บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และ ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากพืช

สารสกัดพืชแห้งด้วยเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 22 ชนิด มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.39-2.70 เปอร์เซ็นต์ (มวลต่อปริมาตร) (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของสารสกัดพืชพื้นบ้านแห้งที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ส่วนที่ใช้	ความเข้มข้น (%w/v)
ผักชีลาว	ลำต้น/ ใบ	1.49±0.00 ^{j}
ผักปลัง	ใบ	0.77±0.01 ^{q}
ผักเสี้ยวแก้ว	ใบ	1.24±0.02 ^{m}
เมี่ยงป่า	ใบ	1.29±0.01^{l}
ผักชี	ลำต้น/ ใบ	1.78±0.02 ^{f}
ก่อข้าว	ใบ	1.51±0.01 ^{ij}
ติ้วเกลี้ยง	ใบ	1.71±0.01^{g}
ติ้วขาว	ใบ	2.64±0.00 ^{b}
กระทุงหมาบ้า	ใบ	2.00±0.01^{e}
ผักแปม	ใบ	2.03±0.01^{e}
ส้มจี้	ใบ	2.19±0.01^{d}
มันปลา	ใบ	2.56±0.02^{c}
ผักเชียงดา	ใบ	1.53±0.03^{i}
บอนแบ้ว	หน่อ	1.04±0.01^{p}
หมีเหม็น	ใบ	1.10±0.01^{o}
หมีบัง	ใบ	0.77±0.01^{q}
ผักแส้ว	ใบ	1.63±0.02^{h}
ผักไผ่	ลำต้น	1.19±0.01^{n}
ทะโล้	ใบ	2.70±0.01^{a}
หญ้าหวาน	ใบ	0.39±0.01^{r}
นางเลว	ดอก	2.01±0.02^{e}
ส้มปี้	ใบ	1.40±0.02 ^{k}

หมายเหตุ - พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

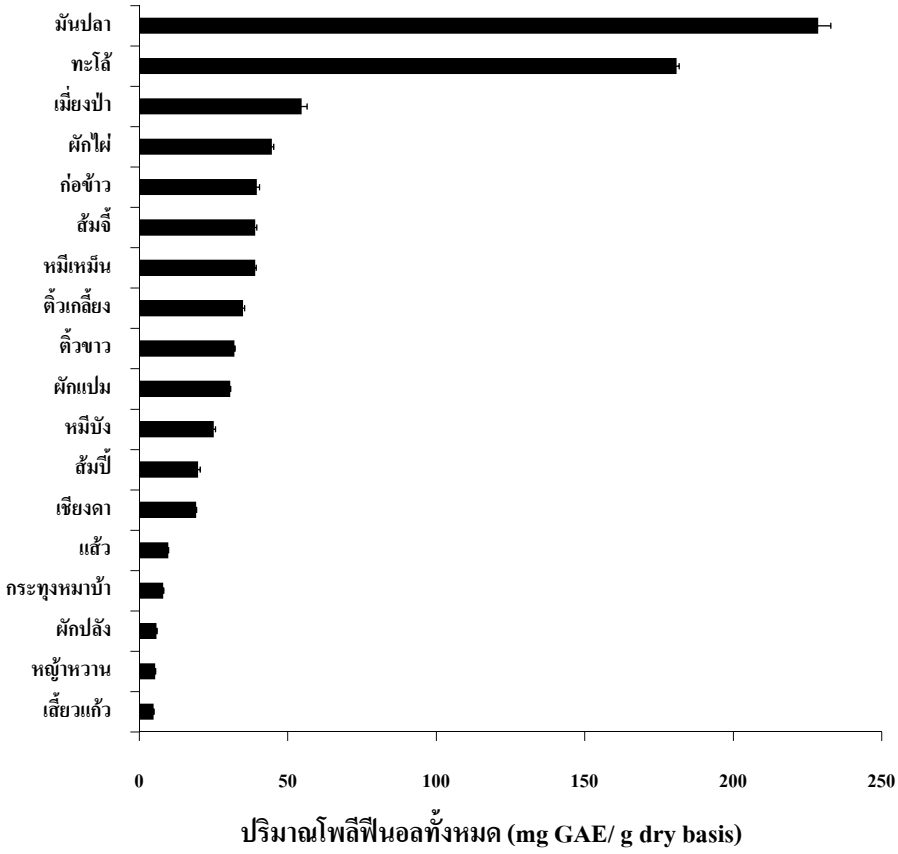
สารสกัดพืชที่มีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุด ได้แก่ หญ้าหวาน และ ทะโล้ ตามลำดับ การที่ปริมาณของแข็งที่สกัดได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจาก องค์ประกอบของพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งสารพฤกษเคมีที่สกัดได้ เป็นกลุ่มสารที่มีสารประกอบที่มีขั้วปานกลางถึงสูง และสามารถละลายได้ในเอทานอล เช่น สารโพลีฟีนอล เป็นต้น ส่วนสารกลุ่มที่ไม่มีขั้วจะถูกสกัดออกมาน้อยมาก หรือไม่ถูกสกัดออกมาเลย สำหรับการที่ความเข้มข้นของสารสกัดพืชแห้งบางชนิดมีค่ามาก ได้แก่ ทะโล้ มันปลา และติ้วขาวที่มีปริมาณของแข็ง 2.56-2.70 เปอร์เซ็นต์ ก็อาจมีสารพฤกษเคมีที่สำคัญละลายออกมามากด้วยเช่นกัน

4.1.1 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด

ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากพืชจำนวน 22 ชนิด (ภาพที่ 4.1) พบว่า สารสกัดพืชแต่ละชนิดมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.9-228.7 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และจากผลการทดลอง สามารถแบ่งสารสกัดพืชออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีปริมาณโพลีฟีนอลสูง และกลุ่มที่มีปริมาณโพลีฟีนอลต่ำ โดยกลุ่มที่มีปริมาณโพลีฟีนอลสูง ประกอบด้วยสารสกัดพืช 2 ชนิด ได้แก่ สารสกัดมันปลา และทะโล้ โดยสารสกัดมันปลามีปริมาณโพลีฟีนอลเท่ากับ 228.7±3.7 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารสกัดทะโล้ถึง 1.3 เท่า อย่างไรก็ตาม ไม่พบรายงานที่เกี่ยวกับสารประกอบโพลีฟีนอลที่สำคัญของพืชชนิดนี้ ส่วนสารสกัดทะโล้มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดรองลงมาจากสารสกัดมันปลา มีค่าเท่ากับ 180.4±1.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) และมีค่าต่ำกว่าค่าที่รายงานโดย Phomkaivon และ Areekul (2009) ที่รายงานไว้เท่ากับ 206.1±20.3 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ซึ่งมีแหล่งตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวอย่าง การสกัดและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของพืช สำหรับสารโพลีฟีนอลที่สำคัญในทะโล้ ได้แก่ เควอซีติน (quercetin) ในกลุ่มฟลาโวนอล (Joshi, 2006)

สารสกัดพืชกลุ่มที่มีปริมาณโพลีฟีนอลต่ำ มีค่าอยู่ในช่วง 1.9-54.3 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยสารสกัดเมี่ยงป่ามีปริมาณโพลีฟีนอลสูงที่สุดในสารสกัดพืชในกลุ่มนี้ มีค่าเท่ากับ 54.3±1.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงกว่าสารสกัดบอนแบ้วที่มีปริมาณโพลีฟีนอลต่ำที่สุดถึง 28.6 เท่า ซึ่งสารประกอบโพลีฟีนอลสำคัญที่พบใน เมี่ยงป่า คือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ได้แก่ ฟลาวานอล (คาทิชิน อิพิคาทิชิน (epicatechin) อิพิแกลเลท (epigallate) อิพิแกลโลคาทิชิน (epigallocatechin) และอิพิคาทิชินแกลเลท (epicatechin gallate) ฟลาโวนอล (เคมเฟอรอล (kaempferol)) เควอซีทินไกลโคไซด์ (quercetin glycoside) และโปรแอนโธไซยานิน (Lin และคณะ, 2003; Cai และคณะ, 2004) อย่างไรก็ตาม Aqil และคณะ (2006) รายงานว่า ใบเมี่ยงที่ใช้ทำชาเขียว (*Camellia sinensis* L.) มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 163.33 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าสูงกว่าการทดลองนี้มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

ในการทดลองนี้สกัดด้วยเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการให้ความร้อน แต่ Aqil และคณะ (2006) สกัดด้วยเมทานอล 98 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งผลของความแตกต่างของสารละลายที่ใช้ในการสกัดมีตามรายงานของ Yao และคณะ (2004) ที่พบว่า ตัวทำละลายเมทานอลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารคาทิชินจากยอดชาสดได้ดีกว่าการสกัดด้วยน้ำร้อน หรือการรายงานว่าสารประกอบ โพลีฟีนอลสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นเอทานอลมากกว่าน้ำ (Tangkanakul และคณะ, 2005) ดังนั้น การใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วแตกต่างกันมีผลให้ปริมาณสารที่สกัดได้แตกต่างกัน โดยเมทานอลอาจเป็นตัวทำละลายสารประกอบโพลีฟีนอลในพืช ได้ดีกว่าเอทานอล อีกทั้งการใช้ความร้อนอาจทำลายโพลีฟีนอลบางชนิดที่ไวต่อความร้อนได้



ภาพที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากพืชพื้นบ้าน

นอกจากนี้ ในการเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดกับรายงานการทดลองอื่นๆ พบว่า ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของผักแปมและผักแส้วในการทดลองนี้ มีค่าเท่ากับ 29.9 และ 19.1 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดย Chanwitheesuk และคณะ (2005) อย่างมาก (275±0.1 และ 51.5±0.1 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ หรือสารสกัดติ้วขาว (31.4±1.1 มิลลิกรัมต่อกรัม) และสารสกัดผักปลัง (5.8±0.2 มิลลิกรัมต่อกรัม) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า Maisuthisakul และคณะ (2007b) (63.4 และ 15.5 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ)

อย่างไรก็ตาม ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในพืชบางชนิดมีค่าใกล้เคียงกับรายงานวิชาการอื่นๆ เช่น สารสกัดผักไผ่ มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 43.6±1.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 52 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ที่รายงานโดยของ Nanasombat และTeckchuen (2009) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากความแตกต่างของวิธีการสกัด และตัวทำละลายที่ใช้ เช่น ความแปรปรวนของพืชด้วย (Wong และคณะ, 2006) นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด อาจสูงจนทำให้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบเกิดการสลายตัวได้ (Sultana และคณะ, 2009)

สำหรับสารสกัดพืชที่พบ รายงานชนิดของสารโพลีฟีนอลมีดังนี้ สารสกัดผักไผ่มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 43.6±1.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ประกอบด้วยสารประกอบโพลีฟีนอลสำคัญ ได้แก่ รูทิน (rutin), คาทิชิน (catechin), เควอซีทิน แคมเฟอรอล (kaempferol) และไอโซ-แรมเนทิน (isorhamnetin) (Nanasombat และ Teckchuen, 2009) ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดผักแปม เท่ากับ 29.9±0.8 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ประกอบด้วยโพลีฟีนอลสำคัญ ได้แก่ กรดคลอโรจีนิก รูทิน และกรดคาฟีอิลควินิก (caffeoyl quinic acid) (ปองทิพย์ และศิริเพ็ญ, 2551) สารโพลีฟีนอลสำคัญที่พบในผักเชียงดา (19.1±0.2 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) คือ carvacrol erythritol กรดแกลลิก และเควอซีทิน (Ramkumar และคณะ, 2009) นอกจากนี้ ยังมีกลุ่มพืชที่ไม่พบรายงานระบุชนิด แต่สามารถระบุกลุ่มของสารได้ เช่น สารโพลีฟีนอลสำคัญที่พบในหมีเหม็นและส้มจี้ คือ ฟลาโวนอยด์ (นราพร, 2552; Bhandari และคณะ, 2008)

นอกจากนี้ ในการทดลอง พบว่า สารสกัดพืชในตระกูลเดียวกัน อาจมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดใกล้เคียงกัน เช่น ติ้วเกลี้ยง และติ้วขาว เป็นพืชในวงศ์ Clusiaceae มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 33.5±1.7 และ 31.4±1.1 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน พบว่า ผักชีและผักชีลาว ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Umbelliferae มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 7.4±0.2 และ 10.4±0.2 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานในพืชวงศ์ Ocimum (Maisuthisakul และคณะ, 2008) และพืชวงศ์ Allium (Motamed และ Naghibi, 2010) อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ยังพบว่า พืชในวงศ์เดียวกันมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน ได้แก่ หมีเหม็นและหมีบังเป็นพืชในวงศ์ Lauraceae มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 40.3±1.4 และ 26.3±1.5 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ตามลำดับ ผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับรายงานความแตกต่างของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในพืชวงศ์ Leguminosae (Cai และคณะ, 2004) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่า พืชในตระกูลเดียวกันอาจมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสัมพันธ์หรือไม่ก็ได้ ดังนี้การใช้ตระกูลของพืชในการคาดคะเนปริมาณโพลีฟีนอล จึงไม่สามารถทำได้ในพืชทุกตระกูล และชนิดของพืชเป็นปัจจัยที่สำคัญมากกว่า เนื่องจากพืชแต่ละสายพันธุ์อาจมีวิถีการสังเคราะห์และปริมาณการสะสมของสารสำคัญที่แตกต่าง

กัน และทำให้แต่ละสายพันธุ์มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันทั้งทางสรีรวิทยา และองค์ประกอบทางเคมี (Witzel และคณะ, 2003)

จากผลการวิจัย ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในพืชแปรผันตาม สายพันธุ์ของพืช ความผันแปรของพืช วิธีการสกัด และตัวทำละลาย รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองนี้มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น สารโพลีฟีนอลแต่ละชนิดมีความไวในการเข้าทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน รวมถึงสารที่ไม่ใช่สารโพลีฟีนอลสามารถทำปฏิกิริยานี้ได้เช่นกัน โดยสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยรีเอเจนต์ Folin-Ciocalteu เป็นต้น (Wong และคณะ, 2006) แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เป็นวิธีเบื้องต้นที่นิยมในการประเมินปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัด และผลที่ได้แสดงว่า สารสกัดมันปลา และทะโล้ มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) จึงมีศักยภาพเป็นแหล่งของสารโพลีฟีนอลที่ดีจากธรรมชาติได้

4.1.2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดเอทานอลจากพืชพื้นบ้านจำนวน 22 ชนิด ด้วยวิธีต่างๆ 3 วิธี ดังนี้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical scavenging assay (DPPH), 2-deoxyribose degradation assay (2-DR) และ thiobarbituric acid reactive substances (anti-TBARS) พบว่า วิธีการทั้ง 3 วิธี มีกลไกในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน ส่งผลให้สารสกัดพืชมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.2

4.1.2.1 ความสามารถในการทำลายอนุมูล อิสระ DPPH ด้วย วิธี DPPH radical scavenging activity (DPPH)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เป็นการวัดความสามารถในการให้อิเลคตรอนหรือไฮโดรเจนของสารสกัดจากพืชกับอนุมูลอิสระ DPPH ทำให้โมเลกุลไม่แสดงสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ หรือมีปริมาณลดลง โดยโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนแปลง จะทำลายความสามารถในการดูดกลืนแสง ช่วงคลื่น 530 นาโนเมตรอีกด้วย จากความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีนี้สามารถคำนวณออกมาให้รูปแบบต่างๆ ได้แก่ ค่า IC_{50} (inhibition concentration), EC_{50} (effective concentration) และ AOA (antioxidant activity) โดยค่า IC_{50} หมายถึง ความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชที่ใช้ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ลง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การใช้ความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชในปริมาณต่ำจะมีศักยภาพสูงกว่าในการทำลายอนุมูลอิสระปริมาณเท่ากัน สำหรับค่า EC_{50} หมายถึง ปริมาณพืช (น้ำหนัก) ที่ใช้ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ลง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคำนวณจากปริมาณพืชเริ่มต้นที่ใช้ในการสกัด จะแสดงผลเช่นเดียวกับ IC_{50} ส่วนค่า AOA หรือความสามารถในการต้าน

ออกซิเดชัน เป็นค่าที่คำนวณจากส่วนกลับของค่า EC_{50} ($1/EC_{50}$) จะให้ผลในทิศทางตรงข้ามกันกับค่าอื่นๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ค่าที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์สารสกัดพืชทั้ง 22 ชนิด พบว่า มีค่าความเข้มข้น (IC_{50}) อยู่ระหว่าง 0.06-38.71 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่า AOA อยู่ระหว่าง 0.5-122.4 ต่อมิลลิกรัม โดยสารสกัดพืชที่มีค่า IC_{50} ต่ำที่สุด หรือมีค่า AOA สูงที่สุดได้แก่ มันปลา ในทางตรงกันข้าม สารสกัดบอนแบ้วมีค่า IC_{50} สูงที่สุด หรือมีค่า AOA ต่ำที่สุด จากผลการทดลอง สามารถแบ่งกลุ่มสารสกัดพืชได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีค่า AOA สูง ประกอบด้วย สารสกัดผักมันปลาและสารสกัดทะโล้ มีค่า AOA เท่ากับ 122.41 และ 107.40 ต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ อีกทั้ง ยังมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าสารสกัดจากกลุ่มที่มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำถึง 2.17-249.80 เท่า ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำ ประกอบด้วยสารสกัดพืช 20 ชนิด ที่มีค่า AOA ระหว่าง 0.49-49.30 ต่อมิลลิกรัม โดยสารสกัดก่อข้าวมีค่า AOA สูงที่สุดในกลุ่มนี้

สารสกัดมันปลามีศักยภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด มีค่า AOA เท่ากับ 122.4±6.9 ต่อมิลลิกรัม ประกอบด้วย สารในกลุ่มอัลคาลอยด์ ซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ สเตอรอยด์และเทอร์พีน และน้ำมันหอมระเหย (นราพร, 2552) ซึ่งเป็นสารสำคัญที่อาจทำให้มันปลามีศักยภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้สูง ส่วนสารสกัดทะโล้ เป็นสารสกัดพืชในกลุ่มที่มีค่า AOA สูง รองจากสารสกัดมันปลา มีค่า AOA เท่ากับ 107.40 ต่อมิลลิกรัม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Kshirsagar และ Upadhyay (2009) ที่รายงานว่า สารสกัดใบทะโล้มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูง และสารสำคัญที่อาจมีศักยภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ ได้แก่ ซาโปนิน ไตรเทอร์พีนและสเตียรอยด์ (Rahmani และคณะ, 1985) อัลคาลอยด์และฟลาโวนอยด์ (นราพร, 2552)

กลุ่มสารสกัดพืชที่มีศักยภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำ พบว่า สารสกัดก่อข้าว มีค่า AOA สูงที่สุดเท่ากับ 49.3 ต่อมิลลิกรัม สารสำคัญที่อาจมีศักยภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ ในก่อข้าว ได้แก่ สารในกลุ่มอัลคาลอยด์ สเตอรอยด์และเทอร์พีน ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน และน้ำมันหอมระเหย (นราพร, 2552) โดยเฉพาะฟลาโวนอยด์ที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วย วงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) จะทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ DPPH เกิดเป็นสารที่มีความเสถียร (Motamed และ Naghibi, 2010)

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ

ตัวอย่างพืช	ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน			
	DPPH		2-DR	Anti-TBARS
	AOA	IC_{50}		
มันปลา	122.41±6.91 [a]	0.06±0.00 [h]	2.81±0.01 [c]	0.77±0.01 [i]
ทะโล้	107.40±13.28 [b]	0.11±0.01 [h]	4.61±0.01 [b]	5.37±0.02 [c]
เมี่ยงป่า	40.40±1.41 [e]	0.09±0.00 [h]	2.30±0.01 [h]	1.21±0.01 [h]
ผักไผ่	18.04±1.03 [g]	0.25±0.02 [h]	2.33±0.00 [g]	0.17±0.00 [r]
ก่อข้าว	49.30±1.10 [c]	0.12±0.00 [h]	2.39±0.00 [d]	9.95±0.07 [b]
หมีเหม็น	42.02±2.22 [de]	0.15±0.01 [h]	2.35±0.00 [f]	0.61±0.01 [l]
ส้มจี้	45.43±1.25 [d]	0.18±0.01 [h]	2.24±0.01 [j]	0.39±0.00 [n]
ติ้วเกลี้ยง	16.95±0.70 [g]	0.40±0.02 [gh]	2.37±0.00 [e]	0.22±0.00 [q]
ติ้วขาว	19.32±1.02 [g]	0.38±0.02 [gh]	2.31±0.00 [h]	19.29±0.02 [a]
ผักแปม	24.84±0.90 [f]	0.18±0.01 [h]	4.81±0.01 [a]	2.21±0.01 [d]
หมีบัง	15.29±1.63 [g]	0.28±0.03 [h]	2.36±0.00 [e]	1.24±0.01 [g]
ส้มปี้	9.59±0.31 [h]	0.42±0.01 [gh]	2.39±0.00 [d]	0.33±0.00 [o]
เชียงดา	2.21±0.13 [i]	1.96±0.11 [e]	2.23±0.01 [k]	0.25±0.00 [p]
ผักชีลาว	4.57±0.08 [i]	3.53±0.06 [d]	2.28±0.02 [i]	0.34±0.00 [o]
ผักแส้ว	3.44±0.08 [i]	1.04±0.03 [f]	2.33±0.00 [g]	0.46±0.00 [m]
กระทุงหมาบ้า	2.88±0.15 [i]	2.05±0.10 [e]	2.39±0.00 [d]	1.69±0.01 [e]
ผักชี	2.82±0.19 [i]	4.12±0.30 [c]	0.98±0.00 [l]	0.68±0.00 [k]
ผักปลัง	0.56±0.04 [i]	3.90±0.25 [cd]	0.93±0.00 [n]	0.71±0.01 [j]
หญ้าหวาน	4.19±0.19 [i]	0.83±0.04 [fg]	2.29±0.00 [i]	1.64±0.02 [f]
ผักเสี้ยวแก้ว	1.88±0.13 [i]	3.63±0.29 [d]	0.97±0.00 [m]	1.22±0.01 [gh]
นางเลว	1.41±0.14 [i]	6.34±0.34 [b]	0.50±0.00 [o]	0.24±0.00 [p]
บอนแบ้ว	0.49±0.03 [i]	38.71±1.76 [a]	0.25±0.00 [p]	0.13±0.00 [s]

หมายเหตุ - ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity (DDPH), 2-Deoxyribose (2-DR) และ Thiobarbituric acid Reactive substance (TBARS)

- ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยวิธี DPPH แสดงในรูปของ AOA (Antioxidant activity) มีหน่วยเป็นต่อมิลลิกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) และ IC_{50} (Inhibition Concentration) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยวิธี 2-DR และ anti-TBARS แสดงในรูป AOA (Antioxidant activity) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)
- พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

ผลของตัวทำละลายและวิธีการสกัดได้ปรากฏให้เห็นดังผลการทดลองนี้ โดยสารสกัดเมี่ยงป่ามีค่า AOA เท่ากับ 40.4 ต่อมิลลิกรัม และเมื่อคำนวณในหน่วยความเข้มข้น มีค่า IC_{50}เท่ากับ 0.09 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยการทดลองนี้ทำการสกัดด้วยเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการให้ความร้อน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Povichit และคณะ (2010) ที่รายงานว่าเมี่ยงป่าที่ทำการสกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ในอุณหภูมิห้อง มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตาม Chan และคณะ (2007) รายงานว่า สารสกัดเมี่ยงป่า ที่ใช้เมทานอลและอุณหภูมิห้องในการสกัด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.013 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการทดลองนี้มาก นอกจากนี้ในทางตรงกันข้าม Sangsrichan และ Ting (2010) รายงานว่า ใบเมี่ยงป่าที่สกัดด้วยน้ำร้อน มีค่า IC_{50}เท่ากับ 0.3027 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของวิธีการสกัดตัวทำละลายที่ใช้ รวมถึงความแปรปรวนของพืชด้วย

นอกจากนี้ ยังพบความแตกต่างของปริมาณสารสำคัญที่เกิดจากความแปรปรวนของพืช เช่น สารสกัดส้มจี๊และหมีเหม็นมีค่า AOA เท่ากับ 45.4 และ 42.0 ต่อมิลลิกรัมตามลำดับ และผลการทดลองนี้มีความแตกต่างอย่างมาก จากรายงานของ Phomkaivon และ Areekul (2009) และ นราพร (2552) ที่รายงานค่า AOA เท่ากับ 2.86 และ 2.94 ต่อมิลลิกรัมตามลำดับ แม้ว่าตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดนี้มาจากแหล่งเดียวกัน อีกทั้งใช้ตัวทำละลาย และวิธีการสกัดเช่นเดียวกัน แต่ตัวอย่างที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างที่เก็บมาในช่วงปีที่แตกต่างกัน รวมถึงเป็นการเก็บตัวอย่างจากแหล่งธรรมชาติในป่าที่ไม่ได้ควบคุมวิธีการเพาะปลูก อีกทั้งสภาพภูมิประเทศมีลักษณะเป็นเทือกเขา มีความสูงต่ำ และเป็นที่ราบ ทำให้ปริมาณน้ำที่ได้รับอาจแตกต่างกัน ส่งผลให้วิถีเมตาบอลิสมแตกต่างกัน จึงอาจทำให้ตัวอย่างมีปริมาณสารสำคัญที่แตกต่างกัน (Witzel และคณะ, 2003)

สารพฤกษเคมีที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในพืชที่ศึกษาได้มีรายงานไว้บางส่วน เช่น สารสกัดเมี่ยงป่า มีค่า IC_{50}เท่ากับ 0.09 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และค่า AOA เท่ากับ 40.4 ต่อมิลลิกรัม ประกอบด้วย สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ได้แก่ ฟลาวานอล (คาทิชิน อิพิคาทิชิน อิพิแกลเลท อิพิแกลโลคาทิชิน และอิพิคาทิชินแกลเลท) ฟลาโวนอล (เคมเฟอรอล และ เควอซีทินไกลโคไซด์) และ โปรแอนโธไซยานิน (Lin และคณะ, 2003; Cai และคณะ, 2004) ซึ่งคาทิชินและสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีมวลโมเลกุลต่ำ สามารถแสดงสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ในชาได้มากที่สุด (Zhu และคณะ, 2002) โดยทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ DPPH (Chen และคณะ, 2007)

สารสกัดติ้วขาว มีค่า AOA เท่ากับ 19.3 ต่อมิลลิกรัม สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสำคัญที่พบ คือ กรดคลอโรจีนิก กรดไดคาเฟโอลิลควินิก (dicaffeoylquinic acid) และอนุพันธ์ของกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) แต่ Maisuthisakul และคณะ (2008) รายงานว่า มีค่า AOA เท่ากับ 4.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนสารสกัดผักชี มีความสามารถในการทำลายอนุมูล

อิสระ DPPH ได้ต่ำกว่า รายงานของ Damasius และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ 0.98 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ผลการทดลองมีค่า IC_{50} เท่ากับ 4.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสารสำคัญในผักชี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน กรดฟีนอลิก และเทอร์พีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในพืชทั่วไป (Wangensteen และคณะ, 2004)

จากการทดลอง พบรายงานการวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของพืชอื่นๆด้วย แต่ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจนได้ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH ที่ใช้ อย่างไรก็ตาม สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของพืชได้ เช่น สารสกัดผักแปม มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่ Sithisarn และคณะ (2008) รายงานว่า ยอดอ่อนของผักแปมที่สกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนสารสกัดผักไผ่ มีค่า AOA เท่ากับ 18.0 ต่อมิลลิกรัม เมื่อคำนวณค่า AOA กลับเป็นค่า EC_{50} จะมีค่า เท่ากับ 0.056 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 315.4 มิลลิกรัมต่อกรัมที่รายงานโดย Nanasombat และTeckchuen (2009) นอกจาก ความแตกต่างของความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH จะทำให้ค่าที่คำนวณได้ มีค่าแตกต่างกันแล้ว หน่วยที่ใช้ในการคำนวณก็ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองเช่นกัน เช่น สารสกัดผักแปม มีค่า AOA เท่ากับ 24.84 ต่อมิลลิกรัม ในขณะที่ Park และคณะ (2006) รายงานเป็น ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ (67.67 เปอร์เซ็นต์) และ Sithisarn และคณะ (2008) รายงานเป็น ค่า IC_{50} (100.81 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ส่วนสารสกัดหญ้าหวานมีค่า AOA เท่ากับ 4.19 ต่อมิลลิกรัม แต่ Tadhani และคณะ (2007) รายงานเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเท่ากับ 33.17 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ สารสกัดผักแส้ว มีค่า AOA เท่ากับ 3.44 ต่อมิลลิกรัม แต่ รุ่งโรจน์ (2551) รายงานเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง มีค่าเท่ากับ 86.05 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองนี้พบว่า สายพันธุ์ของพืช ชนิดและปริมาณสารพฤกษเคมี วิธีการสกัด และตัวทำละลาย มีผลต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH อย่างไรก็ตาม วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูล DPPH นี้มีข้อจำกัด คือ อนุมูลอิสระของ DPPH มีความคงตัวที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะหรือจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้ รวมถึงโครงสร้างทางเคมียังแสดงว่าอิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลมีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ซึ่งสารบางตัวไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้หรืออาจเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ช้า ทั้งๆที่สารพฤกษเคมีที่มีอยู่ในพืชอาจมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลเปอร์ออกซีได้ (โอภา, 2549) ซึ่งแม้ว่าวิธีวิเคราะห์นี้อาจมีข้อจำกัด แต่เป็นวิธีที่สามารถใช้ประเมินศักยภาพของ สารต้านอนุมูลอิสระเบื้องต้นที่นิยมใช้แพร่หลาย และ จากผลการทดลอง พบว่า สารสกัดพืช 2 ชนิด คือ

มันปลา และทะโล้ มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยวิธี DPPH ได้สูงกว่า 100 ต่อมิลลิกรัม ดังนั้นจึงมีศักยภาพเป็นแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีจากธรรมชาติได้

4.1.2.2 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล ด้วย วิธี 2-Deoxyribose assay (2-DR)

การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล ด้วยวิธี 2-DR เป็นการวัดความสามารถของสารประกอบที่มีพืชในการให้อิเล็กตรอนแก่อิออนเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เกิดเป็นอิออนเฟอร์รัส (Fe^{2+}) แล้วกระตุ้นปฏิกิริยา Fenton ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้หยุดการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลลง ซึ่งอนุมูลอิสระนี้ จะทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลดีออกซี-ไรโบส ซึ่งสามารถวัดการสลายตัวของน้ำตาลนี้จากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูภายใต้สภาวะที่กำหนด (Aruoma และคณะ, 1997) ดังนั้นถ้าสารสกัดพืชสามารถให้อิเล็กตรอนแก่ อิออนเฟอร์ริก (Fe^{3+}) จะทำให้การสลายตัวของน้ำตาลดีออกซีไรโบสลดลง (Aruoma และคณะ, 1997) เมื่อคำนวณ ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) ของสารสกัดพืช ในหน่วยต่อมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัม(น้ำหนักแห้ง)

จากตารางที่ 4.2 พบว่า สารสกัดผักแปมมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลได้ดีที่สุด โดยมีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล เท่ากับ 4.81 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) รองลงมาได้แก่ สารสกัดทะโล้ มีค่าเท่ากับ 4.70 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ของสารสกัดจากพืชอื่นๆ ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่าง 2.23-2.39 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ยกเว้นสารสกัดพืชจำนวน 4 ชนิด ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลต่ำมาก โดยมีค่า 2-DR ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ได้แก่ สารสกัดผักชี ผักเสี้ยวแก้ว ดอกนางเลว และบอนแบ้ว ซึ่งความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล อาจเนื่องจากสารกลุ่มโพลีฟีนอลและฟลาโว-นอยด์ ที่พบทั่วไปในพืชทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อิออนของโลหะ ทำให้หยุดการกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Croft, 1998)

จากการทบทวนวรรณกรรมไม่สามารถนำค่ามาเปรียบเทียบได้ชัดเจน เนื่องจากรีเอเจนต์และความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบแตกต่างกัน แต่สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนเกี่ยวกับความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของพืชได้ เช่น สารสกัดเมี่ยงป่า มีค่า 2-DR เท่ากับ 2.30 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ Manian และคณะ (2008) ใช้รีเอเจนต์ Nash และวัดการสลายตัวของสารสกัดเมทานอลจากเมี่ยงป่าที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร มีค่า 2-DR เท่ากับ 21.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสารสกัดผักชี มีค่า 2-DR ต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.98 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ Shyamala และคณะ (2005) ที่ใช้รีเอเจนต์และความยาวคลื่นเดียวกันกับ Manian และคณะ (2008) รายงานว่า สารสกัดผักชีที่ระดับ

ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลต่ำเท่ากับ 52 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของวิธี 2-DR คือ สารประกอบบางชนิดสามารถจับกับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ หรือสารประกอบบางชนิดสามารถยับยั้งการสลายตัวของน้ำตาลดีออกซีไรโบสได้ (Gutteridge, 1987; Aruoma และ Halliwell, 1988) ซึ่งแม้ว่าวิธีวิเคราะห์นี้อาจมีข้อจำกัด แต่เป็นวิธีที่สามารถใช้ประเมินศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระรวมกับวิธีอื่นๆ ซึ่งจากผลการวิจัย พบว่า สารสกัดผักแปมและสารสกัดทะโล้ มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ดีที่สุด

4.1.2.3 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี Thiobarbituric acid reactive substances (anti-TBARS)

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย วิธี TBARS เป็นการติดตามการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ด้วยการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ของการออกซิเดชันไขมัน เช่น สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน โดยทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริค (thiobarbituric acid) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูแดง เมื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (%antioxidant activity, AOA) แล้วจึงเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรลอกซ์ แสดงในรูป anti-TBARS (มิลลิกรัมโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ดังนั้นหากสารสกัดพืชใด ให้ค่า anti-TBARS สูง แสดงว่า มีสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี จากตารางที่ 4.2 พบว่า สารสกัดติ้วขาวสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดีที่สุด โดยมีค่า anti-TBARS เท่ากับ 19.3 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยโครงสร้าง *O*-diphenolic ของกรด 5-*O*-caffeoylquinic acid ซึ่งเป็นกรดคลอโรจีนิกชนิดหนึ่งในติ้วขาว สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับไอออนของโลหะ (เช่น อิออนของทองแดง หรืออิออนเฟอร์ริก) หรือ อนุมูลอิสระเกิดเป็น *O*-quinone ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในขั้นตอนที่ 2 และกระตุ้นการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์อีกด้วย (Maisuthisakul และคณะ, 2007a; Maisuthisakul และ Charuchongkolwongse, 2007)

สารสกัดก่อข้าว และสารสกัดทะโล้ มีค่า anti-TBARS เท่ากับ 9.95 และ 5.37 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากพืชอื่นๆ มีค่า anti-TBARS อยู่ระหว่าง 0.13-2.21 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสารสกัดบอนแบ้วมีความสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ต่ำที่สุดของพืชที่ทดสอบ (ตารางที่ 4.2) สารสกัดผักแปมมีค่า anti-TBARS เท่ากับ 2.21 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ Sithisarn และคณะ (2008) รายงานว่า มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในสมองหนูทดลอง โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 23.90 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งผลการทดลองนี้ไม่สามารถเปรียบเทียบค่าที่วิเคราะห์ได้ เนื่องจาก แสดงผลใน

หน่วยที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังทดสอบในระบบอิมัลชันที่แตกต่างกันด้วย แต่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของสารสกัดพืชได้

นอกจากนี้ ยังพบรายงานวิจัยที่ใช้สนับสนุนความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในสารสกัดพืชอื่นๆอีก เช่น สารสกัดส้มจี้ มีค่า anti-TBARS เท่ากับ 0.39 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยสารสำคัญที่พบในส้มจี้สามารถลดระดับ TBARS และยับยั้งการบาดเจ็บของระบบประสาทอันเนื่องมากจากปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 2 ของปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมันของหนูทดลองได้ (Ansari และคณะ, 2008) นอกจากนี้ ยังพบรายงานการใช้สารสกัดเชียงดาในการลดการเกิดสภาวะเครียดในหนูทดลอง (Ananthan และคณะ, 2004) โดยค่า anti-TBARS ที่วิเคราะห์ได้จากการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.25 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนสารสกัดผักชีลาว มีค่า anti-TBARS เท่ากับ 0.34 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) จัดว่ามีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ต่ำ ซึ่ง Bahramikia และคณะ (2009) รายงานว่า สารสกัดผักชีลาวเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในตับหนูทดลองได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดเมี่ยงป่า มีค่า anti-TBARS เท่ากับ 1.21 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และพบรายงานของ Aqil และคณะ (2006) ที่พบว่า สารสกัดจากใบเมี่ยงที่ใช้ทำชาสามารถเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ดีในหลายๆวิธี และยังสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในระบบอิมัลชันของกรดลิโนเลอิกได้ดีกว่าบีเอชที และโทโคฟีรอล ในขณะที่ Katsube และคณะ (2004) รายงานว่า สารสกัดจากใบเมี่ยงที่ใช้ทำชามีค่าเท่ากับ 191.4 ไมโครโมลสมมูลย์ของ EGCG ต่อกรัม

อย่างไรก็ตาม วิธี anti-TBARS นี้มีข้อจำกัด คือ วิธีนี้ไม่เฉพาะเจาะจง ซึ่งการเกิดออกซิเดชัน ไม่จำเป็นต้องได้เป็นมาลอนไดอัลดีไฮด์เสมอไป เพราะสารประกอบประเภทอัลคานาล (alkanals) อัลคีนาล (alkenals) และ 2,4-ไดอีนาล (2,4-dienals) สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริกได้ และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตรได้เช่นเดียวกับมาลอน-ไดอัลดีไฮด์ นอกจากนี้สาร TBARS ที่เกิดจากกรดไทโอบาร์บิทูริกเป็นปฏิกิริยาที่ไม่เฉพาะเจาะจงกับ มาลอนไดอัลดีไฮด์ สารหลายชนิด เช่น น้ำตาล สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริกเกิดเป็นสารมีสีได้เช่นเดียวกัน (โอภา, 2549) ซึ่งแม้ว่าวิธีวิเคราะห์นี้อาจมีข้อจำกัด แต่ก็ยังเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินศักยภาพของสารกันหืนร่วมกับวิธีอื่น ซึ่งในการทดลองนี้ พบว่า สารสกัดพืช 2 ชนิด คือ ติ้วขาว และก่อข้าว มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้สูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ดังนั้น จึงมีศักยภาพเป็นแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่ดีจากธรรมชาติได้

จากผลการทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี พบว่า พืชอาจแสดงศักยภาพในการต้านออกซิเดชันได้แตกต่างกัน หรือคล้ายคลึงกัน ขึ้นกับองค์ประกอบของพืชแต่ละชนิดและกลไกการยับยั้ง เช่น สารสกัดผักมันปลามีความสามารถในการ

ทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุด (DPPH) แต่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (2-DR) และปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (anti- TBARS) ได้ในระดับปานกลาง ส่วนสารสกัดพืชที่ให้ผลคล้ายคลึงกันได้แก่ สารสกัดทะโล้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงในทั้ง 3 วิธีการทดสอบ ตรงกันข้ามกับสารสกัดบอนแบ้วที่ให้ผลต่ำที่สุดในทุกวิธีการทดสอบ

4.1.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆที่พบในสารสกัดจากพืช

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (TPC) กับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี ในสารสกัดพืชทั้ง 22 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและวิธี DPPH มีความสัมพันธ์กันสูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.957 ส่วนวิธี 2-DR มีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ (0.521) โดยมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) แต่ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับ วิธี anti-TBARS ($p>0.01$) แสดงว่า ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของสกัดจากพืช มีความสามารถในการทำลายอนุมูล DPPH ได้ดี สอดคล้องกับรายงานของ Pyo และคณะ (2004) ที่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด กับความสามารถในการทำลายอนุมูล DPPH ของสารสกัด Swiss chard ในระดับสูง หรือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.943 เช่นเดียวกับรายงานของ Shyu และคณะ (2009) และ Maisuthisakul และคณะ (2007b) ที่พบในสารสกัดดอกผักชีลาว (r=0.9166) และพืชพื้นบ้านของไทยจำนวน 26 ชนิด (r=0.83) ตามลำดับ ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่า สารโพลีฟีนอลในสารสกัดพืชทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมหรือจับกับโปรตอน ซึ่งเป็นกลไกสำคัญ ในการต้านออกซิเดชัน (Shyamala และคณะ, 2005) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของสารโพลีฟีนอลในการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ (Pyo และคณะ, 2004) สอดคล้องกับรายงานของ Maisuthisakul และคณะ (2008) ที่รายงานว่า สารสกัดจากพืชที่มีปริมาณโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบสูง จะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH สูง

ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดอาจแสดงศักยภาพในการจับกับไอออนของโลหะ เพื่อยับยั้งการสร้างอนุมูลไฮดรอกซิลได้ไม่ดี สังเกตจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.521 สอดคล้องกับรายงานของ Wu และคณะ (2011) ที่พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด กับความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะ เพื่อยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลของพืชประจำท้องถิ่นในวงศ์ *Lisgustrum* ของไต้หวันจำนวน 5 ชนิด หรือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.36 ในทางตรงกันข้าม Kubola และคณะ (2008) รายงานว่าปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดที่พบในสารสกัดมะระ มีความสัมพันธ์ที่ดีกับวิธี 2-DR โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.884 เช่นเดียวกันกับรายงานของ Kalaivani และ Mathew (2010) ที่รายงานว่า ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากใบของ *Acacia nilotica* (L.) Wild.

ex Delile มีความสัมพันธ์ที่ดี กับวิธี 2-DR (r=0.785) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารโพลีฟีนอลในสารสกัดพืชอาจแสดงศักยภาพในการจับกับไอออนของโลหะ เพื่อยับยั้งการสร้างอนุมูลไฮดรอกซิลได้ดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับชนิดของสารโพลีฟีนอลในสารสกัดพืชที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนหรือโปรตอนโดยจะไปเร่งให้มีการเปลี่ยนแปลงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เป็นน้ำ (Mathew และ Abraham, 2006) นอกจากนี้วิธี 2-DR ไม่ได้ใช้วัดอนุมูลไฮดรอกซิลเพียงอย่างเดียว แต่สามารถวัดอนุมูลอิสระชนิดอื่นที่เกิดจากปฏิกิริยาจลนศาสตร์ที่ไม่สามารถจำแนกได้จากอนุมูลไฮดรอกซิลด้วย (Al-Laith, 2010)

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ

	TPC	2-DR	Anti-TBARS
2-DR	0.521**		
Anti-TBARS	0.106	0.203*	
DPPH ($1/EC_{50}$)	0.957**	0.556**	0.172*

หมายเหตุ ** หมายถึง ค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.01$)
* หมายถึง ค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี TBARS (anti-TBARS) มีค่าเท่ากับ 0.106 แสดงว่า สารโพลีฟีนอลทั้งหมดมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ไม่ดี ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Ramkumar และคณะ (2009) และ Kalaivani และ Mathew (2010) ที่รายงานว่า ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมีส่วนสำคัญต่อความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ด้วย วิธี TBARS ของสารสกัดจากใบของ *Gymnema montanum* H. และ สารสกัดจากใบ *Acacia nilotica* (L.) Wild. *ex* Delile ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างสาร โพลีฟีนอลทั้งหมดและค่าที่ได้จากวิธี TBARS มีค่าเท่ากับ 0.773 และ 0.895 ตามลำดับ

จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก พืชแต่ละสายพันธุ์ประกอบด้วยชนิดและปริมาณสารโพลีฟีนอลที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่า มีโครงสร้างและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่แทนที่ต่างๆบนโครงสร้างของสารโพลีฟีนอลแตกต่างกัน ดังนั้นจึงส่งผลให้พืชมีความจำเพาะต่อการทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้แตกต่างกัน (Tabart และคณะ, 2009)

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในแต่ละวิธี พบว่า วิธี DPPH กับวิธี 2-DR มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.556 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kalaivani และ Mathew (2010) ที่พบว่า ความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 2 วิธีของสารสกัดจากใบ *Acacia nilotica* (L.) Wild. *ex* Delile มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ (r= 0.668) ในขณะที่ Wu และคณะ (2011) ก็รายงานเช่นเดียวกันในพืชประจำท้องถิ่นในวงศ์ *Lisgustrum* ของไต้หวันจำนวน 5 ชนิด (r=0.54) ความสัมพันธ์ที่ต่ำระหว่างวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้ เนื่องมาจาก กลไกที่ใช้ในการทดสอบของทั้ง 2 วิธีแตกต่างกัน โดยวิธี DPPH อาศัยการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนร่วมกับการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนอะตอมเพื่อทำลายอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ส่วนวิธี 2-DR อาศัยการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน เข้าทำปฏิกิริยากับอิออนของโลหะ เพื่อหยุดการกระตุ้นการสร้างอนุมูล OH

ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการต่างๆ กับ วิธี anti-TBARS พบว่า มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก ($p>0.05$) ซึ่งแตกต่างจาก นราพร (2552) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างวิธี anti-TBARS กับวิธี DPPH (r=0.125) วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (r=0.136) และวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) (r=0.119) ของสารสกัดพืชป่า 49 ตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจาก วิธี anti-TBARS ใช้กลไกในการทดสอบแตกต่างจากวิธีอื่นๆ โดยอาศัยกลไกหลายอย่างร่วมกัน เช่น การเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนอะตอมจากสารต้านออกซิเดชันไปยังอนุมูลเปอร์ออกซิล หรืออัลคอกซิล เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมัน อีกทั้งการทดลองนี้ สกัดสารสำคัญของพืชด้วยเอทานอลจึงได้สารสำคัญที่มีขั้วมาก ซึ่งสารโพลีฟีนอลที่มีขั้วต่ำหรือละลายได้ดีในไขมันจะมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันของไขมันได้ดี (Larguerre และคณะ, 2007)

4.2 คัดเลือกชนิดของพืชที่มีความเป็นไปได้ทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่มีต่อแพตตี้หมูที่เติมผงพืช

พืชพื้นบ้านจำนวน 22 ตัวอย่างที่ใช้วิจัยครั้งนี้ มีกลิ่นรสที่แตกต่างกัน และการเติมลงในแพตตี้หมูมีผลทำให้กลิ่นรสของแพตตี้หมูเปลี่ยนแปลงจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงกำหนดการเติมผงพืชที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ของแพตตี้หมู จากนั้น นำตัวอย่างแพตตี้หมูทั้ง 22 ตัวอย่าง มาคัดเลือก โดยใช้การประเมินความแตกต่างโดยรวม (Overall difference test) ตามวิธีการจัดลำดับคุณภาพ (quality test) ด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามวิธีการของ Meilgard และคณะ (1999) พบว่า แพตตี้หมูที่เติมบอนแบ้ว ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด รองลงมา คือ แพตตี้หมูที่เติมทะโล้ ติ้วขาว เมี่ยงป่า และส้มจี๊ ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในระดับปานกลาง ส่วนแพตตี้หมูที่เติม พืชอื่นๆ มีคะแนนความชอบโดยรวมต่ำกว่าพืชทั้ง 5 ชนิดที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น (ไม่ได้แสดงผลในตาราง)โดยที่

แพตตี้หมูที่เติมพืชที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมระดับต่ำที่สุด ได้แก่ แพตตี้หมูที่เติมมันปลาก่อข้าว ผักไผ่ ผักชีลาว และผักแปม ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การเติมผงพืชในแพตตี้หมูแล้ว ทำให้สีกลิ่น และรสชาติ ของแพตตี้หมูเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เช่น มีสีเขียวคล้ำ กลิ่นเหม็นเขียว มีรสฝาดหรือขม หรือหลายๆ การเปลี่ยนแปลงร่วมกัน จนผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพ จากผลการทดลองดังกล่าวจึงคัดเลือกพืชที่สามารถใช้เติมในตัวอย่างแพตตี้หมูได้จำนวน 5 ตัวอย่างได้แก่ เมี่ยงป่า ทะโล้ บอนแบ้ว ส้มจี๊ และติ้วขาว ซึ่งเป็นแพตตี้หมูที่เติมผงพืชแล้วมีคุณภาพด้านสี และเนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม (ตัวอย่างที่ไม่เติมสารสกัดจากพืช) แต่มียังคงกลิ่นและรสชาติเฉพาะของพืชชนิดนั้น และยังเป็นที่ยอมรับโดยรวม ที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม

จากนั้นนำตัวอย่างแพตตี้หมูที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 5 ชนิดนี้ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-points hedonic scale ต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม กับผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแพตตี้หมูเติมผงพืชชนิดต่างๆ เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

คุณลักษณะประสาทสัมผัส	แพตตี้หมู					
	ควบคุม	เมี่ยงป่า	ทะโล้	บอนแบ้ว	ส้มจี๊	ติ้วขาว
สี	5.6±0.9 ^{a}	3.9±1.4 ^{b}	5.0±1.2 ^{a}	5.4±0.9 ^{a}	3.2±1.3 ^{c}	3.5±1.2 ^{bc}
กลิ่นรส	4.4±1.2 ^{a}	3.8±1.4 ^{ab}	4.1±1.2 ^{ab}	4.2±1.3 ^{a}	3.4±1.2 ^{b}	4.0±1.4 ^{ab}
รสชาติ	5.2±0.8 ^{a}	3.3±1.7 ^{b}	4.0±1.2 ^{b}	5.1±1.1 ^{a}	3.7±1.6 ^{b}	3.8±1.6 ^{b}
เนื้อสัมผัส	3.9±1.3 ^{ab}	3.6±1.0 ^{b}	3.5±0.9 ^{b}	4.3±1.3 ^{a}	3.7±1.2 ^{b}	3.7±1.3 ^{b}
ความชอบโดยรวม	5.2±1.2 ^{a}	3.4±1.5 ^{b}	4.0±1.2 ^{b}	5.1±1.1 ^{a}	3.5±1.5 ^{b}	3.8±1.6 ^{b}

หมายเหตุ - พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

คะแนนเฉลี่ยค่าสีของแพตตี้หมูเติมผงบอนแบ้ว (5.4±0.9) และที่เติมผงทะโล้ (5.0±1.2) มีค่าต่ำกว่า ตัวอย่างควบคุม (5.6±0.9) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.4) ทั้งนี้เนื่องจาก ผงบอนแบ้วมีสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งเมื่อเติมลงไปในแพตตี้หมูแล้วจะอยู่ในเฉดสีเดียวกับเนื้อที่ผ่านการปรุงสุก ทำให้แยกความแตกต่างได้ไม่ชัดเจน ส่วนผงทะโล้ นั้นมีสีเขียวเข้มกว่าเล็กน้อย เมื่อเติมลงไปในแพตตี้หมูและผ่านการปรุงสุกแล้ว แพตตี้หมูยังคงมีสีเขียวอ่อนๆ แต่อยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบสามารถยอมรับได้ สำหรับผงติ้วขาวจะมีสีเขียวแกมแดง เมื่อเติมลงไปในแพตตี้หมูแล้ว ทำให้มีสีน้ำตาลคล้ำ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ จึงมีคะแนนเฉลี่ยสีค่าเท่ากับ 3.5±1.2 ส่วนผงเมี่ยงป่า และส้มจี้ ที่มีสีเขียวเข้ม เมื่อผ่านการปรุงสุกแล้ว ทำให้แพตตี้หมูมีสีเขียวมะกอกคล้ำๆ เนื่องจากผงพืชทั้ง 2 ชนิด มีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อถูกทำลายด้วยความร้อนจะเปลี่ยนจากสีเขียวของคลอโรฟิลล์ให้เป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ที่มีสีเขียวมะกอก

คล้ำๆ เนื่องจากมีการสูญเสียแมกนีเซียมและไฟทอลที่เป็นองค์ประกอบ (Schwartz และ Elbe, 1983; Steet และ Tong, 1996; Vongsawasdi และคณะ, 2010) เป็นผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับต่ำกว่าทะโล้ซึ่งเป็นพืชสีเขียวเช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ที่เป็นองค์ประกอบในพืชแตกต่างกัน

สำหรับคะแนนในด้านกลิ่นรสนั้น พบว่า แพตตี้หมูที่เติมผงพืชเกือบทุกชนิด ยกเว้น ผงส้มจี๊ มีคะแนนทางด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ในขณะเดียวกันแพตตี้หมูที่เติมผงพืชทุกชนิดไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) การที่แพตตี้หมูที่เติมผงส้มจี๊ได้รับคะแนนการยอมรับต่ำที่สุด อาจเนื่องจากส้มจี๊อาจมีกลิ่นเหม็นเขียวของพืชที่เด่นชัดกว่าพืชชนิดอื่น ส่วนการทดสอบทางด้านรสชาติ พบว่า แพตตี้หมูที่เติมผงบอนแบ้วมีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากบอนแบ้วมีรสชาติที่อ่อน จึงไม่ทำให้รสชาติของแพตตี้หมูเปลี่ยนแปลงไปจากตัวควบคุม ในขณะที่แพตตี้หมูที่เติมผงพืชอื่นๆ มีรสชาติของพืชแต่ละชนิดเด่นชัด จึงทำให้ได้รับคะแนนการยอมรับต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม สำหรับคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ตัวอย่างควบคุมไม่มีความแตกต่างจากแพตตี้หมูที่เติมผงพืชทุกชนิด แต่แพตตี้หมูที่เติมผงบอนแบ้ว จะได้รับคะแนนสูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมพืชอื่นๆ ทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ทดสอบที่ชิมให้การยอมรับแพตตี้หมูที่เติมผงบอนแบ้วในทุกๆด้านของการทดสอบประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับแพตตี้หมูควบคุม ($p>0.05$) จึงส่งผลให้ตัวอย่างควบคุมและแพตตี้หมูที่เติมผงบอนแบ้วมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าการเติมพืชชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนแพตตี้หมูที่เติมทะโล้มีคะแนนความชอบโดยรวมรองลงมา มีค่าเท่ากับ 4.0±1.2 และมีคะแนนเฉลี่ยในทุกๆด้านที่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับแพตตี้หมูควบคุม ยกเว้นการยอมรับด้านรสชาติ นอกจากนี้ การทดสอบทางประสาทสัมผัสครั้งนี้เป็นการเติมผงพืช 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)ของแพตตี้หมู อาจทำให้เกิดลักษณะที่แตกต่าง ทั้งทางด้านสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัส จนทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับต่ำ ดังนั้นหากลดความเข้มข้นของพืช หรือ การเติมในรูปของสารสกัด อาจลดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสลงได้ ส่งผลให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น

จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาจากปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (ภาพที่ 4.1) ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีการต่างๆ (ตารางที่ 4.2) ของพืชทั้ง 5 ชนิด รวมกับ การทดสอบทางประสาทสัมผัสแล้ว (ตารางที่ 4.4) พบว่า บอนแบ้วมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีการต่างๆต่ำที่สุด จึงไม่เหมาะสมในการเป็นสารกันหืนจากธรรมชาติ แม้ว่าจะได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ และไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ทะโล้นั้นมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด สูงกว่าพืชอีก 4 ชนิด และมีค่า anti-TBARS สูงในระดับปานกลาง และติ้วขาว มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และค่า AOA (DPPH)

ต่ำกว่าเมี่ยงป่า และส้มจี้ แต่มีค่า 2-DR ใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังมีค่า anti-TBARS สูงที่สุดในกลุ่มพืชทั้ง 5 ชนิด จึงได้คัดเลือกทะโล้ และติ้วขาว มาใช้ในการศึกษาความสามารถในการต้านการหืนของพืชบดและสารสกัดจากพืชในแพตตี้หมูปรุงสุกต่อไป

4.3 ผลของการใช้พืชบดและสารสกัดจากพืช ในแพตตี้หมูปรุงสุกต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า ทะโล้และติ้วขาวมีศักยภาพเป็นแหล่งสารกันหืนในแพตตี้หมูปรุงสุกได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของพืช (ทะโล้และติ้วขาว) ลักษณะการเติมพืช 2 แบบ (การเติมตัวอย่างพืชบดและการเติมสารสกัดเข้มข้น) ปริมาณการใช้พืชบด 3 ระดับ (300, 500 และ 700 พีพีเอ็ม) ปริมาณการใช้สารสกัดพืช 3 ระดับ (190, 320 และ 450 พีพีเอ็ม) อุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 อุณหภูมิ (4 และ -18 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเก็บรักษา (7 ระยะ) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี ค่า TBARS และค่า *p*-Av สำหรับแพตตี้หมูที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนั้น สุ่มตัวอย่างทุกๆ 4 วันเป็นเวลา 32 วัน ส่วนแพตตี้หมูที่เก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุกๆ 15 วัน เป็นเวลา 120 วัน ส่วนตัวอย่างควบคุมนั้นมี 3 ตัวอย่างได้แก่ ตัวอย่างที่ไม่เติมสารสกัดจากพืช ตัวอย่างเติมบีเอชทีที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง และตัวอย่างที่เติมคาทิชิน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแพตตี้หมูปรุงสุกระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง

1) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงพืช และสารสกัดติ้วขาวและทะโล้ ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง แสดงดังตารางที่ 4.5 การเติมผงติ้วขาวและสารสกัดเข้มข้น พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น ระหว่าง 6.15-6.21 และ 6.25-6.27 ตามลำดับ ทั้งนี้ การเติมสารสกัดเข้มข้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าผงพืชเล็กน้อย อาจเนื่องจาก ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดติ้วขาวเข้มข้นนั้น ได้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดให้เป็นกลางก่อนนำมาเติมลงในตัวอย่างแพตตี้หมู

ค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูทุกตัวอย่างเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 32 วัน โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่เติมบีเอชที มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่า

ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.11-6.28 ดังนั้นอาจเนื่องจาก แพตตี้หมูนี้ผ่านการให้ความร้อนในการปรุงสุก ทำให้สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ และลดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารลงได้ อีกทั้งการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างลงได้ (นิธิยา, 2544) ดังนั้นจึงพบการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับ Das และคณะ (2008) ที่รายงานว่า การเติมถั่วเหลืองบดและถั่วเหลืองเต็มเมล็ดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้แพะปรุงสุก สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาวทุกๆ 4 วัน ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วันตามแผนการทดลองนั้น แสดงในตารางภาคผนวกที่ ง1

ความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงทะโล้และสารสกัดทะโล้เข้มข้น ในวันที่ 0 พบว่า แพตตี้หมูกลุ่มที่เติมทะโล้ มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างบีเอชทีและตัวอย่างที่เติมคาทิชิน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 6.06-6.16 ส่วนตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมสารกันหืนอื่นๆ มีค่าระหว่าง 6.20-6.24 แต่ไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.5) และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาเวลา 32 วัน พบว่า ตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.09-6.23 และไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมผงทะโล้และสารสกัดทะโล้เข้มข้นในปริมาณที่แตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกันมากและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่า ผงพืชและสารสกัดพืชไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเปลี่ยนแปลงไป สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงทะโล้และสารสกัดทะโล้ทุกๆ 4 วัน ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วันตามแผนการทดลองนั้น แสดงในตารางภาคผนวกที่ ง2

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่เติมสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชทั้ง 2 ชนิด ไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมสารกันหืนอื่นๆ และเมื่อผ่านการเก็บรักษาไว้ 32 วัน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับรายงานของ Choe และคณะ (2010) ที่พบว่า การเติมผงจากใบดอกบัว และผงจากใบบาร์เล่ย์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อบดปรุงสุก ที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิแช่เย็น เป็นเวลา 10 วันให้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนปริมาณของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	16	32
ควบคุม		-	6.23±0.01 $^{b\text{-}d, A}$	6.18±0.01 $^{cd, B}$	6.16±0.01 $^{de, C}$
บีเอชที		100	6.20±0.03 $^{d, A}$	6.21±0.03 $^{bc, A}$	6.17±0.04 $^{cd, A}$
คาทิชิน		100	6.24±0.01 $^{a\text{-}d, A}$	6.24±0.01 $^{ab, A}$	6.23±0.01 $^{a\text{-}c, B}$
ติ้วขาว	ผง	300	6.15±0.01 $^{e, A}$	6.15±0.05 $^{d, A}$	6.14±0.04 $^{de, A}$
		500	6.15±0.03 $^{e, A}$	6.17±0.01 $^{cd, A}$	6.11±0.01 $^{f, B}$
		700	6.21±0.01 $^{cd, A}$	6.18±0.00 $^{cd, B}$	6.19±0.01 $^{cd, B}$
	สารสกัด	190	6.26±0.08 $^{ab, A}$	6.22±0.08 $^{bc, A}$	6.22±0.10 $^{bc, A}$
		320	6.27±0.01 $^{a, A}$	6.25±0.02 $^{ab, B}$	6.25±0.01 $^{ab, B}$
		450	6.25±0.01 $^{a\text{-}c, A}$	6.29±0.08 $^{a, A}$	6.28±0.07 $^{a, A}$
ทะโล้	ผง	300	6.12±0.11 $^{a, A}$	6.13±0.09 $^{a\text{-}c, A}$	6.15±0.07 $^{a, A}$
		500	6.07±0.18 $^{a, A}$	6.10±0.14 $^{bc, A}$	6.22±0.03 $^{a, A}$
		700	6.06±0.06 $^{a, B}$	6.10±0.04 $^{c, AB}$	6.13±0.03 $^{a, A}$
	สารสกัด	190	6.12±0.16 $^{a, A}$	6.13±0.11 $^{bc, A}$	6.25±0.06 $^{a, A}$
		320	6.12±0.22 $^{a, A}$	6.16±0.16 $^{bc, A}$	6.30±0.03 $^{a, A}$
		450	6.16±0.22 $^{a, A}$	6.19±0.19 $^{bc, A}$	6.33±0.03 $^{a, A}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

2) อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูที่เติมผงพืช และสารสกัดพืชได้แก่ ติ้วขาว และทะโล้ ตลอดการเก็บรักษา 120 วัน ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างเก็บรักษา อยู่ในช่วง 6.00-6.34 (ตารางที่ 4.6) โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 120 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างที่อุณหภูมิดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากแพตตี้หมูได้ผ่านการให้ความร้อนจนสุก จึงทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ทำให้เอนไซม์ และจุลินทรีย์ที่อาจหลงเหลือ ไม่สามารถทำงาน หรือเจริญได้ เนื่องจากอุณหภูมิไม่เหมาะสม และมีปริมาณน้ำอิสระต่ำ (นิธิยา, 2544) สำหรับการ

เปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาว ทุกๆ 15 วัน ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วันตามแผนการทดลองนั้น แสดงในตารางภาคผนวกที่ ง3

ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	60	120
ควบคุม		-	6.23±0.01 $^{b\text{-}d, A}$	6.18±0.01 $^{cd, B}$	6.16±0.01 $^{de, C}$
บีเอชที		100	6.20±0.03 $^{d, A}$	6.21±0.03 $^{bc, A}$	6.17±0.04 $^{cd, A}$
คาทิชิน		100	6.24±0.01 $^{a\text{-}d, A}$	6.24±0.01 $^{ab, A}$	6.23±0.01 $^{a\text{-}c, B}$
ติ้วขาว	ผง	300	6.15±0.01 $^{e, A}$	6.12±0.02 $^{d, B}$	6.12±0.03 $^{de, B}$
		500	6.15±0.03 $^{e, A}$	6.12±0.02 $^{cd, B}$	6.15±0.01 $^{f, A}$
		700	6.21±0.01 $^{cd, A}$	6.13±0.01 $^{cd, C}$	6.15±0.01 $^{cd, B}$
	สารสกัด	190	6.26±0.08 $^{ab, A}$	6.23±0.09 $^{bc, A}$	6.22±0.08 $^{bc, A}$
		320	6.27±0.01 $^{a, A}$	6.24±0.02 $^{ab, B}$	6.26±0.01 $^{ab, A}$
		450	6.25±0.01 $^{a\text{-}c, B}$	6.28±0.08 $^{a, AB}$	6.34±0.07 $^{a, A}$
ทะโล้	ผง	300	6.12±0.11 $^{a, A}$	6.14±0.01 $^{a\text{-}c, A}$	6.05±0.10 $^{a, A}$
		500	6.07±0.18 $^{a, A}$	6.08±0.09 $^{bc, A}$	6.00±0.17 $^{a, A}$
		700	6.06±0.06 $^{a, A}$	6.09±0.02 $^{c, A}$	6.02±0.08 $^{a, A}$
	สารสกัด	190	6.12±0.16 $^{a, A}$	6.14±0.08 $^{bc, A}$	6.05±0.18 $^{a, A}$
		320	6.12±0.22 $^{a, A}$	6.17±0.11 $^{bc, A}$	6.07±0.2 $^{a, A}$
		450	6.16±0.22 $^{a, A}$	6.18±0.13 $^{bc, A}$	6.09±0.22 $^{a, A}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างแพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้และสารสกัดทะโล้ ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.6 และให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองในติ้วขาว คือ พบการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงทะโล้และสารสกัด

ทะโล้ทุกๆ 15 วัน ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วันตามแผนการทดลองนั้น แสดงในตารางภาคผนวกที่ ง4

จากผลการทดลอง แสดงว่า การเก็บรักษาแพตตี้หมูที่อุณหภูมิ 4 และ-18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 32 และ 120 วัน ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การเก็บรักษาแพตตี้หมูที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส น่าจะชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากสามารถลดปฏิกิริยาเคมี เอนไซม์ และจุลินทรีย์ในอาหารลงได้

4.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสี

แพตตี้หมูมีค่าเฉลี่ยของ L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าสีแดง) และ b^* (ค่าสีเหลือง) เท่ากับ 75.13±0.30, 7.62±0.14 และ 6.82±0.38 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) และพบว่า การเติมคาทิชินทำให้ค่าความสว่างกว่าตัวอย่างควบคุมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ค่า a^* ในแพตตี้ที่เติมบีเอชที และคาทิชินมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับการเติมผงพืชและสารสกัดพืชในแพตตี้หมู ส่งผลให้ค่าค่าความสว่าง a^* และ b^* เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในทุกๆ ความเข้มข้น โดยการเติมผงติ้วขาวในแพตตี้หมูทำให้ค่าความสว่างลดลงมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ผงทะโล้ สารสกัดทะโล้ และ สารสกัดติ้วขาวตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของผงและสารสกัดติ้วขาวทำให้ค่าความสว่างในแพตตี้หมูลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Han และคณะ (2006) ที่พบว่า การเติม Bokbunja-Pyun ในเนื้อหมูบดปรุงสุก มีผลต่อการลดลงของค่า L^* อีกทั้งยังพบว่าการเติมสารสกัดติ้วขาวมีค่าความสว่างสูงกว่าผงติ้วขาวในแพตตี้หมูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากขั้นตอนการเตรียมสารสกัดเข้มข้นนั้น ได้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดให้เป็นกรด อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัว (Koca และคณะ, 2006) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของผงทะโล้ และสารสกัดทะโล้ในแพตตี้หมู ไม่มีความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่า a^* ของแพตตี้หมูที่เติมพืชพบว่า มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้น แพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาว 300 พีพีเอ็ม และผงทะโล้ 700 พีพีเอ็ม โดยส่วนใหญ่ การเพิ่มปริมาณผงพืชทั้ง 2 ชนิด ทำให้ค่า a^* ลดลง ส่วนการเพิ่มปริมาณสารสกัดพืชมีผลทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นในแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว แต่การเพิ่มปริมาณสารสกัดทะโล้ในแพตตี้หมูทำให้มีค่า a^* ลดลง สำหรับค่า b^* พบว่า แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว 190 และ 320 พีพีเอ็ม และสารสกัดทะโล้ 190 พีพีเอ็ม ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Jo และคณะ (2003) ที่รายงานว่า ค่า b^* ของหมูบด

ปรุงสุก ที่เติมผงชาเขียวสกัด 0.1 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงกว่าตัวควบคุม โดยส่วนใหญ่การเพิ่มปริมาณผงพืช และสารสกัดจากพืชมีผลทำให้ค่า b^* มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นการเติมผงทะโล้

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์สีของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พารามิเตอร์สี		
			L^*	a^*	b^*
ควบคุม		-	75.13±0.30 [a]	7.62±0.14 [d]	6.82±0.38 [c]
บีเอชที		100	75.36±0.22 [a]	7.98±0.11 [c]	6.54±0.16 [c]
คาทิชิน		100	74.30±0.80 [b]	7.89±0.10 [c]	6.44±0.23 [c]
ติ้วขาว	ผง	300	69.75±0.59 [e]	7.46±0.20 [d]	8.52±0.26 [b]
		500	66.22±±1.01 [f]	6.91±0.17 [e]	10.73±0.23 [a]
		700	65.26±0.55 [g]	6.87±0.23 [e]	10.49±0.25 [a]
	สารสกัด	190	71.11±0.54 [d]	8.40±0.25 [b]	6.62±0.58 [c]
		320	72.46±0.52 [c]	8.67±0.31 [a]	6.69±0.56 [c]
		450	70.23±1.71 [e]	8.87±0.45 [a]	8.48±1.29 [b]
ทะโล้	ผง	300	70.07±0.97 [b]	8.35±0.09 [a]	6.34±0.26 [f]
		500	69.04±1.30 [b]	7.57±0.80 [c]	7.22±0.37 [d]
		700	69.07±2.28 [b]	7.02±0.50 [d]	6.81±0.19 [de]
	สารสกัด	190	70.67±0.60 [b]	8.09±0.36 [ab]	7.88±0.74 [c]
		320	69.61±0.89 [b]	8.35±0.28 [a]	8.31±0.24 [b]
		450	70.22±3.14 [b]	6.78±0.54 [d]	10.08±0.64 [a]

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม)

อย่างไรก็ตาม เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า แพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวจะมีสีเขียว และเมื่อผ่านการให้ความร้อนจะมีสีคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุมมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่างที่ลดลง ในขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น ส่วนการใช้สารสกัดติ้วขาวจะทำให้แพตตี้หมูมีสีคล้ำกว่าเล็กน้อย สำหรับแพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้ จะมีสีออกเหลือง และมีความสว่างกว่าแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวเล็กน้อย สอดคล้องกับค่าความสว่างที่มีค่าสูงกว่าแพตตี้ที่เติมติ้วขาวเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวอย่างแพตตี้ที่เติมผงและสารสกัดทะโล้มีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพืช ซึ่งสอดคล้องกับค่า b^* ที่เพิ่มขึ้น

1) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ค่าความสว่างของแพตตี้หมูควบคุม บีเอชที และ คาทิชิน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในระหว่างเก็บรักษา เป็นเวลา 32 วัน (ตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากรงควัตถุไมโอโกลบินที่มีในเนื้อสัตว์เกิดการออกซิเดชันเปลี่ยนไปเป็นเมทไมโอโกลบิน และเมื่อผ่านกระบวนการปรุงสุกเมทไมโอโกลบินเกิดการเสียสภาพธรรมชาติไป และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เมทไมโอโกลบินเกิดเป็นสารออกซิไดซ์โพรไพริน (oxidized prophyrins) ซึ่งมีสีเขียวเหลืองอ่อนๆ (เยาวลักษณ์, 2536)

ส่วนแพตตี้หมูที่เติมพืชและสารสกัดจากพืชเกือบทุกตัวอย่างมีค่าความสว่างคงที่ ($p> 0.05$) ในระหว่างเก็บรักษา ยกเว้นการเติมผงติ้วขาว 300 พีพีเอ็ม ที่มีค่าความสว่างลดลงเล็กน้อย ($p<0.05$) และการเติมสารสกัดติ้วขาว 190 และ 450 พีพีเอ็ม ที่มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.8) แสดงว่า รงควัตถุคลอโรฟิลล์ในพืชหรือสารสกัดจากพืชอาจเปลี่ยนรูปไปเป็นฟีโอไฟตินได้ ด้วยการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมในตำแหน่งของ แมกนีเซียมอะตอมของวงแหวนพอร์ไฟริน (porphyrin) ทำให้มีความคงตัวของสีมากกว่า (Lopez-Ayerra และคณะ, 1998) นอกจากนี้ ติ้วขาวมีองค์ประกอบของกรดคลอโรจีนิกที่ทำหน้าที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ และ คีเลทโลหะ (Maisuthisakul และคณะ, 2007a) ส่วนทะโล้มีองค์ประกอบของเควอซีติน (Joshi, 2006) ซึ่งอาจทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lakhanpal และ Rai, 2007) ซึ่งความสามารถดังกล่าว อาจช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อันเป็นสาเหตุหนึ่งของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ รงควัตถุ หรือยับยั้งการเกิดสารประกอบที่มีสีอื่นๆ ได้ นอกจากนี้การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ยังเกิดได้จากการทำปฏิกิริยาร่วมกันของหลายสาเหตุ เช่น เอนไซม์ กรดอ่อน แสง ออกซิเจน และความร้อน (Koca และคณะ, 2006) สำหรับการเพิ่มปริมาณผงพืชหรือสารสกัดพืช ในแพตตี้หมู พบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของแพตตี้หมูในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ทุกๆ 4 วัน ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วันตามแผนการทดลองนั้น แสดงในตารางภาคผนวกที่ ง5 และ ง6

ตารางที่ 4.8 ค่าความสว่าง (L^*) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		% ความเข้มข้น (โดยน้ำหนัก)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	16	32
ควบคุม		-	75.13±0.30 $^{a, C}$	76.98±0.42 $^{a, B}$	78.24±0.49 $^{a, A}$
บีเอชที		100	75.36±0.22 $^{a, B}$	75.37±0.79 $^{b, B}$	77.64±0.81 $^{a, A}$
คาทิชิน		100	74.30±0.80 $^{b, B}$	74.37±0.33 $^{c, B}$	75.73±0.53 $^{b, A}$
ติ้วขาว	ผง	300	69.75±0.59 $^{e, A}$	69.84±0.63 $^{f, A}$	68.94±0.59 $^{e, B}$
		500	66.22±±1.01 $^{f, A}$	67.15±0.79 $^{g, A}$	66.54±0.74 $^{f, A}$
		700	65.26±0.55 $^{g, A}$	64.94±0.34 $^{h, A}$	65.09±0.89 $^{g, A}$
	สารสกัด	190	71.11±0.54 $^{d, C}$	72.98±1.13 $^{d, B}$	76.23±0.89 $^{b, A}$
		320	72.46±0.52 $^{c, A}$	70.87±1.72 $^{e, B}$	73.28±1.20 $^{c, A}$
		450	70.23±1.71 $^{e, B}$	71.00±0.88 $^{e, AB}$	71.96±0.99 $^{d, A}$
ทะโล้	ผง	300	70.07±0.97 $^{b, A}$	69.92±0.56 $^{de, A}$	69.47±1.03 $^{d, A}$
		500	69.04±1.30 $^{b, A}$	69.80±0.51 $^{de, A}$	69.26±1.57 $^{d, A}$
		700	69.07±2.28 $^{b, A}$	69.07±1.68 $^{e, A}$	68.74±1.79 $^{d, A}$
	สารสกัด	190	70.67±0.60 $^{b, AB}$	71.42±1.41 $^{c, A}$	69.89±0.82 $^{d, B}$
		320	69.61±0.89 $^{b, A}$	69.17±1.56 $^{e, A}$	69.51±0.12 $^{d, A}$
		450	70.22±3.14 $^{b, A}$	70.76±2.41 $^{cd, A}$	71.12±1.74 $^{c, A}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของแพตตี้หมูในระหว่างเก็บรักษา เป็นเวลา 32 วัน พบว่า แพตตี้หมูควบคุม และบีเอชที มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.9) มีค่า a^* ลดลง 2.5-2.82 สอดคล้องกับรายงานของ Choe และคณะ (2010) ที่พบว่า การเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการลดลงของค่า a^* ของหมูบดปรุงสุก ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ตามที่กล่าวมาแล้ว (เยาวลักษณ์, 2536) ในขณะที่แพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน ผงพืชและสารสกัดพืชทุกตัวอย่างมีค่า a^* ลดลงเล็กน้อย ยกเว้นแพตตี้หมูที่เติมสารสกัด ติ้วขาว 190 พีพีเอ็ม ที่มีค่า a^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม แพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดมีค่า a^* ในระหว่างเก็บรักษาสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างบีเอชที ดังนั้นแสดงว่า การเติมพืชในแพตตี้หมูสามารถทำให้ค่า a^* มีค่าคงที่ใน

ระหว่างเก็บรักษาได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที เนื่องจากสารสำคัญในติ้วขาวและทะโล้มีสมบัติในการให้อิเล็คตรอน ซึ่งอาจช่วยยับยั้งการสร้างเมทไมโอโกลบินในแพตตี้หมูได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับการเติมสารสกัดเปลือกส้มในแบบจำลองเนื้อสัตว์ ของ Jo และคณะ (2003)

ตารางที่ 4.9 ค่าสีแดง (a^*) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	16	32
ควบคุม		-	7.62±0.14 $^{d, A}$	4.92±0.18 $^{f, C}$	5.12±0.21 $^{e, B}$
บีเอชที		100	7.98±0.11 $^{c, A}$	7.53±0.17 $^{d, B}$	5.16±0.25 $^{e, C}$
คาทิชิน		100	7.89±0.10 $^{c, B}$	8.39±0.31 $^{b, A}$	7.51±0.25 $^{b, C}$
ติ้วขาว	ผง	300	7.46±0.20 $^{d, B}$	7.90±0.13 $^{c, A}$	7.72±0.24 $^{b, A}$
		500	6.91±0.17 $^{e, A}$	7.09±0.43 $^{e, A}$	6.82±0.14 $^{c, A}$
		700	6.87±0.23 $^{e, B}$	7.39±0.20 $^{d, A}$	6.48±0.18 $^{d, C}$
	สารสกัด	190	8.40±0.25 $^{b, A}$	7.91±0.41 $^{c, B}$	6.64±0.17 $^{cd, C}$
		320	8.67±0.31 $^{a, A}$	8.86±0.44 $^{a, A}$	8.53±0.28 $^{a, A}$
		450	8.87±0.45 $^{a, A}$	8.34±0.08 $^{b, B}$	8.41±0.58 $^{a, B}$
ทะโล้	ผง	300	8.35±0.09 $^{a, A}$	8.25±0.69 $^{a, A}$	8.53±0.51 $^{a, A}$
		500	7.57±0.80 $^{c, A}$	6.96±0.84 $^{bc, AB}$	6.18±0.84 $^{c, B}$
		700	7.02±0.50 $^{d, A}$	6.62±0.88 $^{c, AB}$	6.05±1.01 $^{c, B}$
	สารสกัด	190	8.09±0.36 $^{ab, AB}$	8.38±0.17 $^{a, A}$	7.80±0.83 $^{b, B}$
		320	8.35±0.28 $^{a, A}$	8.20±0.23 $^{a, A}$	8.51±0.52 $^{a, A}$
		450	6.78±0.54 $^{d, A}$	7.20±0.80 $^{bc, A}$	7.38±0.47 $^{b, A}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ค่าสีเหลือง (b^*) ของแพตตี้หมูตัวอย่างควบคุม และแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 32 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.10) ส่วนแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดมีค่า b^* สูงกว่าตัวอย่างควบคุม แต่มีค่า b^* คงที่ ในระหว่างเก็บรักษา ($p>0.05$) ยกเว้นแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาว ที่มีค่า b^* ลดลง ($p<0.05$) และแพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้ 500 และ 700 พีพีเอ็ม ที่มีค่า b^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของแพตตี้หมู ในระหว่างเก็บรักษา เป็นเวลา 32 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4.11 โดยค่า ΔE เป็นค่าที่คำนวณได้จากความแตกต่างของค่าสี L^*, a^* และ b^* ซึ่งหากค่า ΔE มีค่าสูง แสดงว่า ตัวอย่างแพตตี้หมูมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างเก็บรักษามาก จากการทดลอง พบว่า แพตตี้หมูตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน มีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.79-2.27 เป็น 1.68-4.43 ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่า ที่พบว่า แพตตี้หมูกลุ่มนี้ มีความแตกต่างจากแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดพืชในระหว่างการเก็บรักษาอย่างชัดเจน ในขณะที่แพตตี้ที่เติมผงพืชและสารสกัดพืชมีการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 และมีค่าค่อนข้างคงที่ในระหวางการเก็บรักษา ($p<0.05$) แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* เล็กน้อยในระหว่างเก็บรักษา อาจเนื่องจาก สารสำคัญในพืชสามารถป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะช่วยในการชะลอการเกิดออกซิเดชันของไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ได้ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยกเว้นแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว 190 พีพีเอ็ม ที่มีค่า ΔE เพิ่มขึ้น ($p<0.05$)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์สีของแพตตี้หมูที่เติมสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ มีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* และ ΔE ค่อนข้างคงที่ ($p>0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 32 วัน ผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับรายงานของ Pereira และคณะ (2010) ที่พบว่าการเติมสารสกัดจากเม็ดมะม่วง ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์สี (L^* a^* และ b^*) ของผลิตภัณฑ์โบโลน่าที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน ให้มีค่าคงที่ ส่วนความเข้มข้นของผงพืชและสารสกัดพืชที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์สีของแพตตี้หมูแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.10 ค่าสีเหลือง (*b**) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	16	32
ควบคุม		-	6.82±0.38 $^{c, C}$	9.60±0.41 $^{b, A}$	8.63±0.26 $^{c, B}$
บีเอชที		100	6.54±0.16 $^{c, C}$	6.99±0.28 $^{ef, B}$	8.17±0.46 $^{d, A}$
คาทิชิน		100	6.44±0.23 $^{c, B}$	6.71±0.20 $^{fg, A}$	6.32±0.20 $^{f, B}$
ติ้วขาว	ผง	300	8.52±0.26 $^{b, A}$	7.71±0.20 $^{d, B}$	7.94±0.28 $^{d, B}$
		500	10.73±0.23 $^{a, A}$	9.20±0.31 $^{c, B}$	8.99±0.30 $^{b, B}$
		700	10.49±0.25 $^{a, A}$	10.39±0.22 $^{a, A}$	9.48±0.26 $^{a, B}$
	สารสกัด	190	6.62±0.58 $^{c, A}$	6.54±0.36 $^{g, A}$	6.29±0.22 $^{f, A}$
		320	6.69±0.56 $^{c, A}$	6.67±0.38 $^{g, A}$	6.71±0.33 $^{e, A}$
		450	8.48±1.29 $^{b, A}$	7.18±0.21 $^{e, B}$	7.98±0.51 $^{d, AB}$
ทะโล้	ผง	300	6.34±0.26 $^{f, A}$	6.21±0.40 $^{e, A}$	6.10±0.47 $^{e, A}$
		500	7.22±0.37 $^{d, B}$	6.93±0.45 $^{cd, B}$	8.61±0.49 $^{bc, A}$
		700	6.81±0.19 $^{de, B}$	6.88±0.85 $^{cd, B}$	8.00±0.69 $^{d, A}$
	สารสกัด	190	7.88±0.74 $^{c, AB}$	7.27±0.40 $^{c, B}$	8.47±0.85 $^{b-d, A}$
		320	8.31±0.24 $^{b, AB}$	8.57±0.30 $^{b, A}$	8.07±0.28 $^{cd, B}$
		450	10.08±0.64 $^{a, A}$	9.52±0.28 $^{a, B}$	9.35±0.31 $^{a, B}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.11 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าสีวันที่ 0			ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)							
			*L**	*a**	*b**	4	8	12	16	20	24	28	32
ควบคุม		-	75.13±0.30	7.62±0.14	6.82±0.38	2.27±0.60 ^{D}	3.16±0.58 ^{C}	3.19±0.65 ^{C}	4.32±0.42 ^{AB}	3.48±0.36 ^{C}	4.11±0.36 ^{AB}	3.73±0.86 ^{BC}	4.43±0.62 ^{A}
บีเอชที		100	75.36±0.22	7.98±0.11	6.54±0.16	0.98±0.28 ^{E}	1.96±0.46 ^{BC}	1.32±0.55 ^{DE}	1.07±0.30 ^{E}	1.45±0.73 $^{C-E}$	2.22±0.36 ^{B}	1.62±0.45 ^{CD}	4.03±0.59 ^{A}
คาทิชิน		100	74.30±0.80	7.89±0.10	6.44±0.23	0.79±0.39 ^{D}	1.06±0.58 $^{B-D}$	0.92±0.63 ^{D}	1.02±0.34 ^{CD}	1.82±0.87 ^{A}	1.10±0.70 $^{A-D}$	1.77±0.59 ^{AB}	1.68±1.01 $^{A-C}$
ติ้วขาว	ผง	300	69.75±0.59	7.46±0.20	8.52±0.26	1.10±0.31 ^{A}	1.24±0.53 ^{A}	1.40±0.66 ^{A}	1.12±0.17 ^{A}	1.43±0.36 ^{A}	1.41±0.62 ^{A}	1.20±0.24 ^{A}	1.24±0.44 ^{A}
		500	65.26±0.55	6.91±0.17	10.49±0.25	1.44±0.42 $^{A-C}$	1.06±0.65 $^{B-D}$	1.55±0.69 ^{AB}	0.90±0.35 ^{D}	0.99±0.38 ^{CD}	1.29±0.39 $^{A-D}$	1.61±0.50 ^{A}	1.45±0.36 $^{A-C}$
		700	66.22±1.01	6.87±0.23	10.73±0.23	2.24±0.90 ^{A}	2.50±0.84 ^{A}	2.37±0.81 ^{A}	2.19±0.62 ^{A}	1.82±0.77 ^{A}	1.87±0.40 ^{A}	2.39±0.43 ^{A}	2.36±0.70 ^{A}
	สารสกัด	190	71.11±0.54	8.40±0.25	6.62±0.58	1.79±1.02 ^{BC}	2.56±1.90 ^{B}	2.27±0.70 ^{BC}	2.15±1.28 ^{BC}	2.79±2.06 ^{B}	1.02±0.62 ^{C}	2.73±0.73 ^{B}	5.51±0.83 ^{A}
		320	72.46±0.52	8.67±0.31	6.69±0.56	1.07±0.47 ^{C}	1.50±0.77 ^{BC}	1.04±0.41 ^{C}	2.45±1.31 ^{AB}	1.77±0.60 ^{BC}	1.35±0.80 ^{BC}	3.11±1.94 ^{A}	1.80±0.72 ^{BC}
		450	70.23±1.71	8.87±0.45	8.48±1.29	3.27±2.14 ^{A}	3.43±1.35 ^{A}	2.88±2.14 ^{A}	1.93±1.29 ^{A}	3.04±1.92 ^{A}	2.46±1.04 ^{A}	3.46±1.90 ^{A}	2.41±1.85 ^{A}
ทะโล้	ผง	300	69.75±0.59	7.46±0.20	8.52±0.26	1.26±0.63 ^{AB}	1.63±0.61 ^{A}	1.07±0.38 ^{AB}	0.97±0.25 ^{B}	1.16±0.63 ^{AB}	1.02±0.31 ^{AB}	1.10±0.73 ^{AB}	1.06±0.61 ^{AB}
		500	65.26±0.55	6.91±0.17	10.49±0.25	2.08±0.92 ^{A}	2.36±01.06 ^{A}	2.15±0.76 ^{A}	1.49±0.77 ^{A}	1.95±1.07 ^{A}	2.06±1.32 ^{A}	1.82±0.82 ^{A}	2.28±0.51 ^{A}
		700	66.22±1.01	6.87±0.23	10.73±0.23	1.65±0.33 ^{BC}	1.86±1.14 $^{A-C}$	1.48±0.25 ^{C}	1.43±0.42 ^{C}	2.50±0.31 ^{A}	2.44±0.83 ^{A}	2.19±0.34 ^{AB}	1.94±0.59 $^{A-C}$
	สารสกัด	190	71.11±0.54	8.40±0.25	6.62±0.58	1.12±0.40 ^{C}	1.07±0.46 ^{C}	1.36±0.76 ^{BC}	1.68±0.74 $^{A-C}$	1.46±0.70 $^{A-C}$	2.38±1.06 ^{A}	2.14±1.08 ^{AB}	1.70±1.09 $^{A-C}$
		320	72.46±0.52	8.67±0.31	6.69±0.56	1.00±0.31 ^{BC}	1.10±0.63 ^{BC}	1.11±0.43 ^{BC}	1.00±0.56 ^{BC}	1.92±0.32 ^{A}	1.67±0.58 ^{AB}	1.68±1.41 ^{AB}	0.77±0.16 ^{C}
		450	70.23±1.71	8.87±0.45	8.48±1.29	1.58±0.93 ^{A}	1.78±0.99 ^{A}	1.75±0.87 ^{A}	1.39±1.14 ^{A}	1.94±0.71 ^{A}	1.91±1.25 ^{A}	2.26±1.23 ^{A}	1.95±1.11 ^{A}

หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

2) อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

ค่าความสว่างของแพตตี้หมูทุกตัวอย่างตลอดการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา120 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.12) ทั้งนี้เนื่องจาก การเก็บรักษาเนื้อสัตว์ที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโอโกลบินไปเป็นเมทไมโอโกลบิน (Varnam และ Sutherland, 1995) ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมพืชและสารสกัดพืชทุกๆ 15 วัน ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วันตามแผนการทดลองนั้น แสดงในตารางภาคผนวกที่ ง11 และ ง12

ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง (L^*) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	60	120
ควบคุม		-	75.13±0.30 $^{a, B}$	75.69±0.51 $^{a, A}$	76.05±0.42 $^{a, A}$
บีเอชที		100	75.36±0.22 $^{a, A}$	74.83±0.48 $^{b, B}$	75.46±0.23 $^{b, A}$
คาทิชิน		100	74.30±0.80 $^{b, B}$	75.43±0.33 $^{a, A}$	75.65±0.26 $^{ab, A}$
ติ้วขาว	ผง	300	69.75±0.59 $^{e, A}$	70.02±0.63 $^{f, A}$	70.05±0.65 $^{f, A}$
		500	65.26±0.55 $^{g, B}$	67.57±0.68 $^{g, A}$	67.60±0.84 $^{g, A}$
		700	66.22±1.01 $^{f, A}$	66.00±0.83 $^{h, A}$	66.30±0.42 $^{h, A}$
	สารสกัด	190	71.11±0.54 $^{d, C}$	74.25±0.58 $^{c, B}$	74.89±0.45 $^{c, A}$
		320	72.46±0.52 $^{c, C}$	73.47±0.28 $^{d, A}$	72.96±0.39 $^{d, B}$
		450	70.23±1.71 $^{e, B}$	71.91±0.59 $^{e, A}$	72.24±0.53 $^{e, A}$
ทะโล้	ผง	300	70.07±0.97 $^{b, B}$	71.08±0.50 $^{c, A}$	70.46±0.45 $^{d, B}$
		500	69.04±1.30 $^{b, A}$	70.15±0.99 $^{d, A}$	69.64±0.68 $^{e, A}$
		700	69.07±2.28 $^{b, A}$	68.28±0.58 $^{f, A}$	68.77±0.48 $^{f, A}$
	สารสกัด	190	70.67±0.60 $^{b, C}$	71.30±0.77 $^{c, B}$	72.26±0.24 $^{c, A}$
		320	69.61±0.89 $^{b, B}$	70.01±0.68 $^{d, B}$	70.84±0.43 $^{d, A}$
		450	70.22±3.14 $^{b, A}$	69.16±0.54 $^{e, A}$	69.57±0.42 $^{e, A}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ส่วนค่า a^* ของแพตตี้หมูในระหว่างเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า a^* ของแพตตี้หมูควบคุม มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.13) ในขณะที่แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที คาทิชิน และสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชทั้ง 2 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงค่า a^* เล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจาก สารต้านออกซิเดชันมีสมบัติในการให้อิเล็คตรอน ซึ่งจะช่วยยับยั้งการสร้างเมทไมโอโกลบินดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม ค่าa^* ของแพตตี้หมูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของแพตตี้หมูได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.13 ค่าสีแดง (a^*) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	60	120
ควบคุม		-	7.62±0.14 $^{d, A}$	6.21±0.08 $^{e, C}$	5.37±0.08 $^{e, G}$
บีเอชที		100	7.98±0.11 $^{c, A}$	7.94±0.05 $^{b, AB}$	7.52±0.08 $^{c, D}$
คาทิชิน		100	7.89±0.10 $^{c, B}$	7.48±0.09 $^{c, DE}$	7.28±0.09 $^{c, F}$
ติ้วขาว	ผง	300	7.88±0.25 $^{b, A}$	7.49±0.22 $^{c, C}$	7.49±0.22 $^{c, C}$
		500	7.40±0.09 $^{c, BC}$	7.44±0.30 $^{c, BC}$	7.44±0.30 $^{c, BC}$
		700	7.01±0.27 $^{d, A-C}$	6.85±0.29 $^{d, C}$	6.85±0.29 $^{d, C}$
	สารสกัด	190	8.19±0.25 $^{a, AB}$	7.93±0.35 $^{b, BC}$	7.93±0.35 $^{b, BC}$
		320	8.21±0.12 $^{a, CD}$	8.36±0.23 $^{a, B-D}$	8.36±0.23 $^{a, B-D}$
		450	8.15±0.25 $^{a, C}$	8.38±0.23 $^{a, BC}$	8.38±0.23 $^{a, BC}$
ทะโล้	ผง	300	8.35±0.09 $^{a, A}$	8.50±0.21 $^{a, A}$	8.11±0.18 $^{a, BC}$
		500	7.57±0.80 $^{c, A}$	7.72±0.23 $^{bc, AB}$	7.43±0.17 $^{bc, A-C}$
		700	7.02±0.50 $^{d, A}$	7.57±0.26 $^{c, A}$	7.25±0.13 $^{d, BC}$
	สารสกัด	190	8.09±0.36 $^{ab, AB}$	7.97±0.48 $^{b, B}$	8.23±0.10 $^{a, AB}$
		320	8.35±0.28 $^{a, A}$	7.84±0.17 $^{b, BC}$	7.30±0.13 $^{cd, E}$
		450	6.78±0.54 $^{d, A}$	7.52±0.24 $^{c, A}$	6.42±0.21 $^{e, E}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดพืช มีค่าคงที่ตลอดการเก็บรักษา 120 วัน (ตารางที่ 4.14) ในขณะที่แพตตี้หมูควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และคาทิชินให้ผลเช่นเดียวกับที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส คือ มีค่า b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของผงพืชและสารสกัดพืช มีผลทำให้ค่า b^* ในแพตตี้หมูมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.14 ค่าสีเหลือง (b^*) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	60	120
ควบคุม		-	6.82±0.38 $^{c, C}$	7.61±0.10 $^{d, B}$	8.50±0.07 $^{c, A}$
บีเอชที		100	6.54±0.16 $^{c, C}$	7.28±0.09 $^{f, B}$	7.79±0.06 $^{d, A}$
คาทิชิน		100	6.44±0.23 $^{c, C}$	7.03±0.13 $^{g, B}$	7.53±0.09 $^{e, A}$
ติ้วขาว	ผง	300	8.52±0.26 $^{b, A}$	8.39±0.26 $^{c, A}$	8.48±0.16 $^{c, A}$
		500	10.49±0.25 $^{a, A}$	10.15±0.24 $^{b, B}$	10.42±0.34 $^{b, AB}$
		700	10.73±0.23 $^{a, B}$	10.77±0.41 $^{a, B}$	11.27±0.31 $^{a, A}$
	สารสกัด	190	6.62±0.58 $^{c, B}$	7.37±0.28 $^{ef, A}$	6.84±0.30 $^{f, B}$
		320	6.69±0.56 $^{c, B}$	7.56±0.18 $^{de, A}$	7.50±0.13 $^{e, A}$
		450	8.48±1.29 $^{b, A}$	7.61±0.15 $^{d, B}$	7.75±0.18 $^{d, AB}$
ทะโล้	ผง	300	6.34±0.26 $^{f, B}$	6.65±0.18 $^{f, A}$	6.74±0.14 $^{e, A}$
		500	7.22±0.37 $^{d, A}$	6.71±0.20 $^{f, B}$	6.60±0.16 $^{ef, B}$
		700	6.81±0.19 $^{de, A}$	6.76±0.21 $^{f, A}$	6.53±0.21 $^{f, B}$
	สารสกัด	190	7.88±0.74 $^{c, A}$	7.50±0.37 $^{cd, A}$	7.43±0.18 $^{d, A}$
		320	8.31±0.24 $^{b, B}$	8.80±0.15 $^{b, A}$	8.49±0.16 $^{b, B}$
		450	10.08±0.64 $^{a, A}$	10.44±0.39 $^{a, A}$	10.28±0.32 $^{a, A}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (พิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม) และ ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.15 พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ของแพตตี้หมูควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ให้ผลเช่นเดียวกันกับแพตตี้หมูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดการเก็บรักษา ในขณะที่แพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดพืชมีค่า ΔE ค่อนข้างคงที่ ($p<0.05$) ยกเว้น แพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาว 500 พีพีเอ็ม และแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว 190 และ 450 พีพีเอ็ม ส่วนแพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้และสารสกัดทะโล้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE เล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์สีของแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดพืชที่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ-18 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* และ ΔE ค่อนข้างคงที่ ($p>0.05$) ตลอดการเก็บรักษา แต่การเก็บรักษาแพตตี้หมูที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สีแพตตี้หมูได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากสามารถชะลออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหารลงได้

ตารางที่ 4.15 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมติ้วขาวและทะโล้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างแพตตี้หมู		ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าสีวันที่ 0			ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)							
			L^*	a^*	b^*	15	30	45	60	75	90	105	120
ควบคุม		-	75.13±0.30	7.62±0.14	6.82±0.38	1.22±0.19 ^{F}	2.40±0.32 ^{CD}	2.34±0.28 ^{CD}	1.84±0.30 ^{E}	2.21±0.16 ^{D}	2.50±0.19 ^{BC}	2.69±0.30 ^{B}	3.01±0.27 ^{A}
บีเอชที		100	75.36±0.22	7.98±0.11	6.54±0.16	0.62±0.20 ^{D}	0.68±0.29 ^{D}	0.54±0.22 ^{D}	1.01±0.30 ^{C}	1.13±0.40 $^{A-C}$	1.30±0.22 ^{AB}	1.06±0.20 ^{BC}	1.37±0.19 ^{A}
คาทิชิน		100	74.30±0.80	7.89±0.10	6.44±0.23	1.28±0.92 ^{B}	1.35±0.62 ^{B}	1.62±0.51 ^{AB}	1.41±0.39 ^{AB}	1.57±0.38 ^{AB}	1.79±0.48 ^{AB}	1.79±0.40 ^{AB}	2.00±0.56 ^{A}
ติ้วขาว	ผง	300	69.75±0.59	7.46±0.20	8.52±0.26	0.86±0.44 ^{A}	0.91±0.39 ^{A}	0.98±0.54 ^{A}	0.89±0.30 ^{A}	0.87±0.27 ^{A}	0.85±0.46 ^{A}	0.90±0.58 ^{A}	0.81±0.55 ^{A}
		500	65.26±0.55	6.91±0.17	10.49±0.25	1.14±0.62 ^{C}	1.52±0.68 ^{BC}	2.62±0.83 ^{A}	2.42±0.72 ^{A}	2.24±0.85 ^{AB}	2.15±0.43 ^{AB}	2.49±0.82 ^{A}	2.49±1.13 ^{A}
		700	66.22±1.01	6.87±0.23	10.73±0.23	0.98±0.61 ^{A}	1.10±0.70 ^{A}	1.33±0.57 ^{A}	1.03±0.52 ^{A}	1.09±0.58 ^{A}	0.88±0.33 ^{A}	1.04±0.49 ^{A}	0.97±0.37 ^{A}
	สารสกัด	190	71.11±0.54	8.40±0.25	6.62±0.58	2.43±0.77 ^{C}	2.77±0.86 ^{BC}	3.28±0.94 $^{A-C}$	3.40±0.72 ^{AB}	3.56±0.94 ^{AB}	3.23±0.81 $^{A-C}$	3.59±0.69 ^{AB}	3.87±0.86 ^{A}
		320	72.46±0.52	8.67±0.31	6.69±0.56	1.42±0.54 ^{A}	0.86±0.36 ^{B}	1.24±0.44 ^{AB}	1.58±0.49 ^{A}	1.55±0.59 ^{A}	1.31±0.33 ^{AB}	1.26±0.63 ^{AB}	1.18±0.41 ^{AB}
		450	70.23±1.71	8.87±0.45	8.48±1.29	1.77±1.19 ^{A}	2.07±1.51 ^{A}	2.34±1.51 ^{A}	2.45±1.74 ^{A}	2.53±1.99 ^{A}	2.62±1.83 ^{A}	2.52±1.58 ^{A}	2.70±1.83 ^{A}
ทะโล้	ผง	300	69.75±0.59	7.46±0.20	8.52±0.26	0.62±0.17 ^{B}	0.90±0.57 ^{AB}	0.80±0.41 ^{AB}	1.31±0.83 ^{A}	0.96±0.59 ^{AB}	1.11±0.64 ^{AB}	0.89±0.28 ^{AB}	1.16±0.59 ^{AB}
		500	65.26±0.55	6.91±0.17	10.49±0.25	1.32±0.87 ^{A}	1.64±0.88 ^{A}	1.75±1.01 ^{A}	1.76±1.11 ^{A}	1.39±0.93 ^{A}	1.33±0.48 ^{A}	1.39±0.57 ^{A}	1.63±1.03 ^{A}
		700	66.22±1.01	6.87±0.23	10.73±0.23	2.16±1.18 ^{A}	2.39±0.94 ^{A}	2.71±1.03 ^{A}	2.22±0.84 ^{A}	2.48±0.52 ^{A}	2.45±0.72 ^{A}	2.42±0.95 ^{A}	2.20±0.43 ^{A}
	สารสกัด	190	71.11±0.54	8.40±0.25	6.62±0.58	2.05±0.75 ^{A}	0.97±0.43 ^{B}	1.17±0.47 ^{B}	1.23±0.36 ^{B}	2.01±0.41 ^{A}	1.87±0.56 ^{A}	1.77±0.50 ^{A}	1.90±0.58 ^{A}
		320	72.46±0.52	8.67±0.31	6.69±0.56	1.19±0.48 ^{BC}	1.37±0.41 ^{BC}	1.01±0.33 ^{C}	1.15±0.45 ^{BC}	1.69±0.60 ^{AB}	2.27±0.87 ^{A}	1.80±0.70 ^{AB}	1.80±0.69 ^{AB}
		450	70.23±1.71	8.87±0.45	8.48±1.29	3.59±2.02 ^{A}	3.76±2.36 ^{A}	3.36±1.83 ^{A}	3.15±1.13 ^{A}	3.45±0.86 ^{A}	2.85±1.05 ^{A}	3.33±1.94 ^{A}	2.81±1.06 ^{A}

หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C ตามแถวแนวนอนที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแพตตี้หมูปรุงสุกระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.3.2.1 ค่า TBARS

การวิเคราะห์ค่า TBARS เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ คาร์บอนิล และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการวัดสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไทโอบาร์บิทูริคกับไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งความเข้มของสีชมพูแดงแปรผันโดยตรงกับสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และรายงานค่าเป็นมิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) ต่อกิโลกรัม สำหรับการทดสอบการหืนของแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดจากพืช ได้ทดลองเก็บไว้ที่ อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

1) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

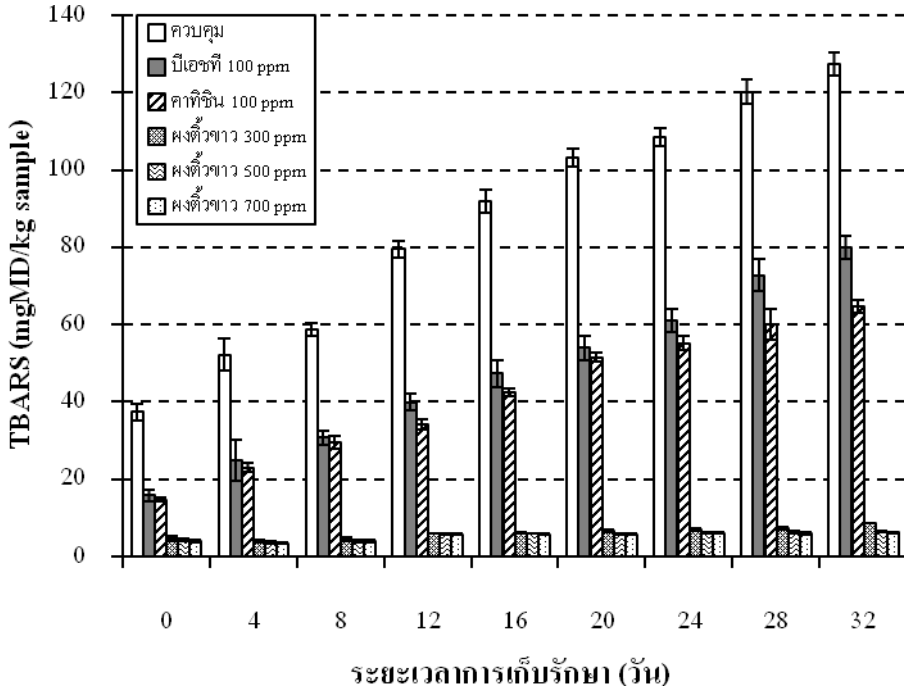
ผลการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผงติ้วขาว สารสกัดติ้วขาวเข้มข้น ผงทะโล้ และสารสกัดทะโล้เข้มข้น ในแพตตี้หมูปรุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการวิเคราะห์ค่า TBARS ทุกๆ 4 วัน เป็นเวลา 32 วัน

- ติ้วขาว

ในวันที่ 0 ตัวอย่างควบคุม(ไม่เติมพืชบด) มีค่า TBARS สูงที่สุด (37.34 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) รองลงมาได้แก่ แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน มีค่าเท่ากับ 15.79 และ 14.77 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวที่ความเข้มข้นต่างๆ มีค่า TBARS ระหว่าง 4.04-4.77 มิลลิกรัมมาโลน-ไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่า ผงติ้วขาว สามารถยับยั้ง การเกิดออกซิเดชันของไขมันในแพตตี้หมูได้ ตั้งแต่ขั้นตอนการบดผสม การบ่มเนื้อที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 6-8 ชั่วโมง และการให้ความร้อนในการปรุงสุก

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการบดผสม ไปจนถึงการปรุงสุก โดยขั้นตอนการบดผสมนี้ จะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างไขมันในเนื้อสัมผัสกับออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น และการบ่มเนื้อที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนั้น เป็นการชะลอการเกิดออกซิเดชัน แต่เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในอาหาร เช่น เอนไซม์ไลเปส หรือเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (http://www.nsru.ac.th/e-learning/meattech/lesson/less12_5.html, 2551) ยังคงมีกิจกรรมอยู่ รวมทั้งยังสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ หรือปฏิกิริยาทางเคมีได้ อาจส่งผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ สภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เช่น สภาวะที่มีออกซิเจน จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันมากขึ้นด้วย (Juntachote และคณะ, 2006) อีกทั้งในขั้นตอนการให้ความร้อนในกระบวนการปรุงสุกนั้น ทำให้โครงสร้างของกล้ามเนื้อเกิดการสลายตัวและ เป็นตัวกระตุ้นหลัก

ที่ทำให้เกิดการหืนในเนื้อปรุงสุก โดยความร้อนจะไปทำลายโครงสร้างของฮีม (haem) ทำให้อิออนของเหล็กถูกปลดปล่อยออก (Fernandez-Lopez และคณะ, 2003) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมผงติ้วขาวในแพตตี้หมู สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในขั้นตอนการเตรียมแพตตี้หมูได้ดีกว่าแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.2 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงติ้วขาวเปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

การเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาจาก 0 เป็น 32 วัน ค่า TBARS ในตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมพืชบด) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้ สามารถใช้ในการตรวจติดตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี โดยตัวอย่างควบคุมมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นจาก 37.34±2.15 เป็น 127.35±2.99 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม อีกทั้งยังพบว่า การเติมบีเอชที และคาทิชินที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการเติมวัตถุกันหืนทั้งสอง เป็นการชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในแพตตี้หมูที่เติม คาทิชินมีค่าต่ำกว่าในแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่าคาทิชินมีประสิทธิภาพดีกว่าบีเอชที สอดคล้องกับ Shahidi และ Alexander (1998) ที่

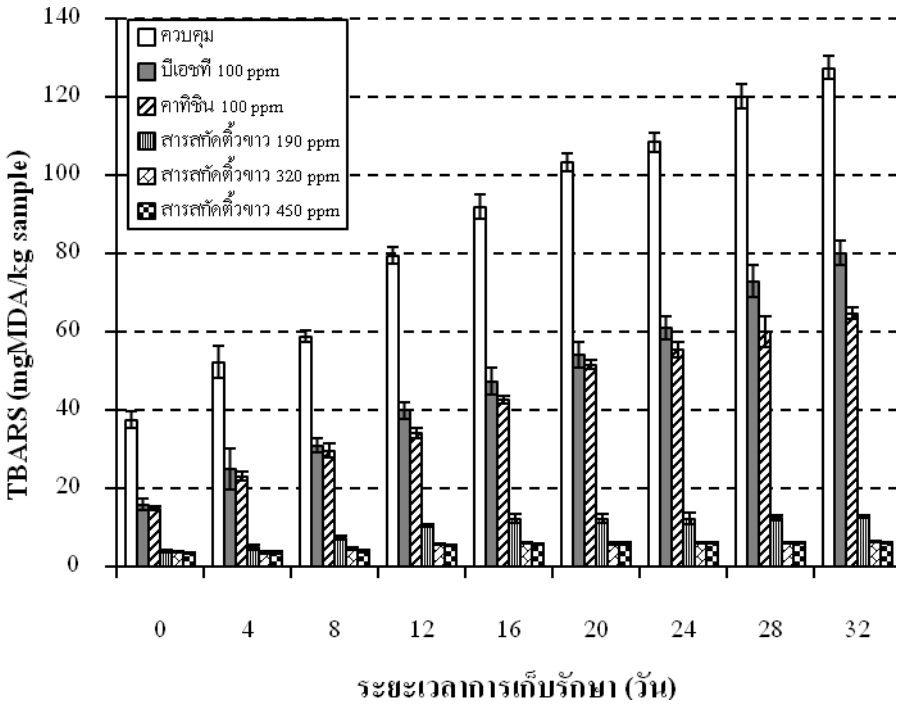
รายงานว่า คาทิชิน 200 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS ดีกว่าบีเอชที 200 พีพีเอ็ม ในแบบจำลองเนื้อสัตว์

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ผงติ้วขาวสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในแพตตี้หมูปรุงสุกตลอดระยะเวลาการเก็บ 32 วัน โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นตัวอย่างที่เติมผงติ้วขาว 700 พีพีเอ็ม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โครงสร้าง *O*-diphenolic ของกรดคลอโรจีนิก ชนิด 5-คาเฟ-โออิลควินิก (5-*O*-caffeoylquinic acid) ที่พบในติ้วขาว สามารถทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับไอออนของโลหะ (ทองแดง (Cu^{2+}), เหล็ก (Fe^{2+})) หรืออนุมูลอิสระ ได้เป็น *O*-quinone ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในขั้นตอนการเพิ่มจำนวน และยังกระตุ้นการสลายตัวของ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์อีกด้วย (Maisuthisakul และคณะ, 2007a; Maisuthisakul และ Charuchongkolwongse, 2007) สำหรับการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของค่า TBARS จาก 4.04 เป็น 6.24 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ ต่อกิโลกรัม แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเนื่องจาก สารประกอบจำพวก อัลดีไฮด์ คาร์บอนิล และไฮโดรคาร์บอน เช่น เฮกซานอล (Allen และ Hamilton, 1994) เป็นสารระเหย จึงอาจระเหยออกจากตัวอย่างในระหว่างการเก็บรักษา และการวิเคราะห์ตัวอย่างได้

นอกจากนี้ พบว่า การเติมผงติ้วขาวเข้มข้น 300, 500 และ 700 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.2) แสดงว่า การเติมผงติ้วขาว 300 พีพีเอ็ม นั้น เพียงพอต่อการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเพิ่มปริมาณผงติ้วขาว จาก 300 เป็น 700 พีพีเอ็ม ไม่ทำให้ผงติ้วขาวแสดงสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Rey และคณะ (2005) ที่รายงานว่า การเติมสารกันหืนจากคราวเบอร์รี บีทรูท และวิลโลว์เฮิร์บ ที่ระดับความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ในแพตตี้หมูปรุงสุก เช่นเดียวกับรายงานของ Juntachote และคณะ (2007a) ที่ทดสอบใน หมูบดปรุงสุก อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและประสิทธิภาพของสารต้านการหืนด้วย (Juntachote และคณะ, 2006)

การใช้ติ้วขาวในรูปสารสกัดในแพตตี้หมูปรุงสุก พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับการใช้ผงพืช (ภาพที่ 4.3) โดยสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น 190 พีพีเอ็ม ในแพตตี้หมูสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของ ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกได้ดีกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มีค่า TBARS เท่ากับ 12.73, 80.03 และ 64.70 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนการเติมสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น 320 และ 450 พีพีเอ็มในแพตตี้หมู พบว่า สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในแพตตี้หมูได้ โดยค่า TBARS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0

แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณสารสกัดติ้วขาวในแพตตี้หมูปรุงสุกสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ สอดคล้องกับการใช้สารสกัดพืชในการยับยั้งการหืนของเนื้อสัตว์ เช่น สารสกัดโรสแมรี่ เปลือกองุ่น ชาเขียว และกาแฟ สามารถยับยั้งการหืนในแพตตี้หมูปรุงสุก ภายใต้สภาวะการเก็บแบบที่มีอากาศ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน (Nissen และคณะ, 2004)



ภาพที่ 4.3 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมสารสกัดติ้วขาวเปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

เมื่อเปรียบเทียบผลการยับยั้งการหืนระหว่างผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาวในแพตตี้หมู ปรุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ตาราง 4.16) พบว่า ในวันที่ 0 แพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น มีค่า TBARS อยู่ในช่วง 3.36-4.77 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นค่าสูงสุด และต่ำสุด โดยแพตตี้หมูที่เติมผงพืช 300 พีพีเอ็มที่มีค่า TBARS สูงกว่าที่เติมสารสกัดติ้วขาว 450 พีพีเอ็มเล็กน้อย แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สารสกัดพืชนั้น ได้จากการสกัด และทำให้เข้มข้น จึงมีปริมาณสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ในการยับยั้งการหืนมากกว่า อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา พบว่า ค่า TBARS ของแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว 190 พีพีเอ็ม มีค่า TBARS เพิ่มสูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวตัวอย่างอื่นๆ ทั้งนี้อาจ เกิดจากการสูญเสียองค์ประกอบที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันไป โดยทั่วไป

ตามธรรมชาตินั้น เซลล์ (intact cell) ทำหน้าที่ในการป้องกันสารสำคัญจากสภาพแวดล้อมทำให้ยากแก่การสลายตัว หรือ สูญเสียสมบัติในการต้านการหืน แต่ในการสกัดสารสำคัญนั้น สารจะถูกสกัดออกจากเซลล์ และเมื่อสัมผัสกับสภาพแวดล้อมจึงเกิดการสลายตัว หรือ สูญเสียสมบัติในการต้านการหืนได้ง่ายกว่า (Xu และ Chang, 2008) สอดคล้องกับรายงานของ Juntachote และคณะ (2007a) ที่พบ การเติมผงกะเพรามีศักยภาพดีกว่าสารสกัดกะเพราในหมูบดปรุงสุก

- ทะโล้

การเติมผงทะโล้ในแพตตี้หมูปรุงสุก และเก็บไว้ในวันที่ 0 พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับการเติมผงติ้วขาว โดยผงทะโล้สามารถยับยั้งการหืนของไขมันในขั้นตอนการเตรียมและการปรุงสุก มีค่า TBARS ระหว่าง 3.62-4.36 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.4) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมและแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และคาทิชินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่มีค่า TBARS ระหว่าง 14.77-37.34 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม เนื่องจาก ในใบทะโล้ประกอบด้วย สารกลุ่มฟลาโวนอยด์อะไกลโคน (flavonoid aglycone) ชนิด ฟลาโวนอล และเควอ-ซีติน (Joshi, 2006) โดยสารประกอบกลุ่มนี้สามารถจับกับอนุมูลอิสระ เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมันได้ (Lakhanpal และ Kumar Rai, 2007)

การเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่า TBARS ของตัวอย่างควบคุมและแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และคาทิชินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ แพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้เข้มข้นต่างๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า TBARS ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาอยู่ระหว่าง 6.10-7.06 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม อีกทั้งยังพบว่า การเพิ่มปริมาณผงทะโล้ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS และการใช้ผงทะโล้เข้มข้น 300 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในแพตตี้หมูที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 32 วันได้ดี

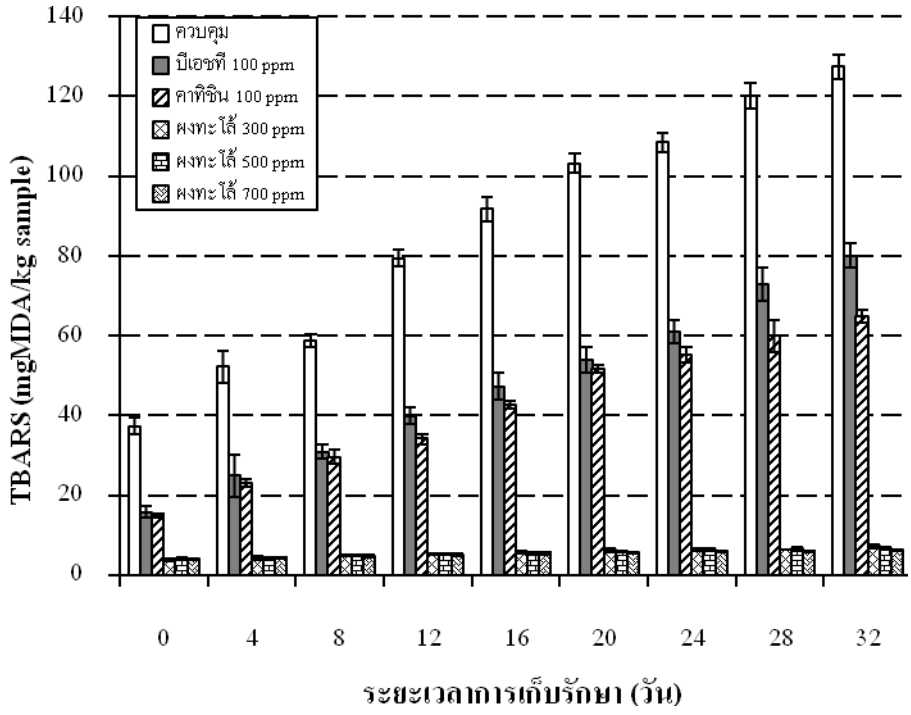
สำหรับการเติมสารสกัดทะโล้ในแพตตี้หมู พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกัน โดยการเติมสารสกัดทะโล้ทุกความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ทั้งในวันที่ 0 และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.6) ดังนั้น การเติมสารสกัดทะโล้ที่ความเข้มข้น 190 พีพีเอ็ม จึงเป็นความเข้มข้นที่ต่ำสุด ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในแพตตี้หมู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไว้ได้นาน 32 วัน

ตารางที่ 4.16 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวและทะโล้ ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

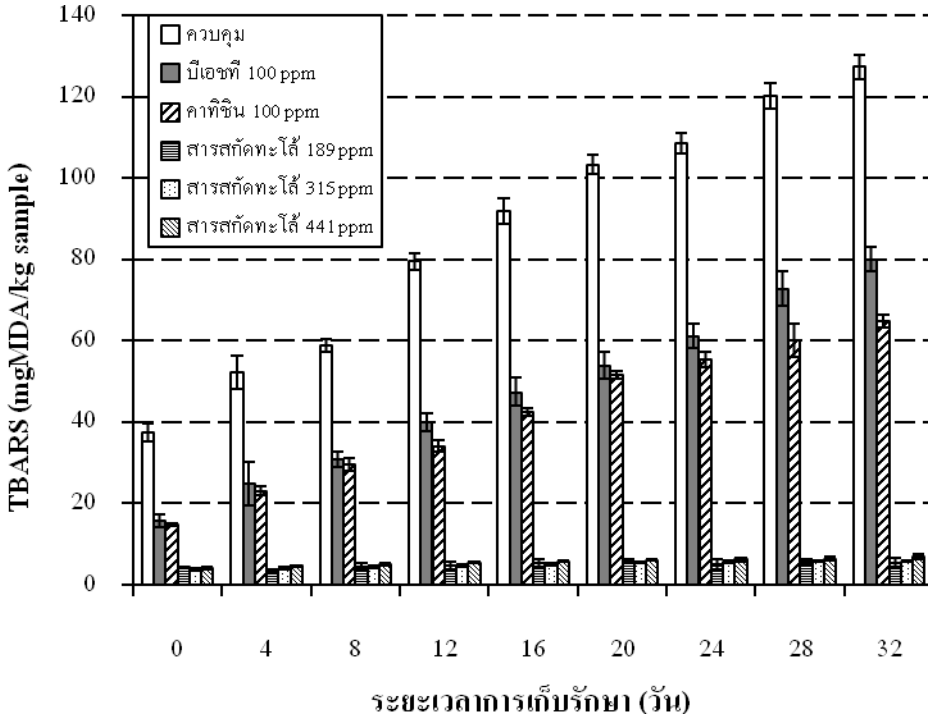
ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	ผง						สารสกัด					
	ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)			ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)		
	300	500	700	300	500	700	190	320	450	190	320	450
0	4.77±0.66$^{e, A}$	4.38±0.40$^{d, B}$	4.04±0.33$^{e, B-D}$	3.76±0.29$^{f, CD}$	4.00±0.26$^{f, C-E}$	3.89±0.21$^{g, E}$	3.93±0.28$^{d, C-E}$	3.72±0.19$^{e, B-D}$	3.36±0.23$^{d, C-D}$	4.36±0.13$^{g, C-E}$	3.62±0.32$^{d, DE}$	4.11±0.34$^{f, BC}$
4	3.91±0.39$^{f, CD}$	3.65±0.28$^{f, DE}$	3.48±0.26$^{f, E}$	4.19±0.36$^{e, A}$	4.26±0.17$^{f, E}$	4.19±0.24$^{f, E}$	4.83±0.56$^{d, C}$	3.46±0.23$^{f, BC}$	3.50±0.22$^{d, C}$	3.48±0.36$^{f, BC}$	3.92±0.35$^{d, CD}$	4.61±0.20$^{e, AB}$
8	4.46±0.56$^{e, C}$	4.04±0.25$^{e, D}$	3.98±0.25$^{e, D}$	4.85±0.27$^{d, A}$	4.98±0.15$^{e, C}$	4.73±0.22$^{e, D}$	7.18±0.45$^{c, B-C}$	4.49±0.27$^{d, B}$	3.80±0.28$^{c, B-C}$	4.51±0.92$^{e, BC}$	4.46±0.28$^{c, C}$	4.97±0.24$^{e, B}$
12	6.02±0.11$^{d, B}$	5.81±0.33$^{c, B}$	5.74±0.17$^{cd, BC}$	5.17±0.25$^{d, A}$	5.13±0.20$^{e, BC}$	4.94±0.30$^{e, D}$	10.37±0.48$^{b, DE}$	5.69±0.26$^{c, DE}$	5.34±0.27$^{b, EF}$	4.62±0.86$^{d, DE}$	4.78±0.35$^{bc, F}$	5.42±0.22$^{d, CD}$
16	6.15±0.25$^{d, B}$	6.02±0.09$^{c, B}$	5.82±0.23$^{b-d, BC}$	5.72±0.31$^{c, A}$	5.42±0.11$^{d, B}$	5.39±0.31$^{d, BC}$	12.15±1.16$^{a, BC}$	6.01±0.14$^{ab, CD}$	5.73±0.19$^{a, CD}$	5.23±0.90$^{c, BC}$	5.09±0.35$^{b, D}$	5.67±0.21$^{cd, BC}$
20	6.64±0.31$^{c, B}$	5.87±0.09$^{c, CD}$	5.66±0.18$^{d, CD}$	6.07±0.49$^{bc, A}$	5.81±0.15$^{c, CD}$	5.62±0.15$^{cd, CD}$	12.22±1.07$^{a, C}$	5.84±0.24$^{bc, CD}$	5.72±0.25$^{a, CD}$	5.77±0.35$^{b, CD}$	5.44±0.30$^{a, D}$	6.00±0.15$^{bc, C}$
24	6.93±0.36$^{bc, B}$	6.09±0.23$^{bc, C}$	6.01±0.14$^{a-c, C}$	6.22±0.24$^{b, A}$	6.22±0.29$^{b, C}$	5.81±0.22$^{bc, C}$	12.08±1.51$^{a, C}$	6.02±0.17$^{ab, C}$	5.91±0.24$^{a, C}$	4.98±1.18$^{b, C}$	5.55±0.24$^{a, C}$	6.15±0.46$^{b, C}$
28	7.25±0.30$^{b, B}$	6.37±0.24$^{ab, C}$	6.09±0.29$^{ab, C-E}$	6.30±0.13$^{b, A}$	6.41±0.43$^{ab, C-F}$	5.91±0.12$^{ab, EF}$	12.41±0.67$^{a, CD}$	6.03±0.23$^{ab, C}$	5.87±0.11$^{a, D-F}$	5.65±0.71$^{ab, C-E}$	5.67±0.11$^{a, F}$	6.41±0.42$^{b, C}$
32	8.59±0.11$^{a, B}$	6.52±0.20$^{a, DE}$	6.24±0.22$^{a, E-G}$	7.06±0.37$^{a, A}$	6.52±0.31$^{a, E-G}$	6.10±0.21$^{a, GH}$	12.73±0.38$^{a, C}$	6.22±0.20$^{a, C}$	5.96±0.18$^{a, FG}$	5.30±1.18$^{a, EF}$	5.73±0.11$^{a, H}$	6.82±0.58$^{a, CD}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.4 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงทะโล้เปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน



ภาพที่ 4.5 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมสารสกัดทะโล้เปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

ความสามารถในการยับยั้งการหืนของผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาว แสดงดัง ตารางที่ 4.16 โดยพบว่า การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS จากวันที่ 0 เป็นวันที่ 32 ของแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว 190 พีพีเอ็มเพิ่มขึ้นจาก 3.93 เป็น 12.73 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ในขณะที่ แพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวที่ความเข้มข้นเดียวกัน มีค่า TBARS เพิ่มขึ้นจาก 4.77 เป็น 8.59 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม แสดงว่า การเติมผงติ้วขาวมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนได้ดีกว่าสารสกัด ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันในระหว่างการสกัด หรือ การเก็บรักษา ดังที่ได้อภิปรายไว้แล้ว แต่การเพิ่มความเข้มข้นของทั้ง ผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาวเป็น 500 และ 450 พีพีเอ็ม พบว่า ค่า TBARS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 2.14-2.6 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ ต่อกิโลกรัม ดังนั้น การเติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาวที่ความเข้มข้น 500 และ 320 พีพีเอ็ม ตามลำดับ จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนของแพตตี้หมูได้ อย่างไรก็ตาม การใช้สารสกัดติ้วขาว อาจทำให้ลักษณะปรากฏของแพตตี้หมูดีกว่าการใช้ผงติ้วขาว เนื่องจาก สารสกัดติ้วขาวได้ผ่านขั้นตอนการทำลายสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งทำให้มีสีใกล้เคียงกับสีของตัวอย่างควบคุมมากกว่าแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวที่มีสีน้ำตาลคล้ำ

นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการยับยั้งการหืนของผงทะโล้และสารสกัดทะโล้ พบว่า ให้ผลคล้ายคลึงกับการเติมติ้วขาว แต่การเติมสารสกัดทะโล้ที่ความเข้มข้น 190 พีพีเอ็ม ให้ผลเช่นเดียวกับการใช้ความเข้มข้นที่สูงกว่า โดยมีการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ระหว่าง 0.94 -2.71 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ ต่อกิโลกรัม ดังนั้น การเติมสารสกัดทะโล้เข้มข้น 190 พีพีเอ็ม หรือผงทะโล้เข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นั้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนของแพตตี้หมูได้

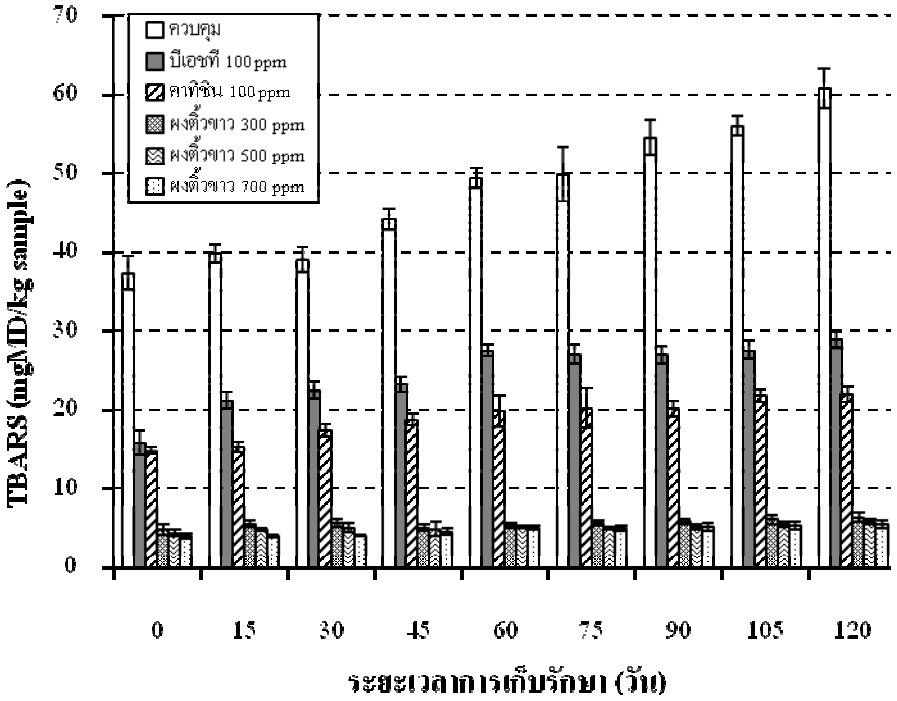
ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ผงพืชที่ความเข้มข้น 300 พีพีเอ็ม หรือสารสกัดจากพืชที่ความเข้มข้น 190 พีพีเอ็ม มีผลให้ค่า TBARS สูงกว่าและการใช้ผงพืชที่ความเข้มข้น 500 และ 700 พีพีเอ็ม หรือสารสกัดจากพืชที่ความเข้มข้น 320 และ 450 พีพีเอ็ม ยกเว้น แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ 190 พีพีเอ็ม อีกทั้งยัง พบว่า การใช้ผงพืชที่ความเข้มข้น 500 และ 700 พีพีเอ็ม หรือสารสกัดจากพืชที่ความเข้มข้น 320 และ 450 พีพีเอ็ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

2) อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

การประเมินความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไขมันจากการวิเคราะห์ค่า TBARS ในแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงพืชความเข้มข้น 300-700 พีพีเอ็ม และสารสกัดจากพืชเข้มข้น 190-450 พีพีเอ็ม แล้วบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) ปิดผนึก และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน โดยการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุก ๆ 15 วัน

- ติ้วขาว

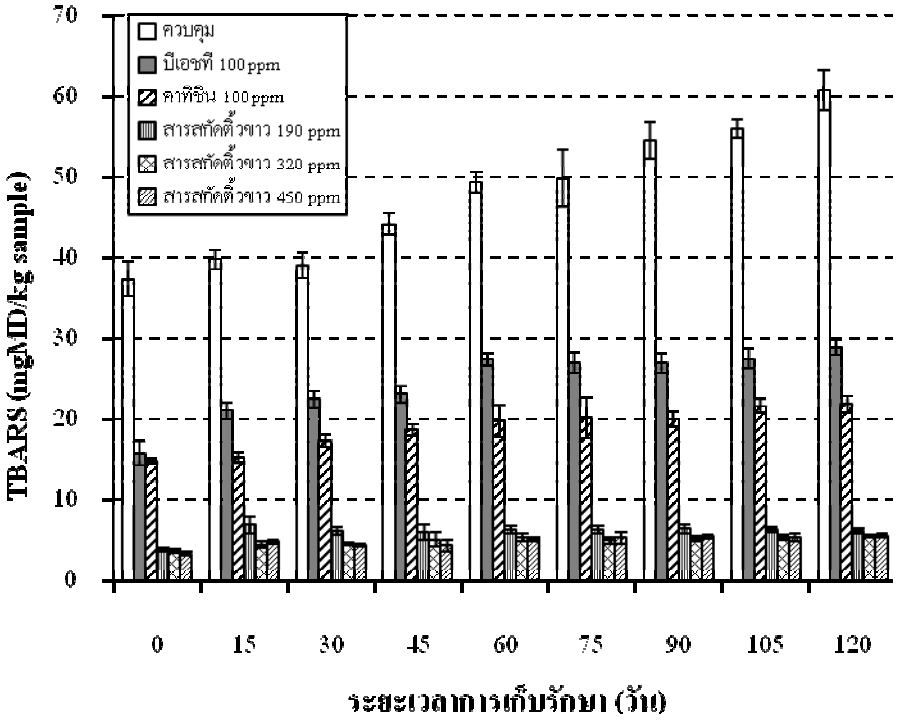
ค่า TBARS ในระหว่างเก็บรักษาแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาว ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยพบว่า ค่า TBARS ของตัวอย่างควบคุม และแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และคาทิชินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เติมผงพืชในวันที่ 0 และมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา 120 วัน แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ของตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมสารกันหืนทั้ง 2 ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสมีอัตราที่ต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.6) โดยมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นเท่ากับ 60.77±2.57, 28.86±0.98 และ 21.88±1.03 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่า การใช้คาทิชินให้ผลดีกว่าบีเอชที ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเช่นกัน การออกซิเดชันของไขมันสามารถเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะหากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (initiation) แล้วจะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเพิ่มจำนวน (propagation) ได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วย (Kobus-Cisowska และคณะ, 2010) ดังนั้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จึงเป็นเพียงการชะลอปฏิกิริยาเท่านั้น (นิธิยา, 2544)



ภาพที่ 4.6 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงติ้วขาวเปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

ส่วนการเติมผงติ้วขาวสามารถยับยั้งการออกซิเดชันของไขมันได้ดี โดยพบการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS เพียงเล็กน้อย หรือจาก 4.04-4.77 เป็น 5.42-6.31 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของผงติ้วขาวจาก 300 เป็น 700 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งการออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่า และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.5$) (ภาพที่ 4.6) อย่างไรก็ตาม การเติมผงติ้วขาวเข้มข้น 0300 พีพีเอ็ม ก็มีประสิทธิภาพเพียงพอในการยับยั้งการหืนของแพตตี้หมูปรุงสุกที่อุณหภูมิและระยะเวลาดังกล่าว

สำหรับความสามารถในการยับยั้งออกซิเดชันของไขมัน ของสารสกัดติ้วขาวให้ผลเช่นเดียวกับผงติ้วขาว (ภาพที่ 4.7) โดยพบว่า สารสกัดติ้วขาวสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดีในทุกความเข้มข้น แต่มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันในทุกๆความเข้มข้นที่ทดสอบ ดังนั้น การเติมสารสกัดติ้วขาว 190 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งการหืนของแพตตี้หมูปรุงสุกที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 วันได้

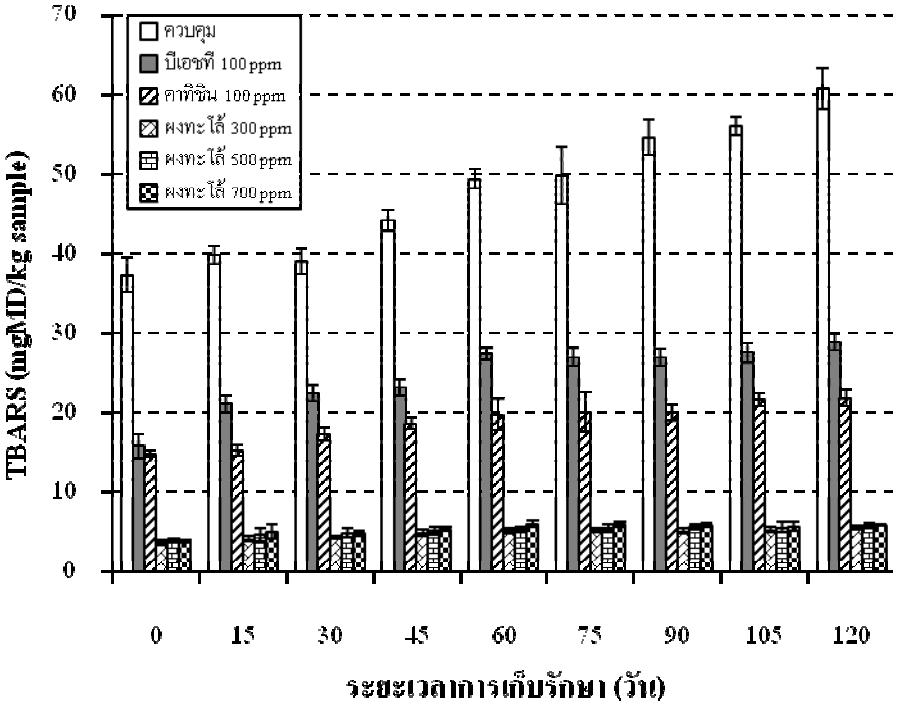


ภาพที่ 4.7 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมสารสกัดติ้วขาวเปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

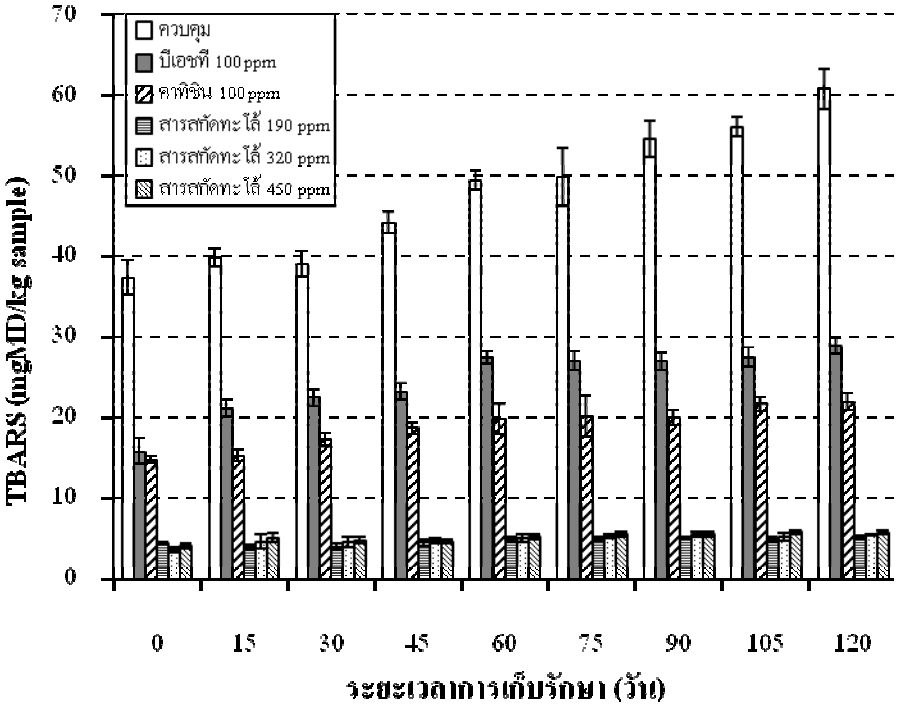
- ทะโล้

การเติมผงทะโล้ในแพตตี้หมู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งออกซิเดชันของไขมัน ได้เช่นเดียวกับการทดลองของผงพืชและสารสกัดพืช ทั้งในวันที่ 0 และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 120 วัน และการเพิ่มปริมาณผงพืชจาก 300 เป็น 700

พีพีเอ็ม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.8) ส่วนการเติมสารสกัดทะโล้ก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับการเติมผงทะโล้ และไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้น ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.9) ดังนั้น การเติมผงทะโล้ 300 พีพีเอ็มหรือสารสกัดทะโล้ 190 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งการหืนของแพตตี้หมูปรุงสุกที่อุณหภูมิและระยะเวลาดังกล่าวได้



ภาพที่ 4.8 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมผงทะโล้เปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน



ภาพที่ 4.9 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมสารสกัดทะโล้เปรียบเทียบกับสารกันหืนชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

การประเมินความสามารถในการยับยั้งออกซิเดชันของผงพืชทั้ง 2 ชนิด ในแพตตี้หมูปรุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน (ตารางที่ 4.17) พบว่า การเติมผงติ้วขาวมีการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS อยู่ระหว่าง 1.38-1.54 มิลลิกรัมมาโลน-ไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ในขณะที่การเติมสารสกัดติ้วขาวมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นระหว่าง 1.84-2.28 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนการเติมผงทะโล้ในแพตตี้หมูให้ผลให้ทิศทางตรงกันข้าม โดยการเติมสารสกัด และผงทะโล้มีค่า TBARS เพิ่มขึ้นเป็น 0.7-1.81 และ 1.82-2.03 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน จากผลการทดลองแสดงว่า การเติมพืชทั้ง 2 ชนิด ไม่ว่าจะอยู่ในรูปผงพืช หรือสารสกัดจากพืชนั้น ให้ผลเช่นเดียวกัน และการเติมผงพืชและสารสกัดพืชที่ความเข้มข้นต่ำสุด คือ ที่ระดับ 300 และ 190 พีพีเอ็มตามลำดับ จะให้ผลให้การยับยั้งการเกิดออกซิเดชันที่ดีในการเก็บแพตตี้หมูปรุงสุกที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

ตารางที่ 4.17 ค่า TBARS ของแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวและทะโล้ ที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ผง						สารสกัด					
	ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)			ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)		
	300	500	700	300	500	700	190	320	450	190	320	450
0	4.77±0.66$^{e, A}$	4.38±0.40$^{d, B}$	4.04±0.33$^{c, B-D}$	3.76±0.29$^{e, CD}$	4.00±0.26$^{c, C-E}$	3.89±0.21$^{e, E}$	3.93±0.28$^{c, C-E}$	3.72±0.19$^{d, B-D}$	3.36±0.23$^{d, CD}$	4.36±0.13$^{c, C-E}$	3.62±0.32$^{d, DE}$	4.11±0.34$^{e, BC}$
15	5.45±0.40$^{cd, B}$	4.84±0.18$^{cd, B-D}$	3.99±0.18$^{c, E}$	4.18±0.35$^{d, A}$	4.76±0.82$^{b, C-E}$	5.10±0.8$^{cd, B-D}$	6.91±1.01$^{a, DE}$	4.52±0.38$^{c, B-D}$	4.87±0.28$^{bc, BC}$	3.89±0.31$^{c, E}$	4.60±0.91$^{c, CD}$	5.07±0.57$^{bc, BC}$
30	5.61±0.49$^{b-c, B}$	5.00±0.55$^{bc, C}$	4.06±0.13$^{c, E}$	4.36±0.15$^{d, A}$	4.95±0.49$^{b, CD}$	4.91±0.30$^{d, C-E}$	6.25±0.45$^{ab, DE}$	4.61±0.23$^{bc, C}$	4.49±0.17$^{c, C}$	4.02±0.36$^{c, E}$	4.56±0.58$^{c, CD}$	4.73±0.39$^{cd, CD}$
45	5.06±0.38$^{d-e, B-D}$	4.89±0.94$^{b-d, B-D}$	4.57±0.40$^{b, CD}$	4.88±0.41$^{c, A}$	5.24±0.48$^{ab, B-D}$	5.42±0.29$^{bc, D}$	6.02±0.94$^{b, B-D}$	5.13±0.87$^{ab, BC}$	4.42±0.68$^{c, AB}$	4.51±0.37$^{b, CD}$	4.70±0.36$^{bc, B-D}$	4.64±0.30$^{d, B-D}$
60	5.24±0.34$^{c-e, BC}$	5.16±0.17$^{bc, BC}$	5.02±0.24$^{a, BC}$	5.16±0.28$^{bc, A}$	5.36±0.31$^{ab, B}$	6.11±0.39$^{a, BC}$	6.37±0.46$^{ab, BC}$	5.44±0.46$^{a, B}$	5.18±0.25$^{ab, A}$	4.82±0.34$^{ab, C}$	5.03±0.41$^{a-c, BC}$	5.14±0.29$^{bc, BC}$
75	5.60±0.38$^{b-d, BC}$	4.94±0.14$^{bc, D}$	5.01±0.35$^{a, D}$	5.28±0.23$^{ab, A}$	5.60±0.47$^{a, D}$	6.05±0.31$^{a, CD}$	6.35±0.42$^{ab, CD}$	5.02±0.45$^{a-c, BC}$	5.33±0.66$^{ab, AB}$	4.97±0.29$^{a, D}$	5.22±0.21$^{ab, CD}$	5.51±0.28$^{ab, C}$
90	5.79±0.30$^{a-c, B}$	5.12±0.33$^{bc, CD}$	5.12±0.43$^{a, CD}$	5.13±0.31$^{bc, A}$	5.67±0.28$^{a, CD}$	5.86±0.23$^{ab, BC}$	6.43±0.54$^{ab, B}$	5.24±0.30$^{a, B}$	5.55±0.24$^{a, CD}$	5.05±0.21$^{a, D}$	5.53±0.31$^{a, BC}$	5.51±0.37$^{ab, BC}$
105	6.07±0.59$^{ab, AB}$	5.43±0.31$^{ab, C}$	5.29±0.46$^{a, CD}$	5.31±0.30$^{ab, A}$	5.62±0.67$^{a, C}$	5.76±0.54$^{ab, CD}$	6.31±0.33$^{ab, CD}$	5.47±0.31$^{a, BC}$	5.40±0.43$^{a, BC}$	4.85±0.33$^{ab, D}$	5.24±0.47$^{ab, CD}$	5.78±0.27$^{a, BC}$
120	6.31±0.52$^{a, A}$	5.76±0.27$^{a, C-E}$	5.42±0.44$^{a, E}$	5.62±0.26$^{a, AB}$	5.82±0.31$^{a, C-E}$	5.92±0.11$^{ab, C-E}$	6.21±0.36$^{ab, C-E}$	5.56±0.19$^{a, CD}$	5.58±0.24$^{a, BC}$	5.06±0.23$^{a, F}$	5.43±0.14$^{a, DE}$	5.73±0.23$^{a, C-E}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

4.3.2.2 ค่า *p*-Av

การวิเคราะห์ออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av เป็นการวัดสารกลุ่มอัลดีไฮด์จำพวก 2-อัลคีนาล และ 2,4- ไดอีนาล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการเพิ่มจำนวนของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Aruoma และ Cuppet, 2001) เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี ซึ่งมีความไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยาสูง และเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับโมเลกุลของกรดไขมันตัวอื่น ทำให้เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ จะเกิดการแตกตัวเป็นคาร์บอร์นิล และในขณะที่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวออกซิเจนสามารถสร้างกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเอง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แสดงว่า ผลิตภัณฑ์เกิดการออกซิเดชันของไขมันแล้ว (Gokoglu และคณะ, 2009) ไฮโดรเปอร์-ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ ไฮโดรคาร์บอน โดย *p*-Anisidine เป็นสารรีเอเจนต์ ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบอัลดีไฮด์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร ซึ่งความเข้มของสีที่วัดได้ในปฏิกิริยา ขึ้นกับปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ ที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น เมื่อปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลอย่างยิ่งต่อความไวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งค่า *p*-Av เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากวัดเป็นค่าการดูดกลืนแสง สำหรับการทดสอบการหืนของแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดจากพืช ได้ทดลองเก็บไว้ที่ อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

1) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ความสามารถในการยับยั้งการหืนในแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดพืชทั้ง 2 ชนิด จากการวิเคราะห์ค่า *p*-Av ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

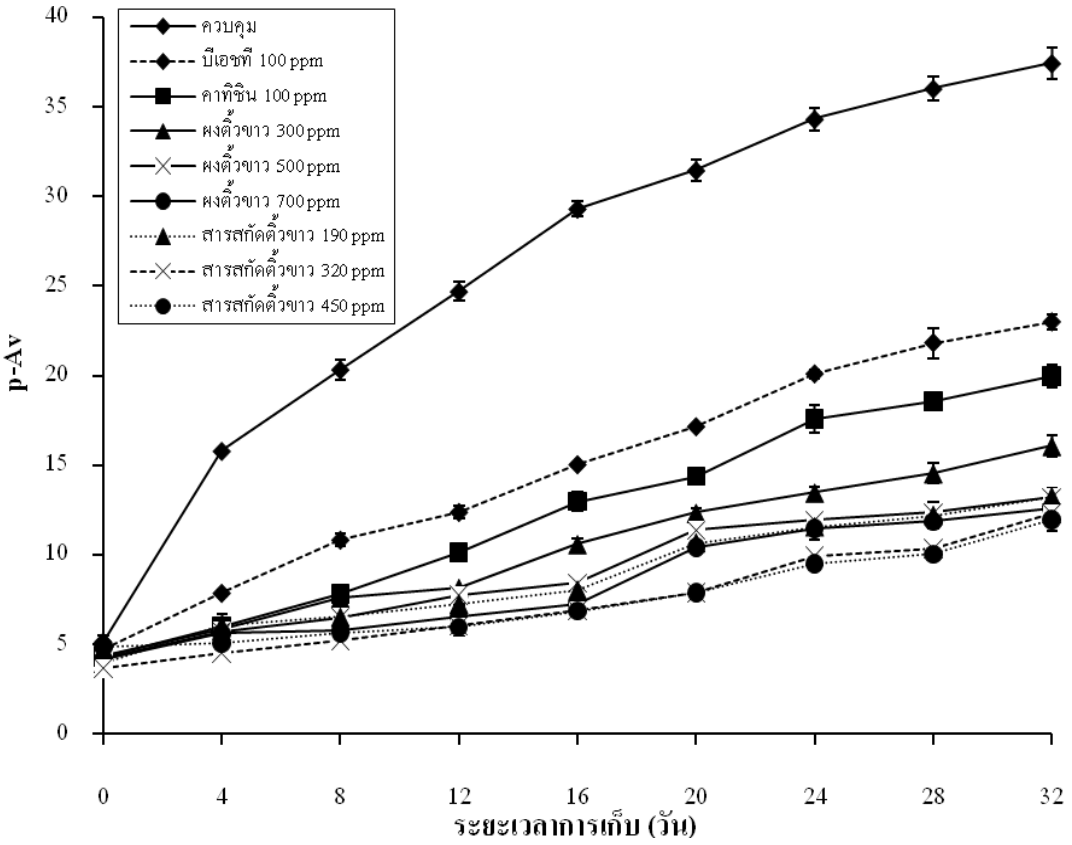
- ติ้วขาว

ผลการทดลองในวันที่ 0 พบว่า ค่า *p*-Av ของตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที คาทิชิน และ ติ้วขาว มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า *p*-Av อยู่ระหว่าง 3.63±0.19 ถึง 5.13±0.36 (ภาพที่ 4.10) ซึ่งแตกต่างจากผลการวิเคราะห์ค่า TBARS ที่พบว่า ตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีทีเอช และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เติมพืชอย่างมาก (14.77±0.38 5 ถึง 37.34±2.15 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) (ภาพที่ 4.2) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่แตกต่างกัน ซึ่งทั้ง 2 วิธีเป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเพิ่มจำนวนเหมือนกัน โดยวิธี TBARS เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ คาร์บอนิล และไฮโดรคาร์บอน ส่วนวิธี *p*-Av วิเคราะห์สารกลุ่มอัลดีไฮด์ จำพวก 2-อัลคีนาล (2-alkenals) และ 2,4-ไดอีนาล (2,4-dienals) ซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงกว่า จึงอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความแตกต่างกัน

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า *p*-Av เพิ่มขึ้นและสูงกว่าแพตตี้หมูตัวอย่างอื่นๆ โดยมีค่า *p*-Av เท่ากับ 37.42±0.85 ในวันที่ 32 (ภาพที่ 4.10) แสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้สามารถใช้ตรวจสอบการหืนในตัวอย่างแพตตี้หมูปรุงสุกได้ นอกจากนี้ยังพบว่า แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที มีความสามารถในการชะลอการหืนได้ต่ำกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า TBARS ที่บีทีเอชมีศักยภาพต่ำกว่าคาทิชิน สำหรับแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาว พบว่า ค่า *p*-Av ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างวันที่ 0-8 กับแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน ($p>0.05$) แต่ในวันที่ 12 (ภาพที่ 4.10) พบว่า ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินจะเพิ่มสูงกว่าและมีความแตกต่างกันทางสถิติกับแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาว อีกทั้งพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาว จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ต่ำกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การเติมพืชในแพตตี้หมูสามารถชะลอการหืนได้ดีกว่าแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และคาทิชิน ซึ่งการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในติ้วขาวทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระ เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นแรก และป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ ซึ่งจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ขั้นต่อเนื่องของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระนี้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างฟีนอลิกหรือองค์ประกอบภายในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก (Pereira de Abreu และคณะ, 2010)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.10) พบว่า การเติมพืชทั้งรูปของผงพืชและสารสกัดพืชลงในแพตตี้หมู สามารถชะลอการหืนได้ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น การเติมผงติ้วขาวเข้มข้น 300 พีพีเอ็มที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า *p*-Av สูงกว่าในวันที่ 16 ส่งผลให้มีแนวโน้มการหืนสูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมผงพืชที่ความเข้มข้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในผงติ้วขาวอาจถูกใช้ในการทำลายอนุมูลอิสระ หรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ตลอดจนเสื่อมสลายในระหว่างการเก็บรักษา จนทำให้ความสามารถในการต้านการหืนของไขมันลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มปริมาณผงติ้วขาวจาก 300 เป็น 700 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดีขึ้น แต่การเติมผงติ้วขาว 500 และ 700 พีพีเอ็ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนการเติมในรูปสารสกัดติ้วขาวลงในแพตตี้หมูนั้นให้ผลเช่นเดียวกัน โดยการเพิ่มปริมาณสารสกัดจาก 190 เป็น 450 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า *p*-Av ได้ แต่สามารถยับยั้งได้ดีกว่าเล็กน้อยเท่านั้น และไม่มีความแตกต่างของเส้นแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่า การเติมสารสกัดติ้วขาวมีผลทำให้เส้นแนวโน้มการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าการเติมในรูปผงพืชที่ความเข้มข้นเดียวกัน และการเติมผงติ้วขาวที่ระดับ 700 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเทียบเท่าการเติมสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น 190 พีพีเอ็มในแพตตี้หมู

การเติมผงติ้วขาว 500 พีพีเอ็ม หรือสารสกัดติ้วขาว 190 พีพีเอ็ม ในแพตตี้หมูปรุงสุก สามารถชะลอการหืนของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที หรือคาทิชิน 100 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 4.10 ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมผงและสารสกัดติ้วขาว ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

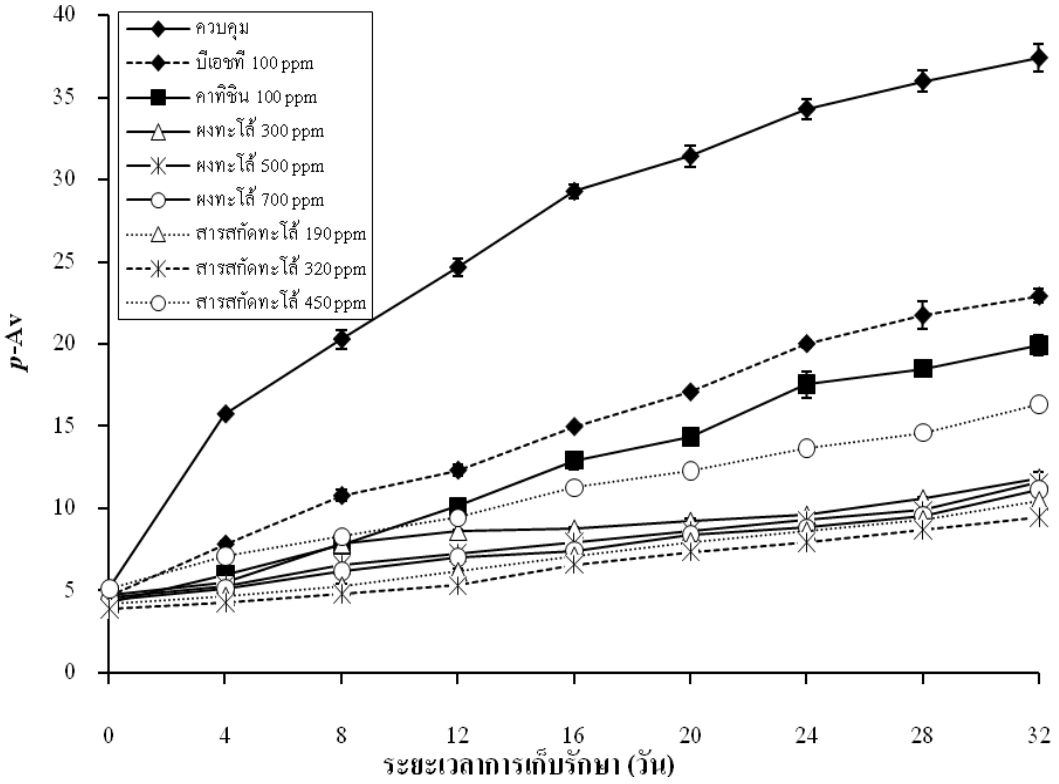
- ทะโล้

ผลการทดลองในการเติมผงและสารสกัดทะโล้ในแพตตี้หมูให้ผลเช่นเดียวกับติ้วขาว โดยพบว่า การเติมทะโล้ทั้ง 2 รูปแบบสามารถชะลอการเกิดค่า *p*-Av ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และ คาทิชิน ตามลำดับ (ภาพที่ 4.11) แต่การเติมพืชในแพตตี้หมูจะให้ผลที่แตกต่างจากแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ยกเว้นแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ 450 พีพีเอ็ม

การเพิ่มปริมาณผงทะโล้จาก 300 เป็น 700 พีพีเอ็ม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า *p*-Av โดยมีค่า *p*-Av เพิ่มขึ้นเป็น 11.17-11.88 ในระหว่างการเก็บรักษา 32 วัน (ภาพที่ 4.11) แสดงว่า การเติมผงทะโล้ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีประสิทธิภาพในการชะลอการหืนเท่ากัน ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มปริมาณสารสกัดทะโล้จาก 190 เป็น 320 และ

450 พีพีเอ็ม ส่งผลให้ค่า *p*-Av เพิ่มขึ้นเป็น 10.50, 9.51 และ 16.38 ตามลำดับ และการเติมสารสกัดทะโล้ 450 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av แตกต่างจากการเติมสารสกัดทะโล้ 190 และ 320 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดทะโล้เป็น 450 พีพีเอ็ม ส่งผลต่อการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากการสกัดเป็นการแยกสารสำคัญทำให้สารมีความเข้มข้นสูง จนอาจแสดงสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้ นอกจากนี้ยังอาจเนื่องมาจาก การเติมสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความเข้มข้นสูงๆ หรือลักษณะของไอออนของโลหะทรานส์ อาจเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น (Simic และคณะ, 2007)

จากผลการทดลอง การเติมผงทะโล้ 300 พีพีเอ็มหรือสารสกัดทะโล้ 190 พีพีเอ็ม ในแพตตี้หมูปรุงสุก สามารถชะลอการหืนของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้ดีกว่าแพตตี้หมูที่เติมบีทีเอช หรือคาทิชิน 100 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 4.11 ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมผงและสารสกัดทะโล้ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

ประสิทธิภาพในการต้านการหืนของไขมันด้วยวิธี *p*-Av พบว่า ผงทะโล้และสารสกัดทะโล้มีแนวโน้มการต้านการหืนได้ดีกว่าการใช้ติ้วขาวในรูปแบบและความเข้มข้นเดียวกัน ยกเว้น การใช้สารสกัดทะโล้เข้มข้น 450 พีพีเอ็มที่มีผลให้การยับยั้งต่ำกว่าสารสกัดติ้วขาวที่ความเข้มข้นดังกล่าว (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวและทะโล้ ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ผง						สารสกัด					
	ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)			ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)		
	300	500	700	300	500	700	190	320	450	190	320	450
0	4.36±0.29$^{I, C}$	4.24±0.10$^{I, CD}$	4.13±0.08$^{h, D}$	4.77±0.03$^{h, B}$	4.63±0.05$^{i, B}$	4.42±0.04$^{i, C}$	3.93±0.20$^{h, E}$	3.63±0.19$^{i, F}$	4.82±0.16$^{g, B}$	4.21±0.05$^{i, CD}$	3.89±0.15$^{i, E}$	5.14±0.05$^{i, A}$
4	5.82±0.17$^{h, BC}$	5.71±0.08$^{h, B-C}$	5.58±0.12$^{g, CD}$	5.54±0.13$^{g, CD}$	5.35±0.05$^{h, DE}$	5.13±0.01$^{h, E}$	6.04±0.65$^{g, B}$	4.51±0.23$^{h, FG}$	5.05±0.28$^{g, E}$	4.68±0.01$^{h, F}$	4.28±0.03$^{h, G}$	7.12±0.10$^{h, A}$
8	7.56±0.27$^{g, B}$	6.48±0.17$^{g, C}$	5.78±0.87$^{g, D}$	7.88±0.40$^{f, B}$	6.57±0.13$^{g, C}$	6.21±0.07$^{g, C}$	6.51±0.39$^{g, C}$	5.21±0.05$^{g, EF}$	5.60±0.50$^{f, DE}$	5.32±0.10$^{g, E}$	4.83±0.11$^{g, E}$	8.33±0.17$^{g, A}$
12	8.13±0.03$^{f, C}$	7.72±0.46$^{f, D}$	6.54±0.18$^{f, F}$	8.66±0.10$^{e, B}$	7.31±0.01$^{f, E}$	7.04±0.05$^{f, E}$	7.24±0.06$^{f, E}$	6.00±0.56$^{f, G}$	5.92±0.12$^{f, G}$	6.19±0.13$^{f, G}$	5.32±0.00$^{f, H}$	9.47±0.11$^{f, A}$
16	10.57±0.34$^{e, B}$	8.40±0.20$^{e, D}$	7.25±0.29$^{e, F}$	8.80±0.08$^{e, C}$	7.96±0.17$^{e, E}$	7.44±0.00$^{e, F}$	8.02±0.33$^{e, E}$	6.87±0.12$^{e, GH}$	6.83±0.23$^{e, GH}$	7.13±0.14$^{e, FG}$	6.61±0.10$^{e, H}$	11.30±0.30$^{e, A}$
20	12.32±0.23$^{d, A}$	11.37±0.21$^{d, B}$	10.39±0.1$^{d, D}$	9.26±0.14$^{d, E}$	8.65±0.11$^{d, F}$	8.39±0.12$^{d, F}$	10.66±0.12$^{d, C}$	7.85±0.28$^{d, G}$	7.83±0.35$^{d, G}$	8.00±0.14$^{d, G}$	7.38±0.13$^{d, H}$	12.30±0.25$^{d, A}$
24	13.44±0.30$^{c, A}$	11.91±0.21$^{c, B}$	11.45±0.19$^{c, C}$	9.63±0.13$^{c, DE}$	9.30±0.24$^{c, E}$	8.83±0.04$^{c, F}$	11.56±0.72$^{c, C}$	9.90±0.08$^{c, D}$	9.46±0.25$^{c, E}$	8.66±0.04$^{c, F}$	7.98±0.06$^{c, G}$	13.69±0.12$^{c, A}$
28	14.53±0.57$^{b, A}$	12.33±0.58$^{b, B}$	11.86±0.38$^{b, C}$	10.62±0.08$^{b, D}$	9.92±0.10$^{b, EF}$	9.59±0.02$^{b, FG}$	12.20±0.60$^{b, BC}$	10.29±0.44$^{b, DE}$	10.00±0.18$^{b, EF}$	9.35±0.07$^{b, G}$	8.74±0.25$^{b, H}$	14.65±0.00$^{b, A}$
32	16.06±0.57$^{a, A}$	13.18±0.54$^{a, B}$	12.60±0.37$^{a, C}$	11.88±0.34$^{a, D}$	11.60±0.25$^{a, D}$	11.17±0.20$^{a, E}$	13.24±0.17$^{a, B}$	12.29±0.30$^{a, C}$	11.93±0.65$^{a, D}$	10.50±0.28$^{a, F}$	9.51±0.16$^{a, G}$	16.38±0.02$^{a, A}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

2) อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

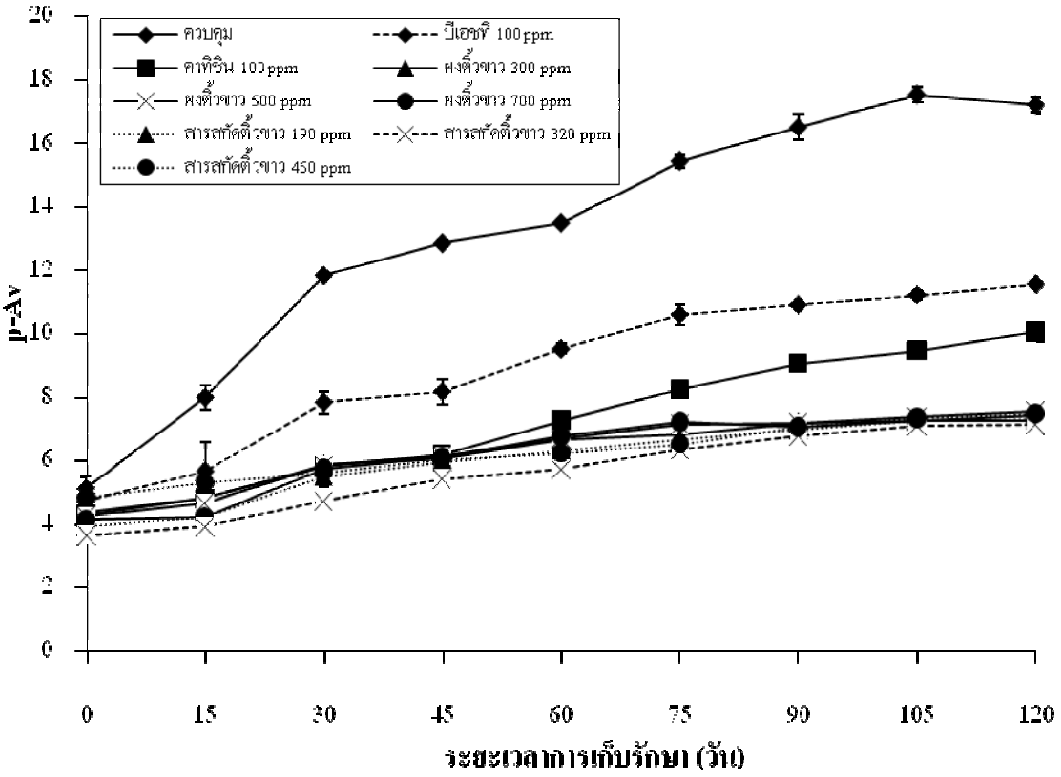
การประเมินความสามารถในการต้านการหืนของ ไขมันในแพตตี้หมูปรุงสุก ด้วยวิธี *p*-Av ของผงพืชความเข้มข้น 300-700 พีพีเอ็ม และสารสกัดพืชที่ความเข้มข้น 190-450 พีพีเอ็ม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

- ติ้วขาว

ผลการทดลองให้ผลสอดคล้องกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยพบว่า ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูทุกตัวอย่าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดการเก็บรักษา 120 วัน และแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวทั้ง 2 รูปแบบในทุกความเข้มข้น มีค่า *p*-Av ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และเติมคาทิชิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาแพตตี้หมูที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส (120 วัน) มีค่า *p*-Av ต่ำกว่า การเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (32 วัน) เป็นอย่างมาก โดยมีค่า *p*-Av ของแพตตี้ที่เติมสารสกัดจากพืชอยู่ระหว่าง 7.17-7.56 และ 11.93-16.06 ตามลำดับ แสดงว่า การลดอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา สามารถลดการเกิดออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหารได้

ผลการวิเคราะห์ค่า *p*-Av ในแพตตี้หมูที่เติมพืช และคาทิชิน พบว่า ค่า *p*-Av มีค่าไม่แตกต่างกันในช่วง 0-45 วัน การเพิ่มขึ้นของค่า *p*-Av ในแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินปริมาณเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าค่า *p*-Av ในแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวในวันที่ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากภาพที่ 4.12 พบว่า ตัวอย่างควบคุมและแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที มีค่า *p*-Av สูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน และแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวอย่างชัดเจน ตลอดการเก็บรักษา นอกจากนี้ ยังพบว่า ในช่วง 45 วันแรกของการเก็บรักษา ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวและแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าให้เห็นว่า ผงติ้วขาวมีศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ในแพตตี้หมูที่อุณหภูมินี้นาน 45 วัน และหลังจากวันที่ 45 พบว่า การเติมผงติ้วขาวในแพตตี้หมูสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของสารกลุ่มอัลดีไฮด์ได้ดีกว่าคาทิชิน 100 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 4.12 ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมผงและสารสกัดติ้วขาว ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

เมื่อเปรียบเทียบค่า *p*-Av ของการเติมผงติ้วขาวในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูได้ดีที่สุด คือ การเติมผงติ้วขาวความเข้มข้น 700 พีพีเอ็ม โดยมีค่า *p*-Av วันสุดท้ายของการเก็บรักษา เท่ากับ 7.27±0.06 แต่อย่างไรก็ตาม การเติมผงติ้วขาวในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า *p*-Av ของแพตตี้หมู ตลอดการเก็บรักษา120 วัน ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลอง พบว่า แพตตี้หมูที่เติมผงติ้วขาวแต่ละความเข้มข้น มีค่า *p*-Av ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า *p*-Av ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เท่ากับ 7.42±0.02, 7.56±0.02 และ 7.27±0.06 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถเติมผงติ้วขาวที่ระดับความเข้มข้นใดก็ได้ในแพตตี้หมู เพื่อให้มีค่า *p*-Av ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน

สำหรับผลของการเติมสารสกัดติ้วขาวในแพตตี้หมู ที่มีต่อค่า *p*-Av แสดงผลดังภาพที่ 4.12 พบว่า การเติมสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น มีผลทำให้ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดการเก็บรักษาทั้ง 120 วัน เช่นเดียวกับการเติมผงติ้วขาว แต่จะเห็นได้ว่า ในช่วง 15 วันแรกของการเก็บรักษาแพตตี้หมูที่เติม สารสกัดติ้วขาว 450 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av สูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน ดังนั้นแสดง

ว่า สารสกัดติ้วขาวเริ่มมีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดสารอัลดีไฮด์ในแพตตี้หมูได้ดีกว่าคาทิชิน เมื่อแพตตี้หมูมีอายุการเก็บรักษาได้ 15 วันเป็นต้นไป และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการชะลอการเกิดสารอัลดีไฮด์ในแพตตี้หมู ด้วยวิธี *p*-Av ของ สารสกัดติ้วขาวที่เติมในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาวทุกระดับความเข้มข้นมีค่า *p*-Av ในระหว่างเก็บรักษา อยู่ระหว่าง 3.63-7.49 โดยในวันแรกของการเก็บรักษา แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว 450 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av เท่ากับ 4.82±0.16 ซึ่งสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาได้แก่ แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาว 190 และ 320 พีพีเอ็ม ตามลำดับ โดยมีค่า *p*-Av เท่ากับ 3.93±0.20 และ 3.63±0.19 ตามลำดับ

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาวแต่ละความเข้มข้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดการเก็บรักษาทั้ง 120 วัน โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่า การเติมสารสกัดติ้วขาว 320 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 7.17±0.08 ดังนั้นแสดงว่า การเติมสารสกัดติ้วขาว 320 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ด้วยวิธี *p*-Av ได้ดีที่สุด นอกจากนี้ การเติมสารสกัดติ้วขาวยังให้ประสิทธิภาพในการชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า *p*-Av ได้ดีกว่าการเติมบีเอชที และคาทิชินในแพตตี้หมูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 120 วันได้อีกด้วย

จากการทดลอง พบว่า ตัวอย่างที่เติมติ้วขาวทั้ง 2 รูปแบบ มีค่า *p*-Av ในระหว่างเก็บรักษาอยู่ระหว่าง 3.63-4.82 ซึ่งการเติมติ้วขาวทั้งในรูปแบบบดเป็นผงหรือในรูปสารสกัดเข้มข้นสามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม และแพตตี้หมูที่เติมบีเอชที (ภาพที่ 4.12) ส่วนแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน มีค่า *p*-Av ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างที่เติมติ้วขาว ใน 45 วันแรกของการเก็บรักษา แต่ภายหลังจากนั้น แพตตี้หมูที่เติมคาทิชินมีค่า *p*-Av สูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาว และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ของผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น พบว่า ในวันแรกของการเก็บรักษา ค่า *p*-Av ของตัวอย่างที่เติมติ้วขาวทั้งรูปแบบบดเป็นผงและสารสกัดเข้มข้น มีค่าเท่ากับ 4.13-4.36 และ 3.63-4.82 ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่า การเติมผงติ้วขาวมีค่า *p*-Av สูงกว่าการเติมสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น ดังนั้นแสดงว่า สารสกัดติ้วขาวเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดสารอัลดีไฮด์ตั้งแต่เริ่มต้นผลิตแพตตี้หมูได้ดีกว่าผงติ้วขาว เนื่องจาก ในกระบวนการสกัดและทำให้เข้มข้น สามารถสกัดสารสำคัญที่ทำหน้าที่ในยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมันได้ดี ซึ่งมีการให้ความร้อนร่วมในการสกัดด้วย อย่างไรก็ตาม ในการทดลองพบว่า การเติมสารสกัดติ้วขาว 450 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av สูงกว่าตัวอย่างที่เติมผงติ้วขาว ดังนั้นแสดงว่า การสกัดพืชมีผลต่อประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วย

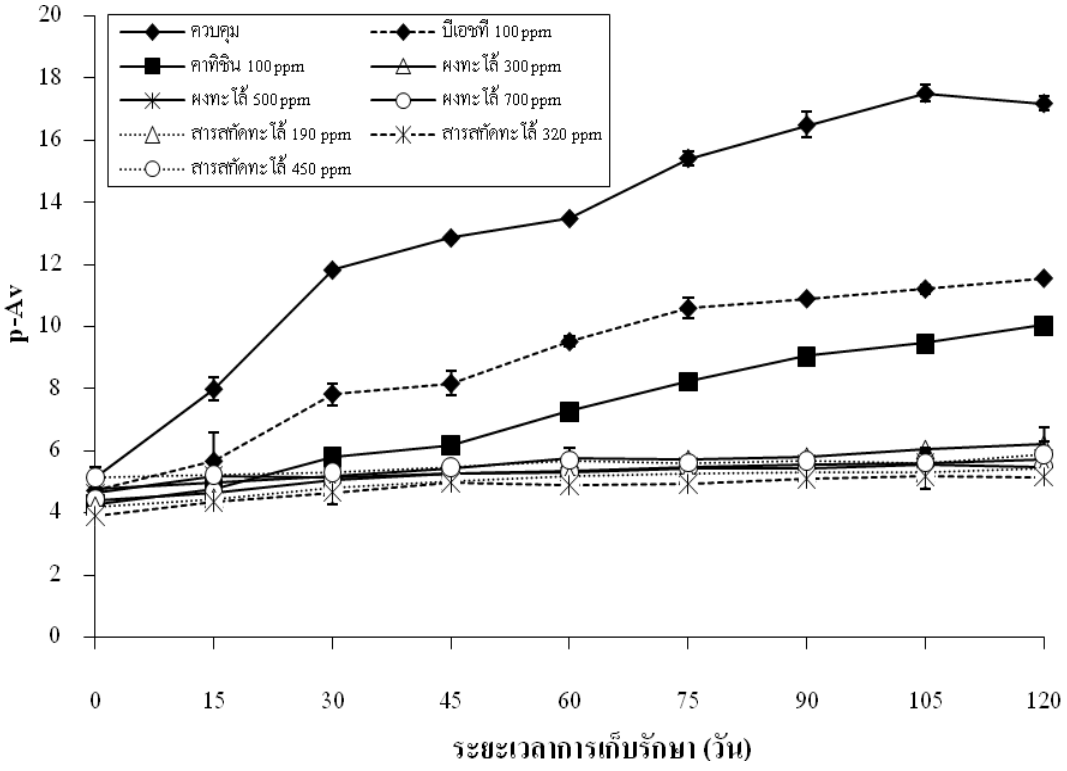
จากภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ชัดเจนว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แพตตี้หมูทุกตัวอย่าง มีแนวโน้มของค่า *p*-Av เพิ่มขึ้น โดย แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น 320 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av ต่ำที่สุด แสดงว่า การเติมสารสกัดติ้วขาวเข้มข้น 320 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดสารอัลดีไฮด์ในแพตตี้หมูปรุงสุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การเติมผงติ้วขาว 300 พีพีเอ็ม ก็เพียงพอต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ด้วยวิธี *p*-Av ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินได้ โดยมีค่า *p*-Av ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมถึง 2.32 เท่า และต่ำกว่าแพตตี้หมูที่เติมบีเอชทีและแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน 1.56 เท่า และ 1.35 เท่า ตามลำดับ

- ทะโล้

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ของผงทะโล้ แสดงดังภาพที่ 4.13 โดยในวันที่ 0 และวันที่ 15 ของการเก็บรักษาแพตตี้หมู พบว่า แพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้ความเข้มข้น 300 และ 500 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av เท่ากับ 4.77-4.96 และ 4.63-5.18 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน ที่มีค่า *p*-Av เท่ากับ 4.27-4.78 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่า คาทิชินมีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดสารอัลดีไฮด์ในระหว่างการเก็บรักษาแพตตี้หมูปรุงสุกที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าตัวอย่างที่เติมผงทะโล้เข้มข้น 300 และ 500 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 15 วัน และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าแนวโน้มค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่เติมผงทะโล้ความเข้มข้น 300 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av ในระหว่างเก็บรักษาสูงกว่าที่ระดับ 500 และ 700 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และ ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มีค่า *p*-Av เท่ากับ 6.20±0.57, 5.74±0.11 และ 5.49±0.04 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงว่า ประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ของผงทะโล้ ขึ้นกับความเข้มข้นของผงทะโล้ที่เติมด้วย ซึ่งถ้าเติมผงทะโล้ในปริมาณมาก ประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av สูงตามด้วย อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นที่ระดับ 300 พีพีเอ็ม เป็นความเข้มข้นต่ำสุด ที่สามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วย วิธี *p*-Av ในแพตตี้หมูได้ดีกว่าการเติมบีเอชทีและคาทิชิน ตลอดการเก็บรักษา 120 วัน

สำหรับค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ พบว่า ให้ผลแตกต่างจากการเติมผงทะโล้ โดยแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ 450 พีพีเอ็ม มีความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ได้สูงกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินในช่วง 15 วันแรกของการเก็บรักษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.13) นอกจากนี้ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ 450 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ 190 และ 320พีพีเอ็ม ตามลำดับ มีค่า *p*-Av ในวัน 120 เท่ากับ

5.89±0.40, 5.45±0.17 และ 5.17±0.03 ตามลำดับ แสดงว่า ประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ไม่ได้แปรผันตามความเข้มข้นของสารสกัดทะโล้ที่เติมในแพตตี้หมู อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของสารกันหืนขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของสารต้านการหืนด้วย (Juntachote และคณะ, 2007) ดังนั้น การเติมสารสกัดทะโล้ที่ความเข้มข้น 190 พีพีเอ็ม ก็สามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ได้ดีกว่าการเติมบีเอชที และคาทิชน



ภาพที่ 4.13 ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมผงและสารสกัดทะโล้ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

จากภาพที่ 4.13 พบว่า การเติมผงทะโล้และสารสกัดทะโล้ในแพตตี้หมูปรุงสุกสามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม แพตตี้หมูที่เติมบีเอชที และแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน ยกเว้น แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ 450 พีพีเอ็ม ที่มีค่า *p*-Av มากกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินในวันที่ 0 และ 15 มีค่า *p*-Av เท่ากับ 5.14±0.05 และ 5.22±0.12 ตามลำดับ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ 450 พีพีเอ็ม มีค่า *p*-Av ต่ำกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้นแสดงว่าสารสกัดทะโล้เข้มข้น 450 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ

ไขมันด้วยวิธี *p*-Av ในแพตตี้หมูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าแพตตี้หมูที่เติมคาทิชิน

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ระหว่างการเติมผงทะโล้และสารสกัดทะโล้ในแพตตี้หมู พบว่าตลอดการเก็บรักษาทั้ง 120 วัน แพตตี้หมูที่เติมผงทะโล้ มีค่า *p*-Av อยู่ในช่วง 4.22-6.20 ในขณะที่แพตตี้หมูที่เติมสารสกัดทะโล้ มีค่า *p*-Av ระหว่าง 3.89-5.89 แสดงว่า การเติมสารสกัดทะโล้ในแพตตี้หมูสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในแพตตี้หมูได้ดีกว่าการเติมผงทะโล้ อย่างไรก็ตาม นอกจากรูปแบบของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชที่เติมจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วย วิธี *p*-Av แล้ว ยังขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นหรือปริมาณสารสำคัญที่มีสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชด้วย

การประเมินความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ของ ติ้วขาวและทะโล้ทั้งในรูปแบบบดเป็นผงและสารสกัดเข้มข้น แต่ละระดับความเข้มข้น พบว่า ทะโล้ทั้งแบบบดเป็นผงและสารสกัดเข้มข้น มีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี *p*-Av ได้ดีกว่าติ้วขาว ทุกระดับความเข้มข้น ดังภาพที่ 4.13 โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การเติมทะโล้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า *p*-Av ในระหว่างเก็บรักษาต่ำกว่าการเติมติ้วขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS และ ค่า *p*-Av ในแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดพืชทั้ง 2 ชนิด พบว่า การวิเคราะห์สารประกอบที่เกิดขึ้น จากการหืนของไขมันด้วยการติดตามค่า TBARS พบการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย มีค่า ระหว่าง 0.7-3.82 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยวิธี *p*-Av พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณมากกว่า ซึ่งความแตกต่างของวิธีวิเคราะห์นั้นได้อภิปรายไว้ข้างต้นแล้ว แต่จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า การเกิดออกซิเดชันของไขมันเป็นปฏิกิริยาที่ไม่เฉพาะเจาะจง ทำให้ไม่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจวิเคราะห์การหืนของไขมันในหลายๆ วิธี เพื่อเป็นการยืนยันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมทะโล้ในแพตตี้หมูปรุงสุกสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันด้วยการติดตามค่า TBARS และ *p*-Av ได้ดีกว่าการเติมติ้วขาวในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS หรือ anti-TBARS ในข้อ 4.1.2.3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันดังกล่าว เป็นการใช้ระบบอิมัลชันของกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นตัวแทนของไขมันชนิดต่างๆ ในอาหาร ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แพตตี้หมูมีไขมันหลากหลายชนิด และประกอบด้วยองค์ประกอบอื่นๆ รวมทั้งมีปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น แสง และ ความร้อน จึงส่งผลให้วิถีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในแพตตี้หมูแตกต่างจากการวิเคราะห์ในหลอดทดลอง

ตารางที่ 4.19 ค่า *p*-Av ของแพตตี้หมูที่เติมติ้วขาวและทะโล้ ที่อุณหภูมิ -18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ผง						สารสกัด					
	ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)			ติ้วขาว (พีพีเอ็ม)			ทะโล้ (พีพีเอ็ม)		
	300	500	700	300	500	700	190	320	450	190	320	450
0	4.36±0.29$^{g, C}$	4.24±0.10$^{h, CD}$	4.13±0.08$^{g, D}$	4.77±0.03$^{f, B}$	4.63±0.05$^{e, B}$	4.42±0.04$^{f, C}$	3.93±0.2$^{h, E}$	3.63±0.19$^{h, F}$	4.82±0.16$^{g, B}$	4.21±0.05$^{e, CD}$	3.89±0.15$^{e, E}$	5.14±0.05$^{d, A}$
15	4.81±0.16$^{f, BC}$	4.64±0.18$^{g, CD}$	4.21±0.11$^{f, F}$	4.96±0.02$^{ef, B}$	5.18±0.23$^{d, A}$	4.67±0.03$^{e, CD}$	4.20±0.14$^{g, F}$	3.89±0.13$^{g, G}$	5.31±0.12$^{f, A}$	4.47±0.09$^{d, DE}$	4.37±0.24$^{d, EF}$	5.22±0.12$^{cd, A}$
30	5.87±0.16$^{e, A}$	5.84±0.27$^{f, A}$	5.76±0.21$^{e, AB}$	5.20±0.28$^{de, D}$	5.13±0.30$^{d, D}$	5.06±0.09$^{d, DE}$	5.49±0.33$^{f, BC}$	4.71±0.19$^{f, F}$	5.63±0.05$^{e, AB}$	4.84±0.06$^{c, EF}$	4.66±0.40$^{c, F}$	5.30±0.34$^{cd, CD}$
45	6.05±0.13$^{d, A}$	6.15±0.16$^{e, A}$	6.11±0.26$^{d, A}$	5.42±0.01$^{d, BC}$	5.25±0.25$^{cd, C}$	5.26±0.05$^{c, C}$	5.96±0.08$^{e, A}$	5.41±0.0$^{e, BC}$	6.04±0.36$^{d, A}$	5.04±0.16$^{bc, D}$	4.97±0.17$^{ab, D}$	5.49±0.15$^{bc, B}$
60	6.66±0.14$^{c, A}$	6.71±0.12$^{d, A}$	6.79±0.09$^{c, A}$	5.76±0.33$^{c, C}$	5.36±0.08$^{b-d, D}$	5.30±0.28$^{bc, D}$	6.32±0.13$^{d, B}$	5.73±0.15$^{d, C}$	6.23±0.05$^{d, B}$	5.20±0.45$^{ab, D}$	4.90±0.04$^{bc, D}$	5.70±0.20$^{ab, C}$
75	6.80±0.02$^{c, B}$	7.15±0.09$^{c, A}$	7.22±0.20$^{ab, A}$	5.73±0.05$^{c, E}$	5.47±0.07$^{a-c, FG}$	5.45±0.06$^{a-c, FG}$	6.68±0.15$^{c, BC}$	6.35±0.12$^{c, D}$	6.52±0.03$^{c, CD}$	5.28±0.21$^{ab, G}$	4.93±0.14$^{ab, H}$	5.62±0.18$^{ab, EF}$
90	7.19±0.11$^{b, A}$	7.18±0.08$^{c, A}$	7.07±0.03$^{b, A}$	5.81±0.05$^{bc, C}$	5.58±0.18$^{ab, DE}$	5.44±0.08$^{a-c, EF}$	6.97±0.02$^{b, AB}$	6.79±0.01$^{b, B}$	7.08±0.17$^{b, A}$	5.32±0.01$^{ab, FG}$	5.11±0.04$^{ab, G}$	5.68±0.22$^{ab, CD}$
105	7.28±0.05$^{ab, AB}$	7.38±0.10$^{b, A}$	7.25±0.03$^{a, AB}$	6.06±0.03$^{ab, C}$	5.62±0.11$^{ab, D}$	5.56±0.05$^{a, D}$	7.27±0.05$^{a, AB}$	7.12±0.01$^{a, B}$	7.36±0.05$^{a, A}$	5.31±0.32$^{ab, E}$	5.19±0.43$^{a, E}$	5.62±0.30$^{ab, D}$
120	7.42±0.02$^{a, ACD}$	7.56±0.02$^{a, A}$	7.27±0.06$^{a, CD}$	6.20±0.57$^{a, E}$	5.74±0.11$^{a, F}$	5.49±0.04$^{ab, G}$	7.31±0.14$^{a, ACD}$	7.17±0.08$^{a, BC}$	7.49±0.03$^{a, A}$	5.45±0.17$^{a, G}$	5.17±0.03$^{ab, H}$	5.89±0.40$^{a, F}$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)