ปัจจัยและแนวทางการลดการเกิดสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์อาหารย่างด้วยถ่าน

Factors and reduction strategies of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Formation in Charcoal-Grilled Food Products

มาดีนา น้อยทับทิม[1*] ปิยาภรณ์ วังศิริกุล[1] และ อาสลัน หิเล[1]

Madeena Noitubtim[1*], Piyaporn Wangsirikul[1] and Aslan Hilae[1]

(Received: 15 May,2023 ; Revised: 1 June,2023 ; Accepted 15 June,2023)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอาหารย่างเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอาหารย่างด้วยถ่าน เนื่องจากการย่างด้วยถ่านทำให้เกิดสี กลิ่น และรสชาติเฉพาะตัว กระบวนการย่างอาหารด้วยถ่านทำให้เกิดการปนเปื้อนของสาร PAHs ในอาหารได้ ซึ่งสาร PAHs เป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นการเข้าใจกลไกการเกิดสาร PAHs จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถหาแนวทางลดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านได้ งานวิจัยที่ผ่านมาสันนิษฐานกลไกการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านจากปฏิกิริยาดังต่อไปนี้ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion) ปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis) ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และปฏิกิริยาการสลายตัว (degradation) ทั้งนี้การเกิดสาร PAHs จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการย่าง ได้แก่ ปริมาณของไขมันในเนื้อสัตว์ ส่วนประกอบของเครื่องปรุงรสหรือน้ำหมักที่ใช้ในการหมักเนื้อสัตว์ก่อนนำไปย่าง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการย่าง และถ่านที่ใช้ในการย่าง สำหรับวิธีการควบคุมปัจจัยที่จะทำให้เกิดสาร PAHs ในอาหารย่าง มีดังนี้ การออกแบบอุปกรณ์เพื่อลดควันระหว่างกระบวนการย่างและน้ำมันจากเนื้อสัตว์ที่หยดลงบนถ่าน การใช้ถ่านคุณภาพสูง การเผาถ่านทั้งก้อนก่อนนำไปย่างอาหาร การทำให้เนื้อสัตว์สุกบางส่วนก่อนนำไปย่างเพื่อลดเวลาในการย่าง การป้องกันน้ำมันไม่ให้หยดบนถ่านด้วยการห่อเนื้อสัตว์ด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ก่อนนำไปย่าง ซึ่งวิธีการข้างต้นสามารถลดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่าน สำหรับแนวทางการศึกษาในอนาคตนั้น การศึกษาปัจจัยร่วมที่ทำให้เกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านเป็นหัวข้อที่น่าสนใจจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำให้เกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่าน

---

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จังหวัดนราธิวาส 96000

[1]Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat 96000

*Corresponding author: madeena.n@pnu.ac.th

คำสำคัญ: สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารก่อมะเร็ง อาหารย่าง

Abstract

Nowadays, grilled food is very popular, especially charcoal-grilled food since it produces color, unique smell, and taste. Charcoal grilling can lead to the contamination of PAHs in food which are carcinogens. Therefore, it is important to understand the mechanisms of PAHs formation to find solutions for reducing PAHs in charcoal-grilled foods. Although the mechanism of its occurrence is still unclear, previous research has assumed the mechanism of PAHs formation in charcoal-grilled food as following reactions: incomplete combustion, pyrolysis, the Maillard reaction, lipid oxidation and degradation. The reaction depends on grilling process factors including the amount of fat in the meat, the component of marinate meat before grilling, temperature, cooking time, and charcoal used for grilling. The methods for controlling the factors that cause PAHs formation are as follows: equipment design for reducing the smoke during grilling process and oil dripping onto the charcoal, using high-quality charcoal, burning whole charcoal before grilling food, partially cooked meat before grilling, prevention of oil drop on the charcoal by wrapping the meat before grilling, which can reduce PAHs formation in charcoal-grilled food. For future study guidelines, it is interesting to study the cofactors of PAHs in charcoal-grilled food to determine the relationships between the factors contributing to PAHs in charcoal-grilled food.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons, carcinogen, grilled food

บทนำ

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ (Viegas, Novo, Pinto, Pinho & Ferreira, 2012) เช่น ไฟป่า ภูเขาไฟ และสามารถเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาป่าเพื่อทำการเกษตร การปล่อยควันของโรงงานอุตสาหกรรม การปล่อยไอเสียจากรถยนต์ และกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน เช่น การย่าง การทอด การรมควัน เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดสาร PAHs

ปนเปื้อนในอาหารได้ (Singh , Varhney & Agawal, 2016; Simko, 2011) การปนเปื้อนของสาร PAHs ในอาหารสามารถปนเปื้อนตั้งแต่แหล่งวัตถุดิบของอาหาร เนื่องจากสาร PAHs พบได้ในสิ่งแวดล้อม แต่จะพบสาร PAHs เพิ่มขึ้นในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน ปริมาณสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในอาหารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูปอาหาร (Orecchio, 2009) จากรายงานการทดลองหาปริมาณสาร PAHs ในอาหารปิ้ง ย่าง ประเภทเนื้อบาร์บีคิว เท่ากับ 164 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่อาหารทอดพบสาร PAHs ในปริมาณไม่มากนัก (Phillips, 1999) ปัจจุบันได้มีการนิยมบริโภคอาหารย่างมากขึ้นในหลายประเทศ เนื่องจากอาหารย่างมีลักษณะเฉพาะตัวทั้งด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส เช่น ประเทศมาเลเซียมีการนิยมบริโภคอาหารย่าง ได้แก่ เนื้อสะเต๊ะ ไก่ย่าง และปลาย่าง อาหารดังกล่าวมีการปนเปื้อนของสาร PAHs ซึ่งพบสาร PAHs ในเนื้อสะเต๊ะย่างด้วยถ่าน 6.98 ± 2.01 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Jahurul, 2013) และพบว่ามีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับการเป็นโรคมะเร็งของคนในประเทศมาเลเซีย (Farhadian, Jinap, Faridah, & Zaidul, 2010) เนื่องจากสาร PAHs เป็นสารก่อมะเร็งและร้อยละ 88-98 ร่างกายได้รับจากการปนเปื้อนในอาหาร จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานปริมาณสูงสุดที่พบได้ในอาหารประเภทปิ้งยาง คือ ปริมาณสูงสุดที่พบสารเบนโซเอไพรีน (benzo(a)pyrene) เท่ากับ 5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และ ปริมาณโดยรวมสูงสุดที่พบสารเบนโซเอไพรีน (benzo(a)pyrene), สารเบนโซเอแอนทราซีน (benzo(a)anthracence), สารเบนโซบีฟลูโอ แรนทีน (benzo(b)fluoranthene) และสารไซซีน (chrysene) เท่ากับ 30 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Commission Regulation (EC) No 835/2011)

สาร PAHs สามารถก่อให้เกิดการกลายพันธุ์และก่อให้เกิดมะเร็งได้จึงมีการเฝ้าระวังอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น เนื่องจากร่างกายสามารถรับสาร PAHs ได้หลายทาง เช่น การสูดดมไอระเหยหรือเขม่าควัน การสัมผัสทางผิวหนัง และการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนสาร PAHs ซึ่งพบว่าในคนที่ไม่สูบบุหรี่จะได้รับสาร PAHs จากการสูดดมร้อยละ 2-12 และจากการกินอาหารที่ปนเปื้อนสาร PAHs ร้อยละ 88-98 (Alomirah et al., 2011) เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสามารถจับตัวกับดีเอ็นเอได้ (Phillips, 1999) สาร PAHs จับกับดีเอ็นเอเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของ esterified N-hydroxyl-HAs และอะตอม C-8 ของ hydroxyguanosine เพื่อทำให้เกิดการจับตัวของ dG-C8 HAs (Hassan, 2010)

กลไกการเกิดสาร PAHs ระหว่างกระบวนการผลิตอาหารโดยใช้ความร้อนนั้น มีการสันนิษฐานการเกิดสาร PAHs จากปฏิกิริยาต่างๆ โดยมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารที่ใช้ความร้อน เช่น แหล่งให้ความร้อน ชนิดของอาหาร อุณหภูมิ และเวลา เป็นต้น บทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสาร PAHs ในกระบวนการย่างด้วยถ่าน ซึ่งการเข้าใจถึงกลไกการเกิดสาร PAHs ระหว่างการย่างจะทำให้สามารถลดและป้องกันการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านได้ ซึ่งได้รวบรวมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสาร PAHs ดังนี้ ลักษณะทั่วไปของสาร PAHs อันตรายของสาร PAHs ปัจจัยและปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดสาร PAHs รวมทั้งแนวทางที่เป็นไปได้ในการลดปริมาณสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่าน

ลักษณะทั่วไปของสาร PAHs

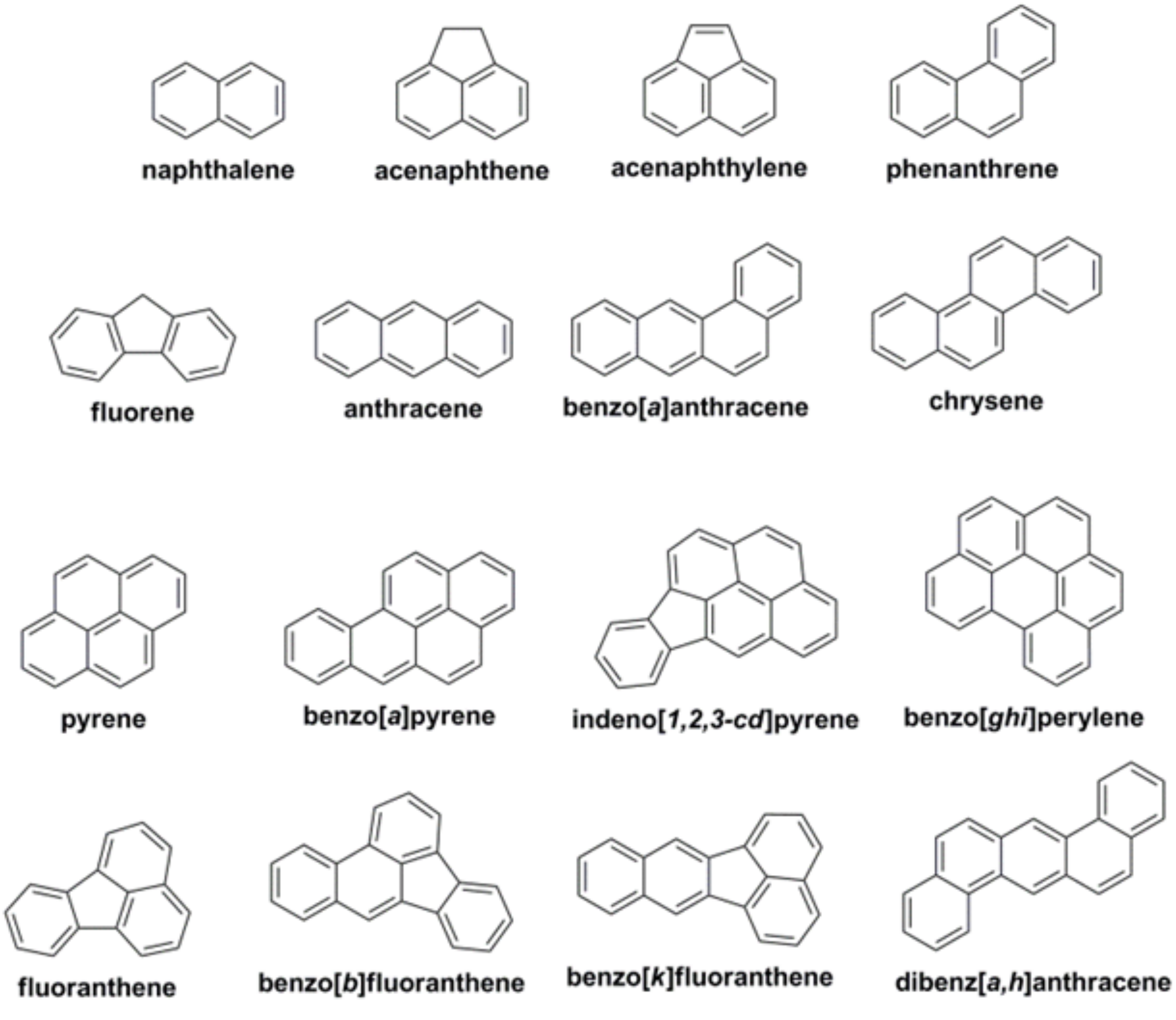
สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีมากกว่า 100 ชนิด สาร PAHs เป็นสารประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป ละลายได้ดีในไขมันและละลายได้น้อยในน้ำ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีขั้ว สาร PAHs เป็นกลุ่มสารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว หรือสีเหลืองอ่อนปนเขียว ในธรรมชาติจะไม่พบสารนี้ชนิดเดียวมักพบปะปนอยู่กับสารชนิดอื่นเสมอ ความสามารถในการละลายได้ของสาร PAHs จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในสภาวะความเค็ม มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยเฉพาะในที่อุณหภูมิต่ำ สาร PAHs สามารถออกซิไดซ์โดยแสง ความสามารถในการกลายเป็นไอจะผกผันกับน้ำหนักโมเลกุล สามารถพบสาร PAHs ได้ในสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ และอากาศ โดยทั่วไปแล้วจะพบสาร PAHs ปนเปื้อนกับสารพิษชนิดอื่นโดยเฉพาะโลหะหนักหลายชนิด ได้แก่ สารหนู แบเรียม แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ปรอท นิกเกิล และ สังกะสี (Tamakawa, 2008)

อันตรายของสาร PAHs

เนื่องจากสาร PAHs เป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์และก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้นจึงมีการเฝ้าระวังปริมาณสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (The United States the Environmental Protection Agency, U.S.EPA) ได้กำหนดสาร PAHs จำนวน 16 ชนิด ดังรูปที่ 1 เพื่อเฝ้าติดตามในสิ่งแวดล้อม และสาร PAHs จากการเผาไหม้ไม้และถ่าน สำหรับการปนเปื้อนสาร PAHs ในอาหารจากสิ่งแวดล้อมและกระบวนการแปรรูปโดยแบ่งตามระดับความเป็นพิษที่อาจจะก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ โดยองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer, IARC) มีการกำหนดสาร PAHs จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ สารเบนโซเอไพรีน (benzo(a)pyrene), สารเบนโซเอ แอนทราซีน (benzo(a)anthracence) สารเบนโซบีฟลูโอแรนทีน (benzo(b)fluoranthene) และสารไซซีน (chrysene) ตามระดับการก่อให้เกิดมะเร็งดังตารางที่ 1 โดยสาร PAHs ชนิดเบนโซเอไพรีน (benzo(a)pyrene) เป็นตัววัดของสาร PAHs ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็ง เนื่องจากเป็นชนิดที่มีฤทธิ์ก่อมะเร็งมากที่สุด ความเป็นพิษของสาร PAHs เมื่อร่างกายได้รับในปริมาณมาก จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย อาการเพ้อ หรืออาการสับสนฉับพลัน สาร PAHs อาจจะรบกวนการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ทำงานร่วมกับระบบเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคมะเร็งและมีผลต่อการกลายพันธุ์ได้ การเกิดมะเร็งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณที่ร่างกายได้รับความไวต่อการตอบสนองต่อสาร PAHs และความสามารถในการซ่อมแซมดีเอ็นเอของร่างกาย

ตารางที่ 1 การจำแนกประเภทสารก่อมะเร็งโดยองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (U.S.EPA)

สาร PAHs	กลุ่ม	การจำกัดความ
สารเบนโซเอไพรีน (benzo(a)pyrene)	1	ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์
สารเบนโซเอแอนทราซีน (benzo(a)anthracence)	2B	อาจจะก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์
สารเบนโซบีฟลูโอแรนทีน (benzo(b)fluoranthene)		
สารไครซีน (chrysene)		



รูปที่ 1 สาร PAHs ที่ใช้ในการเฝ้าระวัง จำนวน 16 ชนิด (U.S.EPA)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดสาร PAHs ในกระบวนการย่างนั้น พบว่ากลไกการเกิดสาร PAHs มาจากหลายปฏิกิริยา เนื่องจากมีความซับซ้อน Alomirah et al. (2011) ได้สรุปกลไกการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่าน ซึ่งอาจจะเกิดจาก 3 กลไก คือ

1. เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis) ของสารอินทรีย์ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรทที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส การก่อตัวของสาร PAHs จะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส โดยที่ปริมาณสาร PAHs จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไขมันในอาหาร

2. เกิดจากปริมาณน้ำมันที่หยดลงบนถ่านขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ให้ความร้อนแก่เนื้อสัตว์ ทำให้เกิดสาร PAHs ลอยมากับควันแล้วติดที่ผิวของเนื้อสัตว์

3. เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของถ่านขณะย่างเนื้อสัตว์ ซึ่งจะทำให้เกิดสาร PAHs ติดมากับควัน

ปัจจัยการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านจากปริมาณไขมันของเนื้อสัตว์

ไขมันของเนื้อสัตว์จะถูกเก็บไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งเกิดจากสัตว์ได้พลังงานจากอาหารมากกว่าที่ร่างกายต้องการใช้ จึงสะสมไว้ในลักษณะของไขมันในกล้ามเนื้อต่างๆ ของร่างกาย เนื้อสัตว์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ เมื่อเนื้อสัตว์ถูกความร้อนระหว่างกระบวนการแปรรูปจะทำลายเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนจะมีออกซิเจนและโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อนำเนื้อสัตว์ไปย่างด้วยถ่านไขมันในเนื้อสัตว์จะถูกความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัว (degradation) ของไขมันที่ไม่อิ่มตัว จากนั้นจะทำให้เกิดสาร hydroperoxide หรือสารประกอบ cyclohexene สารที่เกิดขึ้นนี้สามารถเปลี่ยนไปเป็นเบนซีน ซึ่งมีการสันนิษฐานว่าเบนซีนที่เกิดขึ้นมาจาก 3 วิถี

1) เมื่อไขมันเกิดการสลายตัว (degradation) เกิด cyclohexene ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ (oxidized) เป็นเบนซีน

2) เมื่อไขมันเกิดการสลายตัว (degradation) พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบ dienophilic เพื่อสร้างสารประกอบที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซินผ่านปฏิกิริยา Diels-Alder

3) กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกออกซิไดซ์ (oxidized) เพื่อก่อให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาภายในโมเลกุลที่ก่อตัวของสารประกอบเชิงซ้อน เช่น cyclohexene

นอกจากนี้ไขมันอิ่มตัวสามารถเกิด degradation และได้เบนซีนโดยผ่านปฏิกิริยา Diels-Alder ซึ่งเบนซีนเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสาร PAHs (Chen & Chen, 2001) เมื่อผิวของเนื้อสัตว์ถูกความร้อนที่อุณหภูมิสูงมาก

และอากาศแห้ง ไขมันที่ผิวของเนื้อสัตว์สามารถเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส (pyrolysis) ซึ่งจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดสารเบนซีน (Maher & Bressler, 2007) การย่างเป็นการให้ความร้อนโดยตรงแก่เนื้อสัตว์ จะทำให้เกิดการก่อตัวของเกิดสาร PAHs โดยปฏิกิริยาไพโรไลซีส (pyrolysis) ของไขมันที่ผิวเนื้อสัตว์และจะสะสมสาร PAHs บนเนื้อสัตว์ (Phillip, 1999) รายงานของ Maher & Bressler (2007) และ Phillip (1999) ได้สนับสนุนข้อสันนิษฐานกลไกการเกิดสาร PAHs ข้อที่ 1 ของ Alomirah et al. (2011)

ปัจจัยการเกิดสาร PAHs ในกระบวนการย่างด้วยถ่านจากเครื่องปรุงรสหรือน้ำหมัก

ก่อนการนำเนื้อสัตว์ไปย่างได้มีการเพิ่มรสชาติด้วยเครื่องปรุงรสหรือน้ำหมัก (Marinate) โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของน้ำหมัก มีดังนี้ ซอสถั่วเหลือง น้ำมัน น้ำตาล และเครื่องเทศ การหมักเนื้อสัตว์ด้วยน้ำหมักมีผลต่อการเกิดสาร PAHs มีงานวิจัยการใช้น้ำหมักที่มีส่วนประกอบของเครื่องเทศพบว่าสามารถลดสารก่อมะเร็งประเภท Heterocyclic aromatic amine ระหว่างการปรุงอาหารด้วยความร้อนได้ (Gibis, 2007) สำหรับงานวิจัยการใช้น้ำหมักที่มีส่วนประกอบของเครื่องเทศในการลดสาร PAHs ในอาหารย่างนั้น ข้อมูลยังไม่มากนัก

การหมักเนื้อสัตว์ก่อนนำไปย่างเป็นการเพิ่มรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ น้ำหมักเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจจะก่อให้เกิดสาร PAHs ในกระบวนการย่าง เนื่องจากส่วนประกอบของน้ำหมัก มีการเติมไขมันหรือน้ำมันในส่วนประกอบของน้ำหมักจะทำให้เพิ่มปริมาณไขมันบริเวณผิวของเนื้อสัตว์ ซึ่งจะทำให้เพิ่มการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัว (degradation) ขึ้น จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดเบนซีนที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดสาร PAHs ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำหมักมีผลทำให้เกิดสาร PAHs ในไก่ย่าง พบว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะมีปริมาณการเกิดสาร PAHs ไก่ย่างน้อยกว่า ทั้งนี้อาจจะมีความเกี่ยวข้องกับสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ที่มีอยู่ในส่วนประกอบของน้ำหมัก และพบว่าค่า pH ของน้ำหมักที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเกิดสาร PAHs ในไก่ย่าง ซึ่งค่า pH มากกว่า 7.5 จะทำให้สาร PAHs เพิ่มขึ้น 70% (Wongmaneepratip & Vangnai, 2017)

ในทางกลับกันการเติมเครื่องเทศ (spices) เช่น กระเทียม หัวหอม เป็นส่วนประกอบของน้ำหมักในปริมาณที่เหมาะสมสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) พบว่า การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ในขั้นตอนแรกนั้นจะทำให้เกิดสาร Proline amadori compound (intermediate) สามารถก่อตัวเป็นสาร PAHs ได้ (Britt, 2004) การหมักเนื้อหมูก่อนนำไปย่างด้วยชามาเต (yerba mate tea) ซึ่งมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) สามารถลดการเกิด benzo(a)pyrene ลงอย่างมาก (Park, 2017)

ปัจจัยการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านจากถ่านไม้

ถ่าน เป็นของแข็งที่ได้จากการแปรรูปไม้ด้วยกระบวนการเคมีความร้อน (Thermochemical process) หรือกระบวนการไพโรไลซีส (pyrolysis) โดยการเผาไหม้ในที่จำกัดอากาศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของไม้ ซึ่งถ่านจะมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ คาร์บอน และของเหลว เช่น น้ำมันดิน (tars) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเลขที่ มผช.658/2547 ถ่านไม้สำหรับปิ้งและย่าง ครอบคลุมเฉพาะถ่านที่ได้จากการเผาไม้ ใช้สำหรับปิ้งและย่างอาหาร ถ่านไม้หุงต้มต้องมีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีเศษดินและไม้ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ปนอยู่ ความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 7,000 แคลอรีต่อกรัม เถ้าไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก สารระเหยไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก การใช้งานเมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น มีควันได้เล็กน้อย

สำหรับองค์ประกอบของถ่านนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ที่นำมาทำถ่านแล้ว อุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้องค์ประกอบของถ่านที่ได้มีความแตกต่างกัน การเผาไม้เนื้อแข็งใช้อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) 400 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านที่มีองค์ประกอบคือ Cellulose 33.8-48.7%, Hemicellulose 23.2-37.7%, Lignin 19.1-30.3%, Extractives 1.1-9.6% พบว่า % Yield ของถ่านขึ้นอยู่กับ Lignin และ Hemicellulose ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของไม้

การใช้ถ่าน ก่อนนำถ่านไปใช้จะมีการเผาถ่านให้ติดไฟสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนก่อนนำไปย่างอาหาร สังเกตได้จากร้านอาหารปิ้งย่างทั่วไปจะมีการนำถ่านที่ติดไฟทั่วทั้งก่อนบริการให้ลูกค้าสำหรับการย่างอาหาร การทำให้ถ่านติดไฟทั่วทั้งก้อนนั้น จะทำให้ลดปริมาณควันและสาร PAHs เป็นการไล่ความชื้นและน้ำมันดิน (tars) ในถ่าน เมื่อนำเนื้อมาวางบนถ่านติดไฟทั่วทั้งก้อนและมีอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส พบว่าสาร PAHs มีปริมาณลดลง (Kao, Chen, Huang, Chen & Chen, 2014)

ปัจจัยการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านจากกระบวนการผลิต

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการย่าง

การย่างเนื้อสัตว์โดยทั่วไปแล้วจะใช้อุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส เมื่ออาหารได้รับความร้อนอุณหภูมิสูงมากกว่า 200 องศาเซลเซียส แบบให้ความร้อนโดยตรง เช่น การอบ การย่าง ทำให้เกิดสาร PAHs ชนิดก่อให้เกิดมะเร็งได้ เนื่องจากการสลายตัวทางเคมีของสารอินทรีย์ในอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันไปเป็นสาร PAHs (Bansal & Kim, 2015) เมื่อนำอาหารไปย่างบนถ่านไม้อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัว (degradation) จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดเบนซีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสาร PAHs การย่างอาหารที่อุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำมันหยดบนถ่านมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาไพโรไล

ซิส (pyrolysis) จะทำให้เกิดเบนซีนได้ นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้น้ำมันสะสมบนถ่านมากขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดควันและสาร PAHs มาเกาะที่ผิวของอาหารย่าง

2. เวลาที่ใช้ในการย่าง

Pan & Cao (2010) ทำการทดลองผลของเวลาการย่างต่อการเกิดสาร PAHs พบว่าปริมาณ Benzo(a)pyrene ในเนื้อหมูเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kao et al. (2014) ได้ศึกษาปริมาณ 16 PAHs ในส่วนต่างๆ ของไก่ย่างที่เวลาแตกต่างกัน พบว่า ส่วนของไก่ย่างทุกส่วนมีปริมาณสาร PAHs เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การใช้ระยะเวลาย่างนานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัว (degradation) เพิ่มขึ้นและเพิ่มโอกาสการปนเปื้อนสาร PAHs ที่ติดมากับควัน บริเวณผิวของอาหารย่างและเพิ่มการสะสมของน้ำมันที่หยดลงบนถ่านไม้จากเนื้อสัตว์ได้

ปัจจัยการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านจากหยดของน้ำมันลงบนถ่าน

ระหว่างการย่างอาหารที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ถ่านไม้เป็นแหล่งให้ความร้อนนั้น น้ำมันจากอาหารสามารถหยดลงบนถ่าน จะทำให้เกิดสาร PAHs เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันที่หยดลงบนถ่านขณะที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำให้เกิดควันขึ้นโดยที่สาร PAHs จะติดมากับควันแล้วไปเกาะบริเวณผิวของอาหารย่าง นอกจากนี้น้ำมันที่หยดลงบนถ่านจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส (pyrolysis) ของน้ำมันที่หยดลงมาบริเวณถ่านร้อนซึ่งจะทำให้เกิดสาร PAHs ขึ้น การวิเคราะห์หาสาร PAHs ในควันที่เกิดจากน้ำมันที่หยดออกจากไก่ย่างที่อุณหภูมิ 250 และ 400 องศาเซลเซียส เท่ากับ 16.63 และ 105 ไมโครกรัมต่อกรัม เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันที่หยดลงบนแหล่งให้ความร้อนปริมาณสาร PAHs ในควันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 400-1000 องศาเซลเซียส (Prathomtong, Panchatee, Kunanopparat, Srichumpuang & Nopharatana, 2016)

แนวทางการลดปริมาณสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่าน

1. ปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อสัตว์

การเลือกวัตถุดิบ (เนื้อสัตว์) ที่นำมาปรุงอาหารควรเลือก ส่วนของเนื้อสัตว์หรือชนิดของเนื้อสัตว์ที่มีปริมาณไขมันต่ำ ซึ่งหากไม่สามารถเลือกวัตถุดิบ (เนื้อสัตว์) ที่มีปริมาณไขมันต่ำมาปรุงอาหารได้ ควรมีการใช้ขั้นตอนหรือวิธีการผลิตอื่นร่วมด้วย เช่น การทำให้สุกก่อนนำไปย่าง เช่น การนึ่งหรือต้ม วิธีการนี้ไม่ได้เป็นการลดปริมาณไขมันในเนื้อสัตว์ แต่เป็นการควบคุมปัจจัยตัวอื่นที่อาจจะสามารถลดสาร PAHs ระหว่างกระบวนการย่างได้ จากการศึกษาปริมาณ 16 PAHs ในอาหารย่างที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ดังนี้ ข้าวโพด กุ้ง ปลาเทราท์ เนื้อวัว และเนื้อหมู พบว่าเนื้อหมูมีปริมาณ 16 PAHs สูงที่สุดคือ 78 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามด้วยปลาเท

ราท์ 2.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และเนื้อวัว 1.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไขมันในเนื้อหมูมีมากที่สุด รองลงมาคือปลาเทราท์ และเนื้อวัว จะเห็นได้ว่าเนื้อหมูมีปริมาณไขมันมาก ทำให้มีพบปริมาณ 16 PAHs มากกว่าอาหารประเภทอื่นที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่า (Saito, Tanaka, Miyazaki & Tsuzaki, 2014)

2. การหมักเนื้อสัตว์ด้วยเครื่องปรุงรสหรือน้ำหมัก

การเลือกส่วนประกอบของเครื่องปรุงรสหรือน้ำหมักให้เหมาะสม โดยการหลีกเลี่ยงการเติมน้ำมันหรือไขมันเป็นส่วนประกอบของน้ำหมัก เพราะจะเป็นการเพิ่มปริมาณไขมันที่ผิวของเนื้อสัตว์ นอกจากนี้การใช้เครื่องเทศ เช่น กระเทียม และหัวหอม ในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถป้องกันปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้ การหมักเนื้อสัตว์ด้วยน้ำหมักมีผลต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ย่าง การปรับปรุงส่วนประกอบของน้ำหมักเพื่อลดสาร PAHs จึงต้องมีการทดสอบประสาทสัมผัสของผู้บริโภคควบคู่กันไปด้วย จากการศึกษาการหมักเนื้อสะเต๊ะด้วยน้ำหมักสูตรที่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำมันหรือไขมัน และมีส่วนประกอบของกระเทียมและหัวหอมมีปริมาณ 16 PAHs ต่ำที่สุดเท่ากับ 45.19-56.09 μg/kg เมื่อเทียบกับน้ำหมักที่มีส่วนประกอบของไขมันหรือน้ำมันและไม่มีส่วนประกอบของกระเทียมและหัวหอม (Farhadian, Jinap, Faridah & Zaidul, 2012)

3. ถ่านที่ใช้ในการย่าง

1. การลดปริมาณสารระเหยในถ่านโดยการใช้อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ที่สูงในกระบวนการผลิตถ่าน จากการศึกษาอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ในการผลิตถ่านไม้ ที่ 500, 750 และ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 750 และ 1,000 องศาเซลเซียส มีปริมาณ 16 PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านน้อยกว่าที่ 500 องศาเซลเซียส (Chaemsai et al., 2016)

2. การเผาถ่านให้ติดไฟทั้งก้อนก่อนนำไปใช้ย่างจะช่วยลดควันและสารระเหยที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเผาถ่าน (Kao et al., 2014)

3. การเปลี่ยนถ่านที่สะสมของน้ำมันจะสามารถช่วยลดการเกิดสาร PAHs อาจจะทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนถ่าน แต่สามารถขายผลิตภัณฑ์ในราคาที่สูงขึ้นได้ เพราะแนวโน้มของผู้บริโภคในปัจจุบันมีการดูแลเอาใจใส่สุขภาพมากขึ้น การใช้ถ่านไม้ย่างเนื้อเป็นระยะเวลานานโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่านจะทำให้อาหารย่างมีปริมาณสาร PAHs มากกว่าอาหารย่างที่ย่างด้วยถ่านในช่วงแรก เนื่องจากมีการสะสมของปริมาณน้ำมันที่หยดลงบนถ่าน (Viegas et al., 2012)

4. อุณหภูมิและเวลาในการย่าง

การย่างด้วยถ่านไม้เพื่อให้ได้กลิ่น รสเฉพาะ ดังนั้นการทำให้สุกด้วยวิธีการอื่น เช่น การนึ่ง อบไมโครเวฟ ก่อนนำไปย่างด้วยถ่านไม้ เพื่อลดระยะเวลาการย่างที่อุณหภูมิสูงเป็นการลดสาร PAHs ในอาหารย่างได้ จากการศึกษาปริมาณ 16 PAHs ในส่วนต่างๆ ของไก่ย่างที่เวลาแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) พบว่า ส่วนของไก่ย่างทุกส่วนมีปริมาณ 16 PAHs เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น (Kao et al., 2014)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงปริมาณ 16 PAHs ในส่วนต่างๆ ของไก่ย่างที่เวลาแตกต่างกัน (Kao et al., 2014)

	ตับไก่		**น่องไก่**		**กึ๋นไก่**		**อกไก่**	
เวลา	**13 นาที**	**26 นาที**	**20 นาที**	**40 นาที**	**8 นาที**	**16 นาที**	**15 นาที**	**30 นาที**
PAHs (ng/g)	78.2±9.8	88.2± 10.3	93.5±21.2	118.3±23.3	6.3±0.9	6.7±0.2	20.5±2.6	238.8±8.3

5. การหยดของน้ำมันจากเนื้อสัตว์ลงบนถ่าน

1. การควบคุมไม่ให้น้ำมันจากเนื้อสัตว์หยดลงบนถ่าน โดยการห่อหุ้มเนื้อสัตว์ก่อนนำไปย่างบนถ่าน ซึ่งวิธีการนี้อาจจะไม่เหมาะสมกับภาคอุตสาหกรรม แต่หากเป็นการผลิตในปริมาณที่ไม่มากนักสามารถนำวิธีการหุ้มเนื้อสัตว์ก่อนนำไปย่างเพื่อลดปริมาณน้ำมันที่จะหยดลงบนถ่านได้ การใช้ใบตองและอลูมิเนียมฟอยด์หุ้มเนื้อสัตว์ก่อนนำไปย่างสามารถลดปริมาณสาร PAHs ได้ 80% และ 74% (Farhadian, Jinap, Hanifah & Zaidul, 2011) ทั้งนี้การลดลงของสาร PAHs อาจจะมาจากการควบคุมน้ำมันไม่ให้หยดลงบนถ่าน นอกจากนี้การห่อหุ้มเนื้อสัตว์เป็นการลดโอกาสการสัมผัสของควันที่มีสาร PAHs มาเกาะบนเนื้อสัตว์

2. การย่างแบบวางถ่านในแนวตั้ง โดยออกแบบแหล่งให้ความร้อนอยู่ในแนวตั้งเพื่อป้องกันการหยดของน้ำมันลงบนถ่าน ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และปฏิกิริยาไพโรไลซีส (pyrolysis) ของน้ำมันที่หยดลงมาบนถ่าน Saint (1992) ได้ทดลองการย่างปลาซาร์ดีนโดยการออกแบบแหล่งให้ความร้อนแบบแนวนอนและแนวตั้ง พบว่า การย่างปลาซาร์ดีนด้วยแหล่งให้ความร้อนแบบแนวนอนมีปริมาณสาร PAHs สูงกว่า 10-30 เท่า เนื่องจากมีการหยดของน้ำมันลงบนถ่าน

3. การลดปริมาณสาร PAHs จากหยดของน้ำมันลงบนถ่านโดยการควบคุมกระบวนการย่าง Lee et al. (2016) ได้ศึกษาปริมาณสาร PAHs ในเนื้อวัวและเนื้อหมูย่างโดยการออกแบบอุปกรณ์การย่างที่ลดปริมาณการหยดของน้ำมันลงบนถ่านและลดควันที่เกิดจากการย่าง พบว่าสามารถลดสาร PAHs ในเนื้อวัวและเนื้อหมูย่างลงได้ 48-89% ด้วยการลดปริมาณการหยดของน้ำมันลงบนถ่านและลดสาร PAHs ลง 41-74% ด้วยการลดควันที่เกิดจากการย่าง

บทสรุป

การย่างอาหารด้วยถ่านเป็นกระบวนการแปรรูปอย่างหนึ่งที่ใช้ความร้อนอุณหภูมิสูงในการปรุงอาหารอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของสาร PAHs สามารถสรุปปัจจัยและปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดสาร PAHs ในอาหารย่าง

ด้วยถ่านได้ดังนี้ 1) ปริมาณไขมันในเนื้อสัตว์และน้ำหมักเมื่อถูกความร้อนจะทำให้เกิด ปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัว (degradation) จะได้เบนซีนเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสาร PAHs 2) ถ่านที่ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงจะมีส่วนประกอบของสารระเหย (tar) เมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้สาร PAHs ติดมากับควันและเกาะที่ผิวของเนื้อสัตว์ นอกจากนี้เมื่อถ่านเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดสาร PAHs ขึ้น 3) การหยดของน้ำมันลงบนถ่านร้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส (pyrolysis) และเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เมื่อน้ำมันหยดลงบนถ่านทำให้เกิดควันขึ้นสาร PAHs จะลอยมาเกาะที่ผิวของเนื้อสัตว์ 4) อุณหภูมิในการย่างที่สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส (pyrolysis) ได้ นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัว (degradation) ของไขมัน การใช้ระยะเวลาย่างนานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัวจากความร้อน (degradation) เพิ่มขึ้น ซึ่งเพิ่มโอกาสการปนเปื้อนสาร PAHs ที่ติดมากับควัน บริเวณผิวของอาหารย่างและเพิ่มการสะสมของน้ำมันที่หยดลงบนถ่านไม้จากเนื้อสัตว์ได้

ข้อเสนอแนะ

การเสนอแนวทางการลดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านจากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำได้โดยการควบคุมปัจจัยที่ทำให้เกิดขึ้น ได้แก่ การออกแบบอุปกรณ์เพื่อควบคุมควันระหว่างกระบวนการย่างและน้ำมันที่หยดลงบนถ่านขณะย่างอาหาร การใช้ถ่านคุณภาพสูง การเผาถ่านทั้งก้อนก่อนนำไปย่างอาหาร การทำให้เนื้อสัตว์สุกบางส่วนก่อนนำไปย่าง การป้องกันน้ำมันไม่ให้หยดบนถ่านด้วยการห่อหุ้มเนื้อสัตว์ก่อนนำไปย่าง การใช้ถ่านคุณภาพสูงอาจจะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้นควรทดลองตลาดก่อนนำไปใช้จริง การป้องกันน้ำมันหยดลงบนถ่านด้วยการหุ้มเนื้อสัตว์อาจจะมีผลต่อกลิ่นรสของเนื้อสัตว์ เพราะเนื้อสัตว์จะไม่สัมผัสกับควันที่มาจากถ่าน ซึ่งควันจากถ่านจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะตัวในอาหารย่าง ดังนั้นควรมีการศึกษาระยะเวลาการย่างอาหารเพื่อให้อาหารสัมผัสควันทำให้เกิดกลิ่นรสที่เหมาะสมและมีปริมาณสาร PAHs เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

สรุป

การเกิดสาร PAHs ในอาหารย่างด้วยถ่านเป็นกลไกที่มีความซับซ้อน ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาได้สันนิษฐานกลไกการเกิดสาร PAHs จากปฏิกิริยา ดังนี้คือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion) ปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis) ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) และการสลายตัว (degradation) ปฏิกิริยาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการย่างอาหาร

ได้แก่ ปริมาณของไขมันในเนื้อสัตว์ ส่วนประกอบของเครื่องปรุงรสหรือน้ำหมักที่ใช้ในการหมักเนื้อสัตว์ก่อนนำไปย่าง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการย่าง และถ่านที่ใช้เป็นแหล่งให้ความร้อน

อ้างอิง

Alomirah, H., Al-Zenki, S., Al-Hooti, S., Zaghloul, S., Sawaya, W., Ahmed, N., and Kannan, K. (2011). Concentration and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food Control*, 22, 2028-2035.

Bansal, V. and Kim, K. (2015). Review of PAH contamination in food products and their health hazards. *Environment International*, 84, 26-38.

Britt, P. (2004). Does glucose enhance the formation of nitrogen containing polycyclic aromatic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in the pyrolysis of proline?. *Fuel*, 1417-1432.

Chaemsai, S., Kunanopparat, T., Srichumpuang, J., Nopharatana, M., Tangduangdee, C., & Siriwattanayotin, S. (2016). Reduction of the polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) content of charcoal smoke during grilling by charcoal preparation using high carbonisation and a preheating step. *Food Additives & Contaminants: Part A,* 33(3), 385-390.

Chen, B. H., & Chen, Y. C. (2001). Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Smoke from Heated Model Lipids and Food Lipids. *J. Agric. Food Chem*, 5238-5243.

COMMISSION REGULATION (EU) (n.d.) No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic. Retrieved January 10, 2017). Web site: https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Reg835_2011.pdf

Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A., and Zaidul, I. S. (2010). Determination of polycyclic aromatic hydrocacons in grilled meat. *Food Control*, 606-610.

Farhadian, A., Jinap, S., Hanifah, H. N., and Zaidul, I. S. (2011). Effects of meat preheating and wrapping on the levels of levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal grilled meat. *Food Chemistry*, 141-146.

Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A., and Zaidul, I. S. M. (2012) Effects of marinating on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene and fluoranthene) in grilled beef meat, *Food Control*, 28, 420-425.

Gibis, M. (2007). Effect of oil marinades with garlic, onion and lemon juice on the formation of heterocyclic aromatic amines in fried beef patties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55, 10240-10247.

Hassan, G.M. (2010). Nutritional, biochemiacal and cytogenotoxicity studies on wasted fat released from chicken during grilling process. *Food and Chemical Toxicology*, 2675-2681.

Jahurul, M. J. (2013). Determination of fluoranthene, benzo(b)fluoranthene and benzo(a)pyrene in meat and fish product and their in take by Malaysian. *Food Bioscience*, 73-80.

Kao, T. H., Chen, S., Huang, C. W., Chen C. J., and Chen, B. H. (2014). Occurrence and exposure to Polycyclic aromatic hydrocarbons in kindling free charcoal grilled meat products in Taiwan. *Food and Chemical Toxicology*,71, 149-158.

Lee, J. G, Kim, S.Y , Moon, J.S , Kim , S.H , Kang, D.H, and Yoon, H.J. (2016). Effects of grilling procedure on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632-638.

Maher, K. &. Bressler, L (2007). Pyrolysis of triglyceride materials for the production. *Bioresource Technology*, 2351–2368.

Orecchio, S. C. (2009). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in coffee brew samples: Analytical method by GC-Ms, profile, levels and sources. *Food and Chemical Toxicology*, 47(4), 819-826.

Pan, H. and Cao, Y. (2010). Optimization of pretreatment procedures for analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled pork. *Anal. Lett*. 43, 97–109.

Park, H. (2017). Effects of cooking methods and tea marinades on the formation of benzo[a]pyrene in grilled pork belly (Samgyeopsal). *Meat Science,* 129, 1–8.

Phillips, D. H. (1999). Polycyclic aromatic hydrocabons in the diet. *Mutation Research*, 139-147.

Prathomtong, P, Panchatee, C., Kunanopparat, T., Srichumpuang, W. and Nophaeatara, M. (2016). Effect of charcoal composition and oil droplet combustion on the polycyclic aromatic

hydrocarbon content of smoke during the grilling process, *International Food Research Journal*, 23(4), 1372-1378.

Saint, C. (1992). Evaluation of the induction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) by cooking on two geometrically different types of barbecue. *J. Food Compos*, 257-263.

Saito, E. Tanaka, T. N., Miyazaki A. and M. Tsuzaki. (2014). Concentration and particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons formed by thermal cooking. *Food Chemistry*, 285-291.

Simko, P. (2011). Heat and processing generated contaminants in processed meat. *Processed meat*, 478-507.

Singh, L., Varshney, J. G. and Agarwal. T. (2016). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons' Formation and Occurrence in Processed Food. *Food chemistry*, 768-781.

Tamakawa, K. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons. In Y. PICO, *Food contaminants and residue analysis* (pp. 473-518). Hungary.

Viegas, O., Novo, P., Pinto, E., Pinho, O., and Ferreira, I. (2012). Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled. *Food and Chemical Toxicology*, 2128-2134.

Wongmaneepratip, W and Vangnai. K., (2017). Effects of oil types and pH on carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled chicken. *Food control*, 119-125.