บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและจุลินทรีย์ของเนื้อปลา

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ในเนื้อปลานิลแดงพบว่าเนื้อปลานิลแดงประกอบด้วยความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า ร้อยละ 73.78 1.69 21.15 และ 1.25 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ สาวิณี (2550) รายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิมส่วนที่บริโภคได้มีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า ร้อยละ 76.79 1.06 21.15 และ 1.32 ตามลำดับ เนื่องจากปลานิลแดงเป็นปลาที่สามารถอาศัยได้ทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย เจริญเติบโต ได้ดีที่ความเค็ม 25-30 ppt ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีสัตว์น้ำจะมีความแตกต่างกันในแต่ละประเภท และชนิดของสัตว์น้ำ หรือแม้แต่ปลาชนิดเดียวกันยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเลี้ยงที่ให้อาหารแตกต่างกัน สถานที่เลี้ยง ฤดู และอื่นๆ (Li *et al.*, 2011)

4.1.2 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของเนื้อปลานิลแดง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ในเนื้อปลานิลแดง โดยวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ชนิด mesophiles, psychrotrophic, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* spp. พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ชนิด mesophillic, psychrotrophic และ *Escherichia coli* เท่ากับ 4.2 Log CFU/g , 4.08 Log CFU/g และ 3 MPN/g ตามลำดับ ส่วนจุลินทรีย์ชนิด *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* spp. ตรวจไม่พบในตัวอย่างปลาที่นำมาวิเคราะห์ แสดงว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารในปลานิลแดงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทางจุลินทรีย์ของสัตว์น้ำ (ICMSF,1986) มาตรฐานของ ICMSF (1986) พบว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ต้องไม่เกิน 7 Log CFU/g หรือ 10^7 โคโลนีในตัวอย่าง 1 กรัม เชื้อ *Escherichia coli* ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีในตัวอย่าง 1 กรัม เชื้อ *Salmonella* spp ต้องไม่พบ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีในตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ

4.1.3 ตรวจหาปริมาณพอลิฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากชาเขียวและชาดำ

จากผลการทดลองนำชาดำและชาเขียวมาสกัดด้วยน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 3 5 และ7 (w/v) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำสารสกัดชาให้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำมาแช่เนื้อปลา ในสารสกัดจากชาต่างๆ ด้วยอัตราส่วนเนื้อปลาต่อสารละลายเท่ากับ 1: 2 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำนาน 10 นาที ผลทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่น พบว่าเมื่อใช้ชาเขียวและชาดำที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในการแช่เนื้อปลา ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นอื่นๆ (ตารางที่ 1) ซึ่งการใช้ความเข้มข้นของชาดำและชาเขียวที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 จะมีสีของชาติดกับเนื้อปลาและกลิ่นชามีมาก จากนั้นนำสารสกัดจากชาเขียว

และชาดำร้อยละ 5 มาตรวจวิเคราะห์ปริมาณพอลิฟีนอลทั้งหมด พบว่าในสารสกัดจากชาเขียวและชาดำมีปริมาณ 400 และ 361 มิลลิกรัม (gallic acid equivalents) / 1000 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่นของปลานิลแดงที่แช่ด้วยสารสกัดจากชาเขียวและชาดำ

คุณภาพ	ชุดควบคุม	ชาเขียว (ร้อยละ)			ชาดำ (ร้อยละ)			
	1	3	5	7	1	3	5	7
สี	7.73±0.51	8.0±0.53	8.20±067	8.40±0.73	8.13±0.51	7.73±0.88	8.13±0.51	8.2±0.67	7.33±0.61
กลิ่น	7.86±0.51	8.06±0.7	8.4±0.52	8.46±0.52	8.66±0.61	8.20±0.67	8.13±0.51	8.33±0.61	7.73±0.45

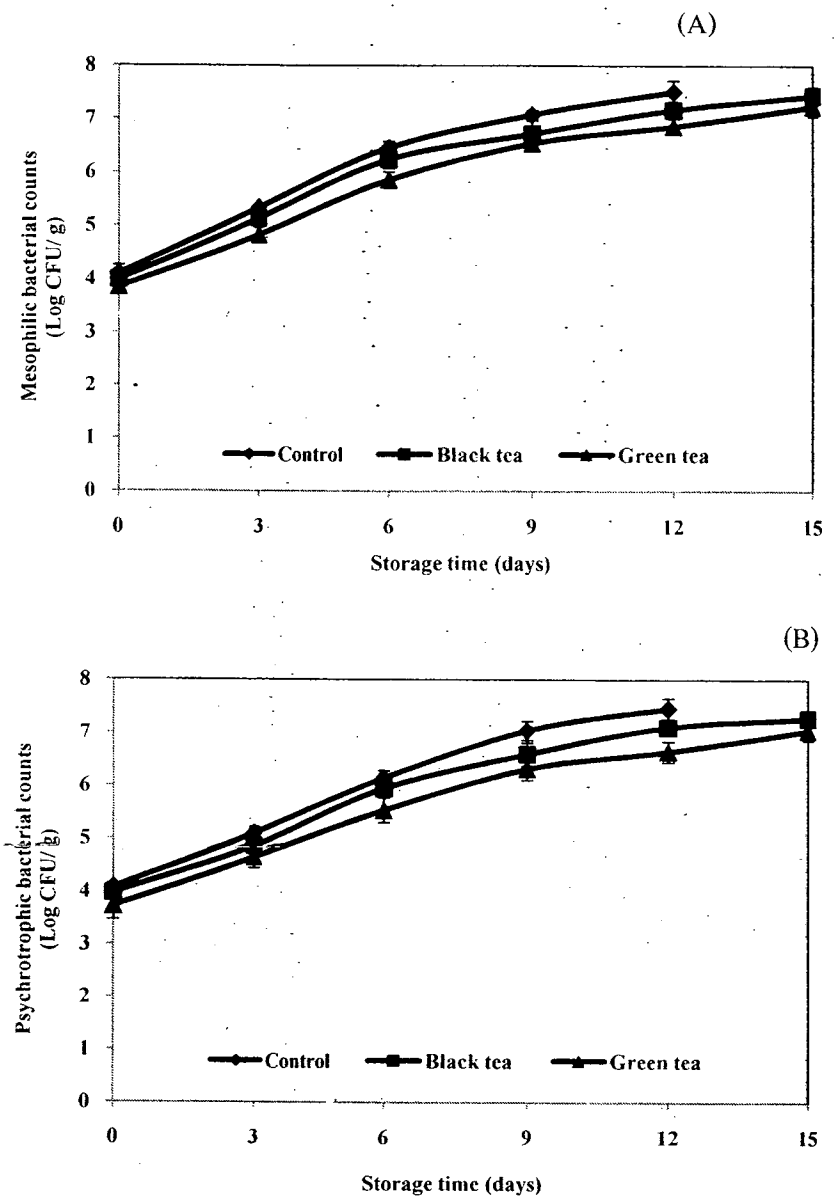
ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 ศึกษาผลของสารสกัดจากชาชนิดต่างๆ ต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อปลา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการทดลองหาปริมาณแบคทีเรีย mesophilic ในตัวอย่างปลานิลที่แช่สารสกัดชาเขียวและชาดำร้อยละ 5 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (รูปที่ 1A) ผลการทดลองการพบว่าเก็บปลานิลแดงในชุดที่ไม่ได้แช่สารสกัดชาเขียวและชาดำมีปริมาณแบคทีเรีย mesophilic เพิ่มขึ้นจาก 4.04 log CFU/g ถึง 7 log CFU/g ภายในเวลา 9 วันของการเก็บรักษา และเพิ่มสูงกว่าชุดการทดลองที่แช่สารสกัดชาเขียว ($p<0.05$) ชุดการทดลองที่แช่สารสกัดชาเขียวมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้แช่สารสกัดชาเขียว ($p<0.05$) เมื่อเก็บเวลานานขึ้น เป็นไปได้ว่าการแช่สารสกัดจากชาเขียว ส่งผลในการชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากสารสกัดชาเขียวจะมีสารกลุ่มพอลิฟีนอลซึ่งสารกลุ่มนี้ ได้แก่ catechin, epicatechin, gallocatechin, epigallocatechin และ epigallocatechin gallate สารเหล่านี้สามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ (Kumudavally *et al.*, 2008; Gharras, 2009) ในการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณแบคทีเรีย mesophilic ในการแช่สารสกัดจากชาเขียว 5% (w/v) เพิ่มขึ้นจาก 3.73 log CFU/g ถึง 7 log CFU/g ภายในเวลา 15 วันของการเก็บรักษา และสารสกัดจากชาดำ 5% (w/v) เพิ่มขึ้นจาก 3.96 log CFU/g ถึง 7 log CFU/g ภายในเวลา 12 วันของการเก็บรักษา Kumudavally *et al.* (2008) พบว่าใบชาสดมีปริมาณพอลิฟีนอลร้อยละ 10-30 ของน้ำหนักใบแห้ง แต่ชาดำมีเพียงร้อยละ 3-10 ของน้ำหนักใบแห้ง นอกจากนี้ในใบชาจะมีกลุ่มพวก flavonoid และ catechins ICMSF (1986) ได้กำหนดปริมาณแบคทีเรียของสัตว์น้ำต้องไม่เกิน 7 log CFU/g ซึ่งถ้ามีค่าแบคทีเรียเกินกว่าค่านี้ ไม่เหมาะสมในการนำมาบริโภค Fan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการใช้สารพอลิฟีนอลจากใบชา ในการยืดอายุการเก็บรักษาปลา Carp ที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง พบว่าที่ความเข้มข้นของสารพอลิฟีนอลร้อยละ 0.2 (w/w) ที่ใช้ในการแช่ปลาคาร์พสามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าไม่ใช้สารพอลิฟีนอลและสามารถเก็บรักษาปลา Carp ได้นานถึง 35 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ไม่ใช้

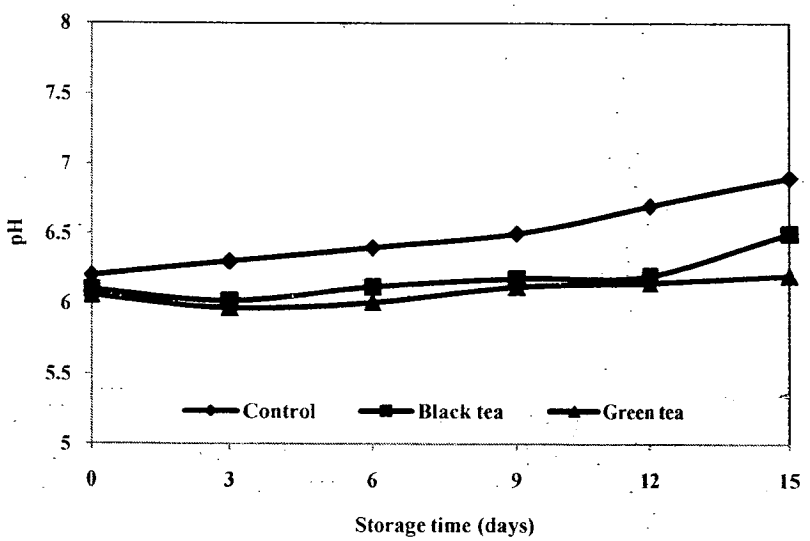
สารพอลิฟีนอลสามารถเก็บรักษาได้เพียง 28 วัน จากการทดลองเป็นไปได้ว่าการแช่ในสารสกัดจากชาเขียวสามารถชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีกว่าการแช่ในสารสกัดจากชาดำและชุดควบคุมที่ไม่ได้แช่ชาเขียวและชาดำ ชุดการทดลองในเนื้อปลาที่แช่สารสกัดชาเขียวร้อยละ 5 สามารถลดการเจริญเติบโตของปริมาณแบคทีเรียชนิด psychrotrophic เทียบกับเนื้อปลาที่แช่สารสกัดชาดำร้อยละ 5 และ ชุดควบคุมเมื่อเก็บเวลานานขึ้น ($p<0.05$) (รูปที่ 1 (B)) เป็นไปได้การเก็บรักษาเนื้อปลานิลที่ผ่านการแช่ในสารสกัดชาเขียวร้อยละ 5 สามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียชนิด Mesophilic (A) และ Psychrotrophic (B) ของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 (■) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

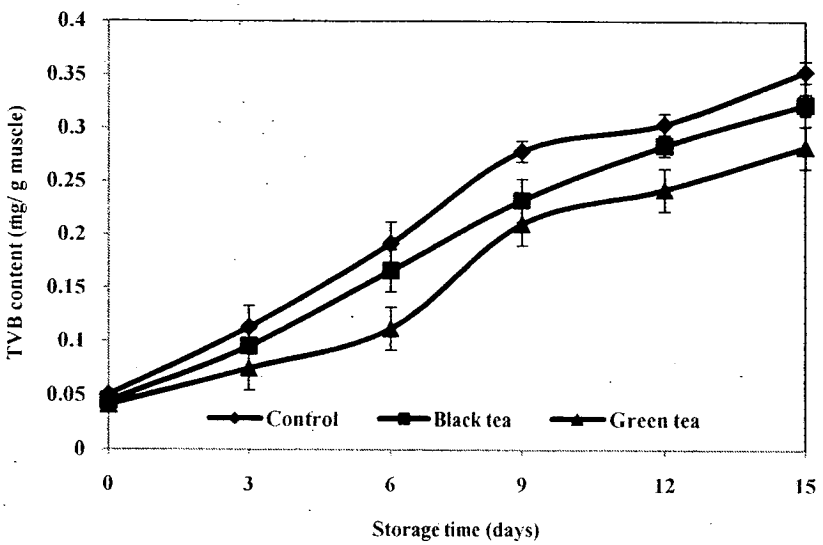
ผลการศึกษาเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของปลานิลแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2) พบว่าค่าพีเอชของตัวอย่างควบคุม มีค่าพีเอชเริ่มต้น 6.18 เมื่อเก็บรักษานานขึ้นค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นตลอด 15 วัน ของการเก็บรักษา เป็นไปได้ว่าเกิดจากสารประกอบด่างที่ระเหยได้ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้มีพีเอชของสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (Pastoriza *et al.*, 1996) เมื่อเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 2 ในขณะที่ปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวและสารสกัดชาดำ ค่าพีเอชค่อยๆลดลงน้อยกว่าชุดควบคุม ในตัวอย่างที่มีการแช่สารสกัดจากชาดำจะมีค่าพีเอชที่คล้ายๆกับสารสกัดจากชาเขียว แต่จะมีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากชาเขียวและชาดำมีสารประกอบ phenolic ซึ่งมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง Kumudavally *et al.* (2008) พบว่าใบชามีปริมาณพอลิฟีนอลร้อยละ 10-30 ของน้ำหนักใบแห้ง ผลการทดลอง Fan *et al.* (2008) ในตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ใช้สารประกอบพอลิฟีนอล มีพีเอชเริ่มต้น 6.2 และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน จากนั้น pH จะเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งเกิดจากสารประกอบด่างที่ระเหยได้ เนื่องจากกิจกรรมของแบคทีเรีย ในขณะที่ค่าเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชในปลาคาร์พที่แช่สารประกอบพอลิฟีนอลมีการเพิ่มขึ้นค่าพีเอชน้อยกว่าชุดควบคุม ดังนั้นการเก็บรักษาปลานิลแดงที่แช่สารสกัดจากชาเขียว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีกว่าชุดควบคุมหรือตัวอย่างที่ไม่ได้แช่สารสกัดจากชาเขียว



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอสของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 (■) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณรวมด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแดงในตัวอย่างควบคุม สารสกัดจากชาเขียว และสารสกัดจากชาดำ พบว่าตัวอย่างในชุดควบคุมและตัวอย่างที่แช่สารสกัดจากชาดำ มีค่า TVB-N สูงกว่าชุดการทดลองที่แช่สารสกัดจากชาเขียวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p<0.05$) (รูปที่ 3)

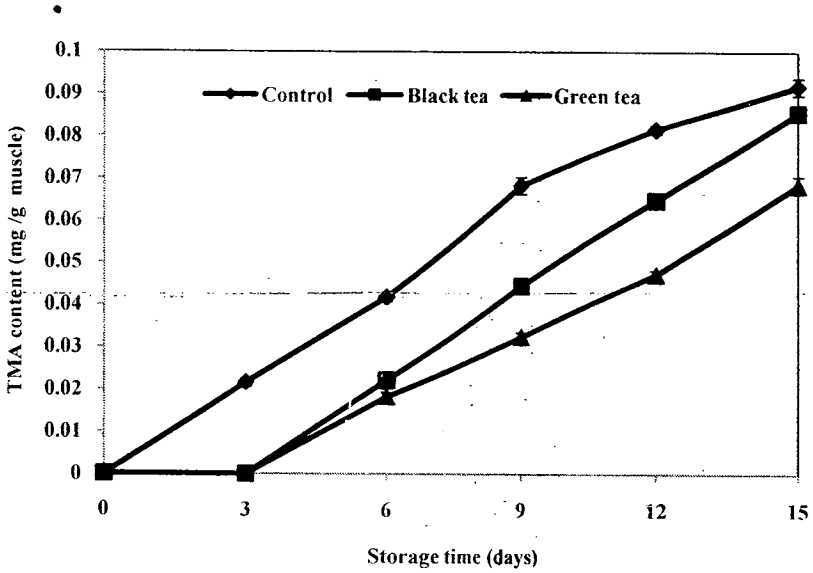
ตัวอย่างในชุดควบคุมมีค่า TVB-N มากกว่า 0.25 mg/g หลังจากวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ซึ่งค่า TVB-N มากกว่า 0.25 mg/g อยู่ในเกณฑ์ของสัตว์น้ำที่ไม่สามารถบริโภคได้เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย (Bank *et al.*, 1980) ค่า TVB-N เป็นการแสดงถึงปริมาณไตรเมทิลเอมีน ไดเมทิลเอมีน และแอมโมเนีย ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการเน่าเสียของสัตว์น้ำ ตัวอย่างที่มีการแช่สารสกัดจากชาเขียวมี สูงกว่า 0.25 mg/g หลังจากการเก็บ 15 วัน ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการแช่สารสกัดจากชาดำมี สูงกว่า 0.25 mg/g หลังจากการเก็บ 12 วัน Fan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการใช้สารพอลิฟีนอลจากใบชา ในการยืดอายุการเก็บรักษาปลา Carp ที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง พบว่าที่ความเข้มข้นของสารพอลิฟีนอลร้อยละ 0.2 (w/w) ของสารละลายที่ใช้ในการแช่ สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N ได้ดีกว่าชุดควบคุม เป็นไปได้ว่าสารสกัดจากชาเขียวสามารถชะลอหรือลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของสัตว์น้ำได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและสารสกัดจากชาดำ



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณรวมด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 (■) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

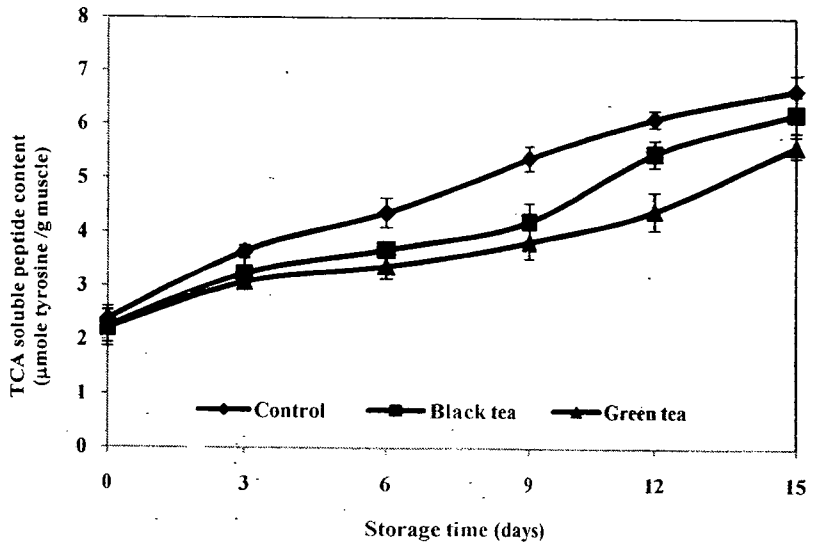
ผลการศึกษาการแช่ปลานิลแดง โดยสารสกัดจากชาเขียวมีค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) เพิ่มขึ้นน้อยกว่าปลานิลแดงที่แช่สารสกัดจากชาดำ และชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษา ($p<0.05$) (รูปที่ 4) ปริมาณไตรเมทิลเอมีนเป็นการแสดงถึงการลดลงของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) ที่เกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรีย ส่งผลทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับและการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำ แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงไตรเมทิลเอมีนออกไซด์เป็นไตรเมทิลเอมีนในสัตว์น้ำ ได้แก่ *Shewanella putrefaciens*, *Aeromonas* spp., *Photobacterium* และ *Vibrio* spp. (Huss, 1995) การแช่ปลานิลแดง โดยสารสกัดจากชาเขียวสามารถชะลอหรือลดการเสื่อมเสียได้ดีกว่าปลานิลแดงที่แช่สารสกัดจากชาดำ และชุดควบคุม Kumudavally *et al.* (2008) พบว่าการใช้สารสกัดชาเขียวสามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli*

และ *S. aureus* นอกจากนี้ Fan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการใช้สารพอลิฟีนอลจากใบชา ในการยืดอายุการเก็บรักษาปลา Carp ที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง พบว่าที่ความเข้มข้นของสาร พอลิฟีนอลร้อยละ 0.2 (w/w) ของสารละลายที่ใช้ในการแช่ สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TMA ได้ดีกว่าชุดควบคุม



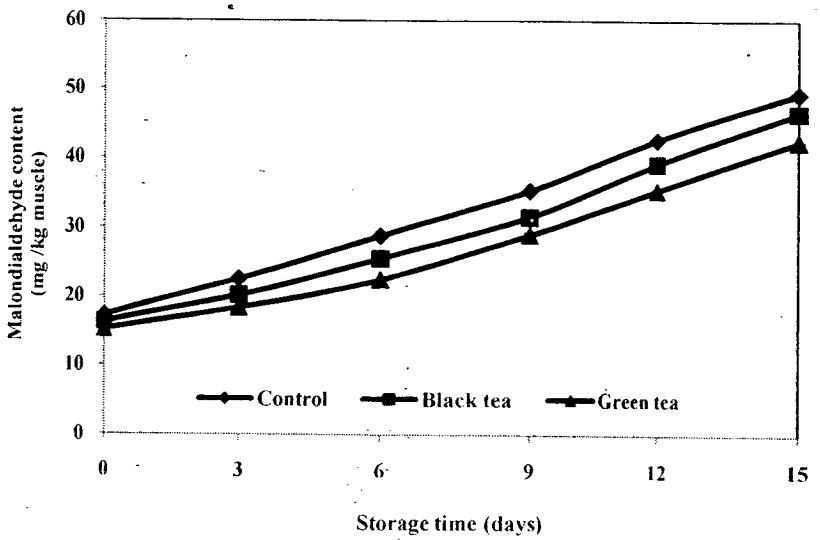
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 ( ) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกของเนื้อปลานิลที่เก็บรักษาในสภาวะต่างๆ พบว่า ปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติก ในตัวอย่างเนื้อปลาที่แช่ในสารสกัดชาเขียวมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเนื้อปลาที่แช่ในสารสกัดชาดำและชุดควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา ($p < 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 5 ผลการทดลองพบว่าการแช่สารสกัดชาเขียวร้อยละ 5 ส่งผลทำให้ปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองอื่นๆ แสดงว่าการการแช่สารสกัดชาเขียวของเนื้อปลาสามารถลดการย่อยสลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ ซึ่งมีสาเหตุมาจากเอนไซม์ endogenous และโปรติเอสในระหว่างการเก็บรักษา (Benjakul *et al.*, 1997) Venugopol *et al.* (1983) พบว่า โปรติเอสจากเชื้อ *Pseudomonas marinoplotinosa* สามารถย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อของแอคโตไมโอซิน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียแกรมลบ (gram–negative) เช่น *Pseudomonas, Shewanella* spp. เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสีย และย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อได้ (Ordonez *et al.*, 2000) ดังนั้น การเก็บรักษาสัตว์น้ำโดยการแช่ในสารสกัดชาเขียวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการยับยั้งหรือชะลอการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำ



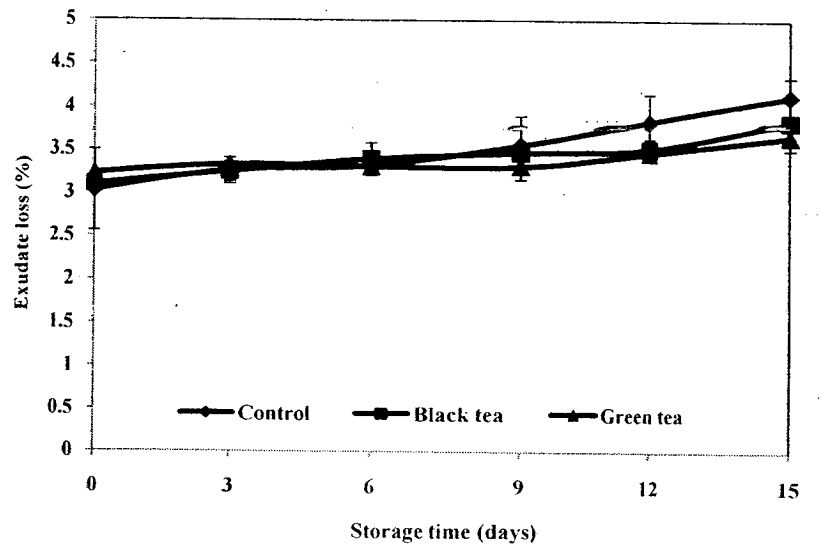
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 (■) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาการแช่ปลานิสแดงโดยสารสกัดจากชาเขียว มีค่ามาลอนดิอัลดีไฮด์ (TBARS) เพิ่มขึ้นน้อยกว่าปลานิลแดงที่แช่สารสกัดจากชาดำ และชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษา ($p<0.05$) เป็นไปได้ว่าในการแช่สารสกัดจากชาเขียวสามารถลดหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาปลานิลแดง เนื่องจากสารสกัดชาเขียวจะมีสารกลุ่มพอลิฟีนอลซึ่งสารกลุ่มนี้ ได้แก่ catechin, epicatechin, gallocatechin, epigallocatechin และ epigallocatechin gallate (Kumudavally *et al.*, 2008; Gharras, 2009) ซึ่งมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน Banerjee (2006) พบว่า epigallocatechin gallate ในพอลิฟีนอลของชาเขียวสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในปลา mackerel (*Scomber scombrus*) ได้ Fan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการใช้สารพอลิฟีนอลจากใบชา ในการยืดอายุการเก็บรักษาปลา Carp ที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง พบว่าที่ความเข้มข้นของสารพอลิฟีนอล 0.2% (w/w) ของสารละลายที่ใช้ในการแช่ สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่ามาลอนดิอัลดีไฮด์ได้ดีกว่าชุดควบคุม Maqsood และBenjakul (2010) พบว่าการใช้สารประกอบ phenolic สามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อปลา mackerel บดได้ดีกว่าไม่เติมสารประกอบ phenolic นอกจานี้การเพิ่มขึ้นของค่ามาลอนดิอัลดีไฮด์ระหว่างการเก็บรักษาอาจเนื่องจากในปลามีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่ปริมาณสูง (Hobbs, 1982) ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว ดังนั้นการใช้สารสกัดชาเขียวในสัตว์น้ำสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ส่งผลในการลดการเกิดกลิ่นหืนได้ในระหว่างการเก็บรักษา



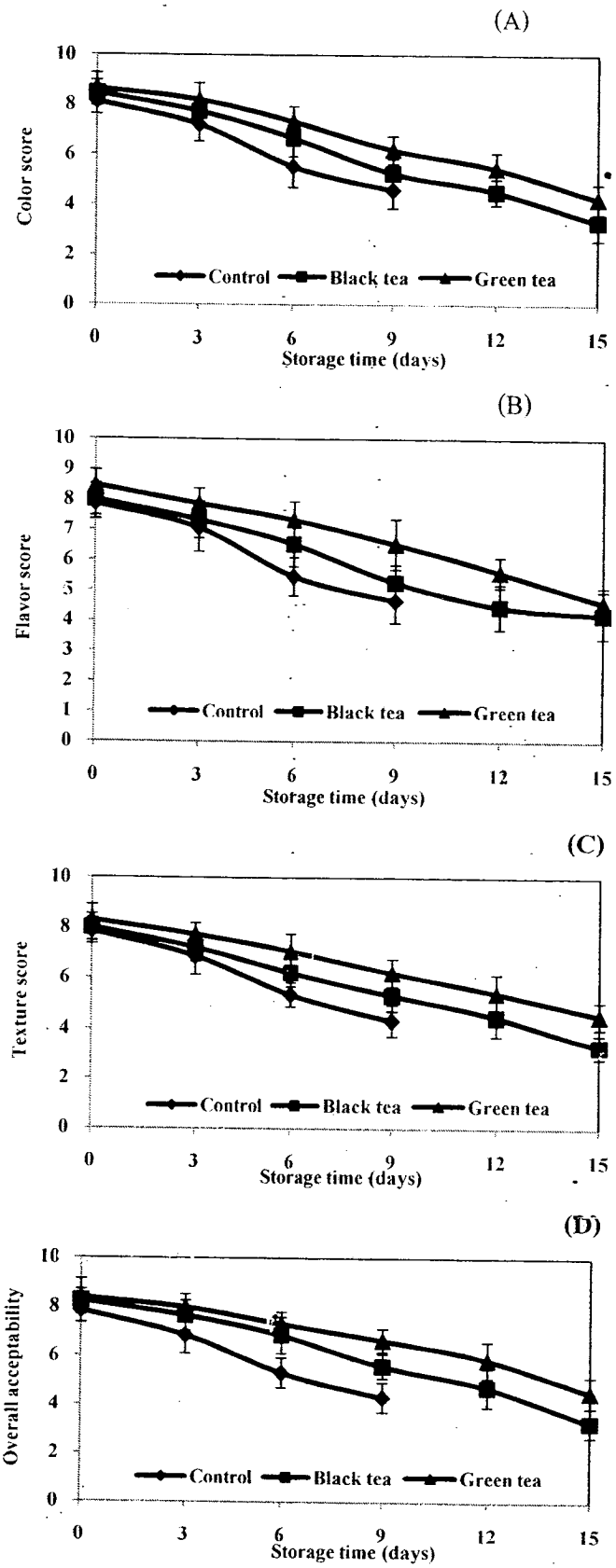
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณ Malondialdehyde (TBARS) ของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 (■) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆของปลานิลแดง พบว่าในชุดควบคุม มีการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าตัวอย่างที่แช่สารสกัดจากชาเขียวและสารสกัดจากชาดำตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p<0.05$) เป็นไปได้ว่าในชุดควบคุมเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายตัวเองของสัตว์น้ำ (autolysis) และการเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย ส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา แต่การแช่สารสกัดชาเขียวและสารสกัดจากชาดำสามารถชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นดังรูปที่ 1 ซึ่งในชาเขียวและชาดำมีสารประกอบ phenolic compound ซึ่งสามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ ส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าชุดควบคุม



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนัก (exudate loss) ของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 (■) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมในเนื้อปลานิลแดง พบว่าทุกชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับสูงในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา แต่ในตัวอย่างที่มีการแช่สารสกัดจากชาดำมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสีน้อยกว่าตัวอย่างที่แช่สารสกัดชาเขียว เมื่อเวลาผ่านไปคะแนนการยอมรับลดลงอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 8 A, B, C, และ D) โดยพบว่าตัวอย่างควบคุมมีคะแนนยอมรับลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 6 วันของการเก็บรักษา เนื่องจากเริ่มมีสีที่คล้ำ กลิ่นเหม็น และเน่าเสีย ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ในขณะที่ปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำ มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสได้นานถึง 9 วันของการเก็บรักษา ในขณะที่ปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาเขียว มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสได้นานถึง 12 วันของการเก็บรักษา โดยการทดสอบคุณภาพด้านกลิ่นรสทำการนึ่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และตั้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปทดสอบคุณภาพด้านกลิ่นรส Fan *et al.* (2008) พบว่าการใช้สารพอลิฟีนอลจากใบชา ในการยืดอายุการเก็บรักษาปลา Carp ที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง พบว่าที่ความเข้มข้นของสารพอลิฟีนอลร้อยละ 0.2 (w/w) ของสารละลายที่ใช้ในการแช่ สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าชุดควบคุม 7 วัน ดังนั้นการเก็บรักษาสัตว์น้ำโดยใช้สารสกัดจากชาเขียวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัสได้



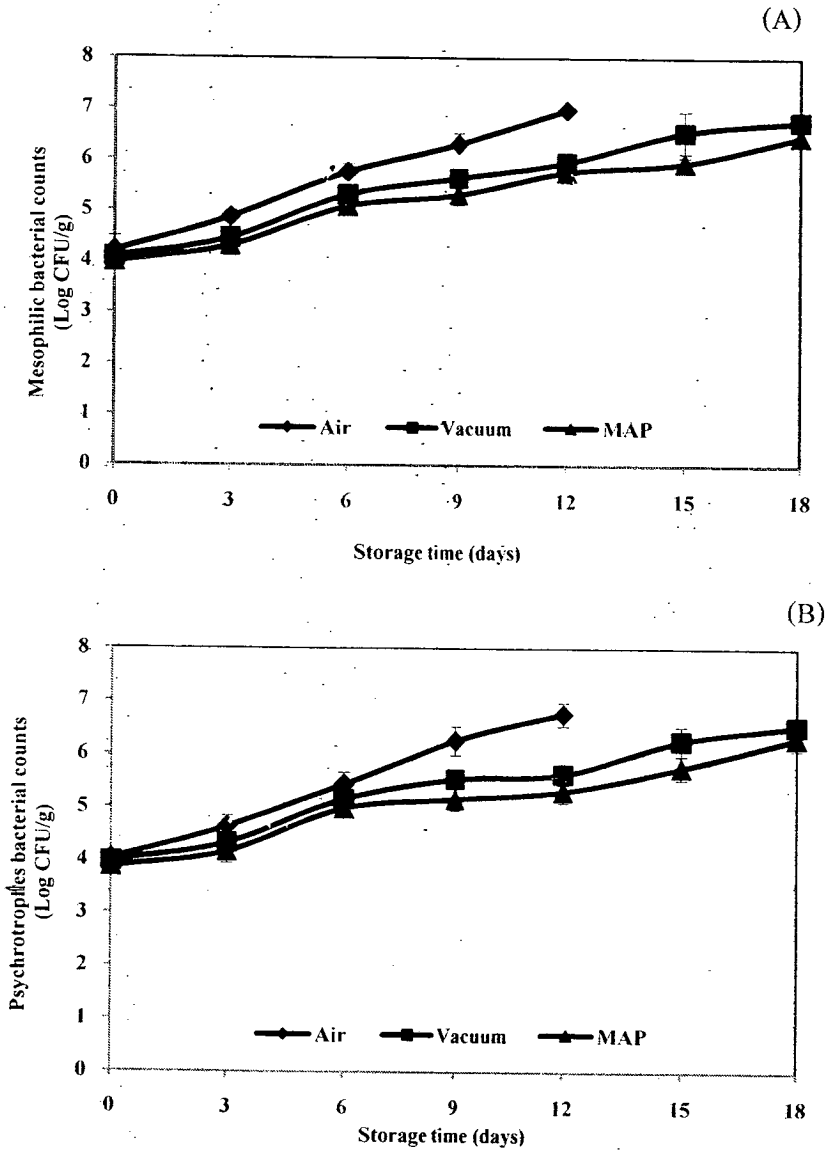
รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี (A) กลิ่นรส (B) เนื้อสัมผัส (C) และความชอบรวม (D) ของปลานิลแดงที่แช่ในสารสกัดจากชาดำร้อยละ 5 (■) ชาเขียวร้อยละ 5 (▲) และ ชุดควบคุม (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

3. ผลการของการบรรจุแบบสุญญากาศและดัดแปลงบรรยากาศต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อปลา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเนื้อนิลแดงที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีปริมาณแบคทีเรีย mesophilic ทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ($p<0.05$) (รูปที่ 9A) ปริมาณแบคทีเรีย mesophilic ทั้งหมดของเนื้อปลาที่เก็บแบบบรรยากาศปกติ (ชุดควบคุม) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 4 log CFU/g ถึง 7 log CFU/g ภายใน 9 วัน และ เพิ่มสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) ICMSF (1986) ได้กำหนดคุณภาพทางจุลินทรีย์ของสัตว์น้ำสดไม่เกิน 7 log CFU/g ซึ่งการเก็บแบบบรรยากาศปกติสามารถเก็บได้ 6 วัน หลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ปลาเกิดการเน่าเสียเนื่องจากแบคทีเรียที่มีปริมาณเกินข้อกำหนด ในขณะที่ชุดการทดลองเนื้อปลาที่บรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (MAP) ที่มีปริมาณ 60% CO_2 มีปริมาณแบคทีเรีย mesophilic ทั้งหมดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ เมื่อเก็บเวลานานขึ้น เป็นไปได้ว่าการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศที่มี CO_2 เป็นวิธีในการชะลอหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเกิดกรดคาร์บอนิคจากการละลายของ CO_2 บริเวณผิวหน้าสัตว์น้ำในระหว่างการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (Ordonez *et al.*, 2000) กรดคาร์บอนิคเป็นกรดอินทรีย์ที่เป็นชนิดกรดอ่อนมีลักษณะที่แตกตัวได้น้อยจึงมีบทบาทในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ดี กรดอ่อนสามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในได้โดยอิสระและเกิดการแตกตัวโดยให้โปรตอนจึงมีแนวโน้มที่จะทำให้เซลล์มีสภาพเป็นกรดและทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นภายในเซลล์จุลินทรีย์ เซลล์จะพยายามรักษาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่เป็นกลางไว้ โดยขับไล่โปรตอนออกไปจากเซลล์ กลไกนี้มีผลทำให้เซลล์จุลินทรีย์เจริญเติบโตช้าลง เนื่องจากต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งขับไล่โปรตอนออกไป (Adam and Moss, 1995) Goulas และ คณะ (2005) ศึกษาผลของการบรรจุเนื้อหอยแมลงภู่ภายใต้การดัดแปลงบรรยากาศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ 80%CO_2/ 20%O_2 สามารถชะลอการเจริญเติบโตของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด *Pseudomonas* spp. และจุลินทรีย์ที่สร้าง H_2Sได้ 0.9- 1, 0.7-0.8 และ 0.7-1.2 log CFU/g ตามลำดับ นอกจากนี้การเก็บปลานิลภายใต้สุญญากาศมีการเพิ่มขึ้นของแบคทีเรีย mesophilic ทั้งหมดน้อยกว่าชุดควบคุม การใช้การบรรจุแบบสุญญากาศเป็นการลดปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุ ส่งผลให้มีการลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการเจริญ Stamatis และ Arkoudelos (2007) ศึกษาคุณภาพของปลา mackerel (*Scomber colias japonicus*) ภายใต้การเก็บรักษาแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาปลา mackerel ในสุญญากาศสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 10 วัน ในขณะที่การเก็บแบบบรรยากาศปกติสามารถเก็บรักษาเพียง 6 วัน โดยการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย mesophilic ทั้งหมดภายใต้สุญญากาศมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเก็บแบบบรรยากาศปกติ นอกจากนี้การเก็บปลานิลแดงภายใต้การบรรจุแบบสุญญากาศและดัดแปลงบรรยากาศสามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย psychrotrophic ได้มากกว่าการเก็บแบบบรรยากาศปกติตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 9B) ในขณะที่การเก็บปลานิลแดงแบบสุญญากาศสามารถชะลอการเจริญเติบโตได้มากกว่า

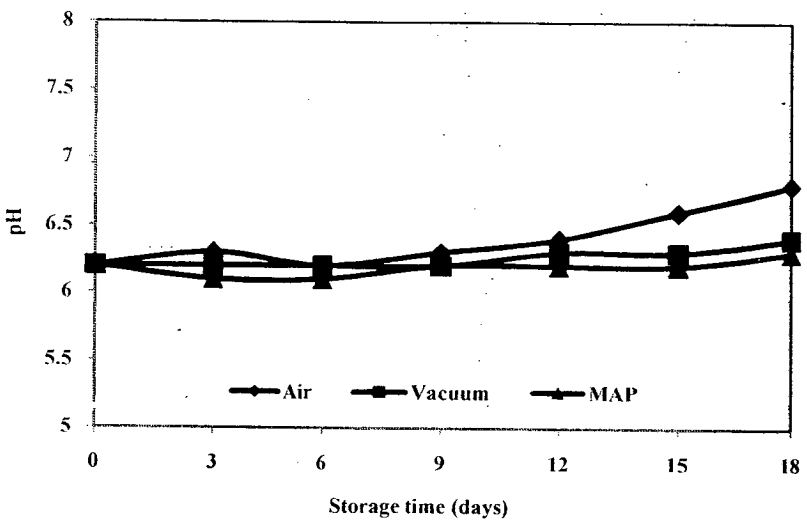
การเก็บแบบบรรยากาศปกติ Pantazi *et al.* (2008) พบว่าการเก็บปลา Mediterranean swordfish (*Xiphias gladius*) ภายใต้การบรรจุแบบสุญญากาศสามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีกว่าการเก็บปลาแบบบรรยากาศปกติ Emborg และคณะ (2005) พบว่าการเก็บปลา tuna (*Thunnus albacares*) ภายใต้การบรรจุดัดแปลงบรรยากาศ (40%CO_2) สามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย psychrotrophic ได้ดีกว่าการเก็บแบบสุญญากาศ ดังนั้นเป็นไปได้ว่าการเก็บรักษาปลานิลและสัตว์น้ำโดยวิธีการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศที่มี CO_2 สามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้มากกว่าการเก็บปลาแบบสุญญากาศ ส่งผลในการเน่าเสียของเนื้อปลาจากแบคทีเรียช้าลงกว่าการเก็บปลาแบบสุญญากาศและบรรยากาศปกติ



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Mesophilic (A) และ Psychrotrophic (B) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

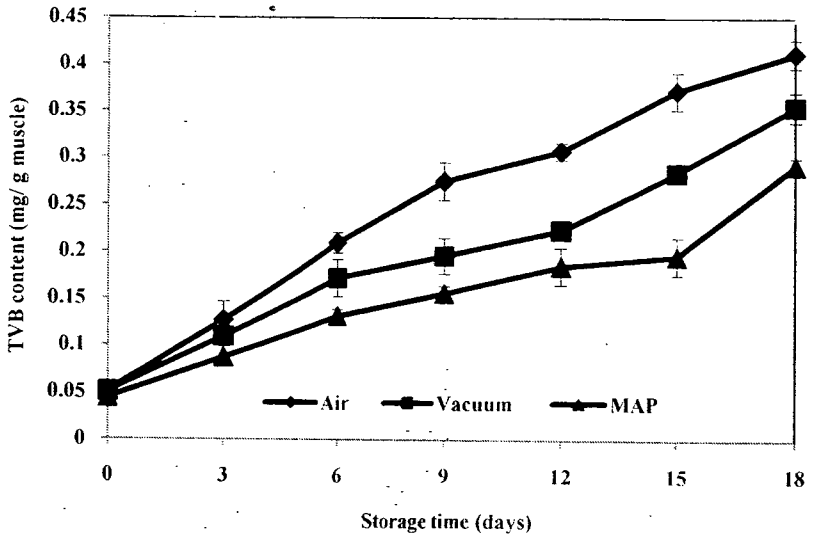
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของเนื้อปลาที่เก็บรักษาในสภาวะต่างๆ แสดงในรูปที่ 10 พบว่าค่าพีเอชที่พบในเนื้อปลานิลแดงในตัวอย่างชุดควบคุม มีค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 6.2 เมื่อการเก็บรักษานานขึ้นค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นตลอด 18 วัน ของการเก็บรักษา เป็นไปได้เกิดจากสารประกอบด่างที่ระเหยได้ที่พบในสัตว์น้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไตรเมทธิเอมีน และสารประกอบเอมีน ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำให้สัตว์น้ำเน่าเสีย ส่งผลทำให้มีพีเอชของสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (Pastoriza *et al.*, 1996) เมื่อการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 9 ขณะที่ชุดการทดลองเนื้อปลาที่เก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศมีการลดลงของค่าพีเอชในช่วง 6 วัน ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นไปได้ว่าการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศที่มี CO_2 เกิดกรดคาร์บอนิคจากการละลายของ CO_2 บริเวณผิวหน้าสัตว์น้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Ordonez *et al*, 2000) ทำให้ค่าพีเอชลดลง หลังจากเก็บรักษา 6 วัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชเล็กน้อย เป็นไปได้ว่าการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศสามารถชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ส่งผลให้มีสารประกอบด่างที่ระเหยได้เพิ่มขึ้นน้อยกว่าชุดที่เก็บแบบบรรยากาศปกติ ในขณะที่การเก็บปลาแบบสุญญากาศมีการเพิ่มขึ้นของพีเอชเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปได้ว่าการเก็บแบบสุญญากาศมีปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุน้อย ทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ต้องการอากาศสามารถเจริญเติบโตได้น้อย ส่งผลให้สารประกอบด่างที่ระเหยได้เพิ่มขึ้นน้อย ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเก็บแบบบรรยากาศปกติ (Arashisar *et al.*, 2004) สอดคล้องการการทดลองของ Goulas and Kontominas (2007) พบว่าปลา sea bream ที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติมีการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชในระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่เก็บปลาแบบดัดแปลงบรรยากาศจะมีการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชเพียงเล็กน้อย



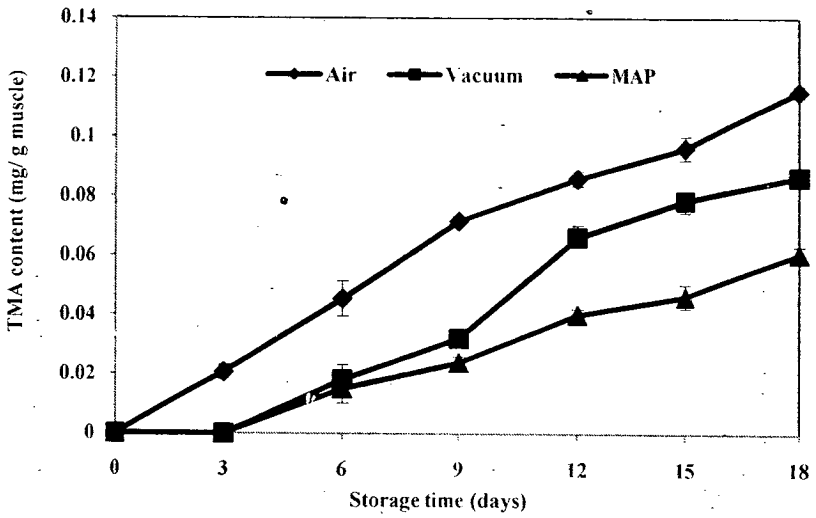
รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณรวมด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ (รูปที่ 11) พบว่า ตัวอย่างชุดที่เก็บสภาวะแบบบรรยากาศปกติ มีค่า TVB-N สูงกว่าชุดการทดลองที่เก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศและสุญญากาศที่เวลาการเก็บรักษา 18 วัน ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่าตัวอย่างปลานิลแดงที่เก็บสภาวะการดัดแปลงบรรยากาศมีการเพิ่มขึ้นค่า TVB-N ในอัตราที่ต่ำกว่าปลานิลแดงที่เก็บแบบสุญญากาศตลอดทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 18 วัน ปริมาณ TVB เป็นค่าปริมาณรวมด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดซึ่งสามารถบ่งชี้การเน่าเสียของคุณภาพสัตว์น้ำเนื่องจากแบคทีเรียที่ทำให้สัตว์น้ำเน่าเสีย การบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศที่มี CO_2 เป็นวิธีในการชะลอหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเกิดกรดคาร์บอนิคจากการละลายของ CO_2 บริเวณผิวหน้าสัตว์น้ำในระหว่างการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (Ordonez *et al.*, 2000) กรดคาร์บอนิคเป็นกรดอินทรีย์ที่มีบทบาทในการยับยั้งจุลินทรีย์ ส่งผลทำให้ปริมาณ TVB เพิ่มขึ้นช้าๆ ระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าปลานิลแดงที่เก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศทุกชุดการทดลอง มีค่า TVB-N น้อยกว่า 0.25 mg/ g ตลอดการเก็บรักษา 15 วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของสัตว์น้ำที่นำมาบริโภคได้ ในขณะที่ตัวอย่างชุดที่เก็บแบบบรรยากาศปกติมีค่า TVB-N มากกว่า 0.25 mg/ g หลังจากการเก็บวันที่ 9 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของสัตว์น้ำที่ไม่สามารถบริโภคได้เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย (Bank *et al.*, 1980) Kostaki *et al.* (2009) พบว่าการเก็บปลา sea bass (*Dicentrachus labrax*) ภายใต้การบรรจุ 60%CO_2 มีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆของ TVB เทียบกับการเก็บปลาแบบบรรยากาศปกติ ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปลานิลแดงที่เก็บสภาวะดัดแปลบรรยากาศทุกชุดการทดลอง มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งหรือชะลอการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย ทำให้ค่า TVB-N เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ค่า TVB-N เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเน่าเสียของคุณภาพสัตว์น้ำ สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแบคทีเรีย mesophiles ตามรูปที่ 9 นอกจากนี้ การบรรจุเนื้อปลานิลภายใต้การดัดแปลงบรรยากาศสามารถยืดอายุได้ 15 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม ได้ 6 วัน



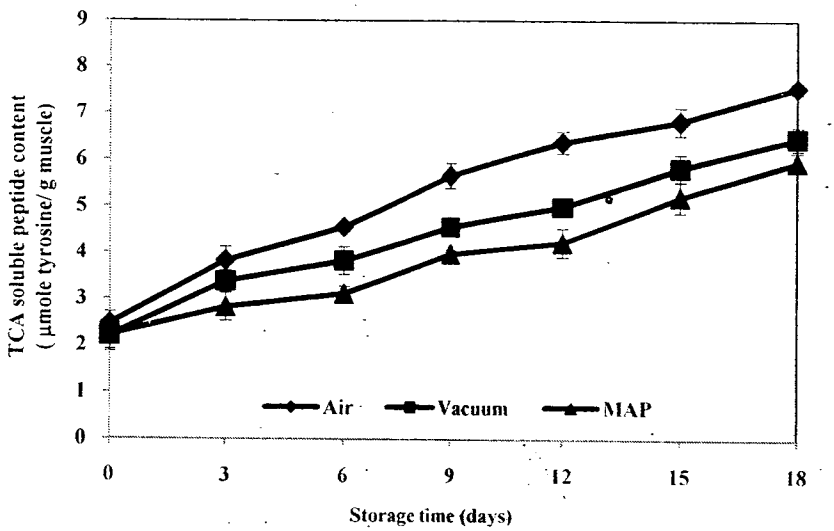
รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณรวมด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปลานิลแดงที่เก็บแบบบรรยากาศปกติ มีค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) เพิ่มขึ้นมากกว่าปลานิลแดงที่เก็บสภาวะดัดแปลงบรรยากาศและสุญญากาศตลอดการเก็บรักษา ($p<0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 12 ปริมาณไตรเมทิลเอมีนเป็นการแสดงถึงการลดลงของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) ที่เกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรีย ส่งผลทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับและการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำ พบว่าปลานิลแดงที่เก็บสภาวะดัดแปลงบรรยากาศทุกชุดการทดลอง มีค่า TMA น้อยกว่า 0.05 mg/ g ตลอดการเก็บรักษา 15 วัน โดยชุดการทดลองที่เก็บสภาวะดัดแปลงบรรยากาศมีปริมาณ TMA เพิ่มขึ้นน้อยกว่าชุดที่เก็บแบบสุญญากาศ ผลการทดลองสอดคล้องกับ Ravi-Sankar *et al.* (2008) พบว่าการเก็บปลา pearlspot (*Etroplus suratensis* Bloch)ในสภาวะที่มี 60%CO2 สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TMA ปริมาณ TMA อย่างไรก็ตาม ปริมาณ TMA ที่พบในตัวอย่างที่เก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศอยู่ในเกณฑ์ของสัตว์น้ำที่นำมาบริโภคได้ ในขณะที่ตัวอย่างชุดที่เก็บแบบบรรยากาศปกติมีปริมาณ TMA มากกว่า 0.05 mg/ g หลังจากการเก็บวันที่ 6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของสัตว์น้ำที่ไม่สามารถบริโภคได้เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย Ozden *et al.* (2007) และ Masniyom *et al.* (2002) พบว่าปริมาณ TMA ที่พบในสัตว์น้ำมีค่าเกิน 0.05 mg/ g ส่งผลในการเน่าเสียและไม่ยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส



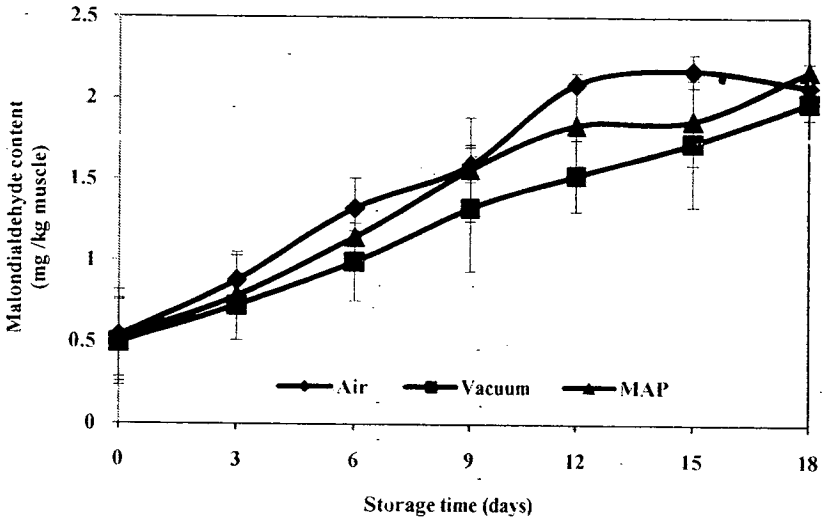
รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกของเนื้อปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศและดัดแปลงบรรยากาศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกในตัวอย่างที่เก็บภายใต้ดัดแปลงบรรยากาศเพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 18 วัน (รูปที่ 13) เป็นไปได้ว่าการเก็บเนื้อปลาภายใต้การดัดแปลงบรรยากาศสามารถลดการย่อยสลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ ซึ่งมีสาเหตุมาจากเอนไซม์ endogenous และโปรติเอสในระหว่างการเก็บรักษา (Benjakul *et al.*, 1997) Venugopol *et al.* (1983) พบว่า โปรติเอสจากเชื้อ *Pseudomonas marinoplotinosa* สามารถย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อของแอคโตไมโอซิน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียแกรมลบ (gram–negative) เช่น *Pseudomonas, Shewanella* spp. เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสีย และย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อได้ (Ordonez *et al.*, 2000) สำหรับในตัวอย่างที่เก็บด้วยบรรยากาศปกติมีปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ หลังจากวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ($p < 0.65$) ดังนั้น การรักษาเนื้อปลาภายใต้การดัดแปลงบรรยากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการยับยั้งหรือชะลอการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำ



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

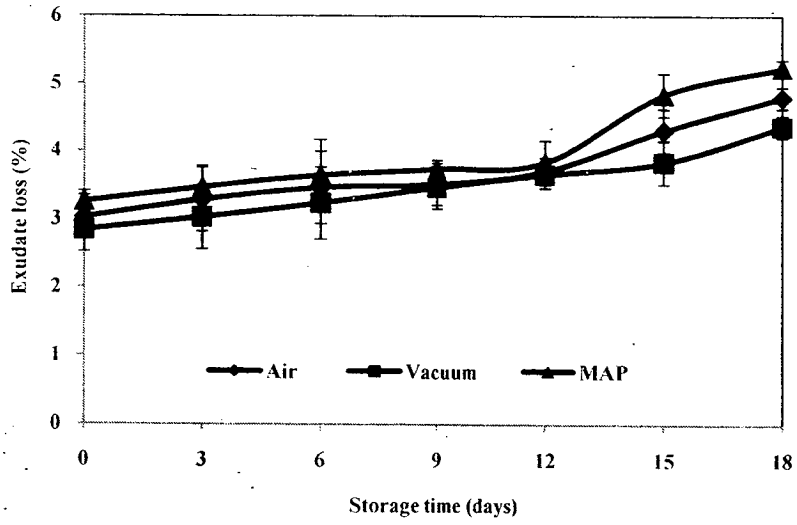
ปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์ (TBARS) แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ส่งผลทำให้เกิดกลิ่นหืนของสัตว์น้ำ ผลการศึกษาปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์ของปลานิลแดงที่เก็บรักษาแบบสุญญากาศและดัดแปลงบรรยากาศทุกชุดการทดลองมีปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุมตลอดเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 14) ในขณะที่การเก็บปลาแบบสุญญากาศมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์น้อยกว่าชุดทดลองอื่นๆ เป็นไปได้ว่าการเก็บรักษาสัตว์น้ำในสภาพดัดแปลงบรรยากาศและสุญญากาศมีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าการเก็บแบบบรรยากาศปกติ ส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันน้อยกว่าการเก็บแบบบรรยากาศปกติ Pantazi และคณะ (2008) ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลา swordfish (*Xiphias gladius*) ภายใต้การเก็บรักษาแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บแบบสุญญากาศสามารถเก็บรักษาปลาได้นาน 9 วัน เปรียบเทียบกับการเก็บแบบบรรยากาศปกติสามารถเก็บได้ 7 วัน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่า TBA. พบว่าการเก็บปลา swordfish ภายใต้สุญญากาศมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าปลาที่เก็บแบบบรรยากาศปกติ เป็นไปได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในการเก็บแบบสุญญากาศเกิดขึ้นน้อยกว่าการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศและบรรยากาศปกติ ปลานิลแดงที่เก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์มากกว่าการเก็บแบบสุญญากาศ อาจเกิดจากการเก็บแบบแบบดัดแปลงบรรยากาศ มีผลจากกรดคาร์บอนิคทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพ เกิดการปลดปล่อยเหล็กจากฮีม (heam iron) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบกล้ามเนื้อ ปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์ ที่เพิ่มจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ CO_2 ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เป็นไปได้ว่ากรดคาร์บอนนิคอาจไปยับยั้งเอนไซม์ gluthathione peroxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Masniyom *et al.*, 2004) ส่วนชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS เนื่องจากในปลานิลแดงมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลในการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ (Budge and Parrish, 2003)



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่า Malondialdehyde ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

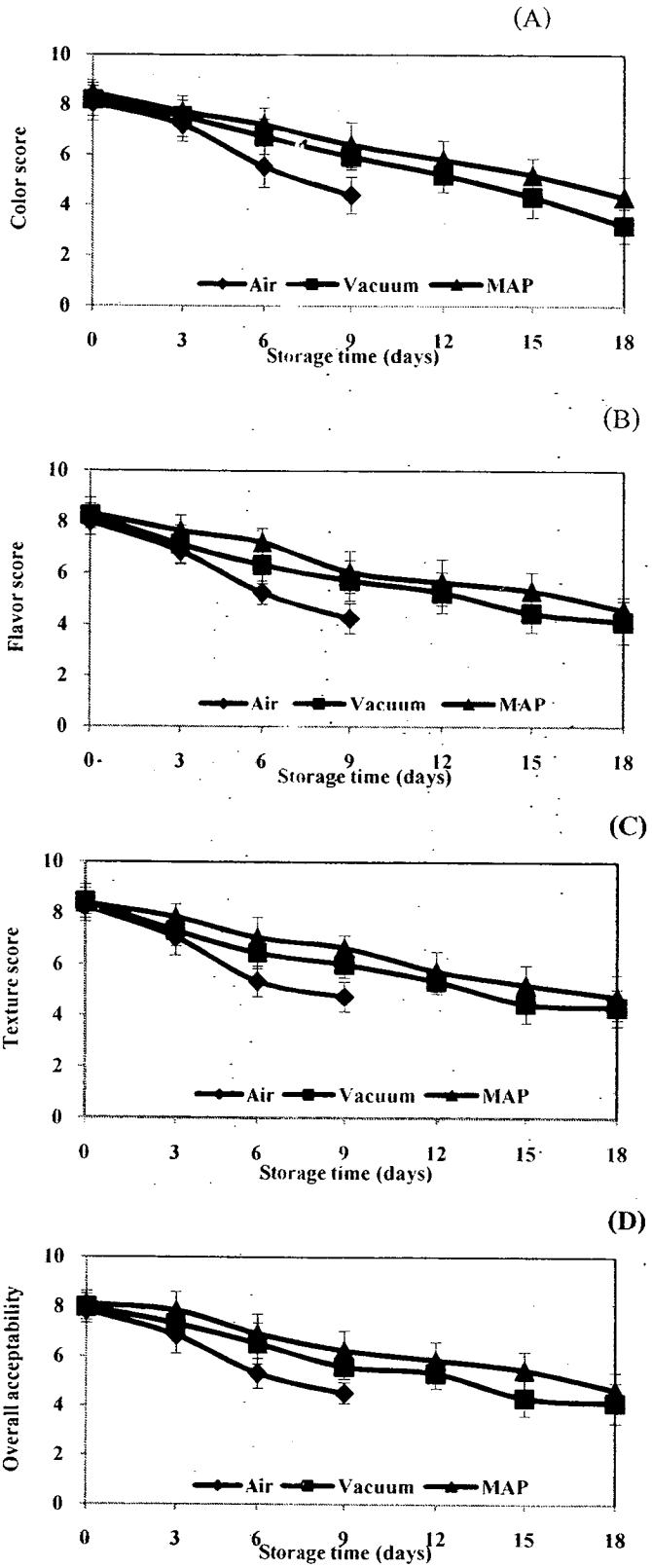
ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของปลานิลแดง พบว่าการเก็บบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ มีการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุมตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา (รูปที่ 15) ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงว่า การเก็บบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศมีผลทำให้มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดคาร์บอนิคพีเอชที่เกิดขึ้นในเนื้อหอยส่งผลให้พีเอชลดลงทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพ (Stammen *et al.*, 1990) มีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำอิสระ ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักในตัวอย่างชุดควบคุม เกิดจากจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นไปทำลายไมโอฟีลาเมนท์ (myofilament) โดยเอนไซม์โปรติเอสเมื่อรักษาตลอดอายุการเก็บนานขึ้น (Masniyom, 2011) Masniyom และคณะ (2002) ได้เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักในเนื้อปลากะพงขาวที่บรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (100 %CO_2) กับตัวอย่างชุดควบคุมที่บรรจุแบบบรรยากาศ พบว่าตัวอย่างที่ใช้บรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (100 %CO_2) มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 18 วัน ซึ่งการใช้ CO_2 ที่มีปริมาณสูงอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนัก (exudate loss) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ ความชอบรวมในเนื้อปลานิลแดง พบว่าทุกชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับสูงในวันเริ่มต้น และเมื่อเวลาผ่านไปคะแนนการยอมรับลดลงอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 16 A, B, C และD) โดยพบว่าตัวอย่างชุดการทดลองที่เก็บสภาวะบรรยากาศปกติมีคะแนนการยอมรับลดลง หลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เนื่องจากเริ่มมีสีซีด กลิ่นเหม็นเน่าเสีย เนื้อสัมผัสไม่แน่นและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ในขณะการเก็บปลาแบบสุญญากาศมีการยอมรับด้านประสาทสัมผัสได้ถึง 12 วัน ในขณะที่การเก็บปลาแบบดัดแปลงบรรยากาศมีการยอมรับด้านประสามสัมผัสได้นานถึง 15 วัน ดังนั้นจากการทดลองการเก็บบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (60% CO_2) สามารถรักษาคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และประสาทสัมผัส ได้ดีกว่าตัวอย่างการเก็บบรรจุแบบสุญญากาศ และชุดควบคุมที่เก็บแบบบรรยากาศปกติ ซึ่งการเก็บปลาบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (60% CO_2) น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่การลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ส่งผลทำให้เกิดการเน่าเสีย ลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนของไขมัน และลดการเสื่อมเสียที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ส่งผลทำให้มีการยืดอายุการเก็บรักษาของปลานิลแดงแล่ได้ ตลอดจนสามารถรักษาคุณภาพของสัตว์น้ำได้



รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี (A) กลิ่นรส (B) เนื้อสัมผัส (C) และความชอบรวม (D) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; Vacuum (■); MAP (▲) และ Air (♦) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

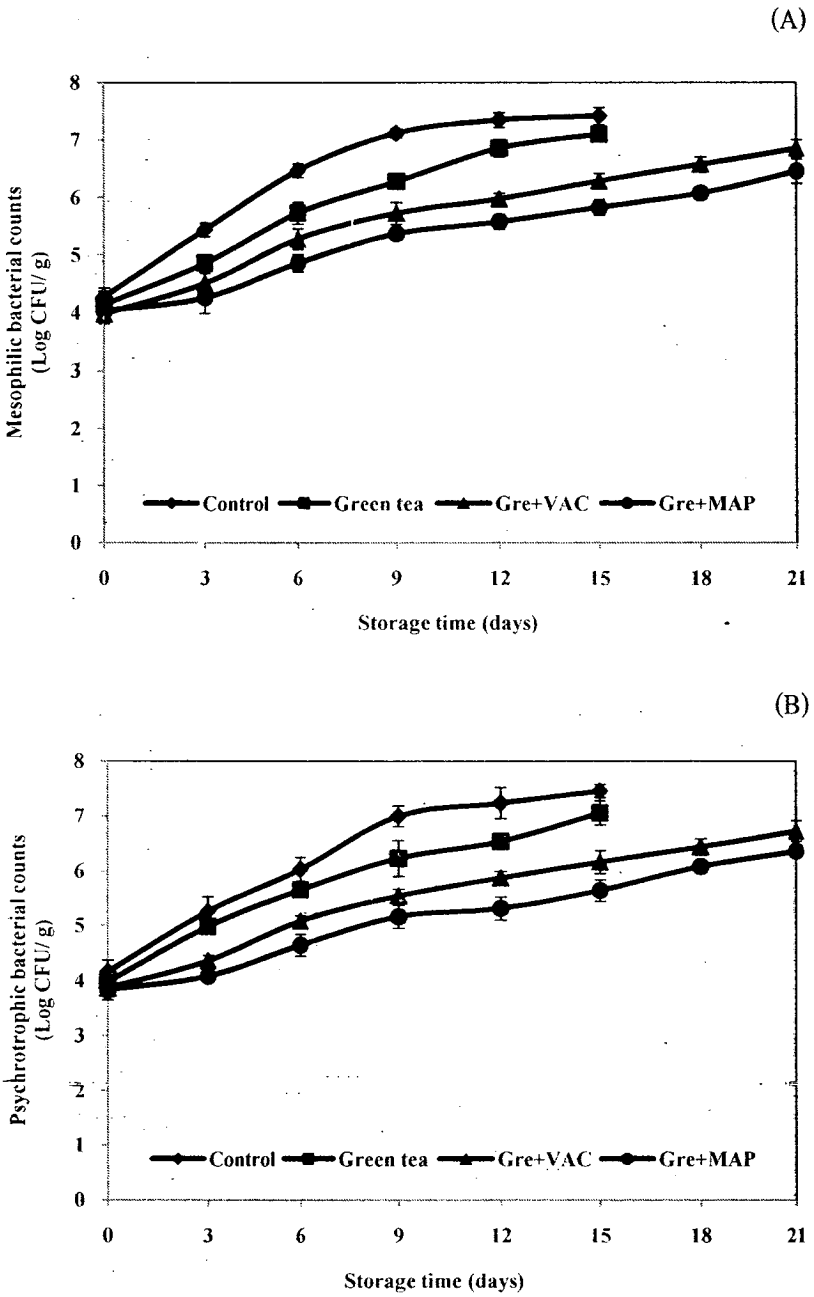
4. ผลร่วมของชาและการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อปลา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเนื้อปลานิลแดงที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียชนิด mesophilic ทั้งหมดทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ($p<0.05$) (รูปที่ 17 (A)) ปริมาณแบคทีเรียชนิด mesophilic ทั้งหมดของปลานิลแดงที่แช่ด้วยสารสกัดจากชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับการเก็บบรรจุดัดแปลงบรรยากาศ (60%CO_2) เพิ่มขึ้นน้อยกว่าชุดการทดลองที่แช่ด้วยสารสกัดจากชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับการเก็บบรรจุสุญญากาศ และชุดการทดลองที่แช่ด้วยสารสกัดจากชาร้อยละ 5 ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามชุดควบคุมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ภายใน 15 วันของการเก็บรักษา เป็นไปได้ว่าชุดการทดลองที่แช่ด้วยสารสกัดจากชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับการเก็บบรรจุดัดแปลงบรรยากาศ (60%CO_2) จะสามารถชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งสารสกัดจากชาเขียวมีสารกลุ่มพอลิฟีนอล ในสารกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย ได้แก่ catechin, epicatechin, gallocatechin, epigallocatechin และ epigallocatechin gallate (Kumudavally *et al.*, 2008; Gharras, 2009) สามารถชะลอหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวกที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร และ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคทางเดินอาหาร ได้แก่ *Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescens, Bacillus cereus, Staphylococcus aureus* และ *Listeria monocytogenes* (Yi *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2012) นอกจากนี้การใช้ CO_2 สามารถชะลอหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเกิดกรดคาร์บอนิกจากการละลายของ CO_2 บริเวณผิวหน้าสัตว์น้ำในระหว่างการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (Ordonez *et al*, 2000) กรดคาร์บอนิคเป็นกรดอินทรีย์ที่เป็นชนิดกรดอ่อนมีลักษณะที่แตกตัวได้น้อยจึงมีบทบาทในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ดี สามารถลดการเจริญของแบคทีเรีย โดยสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ (Masniyom, 2011) Goulas และ Kontominas (2007) พบว่าการใช้น้ำมัน oregano ร้อยละ 0.8 ร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (40%CO_2, 30%O_2, 30%N_2) ในปลา sea bream สามารถยืดอายุการเก็บรักษาปลาได้นานถึง 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้ใช้น้ำมัน oregano และเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศ นอกจากนี้ Kostaki และคณะ (2009) พบว่าการใช้น้ำมัน thyme ร้อยละ 0.2 ร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (60%CO_2, 10%O_2, 30%N_2) ในปลา sea bass สามารถชะลอหรือลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีกว่าปลาที่ไม่ได้ใช้น้ำมัน thyme และ เก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าการใช้สารสกัดชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศสามารถลดหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียนำไปสู่การลดการปนเปื้อนแบคทีเรียของอาหาร

นอกจากนี้ชุดการทดลองเนื้อปลานิลที่ผ่านการแช่ด้วยสารสกัดจากชาเขียวร้อยละ5 ร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (60%CO_2, 10%O_2, 10%N_2) มีปริมาณแบคทีเรียชนิด psychrotrophic ทั้งหมดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆเมื่อเก็บเวลานานขึ้น ($p<0.05$) (รูปที่ 17 (B)) เป็นไปได้ว่าการใช้สารสกัดจากชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศไม่เพียงแต่สามารถยับยั้งปริมาณแบคทีเรีย mesophilic แต่สามารถ

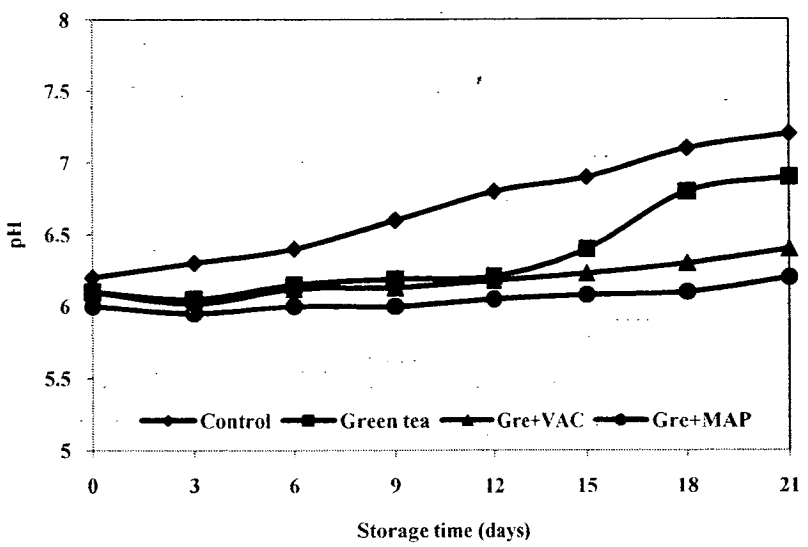
ยับยั้งแบคทีเรีย psychrotrophic ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าการใช้สารสกัดจากธรรมชาติร่วมกับการบรรจุดัดแปลงบรรยากาศ สามารถชะลอหรือลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียนำไปสู่การยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ



รูปที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Mesophilic (A) และ Psychrotrophic (B) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 (■); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

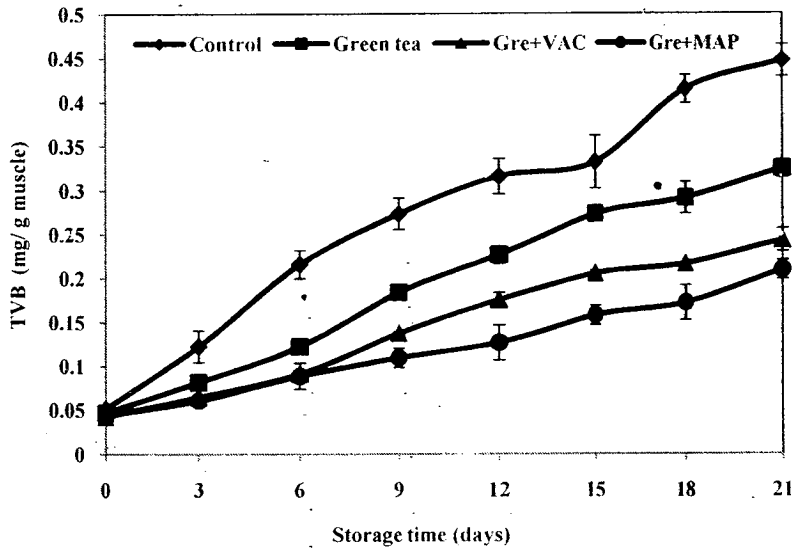
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเนื้อปลานิลที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (รูปที่ 18) พบว่าค่าพีเอชของเนื้อปลานิลมีค่าเริ่มต้นที่ 6.0 ซึ่งต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ เป็นไปได้ว่าสารสกัดชาเขียวมีสารประกอบ phenolic ทำให้ค่าพีเอชของเนื้อปลาลดลง นอกจากนี้การเก็บบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศมี CO_2 อาจเกิดกรดคาร์บอนิคจากการละลายของ CO_2 บริเวณผิวหน้าสัตว์น้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Ordonez *et al.*, 2000) ส่งผลให้ค่าพีเอชของปลานิลมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ในระหว่างการเก็บรักษาค่าพีเอชของปลานิลที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศเพิ่มขึ้นน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามชุดควบคุมที่ไม่ได้มีการแช่ด้วยสารสกัดชาเขียวและบรรจุแบบบรรยากาศปกติมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชเป็นไปได้ว่าเกิดจากสารประกอบด่างที่ระเหยได้ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Pastoriza *et al.*, 1996) ขณะที่ชุดการทดลองปลานิลแดงที่แช่ด้วยสารสกัดจากชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศมีการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชน้อยกว่าปลานิลแดงที่แช่ด้วยสารสกัดจากชาเขียวเพียงอย่างเดียว ซึ่งการเก็บสัตว์น้ำภายใต้สุญญากาศสามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ต้องการอากาศที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ดังนั้นการเก็บรักษาสัตว์น้ำโดยการแช่สารสกัดจากชาเขียวและเก็บภายใต้การดัดแปลงบรรยากาศส่งผลต่อการชะลอปฏิกิริยาทางชีวเคมีและชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Giatrakou *et al.*, 2008)



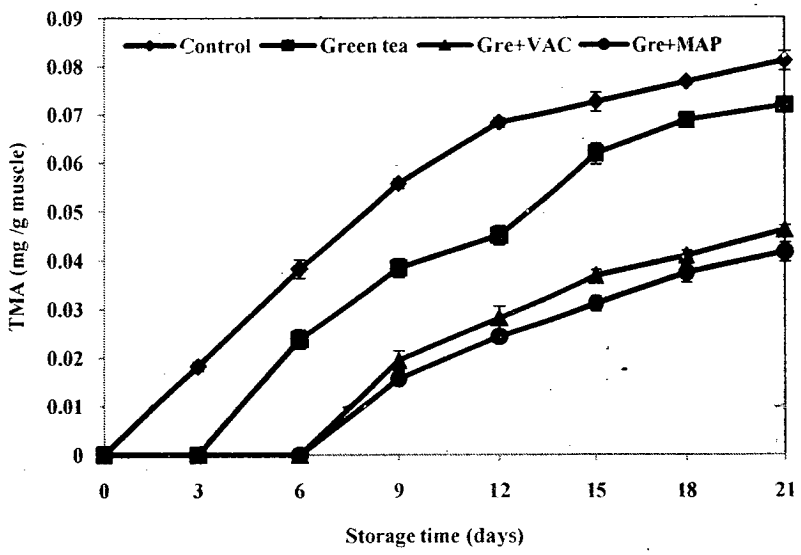
รูปที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 ( ); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณรวมด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแดงที่สารสกัดจากชาเขียวร่วมกับการบรรจุในสภาวะต่างๆ พบว่าตัวอย่างที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศมีค่า TVB-N การเพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวอย่างชุดอื่นๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p<0.05$) (รูปที่ 19) ในขณะที่ชุดการทดลองของปลานิลแดงที่สารสกัดจากชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศมีการเพิ่มสูงน้อยกว่าชุดการทดลองปลานิลแดงที่แช่สารสกัดจากชาเขียวเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามชุดตัวอย่างที่ไม่ได้แช่สารสกัดชาเขียวมีค่า TVB-N เพิ่มสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ตลอดการเก็บรักษา พบว่าปริมาณ TVB-N ที่พบในสัตว์น้ำมีค่ามากกว่า 0.25 mg/g ส่งผลให้เกิดการเน่าเสียและกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับ (Bank *et al.*, 1980) ปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศมีค่า TVB-N อยู่ในช่วง 0.05-0.25 mg/ g ตลอดการเก็บรักษา 21 วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของสัตว์น้ำที่นำมาบริโภคได้ Kostaki *et al.* (2009) พบว่าการใช้น้ำมัน thyme ร้อยละ 0.2 ภายใต้การบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (60% CO_2) ในปลา sea bass สามารถชะลอการเพิ่มของปริมาณ TVB-N ได้มากกว่าปลาที่ใช้น้ำมัน thyme เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Goulas และ Kontominas (2007) พบว่าการใช้น้ำมัน oregano ในปลา sea bream สามารถลดการเพิ่มของปริมาณ TVB-N ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เนื้อปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศมีบทบาทสำคัญในการยับยั้ง หรือชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้สัตว์น้ำเน่าเสีย ส่งผลในการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TVB-N อย่างช้าๆ ค่า TVB-N เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเน่าเสียของคุณภาพสัตว์น้ำ สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแบคทีเรียตามรูปที่ 20

ผลการศึกษาปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศ มีปริมาณไตรเมทิลเอมีน (TMA) เพิ่มขึ้นน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ตลอดการเก็บรักษา ($p<0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 20 ปริมาณไตรเมทิลเอมีนเป็นการแสดงถึงการลดลงของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรียได้แก่ *Alteromonas, Photobacterium, Vibrio* และ *Shewanella putrefaciens* (Huss, 1995) ส่งผลทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับและการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำ พบว่าปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศที่มี CO_2 และ สุญญากาศ มีค่า TMA น้อยกว่า 0.05 mg/g ตลอดการเก็บรักษา 21 วัน ในขณะที่การเก็บปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวและชุดควบคุมมีค่า TMA มากกว่า 0.05 mg/g หลังจากการเก็บ 12 และ 6 วัน ตามลำดับ Ozden *et al.* (2007) และ Masniyom *et al.* (2002) พบว่าปริมาณ TMA ที่พบในสัตว์น้ำมีค่าเกิน 0.05 mg/ g ส่งผลในการเน่าเสียและไม่ยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส Kostaki *et al.* (2009) พบว่าการใช้น้ำมัน thyme ร้อยละ 0.2 ร่วมกับการเก็บดัดแปลงบรรยากาศ (60% CO_2)ในปลา sea bass สามารถชะลอการเพิ่มของ TMA ได้มากกว่าปลาที่ไม่ได้ใช้น้ำมัน thyme ดังนั้นการแช่ปลานิลแดงในสารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บดัดแปลงบรรยากาศในสามารถชะลอการเน่าเสียได้

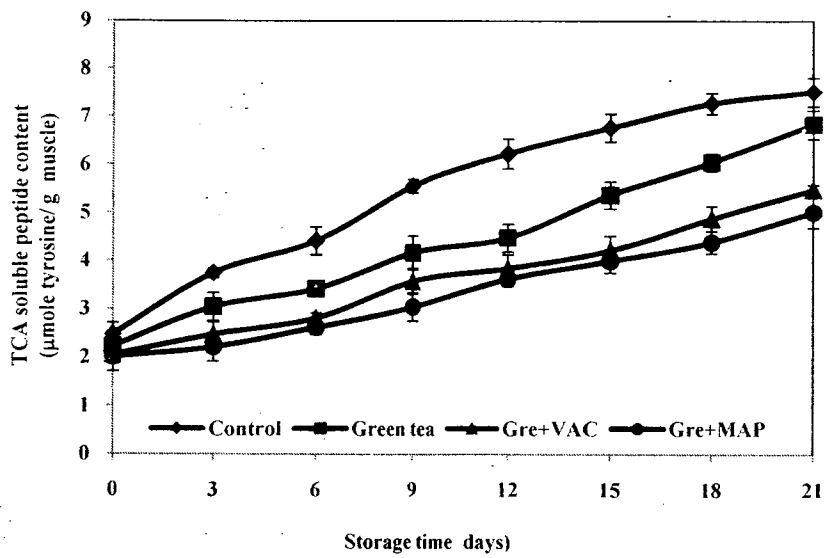


รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณรวมด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 (■); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส



รูปที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 (■); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

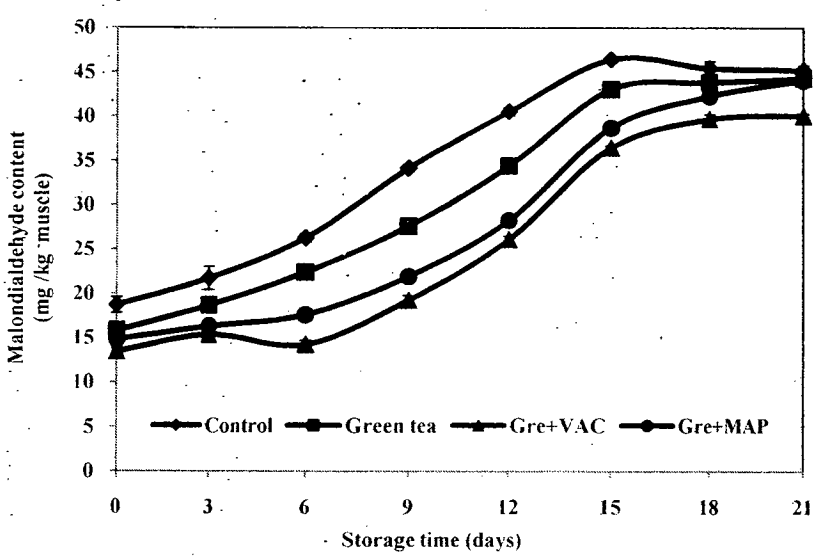
ผลการศึกษาปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกของเนื้อปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศ พบว่าปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการแช่ด้วยสารสกัดชาเขียวตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 21 วัน ($p<0.05$) (รูปที่ 21) สำหรับตัวอย่างปลานิลแดงที่มีการแช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบสุญญากาศมีปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเก็บปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวเพียงอย่างเดียว เป็นไปได้ว่าการแช่ปลานิลแดงด้วยสารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศสามารถลดการย่อยสลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ ซึ่งมีสาเหตุมาจากเอนไซม์ endogenous และโปรติเอสในระหว่างการเก็บรักษา (Benjakul *et al.*, 1997) Venugopol และคณะ (1983) พบว่า โปรติเอสจากเชื้อ *Pseudomonas marinoplotinosa* สามารถย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อของแอคโตไมโอซิน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียแกรมลบ (gram–negative) เช่น *Pseueomonas, Shewanella* spp. เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสีย และย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อได้ (Ordonez *et al.*, 2000) ดังนั้นการแช่ปลานิลแดงในสารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการยับยั้งหรือชะลอการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำ



รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติกของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 (■); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์ (TBARS) ของปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบสุญญากาศมีปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดการทดลองอื่นๆตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 22) อย่างไรก็ตามชุดการทดลองปลานิลแดงที่ไม่ได้แช่สารสกัดชาเขียวและ

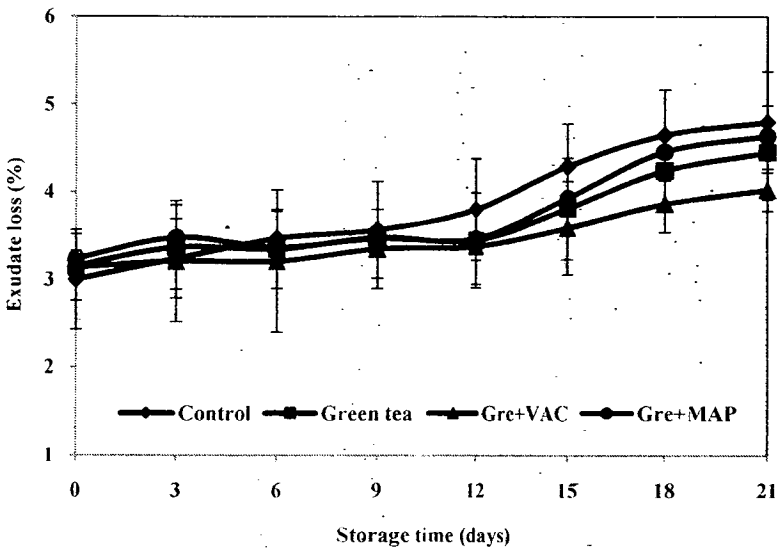
เก็บแบบบรรยากาศปกติมีปริมาณ TBARS เพิ่มขึ้นสูงกว่าตัวอย่างที่มีการแช่สารสกัดชาเขียว เป็นไปได้ว่าการแช่ปลาด้วยสารสกัดชาเขียวมีสารประกอบ phenolic acid, polyphenols ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้การเก็บบรรจุปลาภายใต้สุญญากาศสามารถลดปริมาณออกซิเจน ซึ่งเมื่อสัตว์น้ำสัมผัสกับออกซิเจนเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ในขณะที่ปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศมีการเพิ่มขึ้นของมาลอนดิอัลดีไฮด์น้อยกว่าตัวอย่างที่แช่สารสกัดจากชาเขียวเพียงอย่างเดียว Pantazi และคณะ (2008) ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลา swordfish (*Xiphias gladius*) ภายใต้การเก็บรักษาแบบสุญญากาศและดัดแปลงบรรยากาศ (40%CO_2) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บปลาแบบสุญญากาศมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนดิอัลดีไฮด์น้อยกว่าการเก็บปลาแบบดัดแปลงบรรยากาศ Maqsood และBenjakul (2010) พบว่าการใช้สารประกอบ phenolic สามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อปลา mackerel บดได้ดีกว่าไม่เติมสารประกอบ phenolic ดังนั้นการเก็บสัตว์น้ำด้วยสารสกัดจากชาเขียวร่วมกับการดัดแปลงบรรยากาศ สามารถปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้



รูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่า Malondialdehyde ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 (■); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาของปลานิลแดง พบว่าตัวอย่างปลานิลแดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบสุญญากาศมีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 23) เป็นไปได้ว่าการแช่ในสารสกัดชาเขียวมีสารมีสารประกอบ phenolic acid, polyphenols ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ส่งผลการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่น้อย ทำให้แบคทีเรียทำลายไมโอฟีลาเมนท์ โดยเอนไซม์โปรติเอสได้น้อยลง นอกจากสารสกัดชาเขียวนี้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ส่งผลการปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อย ก่อให้เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีนที่น้อย ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้แช่สารสกัดชาเขียว อย่างไรก็ตามชุดตัวอย่างที่ไม่ได้แช่สารสกัดชาเขียวมีการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ

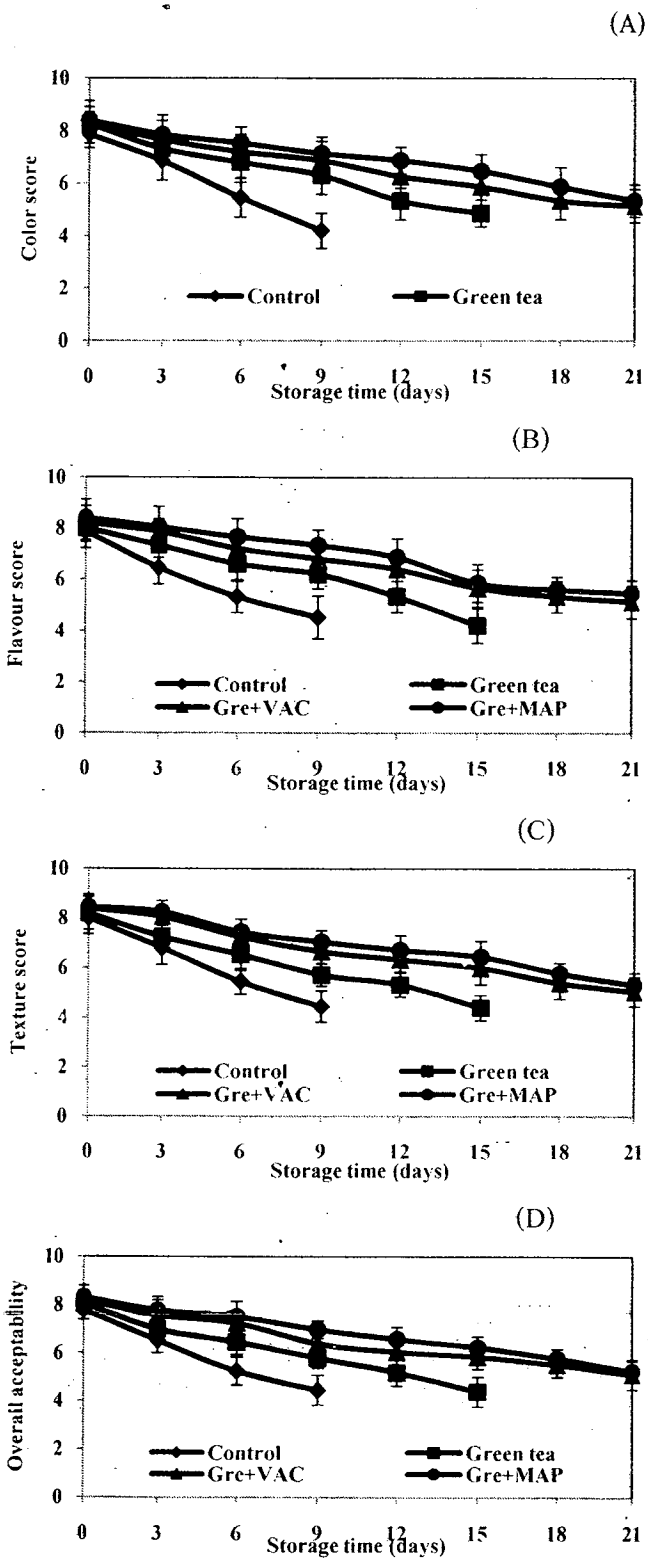


รูปที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนัก (Exudate loss) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 (■); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของเนื้อปลานิลแดง พบว่าทุกชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา เมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้นคะแนนการยอมรับทางประสารทสัมผัสลดลง โดยพบว่าชุดตัวอย่างไม่ได้แช่สารสกัดชาเขียวมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกด้านลดลง หลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เนื่องเกิดกลิ่นเหม็นและเน่าเสียไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ (รูปที่ 24 A, B, C และ D) อย่างไรก็ตามเนื้อปลานิล

ในเดงที่แช่สารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าชุดตัวอย่างอื่นๆ ตลอดเวลาการเก็บรักษา 21 วัน เป็นไปได้ว่าการแช่ด้วยสารสกัดชาเขียวร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศสามารถชะลอการเสื่อมเสียคุณภาพด้านจุลินทรีย์ เคมี กายภาพ และ ประสาทสัมผัส ได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่นๆ Mastromatteo และคณะ (2010) พบว่ากุ้งที่มีการเคลือบด้วยน้ำมัน thymol ร่วมกับการเก็บดัดแปลงบรรยากาศ (95%CO_2) สามารถเก็บรักษาได้นาน 14 เปรียบเทียบกับการเก็บแบบบรรยากาศปกติสามารถเก็บได้เพียง 5 วัน ดังนั้นการใช้สารสกัดจากธรรมชาติร่วมกับการเก็บแบบดัดแปลงบรรยากาศน่าจะเป็นทางเลือกในการยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพสัตว์น้ำได้



รูปที่ 24 การเปลี่ยนแปลงคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี (A) กลิ่นรส (B) เนื้อสัมผัส (C) และความชอบรวม (D) ของปลานิลแดงที่บรรจุแบบสภาวะต่างๆ; ชุดควบคุม (♦); ชาเขียวร้อยละ 5 (■); ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ Vacuum (▲) และ ชาเขียวร้อยละ 5 ร่วมกับ MAP (●) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4องศาเซลเซียส