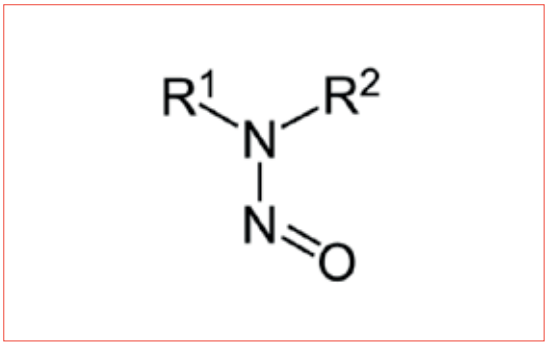
ไนโตรซามีน
สารก่อมะเร็งในอาหาร
Carcinogenic N-nitrosamines in foods

ศิริพร ตันจอ (Siriporn Tanjor)

ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ (Department of Nutrition and Health)
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Institute of Food Research and Product Development)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

"ไนโตรซามีน" เป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งในอาหาร ซึ่งอาจพบได้ในอาหารธรรมชาติทั่วไปและพบสูงในอาหารที่ผ่านการแปรรูปโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อหมัก อย่างไรก็ตาม แม้จะเป็นอาหารชนิดเดียวกัน ปริมาณสารก่อมะเร็งชนิดนี้อาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณไขมันในอาหาร ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการถนอมอาหาร วิธีการและอุณหภูมิที่ใช้ในการปรุงอาหาร ตลอดจนวิธีการเก็บรักษาอาหาร เพื่อไม่ให้เกิดโทษต่อสุขภาพผู้บริโภคจึงควรจำกัดปริมาณการรับประทาน รวมทั้งเลือกวิธีในการปรุงอาหารที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณการได้รับสารก่อมะเร็งชนิดนี้เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งหากบริโภคไม่ระวัง จะสะสมจนทำให้เกิดผลเสียหรือความผิดปกติต่อเซลล์จนกลายเป็นมะเร็งที่อวัยวะใดอวัยวะหนึ่งของร่างกายได้ เช่น มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งลำไส้ เป็นต้น

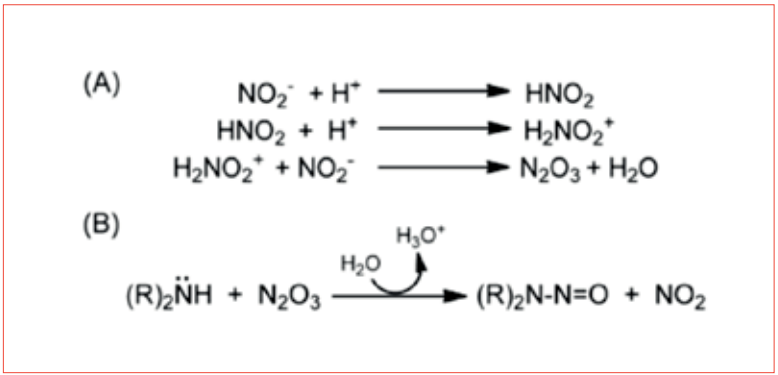
ไนโตรซามีน (nitrosamines) เป็นกลุ่มของสารประกอบเอ็นไนโตรโซ (N-nitroso compounds) มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสารกลุ่มไนโตรโซกับสารเอมีน (รูปที่ 1) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารก่อมะเร็ง พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งในอาหาร การเกิดสารประกอบดังกล่าวจึงต้องมีสารตั้งต้นที่สำคัญคือ สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนและสารเอมีน โดยสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนสามารถสร้างขึ้นได้จากสารไนไตรต์ที่พบได้ในอาหารทั่วไป รวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่มีการใช้สารประกอบกลุ่มไนไตรต์และ/หรือสารไนเตรตเพื่อการถนอมอาหาร ส่วนเอมีนสามารถพบได้ในอาหารที่มีโปรตีนเป็นส่วน



รูปที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของไนโตรซามีน
ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrosamine#/media/File:Nitrosamine_Formulae_V.1.svg

ประกอบ (Rostkowska *et al*., 1998; Sun *et al*., 2011; U.S. Department of Health and Human Services, 2016)

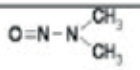
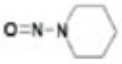
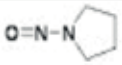
ภายใต้สภาวะกรด เช่น ในกระเพาะอาหารปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้โดยเริ่มจากสารไนไตรต์ (NO_2^-) ทำปฏิกิริยากับ H^+ ได้เป็นสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนหรือไดไนโตรเจนไตรออกไซด์ (dinitrogen trioxide; N_2O_3) ซึ่งเป็นสาร nitrosating agent ที่สำคัญที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารเอมีน (secondary or tertiary amines) สุดท้ายได้เป็นสารประกอบไนโตรซามีน (Rostkowska *et al*., 1998; Sun *et al*., 2009) (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดสารไนโตรซามีน
ที่มา: Park *et al*. (2015)

ชนิดของสารไนโตรซามีนที่พบในอาหาร

สารไนโตรซามีนมีหลายชนิด ชนิดที่พบในอาหาร เช่น N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-nitrosodiethylamine (NDEA), N-nitrosopiperidine (NPIP), N-nitrosopyrrolidine (NPYR), N-nitrosodibutylamine (NDBA), N-nitrosomorpholine (NMOR), N-nitrosomethylethylamine (NMEA) และ N-nitrososarcosine (NSAR) เป็นต้น (Lijinsky, 1999; Jakszyn *et al*., 2011 และ Park *et al*., 2015) ตัวอย่างโครงสร้างของสารกลุ่มไนโตรโซกับสารเอมีนที่เกิดขึ้นในอาหาร (biogenic amines) เช่น สาร N-nitrosodimethylamine (NDMA) สร้างขึ้นจาก spermidine และ putrescine สาร N-nitrosopiperidine (NPIP) สร้างขึ้นจาก cadaverine หรือ piperidine และสาร N-nitrosopyrrolidine (NPYR) สร้างขึ้นจาก spermidine และ spermine (Drabik-Markiewicza *et al*., 2011) (รูปที่ 3)

Compound	Molecular structure
N-Nitrosodimethylamine	
N-Nitrosopiperidine	
N-Nitrosopyrrolidine	
Putrescine	
Cadaverine	
Spermidine	
Spermine	

รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของ N-nitrosamines และ biogenic amines
ที่มา: Drabik-Markiewicz *et al*. (2011)

องค์กรระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer) ภายใต้องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้จัดสารไนโตรซามีนชนิด NDMA และ NDEA ให้อยู่ในกลุ่ม 2A คือ น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (probably carcinogenic to humans) และสารไนโตรซามีนชนิด NPIP NPYR NDBA NMOR NMEA และ NSAR จัดให้อยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B คือ อาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (possibly carcinogenic to human)

อาหารที่มีโอกาสพบสารก่อมะเร็งไนโตรซามีน

อาหารหลายชนิดมีโอกาสที่จะพบสารก่อมะเร็งไนโตรซามีน หากมีสารตั้งต้นที่สำคัญต่อการเกิดสารประกอบดังกล่าว ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากพืชผลทางการเกษตร รวมถึงผักสดและผลไม้ ซึ่งเกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยมากเกินไป ส่งผลให้เกิดสารไนเตรตตกค้าง โดยเฉพาะผักประเภทใบและหัว (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553) ผลิตภัณฑ์จากอาหารทะเลโดยเฉพาะอาหารทะเลแปรรูป เช่น ปลาเค็ม ปลาแห้ง กะปิ กุ้งแห้ง ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และเนื้อสัตว์แปรรูปเกิดขึ้นจากการใช้สารไนเตรต-ไนไตรต์ในการถนอมอาหาร เช่น โพแทสเซียมไนเตรต (ดินประสิว) โซเดียมไนไตรต์และโซเดียมไนเตรตที่นิยมใส่ในผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมัก (cured meat) เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงคงตัวและยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรีย ก่อโรคได้ ส่วนสารไนโตรซามีนที่พบในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มมอลต์เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตส่งผลต่อการเกิดสารประกอบไนโตรซามีนขึ้นจากสารเอมีนบางชนิด (gramine และ hordenie) ที่พบในข้าวมอลต์ รวมทั้งซอสและผงปรุงรสที่มีส่วนประกอบของพริกไทยดำและเกลือ ซึ่งมีสารตั้งต้นที่สำคัญเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบได้ในผลิตภัณฑ์นมและผลิตภัณฑ์จากนม และน้ำมันที่ใช้สำหรับบริโภค เป็นต้น (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณไนโตรซามีนที่พบในอาหาร

กลุ่มอาหาร	ตัวอย่างอาหาร	ปริมาณไนโตรซามีนในอาหาร	ชนิดที่พบ	อ้างอิง
ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และเนื้อสัตว์แปรรูป	เนื้อหมูติดมันรมควัน (smoked pork brisket) ไส้กรอก ไส้กรอกทอดหรือสุก แฮม เบคอน ไส้กรอกรมควัน แหนม กุนเชียง และเนื้อเค็ม รวมไปถึงอาหารหลักและอาหารรอง (main dish or mixed dish) ประเภทเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อแกะ แซนวิช เนื้อย่างโดเนอร์กะบับ (Doner Kebab) ซึ่งเป็นเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ เสียบไม้และนำมาย่าง เป็นต้น	- อาหารประเภทเนื้อสัตว์ พบปริมาณน้อย (nd; not detected) สูงสุดถึง 37 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในเนื้อหมูติดมันรมควัน (ชนิดที่พบคือNPIP) - ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป เช่น ไส้กรอกรมควัน พบทั้งชนิด NDMA NDEA และ NPIP ปริมาณ 10.3, 9.3 และ 7.2 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ - เบคอน พบสูงสุด 13.69 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม - อาหารหลักและอาหารรอง พบสูงสุด 3.24 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม - เนื้อเป็ดไก่ทอด พบสูงสุด 13.28 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม - เนื้อย่างโดเนอร์กะบับ พบสูงสุดถึง 16.63 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	พบกระจายเกือบทุกชนิด ชนิดที่พบส่วนใหญ่ คือ NDMA และ NDEA	Park *et al*., 2015; Griesenbeck, 2009; Ozel *et al*., 2010; Al-Kaseem *et al*., 2014; Lijinsky, 1999

ตารางที่ 1 ปริมาณไนโตรซามีนที่พบในอาหาร (ต่อ)

กลุ่มอาหาร	ตัวอย่างอาหาร	ปริมาณไนโตรซามีนในอาหาร	ชนิดที่พบ	อ้างอิง
อาหารทะเล	ปลาเค็ม ปูอัด	ปลาเค็ม พบทุกตัวอย่าง มากกว่า 20.29 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม พบสูงสุด 373.19 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ชนิดที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ NDMA และ NDEA	Park *et al*., 2015; Lijinsky, 1999
ผลิตภัณฑ์จากพืช ผลทางการเกษตร	กิมจิ ผลไม้ ผักสด ผักแช่แข็ง เห็ด และน้ำผลไม้	กิมจิ พบชนิด NDMA สูงสุด 6.9 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ชนิดที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ NDMA NDEA NDBA และ NPIP	Park *et al*., 2015
ผลิตภัณฑ์นมและผลิตภัณฑ์จากนม	ชีส และนมไขมันต่ำ	ชีส พบชนิด NDEA สูงสุดที่ 4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ชนิดที่พบส่วนใหญ่ คือ NDMA NDEA และ NPIP	Park *et al*., 2015; Griesenbeck, 2009; Lijinsky, 1999
เครื่องดื่มแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มมอลต์	เบียร์ เครื่องดื่มมอลต์ และวิสกี้	เบียร์ และเครื่องดื่มมอลต์ พบ 1.49 และ 1.23 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ และพบ NDMA สูงสุดในวิสกี้ 2.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ชนิดที่พบสูงคือ NDMA NDEA และ NMOR	Park *et al*., 2015; Griesenbeck, 2009; Lijinsky, 1999
น้ำมันและผลิตภัณฑ์	น้ำมันพืช น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันมะกอก และน้ำมันงา รวมทั้งเนย และเนยเทียม	น้ำมันพืช พบชนิด NDMA และ NDEA สูงสุด 23 และ 21 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เนยเทียมพบสูงสุด 5.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ชนิดที่พบสูง คือ NDMA และNDEA	Park *et al*., 2015
เครื่องปรุงรส	ซอสปรุงรสที่ทำมาจากถั่วเหลือง และผงปรุงรสที่มีส่วนผสมของพริกไทยดำและเกลือ	ผงปรุงรส ชนิดที่พบเป็นส่วนใหญ่ คือ NDMA ปริมาณที่พบสูงสุด 13.48 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เครื่องปรุงรสที่ทำมาจากถั่วเหลือง ปริมาณที่พบสูงสุด 3.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ผงปรุงรส อาจพบสารไนโตรซามีนเกือบทุกชนิด พบสูงสุด คือ NDMA รองลงมาคือ NPYR และ NPIP	Park *et al*., 2015

ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของสารประกอบไนโตรซามีน

ชนิด และคุณภาพของเนื้อสัตว์ รวมถึงปริมาณไขมันที่มีอยู่ในอาหารกระบวนผลิตหรือการแปรรูปอาหารและอุณหภูมิและวิธีการปรุงอาหารก่อนรับประทานล้วนส่งผลต่อปริมาณของสารประกอบไนโตรซามีน โดยพบว่ากระบวนผลิตหรือแปรรูปอาหารมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งในธรรมชาติของเนื้อสัตว์ดิบจะไม่พบสารไนโตรซามีน แต่จะเกิดขึ้นหลังผ่านกระบวนผลิตหรือแปรรูปอาหารหรือการปรุงอาหาร ได้แก่ กรรมวิธีในการแปรรูปอาหาร การเติมสารกันเสีย การหมักดองอาหาร การเติมส่วนผสมบางชนิด ตลอดจนความร้อนที่ใช้ในการปรุงอาหารและการเก็บรักษาอาหาร เป็นต้น (Yurchenko and Molder, 2007 และ Al-Kaseem *et al*., 2014)

1) ปริมาณโซเดียมไนไตรต์ต่อปริมาณสารไนโตรซามีน

การเติมโซเดียมไนไตรต์มีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารไนโตรซามีนที่เพิ่มขึ้น จากการทดสอบในผลิตภัณฑ์เนื้อแกะดิบ (raw mutton) พบว่า หากไม่มีการเติมสารโซเดียมไนไตรต์ ($NaNO_2$) ในผลิตภัณฑ์ จะตรวจสารประกอบนี้ไม่พบ (not detected) แต่เมื่อมีการเติมสารโซเดียมไนไตรต์ พบสารไนโตรซามีนเพิ่มขึ้นทุกชนิด ทั้ง NDMA NDEA NPYR

NPIP และ NDBA พบว่าชนิด NPYR มีมากที่สุด โดยพบ 0.16 ไมโครกรัมต่อโซเดียมไนไตรต์ 1 มิลลิกรัม รองลงมา คือ NDMA 0.02 ไมโครกรัมต่อโซเดียมไนไตรต์ 1 มิลลิกรัม และ NPIP 0.014 ไมโครกรัมต่อโซเดียมไนไตรต์ 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น หากผลิตภัณฑ์มีการเติมโซเดียมไนไตรต์ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะพบสารสารไนโตรซามีนชนิด NPYR 1.91 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ NDMA 0.47 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และ NPIP 0.31 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งหากใส่สารเพิ่มขึ้นเป็น 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะพบสารไนโตรซามีนแต่ละชนิดเป็น 0.66 0.63 และ 0.43 ตามลำดับ แต่หากเติมสารเป็น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะพบสาร

ไนโตรซามีนแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า (Yurchenko and Molder, 2007) เช่นเดียวกับปริมาณสารไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ที่มีการใส่สารไนไตรต์ที่ต่างกัน เช่น ไส้กรอกรมควัน (smoked sausage) จะพบสารไนโตรซามีนน้อยกว่าไส้กรอกกึ่งรมควัน (half-smoked sausage) ซึ่งน่าจะสัมพันธ์กับปริมาณการใช้โซเดียมไนไตรต์ที่น้อยกว่า (Yurchenko and Molder, 2007 และ Al-Kaseem *et al*., 2014) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารโซเดียมไนไตรต์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในปริมาณที่น้อยกว่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะพบสารไนโตรซามีนแต่ละชนิด ได้แก่ NPYR NDMA และ NPIP น้อยกว่า 2 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม แต่เมื่อมีการใช้สารนี้มากขึ้นเป็น 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะพบปริมาณสารไนโตรซามีนชนิด NPIP เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเป็น 7 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Hermann *et al*., 2015a)

2) วิธีการปรุงอาหารและอุณหภูมิต่อปริมาณสารไนโตรซามีน

หากเปรียบเทียบวิธีการทำอาหารที่แตกต่างกัน จะพบปริมาณไนโตรซามีนสูงในเนื้อสัตว์ที่ผ่านการทอด การย่าง และการรมควัน ตามลำดับ เนื่องจากความร้อนอาจมีผลทำให้สารไนไตรต์กลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ได้มากขึ้น รวมถึงกระบวนการให้ความร้อนส่งผลต่อโปรตีนในเนื้อสัตว์ เกิดเป็นสารเอมีนบางชนิด (cadaverine) ส่งผลให้เกิดสารประกอบไนโตรซามีนมากขึ้นเช่นกัน ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปทุกชนิด ได้แก่ เนื้อสัตว์รมควัน (ไส้กรอก แฮม เบคอน และเนื้อหมู) เนื้อสัตว์ย่าง (ไส้กรอก เนื้อเป็ดไก่ และเนื้อหมู) เนื้อสัตว์ทอด (เนื้อเป็ดไก่เนื้อหมูและเนื้อแกะ) เนื้อสัตว์บรรจุในกระป๋อง (เนื้อวัว เนื้อเป็ดไก่ และเนื้อหมู) และเนื้อสัตว์ที่ผ่านการหมักดอง (เนื้อเป็ดไก่และเนื้อหมู) พบปริมาณไนโตรซามีนอยู่ในช่วง 0.64 –18.52 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบปริมาณสูงสุดในเนื้อเป็ดไก่ทอด รองลงมาคือ เนื้อเป็ดไก่ย่าง และเนื้อหมูรมควัน ตามลำดับ (Yurchenko and Molder, 2007)

จากการทดสอบในผลิตภัณฑ์เนื้อแกะอบด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันนาน 30 นาที พบว่า ความร้อนมีผลต่อปริมาณสารไนโตรซามีน หากใช้อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า 170 องศาเซลเซียส จะพบสารประกอบสารไนโตรซามีนเพิ่มขึ้นอีก 1 เท่า อย่างชัดเจน ชนิดที่พบมากที่สุด คือ NPYR NDMA และ NPIP ตามลำดับ รวมไปถึงวิธีการปรุงอาหารให้สุกมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณสารไนโตรซามีนที่ตรวจพบ คือ การทอดโดยใช้น้ำมันน้อย (pan frying) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะพบปริมาณสารไนโตรซามีนที่สูงกว่าการอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีผลต่อสารไนโตรซามีนชนิด NPYR และ NPIP ที่เพิ่มสูงขึ้นกว่า 5 เท่า รองลงมา

คือ NDMA และ NDEA ที่สูงเกือบ 2 เท่า และพบปริมาณสารไนโตรซามีนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทำอาหารแบบ pan frying โดยจะเพิ่มอย่างชัดเจนหลังจากที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นกว่า 80 องศาเซลเซียส(Yurchenko and Molder, 2007) เช่นเดียวกับการทอดเบคอนหรือการอบไส้กรอกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะพบสารไนโตรซามีนชนิด NPYR และ NPIP เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Herrmann *et al*., 2015b)

จากการทดสอบในผลิตภัณฑ์เนื้อแกะดิบ (raw mutton) หากมีการเติมสารโซเดียมไนไตรต์เมื่อนำมาทำให้สุกด้วยวิธีการทอดโดยใช้น้ำมันน้อยนาน 30 นาที พบสารไนโตรซามีนทุกชนิดเพิ่มขึ้น โดยชนิด NPYR พบเพิ่มขึ้นสูงสุด 6-8 เท่า รองลงมา คือ NDMA และ NPIP ซึ่งหากผลิตภัณฑ์มีการเติมโซเดียมไนไตรต์ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะพบสารสารไนโตรซามีนชนิด NPYR เพิ่มขึ้นเป็น 32.81 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ NDMA 4.22 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และ NPIP 2.75 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Yurchenko and Molder, 2007) ในตัวอย่างไส้กรอกดิบ (ไส้กรอกหมูเนื้อล้วนผสมมันหมูในสัดส่วน 75:25 และมีโซเดียมไนไตรต์ 0.015% หรือ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่พบสารไนโตรซามีนชนิด NPYR เป็นส่วนใหญ่ (75%) ปริมาณรวมเริ่มต้นที่พบ 5.31 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม หากนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที จะไม่พบความแตกต่างของปริมาณไนโตรซามีน (5.58 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการทำให้สุกด้วยเตาไมโครเวฟ (4.95 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) แต่หากนำไปทอดจะพบสารไนโตรซามีนรวมเพิ่มขึ้น 30% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดิบ (6.88-6.92 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ชนิดที่เพิ่มขึ้น คือ NDMA NDEA และ NPYR ทั้งการทอดแบบใช้น้ำมันน้อยและการทอดโดยให้อาหารจมอยู่ในน้ำมันที่อุณหภูมิสูง 150 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที นอกจากนี้ยังพบปริมาณของสารเอมีน (biogenic amines) ลดลงโดยเฉพาะ cadaverine และ spermine นั้น หมายถึงการทอดอาหารน่าจะส่งผลทำให้เกิดสารประกอบไนโตรซามีนมากขึ้นโดยเฉพาะชนิด NDMA และ NPYR รวมทั้งการปรุงสุกด้วยวิธีการต้มและใช้เตาไมโครเวฟ ก็ส่งผลต่อปริมาณ biogenic amines ลดลงเช่นกัน (Li *et al*., 2012)

3) การเติมเครื่องหมัก เครื่องเทศต่อปริมาณสารไนโตรซามีน

การเติมหรือหมักเครื่องเทศในเนื้อสัตว์ นอกจากจะช่วยแต่งกลิ่นและรสชาติของอาหารแล้ว ยังช่วยดับกลิ่นคาวของเนื้อสัตว์ก่อนนำมาปรุงอาหาร ในเครื่องเทศบางชนิดมีสารเอมีนซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการเกิดสารประกอบไนโตรซามีน หากมีการใช้ในอาหาร อาจส่งผลให้ปริมาณสารไนโตรซามีนเพิ่มขึ้นได้ จากการทดลองหมักหรือปรุงรสชาติเนื้อสัตว์พบว่า ในกลุ่มเนื้อสัตว์ทอด เนื้อเป็ดไก่ที่ปรุงรสด้วยเครื่องเทศที่มีรสเผ็ด (paprika) จะพบปริมาณสารไนโตรซามีนที่สูงกว่าเล็กน้อย (เนื้อสัตว์ที่ใช้เครื่องเทศพบ 24.42 ไมโครกรัม และเนื้อสัตว์ที่ไม่ใช้เครื่องเทศพบ 18.52 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) โดยพบชนิด NPYR เป็นส่วนใหญ่ (ประมาณ 80%) รองลงมา คือ NDMA และ NPIP ตามลำดับ เช่นเดียวกับในกลุ่มเนื้อสัตว์ย่าง หากมีการใช้เครื่องเทศ (spices) ในเนื้อเป็ด ไก่ และเนื้อหมูย่างจะพบสารไนโตรซามีนสูงเกือบ 2 เท่า (เนื้อสัตว์ที่ใช้เครื่องเทศพบ 18.87 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และเนื้อสัตว์ที่ไม่ใช้เครื่องเทศพบ 11.97 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) โดยพบชนิด NPYR เป็นส่วนใหญ่ รองลงมา คือ NPIP และ NDMA เช่นกัน อาจเนื่องมาจากเครื่องเทศที่มีรสเผ็ดมีสาร

ตั้งต้นของสารไนโตรซามีนชนิด NPYR จึงทำให้พบปริมาณสารนี้สูงกว่าเนื้อสัตว์ที่ไม่มีการปรุงรส เช่นเดียวกับเครื่องเทศ (spices) เช่น พริกไทยดำ ที่พบสารเอมีนชนิดปิเปอริดีน (piperidine) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารประกอบไนโตรซามีนชนิด NPIP โดยพบว่าการเพิ่มพริกไทยดำ (black pepper) ลงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก จาก 1.25 เป็น 5.0 กรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลต่อปริมาณ NPIP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก 0.1เป็น 0.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Herrmann *et al*., 2015a) ในประเทศไทย ได้มีการสำรวจปริมาณสารไนโตรซามีนในหมูยอที่มีการใส่พริกไทยพบว่า มีสารไนโตรซามีนชนิดเดียว คือ NPIP สูงถึง 3.2-371.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รวมทั้งมีการวิเคราะห์ปริมาณเอมีนที่สำคัญ คือ ปิเปอรีน (piperine) และปิเปอริดีน (piperidine) พบว่าพริกไทยดำมีเอมีนทุกชนิดสูงกว่าพริกไทยขาว นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพริกไทยขาวป่นและโซเดียมไนไตรต์ต่อการเกิดไนโตรซามีนในเครื่องปรุงที่ผสมกันไว้แล้ว จะพบสารไนโตรซามีนสูงกว่าการแยกผสมกว่า 10 เท่า โดยจะพบปริมาณที่มากขึ้นหากมีการผสมกับโซเดียมไนไตรต์ที่มากขึ้น ผลการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นว่า การใช้สารไนไตรต์ปริมาณมากควบคู่กับพริกไทยในผลิตภัณฑ์หมูยอมีผลทำให้เกิดสารประกอบไนโตรซามีนชนิด NPIP โดยเฉพาะการผลิตหมูยอโดยใส่พริกไทยและไนไตรต์ในรูปเครื่องปรุงผสมแล้ว (อำนวยพร, 2533)

4) ปริมาณไขมันต่อปริมาณสารไนโตรซามีน

จากการเปรียบเทียบเนื้อหมูติดมันและเนื้อหมูที่ไม่ติดมันพบว่าเนื้อหมูติดมันมีปริมาณสารไนโตรซามีนสูงกว่า 5 เท่า (เนื้อหมูที่ไม่ติดมันพบ 3.55 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และเนื้อหมูติดมันพบ 19.31 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) โดยพบสารไนโตรซามีนชนิด NPYR เป็นส่วนใหญ่ (มากกว่า 70%) รองลงมาคือ NDMA และ NPIP ตามลำดับ ซึ่งหากมีการปรุงรสเพิ่มขึ้นยิ่งส่งผลให้เกิดสารไนโตรซามีนสูงขึ้นเกือบ 2 เท่า เป็น 5.43 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในเนื้อหมูที่ไม่ติดมัน และ 32.46 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในเนื้อหมูติดมัน เช่นเดียวกับการทดลองอบเนื้อแกะกับน้ำมันมะกอก จะพบปริมาณสารไนโตรซามีนสูงขึ้น โดยพบทั้งชนิด NPYR NDMA และ NPIP เพิ่มขึ้นเกือบ 3 เท่า ซึ่งหากมีการเลาะไขมันสัตว์ส่วนเกินออก ปริมาณสารไนโตรซามีนลดลงเล็กน้อย 25% (Yurchenko and Molder, 2007)

บทสรุปและการนำไปใช้ประโยชน์

อาหารแต่ละชนิดจะพบปริมาณสารไนโตรซามีนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณไขมันที่มีอยู่ในอาหาร รวมถึงการใช้สารเคมีในการถนอมอาหาร และสารปรุงแต่งรสหรือกลิ่นที่มีส่วนผสมของเกลือและเครื่องเทศ จึงทำให้พบสารไนโตรซามีนสูงในกลุ่มผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป โดยเฉพาะกลุ่มเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมัก เช่น ไส้กรอก แฮม และเบคอน นอกจากนี้แล้ว อาหารชนิดเดียวกันก็ยังพบปริมาณไนโตรซามีนที่แตกต่างกันไปตามวิธีการและความร้อนที่ใช้ในการปรุงอาหาร ดังนั้นจึงไม่ระบุปริมาณไนโตรซามีนควบคุมในอาหารอย่างชัดเจน แต่ในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกาและแคนาดา ได้กำหนดปริมาณสารไนโตรซามีนที่อนุญาตในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และเนื้อสัตว์แปรรูป (cured meat products) ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (Nollet and Toldra, 2009) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ของการบริโภคอาหารที่มีไนโตรซามีนหรืออาหารที่มีความเสี่ยงสูง เช่น การบริโภคผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป ต่อการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งกระเพาะอาหาร โดยพบความสัมพันธ์กับการบริโภคสารไนไตรต์ที่ 66.4 – 220 มิลลิกรัมต่อวัน และสารไนโตรซามีนชนิด N-nitrosodimethyl-amine (NDMA) 0.12 ไมโครกรัมต่อวันต่อการเกิดโรคมะเร็ง (Song *et al*., 2015) และมะเร็งลำไส้ใหญ่และไส้ตรง (Norat *et al*., 2005) เป็นต้น จากข้อมูลวิจัยทางระบาดวิทยาที่ได้นำเสนอล่าสุดพบว่า การบริโภคเนื้อสัตว์ประเภทเนื้อแดง 100 กรัม หรือการบริโภคเนื้อสัตว์แปรรูป 50 กรัม ทุกวัน จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่และไส้ตรงเพิ่มสูงขึ้น 17% หรือเท่ากับการบริโภคเบคอน 4 ชิ้น หรือไส้กรอก 1 ชิ้น เป็นต้น (Bouvard *et al*., 2015)

เนื่องจากสารประกอบกลุ่มไนเตรต-ไนไตรต์ ได้แก่ โซเดียมไนไตรต์ และโพแทสเซียมไนไตรต์

มีประโยชน์ในด้านการยืดอายุการเก็บรักษาและการป้องการการเสื่อมเสียของอาหารที่จะอาจเกิดขึ้นได้จากเชื้อจุลินทรีย์ และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค จึงนิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค มาตรฐานทั่วไปสำหรับการใช้วัตถุเจือปนอาหารของโคเด็กซ์ (Codex General Standard for Food Additives) จึงได้กำหนดปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บดและผ่านกรรมวิธี และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั้งตัวหรือตัดแต่งทำให้สุกโดยใช้ความร้อนไว้ไม่เกิน 80 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (Codex, 2016; สำนักงานอาหาร, 2557) อย่างไรก็ตาม จากผลการสำรวจผลิตภัณฑ์อาหารเนื้อสัตว์แปรรูปในประเทศไทย เช่น ไส้กรอก ซึ่งส่วนใหญ่ (90%) มีการเจือปนของสารดังกล่าว โดยพบตัวอย่างที่มีสารเกินมาตรฐาน 20% (ฉลาดซื้อ, 2559) รวมทั้งไส้กรอกไก่ ไส้กรอกหมู กุนเชียงหมู แหนมหมู และหมูยอ ที่จำหน่ายทั่วไป กว่า 900 ตัวอย่าง พบตัวอย่างที่มีค่าเกินมาตรฐานในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ ไส้กรอกหมู และกุนเชียงหมู 5.1 3.6 และ 6.6% ตามลำดับ รวมทั้งในผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่ไม่อนุญาต แต่พบการปนเปื้อน เช่น หมูยอที่มีการปนเปื้อนมากกว่า 50% โดยพบว่ากลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงในการได้รับสารนี้มากที่สุด คือ กลุ่มเด็กอายุ 3-5.9 ปี (เวณิกา และคณะ, 2011) อาหารประเภทนี้สามารถซื้อรับประทานได้ง่าย ทั้งร้านอาหารชั้นนำตลอดจนริมบาทวิถี หากเป็นไปได้ ผู้บริโภคจึงควรหลีกเลี่ยงหรือจำกัดการบริโภคอาหารกลุ่มนี้ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย รวมทั้งผู้ปกครองต้องเพิ่มเวลาในการดูแลเรื่องอาหารการกินให้กับเด็กเล็กให้มาก เพราะเขาไม่สามารถที่จะเลือกอาหารที่มีประโยชน์ไม่เป็นโทษต่อสุขภาพรับประทานเองได้ เพื่อป้องกันการเจ็บป่วยในอนาคต

คำสำคัญ: สารไนโตรซามีน สารก่อมะเร็ง เนื้อสัตว์ เนื้อสัตว์แปรรูป เนื้อสัตว์ประเภทเนื้อหมัก

Keywords: nitrosamines, carcinogens, meat, processed meat, cured meat

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2553. อันตรายจากสารไนโตรซามีน (Danger of Nitrosamines). สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR23.pdf [4 กรกฎาคม 2559].

ฉลาดซื้อ. 2559. ศูนย์ทดสอบฉลาดซื้อ ประเภทอาหารและสุขภาพ ฉบับที่ 181 ไนเตรทและไนไตรท์ ในไส้กรอก. http://www.chaladsue.com/new/index.php/ศูนย์ทดสอบฉลาดซื้อประเภทอาหาร-สุขภาพ-32662/2351-ศูนย์ทดสอบฉลาดซื้อ ประเภทอาหารและสุขภาพ ฉบับที่ 181 ไนเตรทและไนไตรท์ ในไส้กรอก [12 ตุลาคม 2559].

เวณิกา เบ็ญจพงษ์ วีรยา การพานิช จิรารัตน์ เทศะศิลป์ จุติมา ลิขิตรัตนพร ปิยนุช วิเศษชาติ นริศรา ม่วงศรีจันทร์ และฐิติมา โพธิ์ชัย. 2011. การประเมินการได้รับไนเตรตและไนไตรต์จากการบริโภคเนื้อสัตว์แปรรูปของประชากรไทย. KKU Research Journal 16(8): 931-941.

สำนักงานอาหาร. 2557. ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหารตามมาตรฐานทั่วไปสำหรับวัตถุเจือปนอาหารของโคเด็กซ์. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. http://food.fda.moph.go.th/data/FoodAdditives/GSFA_2014.pdf [12 ตุลาคม 2559].

อำนวยพร ฤทธิจันทร์. 2533. ผลของปริมาณเกลือไนไตรท์และพริกไทยต่อการเกิด Volatile N-nitrosamine ในหมูยอ. กรุงเทพฯ:บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Al-Kaseem M, Al-Assaf Z and Karabeet F. 2014. Determination of seven volatile N-nitrosamines in fast food. Pharmacology and Pharmacy 5 (2): 195-203.

Bouvard V, Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, Ghissassi FE, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Mattock H and Straif K. 2015. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. The Lancet Oncology 16 (16): 1599–1600.

Codex. 2016. Codex General Standard for Food Additives (GSFA). http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/gsfa/en/ [4 October 2016].

Drabik-Markiewicza G, Dejaegherc B, De Meya E, Kowalskab T, Paelincka H and Heydenc VY. 2011. Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of N-nitrosamine in heated cured pork meat. Food Chemistry 126 (4): 1539–1545.

Griesenbeck JS, Steck MD, Huber Jr JC, Sharkey JR, Rene AA and Brender JD. 2009. Development of estimates of dietary nitrates, nitrites, and nitrosamines for use with the short willet food frequency questionnaire. Nutrition Journal: 8-16.

Herrmann SS, Granby LK and Duedahl-Olesen. 2015a. Formation and mitigation of N-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages. Food Chemistry 174 (1): 516-526.

Herrmann SS, Duedahl-Olesen L and Granby K. 2015b. Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment. Food Control 48: 163-169.

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2016. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ [4 July 2016].

Li L, Wang P, Xu X and Zhou G. 2012. Influence of various cooking methods on the concentrations of volatile N-nitrosamines and biogenic amines in dry-cured sausages. Journal of Food Science 77(5):C560-C565.

Lijinsky W. 1999. N-nitroso compounds in the diet. Mutation Research 443(1-2):129-38.

Nollet LML and Toldra F. 2009. Handbook of Processed Meats and Poultry Analysis. CRC Press.p.692.

Norat T, Bingham S, Ferrari P, Slimani N, Jenab M, Mazuir M, Overvad K, Olsen A, Tjønneland A, Clavel F, Boutron-Ruault MC, Kesse E, Boeing H, Bergmann MM, Nieters A, Linseisen J, Trichopoulou A, Trichopoulos D, Tountas Y, Berrino F, Palli D, Panico S, Tumino R, Vineis P, Bueno-de-Mesquita HB, Peeters PH, Engeset D, Lund E, Skeie G, Ardanaz E, González C, Navarro C, Quirós JR, Sanchez MJ, Berglund G, Mattisson I, Hallmans G, Palmqvist R, Day NE, Khaw KT, Key TJ, San Joaquin M, Hémon B, Saracci R, Kaaks R and Riboli E. 2005. Meat fish and colorectal cancer risk: the European Prospective Investigation into cancer and nutrition. Journal of the National Cancer Institute 97(12): 906–916.

Ozel MZ, Gongus F, YagciS, Hamilton JF and Lewis AC. 2010. Determination of volatile nitrosamines in various meat products using comprehensive gas chromatography-nitrogen chemiluminescence detection. Food and Chemical Toxicology 48 (11): 3268-3273.

Park J, Seo J, Lee J and Kwon H. 2015. Distribution of seven N-nitrosamines in food. Toxicological Research 31(3):279-288.

Rostkowska K, Zwierz K, Rózanski A, Moniuszko-Jakoniuk J and Roszczenko A. 1998. Formation and metabolism of N-nitrosamines. Polish Journal of Environmental Studies 7 (6): 321-325.

Song P, Wu L and Guan W. 2015. Dietary nitrates nitrites and nitrosamines intake and the risk of gastric cancer: A meta-analysis. Nutrients 7(12): 9872–9895.

Sun Z, Liu YD and Zhong RG. 2009. Theoretical investigation of N-nitrosation mechanism of amino acids mediated by N2O3. International Conference on Biomedical and Bioinformatics Engineering: 4150–4153.

U.S. Department of Health and Human Services. 2016. Report on Carcinogens. Thirteenth Edition. Research Triangle Park, NC, Public Health Service.http://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/roc/roc13/ [4 July 2016].

Yurchenko S and Molder U. 2007. The Occurrence of volatile N-nitrosamines in Estonian meat products. Food Chemistry 100 (4): 1713-1721