บทที่ 2

# วารสารปริทัศน์

## 2.1 การเสริมเหล็กในอาหาร

การเสริมเหล็กลงในอาหาร มีความจำเป็นสำหรับประชากรที่ขาดเหล็ก ซึ่งการเสริมเหล็กลงในอาหารได้มีการศึกษาและวิจัยกันมานานแล้ว โดยอาจเสริมด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งทางตรง และทางอ้อม คือเสริมเหล็กในรูปที่เป็นของแข็ง หรือสารละลายของสารประกอบเหล็กก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่จะเสริม ซึ่งอาหารที่ใช้เสริมมักนิยมเลือกอาหารที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ อาหารที่ไม่ใช่อาหารหลัก ( non-staple food items) คือเกลือ น้ำตาล ชา กาแฟ น้ำมัน และผงชูรส (1) เพื่อให้ร่างกายได้รับเหล็กจากอาหารจำนวนเพียงพอกับความต้องการ

เกลือเมื่อใช้เหล็ก(II) ซัลเฟต ผสมกับโซเดียมแอซิดซัลเฟต และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ในสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้ได้เกลือที่มีคุณภาพดี ซึ่งเมื่อทดสอบหาปริมาณเหล็กที่ร่างกายดูดซึมได้จากอาหารที่ปรุงด้วยเกลือผสมสารประกอบที่กล่าวข้างต้น เปรียบเทียบกับอาหารที่ปรุงด้วยเกลือผสมเหล็ก (II)ซัลเฟต อย่างเดียว พบว่า การดูดซึมเหล็กคิดเป็นร้อยละจากอาหารที่ปรุงด้วยเกลือผสมสารประกอบที่กล่าว สูงกว่าการดูดซึมเหล็กคิดเป็นร้อยละจากอาหารที่ปรุงด้วยเกลือผสมเหล็ก (II) ซัลเฟตอย่างเดียว (2) เมื่อใช้เหล็ก (II)ซัลเฟต หรือเหล็ก (III) ฟอสเฟต โดยผสมและไม่ผสมวิตามินซี เสริมในน้ำตาลพบว่าวิตามินซีจะช่วยเพิ่มการดูดซึมเหล็กจากอาหารให้สูงขึ้น โดยกรณีเหล็ก (II) ซัลเฟตจะสูงจากร้อยละ 3.8 เป็นร้อยละ 6.9 และกรณีเหล็ก (III) ฟอสเฟตจะสูงจากร้อยละ 1.3 เป็นร้อยละ 2.9 (3) ในกาแฟ เมื่อเสริมด้วยเหล็ก (II) ฟูมาเรท พบว่าการดูดซึมธาตุเหล็กสูงขึ้น (4) สำหรับผลิตภัณฑ์จากน้ำมัน เมื่อใช้เหล็ก (III)ไพโรฟอสเฟต เสริมใน shark liver oil emulsion พบว่า emulsion ที่ได้มีเสถียรภาพดี ไม่มีกลิ่นเหม็นหืน หลังจากเก็บไว้นาน 1 ปี และเมื่อทดลองในหนู พบว่า ปริมาณฮีโมโกลบินสูงขึ้น (5) ถ้าใช้เหล็ก (II)ซัลเฟต ผสมกับ

ซิงค์ซัลเฟียเรต และวิตามินเอ เสริมในผงชูรส ศึกษา bioavailability ของเหล็กในหนู พบว่าการดูดซึมเหล็กคิดเป็นร้อยละค่อนข้างสูง (6)

นอกจากนี้สำหรับประเทศไทย สิ่งปรุงอาหารที่อาจใช้เป็นพาหะสำหรับการเสริมเหล็กที่คนไทยนิยมใช้กันในชีวิตประจำวัน คือน้ำปลา ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ จะเป็นเกลือ และน้ำ โดยเกลือจะเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการเสริมเหล็กในน้ำปลา เช่น เกลือที่มีสารเจือปนสูง ย่อมทำให้มีการตกตะกอนในน้ำปลาเสริมเหล็กได้

2.2 น้ำปลา

เนื่องจากปลามีชุกชุมในห้วยหนอง คลอง บึง และทะเล จึงได้มีการทำน้ำปลา ทั้งเพื่อรับประทานในหมู่บ้าน และทำในระดับอุตสาหกรรมในประเทศต่าง ๆ ของภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทย (8) น้ำปลามีใช้แพร่หลายในประเทศใกล้เคียง เช่น ในเวียตนาม เรียกว่า Nuoc-nam ในฟิลิปปินส์เรียกว่า Patis ในอินโดนีเซีย เรียกว่า Trassi และในญี่ปุ่น เรียกว่า Shiokara เป็นต้น น้ำปลาที่จำหน่ายกันโดยทั่วไปนั้น ทำที่จังหวัดต่าง ๆ ของบริเวณอ่าวไทย และชายฝั่งทะเลตะวันออก ในปริมาณสำหรับบริโภคภายในประเทศไม่น้อยกว่า 300,000 กิโลลิตรต่อปี โดยคำนวณจากอัตราบริโภค 25 มิลลิลิตร ต่อหัวต่อวัน (7)

ในแง่อาหาร น้ำปลาเป็นสิ่งปรุงรส ที่ช่วยทำให้บริโภคอาหารได้มากขึ้นประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่ง น้ำปลามีวิตามินบี 12 ในปริมาณเพียงพอ ที่จะป้องกันโรคซีดจากการขาดวิตามินบี 12 ซึ่งเรียกว่า pernicious anaemia ( 8 ) นอกจากนั้น ยังให้โปรตีนคือประมาณร้อยละ 7.5 ของไนโตรเจนทั้งหมด ที่รับประทานในอาหาร (9) และยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน ( lysine) และมีเกลือที่ให้สารอิเล็คโตรลัยท์ ที่จำเป็นต่อร่างกายอีกด้วย

วิธีผลิตน้ำปลานั้น อาจใช้ปลาทะเลหรือปลาน้ำจืด เช่น ปลาทะเล ได้แก่ ปลาไส้ตัน ปลาอกแล ลูกปลาทู หรือปลาผสมหลาย ๆ อย่าง ซึ่งเรียกว่า ปลาเบญจพรรณ หรือ อาจจะเรียกตาม genus ได้ คือ Stolephorus Clupeodes Sardinella Rastrelliger และปลาน้ำจืด คือ ปลาสร้อย หรือปลาเบญจพรรณ หรืออาจเรียกตาม genus คือ Cirrhina

ส่วนใหญ่มักใช้ปลาเล็ก และไม่ต้องเอาไส้ออก ใช้สัดส่วนของปลา 6 ส่วน ต่อเกลือ 3–5 ส่วน หมักไว้ในถังใหญ่ หรือบ่อซีเมนต์ ใช้น้ำหนักทับให้ปลาจมอยู่ในน้ำเกลือที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการละลายของน้ำปลา ปิดกั้นแมลงและการเกิดตัวหนอน หมักไว้โดยใช้เวลาแล้วแต่ขนาดใหญ่เล็กของปลา ส่วนใหญ่สำหรับปลาขนาดเล็ก ใช้เวลาประมาณ 10 เดือน สำหรับปลาขนาดใหญ่ ใช้เวลาหมัก 12–18 เดือน เอาไว้ในที่โล่ง ซึ่งมีแสงแดดบ้าง ดูดออกมาจะได้หัวน้ำปลาที่มีคุณภาพทั้งกลิ่นและรสดี (10, 11, 12)

หลังจากนั้นก็ได้น้ำปลาหัวที่ 2 3 4 ตามลำดับ โดยเติมน้ำเกลือ ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 26 ลงไปในปลา ใช้เวลาสั้นเข้ากว่าครั้งแรก คือประมาณ 6 เดือน อาจแต่งสีเสริมกลิ่น รส โดยคาราเมล ข้าวคั่ว หรือจากน้ำตาล (molass) จะได้น้ำปลาใสเป็นสีน้ำตาลปนแดง มีกลิ่นและรสเหมาะสำหรับรับประทาน น้ำปลาที่ได้จากการทำดังกล่าวนี้ เรียกว่า น้ำปลาแท้ หัวน้ำปลาอาจนำมาผสมกับน้ำเกลือภายหลังได้ โดยเรียกว่า น้ำปลาผสม ซึ่งมีการปฏิบัติแพร่หลาย โดยเฉพาะในจังหวัดภาคอีสาน

กรรมวิธีของการทำน้ำปลานั้น อาจจะเร่งให้เร็วขึ้นโดยใช้เอ็นไซม์ย่อยสลายโปรตีน (proteolytic enzymes) เช่น ปาเปอิน (papain) หรือไฮโดรไลซ์ ด้วยกรดไฮโดรคลอริคหรืออะซิติค แต่ถ้าใช้เวลาเร็วเกินไปเป็นชั่วโมง ก็จะไม่มีกลิ่นน้ำปลาเพราะไม่มีเวลาเทียงหอสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งเวลาที่เร่งนั้นอาจสั้นเข้าเป็น 3 หรือ 6 เดือน โดยการเติมปาเปอิน และกรดน้ำส้มอย่างละเล็กน้อย และตากแดด น้ำปลาที่ได้จากวิธีนี้ เรียกว่า น้ำปลาวิทยาศาสตร์

นอกจากนั้น อาจมีน้ำปลาเทียม ซึ่งทำจากน้ำ บีเอ็กซ์ (Bx) หรือของเหลวที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการทำผงชูรส น้ำปลาเทียมนี้มีราคาถูก แต่กลิ่นและรสไม่ดีเท่าน้ำปลาแท้ และมีข้อเสียคือ บางคนรับประทานแล้วมีอาการแพ้แบบผงชูรส แต่อย่างไรก็ตาม น้ำปลาเทียมที่ผสมน้ำบีเอ็กซ์ สามารถให้จำนวนของไนโตรเจนทั้งหมด และอะมิโน แอซิด ไนโตรเจน ไม่ยิ่งหย่อนกว่าน้ำปลาแท้ คือมีไนโตรเจนทั้งหมดเป็น 1.0–1.2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และมีอะมิโน แอซิด ไนโตรเจน เป็น 0.5–0.7 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ส่วนน้ำปลามีไนโตรเจนทั้งหมด และอะมิโน แอซิด ไนโตรเจน เป็น 0.4–2.5 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร และ 0.2–0.9 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ (13)

เนื่องจากน้ำปลามีหลายชนิด แล้วแต่วัสดุ และวิธีการผลิต จึงได้มีกฎหมายคุ้มครองผู้บริโภค โดยกระทรวงสาธารณสุข ในปี พ.ศ. 2516 (14) และจำแนกคุณภาพของน้ำปลาที่เป็นมาตรฐาน โดยกระทรวงอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2513 (15) ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงข้อกำหนดคุณลักษณะของน้ำปลา ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข และจำแนกคุณภาพของน้ำปลาเป็นมาตรฐานโดยกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก.)

| คุณลักษณะของน้ำปลา | ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 47 (พ.ศ. 2523) | มอก. 3-2513 น้ำปลาพื้นเมือง |
|---|---|---|
| คุณสมบัติทางฟิสิกส์ | | |
| 1. ความใส สี กลิ่น และรส | ใส มีสี กลิ่น และรสของน้ำปลาไม่มีตะกอน เว้นแต่ตะกอนอันเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่เกินร้อยละ 0.01 ของน้ำหนัก | สีน้ำตาลอมแดง ปราศจากตะกอน กลิ่นหอมน้ำปลา รสอร่อย คะแนนรวมต้องไม่น้อยกว่า 70 |
| 2. ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ | – | ไม่น้อยกว่า 1.2 |
| 3. ฉลาก | ต้องมีฉลากถูกต้องตามข้อกำหนด | ต้องมีฉลากถูกต้องตามข้อกำหนด |
| คุณสมบัติทางเคมี | | |
| 1. ไนโตรเจนทั้งหมด คิดเป็นกรัม ต่อลิตร | | |
| – น้ำปลาแท้และน้ำปลาวิทยาศาสตร์ | ไม่น้อยกว่า 9.0 | ไม่น้อยกว่า 19.0 |
| – น้ำปลาผสม | ไม่น้อยกว่า 4.0 | |
| 2. เกลือโซเดียมคลอไรด์ คิดเป็นกรัม ต่อลิตร | ไม่น้อยกว่า 200 | ไม่น้อยกว่า 230 |
| 3. อัตราส่วนของกรดกลูตามิคต่อไนโตรเจนทั้งหมด | | |
| – น้ำปลาแท้ และน้ำปลาวิทยาศาสตร์ | ไม่น้อยกว่า 0.4 แต่ต้องไม่เกิน 0.6 | – |
| – น้ำปลาผสม | ไม่น้อยกว่า 0.4 แต่ต้องไม่เกิน 1.3 | |
| 4. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่อุณหภูมิห้อง | – | ไม่น้อยกว่า 5.0 ไม่มากกว่า 6.0 |
| 5. ยากันบูด | – | ต้องไม่มี |
| 6. การแต่งสี | ไม่ใช้สี | – |

การจำหน่ายน้ำปลาเพื่อบริโภคทำกันโดยแพร่หลาย และมีปริมาณมหาศาล แล้วแต่ปริมาณการจับปลาในปีนั้น ๆ ซึ่งก็จะมีการบริโภคมากขึ้นตามส่วน ในปี พ.ศ. 2516 มีจำนวนผลิตเพิ่มขึ้น จากปี พ.ศ. 2505 จาก 30 ล้านลิตร เป็น 180 ล้านลิตร จำนวนผลิตผลที่ได้ (yield) จากปลา 1 ตัน จะให้หัวน้ำปลา 500 ลิตร และหางน้ำปลาไม่น้อยกว่า 1000 ลิตร (11)

น้ำปลานั้นมีกรดอะมิโน ชนิดต่าง ๆ เช่น ไลซีน (lysine) ลูซีน (leucine) เมไธโอนีน (methionine) ธรีโอนีน (threonine) อาร์จินีน (arginine) ฮีสติดีน (histidine) อะลานีน (alanine) ไกลซีน (glysine) กรดกลูตามิค (glutamic acid) วาลีน (valine) โปรลีน (proline) และ เซรีน (serline) และมีกรดไขมันที่ระเหยได้ เช่น กรดอะซิติค กรดโปรพิโอนิค กรดบิวทิวริค กรดวาเลริค ซึ่งทำให้มีกลิ่นอยู่จำนวนเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำและเกลือ (16)

น้ำปลาสำหรับจิ้ม มักใช้หัวน้ำปลา ส่วนน้ำปลาสำหรับปรุงอาหารใช้น้ำปลาที่คุณภาพรองลงมา อย่างไรก็ตาม น้ำปลาจะมีคุณภาพแตกต่างกันเช่นไร แม้จนกระทั่งด้อยคุณภาพเกือบเป็นน้ำเกลือก็ตาม ในแง่การเสริมเหล็กเพื่อสุขภาพ ก็ยังนับเป็นพาหะสำหรับเหล็กที่เติมลงไปได้ ตราบเท่าที่ผู้บริโภคจะพึงพอใจตามอัตภาพของตน หรืออาจจะพิจารณาน้ำปลาว่าเป็นของเหลวที่ผู้บริโภคพึงพอใจ เปิดทางให้ได้ละลายสารประกอบเหล็กโดยไม่ขัดต่อนิสัยและความเคยชินในการบริโภค ก็ย่อมเพียงพอต่อวัตถุประสงค์ในการเสริมเหล็กนั้นแล้ว ดังนั้น ความสำคัญจึงอยู่ที่เมื่อเติมสิ่งหนึ่งสิ่งใดลงไป จะต้องป้องกันมิให้น้ำปลาเปลี่ยนแปลง และให้มีลักษณะ และคุณภาพเหมือนก่อนเติม หรือดีกว่าก่อนเติม ไม่ว่าจะเป็นสี กลิ่น รส ความใส รวมทั้งการที่มีธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น เหล็ก เป็นต้น

น้ำปลาปกติมีคุณภาพทางฟิสิกส์ คือ สีน้ำตาลอมแดง ใส ไม่มีตะกอน และมีกลิ่นหอมเค็มอร่อย ความถ่วงจำเพาะไม่น้อยกว่า 1.2 และมีคุณสมบัติทางเคมี คือ มีไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 9.5 กรัมต่อลิตร (ถ้าเป็นน้ำปลาผสมไม่น้อยกว่า 5 กรัมต่อลิตร) มีค่าความเป็นกรด–ด่าง อยู่ระหว่าง 5.0–6.0 ไม่มียากันบูด ในน้ำปลา 25 มิลลิลิตร มีเหล็กเพียง 0.50 มิลลิกรัม ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จึงจำเป็นต้องเพิ่มเหล็กจากภายนอกเข้าไป และมีเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) ไม่น้อยกว่า 230 กรัม ต่อลิตร

เนื่องจากผลของเกลือที่มีต่อคุณภาพของน้ำปลาเสริมเหล็ก ยังไม่ได้มีการศึกษาในวารสารใดมาก่อน จึงเป็นการยากที่จะกล่าวว่าคุณภาพของน้ำปลาเสริมเหล็กที่ดีขึ้นกับคุณภาพของเกลือหรือไม่ และเพื่อให้การศึกษานี้มีความสมบูรณ์ทางด้านข้อมูลบางประการเกี่ยวกับเกลือในน้ำปลา จึงจะกล่าวถึงเกลือในหัวข้อต่อไป

2.3 เกลือ

เนื่องจากเกลือใช้สำหรับการบริโภคโดยตรง หรือใช้มากในการทำน้ำปลา คือ ใช้ไม่น้อยกว่า 20-30% ของน้ำปลา ถ้าใช้เกลือน้อยไป ปลาอาจจะเน่า เพราะอาจเกิดปริมาณของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (ammonia nitrogen) สูง อะมิโน ไนโตรเจน (amino nitrogen) ต่ำ เพราะเป็นผลเนื่องมาจากความมีบักเตรีซึ่งทำให้เกิดการบูดเน่า (spoilage bacteria) นอกจากนั้น เกลือยังมีสารดูดความชื้น ปะปนในรูปของซัลเฟต หรือคลอไรด์ ของแคลเซียม และมักเนเซียม (มีทั้งละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ) ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้มีผลเสีย คือ เกลือจะซึมเข้าไปในเนื้อปลาได้ช้า ทำให้เน่าง่าย และเนื่องมาจากการมีธาตุหนัก และมีบักเตรีชนิด halophillic ในเกลือเอง อาจทำให้มีออกซิเดชัน ของไขมันมากขึ้น จึงทำให้เกิดกลิ่น และรสที่ไม่ต้องการ (17)

องค์ประกอบทางเคมีของเกลือทะเลที่ผลิตในประเทศคานาดา (17) มีดังนี้

| | |
|---|---|
| โซเดียมคลอไรด์ | 97% |
| แคลเซียมซัลเฟต | 1.08% |
| มักนีเซียมคลอไรด์ | 0.30% |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 0.24% |
| มักนีเซียมซัลเฟต | 0.17% |
| สารอื่น ๆ ที่ไม่ละลายน้ำ | 0.40% |
| น้ำ | 2.40% |

สำหรับเกลือทะเลที่ผลิตในประเทศไทย (2) มีความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการละลายในน้ำ (solubility in water) ที่ 15°ซ เป็น 35.3 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30°ซ เป็น 46.6 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และ ที่ 40°ซ เป็น 52.2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ในแง่องค์ประกอบทางเคมี มีดังนี้

| | |
|---|---|
| มักนีเซียมคลอไรด์ | 1.0% |
| คัลเซียมซัลเฟต | 0.5% |
| มักนีเซียมซัลเฟต | 0.4% |

เกลือของคัลเซียมและมักนีเซียมส่วนใหญ่จะเป็นสารเจือปน ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่าเกลือของโซเดียม

การผลิตเกลือในประเทศมีอย่างเพียงพอ และเกลือมีราคาถูก ในปี พ.ศ. 2520 ได้มีการผลิตเกลือทั้งสิ้นประมาณ 250,000 ตัน ส่งออกจำหน่ายนอกประเทศ 10,000 ตัน เพื่อการอุตสาหกรรมภายในประเทศไม่น้อยกว่า 70,000 ตัน โดยเฉลี่ยการบริโภคเกลือเป็น 3 กิโลกรัมต่อคน หรือ 5–10 กรัม ต่อคนต่อวัน หรือใช้ในการบริโภคประมาณหนึ่งแสนตัน เกลือใช้ในการทำน้ำปลา 25,000 ตัน ส่วนใหญ่เป็นเกลือทะเล เกลือเม็ด ซึ่งราคาถูกกว่าเกลือผงและมีสารเจือปนมาก จึงมีน้ำเย็มในภูเขาหินและความชื้นของประเทศไทย เกลือทะเล 10 กรัม มีเหล็กเพียง 0.123 มิลลิกรัม ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เกลือสินเธาว์สำหรับการบริโภคมีประมาณ 35,000 ตันต่อปี และมีจำนวนเหล็กเพียง 0.109 มิลลิกรัมต่อเกลือสินเธาว์ 10 กรัม ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายเช่นเดียวกัน (2)

2.4 เหล็ก

เหล็กเป็นธาตุที่มีเลขกำกับปรมาณู 26 น้ำหนักประมาณ 55.85 ในตารางลำดับธาตุ เหล็กที่เป็นธาตุที่มีแพร่หลายเป็นอันดับที่ 4 และเป็นโลหะที่แพร่หลายเป็นอันดับที่ 2 ของผิวโลก ในวิวัฒนาการเป็นเวลาล้าน ๆ ปีนั้น เหล็กได้เข้ามามีบทบาทในระดับอณู และต่ำกว่าอณู แทรกในกรรมวิธีของสิ่งที่มีชีวิต โดยเป็นตั้งแต่เป็นตัวเร่ง (catalyst) ในอณูของโปรตีน จนถึงกระตุ้น (activate) ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน เพื่อควบคุมอิเลคตรอน ในการใช้พลังงานทางชีววิทยามากมายหลายอย่าง

เหล็กในสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันอยู่ในสภาพที่ออกซิไดซ์แล้ว คือเป็นรูปเฟอร์ริค ดังนั้น ในบรรดาสิ่งที่มีชีวิต จึงต้องเกิดกลไกที่จะเปลี่ยนสภาพของเหล็กที่ไม่ละลายน้ำ และไม่สามารถนำมาใช้ได้ให้เป็นรูปที่ละลายน้ำได้ และสามารถใช้ได้ ดังจะเห็นได้ว่าในพืชจำเป็นต้องอาศัยดินที่เป็นด่าง และมีฟอสเฟตสูง รวมทั้งการสังเคราะห์สารจับเหล็ก (chelating agent) โดยจุลชีพ

2.4.1 เหล็กในร่างกายของคน

ส่วนใหญ่ของเหล็กจะอยู่ในรูปของเหล็กพอร์ฟัยริน คอมเพล็กซ์ (porphyrin complexes) ซึ่งได้แก่ส่วนประกอบของสีของเม็ดเลือดแดง หรือฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ไมโอโกลบิน (myoglobin) และฮีม เอ็นไซม์ (heme enzyme) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับออกซิเดชัน ได้แก่ ไซโตโครม (cytochrome $C$ a $a_3$ b) เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) รวมทั้งคาทาเลส (catalase) ส่วนเหล็กในรูปที่ไม่ใช่ฮีม (non-heme) อยู่ในสภาพของเหล็กที่เกาะกับทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) เพื่อการขนส่งเหล็ก และเหล็กในรูปที่เก็บไว้ในร่างกาย คือเฟอร์ริติน (ferritin) และฮีโมซิเดอริน (hemosiderin) (12)

2.4.2 ความต้องการธาตุเหล็กของร่างกาย

ตามปกติเหล็กจะสูญเสีย หรือถูกขับออกไปเป็นจำนวนเท่ากับจำนวนของเหล็กที่ร่างกายต้องการ ในผู้ใหญ่การเสียเหล็กอย่างปกติทางลำไส้ ผิวหนัง และปัสสาวะประมาณวันละ 4 ไมโครกรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือวันละ 0.9 มิลลิกรัมต่อวัน ในผู้ชาย และ 0.7 มิลลิกรัม ต่อวันในผู้หญิง นอกจากการเสียเหล็กทางประจำเดือนและการตั้งครรภ์ เหล็กมีความจำเป็นต่อการคงอยู่ และการเจริญเติบโตของเซลล์ในร่างกาย ปริมาณการดูดซึมธาตุเหล็กต่อวันจะขึ้นกับเพศ และอายุ เพศหญิง และเด็กทารก เด็กในวัยเจริญเติบโตมีความต้องการเหล็กเพิ่มขึ้น ในผู้ชายมีการดูดซึมเหล็กจากอาหารได้ 0.4 มิลลิกรัมต่อวัน ก็เป็นการเพียงพอ แต่ในหญิงวัยเจริญพันธุ์เนื่องจากมีประจำเดือน และหญิงมีครรภ์เนื่องจากมีทารก ต้องการธาตุเหล็กมากขึ้นเป็น 1.4 มิลลิกรัมต่อวัน ฉะนั้น 90% ของหญิงวัยเจริญพันธุ์ที่ไม่มีครรภ์จึงต้องการเหล็ก 0.7 + 1.4 = 2.1 มิลลิกรัมต่อวัน ก็เป็นการเพียงพอ ในกรณีหญิงที่มีครรภ์นั้น

ต้องสูญเสียเหล็ก หรือต้องการเหล็กทั้งหมดประมาณ 500–600 มิลลิกรัม ตลอดเวลาการตั้งครรภ์ เพราะมีการสูญเสียเหล็กประมาณวันละ 0.7–0.9 มิลลิกรัม และมีความต้องการธาตุเหล็กที่ดูดซึมได้มากขึ้นถึง 5 มิลลิกรัมต่อวัน โดยเฉพาะในระยะท้ายของการมีครรภ์

ความต้องการเหล็กของเด็กทารก ถ้าคิดตามน้ำหนักตัวแล้วจะสูงกว่าผู้ใหญ่ เพราะมีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว การขาดเหล็กโดยมีอาการซีด มักจะพบในตอนท้ายของขวบแรก หรือวัยหย่านม ในเด็กที่โตขึ้น ความต้องการเหล็กก็เพิ่มขึ้น ตามวัยของการเจริญเติบโต เช่น วัยก่อนเข้าโรงเรียน หรือวัยเข้าเรียน ในเด็กผู้หญิงมีความต้องการเหล็กเพิ่มขึ้น เมื่อเริ่มมีประจำเดือน

2.4.3 คุลย์ของเหล็ก

เหล็กที่สูญเสีย และเหล็กที่ดูดซึมได้จากอาหาร จะมีจำนวนพอดีกันได้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่าง คือ ความต้องการเหล็กของร่างกายสำหรับผลิตยีโมโกลบินอย่างหนึ่ง การสูญเสียเหล็กตามกรรมวิธีสรีรวิทยา อีกอย่างหนึ่ง และอย่างที่สามคือ ปริมาณของธาตุเหล็กที่อยู่ในอาหารที่รับประทานเข้าไป และถูกดูดในลำไส้

ความต้องการเหล็กของร่างกายจะเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดหรือมวลของเนื้อเยื่อและเม็ดเลือดแดงขยายตัว เช่น ทารก และเด็กในวัยเจริญเติบโต และการมีครรภ์ดังกล่าวมาแล้ว

เหล็กสูญเสียเป็นส่วนใหญ่จากมดลูก ในหญิงวัยเจริญพันธุ์ในรูปของเลือดประจำเดือน และจากทางเดินอาหาร การสูญเสียทางประจำเดือนนั้น ได้มีการศึกษาในหลายประเทศคือ พม่า (20) คานาดา (21) อินเดีย (22) และสวีเดน (23) ปรากฏผลคล้ายคลึงกันคือ เพียง 10% ของหญิง จะมีสูญเสียมากกว่า 1.4 มิลลิกรัมเหล็กต่อวัน การสูญเสียเหล็กจะน้อยลงในหญิงที่รับประทานยาคุมกำเนิด และจะสูงขึ้นในรายที่ใช้ห่วงคุมกำเนิด

การสูญเสียทางสรีรวิทยาจากทางอื่น ๆ มีประมาณ 14 ไมโครกรัม ต่อกิโลกรัมต่อวัน (24) การศึกษาในผู้ใช้แรงงานหรือในประเทศร้อนที่มีความชื้นสูง เหงื่อออกมาก อาจทำให้สูญเสีย

เหล็กเพิ่มขึ้น (25, 26) แต่ก็ไม่แน่เสมอไป (27)

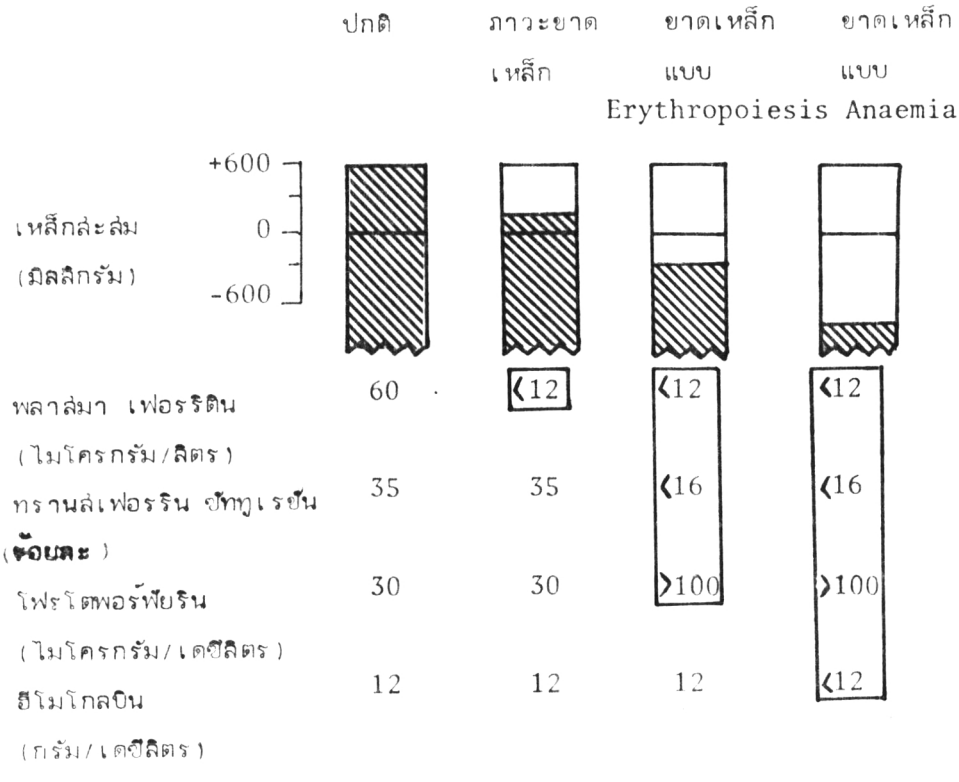
ส่วนปริมาณของเหล็กในอาหารที่รับประทานเข้าไป และจำนวนของเหล็กที่ถูกดูดซึมจากจากลำไส้ ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบของอาหารที่มีจำนวนเหล็กมาก หรือน้อย และการที่มีสารส่งเสริมและขัดขวางการดูดเหล็ก ในส่วนประกอบของอาหารนั้น ๆ ซึ่งแล้วแต่ลักษณะภาพทางเศรษฐกิจของประชากรกลุ่มนั้น ๆ

การสูญเสียเหล็กทางอ้อม ได้แก่ การสูญเสียเหล็กโดยพยาธิสภาพ หรือโดยทางบาดแผล หรือเป็นโรคทางเดินทางอาหาร

2.4.4 การประเมินสภาวะภาพของเหล็กในประชากร

ในประชากรที่มีการขาดเหล็ก อาจทราบได้โดยมีระดับของฮีโมโกลบินน้อยกว่า 13 กรัม ต่อเดซิลิตรในผู้ชาย น้อยกว่า 12 กรัม ต่อเดซิลิตรในผู้หญิง และน้อยกว่า 11 กรัม ต่อเดซิลิตรในหญิงมีครรภ์จะทราบว่ามีเหล็กสำรองไม่เพียงพอโดยมีพลาสมาเฟอรริติน ( plasma ferritin) น้อยกว่า 12 ไมโครกรัมต่อลิตร นอกจากนั้นยังมีทรานส์เฟอรรินซัทูเรชัน ( transferrin saturation) ต่ำกว่าร้อยละ 16 และมีโปรโตพอร์ฟัยริน ( protoporphyrin )ในเม็ดเลือดแดง มากกว่า 100 ไมโครกรัม ต่อ เดซิลิตร (28)

ถ้าพลาสมา เฟอรริติน ลดลง 1 ไมโครกรัมต่อลิตร จะเทียบเท่ากับการขาดเหล็ก 10 มิลลิกรัม ถ้าทรานส์เฟอรริน ซัทูเรชัน และเรด เซลล์ โปรโตพอร์ฟัยริน ( red cell protoporphyrin) อยู่ในช่วงการขาดเหล็ก จะขาดเหล็กประมาณ 150 มิลลิกรัม ฮีโมโกลบิน 1 กรัม ต่อ 100 มิลลิกรัม ในหญิงหนัก 70 กิโลกรัม จะเทียบเท่ากับการขาดเหล็ก 150 มิลลิกรัม ฉะนั้น ถ้าฮีโมโกลบินปกติในหญิงปกติเท่ากับ 14 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร หญิงมีครรภ์ที่มีฮีโมโกลบิน 11–12 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร จะขาดเหล็กประมาณ 300 มิลลิกรัม และถ้าหญิงมีครรภ์นั้นมีฮีโมโกลบิน 10–11 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ก็จะมีการขาดเหล็ก 10–50 มิลลิกรัม และเรื่อย ๆ ไป (29) ดังรูปที่ 1




รูปที่ 1. แสดงสถานะภาพของเหล็ก สัมพันธ์กับมิลลิกรัมของเหล็กที่สะสมในร่างกาย (27)

2.4.5 ผลเสียของการขาดเหล็ก

การศึกษาในอินโดนีเซียพบว่า สมรรถภาพของคนงานสวนยาง ได้ส่วนเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระดับของฮีโมโกลบิน (30, 31) คนงานที่มีซีดจากการขาดเหล็ก จะทำงานได้น้อยกว่าผู้ไม่มีอาการซีด ร้อยละ 19 การถางหญ้าก็มีผลแบบเดียวกัน (31, 32) การศึกษาในศรีลังกา (19) แสดงผลงานของคนเก็บใบชา ว่าน้อยลงในคนซีดจากการขาดเหล็ก และดีขึ้นเมื่อได้รับยาเม็ดสารบำรุงเหล็ก แม้ในรายที่ขาดเหล็กไม่มาก ก็อาจมีผลชักทางสังคมและเศรษฐกิจได้

กลไกที่สำคัญเกี่ยวกับการหย่อนสมรรถภาพในการทำงานนั้น สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากฮีโมโกลบินลดลง ทำให้พาออกซิเจนได้น้อยลง สาเหตุร่วมอีกก็คือ อาจจะเป็นเพราะการขาดเหล็กเรื้อรังนาน ๆ ทำให้มีภาวะ $\alpha$ glycerophosphate dehydrogenase ในกล้ามเนื้อลายน้อยลง และเมื่อได้รับเหล็ก ภาวะนี้ก็จะกลับคืนสู่ปกติ

ถ้ามีอาการซีดมาก ๆ ในระหว่างตั้งครรภ์อาจเป็นอันตรายทั้งมารดา และทารก (36,37) แม้ในรายซีดไม่มากก็เคยมีได้แก่ รายที่มีการคลอดก่อนกำหนด (38) เด็กคลอดมาน้ำหนักตัวน้อย (39) รกโตผิดปกติ (40) หรือมีการหลั่ง estriol น้อยลง (38)

อาการซีดจากการขาดเหล็กในเด็กทำให้มีอัตราการติดเชื้อของระบบหายใจสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อได้รับเหล็ก (41, 42) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบกับเด็กที่ไม่ซีด หรือเด็กคลอดก่อนกำหนดที่ได้รับเหล็กแล้วไม่ดีขึ้น Basta (43) พบการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันในกรรมกรทั้งในอินโดนีเซีย และเคนยา หลักฐานอื่นเกี่ยวกับการติดเชื้อง่ายในซีดจากการขาดเหล็ก ก็ได้แก่ phagocytic activity ของเม็ดเลือดขาวลดลง myeloperoxidase activity และ lymphocyte transformation ผิดปกติ เหล็กเป็นปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตของบักเตรีหลายชนิด Masawe และคณะ (44) พบคนซีดจากการขาดเหล็ก มีโอกาสเป็นมาลาเรียได้มากกว่า

ผลอย่างอื่น ๆ อาจกระทบกระเทือนหน้าที่ต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น มีความผิดปกติคือ การหลั่งน้ำย่อยของกระเพาะอาหารน้อยลง (45) น้ำย่อยของลำไส้เล็กน้อยลง (46) มีไมโตคอนเดรียในเซลล์โตขึ้น (47, 48) การกระทำภายใต้การควบคุมของจิตใจของคนที่ขาดเหล็กดีขึ้น เมื่อได้รับเหล็ก (49–52) ทำให้อัตราเติบโตของร่างกายในเด็กทวีขึ้น (53) ถ้ามีการขาดสังกะสีร่วมด้วยจะทำให้เด็กโตช้า และทำให้มีอาการของการขาดเหล็กชัดเจน เช่น เล็บเป็นรูปช้อน Koilonychia และ Plummer-Vinsion syndrome

2.4.6 ผลเสียของการมีเหล็กมากเกินไป

ภาวะการมีเหล็กมากเกินจะเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ มีการดูดซึมจากลำไส้มากกว่าปกติ และอีกทางหนึ่งได้รับเหล็กเข้าร่างกายโดยการฉีด เช่น ฉีดเหล็กหรือถ่ายเลือด (ได้เหล็กในเม็ดเลือดแดง) หรือทั้งสองทางรวมกัน

ในกรณีที่มีการดูดซึมของเหล็กจากลำไส้มากขึ้น มี 3 วิธี เท่านั้น ที่เยื่อบุลำไส้ จะเสียการควบคุมให้เหล็กได้สมดุลย์คือ

1. เกิดจากกรรมพันธุ์ มีความผิดปกติที่กลไกของการดูดซึมจากลำไส้

2. ในโรคบางอย่างที่มีความขัดข้องในการสังเคราะห์ฮีม โดยที่มีการดูดซึมของเหล็กมากขึ้นพอ ๆ กับที่มีการสร้างเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น

3. ในพวกที่กินอาหารมีเหล็กมากเป็นเวลานาน ๆ เช่น พวกบันตูในอาฟริกาใต้ หรือพวกที่กินยาพวกเหล็กอยู่ในเวลานาน ซึ่งปรากฏว่าเยื่อเมือกมีลักษณะปกตินั้น ไม่สามารถที่จะกันไม่ให้เหล็กจำนวนมากนั้นหลั่งไหลผ่านเข้าไปได้

เหล็กที่มากเกินจะเข้าอยู่ในเรติคูโล เอ็นโดธีเลียลเซลล์ (reticulo-endothelial cell) ส่วนมากในรูปของฮีโมซิเดอริน ที่จะเข้าอยู่ในเซลล์ประเภทใดนั้น ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับทางที่ได้รับเหล็ก ถ้าเหล็กมากเกินนั้นมาจากลำไส้ มักจะเข้าอยู่ในพาเรนไคลมัลเซลล์ (parenchymal cell) ของตับ หรือของอวัยวะอื่น ถ้าได้จากการถ่ายเลือด หรือจากการฉีดเหล็ก เหล็กมักเข้าเรติคูโล เอ็นโดธีเลียลเซลล์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งต่อไปจึงย้ายไปสู่พาเรนไคลมัลเซลล์บ้าง

เหล็กที่มากเกินไปในร่างกาย จะทำให้เกิดสภาพ ฮีโมซิเดอโรซีส (hemosiderosis) เป็นสภาวะที่มีเหล็กสะสมมากอยู่ในเรติคูโล เอ็นโดธีเลียลเซลล์ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อหิสฮู ถ้าเป็นสภาพฮีโมโครมาโตซีส (hemochromatosis) จะเป็นสภาวะที่มีเหล็กสะสมมากในพาเรนไคลมัลเซลล์ ทำให้เกิดความเสียหาย และอวัยวะเสื่อมหน้าที่ ที่มักเป็นเสมอ คือตับ

## 2.5 การเสริมเหล็กลงในน้ำปลา

005641

การเสริมเหล็กลงในน้ำปลา มีความจำเป็นสำหรับประชากรชาวไทยที่ขาดเหล็ก หรือชิดจากการขาดเหล็ก โดยเหตุที่จำนวนเหล็กในอาหารนั้นไม่เพียงพอกับความต้องการ และโดยเหตุที่ธรรมชาติของอาหาร อาจมีสารขัดขวางการดูดเหล็ก หรือขาดสารที่ส่งเสริมการดูดเหล็ก และด้วยเหตุร่วมอื่น ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้มีการพร่องและขาดเหล็กในประชากรนั้น ๆ ซึ่งอาจมีหรือไม่มีอาการขัดก็ได้ ในกรณีที่ชิดจากการขาดเหล็ก เกิดในชาวไทยจำนวนมากขึ้น จึงจำเป็นต้องเสริมเหล็กลงในน้ำปลา ซึ่งเป็นวัตถุจำยอมที่คนเราต้องกินเข้าไปทุกวันนั้น เป็นการบังคับไปในตัว และเป็นหลักประกันว่าคนเราได้รับเหล็กโดยไม่เป็นการฝืนหรือคิดเป็นยา

17505363

มีการศึกษาการเสริมเหล็กในน้ำปลาของประเทศไทย (7) โดยเลือกชนิดของเหล็กในรูปของสารประกอบชนิดต่าง ๆ คือ เหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ (ferric sodium EDTA) เหล็ก (III)โคลรีนไฮดรอกไซด์ ซิเตรท (ferric choline hydroxide citrate) เหล็ก (II)ไกลซีนซัลเฟต (ferrous glysine sulphate) เหล็ก(II) ไดกลูโคเนต (ferrous digluconate) เหล็ก (II) ซัคซิเนต (ferrous succinate) และเหล็ก (II) ซัลเฟต (ferrous sulphate) ในระดับ 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา ได้ติดตามศึกษาลักษณะที่ปรากฏของน้ำปลาเสริมเหล็กที่อุณหภูมิห้อง (22°-24°ซ) เป็น เวลานานหลายสัปดาห์ในหลอดทดลอง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำปลาเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ โดยไม่มีตะกอนเกิดขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำปลาเสริมเหล็กอื่น ๆ ซึ่งจะมีตะกอนเกิดขึ้นภายในเวลา 2-3 นาที จนถึงชั่วโมง และจากการศึกษาการดูดซึมเหล็กที่มีฉลากในรูปของเหล็ก (II) โซเดียมอีดีทีเอ เติมในอาหาร จะเป็นร้อยละ 8

2.6 การเลือกสารประกอบเหล็ก

สารประกอบเหล็กที่ใช้ในการเสริมเหล็กลงในอาหารหรือน้ำปลานั้นมีเกณฑ์ในการเลือกดังนี้คือ เมื่อผสมลงในอาหารหรือน้ำปลาแล้วจะไม่ทำให้เปลี่ยนสี ไม่ทำให้ตกตะกอน และจะต้องไม่ไปเปลี่ยนแปลงรสของน้ำปลา ในแง่การเก็บไว้นานก็ยังคงอยู่ตัว สามารถให้เหล็กป้อนความต้องการของร่างกาย เมื่อเก็บน้ำปลานั้นไว้นาน หรือเอามาปรุงอาหาร นอกจากนั้นราคาควรอยู่ในระดับที่พอหาซื้อรับประทานได้

สารประกอบเหล็กที่ละลายน้ำได้ เช่น เหล็ก (II) ซัลเฟต เหล็ก (III) แอมโมเนียมซิเตรท จัดเป็นสารประกอบเหล็กชนิดไพรออกซิแดนท์ (prooxidant) โดยอาจเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เหล็ก (II)ซัลเฟต อาจถูกออกซิไดส์ให้เปลี่ยนแปลงสีเป็นสีเขียว เหลือง และดำ โดยเปลี่ยนเป็นเหล็ก (III)ออกไซด์ได้ เกลือของเหล็กเหล่านี้อาจมีปฏิกิริยากับสารประกอบฟีโนลิค (phenolic) เช่น แทนนิน (tannin)ในน้ำชา และโพรพิลกาลเลท (propyl gallate) ทำให้เปลี่ยนสีเป็นน้ำเงินปนดำ สารประกอบเหล็กบางชนิด อาจมีปฏิกิริยากับสารประกอบต่างกันทำให้มีสีดำ อาจทำให้เอนไซม์ที่ใช้ในการออกซิเดชันมีปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลง

ทั้งสี กลิ่น และรสที่ผิดปกติได้

สารประกอบเหล็กที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เหล็ก (III) ออร์โธฟอสเฟต เหล็ก (III) โซเดียม พัยโร ฟอสเฟตนั้น ถึงแม้ว่าจะมีสีขาว แต่ละลายน้ำยากไม่ผสมในแหล่งเหล็กในรูปที่ไม่ใช่ฮีม และ bioavailability ต่ำ (55) จึงไม่เหมาะต่อการใช้เติมลงในอาหาร นอกจากจะเติมโซเดียมแอซิดซัลเฟต จึงจะมี bioavailability ดีขึ้น แต่ต้องใช้สารเคมี 2 ชนิด ทำให้ไม่ประหยัด (56, 57)

สารประกอบเหล็กอีกชนิดหนึ่งที่ละลายน้ำได้ดี คือ เหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ถึงแม้จะเป็นผงสีเหลือง ก็มีสีอ่อนเข้ากับสีของน้ำปลาได้ดี ละลายน้ำได้ และปราศจากรส เมื่อผสมอยู่ในแหล่งเหล็กในรูปที่ไม่ใช่ฮีม จะมี bioavailability สูง ให้เหล็กที่อยู่ตัว และเหล็กเวอร์ซิเนท (iron versenate, NaFeEDTA) ใช้รักษาได้ผลดีมาแล้วในผู้ใหญ่ (58) และในเด็ก (59) ส่วนที่เป็น EDTA ของอณูถูกดูดได้เพียงเล็กน้อย (60) ใช้ได้ผลดีมาแล้วในประเทศไทย (7) จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารประกอบเหล็กเพียงตัวเดียว โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยสารประกอบอื่นร่วมในการส่งเสริมการดูดซึมเหล็ก หรือจะใช้ร่วมด้วยก็ได้ แต่การผสมในน้ำปลานั้นตัวของน้ำปลาเองก็ส่งเสริมการดูดซึมเหล็กอยู่แล้ว อาจทำได้โดยละลายสารประกอบในน้ำในขอบเขตของคุณสมบัติในการละลาย ซึ่ง NaFeEDTA มีความสามารถในการละลายเป็น 10.49 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วเติมลงไปในน้ำปลา คนให้ทั่วก่อนบรรจุขวดตามระดับของการเสริมเหล็ก

ตัวอย่างสารประกอบเหล็กที่นิยมใช้เสริมในอาหาร

เหล็ก (II) ซัลเฟต (ferrous sulphate)

เป็นเหล็กที่ละลายน้ำได้ นิยมใช้แพร่หลายทั้งการป้องกัน และรักษา (61) มี 2 แบบ คือไม่มีน้ำ และมีน้ำในผลึก พวกที่มีน้ำในผลึก จะมี $1\frac{1}{2} - 2$ โมเลกุลของน้ำ และอาจเป็น $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ซึ่งน้ำจะเกาะอย่างหลวม ๆ สามารถทำให้แบ้ง อาหารสัตว์ ที่มีโปรตีนสูง และ

ข้าวโพด ถั่วเหลือง เกิดเหม็นหืน และเปลี่ยนแปลงสีได้ แต่มีข้อดี คือ bioavailability ดี ราคาถูก ไม่เป็นอันตราย โดย $LD_{50}$ สำหรับหนู เป็น 500 มิลลิกรัมเหล็ก (II) ซัลเฟต ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (62)

ในอินเดีย พบว่าเกลือ 1 กิโลกรัม ต้องใช้ 2500 มิลลิกรัมเหล็ก (II) ซัลเฟต 1000 – 2500 มิลลิกรัม โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต และ 500 – 1500 มิลลิกรัม โซเดียมไฮโดรเจนซัลเฟต ทำให้เกลือไม่มีสี

เหล็กรีดิวซ์ (reduced iron)

ผลิตโดยรีดิวซ์ เหล็กออกไซด์ ด้วยไฮโดรเจน หรืออิเลคโตรไลซีส bioavailability ขึ้นกับขนาดของโมเลกุล (63) มีเหล็กที่สามารถแตกตัวได้ (ionizable iron) เพียง 24% เมื่อเสริมเหล็กนี้ในขนมปังขาว จะเกิดความยุ่งยากขึ้นในการปฏิบัติ และความยอมรับของผู้บริโภค (64)

เหล็ก (III) ฟอสเฟต (ferric phosphate)

มีส่วนดีที่มักไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบของอาหาร แต่ bioavailability น้อย อาจใช้โดยการคัดแปลงในอาหารสำหรับทารก (65)

เหล็ก (III) ซัลเฟต (ferric sulphate)

อาจใช้ในสัตว์ แต่ถ้าใช้ในคน เช่น ขนมปัง จะดูดได้เพียง 1/3 ของเหล็ก (II) ซัลเฟต (65)

เหล็ก (II) คาร์บอเนต (ferrous carbonate)

เป็นสารที่นิยมใช้มากในการเสริมเหล็ก ลงในอาหารเลี้ยงสัตว์ แม้ว่าจากการทดลองพบว่าไม่ค่อยได้ผลเป็นที่น่าพอใจในอาหารที่เลี้ยงไก่ และหนู (66)

เหล็ก (III)แอมโมเนียม ซิเตรท (ferric ammonium citrate)

เป็นสารที่นิยมใช้มากในการเสริมเหล็กลงในอาหาร แม้ว่าจะราคาสูง ได้เสริมลงในอาหารพวกแป้ง ผลิตภัณฑ์อาหารนมได้ผลดี แต่เสริมในกาแฟจะทำให้เปลี่ยนแปลงสี (67) จากการทดลองศึกษา bioavailability ในสัตว์ พบว่า bioavailability ของเหล็ก (III) แอมโมเนียมซิเตรท ใกล้เคียงกับเหล็ก (II) ซัลเฟต เหล็ก (II) ฟูมาเรท (65)

เหล็ก (II)ฟูมาเรท (ferrous fumarate)

ในอเมริกา ใช้เสริมในนมข้าวโพดถั่วเหลือง โดยเสริมในปริมาณ 450 มิลลิกรัม ของเหล็ก(II) ฟูมาเรท ต่อ 1 กิโลกรัมของนมข้าวโพดถั่วเหลือง เพราะถ้าใช้เหล็ก (II) ซัลเฟต จะทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ (68) ในการศึกษาการดูดซึมเหล็กจากเหล็ก (II) ฟูมาเรท พบว่าเด็กสามารถดูดซึมเหล็กได้ประมาณ 6% ของเหล็กที่เสริมในนมข้าวโพดถั่วเหลือง เหล็ก (II) ฟูมาเรท ราคาสูงกว่าเหล็ก (II)ซัลเฟต (69)

เหล็ก(II) ไดโซเดียมอีดีทีเอ และเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ (ferrous disodium ethylenediaminetetra acetate & ferric sodium ethylenediaminetetra acetate)

จากการทดลองศึกษาในสัตว์และเด็กวัยก่อนเรียน พบว่า อัตราการดูดซึมเหล็กใกล้เคียงกับเหล็กฮีโมโกลบิน (haemoglobin iron) โดยที่ availability ไม่ได้รับอิทธิพลจากสารที่ยับยั้งการดูดซึมเหล็ก ในประเทศกัวเตมาลา Institute of Nutrition of Central America and Panama (INCAP) ได้ศึกษาน้ำตาลเสริมเหล็กในระดับ 10 มิลลิกรัมของเหล็กต่อ 60 กรัมน้ำตาล (70) ว่ามีความอยู่ตัวของเหล็ก(III) โซเดียมอีดีทีเอ หรือไม่เมื่อต้มปรุงอาหาร และทาง US. Food and Drug Administration อนุญาตให้ใช้ได้ในปริมาณ 60 และ 120 มก. สำหรับผู้ใหญ่ในแต่ละวัน

2.7 การคำนวณปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่ใช้ในการเสริมเหล็ก

ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กในการเสริมเหล็กนั้น ขึ้นอยู่กับ

ก. จำนวนเหล็กมากหรือน้อยที่สามารถใส่ลงในน้ำปลา โดยไม่เปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำปลา

ข. ปริมาณคิดเป็นร้อยละของเหล็กในอาหารที่ถูกดูดซึมได้ (per cent food iron absorption) เพื่อให้ได้ปริมาณของเหล็กเพิ่มพิเศษจากภายนอก เสริมกับเหล็กที่ได้อยู่แล้วจากอาหาร และน้ำให้เพียงพอกับความต้องการของเหล็กในแต่ละวัน โดยเฉพาะในประชากรที่มีอัตราเสี่ยงต่อภาวะขีดต่อการขาดเหล็กสูง

ค. สถานะภาพของเหล็กของผู้รับประทาน

ก. จำนวนเหล็กมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ซึ่งขึ้นอยู่กับเศรษฐานะของผู้บริโภค งานทางปริมาณเหล็กจากอาหารที่ได้รับ (iron intake) ของประชากรในแถบถิ่นต่าง ๆ ของประเทศไทยได้แสดงว่า ชาวนาที่จังหวัดศรีสะเกษ ได้รับเหล็กจากอาหารมื้อหนึ่ง ๆ เป็น 1/2 เท่าของชาวนาที่จังหวัดอ่างทอง และเป็น 1/4 เท่าของชาวนาที่ชานพระนคร (71) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2. แสดงสารประกอบเหล็กชนิดต่าง ๆ โดยเป็นข้อมูลจาก International Nutritional Anaemia Consultative Group เมื่อเดือนมิถุนายน 2520 ซึ่งราคาของสารประกอบเหล็กที่เทียบได้กับ bioavailability basis คำนวณจากการคูณ relative cost factor (100/ %iron x bioavailability factor in humans) กับราคาของสารประกอบเหล็กต่อกิโลกรัม (72)

| | % Iron Content | Bioavailability in Humans | Bioavailability in Animals | Processed Cereals | Salt | Sugar | Infant Foods (milk) | Beverages | × Relative Cost Factors | × Iron compound U.S. Price ($/kg June 1977) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Soluble Iron Compounds** | | | | | | | | | | |
| Ferrous Sulphate | 32·1 | G | G | V | V | R | V | R | 3·1 | 0·68 |
| Ferrous Citrate | 22·3 | G | G | V | V | R | V | R | 4·5 | 7·48 |
| Ferrous Fumarate | 32·9 | — | G | V | NR | NR | R | — | — | 2·35 |
| Ferrous Gluconate | 12·5 | — | G | V | V | R | R | R | — | 3·41 |
| Ferrous Lactate | 23·9 | G | G | — | NR | NR | V | R | 4·2 | 3·63 |
| Ferrous Tartrate | 25·2 | — | G | – | — | — | — | — | — | 8·36 |
| **Ionisable Ferric Compounds** | | | | | | | | | | |
| Ferric Chloride | 34·4 | G | G | NR | NR | NR | NR | NR | 2·9 | 2·93 |
| Ferric Sulphate | 27·9 | — | G | NR | NR | NR | NR | NR | — | 1·87 |
| Ferric Polyphosphate | 11·0 | — | G | R | NR | R | R | V | — | — |
| Ferric Ammonium Citrate | 17·0 | G | G | V | NR | NR | R | V | 5·9 | 3·08 |
| Ferric Glycerophosphate | 18·0 | G | G | V | NR | NR | V | V | 5·6 | 12·00 |
| **Insoluble Iron Compounds** | | | | | | | | | | |
| Ferric Orthophosphate | 28·6 | F | P | R | R | R | R | V | 7·0 | 1·72 |
| Ferric Oxide | 69·9 | P | P | NR | NR | NR | NR | NR | 4·3 | 2·02 |
| Elemental Iron | | | | | | | | | | |
| a. Reduced by Hydrogen (10–45 μm) | 96·0 | — | F | V | NR | NR | NR | NR | 2·1 | 1·58 |
| b. Reduced by Carbon Monoxide | 96·0 | — | F | V | NR | NR | NR | NR | — | 1·53 |
| c. Carbonyl Iron | 98·0 | — | F | V | NR | NR | NR | NR | — | 3·30 |
| d. Reduced by Electrolysis—20 μm | 97·0 | G | G | V | NR | NR | NR | NR | 1·0 | 3·08 |
| Ferric Hydroxide | 62·2 | P | P | NR | NR | NR | NR | NR | 4·8 | — |
| Ferrous Carbonate | 35·0 | P | P | NR | NR | NR | NR | NR | 8·6 | — |
| Ferric Pyrophosphate | 30·0 | P | P | R | R | R | R | V | 10·0 | — |
| Sodium Iron Pyrophosphate | 16·0 | P | P | R | R | R | R | V | 18·8 | 1·94 |
| **Iron Complex Compounds** | | | | | | | | | | |
| Sodium Ferric EDTA | 13·0 | G | G | V | — | R | V | V | 7·7 | 2·88 |
| Ferrocholinate | 14·0 | — | G | — | NR | NR | — | — | — | — |

KEY

G = Good — = Information not available V = Variable P = Poor
F = Fair R = Recommended NR = Not Recommended

*Bioavailability factor.* Numerical equivalents are as follows: G = 1, F = 2, P = 3.

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณเหล็กที่ประชากรในกรุงเทพฯ อ่างทอง และศรีสะเกษ ได้รับจากอาหาร (71)

| จังหวัด | จำนวนอาหารที่ศึกษา (ชนิด) | ปริมาณเหล็กทั้งหมดที่ได้รับ (มิลลิกรัม) ต่อมื้อ | | ต่อวัน | |
|---|---|---|---|---|---|
| กรุงเทพฯ (ศิริราช) | 40 | 8.07 | 2.59 | 24.20 | 7.76 |
| อ่างทอง | 504 | 4.14 | 1.76 | 13.17 | 2.87 |
| ศรีสะเกษ | 33 | 2.45 | 1.28 | 7.37 | 3.24 |

จำนวนเหล็กที่ปะปนเข้ามาในอาหารนั้น อาจเป็นเหล็กที่อยู่ในเนื้อของอาหาร และอาจเป็นเหล็กที่แปลกปลอม และไม่สามารถถูกดูดซึมในร่างกายได้ เช่น ผงเหล็กจากการสีข้าว หรือ เหล็กที่ติดมากับพืช ผัก เป็นต้น (73)

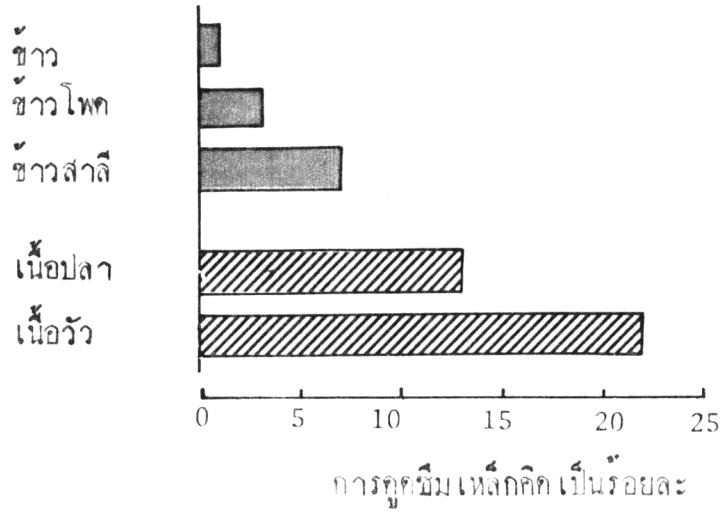
ตารางที่ 4 แสดงปริมาณเหล็กที่ต้องการในแต่ละวัน (74)

| ปริมาณเหล็กที่สูญเสียในแต่ละวัน | ปริมาณเหล็กในอาหาร (ม.ก) bioavailability ต่ำ | bioavailability กลาง | bioavailability สูง |
|---|---|---|---|
| 1.3 ม.ก. (ร้อยละ 50 ของผู้หญิง) | 26 | 13 | 6.5 |
| 1.8 ม.ก. (ร้อยละ 80 ของผู้หญิง) | 36 | 18 | 9.0 |
| 2.8 ม.ก. (ร้อยละ 95 ของผู้หญิง) | 56 | 28 | 14 |

ข. การดูดซึมเหล็กขึ้นอยู่กับ จำนวนเหล็กในอาหาร (ดังตารางที่ 4) และสถานะภาพของเหล็กในร่างกายของผู้รับประทาน ชนิดของอาหารนั้นก็มีความสำคัญคือ ถ้ามีสารขัดขวางการดูดซึมเหล็ก เช่น ฟัยเตท และแคลเซียมฟอสเฟต และแทนนินในน้ำชา เป็นต้น ในทางตรงข้าม ถ้ามีสารเสริมการดูดซึมเหล็ก เช่น วิตามินซี ในผลไม้ ตารางที่ 5 เช่น ฝรั่ง หรือรสของอาหารถูกปากย่อมทำให้ดูดซึมเหล็กได้มากขึ้น ในอาหารไทยของคนยากจน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ข้าว และผัก เช่น ชาวนาจับปลามาปรุงอาหารด้วยการดูดซึมเหล็กจะเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัว ถ้าผู้มีอันจะกินบริโภคเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อวัว หรือตับ ย่อมมีการดูดซึมเหล็กได้ดี และมักไม่ขาดเหล็ก เพราะมีปัจจัยสมบูรณ์ เช่น มีเนื้อสัตว์ และวิตามิน เป็นต้น (รูปที่ 2)

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณวิตามินซี ในผัก และผลไม้ต่าง ๆ (75, 76)

| | | ค่าเฉลี่ยของปริมาณวิตามินซี (มก./100 กรัม) |
|---|---|---|
| ผลไม้ | แตงกวา (สด) | 200 |
| | (กระป๋อง) | 180 |
| | มะนาว | 80 |
| | ส้ม | 50 |
| | สับปะรด | 25 |
| ผัก | บร็อคโคลี (ต้ม) | 34 |
| | กะหล่ำปลี (ดิบ) | 60 |
| | (ต้ม) | 15 |
| | ดอกกะหล่ำปลี (ดิบ) | 60 |
| | (ต้ม) | 20 |
| | ถั่ว (ดิบ) | 25 |
| | (ต้ม) | 15 |
| | มันฝรั่ง (ต้ม) | 18 |
| | มันฝรั่งหวาน (ดิบ) | 25 |
| | (ต้ม) | 15 |
| | ผักโขม (ต้ม) | 25 |
| | มะเขือเทศ (ดิบ) | 20 |
| | หัวผักกาด (ดิบ) | 25 |
| | (ต้ม) | 17 |




รูปที่ 2. แสดงการดูดซึมเหล็กคิดเป็นร้อยละในอาหารต่าง ๆ (77)

ตารางที่ 6. แสดงการขาดสารประกอบที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบในผู้ที่ขาดเหล็ก (78, 79)

| | | |
|---|---|---|
| | | Myoglobin |
| | | Cytochromes |
| Heme Compounds | | Catalase |
| | | Peroxidases |
| | | NADH dehydrogenase |
| | | Succinic dehydrogenase |
| | | Xanthine oxidase |
| | | Aldehyde oxidase |
| Non-Heme Compounds | | Alphaglycerephosphate oxidase |
| | | Phenylalanine hydroxylase |
| | ? | Ribonucleotide reductase |
| | | Menoamine oxidase |
| | | Lipid peroxidase |
| | | Proline hydroxylase |
| Iron Dependent Enzymes | | Lysine hydroxylase |
| | ? | Tyrosine hydroxylase |
| | | Tryptophan hydroxylase |

ค. สถานะภาพของเหล็กของผู้บริโภค มีความเกี่ยวพันกันทั้ง 3 ข้อ ในคนยากจนย่อมมีสถานะภาพของเหล็ก หรือเหล็กคงคลังน้อย ดังตารางที่ 6 เพราะได้รับอาหารที่ด้อยคุณภาพ และปริมาณชนิดของอาหารไม่เอื้ออำนวยการดูดซึมเหล็ก แต่ร่างกายมีกลไกที่จะต่อสู้ทดแทนโดยธรรมชาติอยู่บ้าง เช่น ในสภาพที่ขาดเหล็กย่อมทำให้เหล็กที่เก็บอยู่ในร่างกายน้อย ย่อมมีการหิวกระหายเหล็ก และพยายามดูดซึมเหล็ก ซึ่งจำกัดให้ได้มากขึ้น และผู้ที่สมบูรณ์ย่อมมีเหล็กคงคลังที่เก็บไว้ในร่างกายไม่บกพร่อง ย่อมต้องการและดูดซึมเหล็กได้เปอร์เซ็นต์น้อยกว่า

จำนวนของเหล็กที่ดูดซึมได้นั้นแล้วแต่จำนวนของเหล็กในอาหารที่รับประทานเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย และขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร เช่น เหล็กในรูปของฮีมที่อยู่ในอาหาร โปรตีนจากเนื้อวัว หมู หรือปลา เป็ด ไก่ หรืออาหารที่มีวิตามินซีสูง ย่อมส่งเสริมการดูดซึมเหล็ก ทำให้เหล็กถูกดูดซึมได้ดีกว่า ธาตุเหล็กในอาหารประเภทผัก และเมล็ดพืช ซึ่งมีธาตุเหล็กในรูปที่ไม่ใช่ฮีม เพราะฉะนั้นการขาดเหล็กอาจประมวลอยู่ที่จุดใหญ่ คือ ความยากจน ได้รับอาหารไม่เพียงพอ ทั้งปริมาณและคุณภาพ อาหารของคนยากจน มักเป็นอาหารประเภทเมล็ดพืช มีโปรตีนน้อย เช่น ข้าว อาจมีสารขัดขวางการดูดซึมเหล็ก เช่น คาร์บอเนต ฟอสเฟต และฟัยเทท และขาดสารส่งเสริมการดูดซึมเหล็ก เช่น ขาดวิตามินซี ขาดโปรตีนจากเนื้อสัตว์ และปลา นอกจากนั้น ยังมีสาเหตุสมทบอีกคือ มีความต้องการของเหล็กในร่างกายเพิ่มขึ้นในทารก เด็กกำลังเจริญเติบโต หญิงในวัยมีประจำเดือน และหญิงมีครรภ์ นอกจากนั้นยังพบมากในคนในหมู่บ้านที่มีพยาธิปากขอชุกชุม จึงทำให้มีการพร่องสารเหล็ก และอาจมีอาการซีดขึ้นได้

ถ้าจะสรุปทั้ง 3 ข้อนั้น มูลเหตุต้นตอของการพร่องเหล็ก และซีดจากการขาดเหล็กก็คือ ความด้อยของเศรษฐานะนั่นเอง