บทที่ 2

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารปริทัศน์

กรรมวิธีผลิตแคบหมูโดยทั่วไป

แคบหมูเป็นอาหารที่อยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ซึ่งในกรรมวิธีผลิตต้องผ่านการทอดให้พอง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ การผลิตแคบหมูเริ่มจากการเปลี่ยน collagen ในหนังหมูให้เป็น gelatin ซึ่งเป็นเจลจากโปรตีน (protein gel) โดยการต้มในน้ำเดือด หลังจากนั้นจึงนำไปอบหรือเคี่ยวจนกระทั่งแห้งและแข็งแล้วจึงนำไปทอดให้พองตัว โดยทั่วไปก่อนการต้มหนังหมูควรจะล้างหนังหมูให้สะอาด และใช้มีดขูดขนออกจากหนังหมูให้หมด จากนั้นจะนำหนังหมูมาหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาดต่างๆกันโดยอาจมีขนาดกว้างตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร ยาวตั้งแต่ 8-15 เซนติเมตร ผู้ผลิตบางรายอาจใช้หนังหมูทั้งแผ่น ถ้าใช้หนังหมูที่มีขนาดใหญ่จะต้องกรีดหนังหมูเป็นร่องหรือตารางเพื่อให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง (อมรศ์ ชัยเนตร,2524) จากนั้นจะนำหนังหมูไปเคล้าเกลือแล้วทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมงถึง 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกลือซึมเข้าไปในหนังหมู (สุวิทย์ เชียรทอง,2526; รสวิไล มอท,2525) นอกจากเกลือแล้วอาจจะใช้เครื่องปรุงรสอื่นๆเช่น น้ำปลาหรือซอสเพื่อให้แคบหมูมีรสชาติดียิ่งด้วยก็ได้ (วิวัลยา นราศรี,2524) ผู้ผลิตบางรายอาจจะต้มหนังหมูในน้ำปรุงรสซึ่งเป็นการเปลี่ยน collagen ให้เป็น gelatin ไปพร้อมๆกับการปรุงรสโดยจะสังเกตดูว่าหนังหมูพองตัวและใสยิ้นซึ่งใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที การผลิตบางวิธีจะนำหนังหมูไปเคี่ยว (rendering) ในน้ำมันหลังจากการผสมเครื่องปรุงเลยโดยไม่ต้องต้มหนังหมูในน้ำเดือดก่อน ซึ่งcollagenในหนังหมูอาจเปลี่ยนเป็น gelatin ได้บ้างเล็กน้อย เนื่องจากการเคี่ยวจะทำให้น้ำหายในหนังหมูร้อน ยิ้นถึงระดับที่สามารถทำให้ collagen สลายตัวเป็น gelatin ได้ แต่อาจได้ผลไม่ดีเหมือนกับการต้มหนังหมูในน้ำเดือด ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพา (convection) และสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับหนังหมูได้เร็วกว่าการนำความร้อน (conduction) (Charley,1982) เช่น การเคี่ยวหนังหมู นอกจากนี้การเคี่ยวหนังหมูในน้ำมันเพียงอย่างเดียวยังใช้เวลานานมาก เช่น ประมาณ 3-4 ชั่วโมง (สมาคมส่งเสริมวัฒนธรรมหญิงเชียงราย,2523; รสวิไล มอท,2525)

ต่อมาจะนำหนังหมูไปลดความยืน โดยในขั้นแรกจะต้องทำให้ผิวหน้าของหนังหมูแห้งพอสมควร เพราะ gelatin ที่เกิดขึ้นบางส่วนโดยเฉพาะที่บริเวณผิวหน้าของหนังหมูจะมีลักษณะเหนียว และการทำให้ผิวหน้าของหนังหมูแห้งจะทำให้ความเหนียวที่ผิวหน้าของหนังหมูลดลง เพื่อไม่ให้หนังหมูติดกันในระหว่างการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการกระเด็นของน้ำมันเนื่องจากมีน้ำติดมากับหนังหมู ในขั้นตอนนี้สำหรับกรรมวิธีผลิตแบบพื้นบ้านอาจจะทำโดยการผึ่งแดด 1-3 แดด (อุบะ (นามแฝง), 2527) หลังจากนั้นจะนำหนังหมูไปเคี่ยวในน้ำมันเพื่อลดความยืนไปอีก การเคี่ยวเป็นการลดความยืนที่รวดเร็วมากเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่าการลดความยืนโดยการผึ่งแดด ในขณะเคี่ยวจะต้องคนหนังหมูเพื่อให้หนังหมูได้รับความร้อนโดยทั่วกัน และความยืนหมืออกไปอย่างสม่ำเสมอ อุณหภูมิที่ใช้ในการเคี่ยวต้องไม่สูงเกินไปเพราะอาจทำให้หนังหมูแห้งและแข็งกระด้างมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้การพองตัวเป็นไปได้ไม่ดี อุณหภูมิที่ใช้ในการเคี่ยวอยู่ในช่วงประมาณ 110-115 องศาเซลเซียส (Matz, 1970) การลดความยืนเป็นขั้นตอนที่สำคัญอันหนึ่ง เนื่องจากถ้าความยืนของหนังหมูมากเกินไปจะทำให้แคบหมูที่ได้มีโพรงอากาศใหญ่ ผนังหนาและเนื้อหยาบ ถ้าความยืนต่ำเกินไปจะทำให้แคบหมูที่ได้มีลีคล้ำหรือไหม้เกรียมได้เป็นบางส่วนโดยเฉพาะบริเวณที่แห้งเกินไป (Matz, 1976) โดยปกติกรรมวิธีผลิตแคบหมูแบบพื้นบ้านจะเคี่ยวหนังหมูจนอ่อนและนิ่มลงอย่างทั่วถึง ถ้าหนังหมูที่ผ่านการสับจนสุกแล้วจะใช้เวลาเคี่ยวในขั้นแรกประมาณ 30 นาที ต่อมาจะเพิ่มอุณหภูมิในการเคี่ยวให้สูงขึ้นเพื่อให้ผิวหน้าของหนังหมูแข็งตัว (case hardening) เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนไปยังบริเวณผิวหน้าของหนังหมูเป็นไปได้รวดเร็วกว่าการถ่ายเทความร้อนภายในหนังหมูเอง (Paul, 1972) การทำให้ผิวหน้าของหนังหมูแห้งและแข็งอย่างเหมาะสมจะทำให้ได้แคบหมูที่มีลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสดีกว่าแคบหมูที่ไม่ผ่านขั้นตอนนี้ หรือผ่านขั้นตอนนี้อย่างไม่เหมาะสม (Daniels, 1974; Leachmann, 1969) ผู้ผลิตบางรายอาจลดอุณหภูมิของน้ำมันลงเล็กน้อยหลังจากการทำให้ผิวหน้าของหนังหมูแห้ง เพื่อให้การกระจายความยืนจากบริเวณด้านในของหนังหมูไปยังด้านนอกเป็นไปอย่างทั่วถึง เพราะเชื่อกันว่าจะทำให้ได้แคบหมูที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยจะพักหนังหมูไว้นานพอสมควรและพยายามรักษาระดับความร้อนในขั้นนี้ให้คงที่ บางวิธีจะหยุดให้ความร้อนแก่น้ำมันหลังจากที่ผิวหน้าของหนังหมูแข็งตัวแล้วปล่อยให้หนังหมูเย็นลงในขณะที่แช่ในน้ำมันซึ่งอาจใช้เวลาค้างคืน (รสวิไล มอท, 2525; สุวิทย์ เทียรทอง, 2526) จากนั้นจะนำหนังหมูที่ได้ไปทอดในน้ำมันที่ร้อนจัด (อนงค์ ขัยเนตร, 2524; วิวัลยา นราศรี, 2524 สุวิทย์ เทียรทอง, 2526) หรือประมาณ 200-220 องศาเซลเซียส (Matz, 1970) โดยใช้น้ำมันจำนวนมากและให้สูงท่วมยืนอาหาร (deep fat frying) ซึ่งเหมาะกับการทอดที่อุณหภูมิสูงและสามารถให้ความร้อนแก่หนังหมูได้อย่างรวดเร็ว

เนื่องจากการนำความร้อนจากน้ำมันเข้าสู่หนังหมูเป็นไปได้ทุกทิศทาง ทำให้แคบหมูที่ได้มีความกรอบที่ผิวหน้ามาก และมีกลิ่นรสของอาหารทอดคือเป็นกลิ่นของสารประกอบ gamma lactone ชนิดไม่อิ่มตัว (Fox,1961;Charley,1982)

หลักเกณฑ์สำคัญสำหรับเลือกชนิดของน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการทอดคือจะต้องให้ได้แคบหมูที่มี สี กลิ่น รส เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค น้ำมันที่ใช้ทอดควรมีความคงตัวสูง และราคาถูก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าน้ำมันที่ดีควรมีอุณหภูมิเป็นควัน (smoke point)สูงเพราะเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจะสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid)และ glycerol โดย glycerol สามารถสลายตัวต่อไปได้เป็นสารประกอบใหม่คือ acrolein ที่มีกลิ่นฉุนและระคายเคืองต่อเยื่อบุจมูกและตา โดยอาจพบสารนี้ในควันของน้ำมัน (อรวินท์ โทรกี และ ประยา บุญญลิรกุล,2517;Matz,1976) น้ำมันที่ใช้ไม่ควรมีอาหารหรือสิ่งอื่นๆปะปนเพราะจะทำให้อุณหภูมิเป็นควันของไขมันลดต่ำลงเร็วกว่าปกติ (อรวินท์ โทรกี และ ประยา บุญญลิรกุล,2517) นอกจากนี้น้ำมันที่ใช้ต้องปราศจากน้ำหรือความชื้นเจือปนเพราะน้ำที่ปะปนอยู่ภายในจะเดือดและระเหยไปทำให้น้ำมันกระเด็น (Fox,1961) เนื่องจากน้ำมันจะแตกตัวหรือเกิด oxidation ได้ในระหว่างการทอด จึงควรเปลี่ยนหรือเติมน้ำมันเข้าไปแทนน้ำมันเก่าบางส่วน เพราะน้ำมันที่เสื่อมสภาพนั้นอาจทำให้สี กลิ่น รส ของแคบหมูเปลี่ยนแปลงไปหรือทำให้อายุการเก็บของแคบหมูสั้นลง ปกติจะใช้น้ำมันหมูเพราะให้กลิ่นรสที่เป็นธรรมชาติของแคบหมูอยู่แล้ว ในขณะที่ทอดหนังหมูจะทำให้น้ำภายในหนังหมูระเหยเป็นไอและเกิดแรงดันหนังหมูให้พองตัวได้ จนแรงดันภายในหนังหมูเท่ากับแรงดันบรรยากาศการพองตัวจึงสิ้นสุด (Matz,1970) นอกจากนี้แล้วระยะเวลาที่ทอดให้แคบหมูพองตัวต้องเหมาะสม กล่าวคือไอน้ำภายในหนังหมูจะขยายตัวและเกิดแรงดันทำให้หนังหมูขยายตัว ในขณะที่ผิวหน้าของหนังหมูมีความยืดหยุ่นพอสมควรหนังหมูจะพองตัวไปเรื่อยๆจนถึงจุดจำกัดสำหรับการยืดหยุ่น (elastic limit) ทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าของหนังหมูแตกออกและโพรงอากาศภายในจะยุบตัวลง หลังจากที่การพองตัวสิ้นสุดแล้วโมเลกุลภายในโครงสร้างของแคบหมูจะมีการจัดเรียงตัว(set up)อย่างสมบูรณ์ ซึ่งไม่สามารถทำให้กลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีก โครงสร้างที่จัดเรียงตัวแล้วจะมีเนื้อแน่นแห้งและแข็ง เนื่องจากการสูญเสียความชื้น ในระหว่างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของโครงสร้างภายในวัตถุดิบจะเกิดแรงเค้น(stress) และจะมีการกระจายตัวของความชื้นภายในวัตถุดิบด้วย แรงเค้นนี้เองที่ทำให้ชิ้นอาหารยุบตัวลง ดังนั้นการที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวและมีปริมาตรมากที่สุดจะต้องทำให้การจัดโครงสร้างภายในหนังหมูรวดเร็วที่สุด

โดยความชื้นภายในหนังหมูต้องเหมาะสม ซึ่งในกรณีของ snack food ที่ผลิตจากการนำแป้งต่างๆมาทำให้พองตัว พบว่าระดับความชื้นของวัตถุดิบก่อนการพองตัวจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 13-14 (Matz,1976)

องค์ประกอบและลักษณะของเนื้อเยื่อต่างๆในหนังหมู

หนังสัตว์โดยทั่วไปประกอบด้วย น้ำประมาณร้อยละ 60-65 โปรตีนประมาณร้อยละ 30-35 ซึ่งเป็นโปรตีนพวก collagen ประมาณร้อยละ 90-95 นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆอีกเช่น mucopolysaccharide และกรด nucleic แต่ไม่มากนัก (Asghar and Henrickson,1982) เนื้อเยื่อต่างๆของหนังหมูอาจแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือชั้นหนังกำพร้า (epidermis) หนังแท้(corium หรือ dermis)และหนังชั้นใน(subcutis) (American Meat Institute Foundation,1960)

ชั้นหนังกำพร้าเป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุด และมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ประกอบด้วย keratin ซึ่งมีพวกกรด amino ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่หลายชนิดรวมทั้งสารที่ให้สีถูกจากชั้นหนังกำพร้าเข้าไปเป็นชั้นหนังแท้ ซึ่งประกอบด้วยเส้นใย collagen เป็นองค์ประกอบหลักสานตัวอยู่กับเส้นใย reticulin และเส้นใยelastin โดยมี fibroblast และ globura serumprotein อยู่บ้างเล็กน้อย เมื่อสุกรมีอายุมากขึ้นผิวหนังชั้นนี้จะหนาขึ้นเนื่องจากเส้นใย collagen หนาขึ้น รวมถึงเส้นใย elastin จะเพิ่มปริมาณและความหนาอย่างคงที่ (Junqueira and Carneiro,1980) ส่วนหนังชั้นในจะประกอบด้วย collagen และ elastin สานตัวกันอย่างหลวมๆและมีไขมันแทรกอยู่เป็นจำนวนมาก ในการฆ่าสัตว์เพื่อจำหน่ายต้องลวกและยูดขนก่อนการชำแหละซึ่งทำให้ชั้นหนังกำพร้าหลุดไป (American Meat Institute Foundation, 1960) ดังนั้นหนังหมูที่นำมาใช้ทำแคบหมูจึงประกอบด้วย หนังแท้และหนังชั้นในเท่านั้น และอาจใช้ได้ทั้งหนังหมูที่มีส่วนของมันติดหรือหนังหมูล้วนๆก็ได้เพราะผู้บริโภคบางคนนิยมรับประทานแคบหมูที่ส่วนของมันติด หรืออาจจะมีเนื้อติดมาบ้างเล็กน้อย แต่บางคนที่ไม่ชอบรับประทานอาหารที่มีไขมันมากๆจะนิยมรับประทานแคบหมูที่ไม่มีมันติด ทั้งนี้อาจขึ้นกับบริโภคนิสัย(food habit) ของแต่ละบุคคลก็ได้ หนังหมูส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำแคบหมูคือหนังส่วนสะโพก และกลางลำตัว (รสวิไล มอท,2525) เพราะ collagen ของหนังบริเวณนี้จะหนาและจัดเรียงตัวเป็นระเบียบในแนวตั้ง (Wilson,1948) จึงเหมาะสมในการทำให้พองตัวเป็นอย่างยิ่ง

collagen และการเปลี่ยนสภาพของ collagen เมื่อได้รับความร้อนชื้น

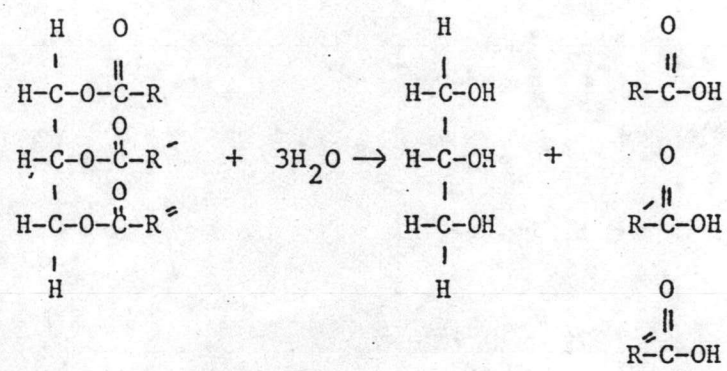
collagen เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ชนิดหนึ่งซึ่งพบทั่วไปในสัตว์ต่างๆ หน้าที่หลักของ collagen คือการรองรับโครงสร้างพื้นฐานของเนื้อเยื่อทั้งหลายให้คงสภาพอยู่ได้ เนื่องจากการจัดโครงสร้างของ collagen มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงมาก collagen จากเนื้อเยื่อของสัตว์ต่างชนิด หรือจากเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของสัตว์ชนิดเดียวกันก็มีความแตกต่างกันหลายอย่าง แต่พบว่า collagen ของสัตว์มีกระดูกสันหลังมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งแตกต่างจาก collagen ของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Paul,1972)

โครงสร้างของเส้นใย collagen เป็นโครงสร้างที่ไม่ทนทานต่อความร้อน ดังนั้นเมื่อ collagen ได้รับความร้อนโดยเฉพาะความร้อนชื้นจะเปลี่ยนสภาพโดยจะหดตัว จนกระทั่งเหลือความยาวประมาณ $\frac{1}{4}$-$\frac{1}{3}$ ของความยาวของเส้นใย collagen เดิม เมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้นไปอีก collagen จะหลอมตัวและแตกออกเป็นส่วนเล็กๆ โดยที่ hydrogen bond แรงต่างๆ ที่ยึดเหนี่ยวระหว่าง peptide chain (intermolecular bond) และแรงยึดเหนี่ยวภายใน peptide chain (intramolecular bond) ถูกทำลายลงเป็นบางส่วน โครงสร้างของ collagen ซึ่งแต่เดิมยึดเกาะกันอย่างหนาแน่นก็คลายตัวลงได้เป็นโครงสร้างใหม่ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเดิมและมีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous) แต่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเรียกว่า gelatin (Steiner,1968;Hultin,1976) ในกระบวนการแปรสภาพ collagen เพื่อให้ได้เป็น gelatin นี้ต้องไม่ทำให้โครงสร้างทั้งหมดของ collagen ถูกทำลายลงจากการให้ความร้อนนานเกินไปหรือสูงเกินไป หรือใช้สภาวะในการแตกตัวรุนแรงเกินไปเช่นในสภาพที่เป็นกรด เพราะอาจทำให้ peptide chain สลายเป็นโมเลกุลเล็กๆเช่น proteose, peptones หรือกรดอะมิโน เพราะในสภาวะเช่นนี้ collagen จะสลายเป็นกาว (glue) แทนที่จะได้เป็น gelatin (Lowe,1937) การเปลี่ยนสภาพของ collagen เนื่องจากความร้อนนั้นจะขึ้นกับชนิดของสัตว์และอายุของสัตว์ด้วย เช่น collagen ในหนังวัวหดตัวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส collagen ในหนังแกะหดตัวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วน collagen ของสัตว์ที่มีอายุน้อยจะหดตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสัตว์ที่มีอายุมาก (Asghar and Henrickson,1982;Paul,1972)

การเกิดกลิ่นหืนในแคบหมู

กลิ่นและรสชาติของแคบหมูอาจผิดปกติได้ เนื่องจากการเกิดกลิ่นหืนของไขมัน โดยทั่วไปพบว่าเกิดได้เนื่องจากสาเหตุใหญ่ๆ 2 ประการคือ การสลายตัวของไขมัน (hydrolytic rancidity หรือ lipolytic rancidity หรือ lipolysis) และการเติมออกซิเจน (oxidative rancidity)

1. การสลายตัวของไขมัน ในระหว่างการผลิตแคบหมูจะมีขั้นตอนเคี่ยวและการทอด ซึ่งมีการใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จึงอาจเกิดการสลายตัวของไขมันจากการทำปฏิกิริยาของสารประกอบ triglyceride กับน้ำในเนื้อเยื่อของสารอาหาร (Charley,1982)ดังสมการ



triglyceride น้ำ glycerol กรดไขมันอิสระ

ปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีมากในสภาพที่มีความร้อน

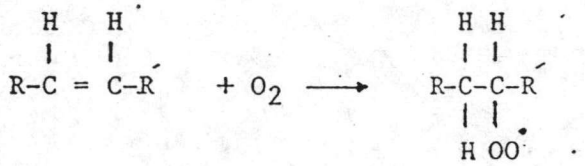
2. การเติมออกซิเจน แคบหมูเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำไขมันที่มีอยู่จึงสัมผัสกับออกซิเจนได้ง่าย กรดไขมันอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้ปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งให้สารประกอบ hydroperoxide ที่มีเสถียรภาพต่ำ ซึ่งสามารถสลายตัวต่อไปได้เป็นสารเคมีที่ระเหยง่ายและให้กลิ่นหืน การเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากการเติมออกซิเจนนี้เป็นปัญหาสำคัญยิ่งกว่าการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากการสลายตัวของไขมัน เพราะการสลายตัวของไขมันจะให้กลิ่นรสที่ผิดปกติเฉพาะในอาหารที่ไขมันประกอบด้วยกรดไขมันที่มีโมเลกุลต่อกันสั้นๆเท่านั้น ส่วนการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากการเติมออกซิเจนจะมีผลต่อกรดไขมันอิสระที่มีโมเลกุลยาวด้วย (Dugan,1976)

การเกิดปฏิกิริยานี้อาจแบ่งได้เป็น 3 ระยะคือ ระยะตั้งต้น(initiation) ระยะเพิ่มจำนวน(propagation) และระยะสิ้นสุด(termination) (Dugan,1976;De Man, 1976;Lee,1980;Lillard,1978) ระยะตั้งต้น เป็นระยะที่เริ่มสร้างอนุมูลอิสระโดยที่

สารประกอบพวก hydrocarbon ในไขมันจะสูญเสียอะตอมของ hydrogen ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นดังสมการต่อไปนี้

$$RH \longrightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

และออกซิเจนจะเข้าไปรวมตัวกับ hydrocarbon ที่ตำแหน่งพันธะคู่ได้เป็นอนุมูล peroxyดังสมการ



ระยะเพิ่มจำนวน เป็นระยะที่อนุมูลอิสระ ($R^{\bullet}$) เข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูล peroxy ($ROO^{\bullet}$)ซึ่งอนุมูล peroxy ที่ได้ในตอนนี้ หรือจากระยะตั้งต้นสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบ hydrocarbon ได้อีก และจะได้สารประกอบ hydroperoxide(ROOH) และสะสมเป็นจำนวนมาก ดังสมการ

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$$

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet}$$

ในระยะนี้จะเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ทำให้มีอนุมูลอิสระสะสมมากขึ้นในระบบจึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร่งเร็วขึ้นเรื่อยๆจนกว่าถึงระยะสิ้นสุด

ระยะสิ้นสุด เป็นระยะที่อนุมูลอิสระต่างๆ รวมตัวกันเป็นสารประกอบใหม่ดังสมการ

$$ROO^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow ROOR$$

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow RR$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2$$

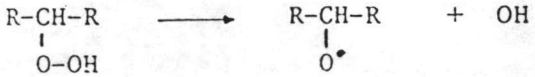
$$RO^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow ROR$$

$$2RO^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow 2ROOR + O_2$$

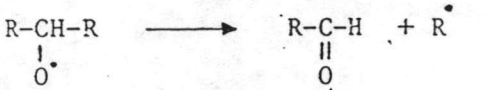
$$n\ ROO^{\bullet} \longrightarrow (RO_2)_n$$

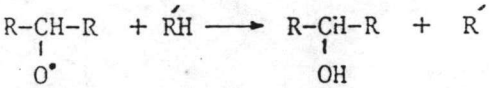
เมื่อถึงระยะสิ้นสุดแล้วจะมีสารประกอบ hydroperoxide สะสมในระบบเป็นจำนวนมาก โดยปกติสารประกอบ hydroperoxide ไม่มีกลิ่นเฉพาะตัว แต่สารประกอบนี้สามารถสลายตัวและทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งมีกลิ่นไม่พึงประสงค์เช่น aldehyde ketone

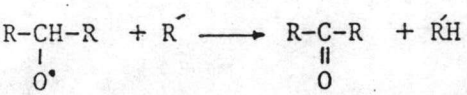
และ alcohol ดังสมการ

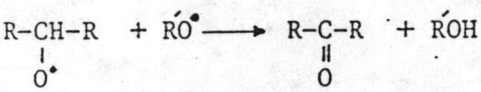


ต่อจากนั้น อนุมูลอิสระ (R-CH-R) จะสลายตัวและเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นสารประกอบ
O•
ต่างๆดังต่อไปนี้









ปัจจัยที่สามารถเร่งปฏิกิริยา oxidationของไขมัน ได้แก่แสง โดยเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำซึ่งให้พลังงานสูงเช่นรังสีเหนือม่วง (ultraviolet)หรือแสงจากหลอด fluorescent (Matz,1976) นอกจากนี้ความเข้มของแสงและระยะเวลาที่อาหารสัมผัสกับแสงก็มีส่วนทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น(Karel, 1975 a) โลหะบางอย่างอาจเร่งปฏิกิริยาได้ โดยเฉพาะพวกโลหะที่มีประจุไฟฟ้าตั้งแต่ 2 ประจุขึ้นไปเช่น cobalt ทองแดง เหล็ก manganese nikel ฯลฯ สารประกอบบางอย่างที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบในธรรมชาติเช่น hemoglobin myoglobin และ cytochrome สามารถเร่งปฏิกิริยานี้ได้เช่นกัน (De Man,1976;Lee,1980)

<u>การใช้สารกันหืนเพื่อยืดอายุการเก็บของแคบหมู</u>

สารกันหืนคือสารเคมีที่ได้ผสมลงไปในน้ำมัน ไขมันหรืออาหารที่มีไขมันเพียงเล็กน้อย เพื่อชลอปฏิกิริยา oxidation ของไขมันหรือน้ำมัน ทำให้เกิดกลิ่นหืนช้าลง (Gunstone,1983) หน้าที่หลักของสารกันหืนคือหยุดกลไกที่ทำให้เกิดการสะสมอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน โดยการถ่ายทอดอะตอมของ hydrogen ไปยังอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยา oxidationของไขมัน กล่าวคือ

ถ้าให้ AH เป็นสารกันหืนที่มีในระบบ AH จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น

ดังสมการต่างๆต่อไปนี้ คือ (Dugan,1976; Nicholas et al.,1978)

$$R^{\bullet} + AH \longrightarrow RH + A^{\bullet}$$

$$RO^{\bullet} + AH \longrightarrow ROH + A^{\bullet}$$

$$ROO^{\bullet} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\bullet}$$

$$R^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow RA$$

$$RO^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow ROA$$

$$ROO^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow ROOA$$

$$A^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow AA$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเข้มข้นของสารกันหืนที่ใช้ในอาหารต้องอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับราคาของสารกันหืน ความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของอาหาร การใช้สารหืนบางชนิดที่ระดับความเข้มข้นสูงก็อาจทำให้สารกันหืนนั้นกลายเป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา oxidation (prooxidant) เนื่องจากอนุมูลอิสระจากสารกันหืน ($A^{\bullet}$) จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบ hydrocarbon ได้เป็นอนุมูลอิสระ ($R^{\bullet}$) ซึ่งสามารถเข้าร่วมในปฏิกิริยาลูกโซ่ในปฏิกิริยา oxidation ของไขมันได้ ดังสมการ (De Man,1976)

$$A^{\bullet} + RH \longrightarrow AH + R^{\bullet}$$

หรือสารกันหืนอาจทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วได้อนุมูลอิสระ ($A^{\bullet}$) ซึ่งอนุมูลอิสระอาจทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก ดังสมการ (Nicholas et al.,1978)

$$AH + O_2 \longrightarrow HO_2^{\bullet} + A^{\bullet}$$

$$A^{\bullet} + RH \longrightarrow R^{\bullet} + AH$$

$$A^{\bullet} + O_2 \longrightarrow AO_2^{\bullet}$$

$$AO_2 + RH \longrightarrow AO_2H + R^{\bullet}$$

อย่างไรก็ตามสารกันหืน จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนโดยตรงได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเท่านั้น (Nicholas et.al.,1978)

สารกันหืนที่กระทรวงสาธารณสุขอนุญาตให้ใช้ในอาหารมีหลายชนิดได้แก่สารพวก gallates เช่น propyl gallate (PG) octyl และ dodecyl gallates butylated hydroxytoluene(BHT) butylated hydroxyanisole(BHA) tertiary butyl hydroquinone (TBHQ) ascorbyl palmitate, ascorbyl

stearate, tocopherol ชนิดธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์ และ dilauryl thiodipropionate (กระทรวงสาธารณสุข,2522 ก,ข,)

การตัดสินใจเลือกใช้สารกันหืนชนิดใดในอาหารจะต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของสารกันหืนในน้ำมันหรือไขมันที่ใช้ สภาวะที่ใช้ในการเตรียมอาหาร เช่นความร้อน ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้น และสภาพความเป็นกรดด่างของระบบ สารกันหืนหลายชนิดอาจใช้ร่วมกันได้โดยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารกันหืนเพียงชนิดเดียวเช่นอาจใช้ BHT ร่วมกับ BHA หรือ PG ได้ แต่ BHA กับ PG จะไม่เสริมฤทธิ์กัน (Dugan,1976) สารกันหืนพวก gallate เป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนโดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นด่าง นอกจากนี้สารพวก gallates ยังทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็กได้สีน้ำเงินหรือสีดำ (Dugan,1976 ; Weiss,1970) สารกันหืนบางชนิดอาจเหมาะกับไขมันหรือน้ำมันจากพืชหรือสัตว์เท่านั้น เช่น TBHQ มีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้กับไขมันน้ำมันจากพืช (Gunstone,1983) ในกรณีของน้ำมันหมูพบว่า BHT มีประสิทธิภาพสูงกว่า BHA คือถ้าใช้ BHT และ BHA เข้มข้นประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะทำให้น้ำมันหมูเริ่มเกิดกลิ่นหืนในเวลา 64.75 และ 54.5 ชั่วโมงตามลำดับ (Emanuel and Lyaskovskaya,1967) โดยทั่วไป BHT และ BHA จะทนทานต่อความร้อน แต่ BHA จะมีกลิ่นผิดปกติเมื่อได้รับความร้อนสูง (Weiss,1970) อย่างไรก็ตาม BHT BHA และ TBHQ สามารถระเหยไปกับไอน้ำในระหว่างการทอดที่อุณหภูมิประมาณ 150 ถึง 170 องศาเซลเซียส (Furia,1980) ข้อได้เปรียบที่สำคัญของ BHT คือเป็นสารกันหืนที่มีราคาถูกจึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (Nicholas et al.,1978)

<u>การตรวจสอบความคงตัว (stability)ของไขมันด้วยค่า peroxide(PV)</u>

ความคงตัวของไขมัน น้ำมัน หรืออาหารซึ่งมีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบหมายถึงการคงไว้ซึ่งกลิ่นและรสชาติที่ดีของไขมันในระหว่างการเก็บหรือการนำไปใช้ในการประกอบอาหาร ความคงตัวของไขมันนั้นจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของไขมัน ธรรมชาติและสภาพแวดล้อมของน้ำมัน สารกระตุ้นปฏิกิริยา oxidation หรือสารกันหืนซึ่งมีในน้ำมัน ตลอดจนประสิทธิภาพของภาชนะบรรจุ ตัวอย่างเช่นไขมันที่มีกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มากมักจะมีความคงตัวน้อยจึงทำให้อาหารที่มีไขมันประเภทนี้อยู่มากมีความคงตัวน้อยเช่นกัน อย่างไรก็ตามไขมันพืชมักจะมีความคงตัวมากกว่าไขมันสัตว์ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าเพราะมีสารกันหืนตามธรรมชาติบางชนิดอยู่ในน้ำมันพืช การวัดความคงตัวของไขมันอาจทำได้หลายวิธีเช่นการประเมินผลทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) และการใช้วิธีการ

ต่างๆทางเคมี เช่น ค่า peroxide ซึ่งบอกถึงปริมาณสารประกอบ peroxide ที่สะสมจากปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน ค่า peroxide จะสูงขึ้นอย่างช้าๆในช่วงเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นหืน ถึงแม้ว่าตรวจไม่พบกลิ่นผิดปกติโดยทางประสาทสัมผัส ค่า peroxide ของไขมันสัตว์จะเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนกระทั่งมีค่าสูงประมาณ 20 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมของไขมัน ซึ่งช่วงนี้เองไขมันจะเริ่มมีกลิ่นหืน จากนั้นค่า peroxide จะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ก่อนที่ไขมันสัตว์จะเกิดกลิ่นหืน กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาจเปลี่ยนแปลงไปในทางไม่ดี (taste reversion) และทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสคล้ายกับกลิ่นสาบของสัตว์นั้นๆในธรรมชาติ (Van Der Vet,1968)

<u>การดูดความชื้นของแคบหมู</u>

ถ้าเก็บแคบหมูในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าความชื้นภายในของแคบหมูที่อุณหภูมิหนึ่งๆ แคบหมูจะดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไปจนกระทั่งระดับความชื้นภายในแคบหมูอยู่ในสมดุลย์กับระดับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า "ความชื้นสมดุลย์" หรือ "ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์" (equilibrium moisture content หรือ equilibrium relative humidity ,ERH) หรืออาจจะอธิบายความชื้นสมดุลย์ของอาหารในรูปของ water activity (a_w) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของความดันไอน้ำในอาหารต่อความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อิ่มตัวในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิคงที่และคิดเป็นอัตราส่วน 1:100 ของความชื้นสมดุลย์ดังนี้คือ (Labuza,1982)

$$a_w = P/P_o = \frac{\%\ ERH}{100}$$

เมื่อ P = ความดันไอน้ำในอาหาร

P_o = ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อิ่มตัวในบรรยากาศ

เมื่อแคบหมูดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไปอาจเป็นผลให้แคบหมูเสื่อมคุณภาพเนื่องจากระดับความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning) การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และการ oxidation ของไขมัน (Karel,1975b;Labuza,1982)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ หรือปฏิกิริยา Maillard เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของคาร์โบไฮเดรต กับกรดอะมิโนทำให้แคบหมูมีสีน้ำตาลและมีกลิ่นคล้ายกาวตลอดจนรสชาติเปลี่ยนไป (Karel,1975b) ปฏิกิริยานี้มักเกิดกับอาหารแห้งหรืออาหารที่มีความชื้นปานกลาง (intermediate moisture food)ที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงประมาณ 0.30-0.65

(Johnson and Peterson,1974) นอกจากนี้แล้วแคบหมูซึ่งเดิมมีลักษณะกรอบจะเหนียวยุ้ย จนผู้บริโภคไม่ยอมรับเมื่อดูดความชื้นเข้าไปจนกระทั่งมีค่า a_w ประมาณ 0.35-0.50 (Labuza,1982) นอกจากนี้ความชื้นในอาหารยังมีผลต่อกระบวนการ oxidation ของไขมัน เมื่อโมเลกุลของน้ำได้รับรังสีที่มีพลังงานสูงเช่น รังสีgamma จากแล่งอาทิตย์จะแตกตัวให้ electron และอนุมูลอิสระต่างๆ ได้แก่ hydrogen ion และhydroxyl ion โดยกระบวนการ "radiolysis"หรือ"radiolyse" electron ที่เกิดขึ้นนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของอาหาร (RX) และเกิดอนุมูลอิสระได้ (Karel,1975c) ดังสมการ

$$RX + e^- (aq) \longrightarrow (RX)^-$$

$$(RX)^- \longrightarrow R^{\bullet} + X^-$$

โดย electron เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับอาหารได้ในบริเวณต่างๆ เช่น disulfide bond sulfhydryl group carbonyl group และกรด อะมิโน ต่างๆได้โดยง่าย

นอกจากนี้ hydroxyl ion ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ดังสมการ

$$RH + OH^- \longrightarrow R^{\bullet} + H_2O$$

ปฏิกิริยา oxidation ของไขมันนี้จะเกิดได้ดีในสภาพที่มีความชื้นต่ำ เช่นที่ a_w ประมาณ 0.00-0.30 (Johnson and Peterson,1974) ถ้าค่า a_w เพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเนื่องจากสาเหตุต่างๆหลายประการ (Karel,1975b; Karel,1975c; Labuza,1975) เพราะน้ำสามารถรวมตัวกับสารประกอบ hydroperoxide ที่เกิดขึ้นทำให้สารประกอบนี้มีความคงตัวมากขึ้น และน้ำจะมีส่วนช่วยให้อนุมูลอิสระต่างๆรวมตัวกันซึ่งทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลงนอกจากนี้โลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของการเกิดกลิ่นหืนจะเกาะยึด (chelation) กับน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่รวมกับน้ำ(hydrated molecule) ทำให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาลดลง หรือโลหะอาจจะเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นโลหะไฮดรอกไซด์(metal hydroxide) ซึ่งไม่ละลายน้ำจึงหมดประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา น้ำหรือความชื้นที่บริเวณตำแหน่งพันธะคู่ของไขมันสามารถเข้าไปขัดขวางการแพร่กระจายของ ออกซิเจน เข้าสู่ตำแหน่งพันธะคู่ได้ จึงทำให้ปฏิกิริยา oxidationเกิดได้ยากยิ่งขึ้น น้ำบางส่วนอาจจะเข้ารวมตัวกับออกซิเจนทำให้ไม่สะดวกในการเข้าทำปฏิกิริยากับไขมัน ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาลิ่นน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งเกิดได้โดยง่ายในสภาพที่มีน้ำจะได้สาร เคมีบางอย่างซึ่งมีฤทธิเป็นสารกันหืนด้วย

อย่างไรก็ตามเมื่อความชื้นของแคบหมูเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้การแพร่กระจายของสารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นพวกโลหะต่างๆซึ่งยังคงมีประสิทธิภาพเหลืออยู่เป็นไปได้สะดวกยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะสามารถลดความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่หมดประสิทธิภาพได้ด้วย เมื่ออาหารแห้งดูดน้ำหรือความชื้นเข้าไปจะทำให้สารอาหารบางอย่างที่ปกคลุมบริเวณที่ ออกซิเจนสามารถเข้าทำปฏิกิริยาละลายออกไป หรือทำให้เนื้อของอาหารบวมตัวขึ้นจึงมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น

การเก็บและอายุการเก็บของแคบหมู

อายุการเก็บของแคบหมู จะนับรวมช่วงระยะเวลาตั้งแต่แคบหมูอยู่ในระหว่างการผลิตจนกระทั่งส่งออกจำหน่ายในท้องตลาดโดยที่ผู้ซื้อยังคงพอใจในคุณภาพของแคบหมู (Institute of Food Technologist,1974) สภาพแวดล้อมซึ่งอาจใช้สำหรับกำหนดถึงอายุการเก็บของแคบหมูที่สำคัญได้แก่ แสง ความชื้นสัมพันธ์ และ ออกซิเจนในบรรยากาศ ดังนั้นจึงควรใช้ภาชนะบรรจุซึ่งสามารถป้องกันแคบหมูจากสิ่งต่างๆเหล่านี้ได้ ภาชนะบรรจุที่มีส่วนผสมของโลหะเช่นถุงaluminum foil laminate หรือภาชนะที่ย้อมสีทึบต่างๆสามารถป้องกันความเสียหายของแคบหมูเนื่องจากแสงได้ ภาชนะบรรจุบางชนิดเช่น aluminum foil laminate สามารถป้องกันการซึมผ่านของ ออกซิเจนได้โดยสิ้นเชิงจึงแน่ใจว่า ออกซิเจนที่สามารถทำปฏิกิริยากับแคบหมูได้มีจำนวนจำกัดในกรณีนี้ออกซิเจน จะเข้าทำปฏิกิริยากับอาหารจนปริมาณ ออกซิเจนในภาชนะบรรจุหมดลง ภาชนะบรรจุบางชนิดเช่นถุงpolypropylene และถุงpolyethylene จะยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านไปได้บ้างจึงทำให้แคบหมูที่บรรจุในภาชนะดังกล่าวเสื่อมคุณภาพเนื่องจาก ออกซิเจนได้ อย่างไรก็ตามภาชนะบรรจุ พวก polypropylene และ polyethylene นี้เป็นภาชนะบรรจุที่แพร่หลายในท้องตลาด และยังมีราคาถูกกว่าภาชนะบรรจุที่ผ่านการเคลือบ (laminate)ต่างๆ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมก็มีผลต่อการเสื่อมเสียของแคบหมูกล่าวคือออกซิเจนสามารถทำปฏิกิริยากับแคบหมูได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้การซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจนเข้าไปในภาชนะบรรจุจะเป็นไปได้ดีที่อุณหภูมิสูงด้วย (Karel,1975a)

เนื่องจากแคบหมูเป็นอาหารที่มีการพองตัวสูง เมื่อบรรจุภายในภาชนะบรรจุจะทำให้มีที่ว่างระหว่างชิ้นอาหารจำนวนมากออกซิเจน จากบรรยากาศจึงสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ได้ ดังนั้นจึงควรจำกัดปริมาณ ออกซิเจน ภายในภาชนะบรรจุให้เหลือน้อยที่สุดเพื่อยืดอายุการเก็บของแคบหมู วิธีการปรับปรุงคุณลักษณะภายในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับการบรรจุแคบหมู

012390

คือการแทนที่ ออกซิเจนด้วยแกสเฉื่อย (inert gas) เช่นการฉีดแกสไนโตรเจน เข้าไปในถุง ขณะที่บรรจุแคบหมู ซึ่งสามารถลดปริมาณ ออกซิเจน ภายในภาชนะบรรจุให้เหลือเพียงร้อยละ 1 หรือร้อยละ 2 เท่านั้น วิธีการบรรจุแคบหมูโดยฉีดแกสเฉื่อยเข้าไป จะไม่ทำให้แคบหมูแตกหัก เนื่องจากแรงกดดันของบรรยากาศภายนอก หรือการลีกยาดของภาชนะ บรรจุเนื่องจากการกัดแทงผนังของภาชนะบรรจุโดยตัวของแคบหมูเองซึ่งมีลักษณะรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (irregular form) และมีความแข็งที่มุมหรือขอบของแคบหมูด้วย (Sacharow and Griffin, 1970)