

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณภาพของพริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิ และวัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำพริกหนุ่ม

ตาราง 4.1 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของพริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิ และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำพริกหนุ่ม

ตัวอย่าง	พริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิ	พริกเผา	หอมเผา	กระเทียม
ค่าสี L*	42.80 ± 0.51	45.78 ± 1.32	-	-
ค่าสี a*	-13.37 ± 1.16	-2.83 ± 0.58	-	-
ค่าสี b*	18.95 ± 0.58	36.51 ± 0.47	-	-
ค่าแอมเตอร์แอคทีวิตี (a _w)	0.912 ± 0.002	0.910 ± 0.001	0.905 ± 0.001	0.902 ± 0.001
ปริมาณความชื้น (% wet basis)	89.12 ± 0.75	88.44 ± 1.60	78.96 ± 0.53	66.59 ± 0.72
ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5.68 ± 0.06	5.40 ± 0.04	5.46 ± 0.09	5.62 ± 0.02
กิจกรรมเอนไซม์ polyphenol oxidase (Unit/mg protein)	385.53 ± 21.22	ND	81.80 ± 11.34	182.59 ± 23.57
กิจกรรมเอนไซม์ peroxidase (Unit/mg protein)	1588.21 ± 29.60	0.90 ± 0.28	206.64 ± 27.54	10332.69 ± 23.27
กิจกรรมเอนไซม์ lipoxygenase (Unit/mg protein)	1224.74 ± 86.35	16.23 ± 1.48	1010.58 ± 74.15	1331.82 ± 66.85

ตัวอย่าง	พริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิ	พริกเผา	หอมเผา	กระเทียม
ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g)	82.56 ± 0.70	22.54 ± 0.42	2.62 ± 0.35	3.08 ± 0.42
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100 g)	4.02 ± 0.21	3.23 ± 0.14	14.81 ± 0.54	22.80 ± 1.75
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/100 g)	2.66 ± 0.48	2.52 ± 0.45	1.41 ± 0.24	0.45 ± 0.02
ปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมด (log cfu/g)	6.52	2.55	2.20	2.59
ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g)	2.68	1	ND	ND

หมายเหตุ : ND = not detected

จากตาราง 4.1 พริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิมีค่าสี L^* เท่ากับ 42.80 ค่าสี a^* ของพริกหนุ่ม เท่ากับ -13.37 และค่าสี b^* ของพริกหนุ่ม เท่ากับ 18.95 โดยค่าสี L^* คือ ความสว่างของตัวอย่าง ซึ่งหากค่าเข้าใกล้ 0 คือตัวอย่างมีความสว่างน้อยสีจะคล้ำ หากค่าเข้าใกล้ 100 คือตัวอย่างมีความสว่างมากสีจะขาว สำหรับค่าสี a^* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดงที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง ค่าเป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว และค่าสี b^* บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง และค่าเป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน (McGuire, 1992) จากค่าสีที่วัดได้แสดงว่า พริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิมีสีเขียวอมเหลืองมีความสว่างอยู่ในระดับปานกลางค่อนข้างน้อย และพบว่าพริกหนุ่มเผามีค่าสี L^* เท่ากับ 45.78 ค่าสี a^* เท่ากับ -2.83 ค่าสี b^* เท่ากับ 36.51 จากค่าสีที่วัดได้แสดงว่าพริกหนุ่มเผามีสีเหลืองค่อนข้างเข้มและมีความสว่างปานกลาง โดยเปรียบเทียบกับพริกหนุ่มสดพบว่าเมื่อเผาแล้ว พริกหนุ่มมีความสว่างใกล้เคียงของสด แต่มีค่าสี a^* และ b^* เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีสีเขียวลดลงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น

ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของพริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิมีค่าเท่ากับ 0.912 และมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 89.12 % wet basis ด้านความชื้นของวัตถุดิบพบว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำพริกหนุ่มมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 66.59 ถึง 88.44 % wet basis โดยกระเทียมมีปริมาณความชื้นต่ำสุด และพริกเผามีปริมาณความชื้นสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี ซึ่งกระเทียมมีค่าวอเตอร์

แอสคอร์บิกแอซิด และฟริกแฮมมีค่าแอสคอร์บิกแอซิดสูงสุด โดยค่าแอสคอร์บิกแอซิดมีค่าในช่วง 0.902 ถึง 0.910 ซึ่งค่าแอสคอร์บิกแอซิดและปริมาณความชื้นสูง ทำให้เกิดการเสื่อมจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีง่าย (วิล, 2543) ค่าความเป็นกรด – ค่าของฟริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิ มีค่าเท่ากับ 5.68 และค่าความเป็นกรด – ค่าของวัตถุดิบ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5.40 ถึง 5.62 โดยกระเทียมมีค่าความเป็นกรด – ค่าสูงสุด และฟริกแฮมมีค่าความเป็นกรด – ค่าต่ำสุด ซึ่งค่าความเป็นกรด – ค่าของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำฟริกหนุ่มทุกชนิดมีค่ามากกว่า 4.6 ถือเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (วิล, 2543)

ด้านกิจกรรมของเอนไซม์พบว่าฟริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิมีกิจกรรมเอนไซม์ polyphenol oxidase, peroxidase และ lipoxygenase เท่ากับ 385.53, 1588.21 และ 1224.74 Unit/มิลลิกรัม โปรตีนตามลำดับ สำหรับกิจกรรมเอนไซม์ในวัตถุดิบ พบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส, ไลพอกซีจีเนส และเปอร์ออกซิเดส พบมากที่สุดใ้ในกระเทียม และพบน้อยที่สุดในฟริกแฮม โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านความร้อนแล้ว กิจกรรมเอนไซม์ในฟริกหนุ่มลดลงอย่างมาก เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ทำให้โครงสร้างบริเวณเร่ง (Active Site) ของเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ (ปราณี, 2535) อย่างไรก็ตามปริมาณเอนไซม์ที่เหลืออยู่ในวัตถุดิบ อาจเป็นสาเหตุให้น้ำฟริกหนุ่มเกิดการเสื่อมคุณภาพได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี ส่วนใหญ่เกิดจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหาร โดยเมื่อเนื้อเยื่อของฟริกหนุ่มเกิดความเสียหาย ทำให้เอนไซม์ซึ่งอยู่ในเซลล์เนื้อเยื่อถูกปลดปล่อยออกมาสัมผัสกับสารตั้งต้น เช่น สารโพลีฟีนอลซึ่งอยู่ในเนื้อเยื่อ และออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ได้ (Aquino-Bolanos and Mercado-Silva, 2004)

สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในฟริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิมีค่าเท่ากับ 4.02 และ 2.66 กรัม/100 กรัมของตัวอย่าง วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำฟริกหนุ่มมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในช่วง 3.23 ถึง 22.80 กรัม/100 กรัมของตัวอย่าง โดยฟริกแฮมมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำสุด และกระเทียมมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำฟริกหนุ่มมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ในช่วง 0.45 ถึง 2.52 กรัม/100 กรัมของตัวอย่าง โดยกระเทียมมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำสุด และฟริกแฮมมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด ดังนั้นในวัตถุดิบต่างๆ จุลินทรีย์สามารถเจริญได้เนื่องจากมีน้ำตาลซึ่งอาจเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (สุมณฑา, 2545) และปริมาณวิตามินซีในฟริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิมีค่าเท่ากับ 82.56 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างอาหาร ซึ่งเป็นอาหารที่มีวิตามินซีอยู่ในปริมาณสูง และพบว่าปริมาณวิตามินซีในวัตถุดิบมีค่าอยู่ในช่วง 2.62 ถึง 22.54 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างอาหาร โดยหอมแฮมมีปริมาณวิตามินซีต่ำสุด และฟริกแฮมมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด

โดยทั่วไปพริกชี้ฟ้ามีปริมาณวิตามินซี 90.0 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างอาหาร (สุชีลา, 2549) ส่วนหอมและกระเทียมมีปริมาณวิตามินซีประมาณ 9.0 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างอาหาร (รุ่งรัตน์, 2540) โดยสาเหตุหลักที่ทำให้วัตถุดิบมีปริมาณวิตามินซีลดลง เนื่องจากในกระบวนการผลิตต้องมีการเผาหรือลวกวัตถุดิบ ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารที่มีความคงตัวต่ำสามารถสลายตัวเมื่อถูกความร้อน (นิธิยา, 2545)

ด้านจุลินทรีย์พบว่าพริกหนุ่มพันธุ์จักรพรรดิ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 6.52 log cfu/g และปริมาณยีสต์และรา เท่ากับ 2.68 log cfu/g สำหรับจุลินทรีย์ในวัตถุดิบพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในปริมาณต่ำ โดยในหอมเผามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุด โดยพบ 2.20 log cfu/g ส่วนในพริกเผา และกระเทียม มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.55 และ 2.59 log cfu/g ตามลำดับ ส่วนปริมาณยีสต์และรา พบว่าวัตถุดิบทั้งหมดมีปริมาณยีสต์และราต่ำมาก โดยในพริกเผามีปริมาณยีสต์และราเท่ากับ 1 log cfu/g ส่วนหอมเผาและกระเทียมตรวจไม่พบยีสต์และรา โดยจุลินทรีย์ในอาหารสามารถทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของอาหารได้จากการเจริญของจุลินทรีย์

4.2 คุณภาพของน้ำพริกหนุ่มที่ผลิตจากพริกพันธุ์จักรพรรดิ

จากตาราง 4.2 พบว่าน้ำพริกหนุ่มมีค่าสี L^* เท่ากับ 42.12 ค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่ม เท่ากับ -1.20 และค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่ม เท่ากับ 20.83 จากค่าสีที่วัดได้แสดงว่า น้ำพริกหนุ่มที่ผลิตมีสีเหลืองอมเขียวเล็กน้อย มีความสว่างอยู่ในระดับปานกลางค่อนข้างไปทางคล้ำเล็กน้อย ด้านค่าอูเตอร์ แอคติวิตีและปริมาณความชื้น พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.890 และ 82.68 ตามลำดับ โดยค่าอูเตอร์ แอคติวิตีที่มีค่าสูงนี้ แสดงให้เห็นว่าน้ำพริกหนุ่มง่ายต่อการเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมี (วิไล, 2543) ด้านค่าความเป็นกรด – ด่าง พบว่าน้ำพริกหนุ่มมีค่าความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 5.25 ซึ่งถือว่าเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ดังนั้นการถนอมอาหารโดยไม่ได้ทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหาร ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (วิไล, 2543)

สำหรับกิจกรรมเอนไซม์พบว่า พบว่าเอนไซม์ polyphenol oxidase, peroxidase และ lipoxygenase มีค่าเท่ากับ 44.04, 1197.20 และ 244.00 ตามลำดับ โดยสาเหตุที่น้ำพริกหนุ่มมีปริมาณเอนไซม์ peroxidase สูง เนื่องจากในกระเทียมมีปริมาณเอนไซม์ชนิดนี้ในปริมาณสูง แม้ในกระบวนการผลิตมีการลวกกระเทียม แต่ระดับความร้อนและเวลาที่ใช้ยังไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์นี้ได้ทั้งหมด เนื่องจาก peroxidase เป็นเอนไซม์ที่ทนต่อความร้อนได้สูงที่สุด ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหาร จะใช้เอนไซม์ชนิดนี้เป็นตัวบ่งชี้ในการลวกผักว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ในผักได้เพียงใด (Hendrickx and Knorr, 2002)

ตาราง 4.2 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำพริกหนุ่ม

คุณภาพ	น้ำพริกหนุ่ม
ค่าสี L*	42.12 ± 0.39
ค่าสี a*	-1.20 ± 0.43
ค่าสี b*	20.83 ± 0.75
ค่าออเตอร์แอกติวิตี (a _w)	0.890 ± 0.005
ปริมาณความชื้น (% wet basis)	82.68 ± 0.44
ค่าความเป็นกรด – ต่าง (pH)	5.25 ± 0.06
กิจกรรมเอนไซม์ polyphenol oxidase (Unit/mg protein)	44.04 ± 7.79
กิจกรรมเอนไซม์ peroxidase (Unit/mg protein)	1197.20 ± 59.97
กิจกรรมเอนไซม์ lipoxygenase (Unit/mg protein)	244.00 ± 26.50
ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g)	5.80 ± 0.62
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100 g)	7.25 ± 0.80
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/100 g)	2.18 ± 0.22
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	2.89
ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g)	ND

หมายเหตุ : ND = not detected

โดยสาเหตุที่ไม่สามารถลวกกระเทียมเป็นเวลานานได้ เนื่องจากหากลวกกระเทียมเป็นเวลานาน จะเกิดกลิ่นเปรี้ยวขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ จากกิจกรรมเอนไซม์ที่วิเคราะห์ได้จากน้ำพริกหนุ่ม แสดงให้เห็นว่าน้ำพริกหนุ่มสามารถเกิดการเสื่อมคุณภาพได้จากปฏิกิริยาเคมีในน้ำพริกหนุ่ม ซึ่งส่วนใหญ่การเสื่อมคุณภาพอาหารเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี จะมีสาเหตุหลักมาจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหาร (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

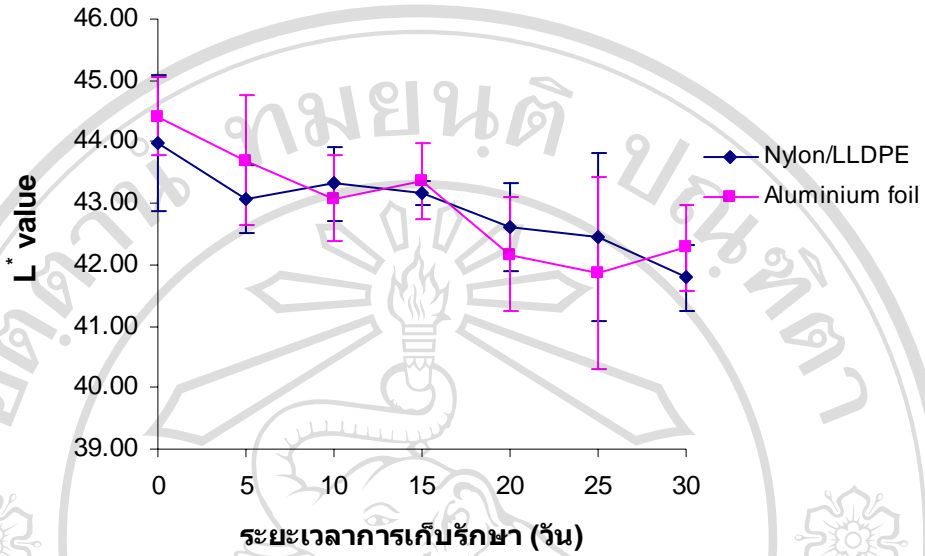
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำพริกหนุ่ม มีค่าเท่ากับ 7.25 และ 2.18 กรัม/100 กรัมของตัวอย่าง แสดงว่าน้ำพริกหนุ่มสามารถเกิดการเสื่อมสภาพจากจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากในน้ำพริกหนุ่มมีน้ำตาลซึ่งอาจเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (สุมณฑา, 2545) โดยจุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส โดยน้ำตาลจะเข้าสู่ปฏิกิริยาไกลโคไลซิส แล้วได้พลังงานออกมาซึ่งใช้สำหรับการดำรงชีพ (Gomez and Artes, 2005) และปริมาณวิตามินซี มีค่าเท่ากับ 5.80 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างอาหาร

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มที่ผลิตมีค่าเท่ากับ 2.89 log cfu/g และตรวจไม่พบยีสต์และราในน้ำพริกหนุ่ม ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานน้ำพริกหนุ่มตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มต้องน้อยกว่า 4 log cfu/g และปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 cfu/g ซึ่งน้ำพริกหนุ่มที่ผลิตมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงถึงสุขลักษณะที่ดีในระหว่างการผลิตน้ำพริกหนุ่ม

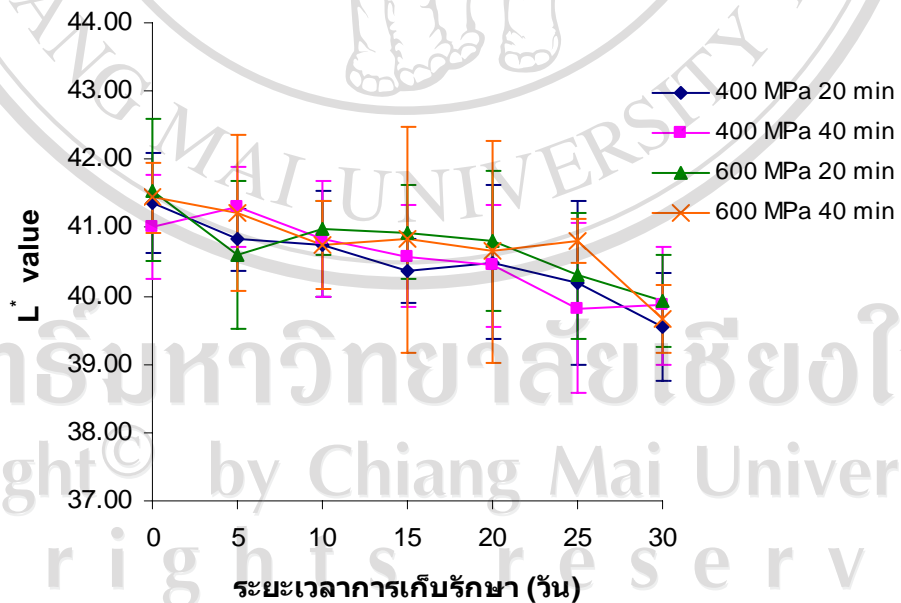
4.3 คุณภาพน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยการบรรจุแบบสุญญากาศและถนอมโดยความดันสูง

จากการศึกษาการถนอมน้ำพริกหนุ่มโดยวิธีบรรจุแบบสุญญากาศ ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดคือ ถุงสุญญากาศ (Nylon/LLDPE) และถุงสุญญากาศ (Aluminium foil) และการถนอมน้ำพริกหนุ่มโดยกระบวนการความดันสูง โดยใช้ระดับความดัน 400 และ 600 MPa เวลาในการคงความดัน 20 และ 40 นาที โดยการศึกษา น้ำพริกหนุ่มที่บรรจุแบบสุญญากาศและน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงเป็นการศึกษาแยกชุดการทดลองกัน ดังนั้นน้ำพริกหนุ่มที่ใช้ในแต่ละการทดลองจึงผลิตขึ้นคนละชุดกัน จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง แต่นำผลการทดลองจากการถนอมน้ำพริกหนุ่มทั้งสองวิธีมาแสดงผลต่อเนื่องกันเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำพริกหนุ่มทั้งสองแบบได้ชัดเจนขึ้น โดยเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านการถนอมโดยสองวิธีดังกล่าวที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 วัน และทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำพริกหนุ่มได้ผลดังนี้

4.3.1 ค่าสี L*



ภาพ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L* กับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L* กับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี L^* ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี L^* ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

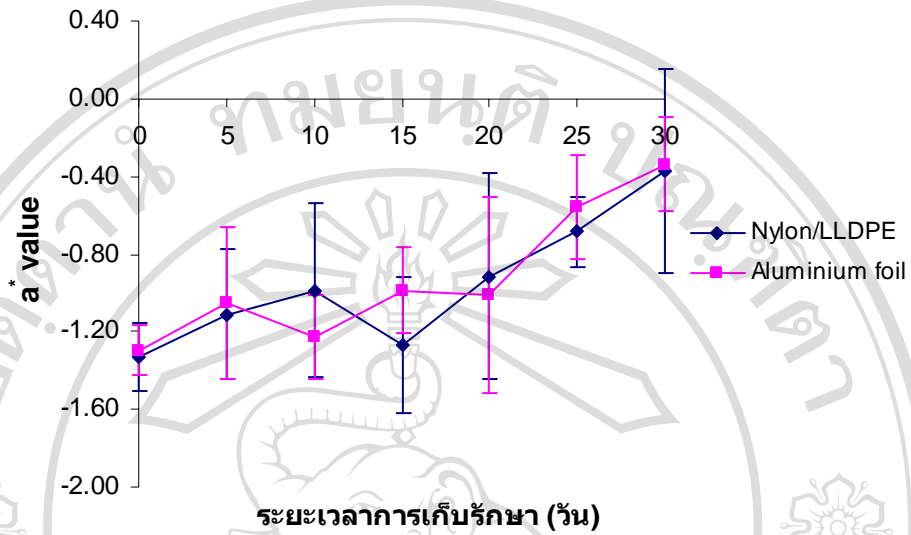
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

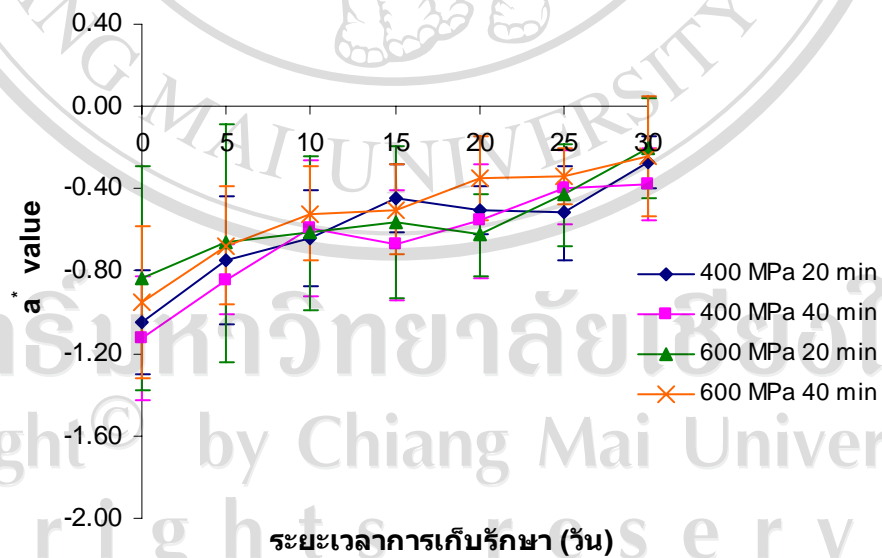
- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.1 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 43.98 ถึง 44.42 และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 41.79 ถึง 42.27 และจากตาราง 4.3 พบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าสี L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี L^* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยค่าสี L^* เป็นค่าที่บ่งบอกความสว่างของอาหาร (McGuire, 1992) ซึ่งค่า L^* ที่ลดลงแสดงว่าน้ำพริกหนุ่มมีความสว่างลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากสถานะสุญญากาศยังมีก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่ ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (Parry, 1993) ซึ่งออกซิเจนที่เหลืออยู่จะเป็นสารสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบฟีนอลิกในอาหารไปเป็นสารควิโนน โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในอาหาร (Unal, 2007) ทำให้อาหารมีสีคล้ำขึ้นได้ และอาจเกิดจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในอาหาร ซึ่งสามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลิกไปเป็นสารประกอบควิโนนได้เมื่อมี H_2O_2 แต่ในอาหารโดยส่วนใหญ่จะมี H_2O_2 ในปริมาณเล็กน้อยทำให้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ไม่ใช่เอนไซม์ตัวหลักในการทำให้เกิดสีน้ำตาล (Bucheli and Robinson, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับ รังสิมา (2549) ซึ่งพบว่าค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ และบรรจุโดยตัดแปลงบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

จากภาพ 4.2 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยความดันสูงทั้ง 4 สิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 41.02 ถึง 41.55 และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษาน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 39.54 ถึง 39.94 จากตาราง 4.4 พบว่าระดับความดันและระยะเวลาคงความดันที่ใช้มีผลต่อค่าสี L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี L^* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และพบว่าในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลอง (ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน) มีค่าสี L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มที่ลดลง แสดงว่าน้ำพริกหนุ่มมีความสว่างลดลงเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุแบบสุญญากาศ กล่าวคืออาจเกิดจากในน้ำพริกหนุ่มมีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบฟีนอลิกในอาหารไปเป็นสารควิโนน โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในอาหาร (Umit Unal, 2007) จะทำให้อาหารมีสีคล้ำขึ้นได้ และอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในอาหารร่วมด้วย ซึ่งสามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลิกไปเป็นสารประกอบควิโนนได้เมื่อมี H_2O_2

4.3.2 ค่าสี a^* 

ภาพ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a^* กับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a^* กับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี a^* ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี a^* ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

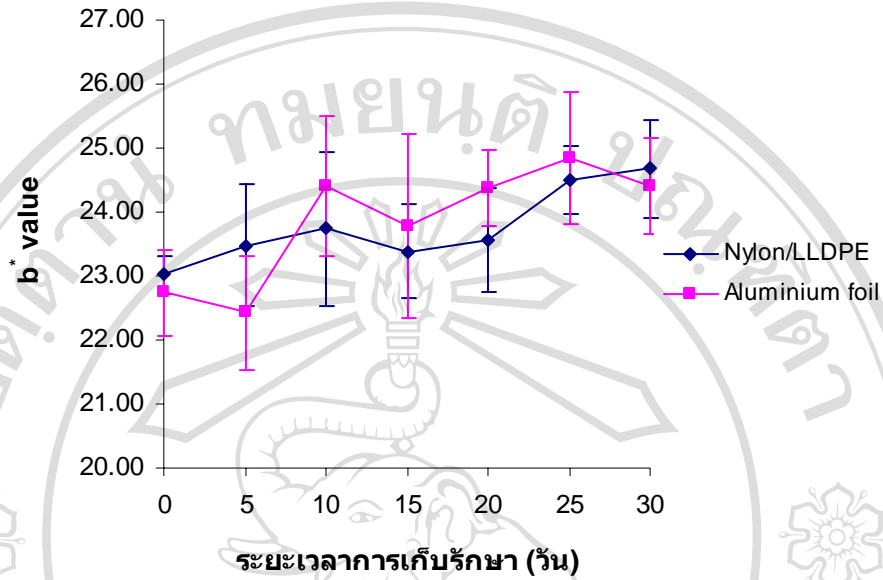
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

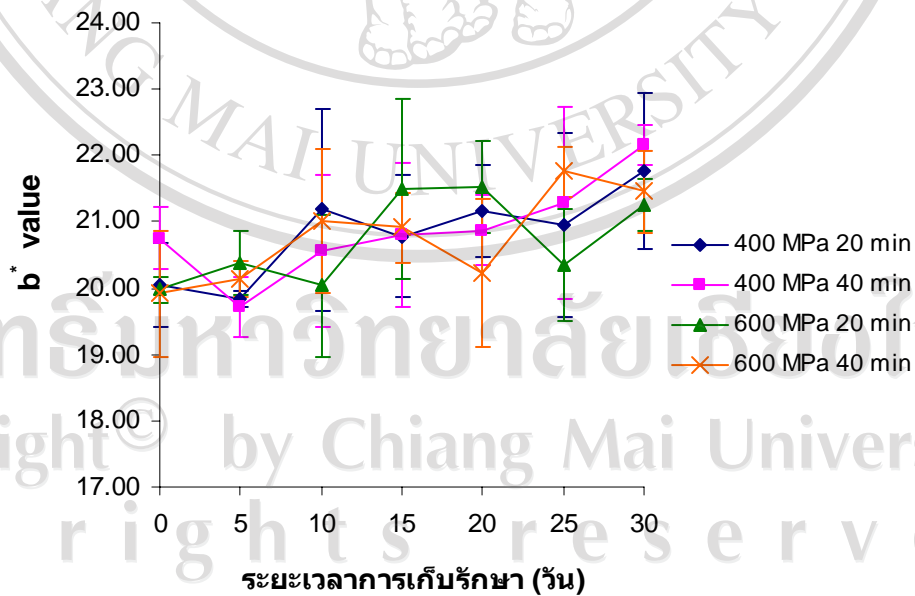
- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.3 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง -1.33 ถึง -1.30 และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง -0.37 ถึง -0.34 และจากตาราง 4.5 พบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าสี a^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี a^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่าสี a^* เป็นค่าที่แสดงถึงสีเขียวและสีแดงในอาหาร โดยหากมีค่าเป็นบวกแสดงถึงอาหารนั้นมีสีแดง หากมีค่าเป็นลบแสดงถึงอาหารนั้นมีสีเขียว (McGuire, 1992) ดังนั้นค่าสี a^* เพิ่มขึ้นแสดงว่าน้ำพริกหนุ่มมีสีเขียวลดลงและมีสีเปลี่ยนเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในน้ำพริกหนุ่ม เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งโดยเอนไซม์ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากคลอโรฟิลล์ในน้ำพริกหนุ่มเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยอาจสูญเสียแมกนีเซียมออกไปจากวงแหวนทำให้เปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน ซึ่งมีสีเขียวน้ำตาล หรืออาจเกิดการสูญเสียไฟโตลร่วมด้วยทำให้ได้เป็นฟิโอฟอไรบด์ ซึ่งมีสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับรังสิมา (2549) ซึ่งพบว่าค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศและบรรจุโดยตัดแปลงบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

จากภาพ 4.4 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงทั้ง 4 สิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าสี a^* อยู่ในช่วง -1.12 ถึง -0.83 และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษาพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าสี a^* อยู่ในช่วง -0.38 ถึง -0.20 จากตาราง 4.6 พบว่าระดับความดันและระยะเวลาคงความดันที่ใช้มีผลต่อค่าสี a^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี a^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และพบว่าในสิ่งทดลองทั้ง 4 มีค่าสี a^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งค่าสี a^* ที่เพิ่มขึ้นแสดงว่าน้ำพริกหนุ่มมีสีเขียวลดลงและมีสีเปลี่ยนเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* อาจอธิบายได้เช่นเดียวกับกรณีของน้ำพริกที่บรรจุสุญญากาศ กล่าวคือเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในน้ำพริกหนุ่ม เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งโดยเอนไซม์ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากคลอโรฟิลล์ในน้ำพริกหนุ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นฟิโอฟิติน ซึ่งมีสีเขียวน้ำตาล หรืออาจเกิดการสูญเสียไฟโตลร่วมด้วยทำให้ได้เป็นฟิโอฟอไรบด์ ซึ่งมีสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับ Krebbers *et al.* (2002) ซึ่งศึกษาการแปรรูปถั่วเขียวโดยกระบวนการความดันสูง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6°C พบว่าค่าสี a^* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาถั่วเขียวเป็นระยะเวลานานขึ้น

4.3.3 ค่าสี b^* 

ภาพ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี b^* กับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี b^* กับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี b^* ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี b^* ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

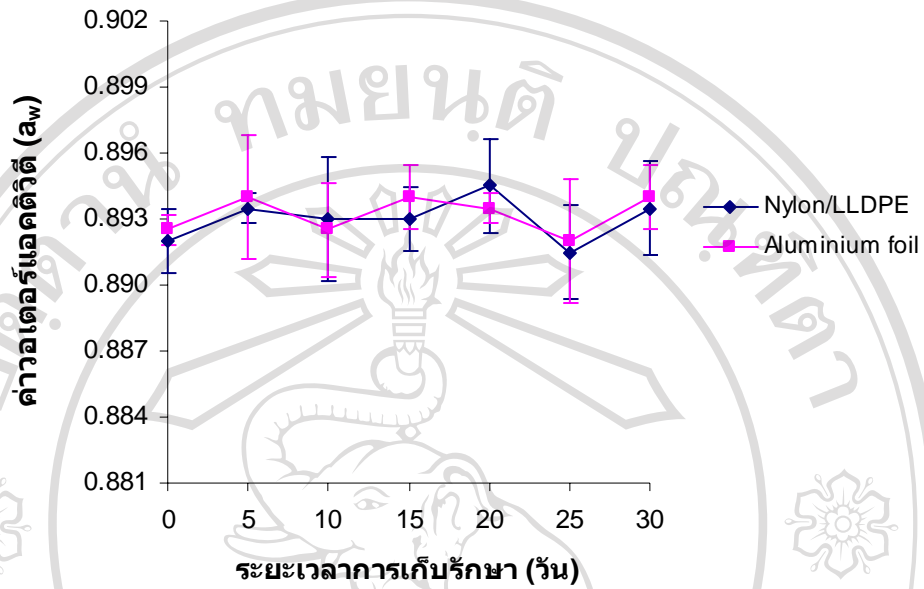
หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

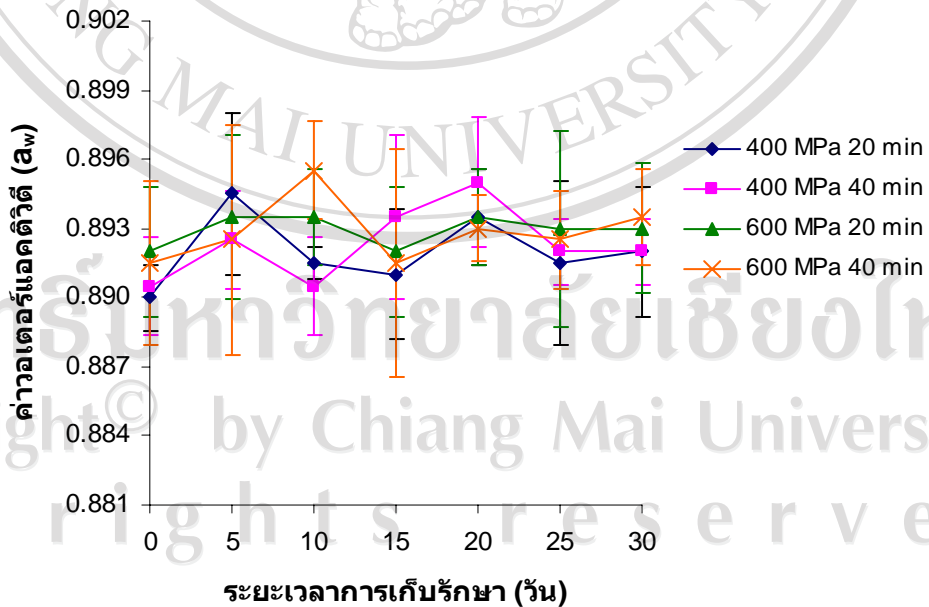
จากภาพ 4.5 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 22.41 ถึง 22.62 และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 24.42 ถึง 24.67 และจากตาราง 4.7 พบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าสี b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี b^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่าสี b^* เป็นค่าที่แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำตาลในอาหาร โดยหากมีค่าเป็นบวกแสดงถึงอาหารนั้นมีสีเหลือง หากมีค่าเป็นลบแสดงถึงอาหารนั้นมีสีน้ำตาล (McGuire, 1992) ซึ่งค่าสี b^* เพิ่มขึ้นแสดงว่าน้ำพริกหนุ่มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในน้ำพริกหนุ่ม เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งโดยเอนไซม์ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาแมลลาร์ด และอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในน้ำพริกหนุ่มไปเป็นฟิโอฟิดิน และฟิโอฟอร์ไบด์ ซึ่งมีสีเขียวน้ำตาลและสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับ รังสิมา (2549) ซึ่งพบว่าค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ และบรรจุโดยตัดแปลงบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

จากภาพ 4.6 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงทั้ง 4 สิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 19.91 ถึง 20.75 และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ค่าสี b^* ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 21.25 ถึง 22.17 จากตาราง 4.8 พบว่าระดับความดันและระยะเวลาคงความดันที่ใช้มีผลต่อค่าสี b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี b^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และพบว่าในสิ่งทดลองทั้ง 4 มีค่าสี b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งค่าสี b^* ที่เพิ่มขึ้นแสดงว่าน้ำพริกหนุ่มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสี b^* อาจอธิบายได้เช่นเดียวกับกรณีของน้ำพริกที่บรรจุสุญญากาศ กล่าวคืออาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในน้ำพริกหนุ่ม เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งโดยเอนไซม์ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาแมลลาร์ด และอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในน้ำพริกหนุ่มไปเป็นฟิโอฟิดินและฟิโอฟอร์ไบด์ ซึ่งมีสีเขียวน้ำตาลและสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545)

4.3.4 ค่าออสโมติกแอคทีวิตี (a_w)



ภาพ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออสโมติกแอคทีวิตีกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออสโมติกแอคทีวิตีกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแอมพลิจูดของคลื่นในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแอมพลิจูดของคลื่นในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-

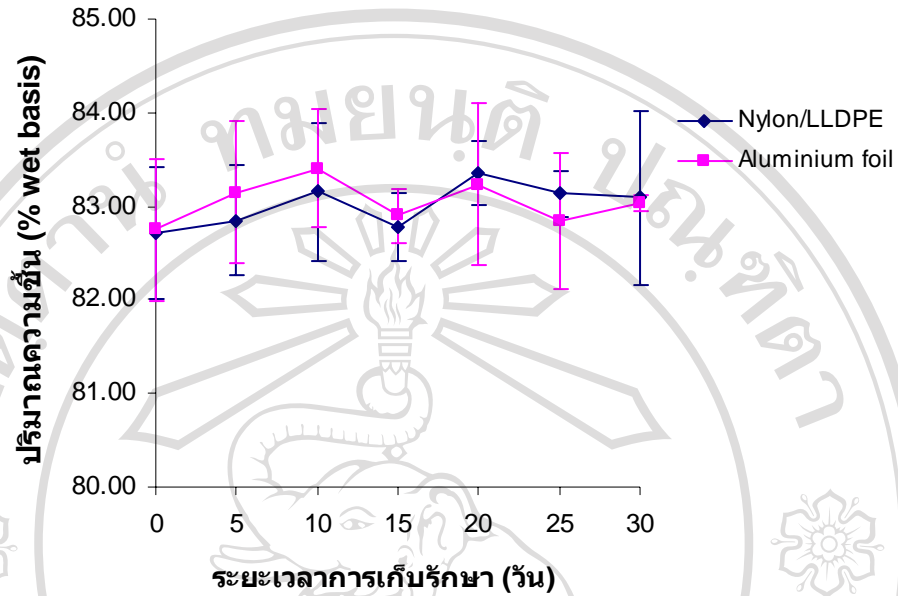
หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

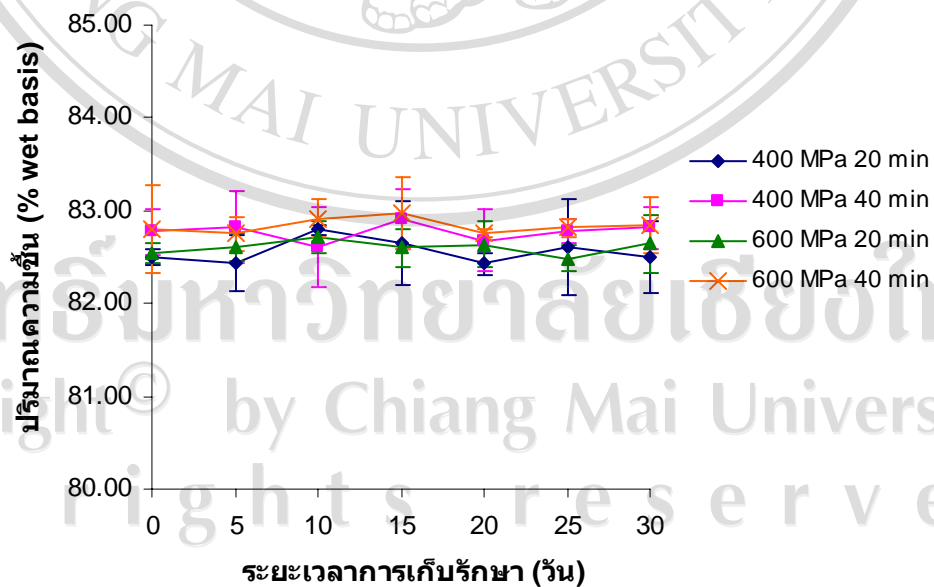
จากภาพ 4.7 พบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุแบบสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีในช่วง 0.892 ถึง 0.893 และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา น้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีประมาณ 0.894 และจากตาราง 4.9 พบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สาเหตุที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตน้ำพริกหนุ่มมีขั้นตอนการผสม ซึ่งอาจทำให้เนื้อเยื่อเซลล์เกิดความเสียหาย ซึ่งเมื่อเซลล์เนื้อเยื่อเกิดบาดแผล เป็นผลให้น้ำในเนื้อเยื่อซึมออกมาได้ง่ายและสะดวก (จริงแท้, 2546) และเกิดจากสภาวะสุญญากาศ อาจมีผลทำให้เซลล์ของอาหารเกิดการแตกและเกิดการซึมผ่านของของเหลวในเซลล์ออกมา (González-Aguilar *et al.*, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับรังสีมา (2549) ซึ่งพบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ และบรรจุโดยตัดแปลงบรรยากาศมีแนวโน้มคงที่ ตลอดช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากภาพ 4.8 พบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยความดันสูงทั้ง 4 สิ่งทดลองมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีในช่วง 0.890 ถึง 0.892 และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา น้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีในช่วง 0.892 ถึง 0.894 เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.10 ซึ่งพบว่าระดับความดัน ระยะเวลาคงความดัน และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และในสิ่งทดลองทั้ง 4 มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สาเหตุที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตน้ำพริกหนุ่มมีขั้นตอนการผสม ซึ่งอาจทำให้เนื้อเยื่อเซลล์เกิดความเสียหาย ซึ่งเมื่อเซลล์เนื้อเยื่อเกิดบาดแผล เป็นผลให้น้ำในเนื้อเยื่อซึมออกมาได้ง่ายและสะดวก (จริงแท้, 2546) นอกจากนี้ความดันสูงมีผลทำให้ความสามารถในการผ่านเข้าออกของสารในเซลล์พืช และจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (Krebbes, 2002) โดย Rubio *et al.* (2007) ศึกษาไส้กรอกที่บรรจุโดยการบรรจุสุญญากาศ และผ่านกระบวนการความดันสูง 500 MPa 5 นาที จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 °C พบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา

4.3.5 ปริมาณความชื้น (Moisture content)



ภาพ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการเก็บรักษา
ของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-

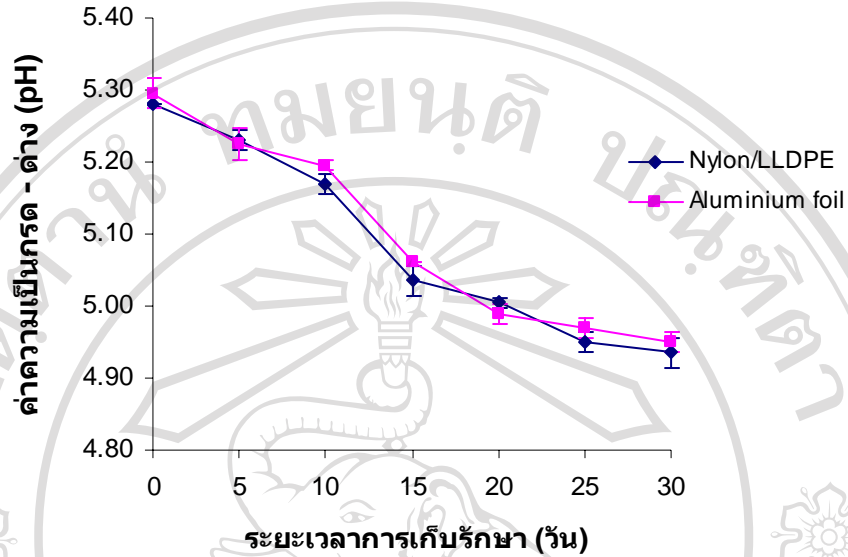
หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

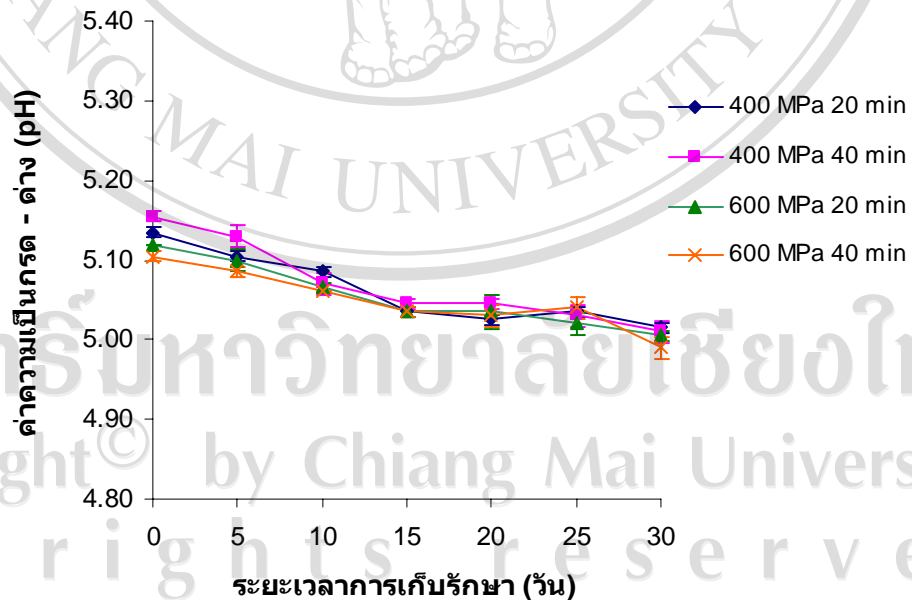
จากภาพ 4.9 พบว่าค่าความชื้นของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุแบบสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 82.71 ถึง 82.75 % wet basis และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษาน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 83.04 ถึง 83.09 % wet basis เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.11 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งแนวโน้มของปริมาณความชื้นที่คงที่ สอดคล้องกับค่าวอเตอร์แอกติวิตีซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ซึ่งปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อาจเกิดจากในกระบวนการผลิตน้ำพริกหนุ่มมีขั้นตอนการผสม ซึ่งอาจทำให้เนื้อเยื่อเซลล์เกิดความเสียหาย ซึ่งเมื่อเซลล์เนื้อเยื่อเกิดบาดแผล เป็นผลให้น้ำในเนื้อเยื่อซึมออกมาได้ง่ายและสะดวก (จริงแท้, 2546) และอาจเกิดจากสภาวะสุญญากาศทำให้เซลล์ของอาหารเกิดการแตก และเกิดการซึมผ่านของของเหลวในเซลล์ออกมา (González-Aguilar *et al.*, 2004) โดยรังสีมา (2549) พบว่าปริมาณความชื้นของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ และบรรจุโดยตัดแปลงบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

จากภาพ 4.10 พบว่าปริมาณความชื้นของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงทั้ง 4 สิ่งทดลองมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 82.51 ถึง 82.80 และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษาน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 82.50 ถึง 82.84 เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.12 ซึ่งพบว่าระดับความดัน ระยะเวลาคงความดัน และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และในสิ่งทดลองทั้ง 4 มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สาเหตุที่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น อาจอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับกรณีน้ำพริกที่บรรจุแบบสุญญากาศ กล่าวคือในกระบวนการผลิตน้ำพริกหนุ่มมีขั้นตอนการผสม ซึ่งอาจทำให้เนื้อเยื่อเซลล์เกิดความเสียหาย ซึ่งเมื่อเซลล์เนื้อเยื่อเกิดบาดแผล เป็นผลให้น้ำในเนื้อเยื่อซึมออกมาได้ง่ายและสะดวก นอกจากนี้ความดันสูงมีผลทำให้ความสามารถในการผ่านเข้าออกของสารในเซลล์พืชและจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (Krebbes, 2002)

4.3.6 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)



ภาพ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นกรด - ด่างในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นกรด - ด่างในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

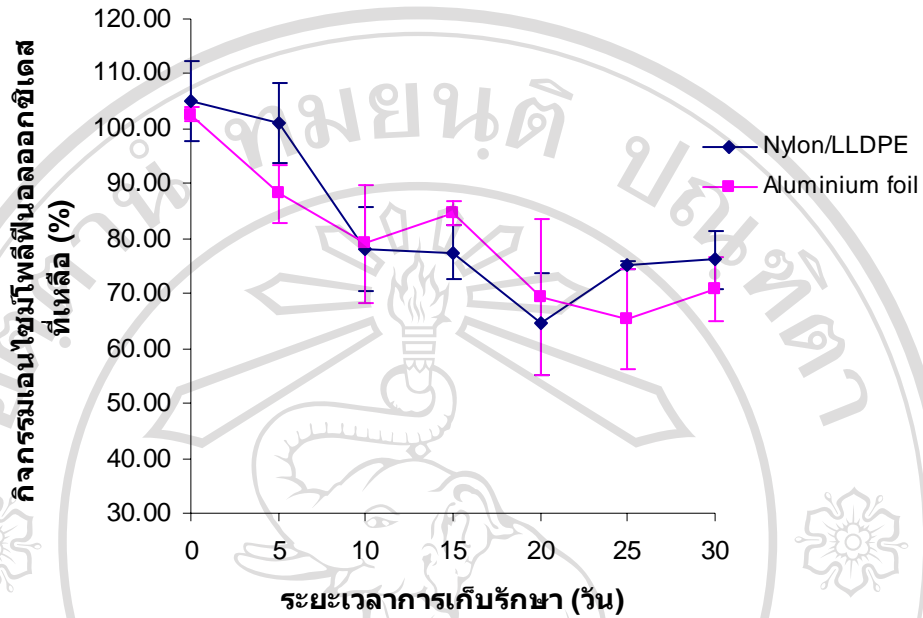
หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

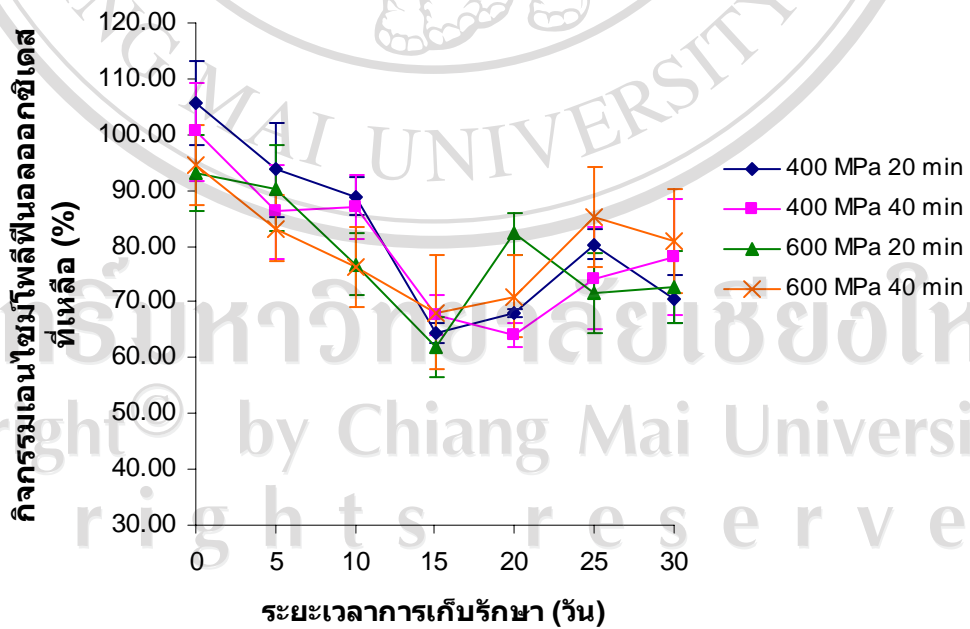
จากภาพ 4.11 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 5.28 ถึง 5.30 และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา มีค่าอยู่ในช่วง 4.94 ถึง 4.95 เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.13 ซึ่งพบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การลดลงของค่าความเป็นกรด - ด่าง อาจเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำพริกหนุ่ม โดยเมื่อจุลินทรีย์เจริญจุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลโดยเฉพาะกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโต และผลิตกรดขึ้น (สุมาลี, 2539) ทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ลดลง โดยรังสีมา (2549) พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศและบรรจุโดยตัดแปลงบรรยากาศ มีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และ Cliffe-Bynes and Beirne (2005) พบว่า coleslaw ซึ่งบรรจุภายใต้สภาวะตัดแปลงบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 8 °C มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

จากภาพ 4.12 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงทั้ง 4 สิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 5.11 ถึง 5.16 และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 4.99 ถึง 5.02 และจากตาราง 4.14 พบว่าระดับความดัน และระยะเวลาความดันที่ใช้มีผลต่อค่าความเป็นกรด - ด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลองมีค่าความเป็นกรด - ด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งจะเห็นว่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านการบรรจุสุญญากาศ เนื่องจากความดันสูงสามารถทำลายจุลินทรีย์ในน้ำพริกหนุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงสารอาหารในน้ำพริกหนุ่มโดยจุลินทรีย์จึงลดลง ดังนั้นค่าความเป็นกรด - ด่างจึงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดย Rubio *et al.* (2007) ศึกษาใช้กรอกที่บรรจุโดยการบรรจุสุญญากาศ และผ่านกระบวนการความดันสูง 500 MPa 5 นาที จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 °C พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่ง Hoover *et al.* (1989) สันเกตว่าความดันสูงอาจเป็นสาเหตุการลดลงของค่าความเป็นกรด - ด่าง เนื่องจากทำให้สารบางชนิดในอาหารเกิดการแตกตัว

4.3.7 กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase)



ภาพ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่มที่
บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่ม
ที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

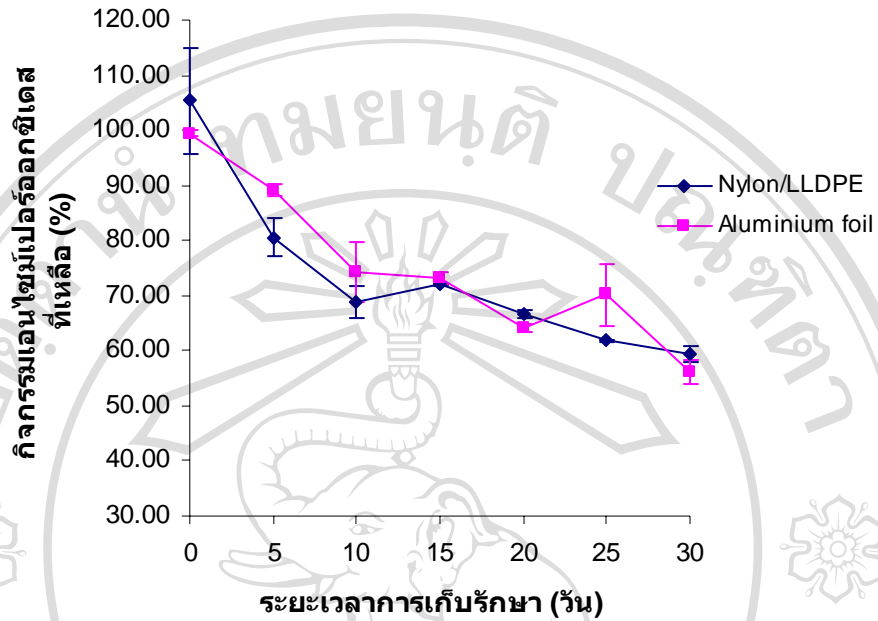
- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.13 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านการบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 102.66 ถึง 105.02 % และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 70.86 ถึง 77.24 % และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.15 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีกิจกรรมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การลดลงของกิจกรรมเอนไซม์อาจมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ในน้ำพริกหนุ่ม โดยจุลินทรีย์ต้องการแหล่งไนโตรเจนเป็นสารอาหาร และอาจมีจุลินทรีย์บางชนิดใช้สารอินทรีย์ในโตรเจนในรูปโปรตีน กรดอะมิโน หรือเพปไทด์ (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) เอนไซม์เป็นโปรตีนประเภทหนึ่งที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต (Hendrickx and Knorr, 2002) ดังนั้นจุลินทรีย์บางชนิดจึงอาจใช้เอนไซม์เป็นแหล่งโปรตีน ทำให้เอนไซม์มีกิจกรรมลดลง นอกจากนี้การลดลงของเอนไซม์ อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Active site) โดยเอนไซม์จะมีบริเวณที่เรียกว่า Active site ซึ่งจำเพาะต่อสารสับสเตรท ซึ่งบริเวณนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาชีวเคมี เมื่อสายพอลิเปปไทด์ของโปรตีนมาก่อพันระกันทำให้เกิดโครงสร้างระดับตติยภูมิและจตุรภูมิจะเกิดโครงสร้างบริเวณนี้ขึ้น โดยพันธะที่พบในโครงสร้างระดับนี้เป็นพันธะนอนโควาเลนต์ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก เป็นต้น (Hendrickx and Knorr, 2002) ซึ่งสามารถถูกทำลายได้ง่าย ดังนั้นเมื่อค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำพริกหนุ่มลดลง ทำให้พันธะของสายพอลิเปปไทด์ของเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุของกรดอะมิโน ซึ่งหากเกิดการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณ Active site จะทำให้ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ ดังนั้นกิจกรรมเอนไซม์จึงลดลง ซึ่งโดยทั่วไปเอนไซม์โดยส่วนใหญ่จะเสถียรในค่าความเป็นกรด – ด่างที่เป็นกลาง ดังนั้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ความเสถียรของเอนไซม์จึงลดลง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลง อาจมีผลต่อประจุของกรดอะมิโนบริเวณ Active site ซึ่งหากเกิดประจุเดียวกันจะเกิดแรงผลักรันได้ (ปราณี, 2535) ทำให้เอนไซม์มีแอกติวิตีลดลง โดย Tian *et al.* (2005) ศึกษาการเก็บลิ้นจี่ไว้ภายใต้บรรยากาศปกติ และสภาวะคัดแปรบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 3 °C พบว่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้น Tao *et al.* (2007) ศึกษาการเก็บรักษาเห็ดโดยการแช่เย็นแบบสุญญากาศ (Vacuum cooling) และเก็บรักษาภายใต้การดัดแปลง

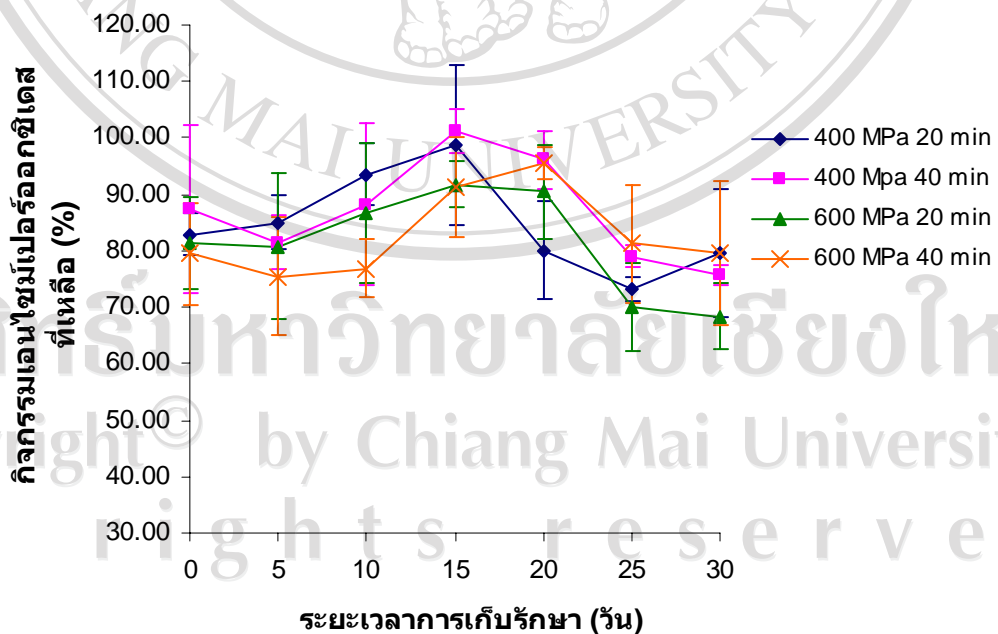
บรรยากาศ พบว่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน

จากภาพ 4.14 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยความดันสูงในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลา 15 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆมีค่าอยู่ในช่วง 93.11 – 105.66 % และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆมีค่าอยู่ในช่วง 70.38 – 80.96 % และจากการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.16 ซึ่งพบว่าระดับความดัน และระยะเวลาของความดันที่ใช้มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลให้กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดย Phunchaisri and Apichartsrangkoon (2005) พบว่าลีนจีสดที่ผ่านความดัน 400 และ 600 MPa 20 °C 20 นาที มีกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทนต่อความดันสูงได้แตกต่างกัน เช่นเอนไซม์นี้ในเห็ดและมะเขือเทศต้องใช้ความดัน 800 – 900 MPa จึงเริ่มถูกยับยั้ง แต่เอนไซม์ชนิดเดียวกันนี้ในสตรอเบอรี่และองุ่นเริ่มถูกยับยั้งเมื่อใช้ความดัน 400 – 600 MPa (Hendrickx *et al.*, 1998) ซึ่งในกรณีของน้ำพริกหนุ่มนี้พบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทนต่อความดันได้สูง โดยเห็นได้จากแอกติวิตีของเอนไซม์ที่เหลืออยู่หลังผ่านความดันมีค่าสูง โดยสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของแอกติวิตีเอนไซม์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณเร่ง (Active site) ของเอนไซม์ ดังอธิบายไว้ในกรณีของกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศที่ลดลง และความดันสูงอาจมีผลให้เอนไซม์มีแอกติวิตีลดลง หรืออาจกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ได้ (อรุณี, 2549) โดยกิจกรรมเอนไซม์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน อาจเกิดจากโครงสร้างเอนไซม์บางส่วนซึ่งเสียสภาพแบบผันกลับได้ กลับมาสร้างพันธะนอนโควาเลนต์กัน แล้วทำให้โครงสร้างบริเวณ Active site สามารถจับกับสับสเตรทและเร่งปฏิกิริยาได้

4.3.8 กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase)



ภาพ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่มที่
บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่ม
ที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.15 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยการบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 99.39 ถึง 105.42 % และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 56.02 ถึง 59.01 % เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.17 โดยพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีกิจกรรมเอนไซม์ peroxidase ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สาเหตุของการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ อธิบายได้เช่นเดียวกับการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ polyphenol oxidase กล่าวคือ เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำพริกหนุ่ม เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ซึ่งมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณ Active site ของเอนไซม์ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง Tian *et al.* (2005) ศึกษาการเก็บลิ้นจี่ไว้ภายใต้บรรยากาศปกติ และสถานะดีดแปลงบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 3 °C พบว่ากิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น และ Ding *et al.* (2006) พบว่าผล loquat ซึ่งเก็บรักษาภายใต้การบรรจุสุญญากาศ มีกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 35 วัน แต่หลังจาก 35 วันของการเก็บรักษาเอนไซม์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

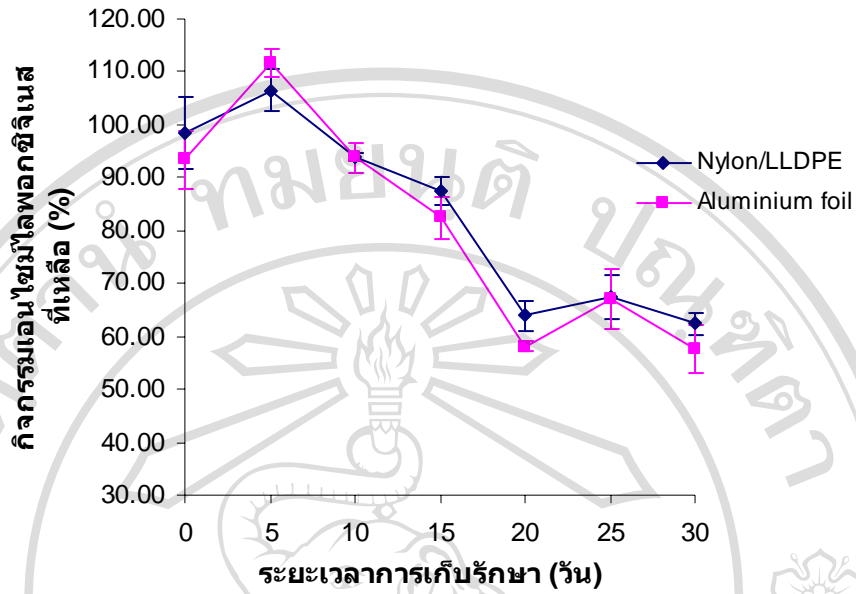
จากภาพ 4.16 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยความดันสูงในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 15 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลง โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษา กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 79.51 – 87.41 % และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 68.31 – 79.55 % และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.18 ซึ่งพบว่าระดับความดัน และระยะเวลาคงความดันที่ใช้ มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลให้กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลองมีกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่ง Quaglia *et al.* (1996) พบว่าการใช้ความดัน 600 และ 700 MPa ทำให้กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในถั่วเขียวลดลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใช้ระยะเวลาคงความดันเพิ่มขึ้น มีผลต่อการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน และ Phunchaisri and Apichartsrangkoon (2005) พบว่าลิ้นจี่สดที่ผ่าน

ความดัน 400 และ 600 MPa 20 °C 20 นาที มีกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของแอกติวิตีเอนไซม์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณเร่ง (Active site) ของเอนไซม์ดังที่อธิบายไว้เช่นเดียวกับกรณีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ทนความดันสูง (Hendrickx and Knorr, 2002) ดังนั้นกิจกรรมเอนไซม์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา อาจเกิดจากโครงสร้างเอนไซม์บางส่วนซึ่งเสียสภาพแบบผันกลับได้ กลับมาสร้างพันธะอนโควาเลนต์กันแล้วทำให้โครงสร้างบริเวณ Active site สามารถจับกับสับสเตรทและเร่งปฏิกิริยาได้ ส่วนสาเหตุการลดลงของแอกติวิตีอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างที่ลดลง ทำให้ความเสถียรของเอนไซม์ลดลง ซึ่งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะเสถียรในความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง (Hendrickx and Knorr, 2002)

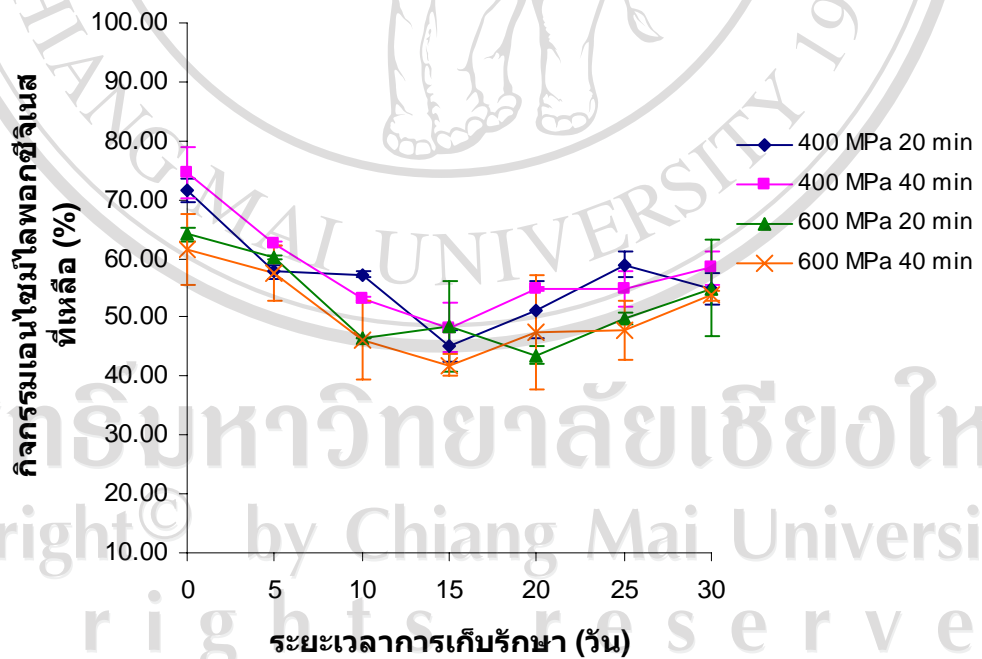
4.3.9 กิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase)

จากภาพ 4.17 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น กิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านการบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 93.43 ถึง 98.40 % และวันที่ 30 ของการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 57.64 ถึง 62.34 % และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.19 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เอนไซม์ไลพอกซีจีเนสมีกิจกรรมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สาเหตุของการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ อธิบายได้เช่นเดียวกับการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ polyphenol oxidase กล่าวคือ อาจเกิดจากการย่อยสลายเอนไซม์ของจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่างในน้ำพริกหนุ่ม เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ซึ่งมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณ Active site ของเอนไซม์ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง Ding *et al.* (2006) พบว่าผล loquat ซึ่งเก็บรักษาภายใต้การบรรจุสุญญากาศ มีกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสลดลงเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

จากภาพ 4.18 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยความดันสูงในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลา 15 - 20 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษากิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆมีค่าอยู่ในช่วง 61.47 – 74.49 % และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆมีค่าอยู่ในช่วง 53.72 – 60.43 % และจากการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.20 ซึ่งพบว่าระยะเวลาคงความดันมีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระดับความดันที่ใช้และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลทำให้กิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลองมีกิจกรรมเอนไซม์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า น้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดัน 600 MPa 40 นาที มีกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเหลืออยู่ต่ำที่สุด โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดัน 600 MPa 20 นาที ($p > 0.05$) แต่สิ่งทดลองทั้ง 2 มีกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสที่เหลืออยู่แตกต่างจากน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดัน 400 MPa 20 และ 40 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \leq 0.05$) สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของแอกติวิตีเอนไซม์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณเร่ง (Active site) ของเอนไซม์ดังที่อธิบายไว้เช่นเดียวกับกรณีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสมีความเป็นกรด-ด่างที่เสถียรเท่ากับ 7 (Malvezzi-Campeggi *et al.*, 2001) ซึ่งในน้ำพริกหนุ่มซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.20 ดังนั้นเมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นเอนไซม์จึงมีความเสถียรลดลง แต่สาเหตุที่กิจกรรมเอนไซม์มีค่าเพิ่มขึ้นหลังวันที่ 20 ของการเก็บรักษา อาจเกิดจากโครงสร้างเอนไซม์บางส่วนซึ่งเสียสภาพแบบผันกลับได้กลับมาสร้างพันธะนอนโควาเลนต์กัน แล้วทำให้โครงสร้างบริเวณ Active site สามารถจับกับสับสเตรทและเร่งปฏิกิริยาได้



ภาพ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์ไลโปลอกซีจีเนสกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์ไลโปลอกซีจีเนสกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในน้ำพริกหนุ่มที่
บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

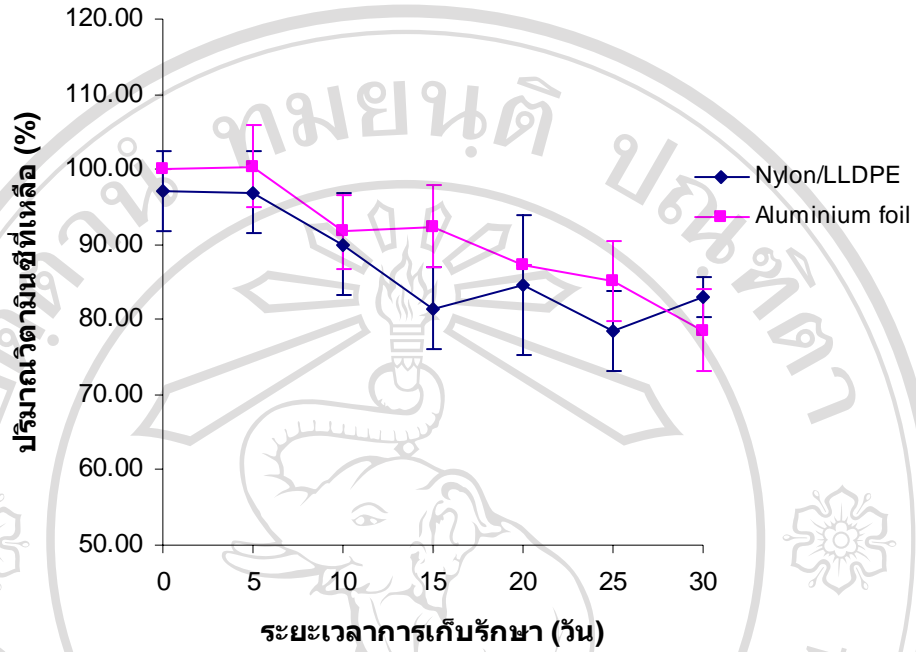
ตาราง 4.20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในน้ำพริกหนุ่ม
ที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	+
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

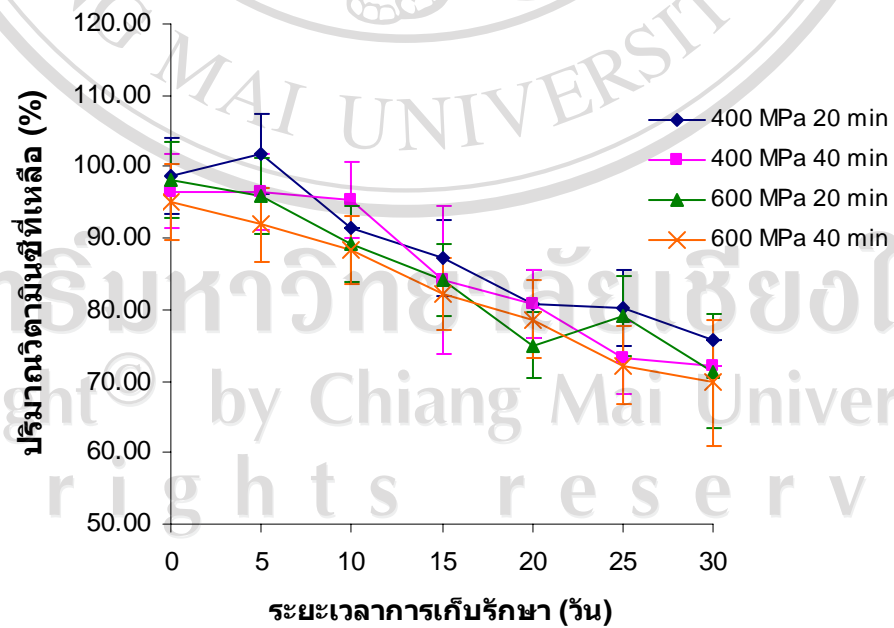
หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3.10 ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C content)



ภาพ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณวิตามินซีในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณวิตามินซีในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.19 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณวิตามินซีของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีที่คงอยู่ในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 97.13 ถึง 100.16 % และวันที่ 30 ของการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ในน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 78.50 ถึง 82.99 % และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.21 ซึ่งพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลให้ปริมาณวิตามินซีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ Aluminium foil มีปริมาณวิตามินซีคงอยู่มากกว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ Nylon/LLDPE เล็กน้อย ปริมาณวิตามินซีที่ลดลงแสดงให้เห็นถึงคุณค่าทางอาหารที่ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการที่วิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ที่แรง มีความคงตัวต่ำ ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศที่เหลืออยู่เล็กน้อยในบรรจุภัณฑ์อาจเกิดการออกซิเดชัน ไปเป็น dehydro-L-ascorbic acid และ diketo-L-gulonic acid ซึ่งไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ (นิธิยา, 2545) ซึ่ง González-Aguilar *et al.* (2004) พบว่าขึ้นพริกสดที่ผ่านการตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้การบรรจุสุญญากาศและการตัดแปลงบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C มีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา และมีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีเกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และ Agerlin-Peterson and Berends (1993) รายงานว่าปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ในปริมาณน้อย เมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือการตัดแปลงบรรยากาศ จะช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีไปเป็น dehydro-L-ascorbic acid ซ้ำลง ซึ่งทำให้การลดลงของปริมาณวิตามินซีเกิดช้าลง

จากภาพ 4.20 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณวิตามินซีของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงในสิ่งทดลองต่างๆมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 95.14 ถึง 98.76 % และวันที่ 30 ของการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ในน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 69.78 ถึง 75.62 % และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.22 โดยพบว่าระดับความดัน และระยะเวลาคงความดันที่ใช้ มีผลต่อปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลให้ปริมาณวิตามินซีที่เหลือในน้ำพริกหนุ่มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลองมีปริมาณวิตามินซีที่เหลือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สาเหตุการลดลงของปริมาณวิตามินซีอธิบายได้เช่นเดียวกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ กล่าวคือปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่จะออกซิเดชันวิตามินซีไปเป็น dehydro-L-ascorbic acid และ diketo-L-gulonic acid ซึ่งไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ (นิธิยา, 2545) โดย Krebbers *et al.* (2002) พบว่าถั่วเขียวที่ผ่านกระบวนการ

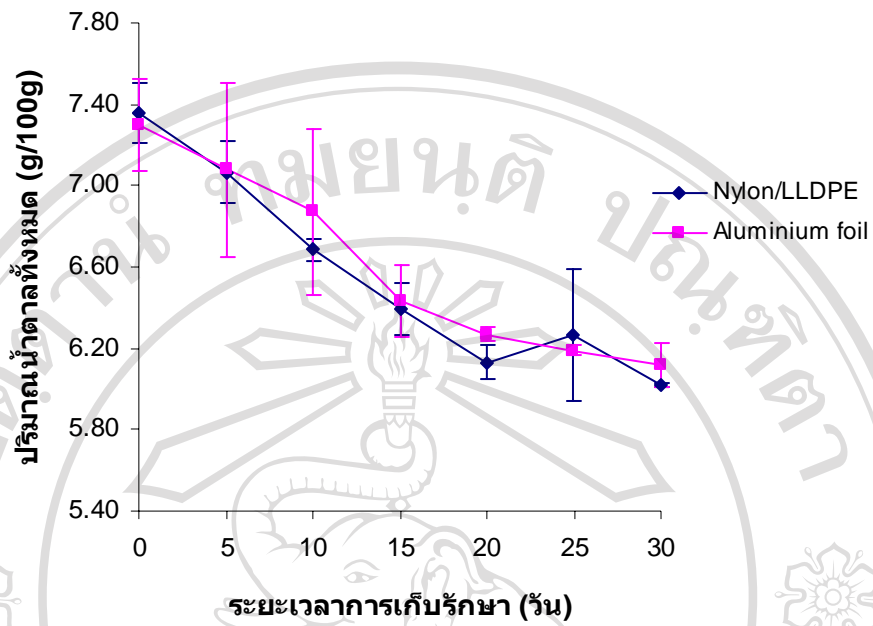
ความดันสูงมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับถั่วเขียวที่ไม่ผ่านความดันสูง แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหลักในการลดลงของปริมาณวิตามินซีในระหว่าง 1 เดือนของการเก็บรักษา และ Polydera *et al.* (2003) พบว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ปริมาณวิตามินซีจะลดลง โดยปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการลดลงของวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญคือระยะเวลาในการเก็บรักษา และอุณหภูมิในการเก็บ โดยน้ำส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 1 เดือนพบว่าปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ 79 % เทียบกับปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเริ่มต้น

4.3.11 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar content)

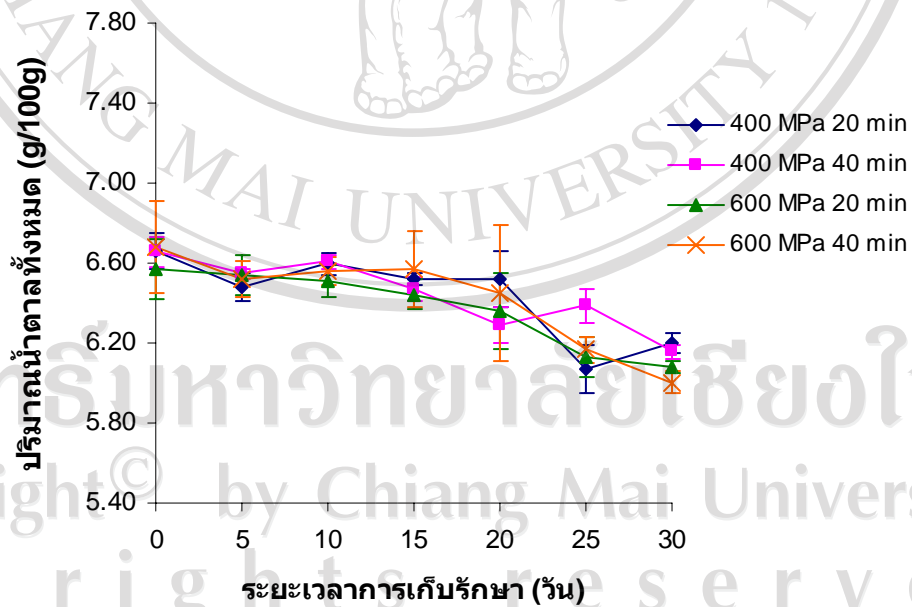
จากภาพ 4.21 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 7.30 ถึง 7.36 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่มและวันที่ 30 ของการเก็บรักษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 6.02 ถึง 6.12 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่ม และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.23 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ลดลง สาเหตุส่วนหนึ่งอาจเกิดมาจากปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์จะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาโดยจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารเมลลันอยดิน (นิธิยา, 2545) และสาเหตุหลักอาจเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการสารอาหารในการเจริญ โดยแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์มาจากสารอินทรีย์ (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) โดยน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน และแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคส (สุมาลี, 2539) ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์เจริญเพิ่มขึ้นจึงใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Blanchard *et al.* (1996) รายงานว่าหัวหอมแห้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะตัดแปลงบรรยากาศ อุณหภูมิ 4°C ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และ Gomez and Artes (2005) พบว่าผักขึ้นฉ่ายซึ่งเก็บรักษาโดยการตัดแปลงบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 วัน มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลง

จากภาพ 4.22 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มถนอมโดยความดันสูงในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 6.57 ถึง 6.68 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่ม และวันที่ 30 ของการเก็บรักษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 6.00 ถึง 6.20 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่ม และจากตาราง 4.24 พบว่าระดับความดันและระยะเวลาคงความดันที่ใช้มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และพบว่าในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลองมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ลดลง สาเหตุอาจเกิดมาจากปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์จะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาโดยจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารเมลานอยดิน (นิธิยา, 2545) ทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

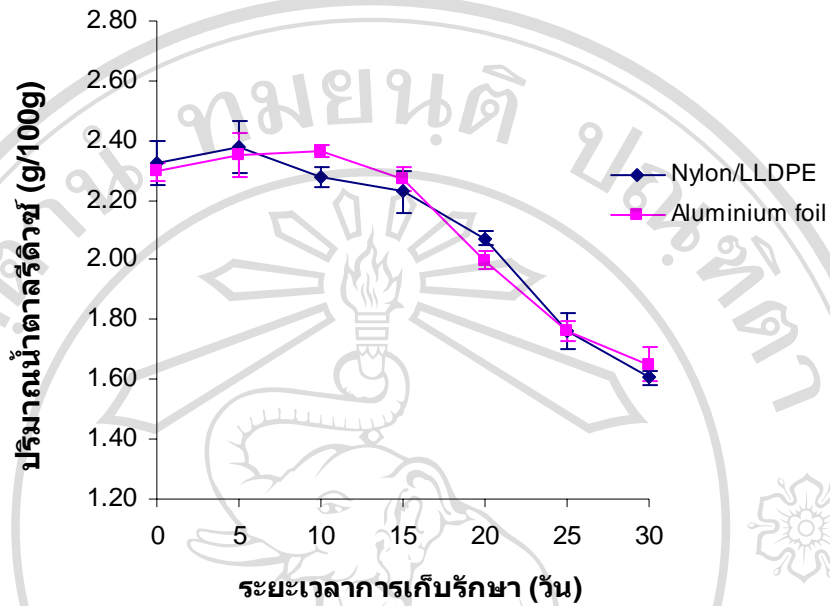
ตาราง 4.24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

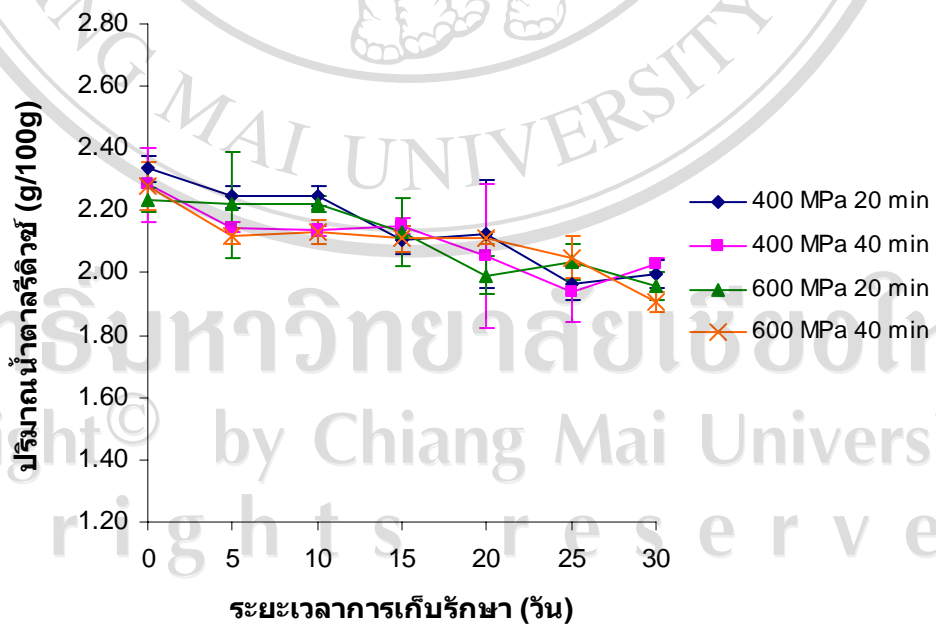
หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3.12 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar content)



ภาพ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ



ภาพ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ตาราง 4.25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ชนิดบรรจุภัณฑ์	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ชนิดบรรจุภัณฑ์ x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 4.26 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ระดับความดัน	-
ระยะเวลาคงความดัน	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน	-
ระดับความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
ระดับความดัน x ระยะเวลาคงความดัน x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.23 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 2.29 ถึง 2.32 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่มและวันที่ 30 ของการเก็บรักษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 1.61 ถึง 1.65 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่ม และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.25 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงวันที่ 0 – 5 อาจเกิดจากในน้ำพริกหนุ่มอาจมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถย่อยสารโพลีแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ เช่น แป้งและน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ให้เป็นน้ำตาลที่มีสายโมเลกุลสั้นลงได้ (อรุณี, 2549) และเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลง สาเหตุเช่นเดียวกับการลดลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศกล่าวคือ ส่วนหนึ่งอาจเกิดมาจากปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์จะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา โดยจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีนและเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารเมลานอยดิน (นิธิยา, 2545) และสาเหตุหลักอาจเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการสารอาหารในการเจริญ โดยเฉพาะพลังงานและแหล่งคาร์บอน ส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์มาจากสารอินทรีย์ (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) โดยน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคส (สุมาลี, 2539) ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์เจริญเพิ่มขึ้นจึงใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จึงลดลง โดย Blanchard *et al.* (1996) พบว่าหัวหอมแห้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะตัดแปลงบรรยากาศ อุณหภูมิ 4 °C มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นในช่วง 5 ถึง 10 วันแรกของการเก็บรักษา และมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน และ Gomez and Artes (2005) พบว่าผักขึ้นฉ่ายซึ่งเก็บรักษาโดยการตัดแปลงบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการใช้น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลรีดิวซ์ของจุลินทรีย์ ในปฏิกิริยาไกลโคไลซิส เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับการเจริญและการดำรงชีพของจุลินทรีย์

จากภาพ 4.24 พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำพริกหนุ่มถนอมโดยความดันสูงในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 2.23 ถึง 2.33 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่มและวันที่ 30 ของการเก็บรักษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 1.91 ถึง 2.02 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำพริกหนุ่ม และจากตาราง 4.26

พบว่าระดับความดัน และระยะเวลาคงความดันที่ใช้มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และพบว่าในสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลองมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สาเหตุการลดลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อธิบายได้เช่นเดียวกับการลดลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง กล่าวคือเกิดมาจากปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์จะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาโดยจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารเมลานอยดิน (นิธิยา, 2545) ทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง

4.3.13 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ตาราง 4.27 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วันที่)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	
	Nylon/LLDPE	Aluminium foil
0	2.97	3.00
5	3.78	3.82
10	6.09	6.16
15	8.21	8.23
20	8.05	8.01
25	7.36	7.33
30	7.16	7.24

ตาราง 4.28 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงในสิ่งทดลองต่างๆ

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)			
	ความดัน 400 MPa		ความดัน 600 MPa	
	20 นาที	40 นาที	20 นาที	40 นาที
0	ND	ND	ND	ND
5	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND
15	ND	ND	ND	1
20	1	ND	ND	ND
25	1.30	1	1.30	1
30	1.60	1	1.30	1.30

หมายเหตุ : ND = not detected

จากตาราง 4.27 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา น้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.97 – 3.00 log cfu/g และในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา น้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 7.16 – 7.24 log cfu/g โดยหลังจากวันที่ 20 ของการเก็บรักษา น้ำพริกหนุ่มมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง ซึ่งอาจเกิดจากอาจมีการขับของเสียออกมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่มในอาหาร (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) และสาเหตุที่จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศสามารถเจริญได้ เนื่องมาจากการบรรจุสุญญากาศในการทดลองนี้ไม่ได้บรรจุแบบ 100 % สุญญากาศเนื่องจากน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสามารถไหลได้ ดังนั้นหากใช้ระดับสุญญากาศสูงเกินในการบรรจุ จะทำให้น้ำพริกหนุ่มที่บรรจุไหลออกมาทำให้ไม่สามารถปิดผนึกได้ ดังนั้นในบรรจุภัณฑ์จึงยังมีอากาศเหลืออยู่บางส่วนซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ โดย Arkoudelos *et al.* (2007) พบว่าเนื้อปลาที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะสุญญากาศและการตัดแปลงบรรยากาศ ที่ 0 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 2.8 log cfu/g และมีค่าเพิ่มขึ้นเกินเกณฑ์มาตรฐาน

ของอาหารทะเล คือ 7 log cfu/g เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วันสำหรับเนื้อปลาที่บรรจุสุญญากาศ และ 34 วันสำหรับเนื้อปลาที่บรรจุโดยการตัดแปลงบรรยากาศ และ Murcia *et al.* (2003) ศึกษา ชูปลั้วแดงที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะสุญญากาศ และการแทนที่ด้วยก๊าซไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น

จากตาราง 4.28 พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มของทุกสิ่งทดลองมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ คือ 4 log cfu/g ตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงว่าระดับความดันและระยะเวลาที่ใช้มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำพริกหนุ่ม โดยทั่วไป ระดับความดัน 300 – 700 MPa มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่ในอาหาร (Phua and Davey, 2007) โดยระดับความดันสูงสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์ที่ทำให้ อาหารเน่าเสีย และยังสามารถทำลายไวรัสบางกลุ่มได้ เมื่อใช้ระดับความดัน 250 – 700 MPa ที่ อุณหภูมิต่ำ (Reddy *et al.*, 2006) โดยกลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยกระบวนการ ความดันสูง อาจเกิดจากการที่ความดันสูงมีผลต่อเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ โดยความดันจะทำให้ โปรตีนที่เซลล์เมมเบรนเสียหาย (Hartmann *et al.*, 2006) ทำให้ความสามารถในการผ่านเข้า ออกของสารเข้าสู่เซลล์เปลี่ยนแปลง จุลินทรีย์จึงขาดสารอาหารสำหรับการเจริญ ทำให้ไม่สามารถ เจริญได้ (Tahiri *et al.*, 2006) โดย Bull *et al.* (2004) พบว่าน้ำส้มที่ผ่านความดันสูง 600 MPa 20 °C 60 วินาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 พบว่าตรวจไม่พบจุลินทรีย์ในน้ำส้มหลังผ่านกระบวนการ ความดันสูง และในระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ตรวจ พบจุลินทรีย์น้อยกว่า 2 log cfu/ml และ Bayindirli *et al.* (2006) พบว่าความดันสูง 350 MPa 40 °C 5 นาที สามารถทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคได้แก่ *Staphylococcus aureus* 485, *Escherichia coli* O157:H7 933 และ *Salmonella* ในน้ำผลไม้ได้อย่างสมบูรณ์

4.3.14 ปริมาณยีสต์และรา (Yeasts and moulds)

ตาราง 4.29 ปริมาณยีสต์และราของน้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วันที่)	ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g)	
	Nylon/LLDPE	Aluminium foil
0	ND	ND
5	ND	ND
10	ND	ND
15	ND	ND
20	ND	ND
25	ND	ND
30	ND	ND

หมายเหตุ : ND = not detected

ตาราง 4.30 ปริมาณยีสต์และราของน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง ในสิ่งทดลองต่างๆ

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/g)			
	ความดัน 400 MPa		ความดัน 600 MPa	
	20 นาที	40 นาที	20 นาที	40 นาที
0	ND	ND	ND	ND
5	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND
15	ND	ND	ND	ND
20	ND	ND	ND	ND
25	ND	ND	ND	ND
30	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ : ND = not detected

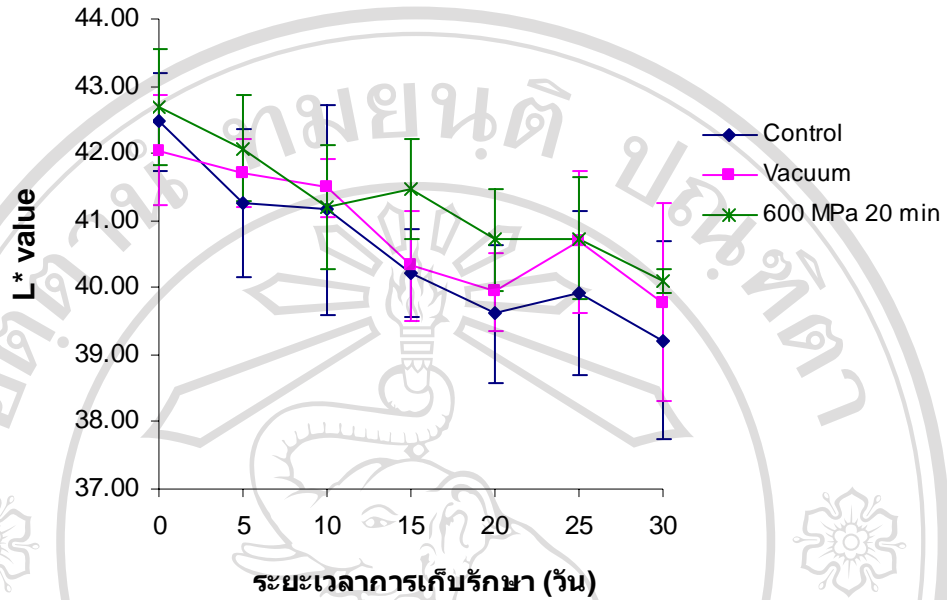
จากตาราง 4.29 พบว่าน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดตรวจไม่พบยีสต์และราตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยอาจเกิดจากยีสต์และราส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (สุมาลี, 2540) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของราอยู่ระหว่าง 22 – 30 °C ส่วนยีสต์มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญอยู่ที่ 20 – 30 °C (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) ดังนั้นการบรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศ ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อาจเป็นอุปสรรคสำหรับการเจริญของยีสต์และรา โดยรังสิมา (2549) พบว่าปริมาณยีสต์และราในน้ำพริกหนุ่มที่เก็บรักษาโดยการตัดแปลงบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ ที่ 4 °C มีปริมาณยีสต์และราลดลง เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และ González-Aguilar *et al.* (2004) พบว่าขึ้นพริกสดที่ผ่านการตัดแต่ง เก็บรักษาภายใต้การบรรจุสุญญากาศและการตัดแปลงบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C มีปริมาณยีสต์และราลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น

จากตาราง 4.30 พบว่าตรวจไม่พบยีสต์และราในน้ำพริกหนุ่มทุกสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าระดับความดันและระยะเวลาที่ใช้มีประสิทธิภาพในการทำลายยีสต์และราในน้ำพริกหนุ่ม โดยทั่วไประดับความดัน 300 – 700 MPa สามารถทำลายยีสต์และราในอาหารได้ (Bull *et al.*, 2004) นอกจากนี้ระดับความดันสูงสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และยังสามารถทำลายไวรัสบางกลุ่มได้ เมื่อใช้ระดับความดัน 250 – 700 MPa ที่อุณหภูมิต่ำ (Reddy *et al.*, 2006) โดยกลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยกระบวนการความดันสูง อาจเกิดจากการที่ความดันสูงมีผลต่อเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ โดยความดันจะทำให้โปรตีนที่เซลล์เมมเบรนเสียหาย (Hartmann *et al.*, 2006) ทำให้ความสามารถในการผ่านเข้าออกของสารเข้าสู่เซลล์เปลี่ยนแปลง จุลินทรีย์จึงขาดสารอาหารสำหรับการเจริญ ทำให้ไม่สามารถเจริญได้ (Tahiri *et al.*, 2006) โดย Hsu *et al.* (2007) ศึกษาการแปรรูปน้ำมะเขือเทศ โดยใช้ระดับความดัน 300 – 500 MPa 25 °C 10 นาที เก็บรักษาที่ 4 °C เป็นเวลา 28 วัน พบว่าระดับความดัน 400 และ 500 MPa สามารถลดระดับยีสต์และราในน้ำมะเขือเทศได้อย่างสมบูรณ์ตลอดอายุการเก็บรักษา แต่ความดัน 300 MPa พบว่ายีสต์และรามีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และ Garriga *et al.* (2004) ศึกษาการใช้ความดันสูง 600 MPa 31 °C 6 นาที ในการถนอมผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น แฮม จากนั้นเก็บรักษาที่ 4 °C เป็นเวลา 120 วัน พบว่าระดับความดันที่ใช้ สามารถลดปริมาณยีสต์ให้น้อยกว่า 1 log cfu/g ตลอดอายุการเก็บรักษา

4.4 คุณภาพของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มที่บรรจุโดยการบรรจุแบบสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง

ในการทดลองขั้นตอนนี้ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ (ชุดควบคุม) น้ำพริกหนุ่มที่บรรจุโดยการบรรจุแบบสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง โดยคัดเลือกน้ำพริกหนุ่มจากสภาวะที่เหมาะสมของการบรรจุแบบสุญญากาศและความดันสูง มาทำการศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ (ชุดควบคุม) โดยใช้ น้ำพริกหนุ่มที่ผลิตในชุดเดียวกันมาศึกษา ซึ่งจากการศึกษาการบรรจุสุญญากาศน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด แล้วทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน พบว่าคุณภาพในด้านต่างๆของน้ำพริกหนุ่มในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด คือ ถุงสุญญากาศชนิด Nylon/LLDPE และถุงสุญญากาศชนิด Aluminium foil ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p > 0.05$) ยกเว้นปริมาณวิตามินซีที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งถุงสุญญากาศแบบ Aluminium foil เกิดจากการลามิเนตกันของ PET/LLDPE/Aluminium foil ซึ่งคุณสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและอากาศใกล้เคียงกับถุงสุญญากาศชนิด Nylon/LLDPE ยกเว้นคุณสมบัติด้านการป้องกันแสง (รายละเอียดดังบทที่ 2) ดังนั้นจึงเลือกบรรจุภัณฑ์ถุงสุญญากาศชนิด Nylon/LLDPE มาทำการศึกษาในขั้นถัดไป เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์ถุงสุญญากาศชนิด Aluminium foil ส่วนการศึกษารถยนต์อมน้ำพริกหนุ่มโดยกระบวนการความดันสูง พบว่าคุณภาพส่วนใหญ่ของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p > 0.05$) ยกเว้นกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า ระดับความดัน 600 MPa 40 นาที มีกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสต่ำที่สุด โดยมีกิจกรรมเอนไซม์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดัน 600 MPa 20 นาที แต่น้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้งสอง มีกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดัน 400 MPa 20 และ 40 นาที ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่เหมาะสม คือระดับความดัน 600 MPa 20 นาที มาทำการศึกษาในขั้นถัดไป เนื่องจากมีคุณภาพไม่แตกต่างจากระดับความดัน 600 MPa 40 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ใช้เวลาในการคงความดันน้อยกว่า และเมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพระหว่างน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ (ชุดควบคุม) กับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ Nylon/LLDPE และน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดัน 600 MPa 20 นาที ได้ผลดังนี้

4.4.1 ค่าสี L*



ภาพ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L* กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.31 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี L* ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

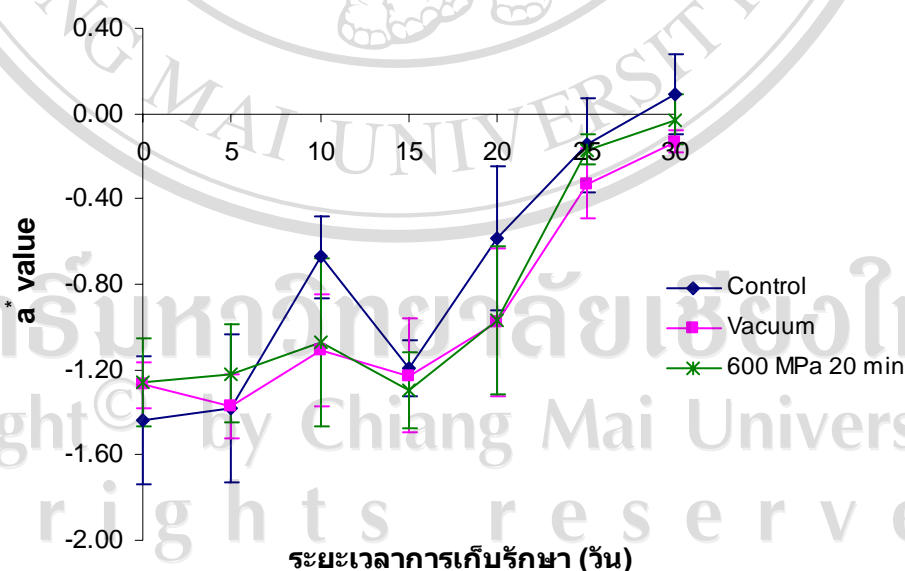
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.25 พบว่าค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.31 โดยพบว่าน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าสี L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี L^* ของน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่าสี L^* ที่มีค่าลดลงแสดงให้เห็นว่าน้ำพริกหนุ่มที่เก็บรักษานานขึ้น จะมีความสว่างลดลงโดยจะมีสีคล้ำขึ้นเล็กน้อย การลดลงของค่าสี L^* อาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบฟีนอลิกในอาหารไปเป็นสารควิโนน โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในอาหาร (Unal, 2007) ทำให้อาหารมีสีคล้ำขึ้นได้ และอาจเกิดจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในอาหาร ซึ่งสามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลิกไปเป็นสารประกอบควิโนนได้เมื่อมี H_2O_2 แต่ในอาหารโดยส่วนใหญ่จะมี H_2O_2 ในปริมาณจำกัด (Bucheli and Robinson, 1994) ทำให้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น โดยจากภาพ 4.28 พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศมีค่าสี L^* สูงกว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ซึ่งอาจเกิดจากสถานะสุญญากาศมีก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (Parry, 1993) ทำให้ออกซิเจนสำหรับการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลดลง

4.4.2 ค่าสี a^*



ภาพ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a^* กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

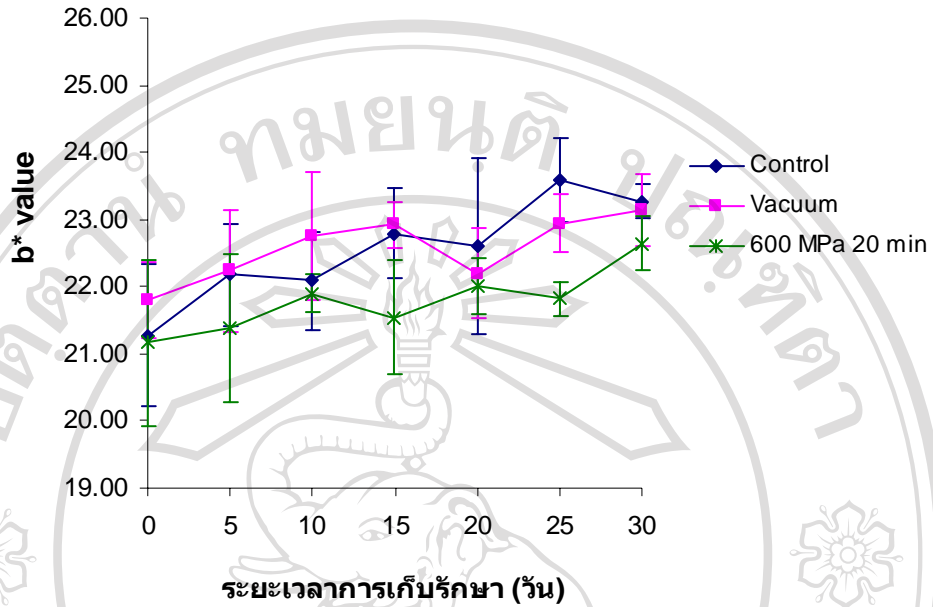
ตาราง 4.32 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี a^* ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.26 พบว่าค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.32 โดยพบว่าน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าสี a^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าสี a^* ของน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่าสี a^* ที่มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าน้ำพริกหนุ่มที่เก็บรักษานานขึ้น มีสีเขียวลดลงและมีสีแดงเพิ่มขึ้น โดยค่าสี a^* ที่เปลี่ยนแปลง อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในน้ำพริกหนุ่ม เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งโดยเอนไซม์ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากคลอโรฟิลล์ในน้ำพริกหนุ่มเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยอาจสูญเสียแมกนีเซียมออกไปจากวงแหวนทำให้เปลี่ยนเป็นฟีโอฟิติน ซึ่งมีสีเขียวน้ำตาล หรืออาจเกิดการสูญเสียไฟโตลร่วมด้วยทำให้ได้เป็นฟีโอฟอร์ไบด์ ซึ่งมีสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545)

4.4.3 ค่าสี b^* 

ภาพ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี b^* กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.33 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี b^* ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

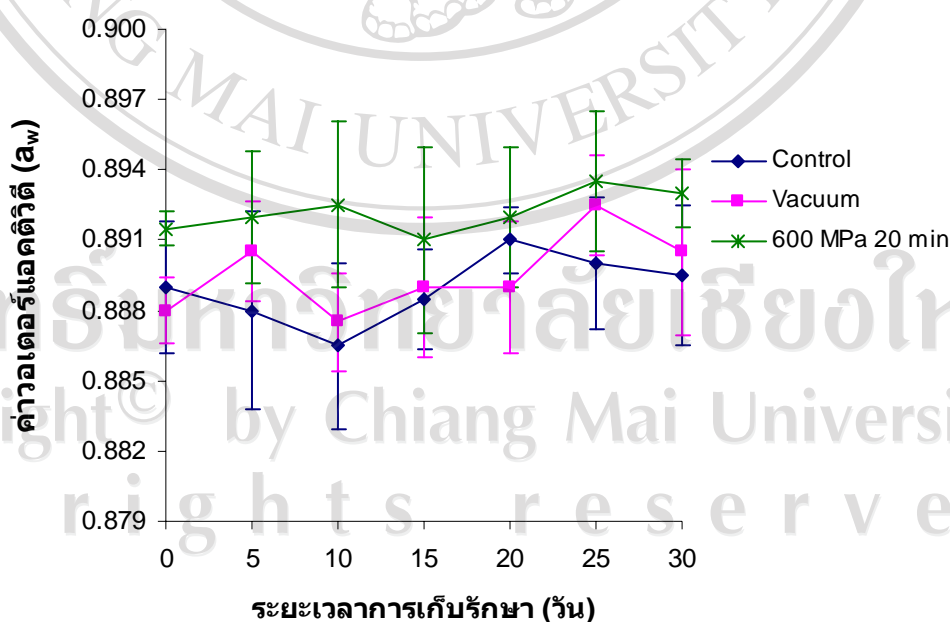
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.27 พบว่าค่า b^* ของน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.33 โดยพบว่าน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีค่า b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศมีค่า b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่น้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้งสองมีค่า b^* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำพริกที่ผ่านกระบวนการความดันสูง และค่า b^* ของน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากค่าความเป็นกรด — ต่างในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงมีค่าสูงกว่า โดยคลอโรฟิลล์ในผักผลไม้จะเสถียรลดลงในสภาวะที่เป็นกรด (นิธิยา, 2545) โดยค่า b^* ที่เปลี่ยนแปลง อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในน้ำพริกหนุ่ม เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งโดยเอนไซม์ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากคลอโรฟิลล์ในน้ำพริกหนุ่มเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยอาจสูญเสียแมกนีเซียมออกไปจากวงแหวนทำให้เปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน ซึ่งมีสีเขียวน้ำตาล หรืออาจเกิดการสูญเสียฟิโอฟิตินร่วมด้วยทำให้ได้เป็นฟิโอฟอร์ไบด์ ซึ่งมีสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545)

4.4.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w)



ภาพ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตีกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.34 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอเวอเจอร์แอคติวิตี ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

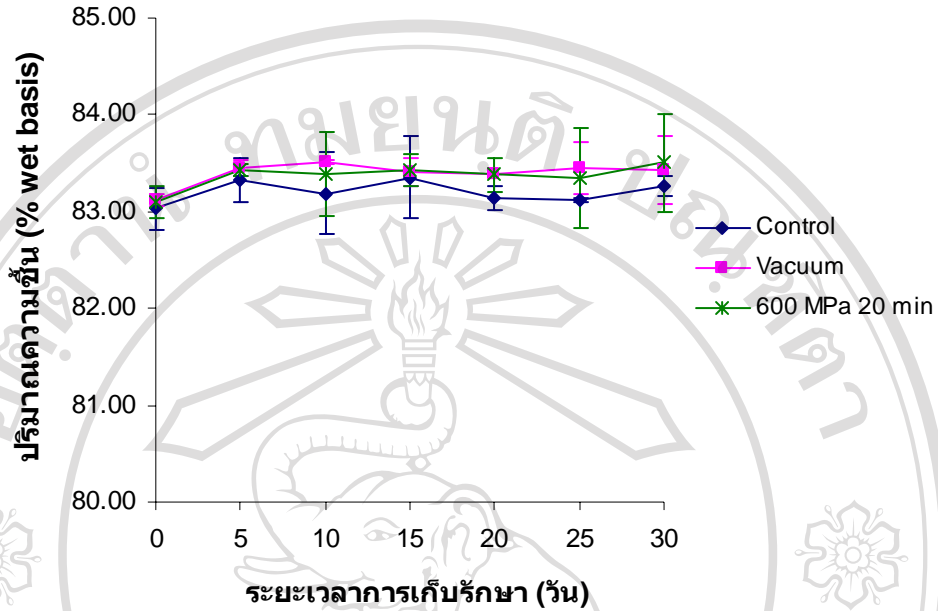
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.28 พบว่าค่าอเวอเจอร์แอคติวิตีในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มคงที่ ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.34 ซึ่งพบว่าค่าอเวอเจอร์แอคติวิตีในแต่ละสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงมีค่าอเวอเจอร์แอคติวิตีสูงสุด และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ ($p > 0.05$) แต่สิ่งทดลองทั้งสองมีค่าอเวอเจอร์แอคติวิตีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ และค่าอเวอเจอร์แอคติวิตีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สาเหตุของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงและน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยการบรรจุสุญญากาศ มีค่ามากกว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกตินั้น อาจเกิดจากความดันสูงมีผลทำให้ความสามารถในการผ่านเข้าออกของสารในเซลล์พืช และจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (Krebbes, 2002) และสภาวะสุญญากาศ อาจมีผลทำให้เซลล์ของอาหารเกิดการแตกและเกิดการซึมผ่านของของเหลวในเซลล์ออกมา (González-Aguilar *et al.*, 2004)

4.4.5 ปริมาณความชื้น (Moisture content)



ภาพ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.35 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

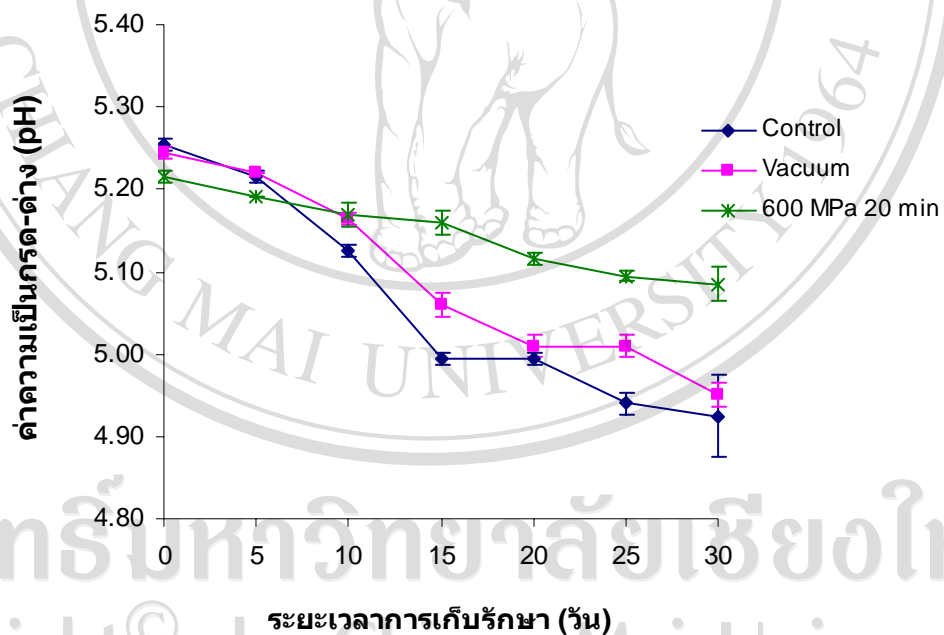
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	-
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	-

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.29 พบว่าปริมาณความชื้นในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.35 ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นในแต่ละสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และปริมาณความชื้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สาเหตุการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น อาจเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำพริกหนุ่มมีขั้นตอนการผสม ซึ่งอาจทำให้เนื้อเยื่อเซลล์เกิดความเสียหาย ซึ่งเมื่อเซลล์เนื้อเยื่อเกิดบาดแผล เป็นผลให้น้ำในเนื้อเยื่อซึมออกมาได้ง่ายและสะดวก (จริงแท้, 2546) ส่วนความดันสูงมีผลทำให้ความสามารถในการผ่านเข้าออกของสารในเซลล์พืช และจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (Krebbbers, 2002) และสภาวะสุญญากาศ อาจมีผลทำให้เซลล์ของอาหารเกิดการแตกและเกิดการซึมผ่านของของเหลวในเซลล์ออกมา (González-Aguilar *et al.*, 2004)

4.4.6 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)



ภาพ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด - ด่างกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.36 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศและน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

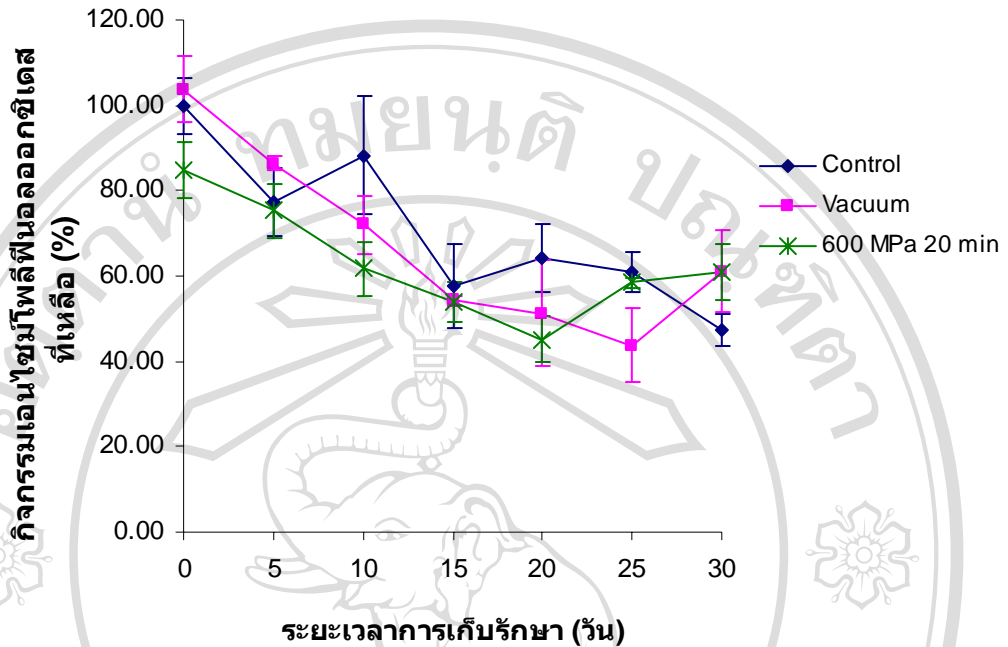
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.30 พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงมีค่าความเป็นกรด - ด่างเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ส่วนน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและสภาวะสุญญากาศ มีค่าความเป็นกรด – ด่างเปลี่ยนแปลงมากกว่า โดยค่าความเป็นกรด – ด่างมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.36 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าความเป็นกรด – ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลองพบว่าน้ำพริกหนุ่มทุกสิ่งทดลองมีค่าความเป็นกรด – ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติมีค่าความเป็นกรด – ด่างต่ำที่สุด และน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงมีค่าความเป็นกรด – ด่างสูงที่สุด และค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกหนุ่มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ และสุญญากาศ อาจเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำพริกหนุ่ม โดยเมื่อจุลินทรีย์เจริญ จุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลโดยเฉพาะกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโต และผลิตกรดขึ้น (สุมาลี, 2539) ทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างลดลง ส่วนน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง จุลินทรีย์ต่างๆ ถูกทำลายค่าความเป็นกรด – ด่างจึงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

4.4.7 กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase)



ภาพ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.37 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

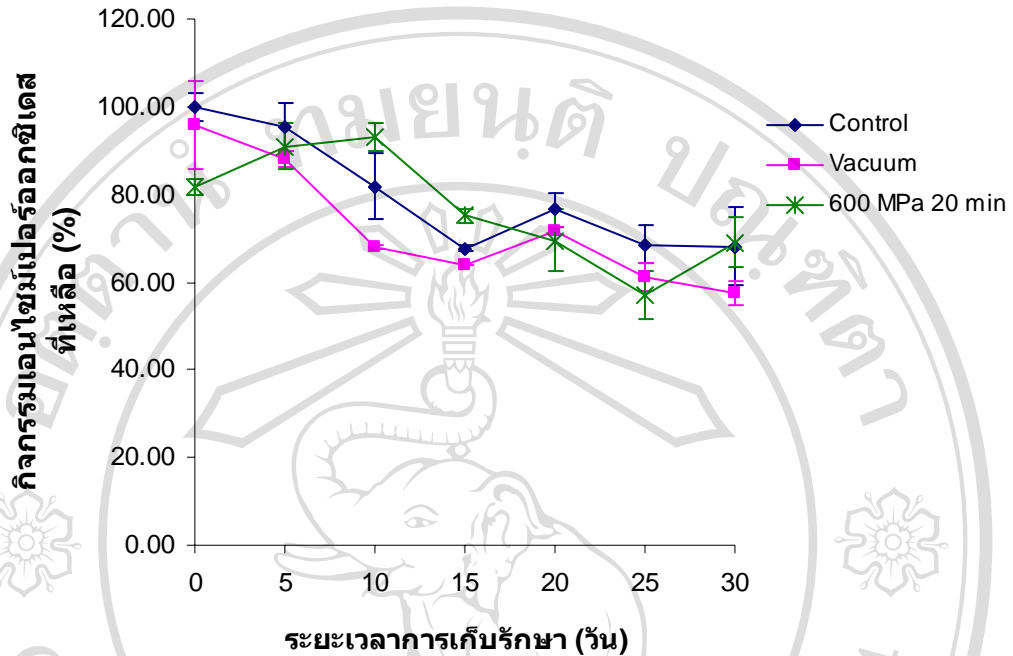
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.31 พบว่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.37 โดยพบว่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในแต่ละสิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่ากิจกรรมเอนไซม์ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงมีค่าต่ำที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศและน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ($p \leq 0.05$) แต่กิจกรรมเอนไซม์ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศและน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสาเหตุการลดลงของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่ม เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ (Active site) โดยโครงสร้างบริเวณนี้เป็นบริเวณที่จับกับสับสเตรทอย่างจำเพาะ แล้วเกิดการเร่งปฏิกิริยา (ปราณี, 2535) ดังนั้นหากเกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณนี้ แล้วทำให้เอนไซม์จับกับสับสเตรทไม่ได้ เอนไซม์จะไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ โดยทั่วไปเอนไซม์จะมีความเสถียรที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ดังนั้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นน้ำพริกหนุ่มมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง อาจทำให้เอนไซม์มีความเสถียรลดลง และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงอาจมีผลต่อประจุของกรดอะมิโนบริเวณ Active site ซึ่งหากเกิดประจุเดียวกันจะเกิดแรงผลักกันได้ (ปราณี, 2535) ทำให้เอนไซม์มีแอกติวิตีลดลง และความดันสูงอาจมีผลทำให้เอนไซม์มีแอกติวิตีลดลง หรืออาจกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ได้ (อรุณี, 2549) โดยการยับยั้งอาจเป็นแบบผันกลับได้หรือผันกลับไม่ได้ (วิไล, 2545) ซึ่งกิจกรรมเอนไซม์ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังวันที่ 20 ของการเก็บรักษา อาจเกิดจากโครงสร้างเอนไซม์บางส่วนซึ่งเสียสภาพแบบผันกลับได้ กลับมาสร้างพันธะนอนโควาเลนต์กัน แล้วทำให้โครงสร้างบริเวณ Active site สามารถจับกับสับสเตรทและเร่งปฏิกิริยาได้

4.4.8 กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase)



ภาพ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.38 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

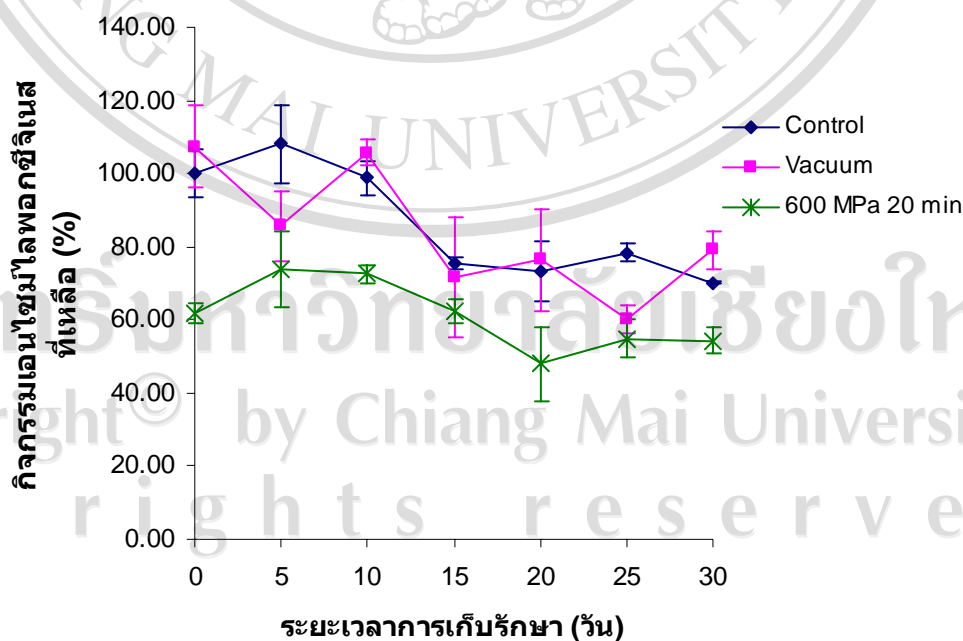
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	-
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.32 พบว่ากิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.38 โดยพบว่ากิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในสิ่งทดลองต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่กิจกรรมเอนไซม์ที่เหลือมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยสาเหตุการลดลงของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในน้ำพริกหนุ่ม เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณเร่ง (Active site) ของเอนไซม์ดังที่อธิบายไว้เช่นเดียวกับกรณีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ทนความดันสูง (Hendrickx and Knorr, 2002) ดังนั้นกิจกรรมเอนไซม์ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 5 – 10 วันแรกของการเก็บรักษา อาจเกิดจากโครงสร้างเอนไซม์บางส่วนซึ่งเสียสภาพแบบผันกลับได้ กลับมาสร้างพันธะนอนโควาเลนต์กัน แล้วทำให้โครงสร้างบริเวณ Active site สามารถจับกับสับสเตรทและเร่งปฏิกิริยาได้ ส่วนสาเหตุการลดลงของเอนไซม์นี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างที่ลดลง ทำให้ความเสถียรของเอนไซม์ลดลง ซึ่งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะเสถียรในความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง (Hendrickx and Knorr, 2002) ดังนั้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นน้ำพริกหนุ่มมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ทำให้เอนไซม์มีความเสถียรลดลง

4.4.9 กิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase)



ภาพ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.39 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศและน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมโดยความดันสูง

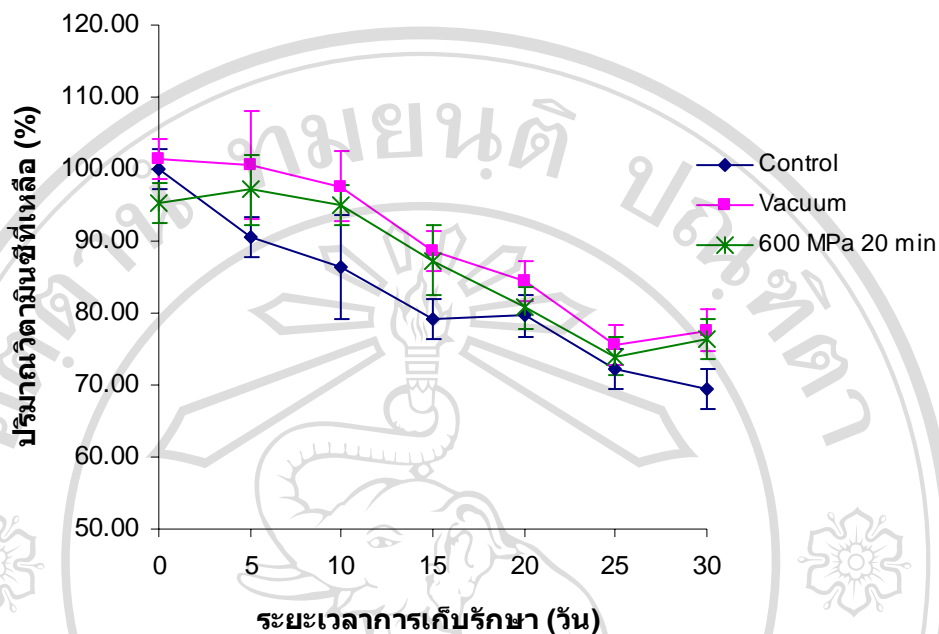
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.33 พบว่ากิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.39 ซึ่งพบว่ากิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในแต่ละสิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่ากิจกรรมเอนไซม์ในน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงมีค่าต่ำที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศและน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ($p \leq 0.05$) แต่กิจกรรมเอนไซม์ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศและน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นกิจกรรมเอนไซม์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยทั่วไปกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสจะถูกยับยั้งเมื่อผ่านความดันสูง (Hendrickx and Knorr, 2002) และสาเหตุการลดลงของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในน้ำพริกหนุ่มเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณเร่ง (Active site) ของเอนไซม์ ดังที่อธิบายไว้เช่นเดียวกับกรณีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กล่าวคือ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนสมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เสถียรเท่ากับ 7 (Malvezzi-Cameggi *et al.*, 2001) ดังนั้นน้ำพริกหนุ่มซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.20 เมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นเอนไซม์จึงมีความเสถียรลดลง ส่วนน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นกิจกรรมเอนไซม์มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากโครงสร้างเอนไซม์บางส่วนซึ่งเสียสภาพแบบผันกลับได้ กลับมาสร้างพันธะนอนโควาเลนต์กันแล้วทำให้โครงสร้างบริเวณ Active site สามารถจับกับสับสเตรทและเร่งปฏิกิริยาได้

4.4.10 ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C content)



ภาพ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณวิตามินซีในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

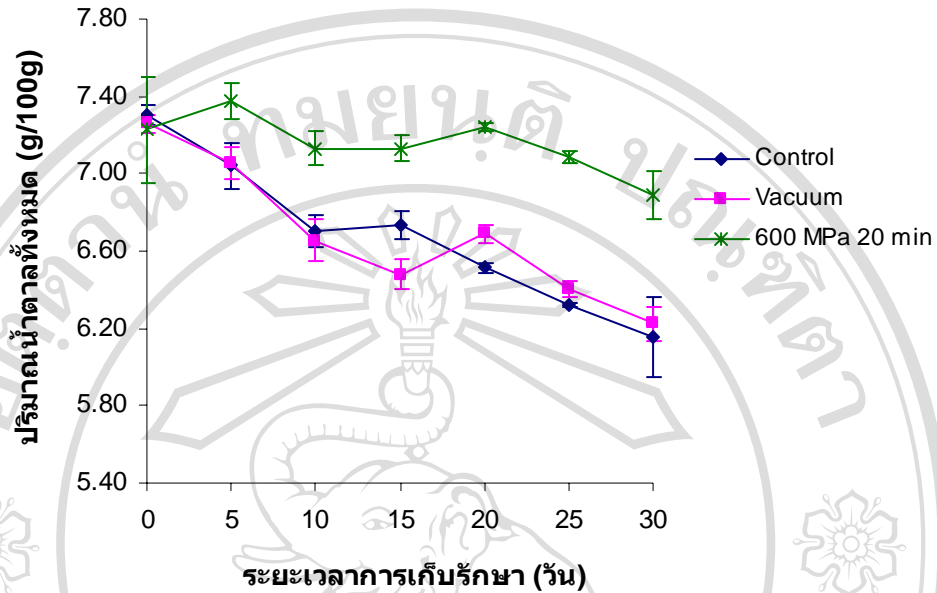
หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.34 พบว่าปริมาณวิตามินซีในสิ่งทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.40 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด โดยมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างจากน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณวิตามินซีในสิ่งทดลองทั้งสองมีความแตกต่างจากน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณวิตามินซีลดลงแสดงให้เห็นถึงคุณค่าทางอาหารที่ลดลง ซึ่งสาเหตุการลดลงเกิดจากการที่วิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ที่แรง มีความคงตัวต่ำ ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศในบรรจุภัณฑ์จึงเกิดการออกซิเดชัน ไปเป็น dehydro-L-ascorbic acid และ diketo-L-gulonic acid ซึ่งไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ (นิธิยา, 2545) Agerlin-Peterson and Berends (1993) รายงานว่าปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ในปริมาณน้อย เมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือการตัดแปลงบรรยากาศ จะช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีไปเป็น dehydro-L-ascorbic acid ช้าลง ซึ่งทำให้การลดลงของปริมาณวิตามินซีเกิดช้าลง ดังนั้นน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศจึงมีปริมาณวิตามินซีคงอยู่สูงที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

4.4.11 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar content)



ภาพ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.41 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

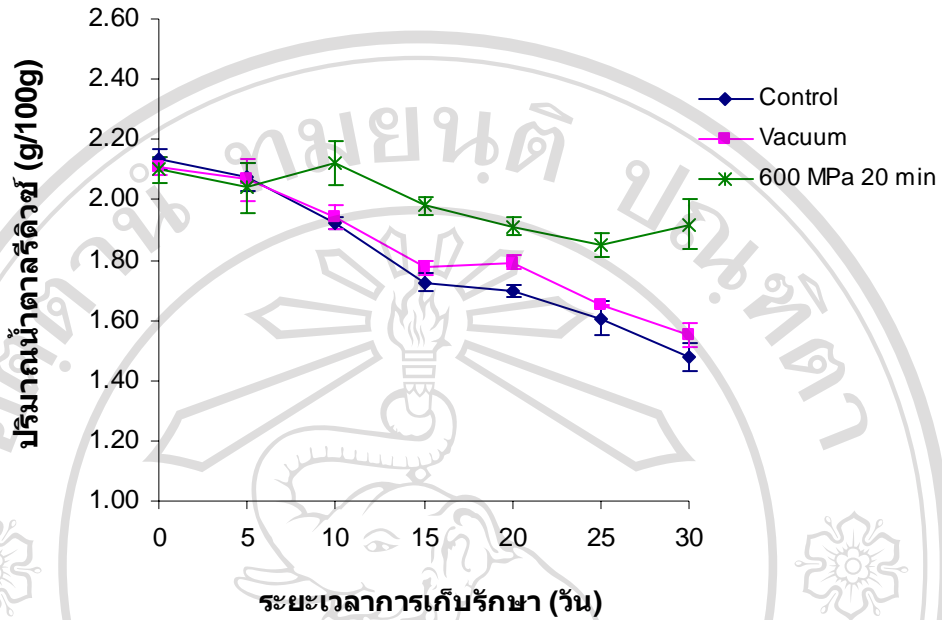
ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.35 พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงน้อยที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.41 โดยพบว่าน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ($p > 0.05$) แต่น้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้งสอง มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง ($p \leq 0.05$) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์จะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาโดยจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารเมลานอยดิน (นิธิยา, 2545) และสาเหตุหลักอาจเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการสารอาหารในการเจริญ โดยแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์มาจากสารอินทรีย์ (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) โดยน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคส (สุมาลี, 2539) ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์เจริญเพิ่มขึ้นจึงใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจึงลดลง แต่โดยทั่วไประดับความดัน 300 – 700 MPa มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่ในอาหาร (Phua and Davey, 2007) ดังนั้นน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงจึงมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ

4.4.12 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar content)



ภาพ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับระยะเวลาการเก็บรักษาของน้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองต่างๆ

ตาราง 4.42 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ น้ำพริกหนุ่มบรรจุสุญญากาศ และน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูง

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
สิ่งทดลอง	+
ระยะเวลาการเก็บรักษา	+
สิ่งทดลอง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	+

หมายเหตุ : + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพ 4.36 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงน้อยที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลดังตาราง 4.42 ซึ่งพบว่าน้ำพริกหนุ่มในแต่ละสิ่งทดลองมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศ ($p > 0.05$) แต่น้ำพริกหนุ่มในสิ่งทดลองทั้งสอง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูง ($p \leq 0.05$) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุการลดลงของน้ำตาลรีดิวซ์อธิบายได้เช่นเดียวกับการลดลงของน้ำตาลทั้งหมด กล่าวคือ อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์จะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาโดยจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารเมลานอยดิน (นิธิยา, 2545) และสาเหตุหลักอาจเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการสารอาหารในการเจริญ โดยแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์มาจากสารอินทรีย์ (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) โดยน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคส (สุมาลี, 2539) ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์เจริญเพิ่มขึ้นจึงใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจึงลดลง แต่โดยทั่วไประดับความดัน 300 – 700 MPa มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่ในอาหาร (Phua and Davey, 2007) ดังนั้นน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงจึงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ

4.4.13 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ตาราง 4.43 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำพริกหนุ่มตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในสิ่งทดลองต่างๆ

เวลาการเก็บรักษา (วันที่)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแต่ละสิ่งทดลอง (log cfu/g)		
	บรรยากาศปกติ	สถานะสุญญากาศ	ความดันสูง
0	2.89	2.93	ND
5	3.95	3.81	ND
10	6.56	6.18	ND
15	7.88	7.83	ND
20	8.58	8.45	ND
25	7.82	7.54	1.30
30	7.85	7.47	1.30

หมายเหตุ : ND = not detected

จากตาราง 4.43 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้สถานะสุญญากาศ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คือ 4 log cfu/g ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าระดับความดันและระยะเวลาคงความดันที่ใช้มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ โดยทั่วไประดับความดัน 300 – 700 MPa มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่ในอาหาร (Phua and Davey, 2007) โดยระดับความดันสูงสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และยังสามารถทำลายไวรัสบางกลุ่มได้ เมื่อใช้ระดับความดัน 250 – 700 MPa ที่อุณหภูมิห้อง (Reddy *et al.*, 2006) และจากตาราง 4.43 พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและสถานะสุญญากาศมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง หลังวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดจากอาจมีการขับของเสียออกมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่มในอาหาร (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนในการผลิตน้ำพริกหนุ่มกำหนดให้น้ำพริกหนุ่มมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 4 log cfu/g ดังนั้นเมื่อใช้มาตรฐานนี้เป็นเกณฑ์น้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศ และบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติจึงมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 5 วัน ส่วนน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านความดันสูงมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 30 วัน

4.4.14 ปริมาณยีสต์และรา (Yeasts and moulds)

ตาราง 4.44 ปริมาณยีสต์และราของน้ำพริกหนุ่มตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในสิ่งทดลองต่างๆ

เวลาการเก็บรักษา (วันที่)	ปริมาณยีสต์และราในแต่ละสิ่งทดลอง (log cfu/g)		
	บรรยากาศปกติ	สถานะสุญญากาศ	ความดันสูง
0	ND	ND	ND
5	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND
15	1	ND	ND
20	1	ND	ND
25	2.29	ND	ND
30	3.50	ND	ND

หมายเหตุ : ND = not detected

จากตาราง 4.44 พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงตรวจไม่พบยีสต์และราตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าระดับความดันและระยะเวลาที่ใช้มีประสิทธิภาพในการทำลายยีสต์และราในน้ำพริกหนุ่ม โดยทั่วไประดับความดัน 300 – 700 MPa สามารถทำลายยีสต์และราในอาหารได้ (Bull *et al.*, 2004) และพบว่าตรวจไม่พบยีสต์และราในน้ำพริกหนุ่มที่บรรจุสุญญากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน โดยยีสต์และราส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของราอยู่ระหว่าง 22 – 30 °C ส่วนยีสต์มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญอยู่ที่ 20 – 30 °C (นงลักษณ์และปรีชา, 2544) ดังนั้นเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และในสถานะที่มีออกซิเจนต่ำ อาจเป็นอุปสรรคสำหรับการเจริญของยีสต์และรา ส่วนน้ำพริกที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติมีปริมาณยีสต์และรา เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเริ่มตรวจพบยีสต์และราเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน และในด้านอายุการเก็บรักษาจะใช้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นเกณฑ์ เนื่องจากน้ำพริกหนุ่มมีการเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์ทั้งหมดเร็วกว่าจากยีสต์และรา