.30$^{a,(A)}$	0.56±0.04^{a}	0.40±0.30^{b}	910.12±66.14$^{b,(BCDE)}$	1034.34±276.92$^{a,(CDE)}$
4	84.33±1.13	194.59±102.67	0.43±0.11$^{b,(C)}$	0.77±0.05$^{a,(DE)}$	0.62±0.06^{a}	0.50±0.23^{b}	579.51±53.92$^{b,(DE)}$	896.81±60.74$^{a,(DE)}$
5	432.02±53.25	102.43±58.15	0.70±0.13$^{b,(AB)}$	1.23±0.18$^{a,(ABC)}$	0.55±0.41^{a}	0.35±0.06^{b}	754.76±201.48$^{b,(BCDE)}$	1692.60±114.45$^{a,(BC)}$
6	211.32±55.32	223.24±146.74	0.84±0.01$^{b,(A)}$	1.13±0.18$^{a,(ABCD)}$	0.67±0.10^{a}	0.34±0.09^{b}	1173.50±293.24$^{b,(B)}$	1429.53±34.10$^{a,(BCD)}$
7	398.25±34.34	372.69±429.29	0.64±0.06$^{b,(B)}$	1.34±0.21$^{a,(AB)}$	1.02±0.15^{a}	0.44±0.13^{b}	1102.75±265.61$^{b,(BC)}$	2022.77±897.92$^{a,(B)}$
8	118.98±24.27	207.91±65.45	0.36±0.04$^{b,(CD)}$	0.86±0.00$^{a,(CDE)}$	0.68±0.06^{a}	0.49±0.00^{b}	653.69±2.86$^{b,(CDE)}$	782.26±112.83$^{a,(DEF)}$
9	124.08±11.12	334.38±57.72	0.26±0.01$^{b,(DE)}$	0.72±0.01$^{a,(E)}$	0.61±0.13^{a}	0.34±0.13^{b}	2536.99±479.88$^{b,(A)}$	3502.61±253.98$^{a,(A)}$
10	109.14±2.01	253.04±30.14	0.16±0.06$^{b,(F)}$	0.35±0.08$^{a,(F)}$	0.50±0.06^{a}	0.39±0.07^{b}	1027.78±62.13$^{a,(BCD)}$	919.35±83.45$^{b,(DE)}$

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; ^{ns} ผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาต่อค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

$^{a, b}$ อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิในการเก็บรักษา (A) ต่อค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$; เปรียบเทียบในแนวแถว) วิเคราะห์โดย t-test

$^{A, B}$ อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกัน หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านระยะเวลาในการเก็บรักษา (B) ต่อค่าเฉลี่ยในแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$; เปรียบเทียบในแนวคอลัมภ์) วิเคราะห์โดย DMRT

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของหัวแก่นตะวันสดในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในหัวแก่นตะวันที่สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 สัปดาห์ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.69 log CFU/g และปริมาณยีสต์และรา 4.19 log CFU/g โดยมีปริมาณจุลินทรีย์สูงเกินกว่าที่มาตรฐานของเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร สำหรับอาหารพร้อมบริโภคกำหนดไว้ สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ 6 log CFU/g และปริมาณยีสต์และรา คือ 4 log CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2536) และพบว่า หัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเกิดการนิ่มเละ มีการเจริญของไมซีเลียมราสีขาว เกิดการงอก และเน่าเสียในที่สุด ส่วนหัวแก่นตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -18°ซ ตรวจพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในปริมาณที่น้อยกว่าการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมิห้องและยังอยู่ในช่วงที่มาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนดไว้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 10 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของหัวแก่นตะวันสดในระหว่างการเก็บรักษา

สัปดาห์ที่	จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)			ยีสต์และรา (log CFU/g)		
	อุณหภูมิห้อง	4 °ซ	-18 °ซ	อุณหภูมิห้อง	4 °ซ	-18 °ซ
1	6.69±0.07^{A}	3.00±0.00$^{d, B}$	3.00±0.00$^{d, B}$	4.19±0.02^{A}	2.00±0.00$^{cd, B}$	2.00±0.00$^{cd, B}$
2	-	3.00±0.00^{d}	3.00±0.00^{d}	-	2.00±0.00^{cd}	2.50±0.71^{c}
3	-	3.37±0.55^{cd}	3.00±0.00^{d}	-	2.37±0.52^{cd}	2.34±0.48^{cd}
4	-	4.83±0.24^{ab}	4.72±0.01^{ab}	-	2.15±0.22^{cd}	2.38±0.53^{cd}
5	-	4.73±0.04^{ab}	4.40±0.56^{abc}	-	2.00±0.00^{cd}	2.11±0.16^{cd}
6	-	4.90±0.34^{ab}	4.64±0.07^{ab}	-	2.83±0.35^{bc}	2.10±0.13^{cd}
7	-	5.39±0.19^{a}	4.88±0.41^{ab}	-	3.69±0.24^{a}	2.23±0.08^{cd}
8	-	5.33±0.45^{a}	5.42±0.54^{a}	-	3.80±0.33^{a}	2.61±0.87^{bc}
9	-	5.57±1.42^{a}	3.00±0.00^{d}	-	1.50±0.71^{d}	2.16±0.23^{cd}
10	-	5.55±0.53^{a}	3.81±1.15^{bcd}	-	3.43±0.23^{ab}	2.00±0.00^{cd}

หมายเหตุ ค่าสังเกต แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a, b}$ อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละประเภทของจุลินทรีย์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์โดย DMRT

$^{A, B}$ อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละประเภทของจุลินทรีย์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์โดย DMRT พิจารณาข้อมูลเฉพาะในสัปดาห์ที่ 1