Review article

Iron bioavailability

Pattanee Winichagoon[1*]

[1]*Nutrition Cluster, Institute of Nutrition, Mahidol University*

ABSTRACT

Animal food sources contain heme and non-heme iron in variable proportions. Red meat, liver and blood have higher heme iron than white flesh foods (poultry, fish). Iron in milk and egg, plant sources (cereal grains, pulses and legumes), and iron fortificants are in the non-heme forms. Heme iron can be readily absorbed for utilization, whereas bioavailability of non-heme iron is affected by other food components that are present in the same meal. These food components may enhance (e.g., ascorbic acid), or inhibit iron absorption. The main iron absorption inhibitors in foods are phytate and polyphenols, which are also present in plant foods. In order to obtain adequate iron intakes, content and form of iron in foods, food portions eaten and co-present of iron absorption enhancers and inhibitors must be considered. In addition, iron status of individuals, physiological demands (e.g., growth, female reproductive age, pregnancy) also determine iron bioavailability from foods. Promoting good iron nutrition needs to consider diversity of foods or selecting bioavailable iron in food fortification. Absorption of iron from supplemented iron is reduced if taken together with meals, although side effects could be less. Taking iron supplement between meals is more desirable. Hemoglobinopathy, a hereditary abnormality in hemoglobin production, is common in Southeast Asia and other parts of the world. The majority of people having hemoglobinopathy are carriers or trait, and may have iron deficiency if the diets contain inadequate iron. The same strategies for ensuring adequate iron nutrition for people who have normal hemoglobin type can be promoted.

Key words: iron, food, bioavailability

**Corresponding author's email: nupwn@mahidol.ac.th*

บทความปริทัศน์

ธาตุเหล็กและการนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย

พัตธนี วินิจจะกูล[1*]

[1]*กลุ่มโภชนาการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล*

บทคัดย่อ

ธาตุเหล็กในอาหารในรูป heme ร่างกายดูดซึมได้โดยตรง แต่การดูดซึมและไปใช้ประโยชน์ในร่างกายของธาตุเหล็กในรูป non-heme ขึ้นกับองค์ประกอบอื่นในอาหารที่รับประทานพร้อมกัน อาหารกลุ่มเนื้อสัตว์มีธาตุเหล็กรูป heme ในสัดส่วนต่างกัน โดยเนื้อแดง ตับ เลือด มี heme สูงกว่าเนื้อสัตว์สีขาว ธาตุเหล็กในไข่ นม เป็น non-heme ส่วนธาตุเหล็กในพืช ธัญชาติ ถั่วเมล็ด ผักใบเขียว รวมทั้งสารประกอบธาตุเหล็กที่ใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารจากอุตสาหกรรม เป็น non-heme ทั้งหมด การแนะนำเพื่อให้ได้ธาตุเหล็กเพียงพอ ต้องคำนึงถึงปริมาณธาตุเหล็ก รูปของธาตุเหล็ก และปริมาณอาหารที่รับประทานในชีวิตประจำวัน และอาหารที่รับประทานพร้อมกันให้มีสารส่งเสริมและหลีกเลี่ยงสารที่ลดการดูดซึม รวมทั้งภาวะธาตุเหล็กของบุคคล หรือความต้องการที่สูงตามภาวะทางสรีวิทยา เช่น การเจริญเติบโต หญิงวัยเจริญพันธุ์ และหญิงตั้งครรภ์การส่งเสริมภาวะธาตุเหล็กเพื่อป้องกันโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก ควรส่งเสริมการรับประทานอาหารที่หลากหลายและมีส่วนประกอบเหมาะสม การเสริมสารอาหารลงในผลิตภัณฑ์ควรเลือกสารประกอบธาตุเหล็กที่สามารถดูดซึมและใช้ประโยชน์ได้ดี ส่วนการรับประทานยาเม็ด/ยาน้ำธาตุเหล็ก ไม่ควรรับประทานพร้อมอาหารทันทีเพื่อให้ธาตุเหล็กดูดซึมได้ดี ประชากรที่มีผู้ที่เป็นพาหะของความผิดปกติทางพันธุกรรมที่ไม่มีอาการทางคลินิกอาจมีภาวะการขาดธาตุเหล็กได้เช่นเดียวกับผู้ที่มีฮีโมโกลบินปกติขึ้นกับแบบแผนการรับประทานอาหาร พบว่าธาตุเหล็กสามารถดูดซึมและใช้ประโยชน์ในร่างกายได้โดยไม่เกิดภาวะ iron overload ดังนั้น มาตรการในการส่งเสริมภาวะธาตุเหล็กที่แนะนำสามารถช่วยให้มีภาวะธาตุเหล็กที่ดีได้เช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: ธาตุเหล็ก อาหาร การดูดซึมและใช้ประโยชน์ในร่างกาย

**Corresponding author's email: nupwn@mahidol.ac.th*

บทนำ

การขาดธาตุเหล็กและโลหิตจางเป็นปัญหาสาธารณสุขทั่วโลกทั้งในประเทศกำลังพัฒนา และประเทศพัฒนาหลายแห่ง และเป็นเป้าหมายสำคัญของการรณรงค์เพื่อร่วมมือกันลดปัญหาโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็กในหญิงวัยเจริญพันธุ์ลงครึ่งหนึ่งภายในปี ค.ศ. 2025 เนื่องจากปัญหานี้ไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่ที่ผ่านมาการดำเนินการเกี่ยวกับโลหิตจางมักเน้นเฉพาะการเร่งแก้ปัญหาในระยะตั้งครรภ์ด้วยการเสริมธาตุเหล็กในรูปยาซึ่งบางคนคิดว่าเป็นมาตรการเพื่อการรักษา การขาดความรู้และตระหนักว่าการมีภาวะธาตุเหล็กที่ดีสามารถทำได้โดยการรับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กเพียงพอในชีวิตประจำวันของทุกกลุ่มวัย การรับประทานอาหารอย่างเหมาะสมจึงเป็นวิธีการป้องกันและส่งเสริมสุขภาพในระยะยาวได้

วัตถุประสงค์ของการทบทวนวรรณกรรมนี้ เพื่อประมวลองค์ความรู้เกี่ยวกับธาตุเหล็กในอาหารและการนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย ทั้งธาตุเหล็กที่อยู่ในอาหารตามธรรมชาติ การเสริมธาตุเหล็กในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และการเสริมธาตุเหล็กปริมาณสูง

รูปของธาตุเหล็กในอาหาร

ธาตุเหล็กในอาหารแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่มคือธาตุเหล็กที่อยู่ในรูป heme ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน และมัยโอโกลบิน และธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปของ inorganic iron หรือ ferritin เรียกว่า เป็น non-heme iron อาหารที่มาจากแหล่งเนื้อสัตว์มีธาตุเหล็กรูป heme อยู่ในสัดส่วนต่างๆ กัน แหล่งอาหารที่เป็นเนื้อสัตว์ ตับ เครื่องใน มีธาตุเหล็กในรูปของ heme ประมาณร้อยละ 30-50 เลือดหมู เลือดไก่มีธาตุเหล็กรูป heme สูงถึงประมาณร้อยละ 80 ของธาตุเหล็กทั้งหมด ส่วนอาหารทะเล เช่น กุ้ง ปลาหมึก มีธาตุเหล็กรูป heme ร้อยละ 1-10 หอยบางชนิดมีธาตุเหล็กโดยรวมและสัดส่วนที่เป็นรูป heme สูงใกล้เคียงกับกลุ่มเครื่องในและเนื้อแดง ส่วนเนื้อเป็ดไก่และปลามีทั้งที่มี heme สูง ได้แก่ส่วนของเนื้อสีคล้ำ ส่วนที่เป็นเนื้อสีขาว เช่นส่วนอกของเป็ด ไก่ และปลาส่วนใหญ่ มี heme อยู่เพียงร้อยละ 10-15 ธาตุเหล็กส่วนที่เหลืออยู่ในรูปของ non-heme iron ร่างกายสามารถดูดซึมธาตุเหล็กรูปฮีมไปใช้ได้โดยตรง[1,2]

ธาตุเหล็กในอาหารพวกพืชต่างๆ ได้แก่ ธัญชาติต่างๆ รวมทั้ง ข้าว และถั่วเมล็ดแห้ง เช่น ถั่วเหลือง อยู่ในรูปของ ferritin ธาตุเหล็กในผักต่างๆ ผักเขียวเข้ม อยู่ในรูป non-heme รวมทั้งธาตุเหล็กในน้ำนมวัว และไข่ แม้จะเป็นกลุ่มเนื้อสัตว์แต่อยู่ในรูป non-heme[3] อย่างไรก็ดีอาหารเหล่านี้ก็ยังเป็นแหล่งอาหารสำคัญของธาตุเหล็กและสารอาหารอื่นที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเช่นโปรตีน ซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตในเด็ก และกลุ่มวัยอื่นที่ต้องการในปริมาณสูง เช่น หญิงตั้งครรภ์ หญิงให้นมบุตร และวัยสูงอายุและเป็นอาหารที่นิยมบริโภคในชีวิตประจำวัน ดังนั้น ถือว่าเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของธาตุเหล็กได้เช่นกันในประชากรที่มีแบบแผนการรับประทานอาหารกลุ่มเนื้อสัตว์ในปริมาณสูง อาจได้รับธาตุเหล็กในรูป heme มากถึงร้อยละ 40 ของธาตุเหล็กที่ได้รับทั้งหมด[4] ส่วนในประชากรที่รับประทานพืชเป็นหลัก มีเนื้อสัตว์ต่างๆ ในปริมาณจำกัด จะได้รับธาตุเหล็กในรูป non-heme ในสัดส่วนที่สูง

การดูดซึมธาตุเหล็กและการนำไปใช้ในร่างกาย (iron bioavailability)

โดยทั่วไปการพิจารณาการได้รับสารอาหารดูจากปริมาณของสารอาหารที่อยู่ในอาหาร ต่อ 100 กรัมของอาหาร (ตารางคุณค่าทางโภชนาการ) หรือ ต่อหน่วยบริโภค สารอาหารกลุ่ม micronutrients ซึ่ง ได้แก่ วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ ร่างกายไม่สามารถดูดซึมและนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ทั้งหมด ธาตุเหล็กเป็นสารอาหารที่ร่างกายมีระบบควบคุมให้อยู่ในปริมาณที่เพียงพอ และสะสมในระดับที่มากพอเพื่อสำรองไว้ใช้ประโยชน์ในกรณีที่ไม่ได้รับจากอาหารเพียงพอ หรือได้รับจากอาหารน้อยอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาการดูดซึมธาตุเหล็กและนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย (iron bioavailability) สามารถใช้วิธี *in vivo* คือ ทำในห้องปฏิบัติการทางคลินิคโดยใช้ radio-isotope ของธาตุเหล็กเป็น tracer ในอาหารโดยการให้อาสาสมัครรับประทานอาหารดังกล่าว แล้วทำการวัดปริมาณธาตุเหล็กในร่างกาย (total body iron) แต่การศึกษาวิธีนี้มีความยุ่งยาก และต้องมีเครื่องวัดปริมาณธาตุเหล็กทั้งร่างกาย (whole body counter) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคทางอณูธรรมชาติ (stable isotope) ทำให้ลดข้อกังวลเกี่ยวกับการใช้สาร radio-isotope ทำให้ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถศึกษาในเด็ก หรือหญิงตั้งครรภ์ได้ การศึกษา bioavailability ของธาตุเหล็ก ทำโดยทราบปริมาณของอณูธรรมชาติของธาตุเหล็กที่ใส่ในอาหาร แล้ววัดสารอณูธรรมชาติที่ถูกนำไปสร้างสารฮีโมโกลบินในอีก 2 สัปดาห์ถัดไปโดยการเก็บตัวอย่างเลือด และทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการ mass spectrometry นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่เป็น controlled efficacy study คือ การให้รับประทานอาหารที่มีสารอาหารที่ต้องการประเมินโดยให้อาหารต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น 4-6 เดือน โดยมีการติดตามการรับประทานอย่างใกล้ชิดเพื่อให้ผู้ที่เข้าร่วมในการวิจัยได้อาหารตามที่กำหนดไว้ (compliance) ข้อจำกัดที่มักพบคือปัญหาการขอออกจากการวิจัย (dropout) ก่อนการวิจัยเสร็จสิ้น จึงต้องมีการบริหารจัดการที่ดี และมีการกระตุ้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสนใจและตั้งใจร่วมมืออย่างมาก สำหรับการศึกษาในหลอดทดลอง *in vitro* ซึ่งใช้การจำลองระบบการดูดซึมสารอาหาร และ cell culture ก็เป็นอีกวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากทำได้ในระดับห้องปฏิบัติการ แต่ผลที่ได้จากการใช้วิธีเหล่านี้มักไม่สอดคล้องกับผลที่ได้จากวิธี *in vivo* ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้เพื่อการคัดกรองสูตรอาหาร หรือสารประกอบของธาตุเหล็ก ก่อนนำไปศึกษาโดยวิธี *in vivo* ต่อไป

ธาตุเหล็กในอาหารที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน ร่างกายมีระบบการดูดซึมผ่านลำไส้ที่แตกต่างกัน เหล็กในรูปของ heme สามารถถูกดูดซึมเข้าไปโดยตรงและจะถูกพักไว้ใน iron pool[1,5] โดยมีอัตราการดูดซึมอยู่ในช่วงร้อยละ 15-35 แต่เหล็ก ในอาหารที่เป็น non-heme ต้องถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ ferric iron ในลำไส้ แล้วเปลี่ยนกลับให้เป็น ferrousironnon-heme iron จึงมีอัตราการดูดซึมได้เพียงร้อยละ 2-10[(5)] โดยการดูดซึมของ non-heme iron ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารที่รับประทานไปพร้อมกัน ซึ่งสารที่อยู่ในอาหารอาจช่วยส่งเสริมการดูดซึม (enhancer) หรือขัดขวางการดูดซึม (inhibitor)[1,6]

ตารางที่ **1** แสดงสารในอาหารที่มีผลต่อการดูดซึมของ non-heme iron และตัวอย่างอาหารจากการวิจัย พบว่า วิตามินซี และกรดอินทรีย์บางชนิดที่พบในผัก ผลไม้ เช่น กรดมาลิค กรดตาตาริค และกรดซัคซินิค สามารถช่วยให้การดูดซึมธาตุเหล็ก non-heme iron ได้ดีขึ้น ในทางตรงข้ามสารหลายชนิดขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็ก ที่สำคัญได้แก่ ไฟเตท (phytate) และสารโพลีฟีนอล (polyphenol) สารไฟเตทพบมากในข้าวที่ไม่ได้ขัดสี ถั่วเมล็ดแห้ง เช่น ถั่วเหลือง ซึ่งมีทั้ง non-heme iron และไฟเตทสูง ไฟเตทที่ขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็กนั้นเกิดจากกลุ่มสารที่มีส่วนประกอบของฟอสเฟต 5 และ 6 โมเลกุล ธาตุเหล็กในอาหารที่มี bioavailability ดีควรมีค่า molar ratio ของไฟเตทต่อธาตุเหล็กต่ำกว่า 1:1 หรือเพื่อให้แน่ใจควรต่ำกว่า 0.4:1[7] ส่วนโพลีฟีนอล พบได้ใน ชา กาแฟ เครื่องเทศบางชนิด ข้าวที่มีสีต่างๆ และพืชผักใบเขียวเข้ม เนื่องจากโพลีฟีนอลเป็นสารที่เรียกรวมๆโดยมีส่วนประกอบสารเฉพาะที่ต่างกันไป ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณสัดส่วนที่จะมีผลต่อการดูดซึมธาตุเหล็กในลักษณะเดียวกับไฟเตทได้ ผักเหล่านี้ เช่น ผักโขม กะถิน และผักพื้นบ้านหลายชนิด มีปริมาณไฟเตทไม่สูงมากแต่มักมีโพลีฟีนอลด้วย ข้าวที่มีสีต่างๆ นอกจากมีสารไฟเตทสูงยังมีโพลีฟีนอลอยู่ด้วย เหล็กในน้ำนมวัวถูกดูดซึมไปใช้ได้น้อยเช่นกันคือประมาณร้อยละ 4 - 6 ผลการวิจัยพบว่าแคลเซี่ยมและโปรตีนในนมอาจขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็ก[8] และไม่มีผล[10] ทั้งนี้อาจขึ้นกับชนิดโปรตีนและเปปไทด์ในนมที่มีหลากหลายชนิดที่ทำให้ได้ผลแตกต่างกัน ธาตุเหล็กในไข่แดงอยู่ในสารฟอสวิดินถูกดูดซึมได้น้อยกว่าเหล็กในรูป heme เช่นกัน[9]

ตารางที่ 1 สารในอาหารที่ส่งเสริมและขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็กและตัวอย่างอาหาร

สารอาหาร	ตัวอย่างอาหาร
สารส่งเสริมการดูดซึม :	
วิตามินซี (Ascorbic acid) และกรด citric	ฝรั่ง มะละกอ มะม่วง แพร์ กล้วยน้ำว้า กะหล่ำดอก มะนาว แอปเปิ้ล สับปะรด
กรด malic และ tartaric	แครอท มันฝรั่ง ฟักทอง บรอคโคลี่ มะเขือเทศ ผักกาดหัวไชเท้า
Peptide ที่มี cysteine เป็นองค์ประกอบ	เนื้อวัว เนื้อหมู ตับ ไก่ ปลา
แอลกอฮอล์ (ethanol) ผลิตภัณฑ์หมักดอง	ไวน์ขาว เบียร์ soy sauce, sauerkraut
สารขัดขวางการดูดซึม :	
ไฟเตต (Phytate)	รำข้าว ข้าวโพด โปรตีนถั่วเหลือง ข้าวโอ๊ต ถั่วเมล็ดแห้งต่างๆ
โพลีฟีนอล (Polyphenols)	ชา กาแฟ ผักโขม ถั่วเมล็ดต่างๆ ไวน์แดง
แคลเซี่ยมและฟอสฟอรัส	นม เนยแข็ง

ที่มา : Gillespie, 1998[11]

ธาตุเหล็กในน้ำนมแม่อยู่ในรูป lactoferrin ซึ่งเป็น non-heme iron และมีปริมาณที่ไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับนมวัวสดหรือนมผงที่มักมีการเสริมธาตุเหล็กเพิ่มด้วย แต่การดูดซึมเหล็กจากน้ำนมแม่มีอัตราสูง (มากกว่าร้อยละ 40) กว่าเหล็กที่อยู่ในนมผง (ร้อยละ 5 - 10)[12] Domellof และคณะ[13] ศึกษาการดูดซึมธาตุเหล็กจากนมแม่เปรียบเทียบกับการดูดซึมธาตุเหล็กเมื่อมีการเสริมธาตุเหล็กในรูปยาน้ำระหว่างอายุ 4 - 6 เดือน และ 6 - 9 เดือน เมื่อทำการวัดที่อายุ 6 เดือนพบว่าการดูดซึมธาตุเหล็กจากนมแม่ในเด็กที่ได้รับการเสริมธาตุเหล็ก (ร้อยละ 11.9) หรือไม่ได้เสริมธาตุเหล็ก (ร้อยละ 17.8) ไม่แตกต่างกันอย่างมรนัยยะสำคัญทางสถิติ แต่ที่อายุ 9 เดือนการดูดซึมธาตุเหล็กจากนมแม่ของเด็กที่ได้รับการเสริมธาตุเหล็ก (ร้อยละ16.9) ต่ำกว่าเด็กที่ไม่ได้เสริมธาตุเหล็ก (ร้อยละ 36.7) กว่าเท่าตัวและยังพบว่าการเสริมธาตุเหล็กในรูปยาน้ำทำให้การดูดซึมธาตุเหล็กจากนมแม่ลดลง ในขณะที่การได้ธาตุเหล็กจากอาหารเสริมตามวัยไม่มีผลต่อการดูดซึมธาตุเหล็กในนมแม่

การดูดซึมและนำไปใช้ในร่างกาย (bioavailability) ของธาตุเหล็กจากอาหารไทยอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 8-12 ขึ้นกับส่วนประกอบของอาหาร มลุลี ตัณฑวิรุฬห์และคณะ วัดการดูดซึมธาตุเหล็กในอาหารไทยที่ประกอบด้วยข้าว ปลา และผักกาด พบอัตราการดูดซึมร้อยละ 12 แต่เมื่อเติมยอดกะถิน ซึ่งมีสารโพลีฟีนอลในปริมาณสูงในปริมาณเพียงเล็กน้อย เช่น 3-5 กรัม ทำให้การดูดซึมธาตุเหล็กลดเหลือประมาณครึ่งหนึ่ง (ร้อยละ 6) และเมื่อใส่ยอดกะถิน ถึง 20 กรัม การดูดซึมเหลือเพียง ร้อยละ 2 อย่างไรก็ดีเมื่อให้รับประทานวิตามินซีร่วมด้วย พบว่าสามารถเพิ่มการดูดซึมได้มากขึ้น แต่ไม่เท่ากับเมื่อไม่มียอดกะถิน[14] การศึกษาในอาสาสมัคร พบว่าปริมาณธาตุเหล็กที่ดูดซึมได้จากอาหารประเภทเนื้อปลา มีค่าร้อยละ 7.5 - 22.1 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารส่งเสริม หรือขัดขวางการดูดซึมที่อยู่ในอาหารที่บริโภค[15]

สำหรับปริมาณไฟเตทในอาหารไทย พบว่า ข้าวจ้าวขัดสี มีปริมาณของสารไฟเตท 23.5 - 33.6 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนข้าวซ้อมมือมีไฟเตทโดยเฉลี่ย 158 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นับว่าสูงกว่าข้าวที่ขัดสีถึง 6.7 เท่า จากการสำรวจอาหารที่มีจำหน่ายทั่วไปในกรุงเทพ จำนวน 372 ราย พบค่าเฉลี่ยของไฟเตทร้อยละ 8.1[15] ผักที่รับประทานอย่างแพร่หลาย เช่น ผักกาด ผักบุ้ง ผักกะเฉด มีสารไฟเตทไม่มาก แต่ผักใบเขียวเข้มซึ่งมักรับประทานตามท้องถิ่นต่างๆ มีสารโพลีฟีนอลในปริมาณที่สูงมาก ในผักหลายชนิดมีวิตามินซีอยู่ในปริมาณพอควร แต่เมื่อผ่านการหุงต้มโดยวิธีต่างๆ เช่น ลวก ต้มหรือผัด พบว่ามีการสูญเสียวิตามินซีมากน้อยต่างกันขึ้นกับวิธีการหุงต้ม สำหรับธาตุเหล็กในผักส่วนมากมีปริมาณธาตุเหล็กไม่มาก คือประมาณ 0.9 - 1.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เทียบกับอาหารประเภทเนื้อสัตว์ซึ่งมีเหล็ก 1 - 2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เครื่องในและเลือดมีปริมาณธาตุเหล็กสูงถึงประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนปลากุ้ง และหอยต่างๆ มีธาตุเหล็กอยู่ประมาณ 0.5 - 2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม[16]

การรับประทานอาหารหลากหลาย (mixed diets) ทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ของธาตุเหล็กกับองค์ประกอบต่างๆ ในอาหารที่ส่งเสริมหรือขัดขวางการดูดซึม ผลการขัดขวางการดูดซึม

ธาตุเหล็กน้อยกว่าที่วัดได้จากการศึกษาที่ใช้อาหารเมนูเดี่ยว ด้วยข้อจำกัดที่ไม่สามารถศึกษาการรับประทานลักษณะ mixed diets ได้ทุกสำรับ จึงไม่สามารถกำหนดค่าตัวเลขเพื่อใช้ในการปรับค่าการดูดซึมธาตุเหล็กใน mixed diets ได้อย่างไรก็ตาม Monsen และคณะได้ประมวลข้อมูลจากงานวิจัยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณการการดูดซึมธาตุเหล็ก[17] ดังแสดงในตารางที่ 2 การดูดซึมเหล็กไปใช้ในร่างกายยังขึ้นกับปริมาณของเหล็กที่อยู่ในแหล่งสะสมในร่างกาย ซึ่งวัดด้วยระดับ serum ferritin ผู้ที่มีภาวะเหล็กในแหล่งสะสมต่ำจะดูดซึมธาตุเหล็กจากอาหารได้มากกว่าผู้ที่มีภาวะโภชนาการเหล็กดี การประมาณการว่าอาหารนั้นร่างกายจะดูดซึมธาตุเหล็กได้มากหรือน้อย พิจารณาจากปริมาณของอาหารกลุ่มเนื้อสัตว์ วิตามินซี ร่วมกับการพิจารณาส่วนประกอบในอาหารว่ามีพืชผักที่มักมีสารขัดขวางการดูดซึมอยู่มากหรือน้อย

1. Low bioavailability diet หมายถึง อาหารที่มีข้าว พืชหัวที่ให้แป้งเป็นอาหารหลัก อาจมีเนื้อสัตว์ ปลา ไก่ หรืออาหารที่มีวิตามินซีเพียงเล็กน้อย ได้แก่อาหารที่มีเนื้อ ไก่ ปลา <30 กรัม (น้ำหนักดิบและไม่ติดมัน) หรือวิตามินซี <25 มก. อาหารกลุ่มนี้จะมีสารขัดขวางการดูดซึมที่มีอยู่ในข้าว ถั่วเมล็ดแห้งต่างๆ และผักหลายชนิด ประมาณว่าธาตุเหล็กจะถูกดูดซึมได้เพียงร้อยละ 3-4

2. Intermediate bioavailability diet จะคล้ายคลึงกับอาหารในกลุ่มแรก แต่จะมีปริมาณของเนื้อสัตว์และวิตามินซีอยู่พอสมควรได้แก่อาหารที่มี เนื้อ ไก่ ปลา 30 - 90 กรัม (น้ำหนักดิบและไม่ติดมัน) หรือวิตามินซี 25 - 75 มก. การดูดซึมธาตุเหล็กในอาหารกลุ่มนี้ประมาณร้อยละ 7 - 10 แบบแผนอาหารที่มีองค์ประกอบที่เป็น high bioavailability แต่มีการดื่มน้ำชา กาแฟร่วมไปกับมื้ออาหาร จะทำให้อัตราการดูดซึมและนำธาตุเหล็กไปใช้ลดลงกลายเป็นกลุ่มปานกลาง

3. High bioavailability diet เป็นอาหารที่มีเนื้อสัตว์ไก่ ปลา และอาหารที่มีวิตามินซีสูงรวมอยู่ในมื้อเดียวกัน ได้แก่อาหารที่มี เนื้อ ไก่ ปลา >90 กรัม หรือ วิตามินซี >75 มก. หรือเนื้อ ไก่ ปลา 30 - 90 กรัม และวิตามินซี 25 - 75 มก. การดูดซึมธาตุเหล็กในกลุ่มนี้จะสูงถึงร้อยละ 15 - 20

ตารางที่ **2** Iron bioavailability ในอาหารที่มีส่วนประกอบต่างๆ

ลักษณะอาหาร	% การดูดซึมธาตุเหล็กจากอาหาร ปริมาณธาตุเหล็กในแหล่งสะสม (ferritin, มก)		
	0	**250**	**500**
1. อาหารที่มีธาตุเหล็กในรูป heme อย่างเดียว	35	28	23
2. อาหารที่มีธาตุเหล็กในรูป heme และ non-heme ร่วมกัน			
2.1 Low bioavailability meal	5	4	3
2.2 Intermediate bioavailability meal	10	7	5
2.3 High bioavailability meal	20	12	8

ปรับปรุงจาก Monsen, 1982[17]

โดยทั่วไปการหุงต้มอาหารไม่กระทบกับธาตุเหล็กในอาหาร ยกเว้นถ้าการหุงต้ม/ทอด/ปรุงมีการเสียน้ำหรือมีน้ำเพิ่มในตัวอาหารมากขึ้นหรือลดลง อาหารที่ผ่านการหุงต้มจะทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงจากที่อยู่ในอาหารดิบประมาณร้อยละ 25 ดังนั้นปริมาณวิตามินซีที่ช่วยเสริมการดูดซึมธาตุเหล็กก็น้อยลง ในทางตรงข้าม ข้าวกล้องหรือข้าวที่ไม่ขัดสี หรือข้าวที่มีสารขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็ก เช่น ไฟเตท ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ การแช่ข้าว เช่น ข้าวเหนียวก่อนนึ่งจะลดปริมาณไฟเตทลงได้มาก แต่ถ้าในอาหารมีสารกลุ่มที่ให้สี เช่น anthocyanin ซึ่งไม่ละลายน้ำ การรับประทานอาหารที่มีวิตามินซีไปพร้อมกันจะช่วยให้การดูดซึมธาตุเหล็กในรูป non-heme ดีขึ้น

โดยสรุปธาตุเหล็กไม่ว่าจะอยู่ในรูปของ heme หรือรูปอื่นๆ จากอาหาร ร่างกายจะไม่สามารถดูดซึมไปใช้ได้ทั้งหมดดังนั้น การประเมินการได้รับธาตุเหล็กเพียงพอหรือไม่ จึงไม่สามารถพิจารณาเพียงปริมาณธาตุจากตารางคุณค่าอาหารแต่เพียงอย่างเดียวนอกจากนี้ยังต้องพิจารณาว่าปริมาณธาตุเหล็กที่อยู่ในตารางคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในอาหารในลักษณะเดียวกับที่รับประทานหรือไม่ เช่น ปริมาณธาตุเหล็กในเห็ดหูหนูแห้งที่ค่อนข้างสูง แต่เวลารับประทานต้องนำไปแช่น้ำให้คืนตัวก่อน ดังนั้น ปริมาณธาตุเหล็กในเห็ดหูหนูที่พร้อมรับประทาน 100 กรัม ก็น้อยกว่าเห็ดหูหนูแห้งในปริมาณเดียวกัน อีกประการหนึ่งการพิจารณาว่าอาหารนั้นเป็นแหล่งที่ดีของธาตุเหล็กหรือไม่ ต้องพิจารณาปริมาณของอาหารที่โดยทั่วไปรับประทานได้จริง (portion) ด้วย เช่น กะปิ และเครื่องเทศหลายชนิด มีปริมาณธาตุเหล็กต่อ 100 กรัมสูง แต่ปริมาณที่รับประทานต่อครั้งเพียงเล็กน้อย และมักมีสารที่ขัดขวางการดูดซึมด้วย จึงไม่ควรส่งเสริมการรับประทานอาหารเหล่านี้เพื่อเพิ่มธาตุเหล็ก อาหารที่มีโพลีฟีนอลสูงแม้ว่าจะขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็ก แต่พบว่ามีประโยชน์ทางสุขภาพในด้านอื่น ดังนั้น การเลือกรับประทานอาหารให้หลากหลายจึงยังเป็นข้อแนะนำที่ควรนำไปปฏิบัติในชีวิตประจำวัน

การประเมิน iron bioavailability จากข้อมูลการบริโภคอาหารระดับประชากร

การศึกษา bioavailabilityของธาตุเหล็กทำการศึกษาได้จำกัดเพียงเมนูอาหารไม่กี่ชนิด ขณะที่การบริโภคอาหารของประชากรย่อมมีความหลากหลายเกินกว่าที่จะศึกษาได้ครบถ้วน จึงมีความพยายามคิดค้นวิธีในการประเมินค่า bioavailability จากแบบแผนการรับประทานระดับประชากร มีงานวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิค mathematical modelings อยู่บ้างเช่น Hallberg และคณะ สร้างสมการจากข้อมูลการศึกษา iron bioavailability ในงานที่ใช้ isotope[18] Beard และคณะ[19] ทดสอบสมการเหล่านี้โดยใช้ข้อมูลการบริโภคอาหารของแม่ชีในประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าผลที่ได้ยังไม่สามารถสรุปเป็นข้อแนะนำว่าสมการใดจะสามารถนำไปประยุกต์อย่างกว้างขวางได้

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซึมและการใช้ธาตุเหล็กจากอาหาร

ปกติ ร่างกายมีกระบวนการกำกับธาตุเหล็กให้อยู่ในสมดุลที่เหมาะสม (homeostasis) นอกเหนือจากรูปของธาตุเหล็กในอาหารแล้ว ภาวะธาตุเหล็กของบุคคล ความต้องการทาง

สรีรวิทยา ก็มีส่วนสำคัญในการกำกับการดูดซึมธาตุเหล็กจากอาหารภาวะธาตุเหล็กที่วัดจากธาตุเหล็กในแหล่งสะสม (ferritin) ในร่างกายซึ่งวัดด้วย serum ferritin เป็นปัจจัยกำหนด bioavailability ของ non-heme iron เมื่อเหล็กในแหล่งสะสม คือ ferritin มีปริมาณต่ำถึงจุดหนึ่งจะลดการหลั่งฮอร์โมน hepcidin ทำให้มีการดูดซึมเหล็กจากอาหารได้สูงขึ้น และเร่งกระบวนการทำลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุในม้ามเพื่อให้กลับมาใช้ให้พอกับความต้องการซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 7-10 วัน เมื่อระดับ ferritin เพิ่มขึ้น ฮอร์โมน hepcidin เพิ่มขึ้นทำให้ลดการดูดซึมธาตุเหล็กจากอาหารจนเข้าสู่สมดุลย์ธาตุเหล็กอีกครั้งหนึ่ง[20]ในเด็กที่มีการเจริญเติบโต อัตราการดูดซึมธาตุเหล็กอาจสูงกว่าในผู้ใหญ่ การดูดซึมธาตุเหล็กและนำไปใช้ในหญิงตั้งครรภ์ในไตรมาสสองและสามมีอัตราเพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 20 เทียบกับระดับในไตรมาสแรกหรือก่อนตั้งครรภ์[21]

ธาตุเหล็กและการเสริมสารอาหารในอาหาร (food fortification)

การเสริมสารอาหารในอาหารเป็นมาตรการหนึ่งในการควบคุมป้องกันการขาดธาตุเหล็ก ข้อพิจารณาที่สำคัญ คือ ควรเป็นอาหารที่ประชากรนั้นบริโภคเป็นประจำ และในปริมาณที่มากพอสำหรับการเสริมสารอาหารให้เกิดผล การเสริมธาตุเหล็กในอาหารเช้า (breakfast cereals) ในประเทศตะวันตก ทั้งสหรัฐอเมริกา และหลายประเทศในยุโรปเป็นมาตรการสำคัญที่ลดปัญหาการขาดธาตุเหล็กลง แต่ประเทศกำลังพัฒนาส่วนมากมักรับประทานอาหารจากผลผลิตของตนเอง การรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารจากอุตสาหกรรมมีจำกัด ดังนั้น การใช้มาตรการเสริมสารอาหารจึงต้องเริ่มจากการพิจารณาเลือกอาหารที่จะใช้เป็นพาหะ (food vehicle) ส่วนสารประกอบของสารอาหารที่ใช้เสริม (fortificant) ต้องไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางการรับรส (organoleptic properties) จากการทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นในอาหารที่เป็นพาหะ[22]และที่สำคัญต้องพิจารณา คือ ธาตุเหล็กที่เสริมนั้นร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ เพื่อให้ได้รับธาตุเหล็กเพียงพอต่อความต้องการ การเสริมสารอาหารมักกำหนดให้เป็นวิธีเพิ่มสารอาหารเพื่อเติมส่วนที่ขาดอยู่จากการรับรับประทานอาหารประจำวันเทียบกับข้อแนะนำสารอาหารในแต่ละวัน

ในปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับการเสริมธาตุเหล็กในอาหารต่างๆ เช่น อาหาร/นม/สูตรอาหารสำหรับทารก แป้งสาลี แป้งข้าวโพด (maize) สำหรับในทวีปเอเชียพบว่ามีการเสริมธาตุเหล็กในเครื่องปรุงรส เช่น น้ำปลา ซีอิ๊ว ผงปรุงรส (seasoning powder และ bouillon cubes) นมและผลิตภัณฑ์นม สำหรับข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรจำนวนมากทั่วโลก จากการที่มีการผลิตโดยผู้เพาะปลูกรายย่อย ซึ่งเป็นทั้งผู้ผลิตและบริโภค และไม่ได้ผลิตแบบรวมศูนย์ ทำให้การเสริมธาตุเหล็กที่จุดผลิตทำไม่ได้ อย่างไรก็ดี เกิดนวัตกรรมการเสริมสารอาหารรวมทั้งธาตุเหล็กในแป้งข้าว และใช้เครื่อง extruder ทำออกมาในรูปเมล็ดข้าว จากนั้นจึงนำไปผสมกับข้าวจากการเพาะปลูกตามสัดส่วนเพื่อให้มีเหล็กในปริมาณที่ต้องการ[23]

สารประกอบธาตุเหล็กที่ใช้เสริมในอาหาร แต่เดิมภาคอุตสาหกรรมเลือกใช้ธาตุเหล็กที่มีความคงตัว ได้แก่ elemental iron แต่พบว่ามี

การดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายต่ำมาก (<ร้อยละ 5) จึงมีการวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่อง สารประกอบธาตุเหล็กที่มี bioavailability สูง ได้แก่ ferrous sulphate มักทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นในอาหารทำให้เกิดกลิ่นคล้ายสนิมเหล็ก สารประกอบธาตุเหล็กที่มีความคงตัวดีกว่า เช่น ferrous fumarate หรือ sodium-iron EDTA (NaFe EDTA) หรือ iron-amino acid chelation มีการนำมาใช้แต่บางครั้งมีข้อจำกัดในปริมาณที่กำหนดให้เสริมได้ตามข้อกำหนดของ CODEX เช่น การใช้ NaFe EDTA ในอาหารเสริมตามวัย[24] ดังนั้นจึงเกิดนวัตกรรมและการพัฒนากระบวนการผลิตต่างๆ เกี่ยวกับการเสริมธาตุเหล็ก เช่น การทำ encapsulation โดยใช้ส่วนประกอบที่มีไขมันห่อหุ้มสารประกอบธาตุเหล็กเพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับอาหาร การเปลี่ยนวิธีการทำ elemental iron ที่ใช้แพร่หลายในการเสริมในอาหารต่างๆ เช่น แป้งสาลี จากกระบวนการ hydrogen-reduced iron เป็น electrolytic iron เพื่อให้มี bioavailability ดีขึ้น[25] การลดขนาดของ particle size ของธาตุเหล็กโดยใช้กระบวนการ micronization เช่น ferric pyrophosphate ซึ่งเป็นสารที่มีความคงตัวกว่า ferrous sulphate แต่มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำทำให้ bioavailability ต่ำ การใช้กระบวนการ micronization ทำให้สามารถเพิ่ม bioavailability ของ ferric pyrophosphate ได้[26]

การพิจารณาเลือกสารประกอบธาตุเหล็กในการเสริมในอาหารจึงควรมีการศึกษา iron bioavailability วิธีการศึกษาที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือการใช้อณูธรรมชาติของธาตุเหล็ก หรือศึกษาโดยประเมิน efficacy ของการเสริมธาตุเหล็กอย่างเดียวหรือร่วมกับสารอาหารอื่น ก่อนการนำไปขยายผล อย่างไรก็ดี ต้องคำนึงว่าอาหารที่มีการเสริมธาตุเหล็กยังรับประทานร่วมกับอาหารอื่นๆ ในมื้อหรือสำรับเดียวกัน ดังนั้น การส่งเสริมการใช้สารอาหารจึงต้องพิจารณาประเด็นการเลือกรับประทานอาหารเพื่อให้เกิดการส่งเสริมการดูดซึมหรือหลีกเลี่ยง/ลดสารขัดขวางในอาหาร ตัวอย่างเช่น Walcyzk และคณะ ศึกษาการคัดเลือกสารประกอบธาตุเหล็กสำหรับการเสริมในน้ำปลา[27] เมื่อนำน้ำปลาเสริมธาตุเหล็กปรุงรสอาหาร ซึ่งมีการปรุงรสเพิ่มด้วยพริกป่นหรือขมิ้น พบว่าการดูดซึมธาตุเหล็กที่เสริมนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในอาหารที่เติมพริกป่น แต่ในอาหารที่ใช้หุงโดยใส่ขมิ้นพบการขัดขวางการดูดซึมไม่ชัดเจน ทั้งนี้อาจขึ้นกับสัดส่วนของธาตุเหล็กกับสารขัดขวางการดูดซึม (molar ratio) ดังกล่าวข้างต้น[28] ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมตามวัยจากอุตสาหกรรมมักมีการเสริมธาตุเหล็กเช่นกัน Gibbs และคณะ[29] ทำการศึกษาปริมาณธาตุเหล็ก สังกะสี และไฟเตทในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมตามวัยจากประเทศต่างๆ ในเอเชีย พบว่าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีการเสริมธาตุเหล็ก แต่เมื่อพิจารณาสัดส่วนของไฟเตทต่อธาตุเหล็กพบว่าสูงกว่า 1:1 ดังนั้นการดูดซึมธาตุเหล็กไปใช้จึงต่ำกว่าที่คาดไว้ การเตรียมอาหารเสริมตามวัยเหล่านี้จึงควรใส่เนื้อสัตว์ หรือตับ หรือผักผลไม้ที่ให้วิตามินซีด้วย

การดูดซึมธาตุเหล็กในยาเม็ด/ยาน้ำ

สำหรับธาตุเหล็กที่ให้เสริมในรูปของยา (iron supplement) มีการศึกษาน้อยมาก โดยพบว่าอัตราการดูดซึมเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณธาตุเหล็ก ดังนั้นการกำหนดว่าจะให้ธาตุเหล็กในปริมาณสูงเพียงใดต้องคำนวณจากปริมาณ

และอัตราการดูดซึม ยาเม็ดเหล็กในปริมาณ 60 - 120 มก. พบว่าดูดซึมไปใช้ได้เพียงร้อยละ 3-5 ขึ้นกับปริมาณและฟอร์มของธาตุเหล็ก การกินยาธาตุเหล็กขณะที่ท้องว่าง ทำให้มีการดูดซึมธาตุเหล็กได้ดี แต่การให้ธาตุเหล็กในปริมาณสูงไม่ว่าจะให้สัปดาห์ละครั้ง หรือให้ทุกวัน อาจเกิดอาการข้างเคียง ได้แก่ คลื่นไส้ มวนท้อง ท้องเสีย หรือท้องผูก[30] นอกจากนี้ยังทำให้อุจจาระมีสีดำเนื่องจากเหล็กที่ไม่ถูกดูดซึมจะขับออกมาด้วย ทำให้เกิดความกลัวว่าเป็นผลเสียหรือมีอันตรายต่อสุขภาพ การกินยาเม็ดธาตุเหล็กพร้อมกับอาหารจะช่วยลดอาการข้างเคียง แต่การดูดซึมธาตุเหล็กเมื่อรับประทานพร้อมกับอาหารก็ลดลงด้วย[31] ดังนั้นจึงควรเลี่ยงโดยการกินธาตุเหล็กในระหว่างมื้ออาหารหรือหลังอาหารประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง ในทารกการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับธาตุสังกะสีในยาน้ำโดยให้ในสัดส่วนน้ำหนักเท่ากัน (10 มก.) พบว่าภาวะธาตุสังกะสีต่ำกว่าเด็กที่ได้รับธาตุสังกะสีเพียงอย่างเดียว แต่ในทางกลับกันธาตุสังกะสีไม่รบกวนการใช้ประโยชน์ของธาตุเหล็ก[32,33] แสดงว่าการที่เสริมสารอาหารทั้งสองร่วมกันในยาน้ำซึ่งมีปริมาณสารอาหารสูง ต่างจากผลของการให้เป็นอาหารซึ่งแนะนำว่าสัดส่วนของธาตุเหล็กต่อสังกะสีไม่เกิน 2:1 เพื่อไม่ให้ธาตุเหล็กมีผลต่อการใช้ประโยชน์จากธาตุสังกะสี[34] อย่างไรก็ดี ในประชากรที่มีการขาดสารอาหารทั้งสองร่วมกัน และต้องการแก้ไขที่เร่งด่วน อาจจำเป็นต้องให้ทั้งสองอย่างร่วมกัน แม้ว่าจะประสิทธิผลของธาตุสังกะสีจะน้อยกว่าการให้สารอาหารเดียวไปบ้างก็ตาม

การดูดซึมธาตุเหล็กและการนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายกับภาวะทางพันธุกรรม hemoglobinopathy

ในทางคลินิก ผู้ที่เป็นโรค thalassemia ซึ่งมีความผิดปกติของการสร้างฮีโมโกลบินจะมีภาวะการดูดซึมเหล็กมากเกินกว่าที่ร่างกายควบคุม (iron overload) ทำให้เกิดเหล็กสะสมในตับ ม้าม เกิดผลเสียที่รุนแรง ผู้ป่วยเหล่านี้ต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด เนื่องจากมีภาวะซับซ้อนต่างๆ ด้วย สำหรับประเทศไทยมีประชากรที่มีความผิดปกติของการสร้างฮีโมโกลบินในลักษณะที่เป็นเพียงพาหะ (carrier) ของความผิดปกติแต่ไม่มีอาการแสดงทางคลินิก พบได้ในอัตราร้อยละ 10 - 40 ของประชากรขึ้นกับชนิดและภูมิภาค ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบผู้ที่เป็นพาหะที่ไม่มีความรุนแรงทางคลินิกร้อยละ 35 - 40 ในจำนวนนี้กว่าร้อยละ 90 ของผู้ที่เป็นพาหะเป็นกลุ่ม heterozygote E (HbAE) ที่เหลือเป็น homozygote E (HbEE)[35] ในภาคเหนือพบกลุ่มความผิดปกติชนิด α-thalassemia เป็นส่วนมาก ด้วยเหตุนี้ ผู้กำหนดนโยบายจึงมักมีความกังวลกับการกำหนดให้ใช้มาตรการการส่งเสริมธาตุเหล็กโดยการเสริมสารอาหาร หรือเสริมเป็นยาเม็ด/ยาน้ำในปริมาณสูง ในประเทศไทยมีการศึกษาเพื่อประเมินการดูดซึมและการนำธาตุเหล็กไปใช้ในร่างกายในหญิงวัยเจริญพันธุ์โดยใช้อณูธรรมชาติที่เสริมในน้ำปลา และวัดเปรียบเทียบผู้ที่เป็นพาหะชนิด HbE heterozygote (HbAE) และ α-thal 1 กับหญิงที่มีฮีโมโกลบินปกติ (HbAA) ผลการศึกษาพบว่า หญิงที่เป็นพาหะ HbAE มีการดูดซึมและนำธาตุเหล็กไปใช้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากหญิงที่มีฮีโมโกลบินปกติ ส่วนกลุ่ม

α-thal 1 ดูดซึมธาตุเหล็กจากอาหารได้มากกว่าหญิงที่มีฮีโมโกลบินปกติ แต่ไม่มีเหล็กสะสมในปริมาณที่สูงจนถือว่ามี iron overload[36] การศึกษาทางคลินิกในหญิงตั้งครรภ์ที่คลินิกฝากครรภ์ โดยให้การเสริมธาตุเหล็กวันละ 120 มก. ประมาณช่วงกลางของการตั้งครรภ์จนคลอด พบว่าผู้ที่มี HbE มีการตอบสนองน้อยกว่าหญิงที่มี ฮีโมโกลบินปกติ และกลุ่ม homozygote HbEE เกือบไม่ตอบสนอง[37] แต่ไม่พบการเกิดภาวะ iron overload

เนื่องจากในประชากรเดียวกันที่มีทั้งผู้ที่มีฮีโมโกลบินชนิดปกติหรือเป็นพาหะ ต่างก็มีแบบแผนการรับประทานอาหารเช่นเดียวกัน การรับประทานอาหารที่มีปริมาณ/คุณภาพของเหล็กในอาหารไม่พอจะเกิดการขาดธาตุเหล็กได้เช่นกัน ในการกำหนดมาตรการและการแนะนำการเสริมยาเม็ดธาตุเหล็ก หรือการรับประทานอาหารที่เสริมธาตุเหล็ก จึงสามารถใช้ได้ การเสริมธาตุเหล็กให้หญิงตั้งครรภ์ยังควรเป็นมาตรการทางสาธารณสุขเพื่อป้องกันโลหิตจางในหญิงมีครรภ์ แต่ปริมาณธาตุเหล็กที่ให้อาจจะลดลงเหลือเพียง 30-60 มก. ต่อวัน เพื่อลดการเกิดอาการข้างเคียง สำหรับกลุ่มที่ให้งดการเสริมธาตุเหล็ก ได้แก่ โรคเลือดจางธาลัสซีเมียชนิดเอ็ช (HbH disease, HbH-CS disease) โรคเลือดจางธาลัสซีเมียชนิดเบต้า-อี (β-thal/HbE disease) และโรคเลือดจางธาลัสซีเมียชนิดเบต้า (Homozygous β-thalassemia)

บทสรุป

ธาตุเหล็กในอาหารที่อยู่ในรูป heme ร่างกายดูดซึมได้โดยตรง สำหรับรูป non-heme การดูดซึมและไปใช้ประโยชน์ในร่างกายขึ้นกับองค์ประกอบอื่นในอาหารที่รับประทานพร้อมกัน ซึ่งสามารถส่งเสริมหรือขัดขวางการดูดซึม อาหารกลุ่มเนื้อสัตว์มีธาตุเหล็กทั้งสองรูปยกเว้นธาตุเหล็กในไข่ นม เป็น non-heme ส่วนธาตุเหล็กในพืช ธัญชาติ ถั่วเมล็ด ผักใบเขียว รวมทั้งสารประกอบธาตุเหล็กที่ใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารจากอุตสาหกรรม เป็น non-heme ทั้งหมด การแนะนำเพื่อให้ได้ธาตุเหล็กเพียงพอ ต้องคำนึงถึงปริมาณธาตุเหล็ก รูปของธาตุเหล็ก และปริมาณอาหารที่รับประทานในชีวิตประจำวัน และอาหารที่รับประทานพร้อมกันให้มีสารส่งเสริมและหลีกเลี่ยงสารที่ลดการดูดซึมส่วนการรับประทานยาเม็ด/ยาน้ำธาตุเหล็ก ไม่ควรรับประทานพร้อมอาหารทันทีเพื่อให้ธาตุเหล็กดูดซึมได้ ในประชากรที่มีผู้ที่เป็นพาหะของความผิดปกติทางพันธุกรรมที่ไม่มีอาการรุนแรงทางคลินิก สามารถดูดซึมและใช้ธาตุเหล็กได้โดยไม่เกิดภาวะ iron overload

References

1. Monsen ER, Hallberg L, Layrisse M, Hegsted DM, Cook JD, Mertz W, Finch CA. Estimation of available dietary iron. Am J Clin Nutr 1978; 31: 134-141.
2. Boontaveevywat N, Kwanbunchan S, The heme iron content of urban and rural Thai diets. J Med Assoc Thai 2001: 1131-6.
3. Hallberg L. Bioavailability of iron in man. Ann Rev Nutr 1981: 123-47.
4. Hurrell R, Egli I. Iron bioavailability and dietary reference values. Am J Clin Nutr 2010; 91(suppl): 1461S-7S.
5. Beard JL, Dawson H, Pinero DJ. Iron metabolism: A comprehensive review. Nutr Rev 1996: 295-317.
6. Hallberg L, Hulten, Gramatkovski L. Iron absorption from the whole diet in man: how effective is the regulation of iron absorption. Am J Clin Nutr 1997: 347-56.
7. Hurrell RF. Phytic acid degradation as a means of improving iron absorption. Int J Vitamin Nutr Res 2004: 445–52.
8. Hurrell R, Egli I. Iron bioavailability and dietary reference values. Am J Clin Nutr 2010; 91(suppl): 1461S-7S.
9. Callender ST, Marney SR, Warner GT. Eggs and iron absorption. Brit J Haematol 1970: 657-65.
10. Hallberg L, Rossander-Hulthen L, Brune M, Gleerup A. Inhibition of haem-iron absorption in man by calcium. Br J Nutr 1993: 33-40.
11. Gillespie, S. Major issues in the control of iron deficiency. The Micronutrient Initiative, Ottawa, Canada and UNICEF, New York, USA, 1998.
12. Saarinen UM, Siimes MA, Dallman PR. Iron absorption in infants: high bioavailability of breast milk iron as indicated by the extrinsic tag method of iron absorption and by the concentration of serum ferritin. J Pediatr 1977: 36-9.
13. Domellöf M, Lönnerdal B, Abrams SA, Hernell O.Am J Clin Nutr 2002: 198-204.
14. Tuntawiroon M, Sritongkul N, Brume M, et al. Dose-dependent inhibitory effect of phenolic compounds in foods on nonheme-iron absorption in men. Am J Clin Nutr 1991: 554-7.
15. Tuntawiroon M, Sritongkul N, Rossander-Hulten L, Pleehachinda R, Suwanik R, Brune M, Hallberg L. Rice and iron absorption in man. Eur J Clin Nutr1990: 489-97.

16. Suttikomin W. Effect of blanching, boiling and stir-frying on total iron, vitamin C, phytate and tannin content in Thai vegetables. MS [thesis]. Bangkok: Faculty of Graduate Studies, Mahidol University, 2002.
17. Monsen ER, Balintfy JL. Calculating dietary iron bioavailability: Refinement and computerization. J Am Diet Assoc 1982: 307-11.
18. Hallberg L, Hulthen L. Prediction of dietary iron absorption: an algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron. Am J Clin Nutr. 2000:1147-60.
19. Beard JL, Laura E. Murray-Kolb, Haas JD, Lawrence F. Iron Absorption prediction equations lack agreement and underestimate iron absorption. J. Nutr.2007: 1741-6.
20. Nemeth E, Ganz T. Regulation of iron metabolism by hepcidin. Annu Rev Nutr 2006: 323-42.
21. Zimmermann MB, Hurrell RF. Nutritional iron deficiency. Lancet 2007: 511-520.
22. Allen LH, de Benoist B, Dary O, Hurrell R (eds.). Guidelines on food fortification with micronutrients. World Health Organization and Food and Agricultural Organization of the United Nations, WHO, Geneva, Switzerland, 2002.
23. Steiger G, Muller-Fischer N, Cori H, Conde-Petit B. Fortification of rice: technologies and nutrients. Ann NY Acad Sci 2014: 1-11.
24. Chavasit V, Porasuphatana S, Suthutvoravut U, Zeder C, Hurrell R. Iron bioavailability in 8–24-month-old Thai children from a micronutrient-fortified quick-cooking rice containing ferric ammonium citrate or a mixture of ferrous sulphate and ferric sodium ethylenediaminetetraacetic acid. Maternal and Child Nutrition 2015; 11 (Suppl 4): 179-87.
25. Zimmermann MB, Winichagoon P, Gowachirapant S, Hess SY, Harrington M, Chavasit V, Lynch SR, Hurrell RF. Comparison of the efficacy of wheat-based snacks fortified with ferrous sulfate, electrolytic iron, or hydrogen-reduced elemental iron: randomized, double-blind, controlled trial in Thai women. Am J Clin Nutr 2005: 1276-82.
26. Moretti D, Zimmermann MB, Muthayya S, Thankachan P, Lee, T-C, Kurpad AV, Hurrell RF. Extruded rice fortified with micronized ground ferric pyrophosphate reduces iron deficiency in indian school-children: A double-

blind randomized controlled trial. Am J Clin Nutr 2006: 822-9.

27. Walczyk T, Tuntipopipat S, Zeder C, Sirichakwal P, Wasantwisut E, Hurrell RF. Iron absorption by human subjects from different iron fortification compounds added to Thai fish sauce. European Journal of Clinical Nutrition 2005: 668-74.
28. Tuntipopipat S, Judprasong K, Zeder C, Wasantwisut E, Winichagoon P, Charoenkiatkul S, Hurrell R, Walczyk T. Chili, but not turmeric, inhibits iron absorption in young women from an iron-fortified composite meal. J Nutr 2006: 2970-4.
29. Gibbs M, Bailey KB, Lander RD, Fahmida U, Perlas L, Hess SY, Loechl CU, Winichagoon P, Gibson RS. The adequacy of micronutrient concentrations in manufactured complementary foods from low-income countries. J Fd Comp Anal 2011: 418-26.
30. Ziauddin Hyder SM, Persson LA, Chowdhury AMR, Ekström E. Do side-effects reduce compliance to iron supplementation? A study of daily- and weekly-dose regimens in pregnancy. J Health Pop Nutr 2002: 175-9.
31. Hallberg, L, Bjorn-Rasmussen, E, Ekenved, G, Garby,L, Rossander, L, Pleehachinda, R, Suwanik, R and Arvidsson, B. Absorption from iron tablets given with different types of meals. Scand J Haematol 1978: 215-24.
32. Wasantwisut E, Winichagoon P, Chitchumroonchokchai C, Yamborisut. U, Boonpraderm A, Pongcharoen T, Sranacharoenpong K, Russameesopaphorn W. Iron and zinc supplementation improved iron and zinc status, but not physical growth of apparently healthy, breast-fed infants in rural communities of northeast Thailand. J Nutr 2006: 2405-11
33. Wieringa FT, Berger J, Dijkhuizen MA, Hidayat A, Ninh NX, Utomo B, Wasantwisut E, Winichagoon P (2007). Combined iron and zinc supplementation in infants improved iron and zinc status, but interactions reduced efficacy in a multicountry trial in southeast Asia. J Nutr 137: 466-71.
34. Solomon NW. Competitive interaction of iron and zinc in the diet: consequences for human nutrition. J Nutr 1986: 927-35.
35. Thurlow RA, Winichagoon, P, Green T, Wasantwisut E, Pongcharoen T, Baily KB, Gibson RS. Only a small proportion of anemia in northeast Thai schoolchildren is associated with iron

deficiency. Am J Clin Nutr 2005: 380-7.

36. Zimmermann MB, Fucharoen S, Winichagoon P, Sirankapracha P, Zeder C, Gowachirapant S, Judprasong K, Tanno T, Miller J, Hurrell RF.Iron metabolism in heterozygotes for haemoglobin E (HbE), α-thalassemia1 or β-thalassemia and in compound heterozygotes for HbE/β-thalassemia. Am J Clin Nutr 2008: 1026-31.

37. Sanchaisuriya K, Fucharoen S, Ratanasiri T, Sanchaisuriya P, Fucharoen G, Dietz E, Schelp FP. Effect of the maternal E-globin gene on hematologic responses to iron supplementation during pregnancy. Am J Clin Nutr 2007: 474-9.