บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ปลาเรนโบว์เทร้าต์ (rainbow trout)

ปลาเรนโบว์เทร้าต์ (rainbow trout) เป็นปลาน้ำจืดอยู่ในตระกูลเดียวกับปลาแซลมอน มีถิ่นกำเนิดอยู่บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิคเหนือ อาศัยอยู่ในลำธารตามธรรมชาติของทวีปอเมริกาเหนือ เช่น แคนาดาและสหรัฐอเมริกา เนื่องจากปลา เรนโบว์เทร้าต์เป็นปลาที่มีรสชาติดีจึงเป็นที่รู้จักของคนทั่วไป สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิด น้ำหนักที่พบขนาดใหญ่สุดตัวละประมาณ 9 กิโลกรัม แต่ขนาดที่ใช้ในการบริโภคตั้งแต่ 100-250 กรัม เมื่อมีขนาดเล็กจะมีลายดำพาดขวาง 5-10 ลาย ลายขวางนี้จะหายไปเมื่อมีขนาดโตขึ้น แต่จะมีลายยาวกลางลำตัวสีชมพูไปจนถึงแดง ตัวผู้เมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์จงอยปากจะยื่นออกโดยขากรรไกรล่างจะโค้งขึ้น โดยในธรรมชาติปลาจะวางไข่ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม ในลำธารตามธรรมชาติตัวผู้และตัวเมียจะจับคู่กันหรือบางครั้งตัวเมีย 1 ตัวต่อตัวผู้ 2 ตัว ซึ่งปลาจะวางไข่ในหลุมที่ปลาเพศเมียขุดขึ้น แม่ปลาสามารถวางไข่ได้หลายครั้งในฤดูวางไข่ในแต่ละปี โดยอาจจะจับคู่กับปลาตัวผู้ตัวเดิมหรือเปลี่ยนตัวผู้ ในการวางไข่แต่ละครั้งจะมีไข่ระหว่าง 800-1,000 ฟอง ปลาเรนโบว์เทร้าต์จะวางไข่ได้ติดต่อกัน 3-4 ปี และปลาจะตายเมื่ออายุ 6-8 ปี อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปลาเรนโบว์เทร้าต์จะอยู่ระหว่าง 10-20 °C ปลาจะตายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 24 °C หรือต่ำกว่า 5 °C (โกมุทและคณะ, 2547)

Figure 2-1 Characteristic of rainbow trout

Source: http://aquanic.org/publicat/usda_rac/efs/ncrac/ncrac108.pdf

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเทศไทยได้เริ่มการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 โดยการนำไข่ปลาและลูกปลาจากประเทศแคนาดามาทดลองเลี้ยงในภาคเหนือ เช่นที่ อำเภอฝาง และที่ดอยอินทนนท์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ (โกมุทและคณะ, 2547) ซึ่งมีอากาศหนาวเย็น และอุณหภูมิน้ำต่ำ เนื่องจากพื้นที่บนภูเขาในภาคเหนือของประเทศไทย อุณหภูมิน้ำค่อนข้างต่ำ ประมาณ 18 °C และมีปริมาณน้ำไหลผ่านเพียงพอ เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ แต่จากผลการทดลองเลี้ยงที่สถานีกสิกรรมฝางพบว่าปลาเจริญเติบโตได้ดีเป็นเวลา 6 สัปดาห์ หลังจากนั้นปลาตายทั้งหมด เนื่องจากสารพิษที่พบในน้ำ อย่างไรก็ตาม ได้มีการสรุปช่วงเวลาที่ปลาตายนั้นอุณหภูมิน้ำประมาณ 24 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่เหนือระดับที่ปลาเรนโบว์เทร้าต์จะทนได้ และปรากฏว่าอุณหภูมิที่สถานีทดลองนี้สูงกว่า 27 °C สรุปได้ว่าบริเวณสถานีกสิกรรมฝางไม่เหมาะสำหรับการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ ต่อมาในวันที่ 17 มกราคม 2518 จึงได้ทำการทดลองอีกครั้งที่ดอยอินทนนท์ บริเวณระดับความสูงประมาณ 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (ซึ่งเป็นสถานีทดลองเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ในปัจจุบัน) เมื่อสิ้นสุดผลการทดลองในวันที่ 29 ตุลาคม 2518 มีปลาเหลือรอด 56 ตัว และตัวที่มีน้ำหนักสูงสุดจากการทดลองครั้งนี้ได้ 475 กรัม จำนวน 1 ตัว (Whitaker, 1975) ปัจจุบันได้ทำการทดลองวิจัยการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ขึ้นใหม่ โดย ม.จ.ภีศเดช รัชนี องค์ประธานมูลนิธิโครงการหลวงได้ประทานเงินทุนสำหรับการทดลองมาตั้งแต่ปี 2547 จนถึงปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ชาวเขาเลี้ยงเป็นอาชีพที่ก่อให้เกิดรายได้ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่, 2550)

การจำแนกชั้นทางอนุกรมวิธานของปลาเรนโบว์เทร้าต์จัดอยู่ใน

Kingdom: Animalia

Phylum: Chordata

Class: Actinopterygii

Order: Salmoniformes

Family: Salmonidae

Genus: *Oncorhynchus*

Species: O. *mykiss*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Figure 2-2 Raceway ponds of rainbow trout raised under Royal Project site

Figure 2-3 Fattening units of rainbow trout raised under Royal Project site

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Figure 2-4 Rainbow trout

2.2 คุณภาพซาก (carcass quality)

คุณภาพซาก หมายถึง ลักษณะร่วมกันของคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ ปริมาณของเนื้อแดง ไขมัน และกระดูก เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกในเชิงปริมาณที่มีผลต่อคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลให้ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพซากมีดังนี้ (สัญชัย, 2550)

1. ตัวของสัตว์ ซึ่งหมายถึง สภาพทั่ว ๆ ไปของสัตว์ก่อนนำมาฆ่าเพื่อใช้เป็นอาหาร เช่น ลักษณะทางพันธุกรรม ลักษณะเฉพาะตัวของสัตว์เอง และการจัดการเลี้ยงดู

2. ส่วนประกอบของซากที่บริโภคได้ (edible meat) หมายถึง ส่วนประกอบของซากที่นำไปใช้เพื่อการบริโภค โดยเฉพาะเนื้อแดงซึ่งชี้ส่วนซากที่ให้ปริมาณเนื้อแดงสูง ซากที่ให้ส่วนประกอบเหล่านี้สูง จัดเป็นซากที่มีคุณภาพสูงด้วย

3. ความน่ารับประทาน (palatability) หมายถึง การยอมรับของผู้บริโภคต่อเนื้อสัตว์นั้น ๆ โดยพิจารณาจากลักษณะภายนอกของซาก

4. ความรู้สึกจากการบริโภค (eatability) ความรู้สึกนี้จะเกิดขึ้นหลังจากได้เคี้ยวเนื้อ โดยพิจารณาจาก ความนุ่ม รสชาติ กลิ่น ความชุ่มฉ่ำ และความพอใจของผู้บริโภค

ปลาเรนโบว์เทร้าต์เป็นปลาที่มีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะขายอายุเฉลี่ย 1-2 ปี และน้ำหนักตั้งแต่ 250 ถึง 450 กรัม โดยขายเป็นตัวหรือเนื้อสัน (fillet) ขนาด 150 ถึง 200 กรัม ซึ่งเรียกขนาดนี้ว่า Pan-size ซึ่งปลาอายุนี้ยังไม่มีความสมบูรณ์ทางเพศซึ่งความสมบูรณ์ทางเพศจะทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวลดลง นอกจากนั้นจะทำให้คุณภาพของเนื้อ และความต้านทานโรคลดลง (Werner *et al.*, 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Quillet *et al.* (2007) พบว่าปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่อายุ 432 วัน มีน้ำหนักเฉลี่ย 625 กรัม และมีเปอร์เซ็นต์ซากเป็น 90% ขณะที่ Chaiyapechara *et al.* (2003) เลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์โดยเสริมไขมันลงในอาหาร 30% พบว่ามีน้ำหนักมากกว่าปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงโดยอาหารที่เสริมไขมันลงในอาหาร 15% (467 *vs.* 424 g) ($P<0.001$) สำหรับ Yildiz (2004) ไม่พบความแตกต่างระหว่างอาหารสามชนิดที่มีการเสริมด้วยวิตามินอีที่ระดับต่าง ๆ กัน แต่ต่ำกว่ารายงานของ Testi *et al.* (2006) ซึ่งศึกษาลักษณะโภชนาการของปลาเรนโบว์เทร้าต์จากฟาร์มทางการค้า (518.90 g) ส่วนเปอร์เซ็นต์ซาก (% carcass) ต่ำกว่า Quillet *et al.* (2007)

Morris *et al.* (2005) ทดลองการเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารโดยเสริมถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soya) ที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้เลี้ยงเป็นเวลา 56 วัน จากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 110 กรัม จนได้น้ำหนักสุดท้ายตั้งแต่ 229.5-244.1 กรัม เปอร์เซ็นต์ซาก (carcass yield percentage) ตั้งแต่ 82.1-83.6% และ ดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัวตั้งแต่ 0.91-1.15 ส่วน Kaushik *et al.* (1995) ศึกษาการใช้โปรตีนถั่วเหลืองทดแทนบางส่วนหรือทั้งหมดของปลาป่น (partial or total replacement of fish meal by protein) ต่อการเจริญเติบโตของปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 18 °C จากน้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 86 กรัม จนได้น้ำหนักสุดท้ายตั้งแต่ 205.7-224.2 กรัม ดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัวตั้งแต่ 1.4-2.0 ($P<0.01$) และ Yildiz (2004) เลี้ยงปลาเทร้าต์ด้วยอาหารสามชนิดที่มีการเสริมด้วยวิตามินอีที่ระดับ 100, 300, และ 500 mg/kg เป็นเวลา 58 วัน จากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 131±1 กรัม จนได้น้ำหนักเฉลี่ย 299±6.1 กรัม พบว่า น้ำหนักสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

ดัชนีของเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (VSI; viscera-somatic index) แสดงถึงผลทางเศรษฐกิจที่นำมาซึ่งเพิ่มปริมาณของผลิตผลสุดท้าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนการผลิต และของเสียจากอาหารที่เพิ่มขึ้นด้วย (Chaiyapechara *et al.*, 2003) การศึกษาของ Quillet *et al.* (2007) รายงานว่า เครื่องในและไขมันในช่องท้องเป็นส่วนที่บริโภคไม่ได้ทำให้เปอร์เซ็นต์ซากลดลงและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่ดี (feed conversion efficiency) เพราะเป็นส่วนหนึ่งของความสัมพันธ์ทั้งหมด ซึ่งเปอร์เซ็นต์ซากสามารถดูได้จากค่า VSI โดย VSI ที่ดีจะต้องมีค่าต่ำ ส่วน Chaiyapechara *et al.* (2003) พบว่า ค่า VSI จากปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงโดยเสริมไขมัน 30% ในสูตรอาหารสูงกว่าอาหารที่เสริมไขมันในสูตรอาหารโดยเสริมไขมัน 15% อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.001$) ในขณะที่ Liu *et al.* (2004) รายงานว่าไม่พบความแตกต่างระหว่างสูตรอาหารที่เสริมไขมันสัตว์ปีก เลซิติน จากถั่วเหลืองหรือข้าวโพด หรือ menhaden oil (10.5-11.1) แต่มีค่า VSI ต่ำกว่าของ Yildiz (2004) ที่เลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ด้วยอาหารเสริมระดับวิตามินอีที่ต่างกันในสูตรอาหาร (16.2-17.9)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัว (HSI; hepato-somatic index) แสดงถึงตัวบ่งชี้สุขภาพ และการสะสมอาหารของปลา ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของตับและร่างกายเชิงบวก ดังนั้นการเจริญเติบโตและอายุที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการสะสมโภชนะในตับเพิ่มมากขึ้น (รุ่งกานต์ และคณะ, 2547) ส่วน Yildiz (2004) รายงานว่าไม่พบความแตกต่างกันระหว่างอาหารสามชนิดที่มีการเสริมด้วยวิตามินอีที่ระดับต่าง ๆ กัน

Rønsholdt and McLean (2004) ศึกษาผลของการเสริมโกรทฮอร์โมนและซัลบูทามอลต่อลักษณะการเจริญเติบโตของปลาเรนโบว์เทร้าต์พบว่า จะมีน้ำหนักซากเฉลี่ย 975 และ 930 กรัม ตามลำดับ ส่วนความยาวตั้งแต่ 36.3 ถึง 36.7 และ 39.2 ถึง 39.9 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่า VSI มีค่าเฉลี่ยเป็น 11.4 และค่า HSI มีค่าเฉลี่ยเป็น 1.55

Lefèvre *et al*. (2008) ศึกษาการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ระดับออกซิเจนแตกต่างกัน 76, 98 และ 117 % ต่อลักษณะการฆ่าที่ทำให้สัตว์เครียด และไม่เครียด พบน้ำหนักตัวเป็น 391 vs. 395, 381 vs. 409 และ 434 vs. 393 กรัม ตามลำดับ และค่า HSI ตั้งแต่ 0.94 vs. 0.86, 1.04 vs. 0.98 และ 0.94-0.92 ตามลำดับ

Karakatsouli *et al*. (2007) ศึกษาผลของการให้แสงชนิดต่าง ๆ ในการเลี้ยง ต่อลักษณะการเติบโตของปลาเรนโบว์เทร้าต์ โดยการให้แสงสีขาว (760 nm) สีแดง (605 nm) และสีน้ำเงิน (480 nm) พบว่า มีน้ำหนักซาก เป็น 297.63, 301.11 และ 282.07 กรัม ตามลำดับ ความยาวซากเป็น 28.25, 28.17 และ 27.73 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่า HSI เป็น 1.00, 0.98 และ 0.96 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

Francesco *et al*. (2004) ศึกษาผลการใช้แหล่งโปรตีนจากพืชทดแทนโปรตีนจากสัตว์ต่อลักษณะการเจริญเติบโตในปลาเรนโบว์เทร้าต์ พบว่า มีน้ำหนักซาก เป็น 666.2 และ 844.9 กรัม ความยาวซากเป็น 37.21 และ 40.16 เซนติเมตร เปอร์เซ็นต์ซากเป็น 89.45 และ 91.07 % เปอร์เซ็นต์เนื้อเป็น 55.55 และ 56.78 % ค่า HSI เป็น 0.92 และ 1.01 และค่า VSI เป็น 10.55 และ 8.93 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Figure 2-5 Rainbow trout age 10 months

2.3 คุณภาพเนื้อ (meat quality)

คุณภาพเนื้อเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ส่วนประกอบของซากที่มีปริมาณเนื้อมากย่อมเป็นที่สนใจต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ความสำคัญในด้านปริมาณโปรตีน ไขมัน ความนุ่ม และรสชาติก็เป็นสิ่งที่สำคัญในเนื้อสัตว์ ซึ่งปริมาณของเนื้อและไขมันในซากแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะทางพันธุกรรม การคัดเลือกพันธุกรรม และการปรับปรุงพันธุ์ ช่วยเพิ่มปริมาณเนื้อและลดปริมาณไขมันในซาก ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพเนื้อเกิดจากหลายปัจจัย เริ่มจากการผลิตซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญ เช่น อาหาร การจัดการเลี้ยงดู การให้ยา การขนส่งมายังโรงฆ่า การจัดการก่อนฆ่าจนถึงกระบวนการในการฆ่า การเอาเครื่องในออก การเก็บรักษาซาก การตัดแต่ง และการจัดจำหน่าย (จุฑารัตน์, 2538) โดยความคาดหวังที่สำคัญที่สุดของคุณภาพเนื้อก็คือคุณภาพการบริโภค ดังนั้นระดับของความพอใจทั้งหมดของการบริโภค ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยร่วมของผลรวมต่อความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และกลิ่นของเนื้อ แม้ว่าลักษณะที่ปรากฏต่อสายตานั้นจะไม่มีผลมากแต่ก็ได้รับความสนใจไม่ยิ่งหย่อน เนื่องจากผู้บริโภคและผู้ขายใช้เป็นคุณลักษณะในการตัดสินใจซื้อขายนั่นเอง คุณสมบัติของเนื้อเหล่านี้สามารถวัดได้ได้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น วัดความเหนียว สี และความแข็งของไขมัน แต่ก็ยังคงต้องการความแม่นยำยิ่งขึ้นสำหรับการวัดด้วยสายตา เนื่องจากคะแนนที่ผู้ตรวจชิมให้นั้นยังไม่สามารถแยกแยะองค์ประกอบของคุณภาพการบริโภคที่ดีได้ (สัญชัย, 2551)

2.3.1 ความเป็นกรด - ด่างของเนื้อ (pH value)

โดยปกติกล้ามเนื้อสัตว์ขณะมีชีวิตมีค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ประมาณ 7.2 หลังจากที่สัตว์ตายกล้ามเนื้อจะมีค่า pH ลดลงเหลือ 6.0 (สัญชัย, 2550) การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของเนื้อขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ปริมาณไกลโคเจน (glycogen)

เมื่อสัตว์ยังมีชีวิตอยู่มีการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) และลำเลียงออกซิเจนผ่านกระแสโลหิตไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย กล้ามเนื้อจึงได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ หลังจากที่สัตว์ตายจะไม่มีการส่งออกซิเจนผ่านกระแสโลหิตไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ดังนั้น กล้ามเนื้อจึงขาดออกซิเจน ร่างกายสัตว์ยังคงมีการผลิตพลังงานต่อไปแต่จะผลิตพลังงานโดยการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เหมือนกับกรณีที่กล้ามเนื้อทำงานหนักเกินไป ในขณะยังมีชีวิตอยู่ ซึ่งเป็นกลไกการจัดหาพลังงานให้กับกล้ามเนื้อเพื่อพยายามคงการมีชีวิตไว้ โดยเหตุการณ์นี้จะเป็นไปชั่วระยะหนึ่งเท่านั้นแล้วก็จะหมดไป ในสัตว์มีชีวิตกรดแลคติคซึ่งเป็นผลิตผลที่ได้จากการผลิตพลังงานจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อและทำให้กล้ามเนื้อเมื่อยล้านั้น ต่อมาจะถูกส่งไปยังตับและตับก็จะสังเคราะห์ให้กลายเป็นกลูโคสและ ไกลโคเจนก่อนที่จะถูกนำมาใช้อีกครั้งหนึ่ง แต่ในสัตว์ที่ตายแล้วกรดแลคติคจะสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อเป็นสาเหตุให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อลดต่ำลง ส่วนค่า pH สุดท้ายจะเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของไกลโคเจนที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อขณะกำลังฆ่า (อุมาพร, 2546)

สัญชัย (2550) รายงานว่า กระบวนการฆ่ามีผลต่อการลดลงของปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ โดยส่งผลให้ค่า pH สุดท้ายลดลง กล้ามเนื้อมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อค่าสีและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

2. ความคงทนต่อสภาพความเครียดของสัตว์

สัตว์ที่เครียดง่าย (stress susceptibility) สัตว์พวกนี้หากมีอาการเครียดหรือตื่นตกใจปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและตับจะถูกนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการดิ้นรนต่อสู้ กล้ามเนื้อจะเกิดอาการยืดหดตัวอย่างรวดเร็วและทำงานหนักมากทำให้มีการใช้ไกลโคเจนในสภาวะขาดออกซิเจนทำให้เกิดกรดแลคติคขึ้น เมื่อสัตว์ถูกฆ่าเซลล์กล้ามเนื้อจะขาดออกซิเจนต่อไปทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติคมากขึ้น จึงทำให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว ภายใน 1 ชั่วโมง pH อาจลดลงจาก 7.0 เป็น 5.4 – 5.5 และหลังจากนั้นจะคงที่ เนื้อสัตว์ที่มีค่า pH ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเช่นนี้จะมีลักษณะซีด มีความสามารถในการยึดน้ำ (water binding) ต่ำมาก จึงทำให้มีน้ำเยิ้มออกมาบนผิวเนื้อ เนื้อที่มีลักษณะแบบนี้เรียกว่าเนื้อ PSE (pale soft exudative) (อุมาพร, 2546)

3. ตำแหน่งของกล้ามเนื้อ

ค่า pH ของกล้ามเนื้อจะแตกต่างกันตามตำแหน่งของกล้ามเนื้อ โดยกล้ามเนื้อบริเวณคอ ขาหน้า หรือขาหลัง ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ต้องเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่มาก กล้ามเนื้อเหล่านี้จะมีปริมาณไมโอโกลบินในเซลล์กล้ามเนื้อปริมาณมากจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนเหลืออยู่ในกล้ามเนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในปริมาณมากพอภายหลังจากสัตว์ตายแล้วและเป็นผลทำให้ค่า pH ของเนื้อลดลงช้ากว่ากล้ามเนื้อบริเวณสันหลัง สะโพก หรือเนื้อพื้นท้อง (เยาวลักษณ์, 2536)

Kristoffersen *et al*. (2006) รายงานว่า ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลาแบบเข้มข้น (intensive system) โดยปกติทำการให้อาหารอย่างเต็มที่โดยจะเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตขึ้น แต่กระนั้นจะเป็นการสะสมไขมันเป็นจำนวนมากและเป็นการเพิ่มปริมาณไกลโคเจนในตับและกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณไกลโคเจนนี้มีความสำคัญต่อลักษณะคุณภาพเนื้อซึ่งเป็นผลให้มีอัตราการเกิดการสลายไกลโคเจนในปริมาณที่สูงและจะนำไปสู่ค่า pH สุดท้ายหลังฆ่าในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพเนื้อที่ลดลงซึ่งรวมไปถึงการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้ามเนื้อไป โดยมีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่าลักษณะหรือกิจกรรมดังกล่าวที่ทำให้เกิดความเครียดก่อนการฆ่าจะนำไปสู่คุณภาพของเนื้อลดลง

ภายหลังจากสัตว์ตายค่า pH จะลดลงจาก 7.2 เป็น 6.2 ขณะที่อุณหภูมิซากมีค่าระหว่าง 37-40 ºC (Le Bihan-Duval, 2004) สอดคล้องกับ Poontawee (2006) พบว่า ปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่มีจำนวนโครโมโซม 2n (diploid) มี pH เฉลี่ยที่ 5 นาทีหลังตายเป็น 6.60-6.97 pH เฉลี่ยที่ 5 ชั่วโมงหลังตายเป็น 6.30-6.92 ส่วนในปลาที่มีจำนวนโครโมโซม 3n (triploid) มี pH เฉลี่ยที่ 5 นาทีหลังตายเป็น 6.30-6.92 pH เฉลี่ยที่ 5 ชั่วโมงหลังตายเป็น 6.30-6.97

สำหรับค่า pH ของเนื้อปลาส่วนมากมีค่าประมาณ 6.6-6.7 แต่มีรายงานค่า pH ของปลาบางชนิดน้อยกว่า 6.0 เช่น ปลาทูน่า และปลาจาระเม็ด (Korhonen *et al*., 1990) ค่า pH ในเนื้อปลาชนิดต่าง ๆ จะมีค่าประมาณ 6.5 (Huss *et al*., 1992; Acerete *et al*., 2009) จากการศึกษาของ Dvořák *et al*. (2005) พบว่าเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ไม่ได้รับการฉายรังสีหลังฆ่าภายใน 5 ชั่วโมง ค่า pH จะลดลงจาก 7.26 ถึง 6.60 ส่วนกลุ่มที่ได้รับการฉายรังสี 3 kGy มีค่า pH 6.35 ดังนั้นการฉายรังสีจึงไม่มีผลต่อค่า pH ของเนื้อปลา ส่วน Lefèvre *et al*. (2008) ศึกษาการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ระดับออกซิเจนที่แตกต่างกัน พบว่า มีค่า pH_i ตั้งแต่ 6.51-6.77 และค่า pH_u ตั้งแต่ 6.52-6.63 ขณะที่ Roth *et al*. (2009) ทำการวัดค่า pH ของปลาแซลมอนที่ทำการฆ่าด้วยวิธีที่แตกต่างกันที่เวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่า มีค่า pHi ตั้งแต่ 6.70- 7.27 และเมื่อเวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่าค่า pH จะลดลงเหลือ 6.60 และเมื่อเวลา 48 ชั่วโมงหลังฆ่า ค่า pH จะลดลงจนต่ำกว่า 6.60 ขณะเดียวกัน Acerete *et al*. (2009) ศึกษาผลของวิธีการทำให้การฆ่าของปลากระพงขาวที่แตกต่างกันทำการวัดค่า pH ที่เวลา 0, 2, 9, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า มีค่า pHi ตั้งแต่ 6.01- 6.31 และเมื่อเวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่าค่า pH จะลดลง ตั้งแต่ 5.97-6.10 และ Kristoffersen *et al*. (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของปลาคอด (cod) ที่ทำการฆ่าโดยวิธีที่ทำให้เกิดความเครียดก่อนฆ่า พบว่ากลุ่มไม่เกิดความเครียด (กลุ่มควบคุม) จะมีค่า pH_i เป็น 7.9 และลดลงมาอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงแรกหลังสัตว์ตายก่อนที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะมีค่า pH คงที่ ประมาณ 7.2 และหลังจากชั่วโมงที่ 8 หลังตายค่า pH จะค่อย ๆ ลดลงอีกครั้งจนมีค่า pH_u ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังตายเป็น 6.2 แต่ในขณะเดียวกันค่า pH ของกลุ่มที่เกิดความเครียดก่อนการฆ่าจะพบค่า pH_i ต่ำกว่ามีค่าเป็น 7.0 และค่อย ๆ ลดลงมา จนกระทั่ง ค่า pH_u จะมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม

Figure 2-6 pH value measurement of rainbow trout at dorsal portion

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (chemical composition)

โดยทั่วไปเนื้อสัตว์จะมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ น้ำ 60 - 75 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5 - 25 เปอร์เซ็นต์ เถ้า ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรตประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (อุมาพร, 2546) ซึ่งปริมาณขององค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ ชนิดของสัตว์ อายุ ชนิดของกล้ามเนื้อ เพศ และปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม (สัญชัย, 2550) จากการศึกษาลักษณะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของเนื้อ ปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่อายุ 66 สัปดาห์มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน เถ้า และไขมัน เท่ากับ 76.8, 19.5, 1.3 และ 2.5% ตามลำดับ ส่วนปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่อายุ 75 สัปดาห์มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน เถ้า และไขมัน เท่ากับ 74.5, 20.1, 1.3 และ 4.0% ตามลำดับ (Werner *et al*., 2008) ส่วน Gokoglu *et al*. (2004) พบว่า เนื้อของปลาเรนโบว์เทร้าต์มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน เถ้า และไขมัน เท่ากับ 73.38±0.015, 19.8±0.035, 1.35±0.012 และ 3.44±0.013 % ตามลำดับ มีหลายปัจจัยที่มีบทบาทต่อปริมาณไขมันในร่างกายเช่น พันธุกรรม ต่อมไร้ท่ออาหาร และสภาพแวดล้อม ซึ่งอาหารเป็นปัจจัยหลักที่มีบทบาทต่อการสะสมไขมันในร่างกายของปลาเรนโบว์เทร้าต์มีรายงานว่า ความแตกต่างระหว่างการใช้อาหารทางการค้าและอาหารที่เสริมสาหร่ายทะเลที่ระดับต่าง ๆ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รวมทั้งในส่วนของเปอร์เซ็นต์ไขมันในกลุ่มที่ได้รับอาหารทางการค้าและกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย 50% แต่ไม่พบความแตกต่างกันของกลุ่มการทดลองในส่วนของเปอร์เซ็นต์โปรตีน (Dallaire *et al*., 2007) ขณะที่ Lellis *et al*. (2004) รายงานว่า การเสริมฟอสฟอรัสในอาหารปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ระดับ 0.15, 0.21, 0.30, 0.42, 0.60 และ 1.20 % ตามลำดับ ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ส่วน Yıldız (2004) รายงานว่า การเสริมวิตามินอี 100, 300 และ 500 mg/kg ในอาหารไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน และเถ้าของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ แต่เนื้อปลาที่เสริมวิตามินอี 100 mg/kg มีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมวิตามินอี 200 และ 300 mg/kg นอกจากนี้ Karakatsouli *et al*. (2007) ศึกษา ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า พบว่าไม่มีความแตกต่างกันภายใต้การเลี้ยงด้วยสภาพแวดล้อมที่มีแสงสีขาวและน้ำเงิน ในการศึกษาของ Rasmussen and Ostenfeld (2000) พบว่า ทั้งในปลาเรนโบว์เทร้าต์และปลาบรู๊คเทร้าต์ที่มีการเจริญเติบโตเร็วมีเปอร์เซ็นต์ไขมันและวัตถุแห้งสูง แต่มีเปอร์เซ็นต์เถ้าต่ำ ในขณะที่ปลาบรู๊คเทร้าต์มีเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีนสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและเถ้าต่ำกว่าปลาเรนโบว์เทร้าต์ และ Rasmussen *et al*. (2001) รายงานว่า ปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ได้รับ Growth hormone (GH) มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ Bovine placental lactogen (PL) และกลุ่มควบคุม เนื่องจากการใช้ฮอร์โมนดังกล่าวจะช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโตของปลา ส่วน Tokur (2007) รายงานว่า ผลของการทอด การอบ ย่างบาร์บีคิว และรมควันของปลาเรนโบว์เทร้าต์มีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีและคุณภาพไขมัน โดยส่วนประกอบทางเคมีของการทดลองแตกต่างกัน ($P>0.01$) โดยเปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลงในปลาเรนโบว์เทร้าต์ย่างบาร์บีคิวและรมควัน ส่วน Turchini *et al.* (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน โดยมี กลุ่มน้ำมันปลาเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มน้ำมันคาโนลา กลุ่มไขมันจากสัตว์ปีก กลุ่มไขมันจากสุกร และกลุ่มน้ำมันจากโอเลอีนของเนื้อปลาบราวน์เทร้าต์ พบเปอร์เซ็นต์ความชื้น เป็น 75.3, 75.0, 75.6, 75.0 และ 75.0 % ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์โปรตีน เป็น 20.1, 20.1, 19.3, 19.9 และ 20.0 % ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ไขมัน เป็น 2.8, 3.1, 3.2, 3.0 และ 3.0 % ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์เถ้า เป็น 1.4, 1.2, 1.2, 1.2 และ 1.2 % ตามลำดับ

2.3.3 สีเนื้อ (meat color)

สีของเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุ ลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อ ปริมาณเม็ดสีในกล้ามเนื้อ (myoglobin) ปริมาณเม็ดสีในเลือด (haemoglobin) การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในกล้ามเนื้อภายหลังจากการฆ่า สีที่ปกติหรือธรรมชาติของเนื้อเป็นความประทับใจแรกหรือการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อเป็นเรื่องที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก ๆ สีของเนื้อที่สดหรือสีที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผิดปกติเป็นผลเนื่องมาจากรงควัตถุของกล้ามเนื้อ (myoglobin) ที่มีรูปแบบที่แตกต่างกันไป (สัญชัย, 2551)

ไมโอโกลบินที่อยู่ในกล้ามเนื้อ ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 80 - 90 ของเม็ดสีในกล้ามเนื้อ และมีปริมาณมากกว่าฮีโมโกลบิน ทั้งฮีโมโกลบินและไมโอโกลบินมีโครงสร้างคล้ายกัน แต่ไมโอโกลบินจะมีขนาดเล็กกว่าฮีโมโกลบินประมาณ 1/4 เท่า ไมโอโกลบินประกอบด้วยส่วนที่เป็นโปรตีน เรียกว่า โกลบิน และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน เรียกว่า ฮีม (heme) โดยคุณสมบัติของไมโอโกลบินต่างกันที่ชนิดของสัตว์ อายุ เพศ ลักษณะกล้ามเนื้อ และการออกกำลังกาย สัตว์ต่างชนิดกันมีสีของเนื้อต่างกัน เช่น เนื้อหมูมีสีอ่อนกว่าเนื้อวัว และสัตว์อายุน้อยมีปริมาณไมโอโกลบินน้อยทำให้มีสีเนื้ออ่อนกว่าสัตว์อายุมาก สีของเนื้อสัตว์ชนิดต่าง ๆ มีดังนี้ (สัญชัย, 2550)

เนื้อโค สีแดงสดเหมือนผลเชอรี่ (cherry red)
เนื้อลูกโค สีชมพูอมน้ำตาล (brownish pink)
เนื้อม้า สีแดงเข้ม (dark red)
เนื้อสุกร สีชมพูอมเทา (grayish pink)
เนื้อแพะ - แกะ สีแดงอ่อนถึงแดงอิฐ (light red to brick red)
เนื้อสัตว์ปีก สีเทาขาวถึงแดงหม่น (gray white to dull red)
เนื้อปลา สีเทาขาวถึงแดงเข้ม (gray white to dark red)

สีในเนื้อสดเกิดขึ้นจากปริมาณไมโอโกลบินและออกซิเจนในอากาศ ปกติกล้ามเนื้อจะมีสีแดงอมชมพู (purple-red) แต่เมื่อถูกชำแหละและตัดเป็นชิ้น ๆ เนื้อจะถูกอากาศทำให้เนื้อมีสีชมพูสด (bright-pink) เนื่องจากบริเวณที่วางติดกับพื้นเขียงไม้ ซึ่งจะขาดหรือไม่มีออกซิเจนจะเกิดเป็นสารเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) ขึ้น ทำให้เนื้อมีสีน้ำตาล (brown) สีของเนื้อเยื่อเมื่อได้รับความร้อนในการนำไปทำให้สุกหรือนำไปประกอบอาหารพบว่าเนื้อจะมีสีน้ำตาลอมเทา (grey-brown) เนื่องจากสารเมทไมโอโกลบินถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติไป (denatured metmyoglobin) และในที่สุดเมื่อเนื้อถูกวางไว้นานๆ เนื้อจะขาดออกซิเจนทำให้สารให้สีเกิดเป็นสารออกซิไดส์โพรไฟริน (oxidized prophyrins) มีสีเขียว เหลืองอ่อน ๆ สีของเนื้อในช่วงนี้จะแสดงให้ทราบว่าคุณภาพของเนื้อไม่ดี และไม่เหมาะต่อการนำไปบริโภค (Figure 2-7) ส่วนทางด้านการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ซึ่งต้องรักษาสีของเนื้อไว้ เพื่อให้สะดุดตาผู้บริโภค สามารถทำได้โดยการใช้สารไนตริกออกไซด์จากสารประกอบพวกไนเตรต หรือไนไตร์ของเกลือโซเดียมหรือโปตัสเซียม ช่วยทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดงเข้มของสารไนโตรไมโอโกลบิน (nitromyoglobin) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารที่มีสีชมพูเรื่อ ๆ (light pink) และอยู่ตัวดีของสารไนโตรโซฮีโมโครม (nitrosohaemochrome) เมื่อนำไปทำให้สุกโดยการใช้ความร้อนด้วยการต้ม อบ ทอด หรือรมควัน (เยาวลักษณ์, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

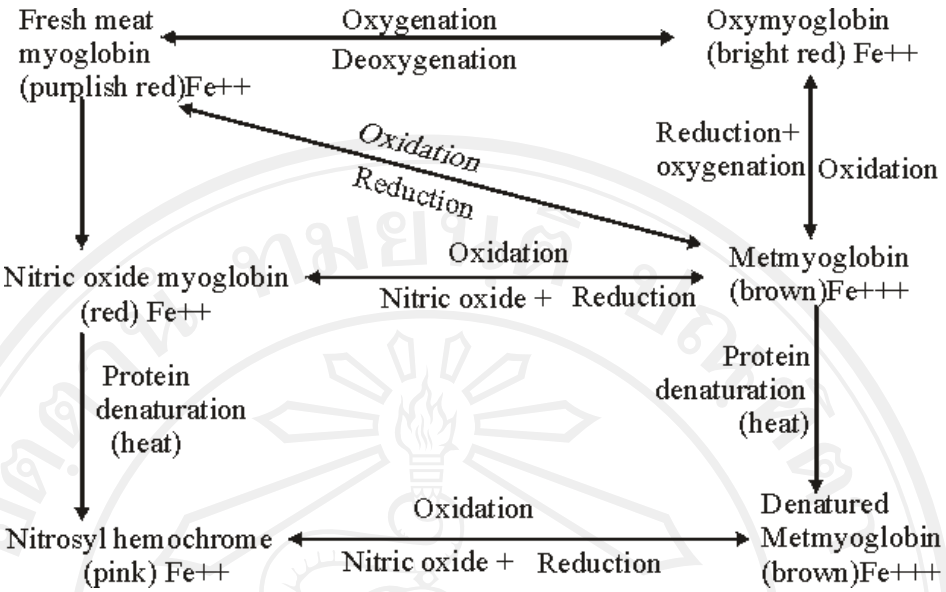

Figure 2-7 Changes of meat color (Berwal and Novakofski, 1999)

สัตว์ต่างชนิดกันมีปริมาณไมโอโกลบินในเนื้อแตกต่างกันคือ เนื้อหมูมี 0.06 เปอร์เซ็นต์ เนื้อแกะมี 0.25 เปอร์เซ็นต์ เนื้อวัวมี 0.60 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้เนื้อวัวมีสีเข้มกว่าเนื้อแกะ และเนื้อแกะมีสีเข้มกว่าเนื้อหมู ตามลำดับ (Lawrie *et al*., 1998) และสัตว์ชนิดเดียวกันถ้ามีอายุต่างกัน ปริมาณไมโอโกลบินที่มีในเนื้อจะแตกต่างกันคือ ในเนื้อลูกวัวอายุ 3 - 6 เดือน มีไมโอโกลบินในเนื้อ 1 - 3 มิลลิกรัมต่อเนื้อสดหนึ่งกรัม ขณะที่เนื้อวัวอายุ 8 - 12 เดือน มี 4 - 10 มิลลิกรัมต่อเนื้อสดหนึ่งกรัม เนื้อที่ได้จากสัตว์อายุมากจึงมีสีเข้มกว่าเนื้อสัตว์อายุน้อย (สัญชัย, 2551)

เมื่อค่า pH ต่ำลงเนื้อจะมีสีอ่อนลง (lighter meat) พบมากในเนื้อที่เป็น PSE (pale soft and exudative) (Fletcher, 1999) ส่วน Dvořák *et al*. (2005) รายงานว่า เนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ไม่ได้รับการฉายรังสีหลังจากฆ่าภายใน 5 ชั่วโมง ค่า pH จะลดลงจาก 7.26 ถึง 6.60 ส่วนกลุ่มที่ได้รับการฉายรังสี 3 kGy มีค่า pH 6.35 ดังนั้นการฉายรังสีจึงไม่มีผลต่อค่า pH ของเนื้อปลา โดยค่าความสว่าง (L*) จะขึ้นอยู่กับปริมาณไมโอโกลบิน (myoglobin) ในเนื้อ เมื่อค่า L* สูงเป็นเนื้อมีปริมาณไมโอโกลบินอยู่น้อยแสดงว่าเนื้อเป็น PSE (Pérez *et al*., 1998) หากค่า pH ที่สูงกว่า 6.4 จะมีไมโอโกลบินมาก เนื้อจึงมีสีคล้ำเข้มแสดงว่าเนื้อเป็น DFD (Ahn and Maurer, 1990) จากรายงานของ Robb *et al*. (2000) พบว่า การใช้ไฟฟ้ากระตุ้นทันทีหลังจากการฆ่าปลาเรนโบว์เทร้าต์เมื่อน้ำหนัก 1.5 กก. ไม่เพียงแต่จะทำให้เกิดการหดเกร็งตัวได้ในระยะเวลาสั้น แต่ยังส่งผลต่อสีของเนื้อ โดยจะทำให้เนื้อมีสีจางลง (lighter) สีแดงน้อยลง (less red) และมีค่า chroma สูงขึ้นเมื่อเทียบกับปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ไม่ได้ใช้ไฟฟ้ากระตุ้นทันทีหลังจากการฆ่า ส่วนการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 5 °C และ -20 °C ไม่มีความแตกต่างกันในค่า L* โดยในเนื้อสันดิบของปลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เรนโบว์เทร้าต์มีค่าเท่ากับ 53.2-60.2 ในเนื้อสันที่ปรุงสุกมีค่าเท่ากับ 76.1-82.5 และค่า a* ของเนื้อสันที่ปรุงสุกมีค่าเท่ากับ 0.1-1.1 (Liu *et al*., 2004) ส่วนค่าความสว่าง (brightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) ของปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่มีอายุ 66 สัปดาห์ คือ 40.7, 4.4 และ -1.2 ตามลำดับ ส่วนปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่มีอายุ 75 สัปดาห์ เป็น 42.8, 5.9 และ 1.1 ตามลำดับ (Werner *et al*., 2008) Francesco *et al*. (2004) ศึกษาผลการใช้แหล่งโปรตีนจากพืชทดแทนโปรตีนจากสัตว์ในปลาเรนโบว์เทร้าต์โดยทำการวัดสีในสองกล้ามเนื้อคือบริเวณเนื้อส่วนหลังและบริเวณเนื้อส่วนท้อง พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) เป็น 36.50 vs. 36.82, 34.54 vs. 35.62 ค่าความเป็นสีแดง (a*) เป็น 10.45 vs. 11.29, 8.37 vs. 9.25 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เป็น 15.02 vs. 12.91, 12.34 vs. 10.53 ตามลำดับ Skonberg *et al.* (1998) ศึกษาการเสริม corn gluten (CG), wheat gluten (WG) และ corn gluten canthaxanthine (CGC) ในปลาเรนโบว์เทร้าต์ซึ่งทดแทนวัตถุดิบที่มีฟอสฟอรัสปริมาณสูง พบว่า ค่าความสว่าง (L*) เป็น 52.71, 55.37 และ 47.35 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดง (a*) เป็น 2.13, 1.38 และ 7.97 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เป็น 16.06, 14.10 และ 14.62 ตามลำดับ ส่วน Lefèvre *et al*. (2008) ศึกษาการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ระดับออกซิเจนและลักษณะการฆ่าที่แตกต่างกันที่ระดับออกซิเจน 76, 98 และ 117% พบค่าความสว่าง (L*) เป็น 46.9 vs. 46.1, 47.7 vs. 46.0 และ 47.2 vs. 46.4 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดง (a*) เป็น 4.49 vs. 4.25, 3.93 vs. 4.02 และ 3.85 vs. 4.64 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เป็น 5.71 vs. 4.54, 5.55 vs. 4.36 และ 4.76 vs. 4.85 ตามลำดับ

2.3.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity; WHC)

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ เริ่มจากการจัดการก่อนฆ่ามีผลต่อความเครียดก่อนการฆ่า (สัญชัย, 2551) ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลงเพราะโปรตีนของกล้ามเนื้อถูกทำให้เสียสภาพ (denature) ไปบางส่วน โปรตีนจึงจับตัวกันได้น้อย ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสมีน้ำไหลออกจากเซลล์ (exudative) (เยาวลักษณ์, 2536) เมื่อนำเนื้อไปหาค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษา (drip loss) คือภายใน 24 ชั่วโมง อาจจะมีปริมาณน้ำที่ไหลออกมาจากชิ้นเนื้อประมาณ 3% ส่วนการสูญเสียน้ำขณะประกอบอาหาร (cooking loss) มีค่าประมาณ 25-35% ซึ่งการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำจะใช้ในการประเมินความชุ่มฉ่ำและคุณภาพของเนื้อได้ (Honikel and Hamm, 1999)

โปรตีนไมโอไฟบริลลา (แอคตินและไบโอติน) มีบทบาทสำคัญในการทำให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เพราะน้ำส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ (สัญชัย, 2550) น้ำส่วนใหญ่ในกล้ามเนื้อจะปรากฏอยู่ใน myofibrils โดยอยู่ในช่องว่างระหว่าง thick filaments ของ myosin และ thin filaments ของ actin/tropomyosin ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ช่องว่างระหว่าง filament จะอยู่ระหว่าง 320 A° - 570 A° โดยจะสัมพันธ์กับค่า pH ความยาวของซาร์โคเมียร์ (sarcomere length) ความเข้มข้นของไอออน (ionic strength) แรงดันออสโมติค (osmotic pressure) และขึ้นอยู่กับว่าเนื้อนั้นอยู่ในสภาวะก่อนหรือหลังการเกิดขึ้นของ rigor mortis (Offer and Trinick: Lawrie, 1998)

กล้ามเนื้อแต่ละชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำแตกต่างกัน โดยปกติในกล้ามเนื้อมีน้ำอยู่ประมาณ 65 - 80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักกล้ามเนื้อทั้งหมด น้ำเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญต่าง ๆ ในเซลล์มีชีวิต ได้แก่ การทำละลายและเคลื่อนย้ายสารภายในเซลล์ ทำหน้าที่หล่อลื่น รักษารูปร่างของเซลล์และเป็นปัจจัยสำคัญในปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่จำเป็น น้ำเหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกจับไว้ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อโดยเกาะตัวอยู่กับโปรตีน ถ้าหากโปรตีนเหล่านี้ไม่เสื่อมสภาพก็จะจับน้ำได้เกือบทั้งหมด แต่ในกรณีที่โปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพน้ำเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมา (ชัยณรงค์, 2529)

ปัจจัยที่สำคัญต่อค่า WHC คือ สภาพความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของเนื้อ ซึ่งเนื้อในสภาพปกติ (pH 6.8–7.0) โมเลกุลของโปรตีนในเนื้อจะมีความเป็นประจุสูง เนื่องจากมีกลุ่มของ carboxyl, amino, carbonyl, hydroxyl, sulhydryl, imidazole อยู่ภายใน ซึ่งกลุ่มเหล่านี้จะจับน้ำที่อยู่ในเซลล์ของเนื้อได้ด้วยแรงดึงดูดไฮโดรเจน (hydrogen bond) ทำให้เนื้อมีค่า WHC สูง น้ำไม่ไหลซึมออกจากเนื้อ (เยาวลักษณ์, 2536) เมื่อ pH ของเนื้อลดต่ำลงอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมงหลังฆ่าจะทำให้น้ำไหลซึมออกนอกกล้ามเนื้อ ค่า WHC ลดต่ำลง ในทางตรงข้ามถ้าค่า pH ของเนื้อมีค่าสูง น้ำจะถูกจับไว้โดยโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ค่า WHC จึงสูง (ชัยณรงค์, 2529)

Suárez *et al.* (2005) พบว่ากล้ามเนื้อของเนื้อปลามีการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำสูงระหว่างชั่วโมงแรก ๆ ของการเก็บรักษา และจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาได้ 10 ชั่วโมงจนกระทั่ง 72 ชั่วโมงการสูญเสียน้ำจะค่อย ๆ ลดลง ส่วน Roth *et al.* (2009) ทำการวัดค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษา (%drip loss) ของปลาแซลมอนที่ทำการฆ่าด้วยวิธีที่ทุบและด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่ามีค่าตั้งแต่ 7.3 ถึง 7.7% และ 7.0 ถึง 7.6% ตามลำดับ ขณะที่ Suárez *et al.* (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อในเนื้อปลากะพงแดง (sea bream) หลังตายที่เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่ 2, 10, 24, 72, 96 และ 120 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย พบว่า มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อโดยวิธีปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วต่ำ เป็น 46.7, 55.3, 53.4, 65.6, 60.3 และ 59.3 % ตามลำดับ

Turan *et al.* (2003) ศึกษาผลของการเก็บรักษาก่อนการแช่แข็งปลาเรนโบว์เทร้าต์ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อโดยเก็บเนื้อเป็นระยะเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน พบว่า ที่การเก็บแช่แข็งเป็นเวลา 12 เดือน กลุ่มที่ทำการแช่แข็งปลาทั้งตัวและจุ่มในสารละลาย 10% sodium polyphosphate มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด (90.19 %) รองลงมาเป็นกลุ่มที่ทำการแช่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แข็งปลาทั้งตัวและเคลือบผิวปลา (90.39 %) กลุ่มที่แช่แข็งปลาทั้งตัว เคลือบผิวและใช้ฟิล์มหุ้ม (95.87 %) กลุ่มปลาผ่าท้องจุ่มในสารละลาย 3% sodium metaphosphate และ 4% NaCl ทำการเคลือบผิวและใช้ฟิล์มหุ้ม (97.11 %) กลุ่มปลาทั้งตัวจุ่มสารละลาย 3% sodium metaphosphate และ 4% NaCl ทำการเคลือบผิวและใช้ฟิล์มหุ้ม (97.25 %) กลุ่มปลาทั้งตัวจุ่มในสารละลาย 10% sodium polyphosphate ทำการเคลือบผิวและใช้ฟิล์มหุ้ม (98.12 %) และกลุ่มปลาผ่าท้องจุ่มในสารละลาย 10% sodium polyphosphate ทำการเคลือบผิวและใช้ฟิล์มหุ้ม (98.37 %)

2.3.5 ค่าวัดแรงตัดผ่านของเนื้อ (Warner Blatzler shear force value)

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความนุ่มของเนื้อโดยตรง ซึ่งวัดออกมาเป็นค่าแรงสูงสุด (Maximum force; N) และค่าพลังงาน (Energy; J) Roth *et al*. (2002) ศึกษาค่าแรงตัดผ่านของเนื้อปลาแซลมอนที่ทำให้สลบด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้กระแสไฟฟ้า และการใช้ค้อนทุบ และทำการวัดที่ 12, 32, 54, 80, 102 และ 175 ชั่วโมงหลังตาย พบว่า การทำให้สลบด้วยแก๊สคาร์บอนได้ออกไซด์มีค่าแรงต่ำที่สุด (N) และค่าพลังงานต่ำที่สุด (J) ค่าเฉลี่ยค่าแรงตัดผ่านจะลดลงอย่างรวดเร็วจากชั่วโมงแรกไปจนถึงชั่วโมงที่ 54 หลังตาย และเริ่มคงที่หลังจากชั่วโมงที่ 80 หลังตาย ส่วน Rogost *et al*. (2001) วัดค่าแรงตัดผ่านของปลา Brown trout ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับไขมันที่แตกต่างกันพบว่า เนื้อดิบ มีค่าแรงตัดผ่านสูงสุดตั้งแต่ 5.9-6.3 (N/g) และพลังงานตั้งแต่ 72.7-76.7 (mJ/g) ส่วนเนื้อสุกมีค่าแรงตัดผ่านสูงสุดตั้งแต่ 29.1-30.7 (N/g) และพลังงานตั้งแต่ 233.7-249.0 (mJ/g) ขณะที่ Lefèvre *et al*. (2008) ศึกษาการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ระดับออกซิเจนและลักษณะการฆ่าที่แตกต่างกัน โดยมีระดับออกซิเจน 76, 98 และ 117% สัตว์เครียดและไม่เครียด ตามลำดับ โดยใช้เครื่อง Intron พบว่ากล้ามเนื้อส่วนหน้า (anterior fillet) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงสุด ณ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายเป็น 17.2 vs. 16.7, 19.1 vs. 16.8 และ 18.2 vs. 16.5 N/g ตามลำดับ ณ 48 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายเป็น 13.9 vs. 13.5, 16.2 vs. 14.2 และ 18.2 vs. 16.5 N/g ตามลำดับ ขณะที่กล้ามเนื้อส่วนหาง (caudal fillet) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงสุด ณ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายเป็น33.9 vs. 38.2, 42.6 vs. 36.3 และ 34.7 vs. 29.4 N/g ตามลำดับ ณ 48 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายเป็น 29.3 vs. 27.6, 34.9 vs. 29.6 และ 38.1 vs. 29.4 N/g ตามลำดับ ส่วน Roth *et al*. (2009) ทำการวัดค่าแรงตัดผ่านของเนื้อโดยวัดด้วยค่าความแข็ง (hardness) ในปลาแซลมอนที่ทำการฆ่าด้วยวิธีที่ทุบและด้วยกระแสไฟฟ้า โดยในเนื้อสดพบค่าความแข็งตั้งแต่ 16.2 ถึง 18.3 และ 16.4 ถึง 17.0 N ตามลำดับ ขณะที่ในเนื้อสุกพบค่าความแข็งตั้งแต่ 35.8 ถึง 37.6 และ 34.4 ถึง 36.4 N ตามลำดับ ขณะที่ Suárez *et al*. (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของกล้ามเนื้อ (firmness) ในกล้ามเนื้อปลากะพงแดง (sea bream) หลังตายที่เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่ 2, 10, 24, 72, 96 และ 120 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ด้วยการวัดแรงกด (compression) เป็น 11.1, 20.5, 13.1, 12.7, 7.2 และ 8.7 N

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตามลำดับ ขณะที่ Johnston *et al*. (2006) วัดความคงตัวของเนื้อ (firmness) ด้วยค่าแรงตัดผ่านในปลาแซลมอนเลี้ยงและธรรมชาติ พบค่าแรงตัดผ่านของเนื้อเป็น 415 และ 710 mJ ตามลำดับ

2.3.6 การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสเป็นวิธีการประเมินโดยให้ผู้ทดสอบชิมตัดสินคุณภาพด้านความเหนียว ความนุ่ม กลิ่น รสชาติ ความชุ่มฉ่ำและความพอใจโดยรวม เป็นต้น โดยให้คะแนนตามลักษณะที่พิจารณาได้ การสูญเสียน้ำจะลดคุณค่าทางโภชนะของอาหารและทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลงและรสชาติด้อยลง (Pelicano *et al*., 2003) โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.3.6.1 ความนุ่มของเนื้อ (tenderness)

ความนุ่มของเนื้อเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความน่ารับประทาน (palatability) (เยาวลักษณ์, 2536) โดยเนื้อที่ความนุ่มย่อมง่ายต่อการกัดหรือเคี้ยวให้ความรู้สึกอ่อนนุ่มเมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่อบริเวณแก้มและลิ้น และเนื้อจะยุ่ยละเอียดเมื่อเคี้ยวไประยะหนึ่งแล้ว เนื้อที่มีความนุ่มจะทำให้ผู้บริโภคเกิดความพอใจและสามารถบริโภคเนื้อได้มาก ตรงกันข้ามกับเนื้อที่มีความเหนียว (อุมาพร, 2546) ความนุ่มของเนื้อขึ้นอยู่กับ ชนิดของสัตว์ พันธุ์สัตว์ อายุ ชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณไขมันที่แทรกอยู่ในกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในกล้ามเนื้อหลังฆ่าและระยะเวลาในการบ่มเนื้อ (จุฑารัตน์, 2540)

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความนุ่มเนื้อแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue)

ความนุ่มของเนื้อสัตว์เป็นผลมาจากปริมาณและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งถ้ากล้ามเนื้อมัดใดมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากพบว่ากล้ามเนื้อมัดนั้นจะมีความนุ่มต่ำ มีความเหนียวมากเพราะดัชนีของความนุ่มก็คือปริมาณโปรตีนคอลลาเจน (เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน) แต่อีลาสตินและเรติคิวลินในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีผลต่อความนุ่มน้อยกว่าคอลลาเจน (สัญชัย, 2550) โดยชนิดและปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ เพศ และอายุ เช่น เนื้อสุกรจะนุ่มกว่าเนื้อโค สัตว์เพศผู้จะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากกว่าเพศเมียเนื้อจึงเหนียวกว่า สัตว์อายุมากเนื้อเหนียวกว่าสัตว์อายุน้อย สัตว์ที่ออกกำลังมากจะมีพังผืดมากและอีลาสตินมากด้วยทำให้เนื้อเหนียว (เข็มทอง, 2538)

2. ลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber characteristic)

ความนุ่มของเนื้อสัตว์เป็นผลมาจากสภาพภายหลังการเกร็งตัว (post rigor) ของกล้ามเนื้อ ซึ่งพบว่าในกล้ามเนื้อเดียวกัน ความนุ่มเหนียวมีความแตกต่างกัน เช่น กล้ามเนื้อสันนอกพบว่าส่วนต้นและส่วนปลายของกล้ามเนื้อจะมีความนุ่มดีกว่าส่วนกลางของกล้ามเนื้อ ซึ่งเกิดจากแรงตึงผิว ณ แต่ละจุดไม่เท่ากัน (สัญชัย, 2550) ความแตกต่างในความเหนียวนุ่มดังกล่าวเป็นผลมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสถานะของการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ กล่าวคือ ถ้าบริเวณใดมีการเกิด crossbridge มากกว่าก็จะเหนียวกว่า และในทางตรงกันข้ามถ้ามี crossbridge ต่ำกว่าก็จะนุ่มกว่า สถานะที่กล่าวถึงนี้จะเกิดขึ้นหลังสัตว์ตายประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง เรียกว่า actomyosin toughening ซึ่งการแช่เย็นซากเป็นเวลานานจะทำให้เนื้อนุ่มขึ้น actomyosin complex จะสลายตัวคลายออกจากกันไปพร้อม ๆ กันกับที่สารย่อยเข้าทำปฏิกิริยา ณ Z line จึงทำให้เนื้อนุ่มกว่าเดิม การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลให้ความยาวซาร์โคเมียร์ยาวขึ้นกว่าเดิม และค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดต่ำลง (ชัยณรงค์, 2529; สัญชัย, 2550)

3. ไขมันแทรก (intramuscular fat)

ไขมันแทรกภายในมัดกล้ามเนื้อทำให้เนื้อนุ่มขึ้น เนื่องจากไขมันแทรกระหว่างเซลล์ทำให้แรงยึดระหว่างเซลล์ของกล้ามเนื้อน้อยลง และไขมันเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นขณะเคี้ยวเนื้อ ทำให้เกิดความชุ่มฉ่ำภายในปากและรู้สึกว่าเนื้อนุ่มขึ้น เกิดรสชาติ และเพิ่มความน่ารับประทาน เมื่อมองที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อจะเห็นเป็นจุด ยาว รี ขนาดประมาณไส้ดินสอ ปรากฏกระจัดกระจายทั่วหน้าตัด โดยเนื้อที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณไขมันแทรกสูงด้วย (สัญชัย, 2550)

2.3.6.2 ความชุ่มฉ่ำ (juiciness)

ความชุ่มฉ่ำของเนื้อเป็นผลมาจากการที่กล้ามเนื้อมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ เพราะน้ำในเนื้อช่วยหล่อลื่นขณะทำการเคี้ยวก่อนที่จะกลืน นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นต่อมน้ำลายให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความรู้สึกชุ่มลำคอ ซึ่งความชุ่มฉ่ำของเนื้อสามารถประเมินได้จากการตรวจชิมตัวอย่างขณะที่บดเคี้ยวอยู่ในปากทำให้รู้สึกว่าเนื้อไม่แห้ง และร่วน นอกจากนี้ไขมันที่แทรกอยู่ในเนื้อทำให้เนื้อชุ่มฉ่ำ และยังส่งผลให้เนื้อนุ่มขึ้น ส่วนมากได้จากเนื้อสัตว์อายุน้อยถือว่าเป็นเนื้อที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จะมีระดับคะแนนการตรวจชิมสูงด้วย (สัญชัย, 2550)

2.3.6.3 กลิ่นและรสชาติ (flavor)

ความรู้สึกของรสชาติและกลิ่นของเนื้อสัตว์ที่บริโภคนั้นนับเป็นความรู้สึกที่ยากในการแยกแยะออกจากกัน แต่ในทางสรีรวิทยาแล้วความรู้สึกในรสชาติเป็นผลสืบเนื่องมาจากความรู้สึกรับรู้พื้นฐาน 4 ชนิด คือ รสเค็ม หวาน เปรี้ยว และขมโดยเส้นประสาทที่ผิวของลิ้น ส่วนกลิ่นนั้นรับรู้ได้โดยการถูกกระตุ้นของปลายประสาทในโพรงจมูกด้วยสารระเหยได้จากเนื้อ ความรู้สึกรวมจึงกลายเป็นการรับรู้รส (taste) และกลิ่น (smell) นั่นเอง ส่วนประกอบของเนื้อที่ทำให้เกิดรสชาติได้แก่ สารประกอบในเนื้อ ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบรส กลิ่น ได้แก่ พวกอินโนซินโมโนฟอสเฟต (Inosine monophosphate, IMP) และไฮโปซานติน (hyposantine) และเนื่องจากสารประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นผลิตผลจากการแปรสภาพของพลังงาน ATP ดังนั้นจึงน่าจะเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กล้ามเนื้อที่ทำงานหนักของร่างกาย เช่น ขาหลัง ขาหน้า และเนื้อจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัตว์ป่า มีกลิ่นรสแรงกว่าเนื้อจากส่วนอื่นหรือสัตว์เลี้ยงโดยทั่ว ๆ ไป ส่วนรสชาติของเนื้อนั้นเกิดจากสารให้รสของโปรตีนในเนื้อ ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนและสารเปบไทด์ในเนื้อ (สัญชัย, 2550)

2.3.6.4 ความพอใจโดยรวม (overall acceptability)

เป็นการประเมินความพอใจและการยอมรับรวมกันทั้งสามอย่างจากการตรวจชิมเนื้อ คือ ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และรสชาติ ผู้ตรวจชิมให้คะแนนประเมินความพึงพอใจจากการตรวจชิมตัวอย่างเนื้อ และตัดสินคุณภาพการบริโภคและลักษณะของเนื้อ ซึ่งเนื้อสัตว์แต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะและมีความแตกต่างกันไป (สัญชัย, 2550)

จากการศึกษาของ Rasmussen *et al*. (2001) พบว่า ปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ได้รับ Growth hormone (GH) มีคะแนน sweet odour น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับ Bovine placental lactogen (PL) และกลุ่มควบคุม ส่วนคะแนน fresh oily flavor ของกลุ่มที่ได้รับ PL สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ GH นอกจากนี้กลุ่มที่ได้รับ PL มีคะแนนความชุ่มฉ่ำสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ GH และกลุ่มควบคุม จากรายงานของ Nerantzaki *et al*. (2005) พบว่า คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสทางด้าน กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาในกลุ่มควบคุม (vacuum-packaged non-ozonated trout) และกลุ่มทดลอง (vacuum-packaged ozonated trout) ลดลงหลังจากที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 0.5 °C ในวันที่ 0, 3, 6, 8, 11, 13 และ 15 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ Diler and Gokoglu (2004) รายงานว่า คะแนนของสี รสชาติ และลักษณะปรากฏของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วย astaxanthin มีคะแนนสูงกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วย shrimp waste meal และกลุ่มที่เสริมด้วย red pepper meal โดย astaxanthin เป็นแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ที่ให้สีแดงหรือสีชมพูแก่เนื้อของสัตว์ทะเลได้ดี Skonberg *et al.* (1998) ศึกษาการเสริม corn gluten (CG), wheat gluten (WG) และ corn gluten canthaxanthine (CGC) ในปลาเรนโบว์เทร้าต์ซึ่งทดแทนวัตถุดิบที่มีฟอสฟอรัสปริมาณสูง พบว่าจะมีคะแนนความชอบสีของกลุ่มที่มีการเติมรงควัตถุเข้าไปมากกว่าทั้งในเนื้อสุกและเนื้อดิบ ส่วนรสชาติทั้งเนื้อบดและเนื้อที่ผ่านกรรมวิธีการนึ่งพบว่ากลุ่มที่เติมสารสีมีคะแนนความพึงพอใจสูงสุด รองลงมาเป็นคอร์นกลูเตน และวีทกลูเตน ตามลำดับ ($P<0.05$) Cakli *et al*. (2006) เปรียบเทียบผลของอายุการเก็บรักษาของการเก็บบรรจุแบบปรับปรุงบรรยากาศ (กลุ่มที่ 1 บรรจุด้วย ก๊าซ CO_2 60% N_2 40%, กลุ่มที่ 2 ก๊าซ CO_2 50% N_2 50%) และการเก็บบรรจุแบบสุญญากาศ (กลุ่มที่ 3) ที่เก็บรักษา 1, 5, 8, 12, 19, 26, 33, 40, 47 และ 54 วัน ต่อผลของการประเมินการสัมผัส พบว่า วันที่ 1 ทั้งสามกลุ่มของการเก็บรักษามีคะแนนความพึงพอใจสูงสุด และลดลงตามจำนวนวันเก็บรักษา

Turchini *et al.* (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน โดยมี กลุ่มน้ำมันปลาเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มน้ำมันคาโนลา กลุ่มไขมันจากสัตว์ปีก กลุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไขมันจากสุกร และกลุ่มน้ำมันจากโอเลอีนของเนื้อปลาบราวน์เทร้าต์ ด้วยการวัดการประเมินการสัมผัสโดยมีคะแนนจาก 0-9 พบคะแนนรสชาติรวม (total flavour) เป็น 4.88, 4.97, 5.02, 4.90, 4.64 คะแนน ตามลำดับ ความคงตัว เป็น 5.52, 6.00, 6.27, 5.68 และ 5.77 คะแนน ตามลำดับ และความนุ่มของเนื้อ เป็น 6.14, 5.95, 6.25, 6.15 และ 6.39 คะแนน ตามลำดับ ขณะที่ Razaei *et al*. (2008) ศึกษาการประเมินการตรวจชิมของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่เวลา 0, 4 และ 8 ชั่วโมง หลังตาย และเก็บไว้รักษาเป็นเวลา 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 วัน พบว่าปลาที่ทำการแช่แข็งทันทีจะมีคุณภาพดีมากจนถึงวันที่ 4 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นได้ลดลงมาถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผู้ตรวจชิมไม่สามารถยอมรับการบริโภคได้

2.3.7 ส่วนประกอบคอลลาเจน (collagen content)

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีกระจายอยู่ทั่วไปในทุกส่วนของกล้ามเนื้อสัตว์ทำหน้าที่ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อ (muscle fiber bundle) และเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) ให้อยู่รวมกันและเชื่อมกล้ามเนื้อให้ติดอยู่กับกระดูก เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นสารประกอบพวกโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ คอลลาเจน (collagen หรือ white connective tissue) อีลาสติน (elastin หรือ yellow connective tissue) และเรติคิวลิน (reticulin) คอลลาเจนเป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในตัวสัตว์ปริมาณมากที่สุด พบมากในเอ็น หนัง กระดูก คอลลาเจนมีลักษณะเป็นเส้นยาว มีขนาดเล็กและหยิกหยอง (wavy) อยู่เป็นเส้นเดี่ยวหรืออยู่รวมกันหลายเส้นเป็นมัด เช่น เอ็น (tendon) ทำหน้าที่เชื่อมกล้ามเนื้อเข้าด้วยกันกับกระดูก คอลลาเจนเป็นไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลกาแลคโตสและกลูโคสปนอยู่ด้วยเล็กน้อย และมีปริมาณกรดอะมิโนพวกไกลซีน (glycine) อยู่สูงเกือบเป็น 1/3 ส่วนของกรดอะมิโนทั้งหมดที่มีอยู่ คอลลาเจนมีสีขาวเนื่องจากมีปริมาณของกรดอะมิโน พวกไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เมื่อนำคอลลาเจนไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส จะหดตัวเหลือประมาณ 1 ใน 3 ส่วน แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 80 องศาเซลเซียส คอลลาเจนจะถูกไฮโดรไลส์ (hydrolyze) ให้เป็นเจลาติน (gelatin) ซึ่งละลายน้ำได้ (เยาวลักษณ์, 2536) คุณภาพของคอลลาเจนมีความสัมพันธ์กับความเหนียวนุ่มของเนื้อสัตว์ เช่น ในขณะที่สัตว์ยังอายุน้อย ภายในโมเลกุลคอลลาเจนจะมีปริมาณของ intermolecular crosslink ซึ่งก็คือตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลของคอลลาเจนแต่ละโมเลกุลเข้าด้วยกันอยู่ต่ำมาก ขณะนั้นเนื้อจะนุ่ม แต่เมื่อสัตว์อายุมากขึ้นจนเลยอายุหนุ่มสาวไปแล้วนั้น ปริมาณ intermolecular crosslink จะสูงมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เนื้อเหนียวขึ้นไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่สูงขึ้นด้วย (สัญชัย, 2551) ขณะที่ Gómez-Guilién *et al*. (2000) ศึกษาปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้และไม่ละลายได้ในกรดอะซิติคในเนื้อปลาแซลมอนดิบและรมควัน พบว่าคอลลาเจนที่ละลายได้ในกรดอะซิติคมีค่าตั้งแต่ -0.743 – 0.092 % ของคอลลาเจนทั้งหมด และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คอลลาเจนไม่ได้ละลายในกรดอะซิติคมีค่าตั้งแต่ -0.071 – 0.963 % ของคอลลาเจนทั้งหมด ปลาชนิดที่มีปริมาณคอลลาเจนน้อย เช่น sardine (*Sardinops melanostictus*), brook masu salmon (*Oncorhynclus masou masou*), argentine (*Glossanodon semifasciatus*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) และ house mackerel (*Trachurus japonicus*) ซึ่งปลาทั้งหมดนี้มีเนื้อนุ่ม (Masniyom *et al*., 2005) โดย Sato *et al*. (1991) รายงานว่า หลังจากที่ปลาเรนโบว์เทร้าต์ตาย กล้ามเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงคอลลาเจน type I และ V ซึ่งมีผลต่อความนุ่มของเนื้อปลาระหว่างที่ทำการเก็บรักษาโดยการแช่เย็น โดยคอลลาเจนที่ละลายได้ type V จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและขณะที่ type I ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นความเหนียวของเนื้อจะลดลงหลังจากที่เก็บรักษาได้ 1 วัน ภายใต้อุณหภูมิ 5 °C ขณะที่ Suárez *et al*. (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบคอลลาเจนในกล้ามเนื้อปลากะพงแดง (sea bream) หลังตายที่เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่ 2, 10, 24, 72, 96 และ 120 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย พบว่ามีปริมาณคอลลาเจนรวม (total collagen) เป็น 5.8, 5.2, 5.6, 5.0, 5.1, 4.6 และ 4.6 g/kg ตามลำดับ ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายในกรด (acid soluble collagen; ASC) เป็น 17.0, 10.9, 2.4, 4.9, 8.3 และ 3.9 % ตามลำดับ มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายในเปปซิน (pepsin soluble collagen) เป็น 41.9, 40.1, 50.7, 41.2, 62.2 และ 75.0 % ตามลำดับ และมีปริมาณคอลลาเจนที่ไม่ละลาย (insoluble collagen) เป็น 41.0, 48.9, 46.8, 53.9, 29.5 และ 21.1 % ตามลำดับ ขณะที่ Johnston *et al*. (2006) ศึกษาปริมาณคอลลาเจนในปลาแซลมอนเลี้ยงและธรรมชาติ พบว่าค่า total hydroxyproline เป็น 26.21 และ 17.83 µmol/g ค่า insoluble hydroxyproline เป็น 7.99 และ 10.99 µmol/g และค่า soluble hydroxyproline เป็น 18.23 และ 6.84 µmol/g

2.3.8 ส่วนประกอบคอเลสเตอรอล (cholesterol content)

คอเลสเตอรอลที่อยู่ในเนื้อเยื่อทั่ว ๆ ไปหรือในไลโปโปรตีน (lipoprotein) ในเลือดอาจอยู่ในรูปคอเลสเตอรอลอิสระ (free cholesterol) หรือจับอยู่กับกรดไขมันโซ่ยาวเป็น cholesterol ester ซึ่งคอเลสเตอรอลในร่างกายได้มาจากอาหารหรือสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์ส่วนใหญ่ในร่างกาย โดยเฉพาะ เซลล์ตับและลำไส้ สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล ได้แก่ acetyl CoA ที่ได้มาจากกระบวนการเมตาบอลิสม (metabolism) ของกลูโคส กรดไขมัน และกรดอะมิโน โดยประมาณครึ่งหนึ่งของคอเลสเตอรอลในร่างกายจะถูกสังเคราะห์คอเลสเตอรอลประมาณ 15 % และอีก 35% จะถูกสังเคราะห์ทางผิวหนัง โดยคอเลสเตอรอลในร่างกายทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ เป็นสารตั้งต้นเกลือน้ำดี (bile salt) และสเตียรอยด์ฮอร์โมน (steroid hormone) เนื่องจากคอเลสเตอรอลไม่ละลายน้ำ การพาไปในกระแสเลือดต้องอาศัยไลโปโปรตีน (lipoprotein) หากคอเลสเตอรอลในเลือดสูง ก็เป็นปัจจัยที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (สมทรง, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

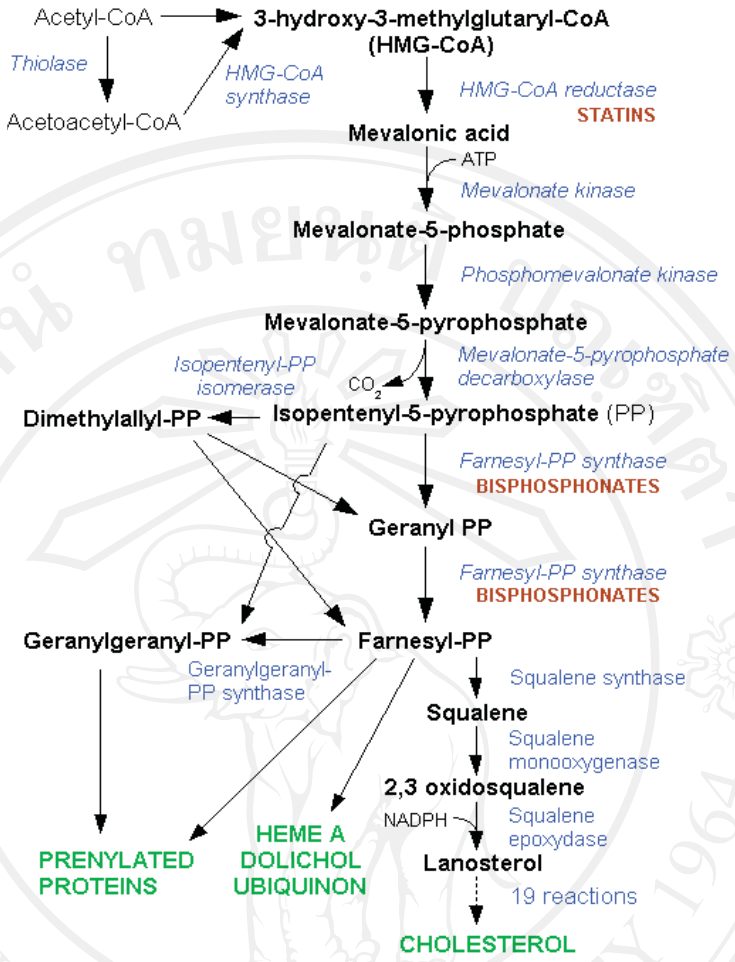

Figure 2-8 Cholesterol mechanism in cells.

Source: http://blog.udn.com/community/img/PSN_ARTICLE/lichang6855/f_1028762_1.jpg

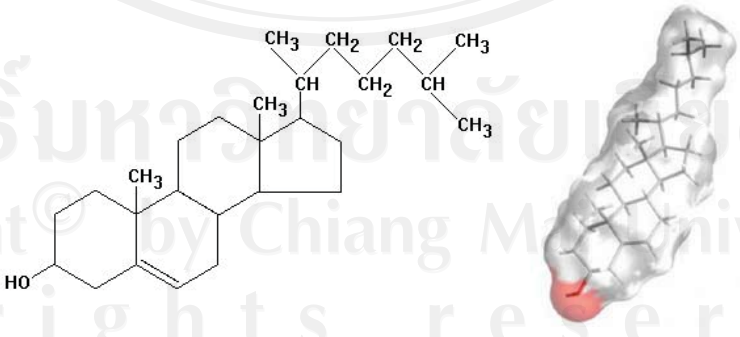

Figure2- 9 Cholesterol structure.

Source: http://telstar.ote.cmu.edu/biology/MembranePage/images/chol_struct.jpg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Celik *et al*. (2008) ศึกษาหาปริมาณคอเลสเตอรอลจากปลาเรนโบว์เทร้าต์จากอ่างเก็บน้ำประเทศตุรกีมีค่าเป็น 35.04 mg/100g โดยมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 289 กรัม ในขณะที่ Moreira *et al*. (2001) ได้วิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลจากปลาน้ำจืดหลาย ๆ ชนิดพบว่าจะอยู่ในช่วง 40.99 และ 52.79 mg/100g นอกจากนี้ Mathew *et al*. (1999) และ Luzia *et al*. (2003) พบว่าปลาน้ำจืดมีปริมาณคอเลสเตอรอลต่ำกว่าปลาน้ำเค็ม ดังนั้นปลาน้ำจืดจึงเหมาะที่เป็นอาหารสุขภาพ ของมนุษย์ Francesco *et al*. (2004) ศึกษาผลการใช้แหล่งโปรตีนจากพืชทดแทนโปรตีนจากสัตว์ในปลาเรนโบว์เทร้าต์ พบว่า มีปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อเป็น 47.74 และ 51.04 mg/100 g ตามลำดับ ส่วน Turchini *et al*. (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน โดยมี กลุ่มน้ำมันปลาเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มน้ำมันคาโนลา กลุ่มไขมันจากสัตว์ปีก กลุ่มไขมันจากสุกร และกลุ่มน้ำมันจากโอเลอีนของเนื้อปลาบราวน์เทร้าต์ พบปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด (total cholesterol) เป็น 107.06, 110.15, 98.41, 100.91 และ 107.94 mg/100g ตามลำดับ ขณะที่ Küçükbay *et al*. (2006) ศึกษาผลของการเสริมโครเมี่ยมพิโคลิเนท (chromium picolinate) ที่ระดับต่าง ๆ (0, 400, 800 และ 1600 mcg/kg) ต่อระดับคอเลสเตอรอลในเลือดของปลาเรนโบว์เทร้าต์ พบว่า ระดับที่เสริมโครเมี่ยมพิโคลิเนทเพิ่มขึ้นจะลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลง พบเป็น 243, 218, 204 และ 196 mg/dl ตามลำดับ ขณะที่ Zelenka *et al*. (2003) ศึกษาผลของการเสริมน้ำมันลินซีดและทานตะวันต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ พบว่า ปริมาณคอเลสเตอรอลไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ซึ่งมีปริมาณตั้งแต่ 0.571-0.594 g/kg และ Yamamoto *et al*. (2007) ศึกษาผลของการเสริมกรดอะมิโนจำเป็นและเกลือน้ำดีในอาหารที่มีไขมันสูงในปลาเรนโบว์เทร้าต์ พบว่า ปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมาปลาเรนโบว์เทร้าต์ในกลุ่มควบคุม, ปลาหมึกป่นผสมกรดอะมิโนที่จำเป็น ปลาหมึกป่น และปลาหมึกป่นผสมเกลือน้ำดี มีความแตกต่างกัน เป็น 680, 589, 535 และ 532 mg/dl ตามลำดับ ($P<0.05$)

Bahuaud *et al*. (2009) ศึกษาลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อที่เสริมด้วยอาหารที่มีกรดไขมันโอเมก้า 6 และ 3 ในปลาแซลมอน พบว่ามีปริมาณ คอเลสเตอรอล ในเนื้อปลาแซลมอนในกลุ่มอาหารที่เสริมด้วยน้ำมันปลา กลุ่มน้ำมันเรปซีด กลุ่มน้ำมันที่อุดมไปด้วยกรดไขมัน EPA และกลุ่มน้ำมันที่อุดมไปด้วยกรดไขมัน DHA เป็น 10.2, 10.3, 9.3 และ 8.3 % total lipid ตามลำดับ ส่วน Trushenski *et al*. (2008) ศึกษาปริมาณกรดไขมันในปลา sunshine bass พบปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อในกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลา น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดองุ่น น้ำมันลินซีด และน้ำมันจากสัตว์ปีกเป็น 65.1, 70.7, 71.3, 74.3 และ 68.6 % of total lipid ตามลำดับ

2.3.9 ส่วนประกอบไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride content)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไตรกลีเซอไรด์ หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งเซลล์สามารถนำไปใช้เป็นสารปฐมภูมิ (primary substance) โดยเกือบทั้งหมดจะถูกเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ในกระแสเลือดจะรวมอยู่กับโปรตีนในรูปของ chylomycron และ very low density lipoprotein (VLDL) ไลโปโปรตีนทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นตัวพาไตรกลีเซอไรด์ไปให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ โดย chylomycron จะทำหน้าที่ในการพาไตรกลีเซอไรด์จากการย่อย และการดูดซึมไขมันที่ลำไส้ ส่วน VLDL จะทำหน้าที่ในการพาไตรกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากตับ (สมทรง, 2542)

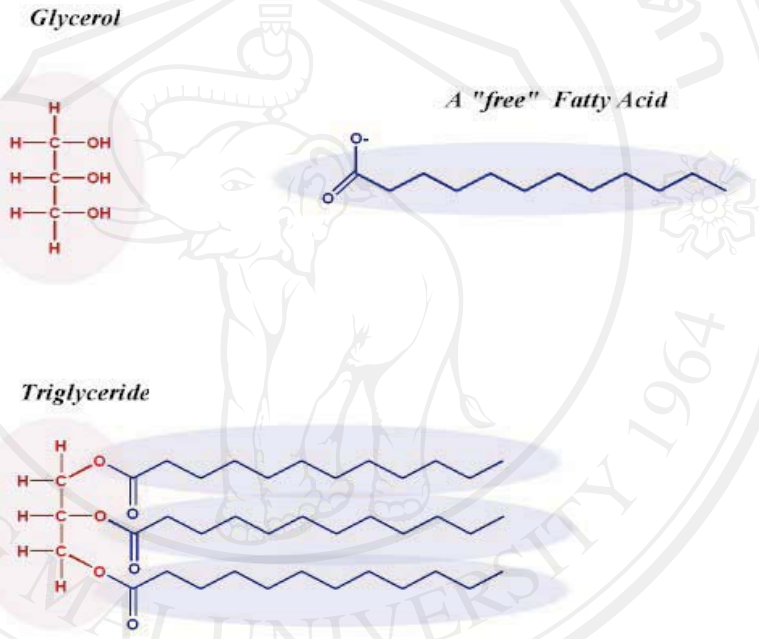

Figure 2-10 Triglyceride structure

Source: http://www.oliveoilsource.com/images/triglyceride.jpg (12 Jan. 2009)

Zhong *et al*. (2007) ศึกษาการจำแนกลำดับชั้นของไขมันในเนื้อปลาปลาเรนโบว์เทร้าต์พบปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol; TAG) เป็น 51.8% ของไขมันทั้งหมด ส่วน Yamamoto *et al*. (2007) ศึกษาผลของการเสริมกรดอะมิโนจำเป็นและเกลือน้ำดีในอาหารที่มีไขมันสูงในปลาเรนโบว์เทร้าต์ พบว่า ปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลในพลาสมาปลาเรนโบว์เทร้าต์ในกลุ่มควบคุม ปลาหมึกป่น ปลาหมึกป่นผสมกรดอะมิโนที่จำเป็น และปลาหมึกป่นผสมเกลือน้ำดี ไม่มีความแตกต่างกัน มีค่าเป็น 125, 170, 159 และ 154 mg/dl ตามลำดับ ขณะที่ Bahuaud *et al*. (2009) ศึกษาลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อที่เสริมด้วยอาหารที่มีกรดไขมันโอเมก้า 6 และ 3 ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปลาแซลมอน พบว่ามีปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลในเนื้อปลาแซลมอนในกลุ่มอาหารที่เสริมด้วยน้ำมันปลา กลุ่มน้ำมันเรปซีด กลุ่มน้ำมันที่อุดมไปด้วยกรดไขมัน EPA และกลุ่มน้ำมันที่อุดมไปด้วยกรดไขมัน DHA เป็น 16.1, 19.0, 14.3 และ 23.8 % total lipid ตามลำดับ และ Trushenski *et al*. (2008) ศึกษาปริมาณกรดไขมันในปลา sunshine bass พบปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอล ในเนื้อปลาในกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลา น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดองุ่น น้ำมันลินซีด และน้ำมันจากสัตว์ปีกเป็น 10.3, 10.8, 9.7, 10.1 และ 8.3 % of total lipid ตามลำดับ

2.3.10 ความหืนของเนื้อ (thiobarbituric acid reactive substance; TBARS)

การหืน (rancidity) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ (นิธิยา, 2549) ดังนี้

1. Lipolysis เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเตอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ความร้อน กรด ด่าง หรือปฏิกิริยาทางเคมีใด ๆ ก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า lypolysis หรือ lipolytix rancidity หรือ hydrolytic rancidity ทำให้มีกลิ่นเหม็นหืนมาก เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

2. Oxidative rancidity เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา autoxidation ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย การที่โลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่ว จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนั้น ความร้อนและแสงก็มีจะผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย การหืนด้วยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายวิตามินต่าง ๆ ที่ละลายในไขมันอีกด้วย

3. Ketonic rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน (ketone)

การหืนของไขมันส่งผลทางลบต่อสี กลิ่น รสชาติ รวมทั้งอายุการเก็บรักษาของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อสุขภาพผู้บริโภคอีกด้วย (Wood *et al*., 2003) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการหืนของไขมันในเนื้อ ได้แก่ ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ความเข้มข้นของออกซิเจน อุณหภูมิ พื้นที่ผิว ความชื้น แร่ธาตุหรือโลหะบางชนิด แสง รวมทั้งรังสีต่าง ๆ โดย ค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ที่วัดได้ สามารถบ่งชี้ถึงการหืนของไขมันในเนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปลาสด (Sweet, 1973; Choubert *et al.*, 2006) ซึ่งเป็นวิธีการเบื้องต้นเพื่อใช้ประเมินการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยกลุ่มสารประกอบพวกอัลดีไฮด์ของไขมัน ปฏิกิริยาระหว่างกรดไทโอบาร์บิทิวริก (thiobarbituric acid) กับ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde) จะได้เป็นสารสีแดง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร ซึ่งความเข้มของสีจะแปรผันโดยตรงกับการหืนของไขมัน

Choubert *et al.* (2006) พบว่า ค่าความหืนของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงด้วย astaxanthin หรือ canthaxanthin และเก็บรักษาโดยการควบคุมอากาศ มีการหืนของไขมันของกลุ่มควบคุม น้อยกว่ากลุ่มที่เติมอากาศและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วน Chaiyapechara *et al.* (2003) พบว่าค่า TBARS ของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เก็บไว้ในสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่า เนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เสริมไขมัน 30% ในสูตรอาหารจะมีค่าสูงกว่าทุก ๆ สภาวะ ($P<0.001$) สำหับ Cakli *et al.* (2006) เปรียบเทียบผลของอายุการเก็บรักษาของการเก็บบรรจุแบบปรับปรุงบรรยากาศ (กลุ่มที่ 1 บรรจุด้วย ก๊าช CO_2 60% N_2 40%, กลุ่มที่ 2 ก๊าช CO_2 50% N_2 50%) และการเก็บบรรจุแบบสุญญากาศ (กลุ่มที่ 3) ที่เก็บรักษาที่ 1, 5, 8, 12, 19, 26, 33, 40, 47 และ 54 วัน พบว่า ค่า TBA กลุ่มที่ 1 ตั้งแต่ 0.7 ถึง 2.2 mg malonaldehyde/kg กลุ่มที่ 2 ตั้งแต่ 0.8 ถึง 1.3 mg malonaldehyde/kg และกลุ่มที่ 3 ตั้งแต่ 1.4 ถึง 2.1 mg malonaldehyde/kg ตามลำดับ ส่วน Zhong *et al.* (2007) ศึกษาค่าการหืนของไขมันของปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เก็บรักษาไว้จำนวน 10 วัน พบค่า TBARS ของวันที่ 0 ของวันเก็บรักษา เป็น 0.8 µmol MDA/g และเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันเก็บรักษา และค่า TBARS ของวันที่ 10 เป็น 1.4 µmol MDA/g

Razaei *et al.* (2008) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่เวลา 0, 4 และ 8 ชั่วโมง หลังตาย และเก็บไว้รักษาเป็นเวลา 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 วัน พบว่า ค่า TBA เพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนวันเก็บรักษา ($P<0.05$) ขณะที่ Arashisar *et al.* (2005) ศึกษาผลของการใช้กรดนม (lactic acid) ระดับต่าง ๆ ในการรักษาคุณภาพของเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ ในวันที่ 0, 3, 5, 7 และ 9 พบว่าค่า TBARS ในกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในระดับที่รับได้ (20 µmol/kg) จนถึงวันที่ 5 ของการเก็บรักษา แต่ในกลุ่มที่ใช้กรดนม 2 และ 4 % จะมีค่า TBARS เพิ่มสูงมากในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา (80 และ 100 µmol/kg ตามลำดับ)

2.3.11 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)

ลิปิด (lipids) หรือส่วนใหญ่ถูกเรียกเป็นไขมัน (fat) ในสัตว์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ไขมันสะสม (depot fat) และไขมันที่เป็นโครงสร้าง (structural fat) นอกจากนี้ยังจำแนกตามประจุได้เป็นลิปิดที่มีขั้วและไม่มีขั้ว (polar and neutral lipids) ซึ่ง polar lipids หรือ structural fat พบเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และใช้เป็นสารตั้งต้น (precursor) ของการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมตาบอลิสม (metabolism) ของไอโคซานอยด์ (eicosanoid) มีลิปิดประเภทฟอสโฟลิปิด (phospholipids) เป็นองค์ประกอบ ส่วน neutral lipids หรือ depot fat ทำหน้าที่เป็นลิปิดที่สะสมอยู่ในร่างกายและเป็นแหล่งพลังงานสำรอง ส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) (Högberg, 2002; รัชนีวรรณ, 2548)

กรดไขมันคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นกรดคาร์บอกซิลิค มีหมู่คาร์บอกซิล (COOH) เพียงหมู่เดียวต่อกับไฮโดรคาร์บอนสายยาว สูตรทั่วไปคือ R – COOH โดยที่ R คือส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนอะตอมต่อกันด้วยพันธะเคมีเป็นสายโซ่ยาว (อุษณีย์, 2548) กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) หมายถึงกรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุล มีไฮโดรเจนเกาะอยู่เต็มที่แล้วไม่สามารถรับไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีก แขนของคาร์บอนจะเป็นแขนเดี่ยว ส่วนมากอยู่ในสภาพของไขมันที่แข็งง่ายเมื่อถูกความเย็นเพียงเล็กน้อย กรดไขมันอิ่มตัวนี้มีสูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n}O_2$ (n = 4, 6, 8) กรดไขมันที่จัดเป็นกรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดอะซีติค (acetic acid) กรดโพรพิโอนิค (propionic acid) กรดบิวทีริค (butyric acid) เป็นต้น ไขมันจากสัตว์บกจะมีกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าไขมันที่มาจากอาหารพวกพืชและปลา ยกเว้น น้ำมันมะพร้าว ซึ่งมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่มาก กรดพาลมิทิค (palmitic acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ โดยกระจายอยู่ทั่วไปในไขมันทุกชนิดประมาณร้อยละ 10 ถึง 50 ของกรดไขมันที่มีอยู่ทั้งหมด กรดไขมันตัวอื่นที่พบมากรองลงมาได้แก่ กรดไมริสทิค (myristic acid) และกรดสเทียริค (stearic acid) (สิริพันธุ์, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

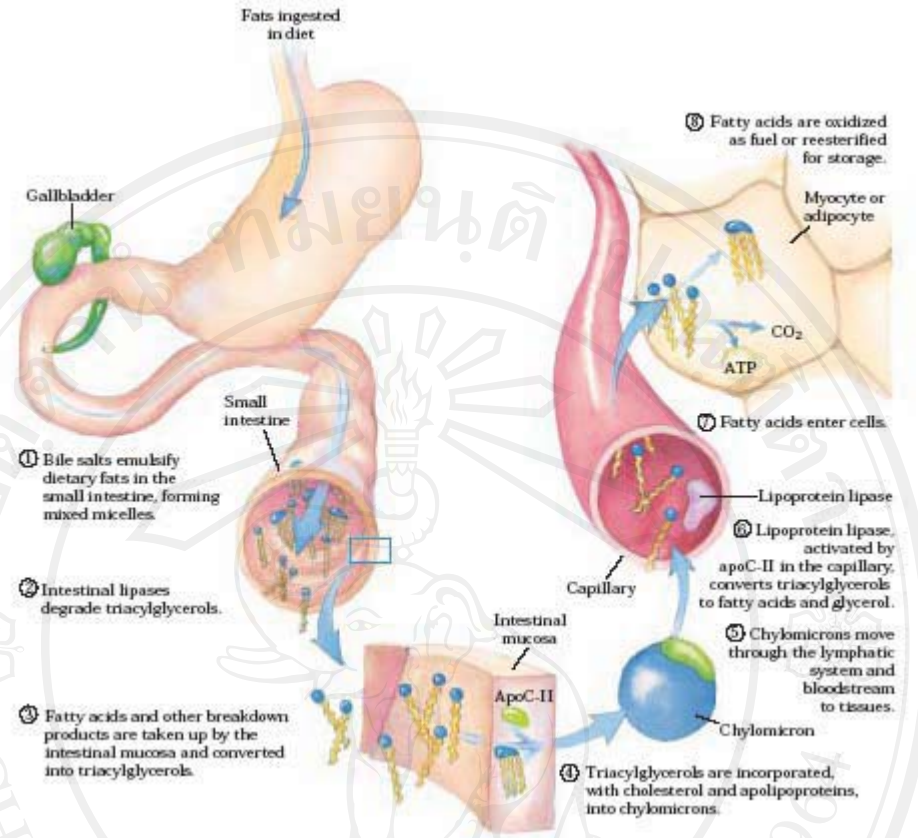

Figure 2-11 Processing of dietary lipids **Source**: Nelson and Cox (2005)

กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) หมายถึงกรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุลมีไฮโดรเจนเกาะไม่เต็มที่ สามารถรับไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีก แขนของคาร์บอนมีทั้งแขนเดี่ยวและแขนคู่ ส่วนมากจะอยู่ในสภาพของน้ำมันซึ่งเป็นของเหลว กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้มักเกิดการออกซิเดชั่นได้ง่าย เมื่อถูกออกซิไดส์จะทำให้เกิดการหืน ซึ่งทำให้กลิ่นและรสผิดไป นอกจากนี้ยังทำให้วิตามินที่ละลายในไขมันเสียไปด้วย สูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n-2}O_2$ หรือ $C_nH_{2n-4}O_2$ กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้พบมากในน้ำมันพืช น้ำมันปลา และสัตว์ทะเลทั่วไป กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (monounsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่เพียงหนึ่งแห่งในโมเลกุล เช่น กรดปาลมิโทเลอิค (palmitoleic acid) และกรดโอเลอิค (oleic acid) เป็นต้น

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ (polyunsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลมากกว่าหนึ่งพันธะขึ้นไป เช่น กรดลิโนเลอิค (linoleic acid) และกรดอะราชิโดนิค (arachidonic acid) ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้เองจำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น กรดลิโนเลอิคมีความสำคัญต่อร่างกาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นอย่างมาก เช่น จำเป็นต่อการทำงานของเยื่อหุ้มระบบสืบพันธุ์ เมตาบอลิสมของคอเลสเตอรอล การเจริญเติบโตของทารก และเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์พรอสตาแกลนดิน (prostaglandin) (นิธิยา, 2545)

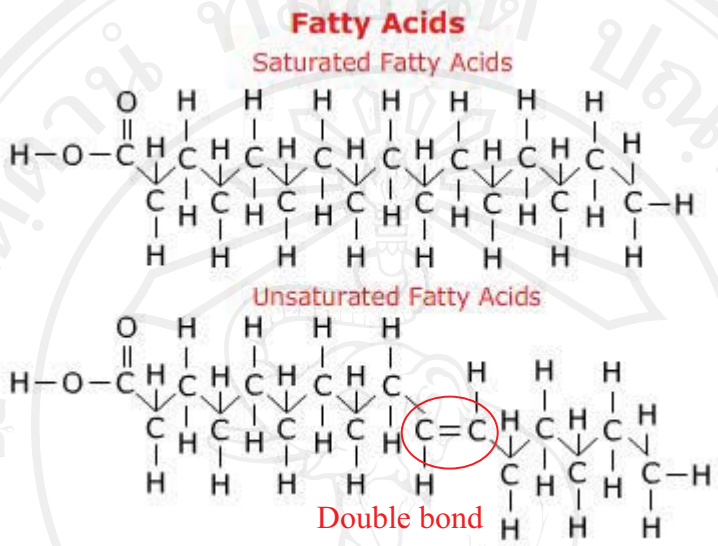

Figure 2-12 Fatty acid structures

Source: http://telstar.ote.cmu.edu/biology/MembranePage/images/fatty_acids.jpg

ความสำคัญของสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 (importance of omega 6:omega 3 essential fatty acids)

สัดส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ที่ดีควรมีในอาหารสำหรับบริโภคจะมีค่าประมาณ 4 ในขณะที่ประเทศตะวันตกจะมีสัดส่วนอยู่ที่ 15:1 ถึง 16.7:1 จะเห็นได้ว่าที่สัดส่วนของโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 มีค่าค่อนข้างสูงในอาหารแถบประเทศตะวันตกเนื่องจากขาดแหล่งของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 3 แต่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 6 รวมถึงการได้รับสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันที่ผลิตภูมิคุ้มกันขึ้นต่อต้านเนื้อเยื่อของตัวเอง เป็นต้น และพบว่าสัดส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ที่พบในอาหารมีผลดังตารางนี้ (Simopoulos, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table 2-1 The importance of ratio of omega 6: omega 3 essential fatty acids (Simopoulos, 2006)

Ratio n-6/n-3	Importance of essential fatty acids
4:1	associated with 70% decrease in total mortality
2.5:1	reduced rectal cell proliferation in patient
Low ratio of n-6:n-3	in woman, decreased risk of breast cancer
2-3:1	Suppressed inflammation in patients with rheumatoid arthritis
5:1	Beneficial effect on patients with asthma
10:1	Adverse consequences

กรดไขมันเป็นองค์ประกอบของไขมันในเนื้อ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นและอายุการเก็บรักษา โดยเนื้อที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณสูงจะส่งผลให้เนื้อมีกลิ่นที่ผิดปกติและอายุการเก็บรักษาสั้น แต่การบริโภคกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด (Wood *et al*., 2003) จากการศึกษาของ Haliloglu *et al*. (2002) เกี่ยวกับกรดไขมันในกล้ามเนื้อของปลาเทร้าต์จำนวน 3 สายพันธุ์คือ *Salvelinus alpinus*, *Salmo Trutta fario* และ *Oncorhynchus mykiss* พบว่า *O. mykiss* มีกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) สูงสุด (31.92%) แต่กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด MUFA ของ *S. Trutta fario* มีค่าสูงที่สุด (41.90%) แต่ *O. mykiss* มีค่าต่ำสุด (30.81%) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด PUFA นอกจากนี้ *O. mykiss* มี n-3 PUFA สูงที่สุด (22.41%) และ *S. Trutta fario* มี n-6 PUFA สูงที่สุด สำหรับ eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5n-3) ของ *O. mykiss*, *S. alpinus* และ *S. Trutta fario* มีค่าเท่ากับ 3.07, 3.03 และ 1.78% ตามลำดับ นอกจากนี้ *O. mykiss* มีปริมาณ docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n-3) (19.17%) สูงกว่า *S. alpinus* (15.45%) และ *S. Trutta fario* (12.74%) การเลี้ยงภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกันก็ส่งผลต่ออัตราส่วนของ DHA:EPA โดยลดลงในเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีแสงสีฟ้า (3.18 ± 0.06) เมื่อเปรียบเทียบกับแสงสีแดง (3.32 ± 0.05) และแสงสีขาว (3.44 ± 0.03) นอกจากนี้ปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงภายใต้แสงสีฟ้ามีกรดไขมัน C17:0, C18:2n6 และ C22:1n11 เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเลี้ยงภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาว (Karakatsouli *et al*., 2007) จากรายงานของ Sérot *et al*. (2002) พบว่า ส่วนประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อปลาเทร้าต์ที่เสริมอาหารด้วยน้ำมันปลาจะมีปริมาณของ C20:5n-3, C22:5n-3, C22:6n-3 และ อัตราส่วน n-3/n-6 สูงกว่ากล้ามเนื้อปลาเทร้าต์ในกลุ่มที่เสริมอาหารด้วยน้ำมันจากพืช และ Yıldız *et al*. (2006) รายงานว่า การเสริมวิตามินอี 100, 300 และ 500 mg/kg ในอาหารไม่มีผลต่อส่วนประกอบของกรดไขมันในเนื้อปลาเรนโบว์เทร้าต์ อย่างไรก็ตามระหว่างที่ทำการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัวค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (PUFA) ค่อยๆ ลดลง ปลาน้ำจืดสามารถที่จะผลิตกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งสายยาว (long chain polyunsaturated fatty acids; LCPUFAs) เช่น eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) จาก linolenic acid และ arachidonate จาก linoleic acid ความสามารถนี้ขึ้นอยู่กับการต่อสายยาว (elongation) และกระบวนการเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (desaturases) ซึ่งปกติจะสร้างอย่างเพียงพอในปลาเรนโบว์เทร้าต์ (Sargent, Bell, McEvoy & Tocher 1999 cited by Maranesi *et al*., 2005)

Testi *et al*. (2006) ศึกษาลักษณะทางโภชนาการของกล้ามเนื้อส่วนหลังและท้องของปลากะพงขาว ปลากะพงแดง และปลาเรนโบว์เทร้าต์ พบความแตกต่างระหว่างกล้ามเนื้อส่วนหลังและส่วนท้องของปลากะพงขาว ของปริมาณ MUFA, PUFA และ DHA พบอัตราส่วนของ n6/n3 ตั้งแต่ 0.22 (กล้ามเนื้อส่วนหลังของปลาเรนโบว์เทร้าต์) ถึง 0.38 (กล้ามเนื้อส่วนท้องของปลากะพงแดง) ส่วนตัวชี้วัดของคุณภาพของลักษณะทางโภชนาการคือ EPA+DHA จะพบในกล้ามเนื้อส่วนท้องมากกว่ากล้ามเนื้อส่วนหลังของปลาเรนโบว์เทร้าต์เสมอ

Johansson *et al*. (2000) พบความแตกต่างระหว่างระดับความสัมพันธ์ของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในปลาที่ให้อาหารสูตร RL25/100/100, RL50/50/100, RL 100/50/50 และ RL100/100/50 และพบความแตกต่างของ PUFA เฉพาะ DHA เท่านั้น (13.06, 12.45, 14.00 และ 13.67% ตามลำดับ) ($P<0.01$)

รอมลี และคณะ (2550) ศึกษารูปแบบของกรดไขมันในปลาทะเลและปลาน้ำจืดจังหวัดปัตตานี พบว่า ปลาทะเลมี SFA, MUFA และ PUFA ร้อยละ 26.76-60.35, 11.72-55.75 และ 17.52-45.72 ตามลำดับ มี SFA สูงกว่าปลาน้ำจืดซึ่งพบ MUFA และ PUFA ร้อยละ 9.26-33.16 และ 20.89-39.10 ตามลำดับ และปลาทะเลมี n-3 คือ DHA, EPA, ALA (α-linolenic acid) และ โอเมก้า 6 สูงกว่าปลาน้ำจืด โดยปลากะพงแดง ปลาโอลายและปลากุเลาเป็นแหล่งที่ดีของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3

บัณฑิต และ คณะ (2546) ศึกษาการเพิ่มระดับกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 ในปลานิลโดยการใช้น้ำมันปลาทูน่าเสริมที่ระดับ 0, 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 วัน พบว่า การสะสมกรดไขมันในเนื้อปลานิลมีปริมาณ EPA มีค่า 0.14±0.03, 0.19±0.04, 0.28±0.04 และ 0.36±0.05 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ DHA มีค่า 2.93±0.06, 3.40±0.24, 4.15±0.25 และ 4.62±0.13 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งระดับการสะสมปริมาณกรดไขมัน EPA, DHA และกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 มีค่าเพิ่มขึ้น ตามระดับการใช้น้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Halilloğlu *et al*. (2004) ศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันในปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงในน้ำจืดและน้ำเค็ม พบว่า C 14:0 (myristic; 2.38 vs. 4.04) C 20:5 n3 (EPA; 3.52 vs. 6.02) C 16:1 n7 (4.16 vs. 6.91) C 18:0 (stearic; 6.79 vs. 4.39) C 22:6 n3 (DHA; 22.7 vs. 16.5) และ C 22:5 n3 (0.85 vs. 1.63) และเปอร์เซ็นต์ EPA/DHA (0.16 vs. 0.32) สูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.001$) และปริมาณกรดไขมัน SFA เป็น 30% ของกรดไขมันทั้งหมด

Turchini *et al.* (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน โดยมี กลุ่มน้ำมันปลาเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มน้ำมันคาโนลา กลุ่มไขมันจากสัตว์ปีก กลุ่มไขมันจากสุกร และกลุ่มน้ำมันจากโอเลอีนของเนื้อปลาบราวน์เทร้าต์ พบ กรดไขมันอิ่มตัว (SFA) เป็น 35.3, 19.7, 55.7, 32.7 และ 37.9 % ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) เป็น 32.3, 49.9, 26.2, 38.2 และ 38.5 % ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) เป็น 31.3, 29.7, 17.6, 27.8 และ 22.8 % ตามลำดับ กรดไขมันโอเมก้า 3 (n-3) เป็น 24.7, 14.7, 10.2, 12.3 และ 10.9 % ตามลำดับ กรดไขมันโอเมก้า 6 (n-6) เป็น 6.6, 15.0, 7.4, 15.5 และ 11.9 % ตามลำดับ และสัดส่วนกรดไขมัน n3/n-6 เป็น 3.8, 1.0, 1.4, 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved