



กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
DEPARTMENT OF MEDICAL SCIENCES

ค่านิยมกระทรวงสาธารณสุข



ค่านิยมกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

Moral

ปฏิบัติงานด้วยความซื่อสัตย์ สุจริต มีความ
โปร่งใส ตรวจสอบได้

Change

ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นอย่าง
สร้างสรรค์ ทำงานเป็นทีม



สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

88/7 ถนนติวานนท์ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

โทรศัพท์ 0-2951-0000 ต่อ 99566

โทรสาร 0-2951-1021



ฟอรัมาลดีไฮด์ในอาหาร (Formaldehyde in foods)





กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
DEPARTMENT OF MEDICAL SCIENCES



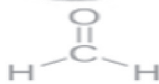
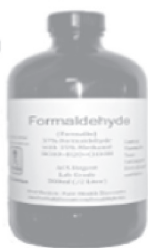
FORMALDEHYDE

ของเหลว

ละลายน้ำ

ไม่มีสี

กลิ่นฉุน



ฟอรัมาลดีไฮด์ในอาหาร (Formaldehyde in foods)

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร.-- นนทบุรี : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2561.
48 หน้า

1. ฟอร์มาลดีไฮด์. I. ชื่อเรื่อง.

615.95136

ISBN: 978-616-11-3674-1

พิมพ์ครั้งที่ 1

มกราคม 2561

จำนวนเล่ม

300 เล่ม

ที่ปรึกษา

นางสาวจรรุวรรณ ลิ้มสัจจะสกุล

ผู้อำนวยการสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

ผู้จัดทำ

นางอุมา บริบูรณ์

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นางสาวบุษยา แสงวิรุฬห์

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นางสาวพนาวัลย์ กลิ่งกลางดอน

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นางสาววนิดา ยุธยาดี

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นายวรพงศ์ พรหมณา

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นายศิริชัย สัมฤทธิ์

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นายบรรพต กลิ่นประทุม

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นางสาววันวิสา สนิทเชื้อ

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

ผู้จัดทำรูปเล่ม

นางสาววนิดา ยุธยาดี

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

นางสาววันวิสา สนิทเชื้อ

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร

จัดพิมพ์เผยแพร่โดย

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข อ.เมือง จ.นนทบุรี

<http://www.dmsc.moph.go.th>

โทรศัพท์ 0-2951-0000 ต่อ 99564, 99566

โทรสาร 0-2951-1021

<http://dmsc2.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/index.htm>

พิมพ์ที่

บริษัท ศูนย์การพิมพ์แก่นจันทร์ จำกัด

เลขที่ 88/5 วัฒนานิเวศน์ ซ. 5 ถนนสุทธิสารวินิจฉัย

แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กทม. 10310

โทรศัพท์ 0-2276-6545, 0-2276-6713, 0-2276-6721

โทรสาร 0-2277-8137

E-mail: k2536c@hotmail.com

คำปรารภ

ฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลีนเป็นสารก่อมะเร็ง โดยองค์การนานาชาติเพื่อการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer; IARC) จัดให้อยู่ใน Group 1 (เป็นสารก่อมะเร็งโพรงจมูก) สำหรับประเทศไทยจัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 หากผลิต นำเข้า หรือมีไว้ครอบครองต้องขึ้นทะเบียน และเป็นสารห้ามใช้ในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 151 (พ.ศ. 2536) เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีการเฝ้าระวัง ตรวจสอบติดตามการปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารอย่างต่อเนื่อง

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ในบริบทที่เป็นห้องปฏิบัติการอ้างอิงด้านอาหาร มีภารกิจในการพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์เพื่อรองรับตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งให้การสนับสนุนข้อมูลและองค์ความรู้ เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์แก่สุขภาพและอนามัยของประชาชน จึงได้จัดทำหนังสือฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร (Formaldehyde in foods) ขึ้น ภายใต้โครงการบูรณาการอาหารปลอดภัย (Food Safety) โดยดำเนินการรวบรวมความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติ ประโยชน์ กระบวนการผลิต การเกิดในธรรมชาติ ความเป็นพิษ ปริมาณที่พบในอาหาร วิเคราะห์ การประเมินการได้รับจากการบริโภค และข้อกำหนดทางกฎหมาย ที่เกี่ยวข้องกับฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้รับการทบทวนให้มีความสอดคล้องกับสถานการณ์ความปลอดภัยอาหารในปัจจุบันของประเทศ

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร (Formaldehyde in foods) เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ในการนำไปใช้เป็นแนวทางในการควบคุม กำกับ ดูแลความปลอดภัยของอาหาร เพื่อการคุ้มครองผู้บริโภค และให้ความรู้ต่อประชาชนให้เข้าใจในสถานการณ์เกี่ยวกับฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารได้ถ่องแท้ สามารถปรับใช้กับชีวิตประจำวันได้ต่อไป



(นายแพทย์สุขุม กาญจนพิมาย)
อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

กิตติกรรมประกาศ

ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร (Formaldehyde in foods) ฉบับนี้ จัดทำขึ้นภายใต้โครงการ
บูรณาการอาหารปลอดภัย (Food Safety) วิธิดำเนินการเป็นการสืบค้น รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
จากบทความงานวิจัยภายในประเทศและต่างประเทศ ทั้งนี้ได้รับความร่วมมือและ
ความอนุเคราะห์ ทำให้หนังสือเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากท่านทั้งหลายดั่งรายนาม
ดังต่อไปนี้

1. นายแพทย์สุชุม กาญจนพิมาย อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
2. นายแพทย์พิเชฐ บัญญัติ รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
3. เกสัชกรวรัทย์ กิตติวงศ์สุนทร รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
4. นายแพทย์สมฤกษ์ จิงสมาน รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
5. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร
6. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1 เชียงใหม่
7. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1/1 เชียงราย
8. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 2 พิษณุโลก
9. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 3 นครสวรรค์
10. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 5 สมุทรสงคราม
11. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 6 ชลบุรี
12. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 7 ขอนแก่น
13. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 8 อุดรธานี
14. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 9 นครราชสีมา
15. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 10 อุบลราชธานี
16. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11 สุราษฎร์ธานี
17. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11/1 ภูเก็ต
18. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 12 สงขลา
19. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 12/1 ตรัง
20. สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
21. นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัด และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน

คณะทำงานโครงการฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร
สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
กันยายน 2560

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ความเป็นมา

การปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร เป็นประเด็นที่หลายหน่วยงานให้ความสำคัญต่อเนื่องมามากกว่า 20 ปี จนถึงปัจจุบัน ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารห้ามใช้กับอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 151 (พ.ศ. 2536) เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร ซึ่งหากตรวจพบหรือพบว่ามีสารลักลอบใส่ในอาหาร จัดเป็นการผลิตหรือจำหน่ายอาหารไม่บริสุทธิ์ มีโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 20,000 บาท องค์การ International Agency for Research on Cancer (IARC) ประเมินว่าเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 1 ที่ทำให้เกิดมะเร็งต่อมน้ำลายได้ คือ มะเร็งโพรงจมูก ซึ่งในประเทศไทยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินการเฝ้าระวังตรวจติดตามการปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร ตามแผนการเฝ้าระวังประจำปีอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการเฝ้าระวังตามกฎหมายที่กำหนดไว้ สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ปี พ.ศ. 2526-2535 ได้สำรวจปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีในอาหารหลายประเภทซึ่งวางจำหน่ายในท้องตลาดเพื่อให้ได้ข้อมูลของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ต่อมาได้พัฒนาชุดทดสอบอย่างง่ายเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นในการคุ้มครองผู้บริโภค และเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ตรวจยืนยันการปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารโดยวิธีมาตรฐานมาโดยตลอด

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีรายงานการตรวจพบฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารหลายประเภทที่ประเมินว่ามาจากการใช้เติมในอาหารด้วยวัตถุประสงค์เพื่อคงความสดใหม่ กรอบ และรักษาไม่ให้อาหารเน่าเสีย อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่าฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งมีการศึกษาพบว่าสารนี้เกิดขึ้นได้ด้วยกลไกทางชีวเคมี และทางกายภาพ จึงเป็นเรื่องท้าทายสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการบ่งชี้ถึงที่มาของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบในอาหาร ภายใต้โครงการบูรณาการอาหารปลอดภัย (Food Safety) สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหารจึงได้จัดทำหนังสือ ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร (Formaldehyde in foods) ขึ้น โดยรวบรวม ศึกษา ทบทวนองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง เรียบเรียง และรายงานถึงข้อเท็จจริงของการเกิดขึ้น ความคงอยู่ ความเป็นพิษ การตรวจวัด และค่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบได้ในธรรมชาติของอาหาร เพื่อเป็นความรู้ นำไปสู่การปฏิบัติที่เหมาะสมในการกำกับดูแลอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ที่มาจากการใช้ที่ผิดกฎหมาย และเป็นข้อเสนอแนะต่อผู้บริโภค ผู้ผลิต และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ให้สามารถปฏิบัติได้ถูกต้องตามสถานการณ์ของความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ไม่กระทบต่อการดำรงชีวิตและเศรษฐกิจของประเทศ

บทสรุป

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นก๊าซ มีกลิ่นฉุน ละลายได้ดีในน้ำ ฟอร์มาลีนหรือสารละลาย ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นฉุน เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 สามารถผลิตได้ทางอุตสาหกรรม และเกิดขึ้นได้โดยกระบวนการตามธรรมชาติ ในบรรยากาศ ดิน น้ำ และในสิ่งมีชีวิต มีการนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมเพื่อผลิตสินค้าต่าง ๆ เช่น พลาสติก สารเคลือบ กาว ฉนวน ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น ด้านการแพทย์ ใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรค ดับกลิ่น ป้องกันการเสื่อมสลาย และคงสภาพเนื้อเยื่อในงานพยาธิวิทยา ด้านการเกษตร ใช้ผสมในอาหารสัตว์ ป้องกันจุลินทรีย์ และเชื้อรา เป็นปุ๋ย เก็บรักษาสีผสมทางการเกษตร กำจัดปรสิตปลาเพาะเลี้ยง ด้านเครื่องสำอาง ใช้ผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อฆ่าเชื้อโรค และเป็นสารกันบูด

ฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปก๊าซหรือไอจะทำให้เกิดการระคายเคืองของเนื้อเยื่อทางเดินหายใจ หากสัมผัสโดนผิวหนังเฉพาะที่จะทำให้การระคายเคืองหรืออักเสบ หากรับประทานในรูปของเหลวจะทำให้มีอาการปวดท้องอย่างรุนแรง ปัสสาวะเป็นเลือด ปัสสาวะน้อย เกิดภาวะเลือดเป็นกรด (Metabolic acidosis) หากรับประทานในปริมาณมาก การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันทางการกินและหายใจในหนูแรทพบว่าค่าปริมาณสารที่ทำให้หนูตายร้อยละ 50 ทางทางการกินมีค่า LD_{50} (50% lethal dose) เท่ากับ 600-800 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (mg/kg b.w.) และทางการหายใจเป็นเวลา 4 ชั่วโมงมีค่า LC_{50} (50% lethal concentration) เท่ากับ 578 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m³) ส่วนความเป็นพิษเรื้อรังนั้นพบว่าสารนี้เป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งโพรงจมูก ซึ่ง IARC ได้จัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์กลุ่มที่ 1 (Carcinogenic to humans)

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตมาจากกระบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายทั้งที่อาศัยเอนไซม์ และไม่อาศัยเอนไซม์ เช่น ในปฏิกิริยาดีเมทิลเลชัน (demethylation) ของวัฏจักรเมทไธโอนีน โฮโมซิสเตอีน (methionine-homocysteine cycles) one carbon pool เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและเมทานอล ขบวนการ lipid peroxidation และขบวนการ P-450 dependent demethylation เป็นต้น ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในเลือดของหนูแรทลิง และคนมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 2.2, 2.4 และ 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ตามลำดับ ฟอร์มาลดีไฮด์ในสิ่งมีชีวิตมี 2 รูป คือ รูปอิสระ และรูปที่รวมอยู่กับสารอื่น เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน เอมีน ครีเอติน และนิวคลีโอไทด์ หน่วยงาน European Food Safety Authority (EFSA) ประเมินค่าหมุนเวียนของฟอร์มาลดีไฮด์ในร่างกายคนแต่ละวันได้ประมาณ 878-1,310 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (mg/kg b.w./day) (จากของเหลวทั้งหมดในร่างกาย)

49 ลิตร) โดยมีค่าครึ่งชีวิตสั้นมากประมาณ 1-1.5 นาที พอร์มาลดีไฮด์ในรูปสารอิสระจะมีความไวในการทำปฏิกิริยามากกว่าสารในรูปอื่น การกำจัดเพื่อไม่ให้เกิดพิษต่อร่างกายกระทำโดยผ่านการทำงานของเอนไซม์ และกระบวนการซ่อมแซมดีเอ็นเอ ทำให้พอร์มาลดีไฮด์ถูกกำจัดออกไป สำหรับสัตว์ทะเลมีไทรเมทิลเอมีนออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ป้องกันการสูญเสียน้ำเมื่อสัตว์ทะเลตาย สารนี้จะเปลี่ยนเป็นไดเมทิลเอมีน และพอร์มาลดีไฮด์ได้ด้วยเอนไซม์แบคทีเรีย และความร้อน มีรายงานการพบพอร์มาลดีไฮด์ในสัตว์ทะเล เช่น ปลาหมึก ปลา กุ้ง หอย แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สายพันธุ์ ขนาด อาหารที่กิน แหล่งอาศัย และสภาพแวดล้อมของการเก็บรักษาซาก

ปริมาณพอร์มาลดีไฮด์ที่พบได้ในธรรมชาติของอาหารมีความแตกต่างตามชนิดของอาหาร อาหารทะเล ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แห้งหรือรมควัน และเห็ดบางชนิด เป็นกลุ่มอาหารที่พบปริมาณพอร์มาลดีไฮด์สูง เช่น แฮมรมควันพบปริมาณ 224-267 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาทะเลน้ำลึกแช่แข็งพบปริมาณ 232-293 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาหมึกแห้งฉีกพบปริมาณ 0-169.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เห็ดหอมสดพบปริมาณ 127.8-248.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น สำหรับในน้ำนมตรวจพบน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือในปลาบางชนิดตรวจพบมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม EFSA ประเมินการได้รับพอร์มาลดีไฮด์จากปริมาณที่พบได้ในธรรมชาติของอาหารทั้งพืชและสัตว์ พบว่าจากการบริโภคอาหาร 1 กิโลกรัมต่อวัน จะได้รับพอร์มาลดีไฮด์ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม หรือประมาณ 1.7-1.4 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (สำหรับคนน้ำหนัก 60-70 กิโลกรัม) ในปี 2006 EFSA ได้สรุปว่าไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะแสดงว่าพอร์มาลดีไฮด์จากการบริโภคทำให้เกิดมะเร็ง

กำหนดเกณฑ์ความปลอดภัยจากการได้รับพอร์มาลดีไฮด์ของ World Health Organization (WHO) กำหนดค่าปริมาณได้รับประจำวันที่ทนได้ (Tolerable daily intake; TDI) ไว้ไม่เกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน และ U.S. EPA กำหนดค่าขนาดของสารที่ยอมรับให้บริโภคได้ต่อวันแล้วไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียใด ๆ ต่อร่างกาย (Reference dose; RfD) ไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับการกำหนดค่าสูงสุด (maximum level; ML) ของประเทศต่าง ๆ นั้น จะขึ้นกับประเภทของอาหารซึ่งแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกัน เช่น ในอาหารทะเลค่าที่กำหนดให้มีได้ ตั้งแต่ 5-60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่จะใช้ค่าที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติมาเป็นเกณฑ์อ้างอิงสำหรับประเทศไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 151 (พ.ศ. 2536) กำหนดให้พอร์มาลดีไฮด์เป็นสารห้ามใช้ในอาหาร ซึ่งหมายถึงพอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจพบต้องมาจากการเติมสารนี้ลงไปในการอาหารด้วยวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ไม่ใช่พอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

การตรวจวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารมีหลายวิธีโดยอาศัยเทคนิคในการวัดต่าง ๆ เช่น สเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) โครมาโทกราฟี (Chromatography) ฟลูออโรเมทรี (Fluorometry) จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose; E-nose) ไบโอเซนเซอร์ (Biosensor) และการตรวจคัดกรองด้วยชุดทดสอบ (Screening test kits) เป็นต้น การตรวจเพื่อเฝ้าระวังและคุ้มครองผู้บริโภคในประเทศนั้นมีความจำเป็นดำเนินการได้ 2 ลักษณะคือ 1) การตรวจคัดกรองด้วยชุดทดสอบอาหาร ต้องการตรวจฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปอิสระที่มาจากการใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น ทำให้กรอบ สด ปรับเนื้ออาหาร เป็นต้น ทำให้อาหารไม่บริสุทธิ์ มักตรวจน้ำแช่อาหาร หรือน้ำที่ล้างอาหาร โดยห้ามบด สับ หรือขยี้อาหารตัวอย่าง 2) การตรวจหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีทางห้องปฏิบัติการ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งฟอร์มาลดีไฮด์รูปอิสระ และฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจให้ทราบปริมาณที่แน่ชัด จึงต้องใช้เทคนิคที่มีเครื่องมือวัด การวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปแบบที่แตกต่างกันสิ่งที่ต้องคำนึง คือ วิธีการสกัด หากมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปอิสระ จะสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น น้ำ สารละลายกรด ด้วยเทคนิคคลื่นความถี่สูง (sonicate) หรือการเขย่า (shake) เพื่อให้ฟอร์มาลดีไฮด์แยกออกมาจากตัวอย่าง ขณะที่การวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด เตรียมตัวอย่างโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ซึ่งจะกลั่นได้ทั้งฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปอิสระ และฟอร์มาลดีไฮด์ที่รวมกับสารอื่นรวมกัน เรียกว่าฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด (total formaldehyde) ทั้งนี้วิธีการที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์เป็นกลไกสำคัญในการบ่งถึงปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารว่ามาจากสารในรูปใด ดังนั้น การรายงานผลควรแจ้งวิธีที่ใช้สกัดตัวอย่างด้วย เพื่อเป็นข้อมูลถึงที่มาของรูปแบบสารที่ตรวจวัดได้

กระทรวงสาธารณสุข โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ได้ตรวจเฝ้าระวังฟอร์มาลดีไฮด์ตั้งแต่ ปี 2546 จนถึงปัจจุบัน สรุปได้ว่าการปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำแช่อาหารทั่วไปที่จำหน่ายในตลาด เช่น เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ ผักผลไม้และผลิตภัณฑ์ พบน้อยมาก ข้อมูลในปี 2559 พบอาหารแปรรูปมีการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์มากที่สุด อันดับที่ 1 คือ ปลาหมึกกรอบ และอันดับที่ 2 คือ สไปนางขาว ตรวจพบร้อยละ 48 และ 42 ตามลำดับ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่นได้นำเสนอเส้นทางการปลอมปนฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารสด พบว่าการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเพิ่มน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ถึง 4 เท่า จัดว่าเป็นอาหารกลุ่มเสี่ยงที่อาจมีการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ในกระบวนการผลิต อาจต้องมีกฎหมายบังคับให้เป็นอาหารที่ต้องอยู่ในภาวะบรรจุฉลากเพื่อการทวนสอบย้อนกลับได้ ขณะเดียวกันการเกิดฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร

ตามธรรมชาติ จากการทบทวนวรรณกรรม และข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ที่ผ่านมา จะเห็นว่า มีปัจจัยที่จะทำให้ปริมาณที่ตรวจพบมีค่ากระจายในช่วงกว้าง และมาจากหลายปัจจัยทั้งทางกายภาพ และชีวภาพ จึงควรมีการศึกษาวิจัยในวงกว้างที่ครอบคลุมกลุ่มอาหารซึ่งเป็นประเด็นปัญหาถึงที่มาของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบในแต่ละกลุ่มอาหารว่า มาจากการใช้อย่างผิดกฎหมาย หรือเป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการที่จะลดผลกระทบทางเศรษฐกิจของผู้ประกอบการและทำให้งานคุ้มครองผู้บริโภคเข้มแข็งยั่งยืน

สารบัญ

	หน้า
คำปรารภ	3
กิตติกรรมประกาศ	5
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	7
สารบัญ	13
สารบัญตาราง	15
สารบัญรูปภาพ	15
1. ลักษณะและคุณสมบัติ	17
1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)	17
1.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties)	17
2. ข้อกำหนดทางกฎหมายของประเทศไทย	18
3. กระบวนการเกิด	18
3.1 การผลิตในทางอุตสาหกรรม	18
3.2 การเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม	19
4. ประโยชน์และการนำไปใช้	20
4.1 ด้านอุตสาหกรรม	20
4.2 ด้านการเกษตร	20
4.3 ด้านการแพทย์	20
4.4 ด้านเครื่องสำอาง	22
5. ความเป็นพิษ	22
5.1 พอร์มาลดีไฮด์จากภายนอกร่างกาย	22
5.2 พอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต	26
6. การได้รับจากการบริโภค	29
6.1 ในน้ำดื่ม	29
6.2 ในอาหาร	29
7. การประเมินการได้รับพอร์มาลดีไฮด์จากการบริโภค	30
8. เกณฑ์ความปลอดภัย และค่าที่กำหนดตามกฎหมายในอาหารและน้ำดื่ม	31
8.1 เกณฑ์ความปลอดภัย	31
8.2 ค่าที่กำหนดตามกฎหมาย	32

	หน้า
9. วิธีวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร	32
9.1 สเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry)	32
9.2 โครมาโทกราฟี (Chromatography)	33
9.3 ฟลูออโรเมทรี (Fluorometry)	34
9.4 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose; E-nose)	34
9.5 ไบโอสเซนเซอร์ (Biosensor)	35
9.6 การตรวจคัดกรอง (Screening test)	35
10. การศึกษาวิจัย	37
10.1 การศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร	37
10.2 การศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่สะสมในเนื้อ และอวัยวะของสัตว์	37
10.3 การศึกษาปริมาณเอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ และไตรเมทิลเอมีนออกไซด์	39
10.4 การศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหาร โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์	39
10.5 การตรวจเฝ้าระวังการปนเปื้อนในอาหาร	40
เอกสารอ้างอิง	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลกระทบต่อสุขภาพในคนและสัตว์ทดลอง จากการได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจที่ความเข้มข้นต่างๆ	24
ตารางที่ 2 ผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ทดลอง จากการให้กินฟอร์มาลดีไฮด์ที่ขนาดต่างๆ	25
ตารางที่ 3 ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบในอาหารประเภทต่างๆ	38
ตารางที่ 4 ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในปลาหมึก 4 สายพันธุ์	39
ตารางที่ 5 ผลการตรวจเฝ้าระวังฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารด้วยชุดทดสอบ ระหว่างปี 2546-2559	41
ตารางที่ 6 ผลการตรวจเฝ้าระวังสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารกลุ่มเสี่ยง ทั่วประเทศ โดยใช้ชุดทดสอบ เดือนธันวาคม 2558-กุมภาพันธ์ 2559	41

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 อุตสาหกรรมการต่อเนื่องและการใช้ประโยชน์จากฟอร์มาลีน	21
รูปที่ 2 กระบวนการเมแทบอลิซึมของฟอร์มาลดีไฮด์ในสิ่งมีชีวิต	23

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)

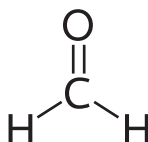
1. ลักษณะและคุณสมบัติ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) หรือชื่อเรียกอื่น คือ สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde solution) ฟอร์มาลีน (Formalin) ฟอร์มอล (Formol) ฟอร์มาลีน (Formalith) แฟนโนฟอร์ม (Fannoform) ฟอร์มิกอัลดีไฮด์ (Formic aldehyde) ไฟด์ (Fyde) เมทานาล (Methanal) เมทิลอัลดีไฮด์ (Methyl aldehyde) เมทิลีนออกไซด์ (Methylene oxide) มอร์บิซิด (Morbicid) ออกโซมีเทน (Oxomethane) ออกซีเมทิลีน (Oxymethylene) โลโซฟอร์ม (Lysoform) ซุปเปอร์โลโซฟอร์ม (Superlysoform) ฯลฯ

สูตรโมเลกุล



สูตรโครงสร้าง



CAS Number

50-00-0

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ มีกลิ่นฉุน ละลายได้ดีในน้ำ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ และอะซิโตน ไม่มีการซื้อขายหรือขนส่งในสถานะก๊าซ เนื่องจากไม่เสถียร และมีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมไรเซชัน (polymerization) ไปเป็นพาราฟอร์มาลดีไฮด์ (para-formaldehyde)⁽¹⁾ ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว กลิ่นฉุน ละลายน้ำได้น้อย สามารถสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน หรือสัมผัสกับกรด ต่าง และสารออกซิไดซ์ เกิดเป็นฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไวไฟ⁽²⁾ ดังนั้นการซื้อขายและขนส่งจึงอยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 37-55 โดยน้ำหนัก และมีส่วนผสมเมทานอลอยู่ระหว่างร้อยละ 1-14 เรียกว่า “ฟอร์มาลีน” เป็นสารละลายใส ไม่มีสี มีฤทธิ์เป็นกรด ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 2.8-4.0 (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)

1.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties)

สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์และก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ สามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมไรเซชันแบบออกซิเดชัน (oxidation) และแอตติชัน (addition) ได้ นอกจากนั้นในรูปของสารละลายยังสามารถเกิดปฏิกิริยาดีคอมโพสิชัน (decomposition) รีดักชัน (reduction) คอนเดนเซชัน (condensation) ได้อีก เมื่อถูกความร้อนจะสลายตัวเป็นกรดฟอร์มิก (formic acid) และหากถูกไฟไหม้จะสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) และไฮโดรเจน (hydrogen) เกิดหมอกควันที่เป็นพิษ⁽¹⁾

2. ข้อกำหนดทางกฎหมายของประเทศไทย

- พอร์มาลดีไฮด์เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือมีไว้ครอบครอง ต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อน และต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ ซึ่งการผลิตหรือการนำเข้าต้องขึ้นทะเบียนวัตถุอันตราย⁽³⁾

- พอร์มาลดีไฮด์เป็นสารห้ามใช้ในอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 151 (พ.ศ. 2536)⁽⁴⁾ ผู้ฝ่าฝืนมีโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 20,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

- พอร์มาลีนเป็นสารควบคุมปริมาณการใช้ตามมาตรฐานการจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยง ปลาสวยงามเพื่อการส่งออก ของกรมประมง ในการจัดเตรียมปลาเพื่อจำหน่ายจะต้องได้รับการแช่พอร์มาลีน 25-45 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ก่อนจำหน่ายอย่างน้อย 7-10 วัน เพื่อกำจัดปรสิตต่าง ๆ ตามผิวหนังและเหงือก ใช้เพื่อฆ่าเชื้อโปรโตซัวในบ่อขณะที่มีปลาอยู่ในปริมาณ 25-30 มิลลิตร (mL) ต่อ 1,000 ลิตร แช่ไว้ 48 ชั่วโมง และฆ่าเชื้อปลิง ในปริมาณ 45 มิลลิตร ต่อ 1,000 ลิตร แช่ไว้ 48 ชั่วโมง⁽⁵⁾

3. กระบวนการเกิด

3.1 การผลิตในทางอุตสาหกรรม

พอร์มาลดีไฮด์ เป็นสารเคมีที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด ในประเทศไทยมีโรงงานผลิตพอร์มาลดีไฮด์จากวัตถุดิบหลัก คือ เมทานอล ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ พอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากโรงงานผลิตจะอยู่ในรูปของสารละลาย พอร์มาลดีไฮด์ หรือพอร์มาลีน ที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 37-55 โดยน้ำหนัก และมีเมทานอล ผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 1-14 โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน การผลิตพอร์มาลดีไฮด์ มีกระบวนการสำคัญ 2 กระบวนการ⁽¹⁾ คือ

1. ซิลเวอร์ โพเรส เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเมทานอล กับออกซิเจนภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง โดยใช้โลหะเงินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เมทานอลเปลี่ยนเป็นพอร์มาลดีไฮด์ ได้ประมาณร้อยละ 77-78 โดยมีคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดฟอร์มิก เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง

2. ออกไซด์ โพเรส เป็นกระบวนการที่ให้เมทานอลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศในปริมาณมากพอ โดยมีเหล็ก โมลิบดีนัม วานาเดียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ทำให้เมทานอลเปลี่ยนเป็นพอร์มาลดีไฮด์ได้สูงถึงร้อยละ 93 โดยมีคาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง

ข้อมูลปริมาณรายการวัตถุอันตรายที่เป็นสารเคมีที่มีการนำเข้า-ส่งออก ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบปริมาณ การนำเข้าฟอร์มาลดีไฮด์หรือเมทานอล 5,473.823 เมตริกตัน ปริมาณส่งออก 213.102 เมตริกตัน และปริมาณการนำเข้าพาราฟอร์มาลดีไฮด์ 7,614.135 เมตริกตัน ปริมาณส่งออก 2.600 เมตริกตัน⁽⁶⁾ คาดว่า ปี 2017 ทั่วโลกมีการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่า 52 ล้านตัน⁽⁷⁾

3.2 การเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม

3.2.1 ในอากาศ: แหล่งกำเนิดสำคัญในชั้นบรรยากาศ เกิดจากการสลายตัวของก๊าซมีเทน (methane) ที่มีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปและมีค่าครึ่งชีวิตหลายปี ดังนั้น ฟอร์มาลดีไฮด์จึงมีอยู่ทั่วโลก นอกจากนี้จะพบได้ในกระบวนการออกซิเดชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) โดยมีไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical) และโอโซน (ozone) ทำปฏิกิริยากันกลายเป็นสารฟอร์มาลดีไฮด์ และอัลดีไฮด์ (aldehyde) อื่น ซึ่งเป็นตัวกลางของการเกิดปฏิกิริยาตามลำดับไปสู่คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และน้ำ พบในกระบวนการสันดาปอาหารของพืชและสัตว์ และจากการกระทำของคนซึ่งเป็นแหล่งสำคัญ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์ ในควันบุหรี่ การเผาไหม้พืชและสัตว์ ในเตาหม้อน้ำอุตสาหกรรมที่ใช้ก๊าซ จากการระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบ เช่น เรซิน กาว ไม้อัด เสื้อผ้า เป็นต้น ฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศจะพบค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อม⁽⁸⁾ โดยทั่วไปพบมีค่าเฉลี่ย 1-20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ในสภาพการจราจรที่คับคั่งอาจพบได้สูงถึง 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร⁽⁹⁾ และภายในอาคารมักพบสูงกว่าภายนอกจากการระเหยออกมาจากฉนวนกันความร้อน ไม้อัด หรือ เรซิน ที่ใช้ในการทำเฟอร์นิเจอร์ตกแต่งบ้าน

3.2.2 ในน้ำ: เกิดจากการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ในระหว่างการฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน และคลอรีน มีการตรวจพบฟอร์มาลดีไฮด์สูงถึง 30 ไมโครกรัมต่อลิตร ในน้ำดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยโอโซน นอกจากนี้ฟอร์มาลดีไฮด์อาจจะปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำได้จากอุตสาหกรรมต่าง ๆ และการละลายออกจากพลาสติกที่ใช้ในการส่งน้ำ รวมทั้งข้อต่อต่าง ๆ ⁽¹⁰⁾ ในสภาวะปกติปริมาณที่พบในน้ำดื่มมักน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์จากน้ำจึงประเมินได้ต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อวัน (mg/day)⁽¹¹⁾

3.2.3 ในดิน: จะเกิดขึ้นในช่วงต้นของการย่อยสลายพืช และอาจปนเปื้อนมาจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้เช่นกัน จากการเก็บตัวอย่างดินในแหล่งอุตสาหกรรมมาตรวจวิเคราะห์ พบฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับ 18-27 มิลลิกรัมต่อดินแห้ง 100 กรัม⁽¹²⁾

4. ประโยชน์และการนำไปใช้

4.1 ด้านอุตสาหกรรม

มีการนำฟอร์มาลดีไฮด์ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นจำนวนมากทั้งในรูปของสารละลายที่เรียกว่า ฟอรัมาลีน และในรูปของแข็งที่เรียกว่า ไตรออกแซน (trioxane; $(\text{CH}_2\text{O})_3$) ซึ่งเป็นไซคลิกไตรเมอร์ (cyclic trimer) สำหรับโพลิเมอร์ของสารนี้ คือ พาราฟอรัมาลดีไฮด์ ประกอบด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 8-100 หน่วย⁽⁹⁾ นำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเรซินชนิดยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ โพลีอะซีทัล และเคมีภัณฑ์อื่น ๆ เรซินที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบจะนำไปใช้ผลิตสินค้าได้มากมาย เช่น ถ้วยชาม ผ้าเบรกรถยนต์ ใยลื้อ ใยเจีย ใยตัดทราย แบบหล่อโลหะ ฉนวนกันความร้อน ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ใช้เป็นสารเชื่อมประสานในการทำพาดิเกลบอร์ด สารเคลือบ ไม้อัด และเฟอร์นิเจอร์ ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อรักษาผ้าไม่ให้ยับย่น ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้ ใช้ผสมในสีทาบ้าน วอลเปเปอร์ พลาสติก กาว ฝ้ายสังเคราะห์ น้ำยาเคลือบเงาไม้ พรมสังเคราะห์ น้ำยาทำความสะอาด และกระดาษทิชชู ใช้ในการย้อมเพื่อให้สีย้อมติดแน่น ใช้ในการฟอกสี งานด้านการพิมพ์ การฟอกหนัง และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ ^(8, 9, 11, 13)

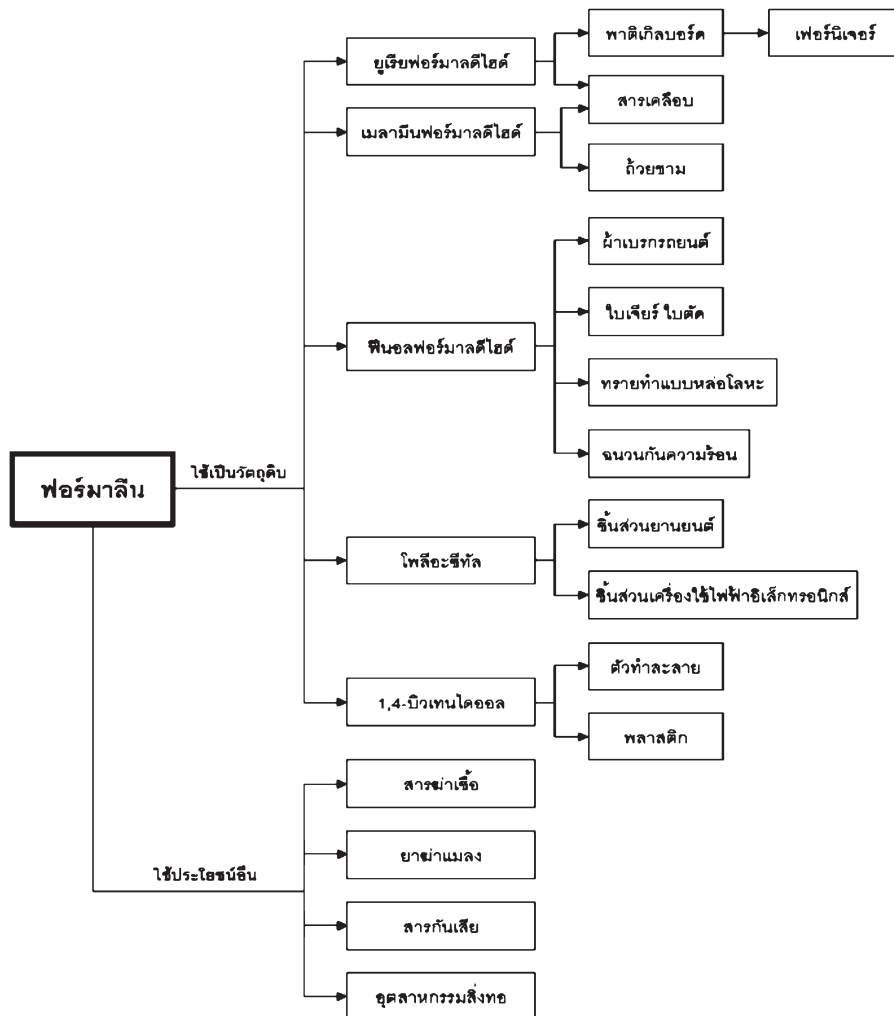
4.2 ด้านการเกษตร

ใช้ผสมในอาหารสัตว์เพื่อรักษาคุณภาพของโปรตีนในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ใช้ในการผลิตสารที่ทำลายหรือป้องกันจุลินทรีย์ที่ทำให้ต้นไม้เกิดโรค ใช้ฆ่าเชื้อราในดิน ใช้เป็นปุ๋ย ใช้ในการป้องกันผลผลิตทางการเกษตรจากความเสี่ยงระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา โดยใช้เป็นสารรมในที่เก็บผลผลิตทางการเกษตร ใช้ทำความสะอาดถังไม้ รวมถึงนำไปผสมสารละลายที่ใช้เคลือบผัก ผลไม้ เพื่อยับยั้งการเน่าเสีย ใช้ในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อป้องกันโรค⁽¹¹⁾ กำจัดปรสิตต่าง ๆ ตามผิวหนังและเหงือก และฆ่าเชื้อปลิงในบ่อขณะที่มีปลาอยู่

4.3 ด้านการแพทย์

ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อสำหรับทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ ใช้สำหรับฆ่าเชื้อรา นอกจากนี้ไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์สามารถนำมาอบห้องเพื่อฆ่าเชื้อโรคในโรงพยาบาล ใช้ในการเก็บรักษาศพ เก็บรักษาสภาพตัวอย่างเนื้อเยื่อทางกายวิภาค (anatomical specimens) เพื่อนำไปวิเคราะห์และการวินิจฉัย โดยใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ซึ่งมีกลไกในการคงสภาพเนื้อเยื่อจากการรักษาสภาพของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bio-active) อื่น ๆ เพื่อป้องกันการเน่าเปื่อย โดยฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไปออกฤทธิ์ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (cross-link) ของโปรตีน ปัจจุบัน

ที่มีผลต่อการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของพอร์มาลดีไฮด์ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของสารละลาย ระยะเวลา การมีเส้นเลือดหรือเส้นใยกล้ามเนื้อจะทำให้มีการแทรกซึมได้ดีขึ้น และพื้นที่ผิวของการรับสัมผัส หากมีพื้นที่ผิวมากจะทำให้มีการแทรกซึมได้ดีขึ้น⁽¹⁴⁾



รูปที่ 1 อุตสาหกรรมต่อเนื่องและการใช้ประโยชน์จากฟอร์มาลีน ⁽¹⁾

4.4 ด้านเครื่องสำอาง

ใช้เป็นสารกันบูด สารฆ่าเชื้อ และป้องกันเหงื่อออกมาก เป็นส่วนผสมของยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก สบู่ ครีมโกนหนวด และน้ำยาดับกลิ่นตัว^(9, 11)

5. ความเป็นพิษ

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่สิ่งมีชีวิตได้รับมีแหล่งที่มา 2 ลักษณะ คือ ฟอร์มาลดีไฮด์จากภายนอก ร่างกาย (exogenous formaldehyde) และฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย (endogenous formaldehyde)

5.1 ฟอร์มาลดีไฮด์จากภายนอกในร่างกาย

ฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ การกิน และผิวหนัง ในสัตว์ทดลอง เมื่อได้รับทางการหายใจจะถูกดูดซึมที่บริเวณทางเดินหายใจส่วนบน ส่วนในคนจะถูกดูดซึมที่บริเวณโพรงจมูก (nasal cavity) รวมถึงบริเวณหลอดลมใหญ่ (trachea) และหลอดลมฝอย (proximal bronchi) ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารโมเลกุลใหญ่ เช่น ดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) และโปรตีน โดยจับกันในรูปแบบคืนกลับได้ (reversible adduct) หรือเกิดการเชื่อมโยงแบบคืนกลับไม่ได้ (irreversible cross-link)⁽¹⁵⁾ เมื่อฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์ ผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) แสดงดังรูปที่ 2 โดยจะรวมตัวกับกลูตาไธโอน (Glutathione; GSH) ได้เป็นไฮดรอกซีเมทิลกลูตาไธโอน (Hydroxymethylglutathione) จากนั้นจะถูกออกซิไดซ์ (oxidize) เป็นเอส-ฟอร์มิลกลูตาไธโอน (S-Formylglutathione) โดยเอนไซม์ฟอร์มาลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส (Formaldehyde dehydrogenase; FDH) และสลายเป็นฟอร์เมต (Formate) โดยเอนไซม์เอส-ฟอร์มิลกลูตาไธโอน ไฮโดรเลส (S-Formylglutathione hydrolase) จากนั้นจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะในรูปเกลือฟอร์เมต หรือหายใจออกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์^(15, 16) แม้จะถูกขับออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว แต่ยังคงมีบางส่วนที่สะสมในร่างกายในรูปของกรดฟอร์มิค ซึ่งอาจทำให้เกิดพิษทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง อาการพิษที่เกิดจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณที่รับสัมผัส ความไวเฉพาะบุคคล และช่วงเวลาของการรับสัมผัส

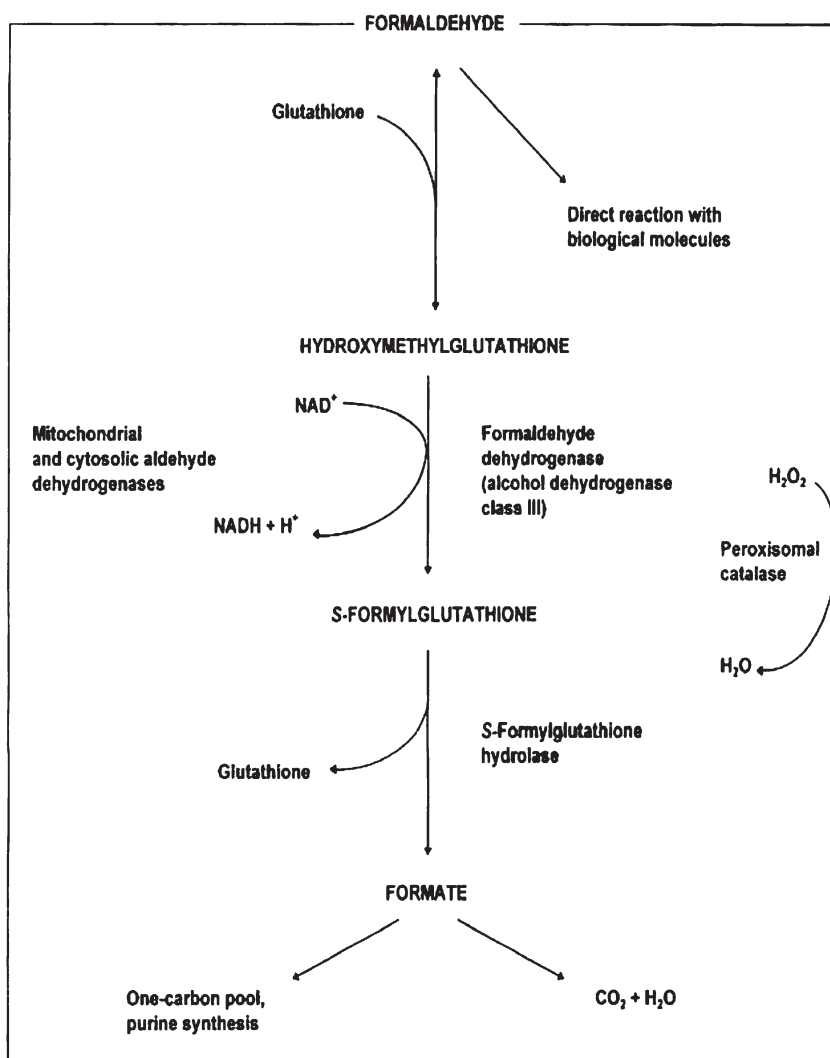
5.1.1 ค่าความเป็นพิษ

ค่า LD₅₀ (50% lethal dose) หมายถึง ปริมาณของสารเคมีที่ให้กับสัตว์ทดลองทั้งหมดเพียงครั้งเดียวแล้วทำให้กลุ่มของสัตว์ทดลองร้อยละ 50 (ครึ่งหนึ่ง) ตายลง การศึกษาในหนูแรททางการกิน เท่ากับ 600-800 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (mg/kg b.w.) การศึกษาในกระต่ายทางผิวหนัง เท่ากับ 270 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม และการศึกษาในหนูแรทโดยให้ทางการหายใจ (LC₅₀) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เท่ากับ 578 มิลลิกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร หรือ 480 ส่วนในล้านส่วน (ppm)⁽¹⁶⁾

5.1.2 ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity)

5.1.2.1 ทางกรหายใจ: ฟอรัมาลดีไฮด์ในรูปก๊าซจะทำให้เกิดการระคายเคืองตา จมูก และระบบทางเดินหายใจ โดยถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วบริเวณปอด เมื่อสูดดมในปริมาณน้อยจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อจมูกและลำคอ มีอาการไอ เจ็บหน้าอก หายใจไม่อิ่ม หากได้รับสัมผัสในปริมาณที่สูงขึ้นจะสัมพันธ์กับการเกิดการอักเสบของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ช่องคอววม เกิดการอักเสบของหลอดลม ปอด และเกิดการสะสมของเหลวในปอด⁽¹³⁾ อาการความเป็นพิษขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ได้รับสัมผัส ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 กระบวนการเมแทบอลิซึมของฟอรัมาลดีไฮด์ในสิ่งมีชีวิต⁽¹⁵⁾

ตารางที่ 1 ผลกระทบต่อสุขภาพในคนและสัตว์ทดลองจากการได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจที่ความเข้มข้นต่าง ๆ⁽¹⁷⁾

ความเข้มข้นในอากาศ (ส่วนในล้านส่วน)	ผลกระทบต่อสุขภาพ	
	คน	สัตว์ทดลอง
0.1-0.5	เกิดการระคายเคืองจมูกและตา ส่งผลต่อระบบประสาท เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดหอบหืด และภูมิแพ้	เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สมรรถภาพการทำงานของปอด ทำให้เพิ่มการตอบสนองต่อการ เกิดภูมิแพ้ และส่งผลต่อระบบ ประสาท
0.6-1.9	เกิดการระคายเคืองจมูกและตา ผิวหนังอักเสบ สมรรถภาพการ ทำงานของปอดเปลี่ยนไป	เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สมรรถภาพการทำงานของปอด และส่งผลต่อระบบประสาท
2.0-5.9	เกิดการระคายเคืองจมูก ตา และ คอ ผิวหนังอักเสบ สมรรถภาพ การทำงานของปอดเปลี่ยนไป	เกิดการระคายเคืองจมูก ตา และ คอ สมรรถภาพการทำงานของ ปอดเปลี่ยนไป น้ำหนักตัวลดลง การตอบสนองต่อการเกิดภูมิแพ้ เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อระบบประสาท ตับ และอวัยวะ
6.0-10.9	เกิดการระคายเคืองจมูก ตา คอ และผิวหนัง ปวดหัว คลื่นไส้ หายใจ ลำบาก ไอ	เกิดการระคายเคืองจมูก ตา เกิด แผลในจมูก สมรรถภาพการ ทำงานของปอดเปลี่ยนไป ส่งผลต่อการ ทำงานของตับ อวัยวะ เกิดมะเร็ง จมูก และอัตราการมีชีวิตรอดลดลง
11-50	ไม่มีรายงานการศึกษา	เกิดการระคายเคืองจมูกและตา เกิดแผลในจมูก สมรรถภาพการ ทำงานของปอดเปลี่ยนไป ส่งผล ต่อการทำงานของระบบประสาท ตับ น้ำหนักตัวลดลง ตัวอ่อนมี น้ำหนักลดลง เกิดมะเร็งจมูก และอัตราการมีชีวิตรอดลดลง
>50	ไม่มีรายงานการศึกษา	เกิดเลือดกำเดาไหล เกิดภาวะ ปอดบวม

5.1.2.2 ทางกรกิน: พอร์มาลดีไฮด์ที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางกรกิน ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองทางเดินอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน (อาจพบอาเจียนเป็นเลือด) ท้องเสีย ปวดอย่างรุนแรงบริเวณปาก คอ และกระเพาะอาหาร อาจเกิดการบาดเจ็บจากการกัดกร่อน (corrosive injury) เกิดแผลและเลือดออกในกระเพาะอาหาร อาจส่งผลกระทบต่อ ระบบปัสสาวะหรือไต ระบบเลือด ระบบต่อมไร้ท่อ เป็นต้น หากได้รับในปริมาณที่สูง หรือประมาณ 30-60 มิลลิลิตร ทำให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรง เช่น ปวดท้องอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องเดิน หดสติ เกิดแผลในกระเพาะอาหาร และทำให้เสียชีวิตได้⁽¹³⁾ ซึ่งความรุนแรงของอาการจะขึ้นกับความเข้มข้นที่ได้รับ ดังตารางที่ 2 จากการศึกษาในสัตว์ทดลองที่ความเข้มข้นขนาดต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของสัตว์ทดลอง

ตารางที่ 2 ผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ทดลองจากการให้กินพอร์มาลดีไฮด์ที่ขนาดต่าง ๆ⁽¹⁷⁾

ขนาด (Dose) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อวัน	ผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ทดลอง
0-49	ไม่เกิดผลกระทบใด ๆ กับสัตว์ทดลอง
50-100	การกินอาหารลดลง น้ำหนักตัวลดลง ส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร (เกิดแผล และพยาธิสภาพ) ตับ (มีผลต่อค่าเคมีคลินิก และเกิดพยาธิสภาพ) ไต (ตรวจพบเลือด ความหนาแน่นและปริมาตรของปัสสาวะเปลี่ยนไป เกิดพยาธิสภาพ)
101-150	การกินน้ำและอาหารลดลง น้ำหนักตัวลดลง ส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร (เกิดแผล และพยาธิสภาพ) ตับ (มีผลต่อค่าเคมีคลินิก และเกิดพยาธิสภาพ) ไต (ตรวจพบเลือด ความหนาแน่นและปริมาตรของปัสสาวะเปลี่ยนไป เกิดพยาธิสภาพ)
151-200	ส่งผลต่อ Testicular (ลักษณะรูปร่างของสเปิร์มเปลี่ยนแปลงไป)
201-250	ไม่มีการศึกษา
251-300	การกินน้ำและอาหารลดลง น้ำหนักตัวลดลง ส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร (เกิดแผล พยาธิสภาพเปลี่ยนไป) ตับ (มีผลต่อค่าเคมีคลินิก และพยาธิสภาพเปลี่ยนไป) ไต (ตรวจพบเลือด ความหนาแน่นและปริมาตรของปัสสาวะเปลี่ยนไป น้ำหนักและพยาธิสภาพเปลี่ยนไป) และอัตราการมีชีวิตรอดลดลง

5.1.3 ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic toxicity)

องค์การนานาชาติเพื่อการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer; IARC) ได้จัดให้ฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในกลุ่ม 1 ของการเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ คือ โรคมะเร็งโพรงจมูก ซึ่งมีสาเหตุจากการหายใจฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไป ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างดีเอ็นเอกับโปรตีน (DNA-protein crosslink) ในเนื้อเยื่อหลังโพรงจมูก (nasopharyngeal tissue)⁽⁹⁾ การศึกษาในหนูแรทที่ได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจ 17 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 2 ปี พบว่าเพิ่มอุบัติการณ์การเกิด squamous cell carcinoma ในช่องจมูก⁽¹⁰⁾

จากการศึกษาทางระบาดวิทยาและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการรับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในการประกอบอาชีพและจากสิ่งแวดล้อม จะเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) ซึ่ง IARC (monographs, 2012) และ U.S. National Toxicology Program (NTP) ได้จัดให้ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemogen) แต่กระบวนการเกิดนั้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเนื่องจากการเกิดความเป็นพิษต่อระบบเลือด (hematopoietic system) เนื่องจากภาวะเครียดที่เกิดจากออกซิเดชัน (oxidative stress) ในไขกระดูก (bone marrow) ที่สร้างเม็ดเลือด ผลกระทบดังกล่าวจึงอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาว⁽¹⁸⁾ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) จัดให้ฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในระดับ A2 เป็นกลุ่มที่สงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Suspected Human Carcinogen) และ The United State Environmental Protection Agency (U.S. EPA) จัดให้อยู่ในระดับ B1 น่าจะเป็นสารก่อมะเร็ง⁽¹⁹⁾

5.2 ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกาย มี 3 รูป คือ รูปสารอิสระ (Free state) รูปที่รวมกับสารโมเลกุลใหญ่ในสภาพคืนกลับได้ (Reversibly bound to macromolecules) และรูปที่รวมกับสารโมเลกุลใหญ่ในสภาพคืนกลับไม่ได้ (Irreversibly bound to macromolecules)⁽²⁰⁾ จากกระบวนการทั้งที่อาศัยเอนไซม์ และไม่เอนไซม์มาเกี่ยวข้อง ซึ่งพบได้ดังนี้

5.2.1 ในสัตว์ทั่วไป: การสังเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์พบได้บริเวณภายในเซลล์ ซึ่งมีความเข้มข้นถึง 12 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 400 ไมโครโมลาร์ (μM) โดยปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ ดีแอมิเนชัน (oxidative deamination) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาสำคัญของการสร้างฟอร์มาลดีไฮด์โดยอาศัยเอนไซม์เซมิคาร์บาไซด์-เซนซิทีฟ เอมีน ออกซิเดส (semicarbazide

-sensitive amine oxidase; SSAO) เอนไซม์ SSAO มีทองแดงเป็นส่วนประกอบ พบได้ในกล้ามเนื้อหัวใจ กระดูกอ่อน ในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ ลำไส้ใหญ่ ไต ต่อมหมวกไต และในกระแสเลือด เอนไซม์ SSAO จะทำปฏิกิริยากับเอไมด์ (amide) ได้แอมโมเนีย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) และสุดท้ายคือฟอร์มัลดีไฮด์ ขณะที่เอนไซม์โมโนเอมีนออกซิเดส (monoamine oxidase; MAO) A และ B สามารถสร้างฟอร์มัลดีไฮด์ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ในปฏิกิริยาดีเมทิลเลชัน (demethylation) ของวัฏจักรเมไทโอนีนโฮโมซิสเตอีน (methionine-homocysteine cycles) การใช้หมู่เมทิล (methyl group) นำไปสู่การสร้างฟอร์มัลดีไฮด์ นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาดีเมทิลเลชันของสารอื่นที่ให้ฟอร์มัลดีไฮด์ เช่น ฮิสโตน ดีเมทิลเลชัน (Histone demethylation) ดีเอ็นเอ ดีเมทิลเลชัน (DNA demethylation) อาร์เอ็นเอ ดีเมทิลเลชัน (RNA demethylation) และไมโครโซมอลไซโตโครม พี 450 ดีเพนเดนท ออกซิเดชัน (microsomal cytochrome P-450 dependent oxidation) เป็นต้น⁽²¹⁾ แหล่งอื่นที่สร้างฟอร์มัลดีไฮด์ในร่างกาย คือ one carbon pool เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน (amino acid metabolism) ได้แก่ เซอรีน (serine) ไกลซีน (glycine) เมไทโอนีน (methionine) และ โคลีน (choline) เมแทบอลิซึมของเมทานอล (methanol metabolism) ขบวนการ lipid peroxidation และขบวนการ P-450 dependent demethylation (O-, N-, S-methyl) มีรายงานการศึกษาระดับความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในเลือดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจากการสร้างขึ้นเองภายในร่างกาย มีปริมาณ 2.2, 2.4 และ 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในหนูแรท ลิง และคน ตามลำดับ โดยในคนมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 1-1.5 นาที⁽²¹⁾

5.2.2 ในสัตว์ทะเล: จะมีไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide; TMAO) เป็นสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนแต่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (non-protein nitrogen) ซึ่งเป็นสารที่ป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากตัวสัตว์โดยกลไกทางออสโมซิส (water logout) พบมากบริเวณผิวหนัง ปริมาณความเข้มข้นของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ แปรผันตาม ชนิด อายุ ขนาด ความเค็มของน้ำทะเล บริเวณกล้ามเนื้อช่วงหางมีมากกว่าช่วงหัวของปลา โดยปริมาณที่พบอยู่ระหว่าง 20-1,500 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม^(22, 23) เมื่อสัตว์ทะเลตายไตรเมทิลเอมีนออกไซด์จะเปลี่ยนไปเป็นฟอร์มัลดีไฮด์โดยผ่านกระบวนการ 3 กระบวนการ ดังนี้

(1) โดยเอนไซม์: เอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกซิเดส (Trimethylamine oxidase: TMAOase) สามารถเปลี่ยนไตรเมทิลเอมีนออกไซด์เป็นไดเมทิลเอมีน (Dimethylamine: DMA) และฟอร์มัลดีไฮด์ ปกติไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ ที่พบในปลาจะมีปริมาณแตกต่างกัน เช่น ในปลาคอดและปลาแซลมอน พบประมาณร้อยละ 1 ปลาคอดพบประมาณร้อยละ 1.5

ส่วนปริมาณเอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ มีแตกต่างกันในสัตว์ทะเลแต่ละชนิด หรือ แม้แต่ชนิดเดียวกัน และจะพบมากในอวัยวะมากกว่าในเนื้อ เอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ พบได้มากในปลาคอดและปลาหมึก แต่จะพบน้อยในปลาน้ำจืด⁽²⁴⁾

(2) โดยแบคทีเรีย: แบคทีเรียประเภท *alteromonastetrodonis* และ *putrefaciens* เช่น *Shewanella putrefaciens* จะเปลี่ยนไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ ไปเป็นไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine; TMA) และฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อให้ได้พลังงานไปใช้ ทั้งนี้ไตรเมทิลเอมีน ที่ผลิตขึ้นทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า และมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรีย และความสด ของปลา การเจริญของแบคทีเรียเหล่านี้จะถูกยับยั้งในสภาพแช่แข็ง ดังนั้นในกระบวนการนี้ ฟอร์มาลดีไฮด์จึงเกิดขึ้นได้ไม่มากนัก⁽²⁴⁾

(3) อื่น ๆ : การสลายไตรเมทิลเอมีนออกไซด์เป็นฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้นโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหาร แต่ขณะเดียวกันการเติมสารปรุงแต่ง (additive) บางชนิด เช่น โพลีฟีนอลจากชา (tea polyphenol) แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) กรดซิตริก (citric acid) ไตรโซเดียม ซิเตรท (trisodium citrate) และเรสเวอรอล (resveratrol) จะทำให้การเปลี่ยนของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์เป็นฟอร์มาลดีไฮด์ลดลง⁽²⁴⁾

5.2.3 ในพืช: ฟอร์มาลดีไฮด์ในพืชเป็นผลพลอยได้จากการสังเคราะห์แสง ปริมาณที่มีอยู่ในช่วง 0.5-1.0 มิลลิโมลาร์ (mM) พืชที่มีอัลดีไฮด์เกิดขึ้นก็จะไปรวมกับ แอลอาร์จินีน (L-arginine) เป็นเอ็นจี ไตรไฮดรอกซีเมทิล แอล อาร์จินีน (N(G)-trihydroxymethyl-L-arginine; TriHMA) เข้าสู่การทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ไปตามลำดับ และโดยผ่าน 2 กระบวนการ คือ เมทิลเลชั่น และดีเมทิลเลชั่น ซึ่งเป็นเส้นทางสำคัญการเกิดสารประกอบ เอ็น-เอส-โอ-เมทิลเลท (N-,S-,O-methylated compounds) อันเป็นสารตั้งต้นของฟอร์มาลดีไฮด์⁽²⁰⁾

5.2.4 ความเป็นพิษและกลไกการทำลายพิษ: ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นภายใน ร่างกายอาจทำลายเซลล์ได้ เมื่อจับกับดีเอ็นเอและโปรตีน จึงมีกระบวนการที่ช่วยป้องกันการ เกิดพิษ โดยการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ผ่านกระบวนการทำงานของเอนไซม์ 3 ชนิด คือ เอนไซม์ แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase; ADH) I และ III และเอนไซม์อัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส (aldehyde dehydrogenase; ALDH) II ส่วนฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไม่ถูกกำจัด จะทำปฏิกิริยากับดีเอ็นเอทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ จึงมีกระบวนการที่ช่วยซ่อมแซมดีเอ็นเอ เรียกว่า Fanconi anemia group D2 protein (Fancd2) โดยกระบวนการเหล่านี้ทำให้ ฟอร์มาลดีไฮด์ถูกกำจัดออกจากร่างกาย และไม่ทำความเสียหายต่อเซลล์ ในกรณีที่กระบวนการ ดังกล่าวทำงานผิดปกติหรือทำงานไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์และเกิดพิษ ต่อร่างกายขึ้นได้^(20, 25)

6. การได้รับจากการบริโภค

ฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ การกิน และผิวหนัง ซึ่งจากการศึกษา ยืนยันได้ว่าการได้รับสารในลักษณะที่เป็นไอระเหย ก่อมะเร็งโพรงหลังจมูกได้ ส่วนการได้รับทางการกินจากการปนเปื้อนในอาหารและน้ำดื่มนั้นประเมินการสัมผัสได้ ดังนี้

6.1 ในน้ำดื่ม

ฟอร์มาลดีไฮด์ละลายได้ดีในน้ำ ส่วนใหญ่พบในรูปเมทิลีนไกลคอล (methylene glycol) และโอลิโกเมอร์ (oligomers) มีการตรวจพบฟอร์มาลดีไฮด์สูงถึง 30 ไมโครกรัมต่อลิตร ในน้ำดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยโอโซน หน่วยงาน International Programme on Chemical Safety (IPCS) ในปี 2002 ได้กำหนดค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สามารถรับได้ (tolerable concentration) ผ่านการบริโภคน้ำไว้ที่ 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคำนวณมาจากค่าขนาดของสารที่มากที่สุดซึ่งได้รับแล้วไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของร่างกาย อย่างใดอย่างหนึ่งขึ้น (No Observed Effect Level; NOEL) 260 มิลลิกรัมต่อลิตร (จากการศึกษาในหนูแรทที่ให้ฟอร์มาลดีไฮด์โดยผสมในน้ำดื่มเป็นเวลา 2 ปี และค่าความไม่แน่นอน (uncertainty factor) เท่ากับ 100)^(8, 10)

6.2 ในอาหาร

ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารพบทั้งในรูปสารอิสระและในรูปที่รวมอยู่กับสารอื่น คือ โปรตีน กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) กรดอะมิโน (amino acid) เอมีน (amine) ครีเอติน (creatine) และนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) โดยพันธะเคมี 3 แบบ คือ รีเวอร์สซิเบิล (reversible bond) แอซิด ลาไบล์ (acid-labile bond) และ แอซิด รีซิสแทนท์ (acid-resistant bond)⁽²⁶⁾ มีลักษณะดังนี้

1. reversible bond เป็นการเกิดพันธะเคมีระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์และโปรตีนในส่วนของ ϵ -amino group of lysine, α -amino group of N-terminal amino acid, guanidyl group of arginine และ aromatic ring nitrogen ของ histamine และ ของ tryptophan

2. acid-labile bond เป็นการเกิดพันธะเคมีระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับโปรตีน ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมกันของไลซีน (lysine) กับอาร์จินีน (arginine) แอสพาราจีน (asparagine) หรือกลูตามีน (glutamine) โดยหมู่เมทิลีน (methylene bridges)

3. acid-resistant bond เป็นการเกิดพันธะระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับโปรตีน เกิดเป็นเมทิล ไลซีน (methyl-lysine) ฟอร์มิล ไลซีน (formyl-lysine) และไลซีน ไทโรซีน (lysine-tyrosine) ที่เชื่อมกันด้วยหมู่เมทิลีน (methylene bridges) มีการศึกษาพบว่า

อาร์จินีน (arginine) ไทโรซีน (tyrosine) และไลซีน (lysine) มีความว่องไวที่จะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ ทำให้เกิดการรวมกันโดยพันธะเคมีระหว่างอัลดีไฮด์และโปรตีนขึ้นในลักษณะของ methylol groups, Schiff bases และ imidazolidinone adducts

7. การประเมินการได้รับฟอร์มัลดีไฮด์จากการบริโภค

เมื่อบริโภคฟอร์มัลดีไฮด์เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร และไปรวมเข้ากระบวนการที่เกิดฟอร์มัลดีไฮด์ทั้งหมดในร่างกาย และจะออกซิไดส์ไปเป็นกรดฟอร์มิกอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเข้าสู่ระบบ one-carbon pool และจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ หน่วยงาน European Food Safety Authority (EFSA) ประเมินการได้รับฟอร์มัลดีไฮด์จากปริมาณที่พบได้ในธรรมชาติของอาหารทั้งพืชและสัตว์ พบว่าจากการบริโภคอาหาร 1 กิโลกรัมต่อวัน จะได้รับฟอร์มัลดีไฮด์ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม หรือประมาณ 1.7-1.4 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (mg/kg b.w./day) สำหรับคนน้ำหนัก 60-70 กิโลกรัม^(21, 27) และในปี 2006 EFSA ได้สรุปว่า ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะแสดงว่าฟอร์มัลดีไฮด์จากการบริโภคทำให้เกิดมะเร็ง⁽²⁸⁾ ขณะที่ European Commission (EC) ประเมินค่าการได้รับอยู่ในช่วง 4.35-41.9 มิลลิกรัมต่อคนต่อวัน โดยคำนวณจากค่าต่ำสุดและสูงสุดที่มีในอาหารจากข้อมูลที่มีการสำรวจไว้ และพบว่า นม เนื้อ และปลาเป็นอาหารที่มีอัตราส่วนการบริโภคสูง⁽²⁷⁾

ปี ค.ศ.2014 EFSA ได้สรุปข้อคิดเห็นเกี่ยวกับฟอร์มัลดีไฮด์ดังนี้

1. ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นสารที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดเมแทบอลิซึมของเซลล์ และมีความเข้มข้นประมาณ 400 ไมโครโมลาร์ (12 มิลลิกรัมต่อลิตร) มาจากการสังเคราะห์ขึ้นเองภายในเซลล์ ซึ่งมาจากกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้ one carbon pool เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน เมแทบอลิซึมของเมทานอล ขบวนการ lipid peroxidation และขบวนการ P450 dependent demethylation

2. เมแทบอลิซึมของฟอร์มัลดีไฮด์ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและถูกเร่งโดยเอนไซม์ในร่างกายให้กลายเป็นกรดฟอร์มิก และจะเข้าสู่ one carbon pool แล้วจะถูกขับออกในรูปปัสสาวะ หรือกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทางลมหายใจ ด้วยคุณสมบัติที่นำไฟฟ้าทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่าง ๆ ภายในร่างกายได้ รวมทั้งกับกลูตาไธโอน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และกรดโฟลิก

3. ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในเลือดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมาจากการสร้างขึ้นภายในร่างกาย และมีความใกล้เคียงกันระหว่างสปีชีส์ต่าง ๆ เช่น 2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในหนู 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในลิง และ 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในคน เป็นต้น ครึ่งชีวิตของฟอร์มัลดีไฮด์ใน

คนนั้นสั้นมาก ประมาณ 1-1.5 นาที่ ประเมินค่าหมุนเวียนในร่างกายแต่ละวันได้ประมาณ 878-1,310 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (จากของเหลวทั้งหมดในร่างกาย 49 ลิตร)

4. ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบได้ในธรรมชาติของอาหารมีความแตกต่างตามชนิดของอาหาร เช่น ในน้ำนมตรวจพบน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือในปลาบางชนิดตรวจพบมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น

5. การตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์มีข้อมูลการศึกษาวิจัยไม่มากนักส่วนใหญ่มีการศึกษาในวัว ได้แก่ ในน้ำนมและในเนื้อ พบว่าอยู่ในช่วง 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.1 ของค่าที่พบได้ในธรรมชาติของอาหาร และน้อยกว่าร้อยละ 0.001 ของค่าหมุนเวียนที่เกิดขึ้นในร่างกายประจำวัน

6. การได้รับฟอร์มาลดีไฮด์จากการบริโภคแอสพาแทมและกลายไปเป็นเมทานอลที่ระดับประเมินการได้รับต่อวันได้ 4 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (ร้อยละ 10 ของปริมาณที่ได้รับ) ซึ่งเป็นเพียงร้อยละ 0.3-0.4 ของผลรวมจากอาหารและจากค่าหมุนเวียนภายในร่างกาย

EFSA ประเมินปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมดที่มีอยู่ในร่างกายมนุษย์ โดยสมมติให้มีอยู่ในของเหลวทั้งหมดที่ปริมาตรทั้งหมด 42 และ 49 ลิตร สำหรับผู้ใหญ่ น้ำหนักตัว 60 และ 70 กิโลกรัม ตามลำดับ คุณสมบัติของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ละลายได้ดีในน้ำ และค่าครึ่งชีวิตที่ประเมินไว้ 1-1.5 นาที่ คำนวณได้ปริมาณที่มีอยู่ในร่างกายเท่ากับ 1.82 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม โดยใช้สภาวะเสถียรที่ 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะมีค่าของการหมุนเวียน (turnover) ที่ 0.61-0.91 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อนาที (mg/kg b.w./min) หรือ 878-1,310 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน เพื่อคงระดับของฟอร์มาลดีไฮด์ไว้ที่ 2.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกระแสเลือด⁽²¹⁾

8. เกณฑ์ความปลอดภัย และค่าที่กำหนดตามกฎหมายในอาหารและน้ำดื่ม

8.1 เกณฑ์ความปลอดภัย

- U.S. EPA กำหนดค่าขนาดของสารที่ยอมรับให้บริโภคได้ต่อวันแล้วไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียใด ๆ ต่อร่างกาย (Reference dose; RfD) ไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน⁽¹⁹⁾

- World Health Organization; WHO กำหนดค่าปริมาณได้รับประจำวันที่ทนได้ (Tolerable daily intake; TDI) ไว้ไม่เกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน⁽¹⁰⁾

- The Food Safety Commission of Japan; FSCJ (FS/42/2008) กำหนดค่า TDI ในอาหารและน้ำดื่มไว้ที่ 15 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (0.015 มิลลิกรัม

ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน)⁽²⁹⁾

8.2 ค่าที่กำหนดตามกฎหมาย

- European Commission Directive (95/2/EC) กำหนดค่าฟอร์มาลดีไฮด์ตกค้างในเนยแข็งไว้ไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁽³⁰⁾

- Italian Health Department ประเทศอิตาลี กำหนดค่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่ให้มีได้ในปลาสดไว้ ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่มีเปลือก ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁽²⁴⁾

- Chinese Ministry of agriculture ประเทศจีน กำหนดค่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่ให้มีได้ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลไว้ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁽²⁴⁾

- Ministry of Health; MOH. Chinese National Standard ประเทศจีน กำหนดค่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่ให้มีได้ในน้ำดื่ม และในเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ไว้ ไม่เกิน 0.9 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ^(31, 32)

- China Quality Inspection Administration ประเทศจีน กำหนดค่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่ให้มีได้ (ชั่วคราว) ในเห็ดสดและแห้งไว้ ไม่เกิน 63 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ⁽²⁶⁾

- Malaysian Food Regulation ประเทศมาเลเซีย กำหนดค่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่ให้มีได้ในปลาและผลิตภัณฑ์ไว้ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁽³³⁾

9. วิธีวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร

การวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารมีหลายวิธี โดยอาศัยเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งมีความไว ความถูกต้อง แม่นยำ ความรวดเร็ว ข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมต่อชนิด และสถานการณ์ของตัวอย่างแตกต่างกันไป แบ่งตามเทคนิคและวิธีการที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ได้ดังนี้⁽³⁴⁾

9.1 สเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับสารเคมีที่จำเพาะ เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่มีหรือไม่มีสีก็ได้ และวัดความเข้มข้นหรือการเปลี่ยนแปลงของสารผลิตภัณฑ์ ที่ความยาวคลื่นเหมาะสมกับสารนั้น ซึ่งแปรผันกับปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ตัวอย่างของสารเคมีและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

9.1.1. Nash method: เป็นวิธีที่ง่าย ค้นพบโดย Nash มาตั้งแต่ปี 1953 เป็นปฏิกิริยา Hantzsch ระหว่างอะเซติลอะซิโตน (acetyl acetone) แอมโมเนีย และฟอร์มาลดีไฮด์ ในสภาวะที่ใช้ความร้อนเพื่อเร่งปฏิกิริยา ให้เป็น 3,5-ไดอะซีติล-1,4-ไดไฮโดรลูทีดิน (3,5-diacetyl-1,4-dihydrolutidine) และวัดปริมาณที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร (nm) เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ จะต้องปรับความเป็นกรด-ด่าง

โดยแอมโมเนียม อะซิเตต (ammonium acetate) และให้ความร้อน ความไวของการวิเคราะห์จะเพิ่มขึ้นได้เมื่อวัดฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัม (fluorescence spectrum) วิธีนี้มีความจำเพาะ มีความไวในการตรวจวัด และกระทำภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรง มีความถูกต้อง และเป็นที่ยอมรับ ข้อเสียคือต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยา จึงมีข้อจำกัดในการที่จะพัฒนาไปสู่การวิเคราะห์แบบอัตโนมัติหรือนำไปใช้ภาคสนาม

9.1.2 4-Amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazol (AHMT) method: โดยการทำให้ปฏิกิริยาของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สกัดได้จากตัวอย่างกับ AHMT ในสภาวะที่เป็นด่างเข้มข้น และวัดสารสีม่วงที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร วิธีนี้มีความไวในการตรวจวัดในระดับความเข้มข้นเป็นส่วนในล้านส่วน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, มิลลิกรัมต่อลิตร) มีความถูกต้อง และเป็นที่ยอมรับ นิยมใช้วิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารทั่วไป และอาหารทะเล เช่น ปลา ปลาหมึก เป็นต้น ข้อเสียคือต้องปฏิบัติในสภาวะที่เป็นด่างเข้มข้น และมีสารคาร์บอนเนตเกิดขึ้น

9.1.3 Kinetic spectrophotometric method: เป็นวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีที่วัดผลการเร่งปฏิกิริยา (catalytic effect) ในการทำให้ปฏิกิริยาของสารโดยอาจจะเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสี หรือไม่มีสีก็ได้ ขึ้นอยู่กับสารที่มาทำปฏิกิริยากัน วิธีนี้มีข้อดีคือ ช่วยเพิ่มความไวและความจำเพาะของการวิเคราะห์ เช่น การทำให้ปฏิกิริยาระหว่างโรดามีน บี (Rhodamine B; RhB) กับโพแทสเซียม โบรเมต (potassium bromate) โดยมีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การวัดทางสเปกโตรโฟโตเมทรี เป็นการตรวจติดตามการจางลงของสารสีม่วงจนกระทั่งไม่มีสี ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร วิธีนี้สามารถวัดสารได้ต่ำที่ความเข้มข้น 2.90 ไมโครกรัมต่อลิตรหรือส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เป็นวิธีที่ง่าย เร็ว มีความถูกต้อง สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารทะเล โดยเฉพาะปลาได้เป็นอย่างดี

9.2 โครมาโทกราฟี (Chromatography) เป็นการแยกฟอร์มาลดีไฮด์ หรือสารอนุพันธ์ (derivative) ออกจากส่วนผสมอื่นให้บริสุทธิ์ด้วยสารพาที่เคลื่อนที่ไปบนวัฏภาคนิ่ง และตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัด (detector) ที่เหมาะสมกับสารที่แยกได้ เทคนิคที่นิยมคือ ไฮเพอร์ฟอร์แมนลิกวิดโครมาโทกราฟี (high performance liquid chromatography; HPLC) และแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography; GC)

9.2.1 ไฮเพอร์ฟอร์แมนลิกวิดโครมาโทกราฟี: วิธีนี้อาศัยการกลั่นและเปลี่ยนรูปของฟอร์มาลดีไฮด์ในกระบวนการทำให้เกิดสารอนุพันธ์ (derivatization) โดยใช้ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน (2,4-Dinitrophenylhydrazine; 2,4-DNPH) แยกสารอนุพันธ์ด้วยไฮเพอร์ฟอร์แมนลิกวิดโครมาโทกราฟี ตรวจวัดด้วยยูวี ดีเทคเตอร์ (UV detector)

ที่มีความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร โดยวิธีนี้จะมีความจำเพาะเจาะจงสูง มีความแม่นยำ ความเที่ยง และความไวในการตรวจวัด เหมาะต่อการวิเคราะห์กลุ่มอาหารทะเล เช่น ปลาหมึก ได้ที่ความเข้มข้นต่ำในระดับส่วนในพันล้านส่วนและที่ความเข้มข้นสูงในระดับส่วนในล้านส่วน ข้อเสียคือ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประเภทอัลดีไฮด์ และคีโตนได้ดีเช่นกัน และในกระบวนการทำให้เกิดสารอนุพันธ์ ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

9.2.2 โซลิดเฟสไมโครเอกซ์แทรกชัน-แก๊สโครมาโตกราฟี (Solid Phase Microextraction (SPME)-GC-MS): วิธีนี้ใช้วัสดุไฟเบอร์ชนิดพิเศษมาจับฟอร์มาลดีไฮด์ จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้น และทำให้เกิดสารอนุพันธ์ได้ต่อเนื่องในขั้นตอนเดียว โดยใช้เพนตะฟลูออโรเบนซิลไฮดรอคซิลลามีน ไฮโดรคลอไรด์ (Pentafluorobenzyl-hydroxylamine Hydrochloride; PFBHA) แล้วแยกสารอนุพันธ์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี และตรวจวัดด้วยแมส ดีเทคเตอร์ (Mass detector) ข้อดีของวิธีนี้คือ ทำการวิเคราะห์ได้ต่อเนื่อง ประหยัดเวลา มีความไวสูง สามารถวิเคราะห์สารที่ปริมาณต่ำที่ระดับส่วนในพันล้านส่วนได้ดี ข้อเสียคือ วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ยังมีราคาแพง

9.3 ฟลูออโรเมตรี (Fluorometry) เป็นวิธีที่อาศัยการวัดด้วยเครื่องฟลูออโรมิเตอร์ (fluorometer) หลังจากฟอร์มาลดีไฮด์ทำปฏิกิริยาโดยสารเคมีมาแล้ว สามารถทำการวัดแบบต่อเนื่องได้เมื่อทำในระบบ flow injection สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีหลายชนิด เช่น 2,4-เพนเทนไดโอน (อะซิติลอะซีโตน) (2,4-pentanedione (acetylacetone)), 5,5-ไดเมทิล-1,3-ไซโคลเฮกเซนไดโอน ไดมิโดน (5,5-dimethyl-1,3-cyclohexanedione dimedone), 1,3-ไซโคลเฮกเซนไดโอน (ซีเอชดี) (1,3-cyclohexanedione (CHD)), 4-อะมิโน-3-เพนเทน-2-1 (ฟลูอออรอล-พี) (4-amino-3-pentene-2-1(Fluoral-P)), อะซิโตอะซิทานิลด์ (acetoacetanilide; AAA) เป็นต้น ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์จะมีราคาแพง เมื่อเทียบกับเครื่อง spectrophotometer แต่มีความไวในการวิเคราะห์ดีกว่า

9.4 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose; E-nose) วิธีนี้มีการพัฒนานำมาใช้กันมากขึ้นโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อการควบคุมคุณภาพ มีหลักการทำงานโดยใช้เซนเซอร์ที่ความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไปเมื่อดูดซับสารระเหย มาเป็นตัววัดแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ เทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ใช้งานเมื่อเชื่อมกับเทคนิคทางเคโมเมตริก (chemometric) ประสบความสำเร็จอย่างกว้างขวางในด้านการตรวจสอบการปลอมปนอาหาร ตัวอย่างที่มีการพัฒนานำมาใช้ เช่น การพัฒนาแก๊ส เซ็นเซอร์ (gas sensor) แบบ solid-state-based ชื่อ FishNose ที่ใช้ตรวจปลาแชลมอนรมควัน ซึ่งสามารถวัดโดยตรงจากตัวอย่างได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการดึงตัวอย่างออกมาวัด จึงประหยัดเวลา และมีความแม่นยำ อีกชนิด

คือ E-nose กับ 6 TGS gas sensor เพื่อวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ และการเสื่อมสภาพของ ปลาหมึกยักษ์ ได้ประสบผลสำเร็จ

9.5 ไบโอเซนเซอร์ (Biosensor) วิธีนี้เป็นการใช้เทคนิคทางอิเล็กโตรเคมีสทรี (electrochemistry) ซึ่งประกอบด้วยโพเทนชิโอเมตริก (potentiometric), แอมเพอโรเมตริก (amperometric), คอนดักโตเมตริก (conductometric) เป็นต้น โดยใช้สารทางชีวมวล มาจับฟอร์มาลดีไฮด์ แล้วเกิดกระบวนการทางชีวภาพทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น เช่น มีความร้อน มีการส่งผ่านอิเล็กตรอน การดูดกลืนพลังงานแสง เป็นต้น จึงสามารถตรวจวัดได้โดยเทคนิคข้างต้น สารทางชีวภาพอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ ไบโอคะตะไลติก (biocatalytic) ไบโอแอฟฟินิตี (bioaffinity) และไฮบริด รีเซปเตอร์ (hybrid receptor) ซึ่งจะถูกตรึงโดยการดูดซับ หรือโดยพันธะโควาเลนต์ ให้ติดกับวัสดุที่มีความไวในการตรวจจับ สัญญาณที่เกิดขึ้น ไบโอเซนเซอร์ยังไม่ค่อยมีการพัฒนามาใช้เพื่อตรวจฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร

9.6 การตรวจคัดกรอง (Screening test) ด้วยชุดทดสอบ (test kits) ใช้เทคนิค การตรวจวิเคราะห์ที่สามารถเห็นผลการตรวจได้รวดเร็วโดยการเปรียบเทียบสี หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีของสารเคมีกับฟอร์มาลดีไฮด์แล้วเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ทราบปริมาณ เช่น โดยเทคนิคคลอริเมตรี (Colorimetry) จากปฏิกิริยา pararosaniline-based reaction วิธีนี้มีความไวน้อย และถูกรบกวนด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีในอาหาร สารที่ใช้ทำปฏิกิริยาเป็น Chromogenic agents ชนิดต่าง ๆ เช่น 3-เมทิล-2-เบนโซไทอาโซโลนไฮดราโซน (3-methyl-2-benzothiazolonehydrazone; MBTH) สาร MBTH มีราคาค่อนข้างแพง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า และมีข้อจำกัดในด้านความไวของการวัด วิธีนี้อาจใช้วัดตัวอย่างที่อยู่ในสถานะแก๊สได้ หรือใช้ 4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,3-triazol ในการทำให้เกิดสี จะเป็นการทำปฏิกิริยาค่อนข้างเร็วแต่มีข้อจำกัดในด้าน ความไวของการวัดและถูกรบกวนด้วยอัลดีไฮด์

การเตรียมตัวอย่าง

ฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารอาจมีทั้งในรูปอิสระและรวมกับสารอื่น คือ โปรตีน กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน เอมีน ครีเอติน และนิวคลีโอไทด์ โดยพันธะเคมี 3 ชนิด คือ reversible bond, acid-labile bond, acid-resistant bond การตรวจวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์จะตรวจได้ 2 แบบ คือ ตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์อิสระ และฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมดซึ่งรวมทั้ง 2 รูปแบบ คือ รูปอิสระและรูปที่รวมกับสารอื่น ดังนั้นหากมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ใน รูปแบบที่แตกต่างกัน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการเตรียมตัวอย่างเพื่อแยกฟอร์มาลดีไฮด์ออกมา จากอาหาร ซึ่งใช้วิธีที่แตกต่างกันดังนี้

1. เพื่อการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์อิสระ จะทำการสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลาย เช่น น้ำหรือสารละลายกรด โดยใช้คลื่นความถี่สูง (sonicate) หรือเขย่า (shaker) เพื่อให้ฟอร์มาลดีไฮด์แยกออกมาจากตัวอย่าง ละลายลงสู่ตัวทำละลาย แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคที่เหมาะสมต่อไป ข้อเสียคือ โดยวิธีสกัดตัวอย่างอาจไม่สามารถกำจัดสารรบกวนออกไปได้หมด ทำให้มีปัญหาในช่วงการวัดได้

2. เพื่อการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด เตรียมตัวอย่างโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เพื่อแยกฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งฟอร์มาลดีไฮด์อิสระ และ ฟอร์มาลดีไฮด์ที่รวมกับสารอื่น ออกมาจากตัวอย่าง ละลายลงสู่ตัวทำละลาย แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคที่เหมาะสมต่อไป การกลั่นตัวอย่างเป็นการกำจัดสารรบกวนได้ดี แต่มีข้อเสียคือใช้เวลานาน ในการแยกฟอร์มาลดีไฮด์ที่รวมอยู่กับสารอื่นให้ออกมา

เมื่อสกัดได้สารละลายตัวอย่างแล้วส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยาอนุพันธ์ (derivatization) ของฟอร์มาลดีไฮด์ กับ DNPH หรือใช้ Nash's reagent เพื่อทำให้เกิดสีและตรวจวัดปริมาณด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี หรือสเปกโตรโฟโตเมทรี

3. การตรวจคัดกรองด้วยชุดทดสอบอาหาร เมื่อต้องการตรวจฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปอิสระที่อาจมาจากการเจตนาเติมเพื่อให้อาหารสด ไม่เน่าเสีย ข่าเชื้อโรค หรือปรับเนื้ออาหารให้ฟู เพื่อเพิ่มน้ำหนัก เช่น อาหารทะเล เนื้อสัตว์ ผักสด เป็นต้น จะใช้ตรวจน้ำแช่อาหาร เพื่อตรวจการตกค้างที่หลงเหลืออยู่ และในการเตรียมตัวอย่าง ห้ามบด สับหรือขยี้ตัวอย่าง เพื่อป้องกันฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหาร สี หรือสารรบกวนจากอาหารละลายออกมา

การเติมฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารมีการนำมาใช้เฉพาะอาหารบางประเภทด้วยวัตถุประสงค์เพื่อการเก็บรักษา เพิ่มคุณสมบัติ และฆ่าเชื้อโรค เช่น สารทำให้เกิดเจล (gelling agent) เนยแข็ง อาหารสัตว์ เป็นต้น โดยกำหนดปริมาณที่หลงเหลือตกค้างในผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่าอาจมีการเติมฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารบางประเภทอย่างผิดกฎหมาย ขณะเดียวกันในอาหารตามปกติอาจมีฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติอยู่ด้วย ด้วยเหตุที่รูปแบบของฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารมี 2 แบบ ตามที่กล่าวมา ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์จึงเป็นกลไกสำคัญในการบ่งถึงปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารว่ามาจากสารในรูปใด และควรแจ้งวิธีที่ใช้สกัดตัวอย่างประกอบในรายงานผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย เพื่อเป็นข้อมูลถึงที่มาของรูปแบบสารที่ตรวจวัดได้

10. การศึกษาวิจัย

10.1 การศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหาร

ในอาหารจะมีฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ จากการรวมเพื่อฆ่าแมลง จากการปรุงอาหาร หรือมาจากภาชนะบรรจุที่ทำจากเรซินที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบ ในเนียบางชนิดมีการใช้เพื่อยับยั้งแบคทีเรีย ค่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบได้ในอาหารตามธรรมชาติ พบน้อยสุดในนมสด คือ 0.03-น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบในอวัยวะของหมู ได้แก่ ตับ ไต และเนื้อ มีค่า 11.8 ± 0.17 , 8.75 ± 0.28 และ 6.24 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในแฮมที่ทำจากหมู และไก่วง มีค่า 2.9-4.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในไส้กรอกมีค่า 10-20.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในแฮมรมควันมีค่าสูงถึง 224-267 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁽²¹⁾

ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในปลาจะพบสูงกว่าอาหารประเภทอื่น มีรายงานว่าในปลาแฮค (hake) แซ่แข็ง มีฟอร์มาลดีไฮด์ประมาณ 232-293 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาแฮคคัต (haddock) และปลากระบอก (mullet) พบในช่วง 1.47-4.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁽³⁵⁾ และค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในปลาคอด (cod) เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอาหารประเภทผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล และแครอท พบอยู่ในช่วง 6.3-6.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในแตงโม แอปปริคอต มะเขือเทศ ถั่ว และมันฝรั่ง พบฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 9.0, 9.5, 13.3, 16.3 และ 19.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กลุ่มผักต่าง ๆ เช่น กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี และบิทรูท พบฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 26.9, 31 และ 35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ⁽²¹⁾ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบในอาหารประเภทต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3

10.2 การศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่สะสมในเนื้อ และอวัยวะของสัตว์

มีการศึกษาไม่มากนักเกี่ยวกับการสะสมของฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อเยื่อของสัตว์หลังจากการบริโภคอาหารที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อน เช่น การศึกษาในวัวที่ให้หางนม ซึ่งมีฟอร์มาลดีไฮด์ 21.4, 42.8 และ 64 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับวัวที่หนัก 650 กิโลกรัม เป็นเวลา 33 วัน ตรวจพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำนมมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ 0.02, 0.07 และ 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผู้วิจัยสรุปว่า การเก็บ และการพาสเจอร์ไรส์ ทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปอิสระลดลง จากการเปลี่ยนไปรวมกับโปรตีนของนม พบค่าเฉลี่ยของฟอร์มาลดีไฮด์ในกระแสเลือดเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยหลังจาก 33 วัน แต่ไม่ได้เพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในลูกวัว 6 ตัว ซึ่งให้อาหารที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เฉลี่ย 0, 24.1 และ 45.0 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน เป็นเวลา 95 วัน ลูกวัว 2 ตัวจากแต่ละกลุ่มตัวอย่างถูกนำมาฆ่าเมื่อเลี้ยงไปถึงวันที่ 81, 88 และ 95 นำหัวใจ ไต และตับมาวิเคราะห์พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อมากกว่ากลุ่มควบคุม แต่การศึกษานี้ยังมีข้อเสียในด้านความไม่แน่นอน เนื่องจากใช้สัตว์ทดลองเพียง 2 ตัวต่อกลุ่ม การศึกษาการเลี้ยงวัวโดยให้อาหารที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ 5 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์ โดยผสมในถั่วเหลืองที่ใช้เป็นอาหาร พบว่า

เมื่อผ่านไป 3 สัปดาห์ ในน้ำมันมีฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.023-0.039 มิลลิกรัมต่อลิตร เพิ่มขึ้นเป็น 0.095-0.114 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 10 จะพบฟอร์มาลดีไฮด์ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร อีกการศึกษาพบฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้นในเนื้อวัว เมื่อเลี้ยงด้วยถั่วเหลืองที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปริมาณ 1 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 12 เดือน ค่าฟอร์มาลดีไฮด์จาก 0.065 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นเป็น 0.167 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ด้วยการศึกษาที่จำกัดนี้อาจสรุปได้ว่า มีการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อ และน้ำมันของวัวได้เมื่อให้อาหารที่มีการเติมฟอร์มาลดีไฮด์ อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบยังน้อยกว่าค่าที่พบตามธรรมชาติของอาหาร

ตารางที่ 3 ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบในอาหารประเภทต่าง ๆ^(35, 36)

ผลิตภัณฑ์อาหาร	ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ผลิตภัณฑ์ที่พบสูงสุด
เนื้อสัตว์		
(เนื้อทำแซนวิช เนื้อตัดเย็น แฮม ไส้กรอก แฮมรมควัน)	2.5-267	แฮมรมควัน
นมและผลิตภัณฑ์นม	0.041-3.3	ชีส
(นมแพะ นมวัว นมสด นมปรุงแต่ง ชีส)		
อาหารทะเล		
- ปลา	6.4-293	ปลาทะเลน้ำลึกแช่แข็ง
- Crustaceans (กุ้ง กั้ง ปู)	1-98	(deep frozen hake)
- ปลาหมึกสด	0.26-19.7	
- ปลาหมึกแห้งฉีก	0-169.6	
ผลไม้และผัก		
(แอปเปิ้ล แครอท แตงโม แอปปริคอต มะเขือเทศ ถั่วลิสง มันฝรั่ง กะหล่ำปลี บัตร์นัท ลูกแพร์ หัวหอม ผักกาดหัว เห็ดชิตาเกะ)	6.3-406	เห็ดชิตาเกะ (เห็ดหอม)
กาแฟ		
(กาแฟพร้อมดื่ม กาแฟผงสำเร็จรูป)	3.4-16.3	กาแฟผงสำเร็จรูป
เครื่องดื่ม		
(ผสมแอลกอฮอล์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์ เบียร์)	0.02-8.7	เครื่องดื่มไม่ผสมแอลกอฮอล์ (soft drink)
น้ำตาลและสารให้ความหวาน	0.75	

10.3 การศึกษาปริมาณเอนไซม์ไทรเมทิลเอมีนออกไซด์ และไทรเมทิลเอมีนออกไซด์

นักวิจัยของจีนได้ศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในปลาหมึกแช่แข็งและปลาหมึกแห้งฉีกจำนวน 4 สายพันธุ์ ด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนลิควิดโครมาโทกราฟี ผลการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างของระดับฟอร์มาลดีไฮด์ในปลาหมึกทั้ง 4 สายพันธุ์ และพบปริมาณสูงในอวัยวะภายในมากกว่าบริเวณกล้ามเนื้อ ส่วนปลาหมึกแห้งฉีกซึ่งทำมาจากเนื้อปลาหมึก 2 สายพันธุ์จะพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่าเนื้อปลาหมึกสด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในปลาหมึก 4 สายพันธุ์⁽³⁷⁾

สายพันธุ์	ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	กล้ามเนื้อ	อวัยวะภายใน	ปลาหมึกแห้งฉีก
<i>Dosidicus gigas</i>	17.3±1.62 ^b	165±15.2 ^b	35.3±1.92
<i>Japanese Ocean</i>	10.7±0.16 ^c	42.2±1.52 ^d	34.4±0.81
<i>Illex argentinus</i>	19.7±0.58 ^a	412±59.6 ^a	-
<i>North Pacific Ocean</i>	10.9±0.22 ^c	119±11.2 ^a	-

Values were given as mean ± SD from six determination. Different letters in the same column indicated significant differences ($p < 0.05$). – Not determined

ในการศึกษานี้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบมีค่าแตกต่างกัน ผู้วิจัยอธิบายว่า เป็นความแตกต่างจากระดับของสารไทรเมทิลเอมีนออกไซด์ที่มีอยู่ในปลาหมึกแต่ละสายพันธุ์ และจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เปลี่ยนสารไทรเมทิลเอมีนออกไซด์ เป็นไดเมทิลเอมีน และฟอร์มาลดีไฮด์ นอกจากนี้มีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ เช่น ขนาดของปลาหมึก คุณภาพของอาหารที่กิน บริเวณที่พบ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นอิทธิพลของระดับสารไทรเมทิลเอมีนออกไซด์ในปลาหมึก ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบในการศึกษานี้มีค่าเกินจากค่าที่กำหนดโดยกระทรวงเกษตรแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน (Ministry of Agriculture in China) ในปี 2002 ซึ่งกำหนดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสัตว์น้ำไว้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁽³⁷⁾

10.4 การศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหาร โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารต่าง ๆ ช่วงปี พ.ศ. 2526-2535 แบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 2 ช่วง ๆ ละ 5 ปี ตัวอย่างที่นำมาศึกษาเป็นตัวอย่างอาหารที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด เก็บจากแหล่งที่จำหน่ายผู้บริโภคโดยตรง จำนวน 384 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผักทั่วไปจำนวน 176

ตัวอย่าง ผักที่มีกลิ่นแรงจำนวน 68 ตัวอย่าง ปลาและสัตว์ทะเลจำนวน 140 ตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยวิธี spectrophotometric method ผลการตรวจวิเคราะห์ พบว่า ผักทั่วไปทุกชนิดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ใน 2 ช่วงเวลาไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนในสัตว์ทะเลมีความแตกต่างกัน โดยตรวจพบในช่วงที่ 2 มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากระยะ 5 ปีหลังต้องออกจับสัตว์น้ำในทะเลลึกห่างไกลกว่าระยะ 5 ปีแรก ใช้ระยะเวลาขนส่งนาน อาจทำให้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจพบสูงขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับประเภทผัก พบว่า ผักที่มีกลิ่นแรงมีปริมาณสูงกว่าในผักทั่วไป⁽³⁸⁾ ปริมาณที่ตรวจพบดังนี้

- เห็ดหอมสด พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 127.8-248.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ผักที่มีกลิ่น ได้แก่ ต้นหอม คื่นฉ่าย สะตอและชะอม พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 1.0-34.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ผักทั่วไป พบฟอร์มาลดีไฮด์ 1.0-2.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- อาหารทะเล (ปลา ปลาหมึก ปู กุ้ง) พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 1.0-3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

10.5 การตรวจเฝ้าระวังการปนเปื้อนในอาหาร

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร ได้มีการเฝ้าระวังฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารทั่วไป มาอย่างต่อเนื่องโดยใช้ชุดทดสอบ ซึ่งดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2546 จนถึงปัจจุบัน จากการสุ่มตรวจอาหารที่จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เกต ตลาดสด ตลาดค้าส่ง แผงลอย ร้านอาหารในโรงเรียน โรงพยาบาล ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และหน่วยงานต่าง ๆ ของกระทรวงสาธารณสุข รวมถึงกระทรวงอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้ร่วมมือกันรณรงค์ให้ความรู้ อบรมผู้ประกอบการ และแก้ปัญหาดังกล่าวมาตลอด ตัวอย่างที่มักตรวจพบ ได้แก่ ปลาหมึกกรอบ สไลนาง ปลาหมึกสด ดังตารางที่ 5

ในปี 2559 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ 14 แห่งทั่วประเทศ ร่วมกับสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและกรุงเทพมหานคร จัดทำโครงการสำรวจการปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารโดยใช้ชุดทดสอบตรวจน้ำแช่อาหาร สำรวจอาหารที่เป็นกลุ่มเสี่ยงที่จะมีการปนเปื้อน หรือมีโอกาสนำฟอร์มาลดีไฮด์มาใช้ในทางที่ผิด เช่น ปลาหมึกสด ปลาหมึกกรอบ สไลนาง เป็นต้น เก็บตัวอย่างจากตลาดสด ตลาดค้าส่ง ตลาดนัด รถเร่ ฯลฯ โดยวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้สถานการณ์ความเสี่ยงที่เป็นปัจจุบัน เพื่อกำหนดแนวทางการบริหารจัดการแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจากผลการตรวจเฝ้าระวัง พบว่า ปลาหมึกกรอบ พบร้อยละ 48 สไลนางขาว พบร้อยละ 42 ปลาหมึกสด พบร้อยละ 10 และสไลนางดำ พบร้อยละ 8 ดังตารางที่ 6 จากข้อมูลที่ได้

พบว่าตัวอย่างที่มีการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์มากที่สุดอันดับที่ 1 คือ ปลาหมึกกรอบ และ อันดับที่ 2 คือ สไล่นางขาว ซึ่งเป็นอาหารในกลุ่มอาหารแปรรูป โดยเฉพาะสไล่นางขาว พบร้อยละ 42 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสไล่นางดำ พบเพียงร้อยละ 8 แสดงว่าการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์น่าจะมาจากกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่นเดียวกับปลาหมึกกรอบซึ่งพบร้อยละ 48 แต่ในปลาหมึกสด พบเพียงร้อยละ 10 ส่วนสำหรับตัวอย่างอาหารอื่น ๆ ผลการสำรวจยังตรวจไม่พบการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์

ตารางที่ 5 ผลการตรวจเฝ้าระวังฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารด้วยชุดทดสอบระหว่างปี 2546-2559

ปีงบประมาณ	จำนวนตัวอย่าง		หมายเหตุ
	ทั้งหมด	ไม่ผ่านเกณฑ์ (ร้อยละ)	
2555	1,798	17 (0.94)	ตัวอย่างที่พบมากที่สุด 1. ผ่าซีรวิว/สไล่นาง 2. ปลาหมึกกรอบ /ปลาหมึกแช่ต่าง 3. ปลาหมึกสด
2556	1,211	10 (0.83)	
2557	1,547	6 (0.39)	
2558	1,212	4 (0.33)	
2559	735	2 (0.27)	
รวม	6,503	39 (0.60)	

ตารางที่ 6 ผลการตรวจเฝ้าระวังสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารกลุ่มเสี่ยงทั่วประเทศโดยใช้ชุดทดสอบ เดือนธันวาคม 2558-กุมภาพันธ์ 2559

ชนิดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง		หมายเหตุ
	ทั้งหมด	พบฟอร์มาลดีไฮด์ (ร้อยละ)	
ปลาหมึกกรอบ	269	130 (48)	
สไล่นางขาว	266	111 (42)	
ปลาหมึกสด	758	74 (10)	
สไล่นางดำ	71	6 (8)	
เครื่องในรวม	9	0	
เส้นมีอนาง	35	0	
กุ้ง กุ้ง ปู หอย	157	0	
แมงกะพรุน	14	0	
ปลา	87	0	
เนื้อวัว	1	0	
เนื้อไก่	1	0	

ตารางที่ 6 ผลการตรวจเฝ้าระวังสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารกลุ่มเสี่ยงทั่วประเทศโดยใช้ชุดทดสอบ เดือนธันวาคม 2558-กุมภาพันธ์ 2559 (ต่อ)

ชนิดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง		หมายเหตุ
	ทั้งหมด	พบสารฟอร์มาลดีไฮด์ (ร้อยละ)	
ผัก	14	0	ถั่วฝักยาว ผักกาดหอม ขึ้นฉ่าย ชะอม ผักชี
เห็ด	6	0	
รวม	1,688	321 (19)	

ข้อมูลการตรวจเฝ้าระวังตั้งแต่ ปี 2546 จนถึงปัจจุบัน จะเห็นได้ว่า มีการปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำแช่อาหารทั่วไปที่จำหน่ายในตลาด เช่น เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ ผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์ น้อยมาก แต่สำหรับอาหารกลุ่มเสี่ยง คือ ปลาหมึกกรอบ ตรวจพบมากกว่าในปลาหมึกสด ส่วนสับนางขาวตรวจพบมากกว่าสับนางดำ แสดงว่าการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์น่าจะมาจากกระบวนการแปรรูปอาหาร สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่นได้นำเสนอเส้นทางการปลอมปนฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารสด พบว่าการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเพิ่มน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ถึง 4 เท่า สำหรับตัวอย่างอาหารอื่น ๆ ผลการสำรวจยังตรวจไม่พบการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์

เอกสารอ้างอิง

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูง พอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde). 2553. เข้าถึงได้จาก: URL: <http://php:diw.go.th/safety/wpcontent/uploads/2015/01/formaldehyde.pdf>. สืบค้น 14 ก.พ. 2559
2. ศูนย์พัฒนานโยบายแห่งชาติด้านสารเคมี สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. พาราพอร์มาลดีไฮด์. 2006. เข้าถึงได้จาก: URL: <http://ipcs.fda.moph.go.th/csNETNEW/ebook/list/icscPDF/0767.pdf3>. สืบค้น 26 พ.ค. 59
3. พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 109/ตอนที่ 39 หน้า 21 (6 เมษายน 2535)
4. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร ฉบับที่ 151 พ.ศ. 2536. (2537, 4 กุมภาพันธ์). ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ง
5. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มาตรฐานการจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาสวยงามเพื่อการส่งออก. 2559. เข้าถึงได้จาก: URL: http://www.fisheries.go.th/fpo-angthong/known_f_4.htm. สืบค้น 20 เม.ย 2559
6. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. รายการวัตถุอันตรายที่เป็นสารเคมีที่มีการนำเข้า-ส่งออก ช่วงเดือนมกราคม - ตุลาคม 2560. เข้าถึงได้จาก: URL: http://www.diw.go.th/hawk/HAZ_data/Jan-Oct_2017.pdf. สืบค้น 21 พ.ย. 2560
7. Merchant Research & Consulting, Ltd. World Formaldehyde Production to Exceed 52 Min Tonnes in 2017. 2014. Available at: <https://mcgroup.co.uk/news/20140627/formaldehydeproduction exceed52mlntonnes.html>. accessed May 27, 2016.
8. World Health Organization. Formaldehyde. Concise International Chemical Assessment Document 40. Geneva: WHO, 2002.
9. International Agency for Research on Cancer. Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 2006; 88: 39-325.

10. World Health Organization. Formaldehyde in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva: WHO, 2005.
11. World Health Organization. Formaldehyde. Environmental Health Criteria 89, 1989. Available at <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc89.htm>, accessed March 12, 2016.
12. รัชณี เก่าเจริญ และ พรพิมล เจริญสง พอร์มัลดีไฮด์. ข่าวสารอันตราย 2539; 7: 21-5
13. บังอร ฉางทรัพย์. พอร์มัลดีไฮด์ / พอร์มอลีน ภัยร้ายใกล้ตัว (The near dangers : formaldehyde/ formalin). ว. วิทย์. เทคโนโลยี. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ 2558; 1(1): 97-109
14. Thavarajah R, Mudimbaimannar VK, Elizabeth J, Rao UK, Ranganathan K, Chemical and physical basics of routine formaldehyde fixation. *J Oral Maxillofac Pathol* 2012; 16: 400-5.
15. World Health Organization. Chapter 5.8 Formaldehyde. In: Frank Theakston, eds. Air quality guidelines-second edition. Copenhagen Denmark: WHO, 2000: 87-91.
16. OECD SIDS. Formaldehyde. UNEP Publications, 2002. Available at <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/FORMALDEHYDE.pdf>, accessed Mar 25, 2016.
17. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Statement Formaldehyde. 2008. Available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=218&tid=39>, accessed Mar 25, 2016.
18. Yu GY, Song XF, Liu Y, Sun ZW. Inhaled formaldehyde induces bone marrow toxicity via oxidative stress in exposed mice. *Asian Pac J Cancer Prev* 2014; 15(13): 5253-7.
19. United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) on Formaldehyde. National Center for Environmental Assessment. Office of Research and Development. Washington DC: U.S. EPA, 1999.

20. Junye M, Rongqiao H. Chronic formaldehyde-mediated impairments and age-related dementia. *Neurodegeneration*, 2012. Available at: <https://www.intechopen.com/books/neurodegeneration/chronic-formaldehyde-mediated-impairments-and-age-related-dementia>, accessed May 13, 2016.
21. European Food Safety Authority. Endogenous formaldehyde turnover in humans compared with exogenous contribution from food sources. *European Food Safety Authority Journal* 2014; 12(12): 3550-61.
22. Earl R. Norris and George J. Benoit, Jr. Studies on Trimethyl amine oxide III. Trimethylamine oxide excretion by the rat. *J. Biol. Chem* 1945; 158:443-8.
23. Food network Solution. Trimethylamine N-oxide (TMAO). Available at: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2001/trimethylamine-n-oxide-tmao>, accessed Nov 8, 2015.
24. Xuan Z, Yunhua H, Youqiong, et al. The research progress of endogenous formaldehyde in aquatic product. *World Journal of Engineering and Technology* 2015; 3: 272-6.
25. MRC Laboratory of Molecular Biology. A fundamental protection mechanism against formalin in mammals is revealed. 2015 Available at: <http://www2.mrc-lmb.cam.ac.uk/a-fundamental-protection-mechanism-against-formalin-in-mammals-is-revealed/>, accessed Mar 25, 2016.
26. Tai-Sheng Y, Tzu-Chun L, Ching-Chuan C, et al. Analysis of free and bound formaldehyde in squid and squid products by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Food and Drug Analysis* 2013; 21: 190-7.
27. European Food Safety Authority. Scientific Opinion on the safety and efficacy of formaldehyde for all animal species based on a dossier submitted by Adiveter S.L. *EFSA Journal* 2014; 12(2): 3562.
28. European Food Safety Authority. Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request from the Commission related to Use of formaldehyde as a preservative during the manufacture and preparation of food additives. *EFSA Journal* 2006; 415, 1-10.

29. Food Safety Commission of Japan (FSCJ), Risk Assessment report Formaldehyde (Beverages). FS/424/2008 [cite 2016 MAR 1]. Available at: http://www.fsc.go.jp/english/evaluationreports/chemicals/formaldehyde_acid_fs424_2008.pdf. accessed Nov 9, 2015.
30. European Parliament and Council, Directive No 95/2/EC of 20 February 1995 on Food additives other than colours and sweeteners. *Off. J. Eur. Communities* 1995; 61: 1-40.
31. National Standard of the People's Republic of China. Standard for Drinking Water Quality. 2006 Available at http://www.iwa-network.org/filemanager-uploads/WQ_Compendium/Database/Selected_guidelines/016.pdf, accessed Mar 1, 2016.
32. USDA Foreign Agricultural Service. China-Peoples Republic of National Food Safety Standard-Fermented Alcoholic Beverage. Available at: [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Food%20Safety%20Standard%20on%20Fermented%20Alcoholic%20Beverages%20\(draft\)_Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of_5-19-2011.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Food%20Safety%20Standard%20on%20Fermented%20Alcoholic%20Beverages%20(draft)_Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of_5-19-2011.pdf). accessed Mar 1, 2016.
33. Siti Aminah A, Zailina H, Fatimah AB. Health Risk Assessment of Adult Consuming Commercial Fish Contaminated with Formaldehyde. *Food and Public Health* 2013, 3(1): 52-8.
34. Nur Indang, Abdulmir AS, Abu Bakar A, Salleh AB, Lee YH, Nor Azah Y. A review: method of determination of health-endangering formaldehyde in diet. *Research Journal of Pharmacology* 2009; 3(2): 31-47.
35. Bianchi F, Careri M, Musci M, et al. Fish and food safety: determination of formaldehyde in 12 fish species by SPME extraction and GC-MS analysis. *Food Chem* 2007; 100: 1049-53.
36. Claeys W, Vleminckx C, Dubois A, et al. Formaldehyde in cultivated mushroom: a negligible risk for the consumer. *Food Additives & Contaminants* 2009; 19: 1265-72.

37. Jianrong Li, Junli Zhu and Lifang Ye. Determination of formaldehyde in squid by High performance liquid chromatography. *Asia Pac J Clin Nutr* 2007; 16 (Suppl 1): 127-130.
38. วันทนีย์ ขำเลิศ และรัชมี สว่างคพัฒนา. การเปลี่ยนแปลงระดับฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารต่าง ๆ ในช่วง 2 เวลา. วารสารกรมอนามัย สมาคมอนามัยแห่งประเทศไทย 2536; 22(3): 217-29.

