

## บทที่ 10

# วิตามินและเกลือแร่

**วัตถุประสงค์** เมื่ออ่านบทนี้ตลอดจนทำแบบฝึกหัดแล้ว นักศึกษาจะต้อง

1. เขียนชื่อ โครงสร้าง ของวิตามินประเภทที่ละลายน้ำได้ รวมทั้งทราบแหล่งที่พบและหน้าที่ทางชีววิทยาของวิตามินเหล่านี้ด้วย
2. อธิบายได้ว่าทำไมความสามารถในการละลายน้ำของวิตามินชนิดต่าง ๆ จึงเป็นตัวบ่งชี้ว่าสิ่งมีชีวิตควรจะได้รับวิตามินชนิดนั้น ๆ บ่อยเท่าใด และถ้าได้รับวิตามินแต่ละชนิดมากเกินไป จะมีอันตรายอย่างไรหรือไม่
3. แจกแจงชนิดของโรคที่เกิดจากการขาดวิตามิน
4. เขียนรายชื่อของ macronutrients และ micronutrients รวมทั้งสูตรเคมี และบ่งถึงแหล่งที่พบ หน้าที่ในร่างกาย ผลที่เกิดจากการขาดหรือได้รับสารอาหารชนิดนั้น ๆ มากเกินไปด้วย
5. เขียนชื่อ trace elements ที่พบในร่างกาย รวมทั้งหน้าที่บางประการของธาตุแต่ละตัวนั้น
6. เขียนรายชื่อของธาตุที่เป็นพิษต่อร่างกาย ความเกี่ยวข้องกับของความเข้มข้นที่มีต่อความเป็นพิษ ตลอดจนผลที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตด้วย

การที่จะมีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์นั้น นอกจากต้องรับประทานอาหารให้ครบถ้วนตามหลักโภชนาการแล้ว ยังต้องอาศัยวิตามินและเกลือแร่ต่าง ๆ ด้วย ถ้าจะให้คำจำกัดความของวิตามินแล้วจะได้ดังนี้คือ

1. วิตามินเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งแม้ร่างกายต้องการในจำนวนน้อย แต่ก็มีผลอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตและสุขภาพของมนุษย์และสัตว์
2. สัตว์ชั้นสูงจะไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินส่วนใหญ่ขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องได้รับเข้าไปจากภายนอก

วิตามินแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามการละลาย คือ

1. วิตามินที่ละลายในไขมัน (fat - soluble vitamins) พวกนี้เป็นวิตามินที่มนุษย์ไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ได้แก่วิตามิน เอ ดี อี และเค โครงสร้างทางเคมีของวิตามินทั้งสี่ชนิดนี้จะแตกต่างกัน

ไป แต่ทั้งหมดก็ละลายในไขมัน ไม่ละลายน้ำ และถูกเก็บสะสมไว้ในส่วนไขมันของร่างกาย โดยเฉพาะที่ตับ ดังนั้นผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับการดูดซึมของอาหารพวกไขมัน จึงอาจมีปัญหาในการดูดซึมวิตามินประเภทนี้ตามไปด้วย และในทางตรงกันข้าม ถ้าร่างกายได้รับวิตามินประเภทนี้มากเกินไปจะทำให้เกิด hypervitaminosis คือวิตามินจะไปรวมตัวกันอยู่มากเกินไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายได้

2. วิตามินที่ละลายในน้ำ (water - soluble vitamins) ได้แก่วิตามินบีทุกชนิด และวิตามินซี วิตามินบีแต่ละชนิดก็มีหน้าที่ทางชีววิทยาแตกต่างกันออกไป โดยที่หลายชนิดจะมีความสำคัญในแง่ของการเป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ตามปกติ ส่วนที่เป็นวิตามินของโคเอนไซม์จะทำหน้าที่ช่วยให้เอนไซม์จับกับสับสเตรทในการเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นถ้าขาดวิตามินสำหรับสร้างโคเอนไซม์เหล่านี้ไป ย่อมมีผลทำให้ปฏิกิริยาที่ควรดำเนินไปอย่างต่อเนื่องนั้นต้องหยุดชะงักลงได้ และเนื่องจากวิตามินประเภทนี้ละลายได้ในน้ำ ดังนั้นจึงถูกกำจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่เกิด hypervitaminosis ขึ้นเหมือนอย่างวิตามินประเภทแรกแต่จากการที่วิตามินประเภทนี้ไม่ถูกเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อของร่างกาย จึงทำให้มนุษย์ต้องได้รับวิตามินบีและซีจากอาหารอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ เพื่อที่จะสามารถรักษาระดับให้สมดุลย์อยู่ได้

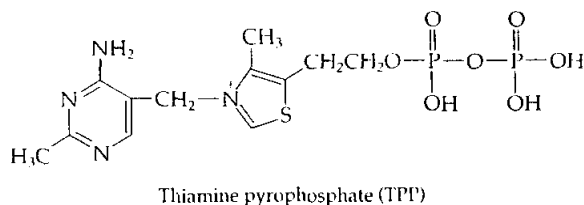
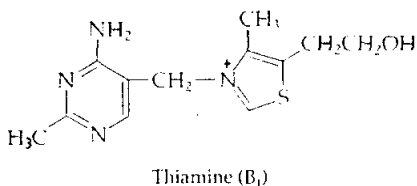
สำหรับวิตามินประเภทแรกได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 6 ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิตามินประเภทหลังเท่านั้น

### 10.1 วิตามินที่ละลายน้ำ

มีด้วยกันหลายชนิด คือ

#### 10.1.1 วิตามินบี 1 หรือไทอามีน (thiamine)

พบมากในธัญพืชพวกข้าวที่ยังไม่ถูกขัดสี ถั่ว ยีสต์ และไข่แดง วิตามินชนิดนี้ถูกสกัดออกมาได้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1933 และในปี ค.ศ. 1936 ก็สามารถทราบโครงสร้างทางเคมีว่าประกอบขึ้นจากวงแหวนไพริมิดีนซึ่งมีซัลเฟอร์และไนโตรเจนอยู่ด้วย วิตามินบี 1 ที่บริสุทธิ์มีชื่อว่าไทอามีน แต่เมื่อเข้าสู่ปฏิกิริยาเมตาบอลิสมต่าง ๆ จะใช้ในรูปแบบของไพโรฟอสเฟต วิตามินบี 1 ก่อนข้างคงทนต่อความร้อน ที่ใช้ในการทำครัวและทำอาหารกระป๋อง แต่จะสลายเมื่อนำไปต้ม ทั้งนี้เพราะความสามารถในการละลายน้ำได้นั่นเอง

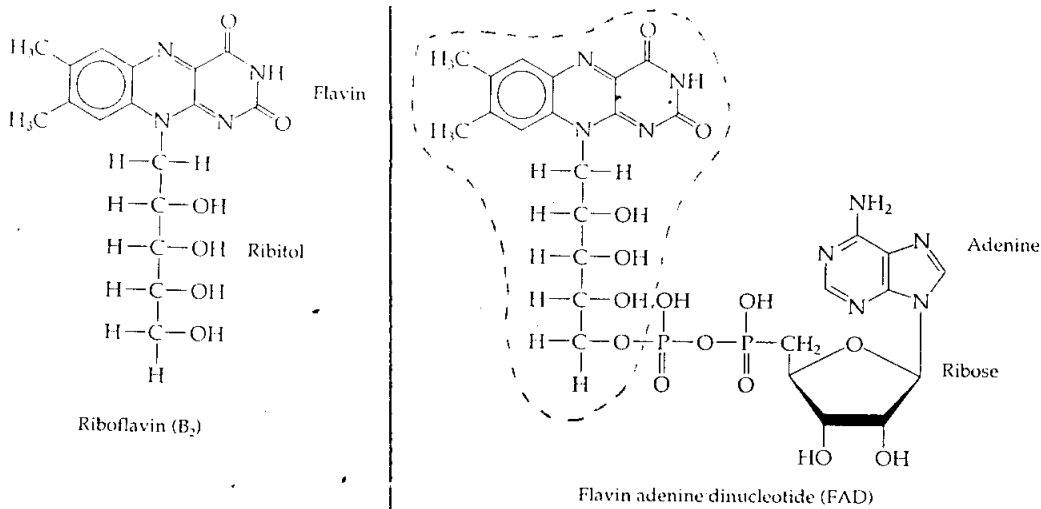


ถ้าขาดวิตามินบี 1 จะทำให้เกิดโรคเหน็บชา (beriberi) คำว่า beriberi เป็นภาษาชวาแปลว่า  
 และ การที่ชาวพื้นเมืองตั้งชื่อเช่นนี้ เป็นเพราะเขาสังเกตเห็นว่าผู้ป่วยจะเดินเหมือนแกะ อาการของโรค  
 เหน็บชาโดยทั่ว ๆ ไปคือ เจ็บตามแขนและขา กล้ามเนื้อไม่มีแรง ผิวหนังขาดความรู้สึก นอกจากนี้  
 ยังมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางและหัวใจด้วย

### 10.1.2 วิตามินบี 2 หรือไรโบฟลาวิน (riboflavin)

พบในเนยแข็ง ไข่ ตับ และนม ร่างกายต้องการวิตามินชนิดนี้เป็นจำนวนน้อยมาก  
 คือ ประมาณ 2 - 3 มิลลิกรัมต่อวัน วิตามินชนิดนี้จะถูกทำลายไปเพียงเล็กน้อยในการปรุงอาหาร  
 แต่จะถูกทำลายมากถ้านำอาหารเช่น นม ไปตั้งทิ้งไว้ให้ถูกแดดหรือแสงอุลตราไวโอเล็ต

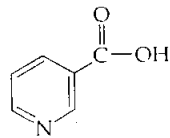
สูตรโครงสร้างของวิตามินบี 2 เป็นอนุพันธ์ของไอโซอัลลอกซาซีน (isoalloxazine) ซึ่งมี  
 นิวเคลียสเป็นไพริมิดีน มีสีเหลืองสด สกัดได้เป็นครั้งแรกจากนม ดังนั้นแรกเริ่มจึงได้ชื่อว่า  
 แลคโตฟลาวิน (lactoflavin) วิตามินบี 2 นี้ ยังเป็นโครงสร้างที่สำคัญในการสังเคราะห์ฟลาวินอดีนีน-  
 ไดนิวคลีโอไทด์ (FAD) ของร่างกายด้วย



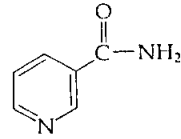
อาการที่เกิดจากการขาดวิตามินบี 2 คือ จะมีความอ่อนแอตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย  
 เช่น ขา นัยน์ตาก็จะถูกทำลาย และลิ้นมีสีแดง

### 10.1.3 กรดนิโคตินิกหรือไนอาซิน (nicotinic acid หรือ niacin)

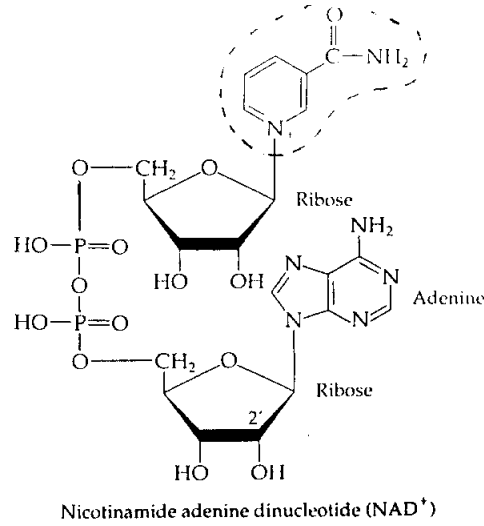
พบในตับ ไต ยีสต์ เนื้อสัตว์ ถั่วลิสง รำข้าว ส่วนในนม ปลา และมันฝรั่งก็มีบ้าง  
 โครงสร้างของสารตัวนี้เป็นอนุพันธ์ของไพริมิดีน และในร่างกายจะเกิดอยู่ทั้งรูปที่เป็นกรดและ  
 เป็นเอมีด



Nicotinic acid  
(Niacin)



Nicotinamide  
(niacinamide)

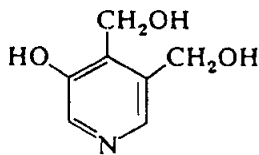


Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD<sup>+</sup>)

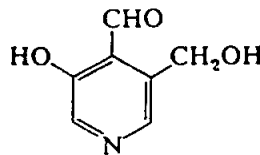
ถ้าขาดกรดนิโคตินิกจะทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า pellagra ซึ่งเส้นประสาท ผิวหนัง และลำไส้เล็ก จะถูกทำลาย ชื่อและโครงสร้างของวิตามินนี้ คล้ายกับสารตัวหนึ่งคือนิโคติน (nicotine) แต่นิโคติน จะไม่ถูกเปลี่ยนเป็นกรดนิโคตินิกในร่างกายเลย หน้าที่ที่สำคัญอย่างหนึ่งของวิตามินนี้คือ เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ NAD<sup>+</sup>

#### 10.1.4 วิตามินบี 6 หรือไพริดอกซีน (pyridoxine)

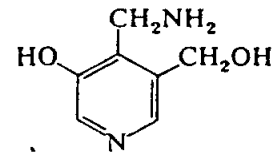
พบมากในตับ ยีสต์ ไข่แดง เนื้อสัตว์ และธัญพืช ไพริดอกซีนเป็นอนุพันธ์ของไพรีดีน เช่นเดียวกับกรดนิโคตินิก และเป็นตัวที่เรียกว่าวิตามินบี 6 แต่อย่างไรก็ตาม จะมีสารประกอบอีกสองชนิดที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกับไพริดอกซีน คือตัวที่อยู่ในรูปอัลดีไฮด์ชื่อไพริดอกซาล (pyridoxal) และตัวที่อยู่ในรูปเอมีนชื่อไพริดอกซามีน (pyridoxamine) สารสองชนิดหลังนี้มีความว่องไวมากกว่าไพริดอกซีนด้วย



Pyridoxine



Pyridoxal

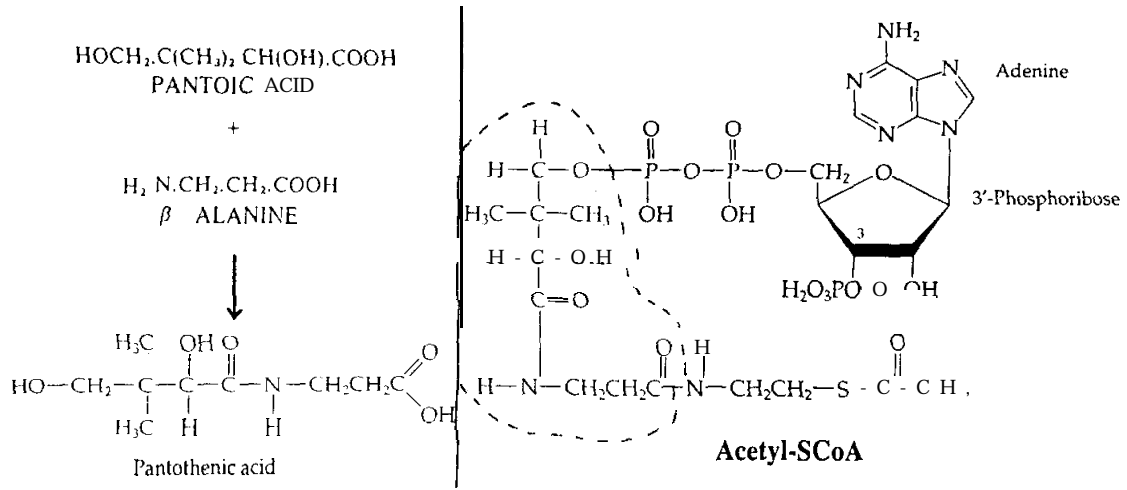


Pyridoxamine

ถ้าขาดวิตามินบี 6 จะทำให้เกิดโลหิตจางบางชนิด และระบบประสาทถูกทำลาย หน้าที่ที่สำคัญอีกประการของวิตามินนี้คือ ไพริดอกซาลที่อยู่ในรูปฟอสเฟต จะเป็นโคเอนไซม์ในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ทรานส์อะมิเนส เป็นต้น

#### 10.1.5 กรดแพนโทธีนิก (pantothenic acid)

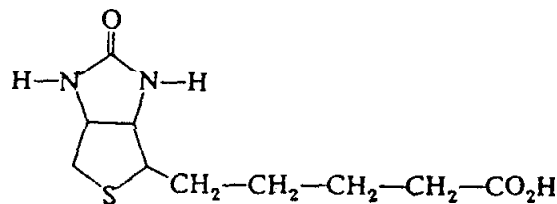
พบมากในยีสต์ ตับ ไข่แดง ใต้ และถั่ว วิตามินชนิดนี้เป็นสารประกอบที่มีลักษณะคล้ายเปปไทด์ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแพนโทอิกกับ เบต้าอลานีน



ถ้าขาดกรดเพนโทเทนิค จะทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า กล้ามเนื้อกระตุกและลำไส้เล็กถูกรบกวน กรดเพนโทเทนิคยังเป็นส่วนหนึ่งของ acetyl coenzyme A ซึ่งมีบทบาทสำคัญในขบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและลิพิดด้วย

### 10.1.6 ไบโอติน (biotin)

พบมากในตับ ไต นม ไข่ และยีสต์ โครงสร้างประกอบขึ้นจากวงแหวนห้าเหลี่ยม 2 วงเชื่อมต่อกัน โดยวงแหวนวงหนึ่งเป็นอิมิดาโซล ส่วนอีกวงหนึ่งเป็นไทโอฟีน (thiophene)

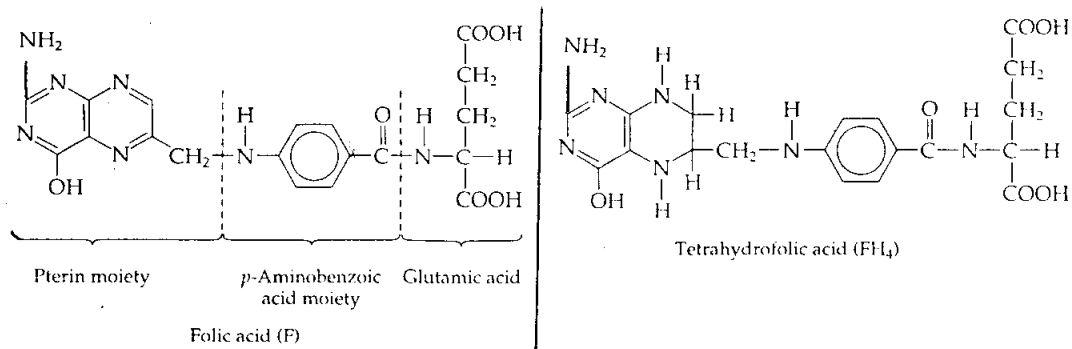


Biotin

ไบโอตินเป็นวิตามินสำหรับมนุษย์ชนิดหนึ่ง ที่ไม่ค่อยจะพบว่ามีการขาดเกิดขึ้นบ่อยนัก ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียที่มีอยู่ในลำไส้เล็ก สามารถผลิตไบโอตินให้มนุษย์ใช้ได้อย่างเพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามถ้าเกิดการขาดวิตามินนี้ขึ้น จะทำให้เกิดโรคผิวหนังอย่างรุนแรง โดยสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดขาดไบโอตินมาจากการรับประทานไข่ขาวดิบ ๆ เข้าไปเป็นจำนวนมาก ในไข่ขาวดิบมีโปรตีนที่เป็นด่างอยู่ชนิดหนึ่งชื่อว่า อวิดิน (avidin) ซึ่งมีสัมพรรคภาพสูงกับไบโอติน จึงเกิดการรวมตัวกันขึ้นทำให้ไม่มีไบโอตินอิสระเหลืออยู่เพียงพอ หน้าที่อีกประการหนึ่งของไบโอตินก็คือ เป็นโคเอนไซม์ในปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชัน

### 10.1.7 กรดโฟลิก (folic acid)

เป็นสารประกอบสีเหลือง ละลายในน้ำได้เพียงเล็กน้อย แหล่งที่พบมากแหล่งหนึ่งก็คือในผักใบเขียว สำหรับมนุษย์ได้รับกรดโฟลิกจากการสังเคราะห์โดยแบคทีเรียในลำไส้เล็ก โครงสร้างของกรดโฟลิกประกอบขึ้นจาก 3 ส่วนคือ ส่วน pterin อันเป็นวงแหวนหกเหลี่ยมสองวงที่มีไนโตรเจนอยู่ด้วยเชื่อมต่อกัน ส่วน p - amino benzoic acid อันเป็นวงแหวนหกเหลี่ยม และส่วนที่เป็นกรดอมิโนตัวหนึ่งคือกรดกลูตามิก

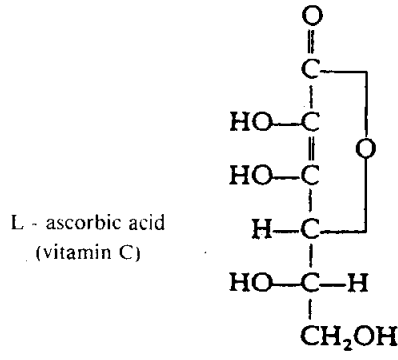


ถ้าขาดวิตามินตัวนี้จะทำให้เกิดโรคโลหิตจางชนิด macrocytic anemia กรดโฟลิกยังทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ของเอนไซม์หลายชนิด ที่กระตุ้นการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิล ( $\text{CH}_3$ ) ระหว่างชีวโมเลกุลด้วย ซึ่งขบวนการเช่นนี้มีความสำคัญในการสังเคราะห์เบสพิวรีน และไพริมิดีนของกรดนิวคลีอิก

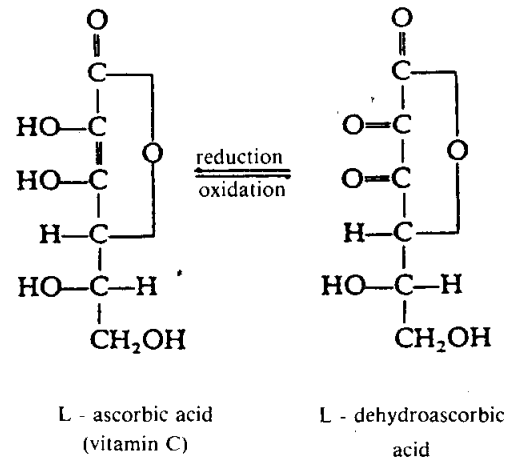
### 10.1.8 ไบตาไมนบี 12 หรือโคบาลามิน (cobalamin)

พบมากที่สุดในตับ รองลงมาก็เป็นในไต ไข่ นม เนื้อสัตว์ และปลา แต่ไม่พบในพืช สำหรับมนุษย์มีความต้องการไบตาไมนบี 12 ในระดับต่ำมากคือ  $2 \times 10^{-5}$  กรัมต่อวัน จึงไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องการขาดสารอาหารชนิดนี้ ยกเว้นพวกที่บริโภคเฉพาะอาหารผัก ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดอาการขาดไบตาไมนบี 12 ได้ โครงสร้างของไบตาไมนบี 12 จะเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,400 ดาลตัน ภายในโมเลกุลประกอบด้วยโคบอลต์ 1 อะตอม คาร์บอน 63 อะตอม ระบบวงแหวนเตตระไพโรล (tetrapyrrole ring system) และนิวคลีโอไทด์ โดยที่โคบอลต์จะอยู่ในวงแหวนเตตระไพโรลแล้วทำพันธะกับไนโตรเจนอะตอมของเบส (5, 6 - dimethyl benzimidazole) ของนิวคลีโอไทด์ กับอีกพันธะหนึ่งทำกับหมู่ดีออกซีดีโนซิล นอกจากนี้ยังมีหมู่เอมีดอีก 6 หมู่ด้วย ไบตาไมนบี 12 มีลักษณะเด่นตรงที่เป็นสารประกอบอินทรีย์เพียงชนิดเดียวเท่านั้นในธรรมชาติ ที่มีโคบอลต์เป็นองค์ประกอบ





วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก ปกติจะอยู่ในรูปที่เป็นผลึกสีขาว และมีความสามารถในการรีดิวส์ได้ดี ซึ่งความว่องไวนี้จะหมดไปถ้าถูกออกซิไดส์ โดยสารตัวแรกที่ได้จากการออกซิไดส์ได้แก่กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก ซึ่งสารตัวนี้ก็ยังมีคุณค่าทางชีววิทยาเทียบเท่ากรดแอสคอร์บิก เพราะกรด



ดีไฮโดรแอสคอร์บิกจะถูกรีดิวส์กลับเป็นกรดแอสคอร์บิกได้ในเนื้อเยื่อของร่างกาย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้ากรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกถูกออกซิไดส์ต่อไปแล้ว การออกซิไดส์ในขั้นนี้จะผันกลับไม่ได้ และสารที่เกิดขึ้นใหม่ก็จะไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซีเหลืออยู่เลย คือไม่สามารถป้องกันโรคลักปิดลักเปิดได้ โรคนี้นพบในสิ่งมีชีวิตไม่ทุกชนิด กล่าวคือ คน ลิง และหนูตะเภาจะเป็นโรคนี้ง่ายที่สุด ในขณะที่หนู (rat) กระต่าย สุนัข และนกจะไม่มีโรคนี้อยู่เลย แม้ว่าจะไม่ได้รับวิตามินซีเข้าไปที่เป็นเช่นนี้เพราะสัตว์ประเภทหลังนี้สามารถสังเคราะห์วิตามินซีขึ้นมาเองได้

สำหรับในมนุษย์ถ้าได้รับอาหารที่ขาดวิตามินซี จะทำให้เกิดโรคลักปิดลักเปิดภายใน



3 - 4 เดือน ซึ่งอาการทั่วไปคือ อ่อนเพลีย เหงื่อออกท่วม ผื่นโยก เลือดออกตามไรฟัน ผิวหนัง เยื่อเมือกเป็นหย่อม ๆ และกระดูกเปราะ ถ้าปล่อยไว้ไม่รักษาจะถึงแก่ชีวิตได้ กรดแอสคอบิกยังมีความสำคัญในการสังเคราะห์คอลลาเจนอีกด้วย โดยมีบทบาทในการเติมหมู่ไฮดรอกซิลให้กับโพรลีน เพื่อเกิดเป็นไฮดรอกซีโพรลีนอันเป็นกรดอะมิโนที่พบในคอลลาเจน

วิตามินซีมีความเสถียรที่ pH ต่ำกว่า 6.8 ณ อุณหภูมิห้อง แต่จะถูกออกซิไดส์ได้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นด่าง ในผลไม้หรือผักขบวนการออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ถ้านำผลไม้มาบดหรือสับ ออกซิเดชันจะเกิดเร็วขึ้น และเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการประกอบอาหาร ออกซิเดชันก็จะยิ่งเกิดได้เร็วมากขึ้นไปอีก ทำให้วิตามินซีถูกทำลายลงอย่างมาก

## 10.2 เกลือแร่ (minerals)

ธาตุที่พบมากที่สุดในสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ไฮโดรเจน ออกซิเจน คาร์บอน และไนโตรเจน โดยที่ทั้ง 4 ชนิดนี้รวมกันได้ถึง 99.4 เปอร์เซ็นต์ ของอะตอมทั้งหมดในร่างกายมนุษย์ ส่วนใหญ่ของไฮโดรเจนและออกซิเจนจะรวมตัวกันเป็นน้ำ ส่วนที่เหลือจะไปรวมตัวกับคาร์บอน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส เกิดเป็นสารประกอบที่จำเป็นสำหรับชีวิต อันได้แก่ น้ำตาล กรดไขมัน กรดอะมิโน และนิวคลีโอไทด์

จากการทดลอง ทำให้สามารถทราบได้ว่าเกลือแร่ (ซึ่งคือธาตุที่นอกเหนือไปจากไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และไนโตรเจน) ชนิดใดบ้างที่มีความจำเป็นต่อชีวิต เกลือแร่ที่จำเป็นเหล่านี้บางชนิดก็ต้องใช้มาก บางชนิดก็ใช้น้อย สำหรับพวกที่ร่างกายต้องใช้เป็นจำนวนมากได้แก่ โลหะ แคลเซียม โปตัสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม และอโลหะฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ กลอรีน เกลือแร่ทั้งหมดนี้เรียกว่า macronutrients ส่วนเกลือแร่ที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย เรียกว่า micronutrients หรือ trace elements ซึ่งจะพบในช่วงที่เป็นมิลลิกรัมไปจนถึงไมโครกรัม

ตารางที่ 10 - 1 จะแสดงถึงชนิดและปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่พบในร่างกายมนุษย์ ข้อสังเกตประการหนึ่งก็คือ แม้จะกล่าวถึงสารอาหารเหล่านี้ว่าเป็นธาตุ แต่ความเป็นจริงแล้ว ไม่ปรากฏว่ามีโลหะหรืออโลหะที่อยู่ในรูปที่เป็นธาตุอิสระในร่างกายเลย ตรงกันข้าม สารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของไอออน หรือโมเลกุลที่มีพันธะโควาเลนต์ และนอกจากธาตุตามตาราง 10 - 1 แล้ว ยังพบสารพวกตะกั่ว ปรอท เงิน แคลเซียม แบเรียม และพลวงจำนวนเล็กน้อยในร่างกายด้วย แต่สารเหล่านี้เป็นพิษมิใช่เกลือแร่ที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย

ธาตุ	น้ำหนักทั้งหมด ของธาตุที่พบใน ร่างกาย (%)	จำนวนอะตอม ที่พบทั้งหมด ในร่างกาย (%)	กรัมของธาตุ ต่อน้ำหนักของ ร่างกาย 70 กก.
<u>ธาตุที่พบมากที่สุด</u>			
ออกซิเจน	65.0	25.5	45,500
คาร์บอน	18.0	9.5	12,600
ไฮโดรเจน	10.0	63.0	7,000
ไนโตรเจน	3.0	1.4	2,100
<u>macronutrients</u>			
แคลเซียม	1.5	0.31	1,050
ฟอสฟอรัส	1.0	0.22	700
โปแตสเซียม	0.35	0.06	245
กำมะถัน	0.25	0.05	175
คลอรีน	0.15	0.03	105
โซเดียม	0.15	0.03	105
แมกนีเซียม	0.05	0.01	35
<u>micronutrients หรือ trace elements</u>			
เหล็ก	0.006	0.05	4
สังกะสี	0.003	0.01	2
ทองแดง	0.0001	<0.01	0.1
แมงกานีส	<0.0001	<0.01	<0.1
โคบอลต์			
โครเมียม			
เซเลเนียม			
ไอโอดีน			
โมลิบดีนัม			

ธาตุ	น้ำหนักทั้งหมด ของธาตุที่พบใน ร่างกาย (%)	จำนวนอะตอม ที่พบทั้งหมด ในร่างกาย (%)	กรัมของธาตุ ต่อน้ำหนักของ ร่างกาย 70 กก.
คีบูก วานาเดียม นิเกิล ฟลูออรีน ซีลีคอน	<0.0001	<0.01	<0.1

ตารางที่ 10 - 1 ส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ในร่างกาย

### 10.2.1 macronutrients

#### 10.2.1.1 แคลเซียมและฟอสฟอรัส

พบมากในผลิตภัณฑ์นมและเนย สำหรับแคลเซียมยังพบอีกในถั่ว ไข่แดง หอย แต่อย่างไรก็ตาม แคลเซียมจากนมจะถูกดูดซึมได้ง่ายกว่าแคลเซียมจากพืชผัก ส่วนฟอสฟอรัสก็พบอีกในเนื้อสัตว์ แป้งสาลี นักโภชนาการเชื่อว่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมควรเป็น 1 : 1 ซึ่งอัตราส่วนนี้พบในนมและเนย

ในเดือนแรก ๆ ทารกต้องการแคลเซียมมากเป็นพิเศษ ซึ่งถ้าเลี้ยงทารกด้วยนมแม่ก็จะไม่มีปัญหาแต่อย่างใด เพราะอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัสในนมแม่จะเท่ากับ 2 : 1 แต่ถ้าใช้นมวัวเลี้ยงทารกแทน อาจทำให้เด็กขาดแคลเซียมได้ วัยรุ่นที่อายุต่ำกว่า 18 ปี และหญิงมีครรภ์ต้องการแคลเซียม 1.0 ถึง 1.2 กรัมต่อวัน ซึ่งหมายถึงต้องดื่มนมวันละ 1 ลิตร สำหรับผู้ที่อายุเลย 18 ปีไปแล้ว ความต้องการแคลเซียมจะลดลงเหลือ 0.8 กรัมต่อวัน

ประมาณ 90% ของแคลเซียมและ 80% ของฟอสฟอรัสในร่างกาย จะอยู่ที่กระดูกและฟัน โดยที่กระดูกเป็นส่วนประกอบระหว่างเกลืออนินทรีย์และคอลลาเจน ซึ่งคอลลาเจนไฟเบอร์จะรวมกันเข้าเป็นโครงสร้างเบื้องต้นของกระดูก ที่เรียกว่าเมทริกซ์ของกระดูก (bone matrix) ส่วนเกลือ

คอมเพล็กซ์ของแคลเซียมฟอสเฟต จะรวมตัวกับสารอีกชนิดหนึ่งที่คล้ายคลึงกับ hydroxyapatite ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) แล้วสะสมอยู่ในรูปของผลึกรอบ ๆ เมทริกซ์นี้ คอลลาเจนไฟเบอร์ให้ความยืดหยุ่นและความเหนียวในขณะที่เกลือแคลเซียมให้ความแข็งและแกร่งต่อกระดูก สำหรับฟันก็เช่นเดียวกับกระดูกคือ เคลือบฟัน (enamel) ซึ่งอยู่นอกสุดจะมีความแข็งค่อนข้างสูง โดยมีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 95% ส่วนชั้นเด็นติน (dentine) ซึ่งอยู่ถัดจากเคลือบฟันเข้าไปจะแข็งปานกลาง และมีแคลเซียมอยู่ 75%

ถ้าร่างกายขาดแคลเซียม จะทำให้กระดูกและฟันมีรูปร่างผิดปกติไป ในเด็กจะทำให้ถึงกับเกิดโรคกระดูกอ่อน ส่วนในผู้ใหญ่ เมื่อแคลเซียมที่ได้รับไม่เพียงพอ แคลเซียมจากกระดูกก็จะถูกดึงไปใช้ในการทำให้ระดับแคลเซียมในเลือดคงที่ ดังนั้นกระดูกจะอ่อนหรืองอลงได้เรียกว่า osteomalacia (ภาษากรีก osteon แปลว่า กระดูก malakia แปลว่า ความอ่อน) สาเหตุของการขาดแคลเซียมอีกประการหนึ่งก็คือ ถ้าร่างกายได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไป ฟอสฟอรัสจะไปรวมตัวกับแคลเซียมเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟต แล้วถูกขับออกกับปัสสาวะ

แคลเซียมและฟอสฟอรัส นอกจากจะพบที่กระดูกและฟันแล้ว ยังพบในเลือดด้วย โดยจะอยู่ในรูปแคลเซียมและฟอสเฟตไอออน แคลเซียมไอออนใช้ในการแข็งตัวของเลือด ทำให้จังหวะการเต้นของหัวใจเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และทำให้หญิงมีครรภ์มีน้ำนม ส่วนฟอสฟอรัสจะเป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA ในกรณีของ ATP ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยนั้น จะเป็นตัวให้พลังงานในการทำงานของส่วนต่าง ๆ เกือบทุกส่วนของร่างกาย

#### 10.2.1.2 โซเดียม โปตัสเซียม และคลอรีน

ไอออนของธาตุทั้งสามนี้เป็นอิเล็กโทรไลต์ที่สำคัญภายในร่างกาย โดยช่วยทำให้ปริมาตรของของไหลภายในร่างกายคงที่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหลหรือความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ จะทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยขึ้น ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของไหลได้แก่ การบวมน้ำ (edema) หรือสูญเสียน้ำ (dehydration) เป็นต้น แม้ว่าโซเดียมและโปตัสเซียมไอออนจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีคล้ายคลึงกันก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถใช้แทนที่กันได้ กล่าวคือ โซเดียมไอออนจะเป็นแคทไอออนที่สำคัญในเลือด ส่วนโปตัสเซียมไอออนจะเป็นแคทไอออนที่สำคัญภายในเซลล์ นอกจากนี้ทั้งโซเดียมและโปตัสเซียมไอออน ยังช่วยทำให้ปฏิกิริยาได้คอบต่อตัวกระตุ้นของเส้นประสาทอยู่ในระดับปกติ โปตัสเซียมไอออนช่วยทำให้กล้ามเนื้อหัวใจคลายตัวลงระหว่างการเต้นของหัวใจด้วย

โซเดียมในอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งพบมากในขนมปัง เนยแข็ง

แครอท ถั่วงอก ไข่ นม ข้าวโอ๊ต หอย (clam) คนที่ไม่เคยมีประวัติของโรคความดันสูง ควรได้รับ โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อวัน ส่วนคนที่มีความดันสูงแทรกซ้อน ควรได้รับโซเดียมคลอไรด์น้อยกว่า 1 กรัมต่อวัน โซเดียมส่วนใหญ่ที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซับที่ลำไส้เล็ก และประมาณ 95% ของ โซเดียมที่ดูดซับจะถูกขับออกกับปัสสาวะ

โปตัสเซียมพบในอาหารทุกชนิด ดังนั้นจึงไม่ค่อยพบอาการขาดธาตุตัวนี้ ผู้ใหญ่ควรได้รับ โปตัสเซียมประมาณวันละ 1 กรัม อาหารที่มีทั้งโซเดียมและโปตัสเซียมปริมาณสูง อาจไม่เป็นอาหารที่เหมาะสมเสมอไป ทั้งนี้เพราะส่วนใหญ่แล้วผู้ที่ต้องการโปตัสเซียมมักจะเป็นผู้ที่มีความจำเป็นต้อง หลีกเลี่ยงโซเดียม อาหารที่มีโปตัสเซียมสูงแต่โซเดียมต่ำ ได้แก่ เนื้อและตับ เนื้อไก่ หมู กุ้ง หอม แอปริคอตแห้ง (dried apricot) น้ำส้ม บร็อคโคลี่ มันฝรั่ง และสับปะรด

แหล่งที่สำคัญของคลอรีนในอาหารก็คือโซเดียมคลอไรด์ ในระบบย่อยอาหารและขับถ่าย ทั้งโซเดียมและคลอไรด์ไอออนจะไม่สามารถแยกออกจากกันได้ กล่าวคือ อาหารที่มีระดับของเกลือต่ำ จะทำให้มีการขับโซเดียมและคลอไรด์ไอออนออกมาในปัสสาวะเป็นจำนวนน้อยลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าเหงื่อออกมากหรือมีอาการท้องร่วงจะทำให้ทั้งโซเดียมและคลอไรด์ไอออน ถูกขับออกจากร่างกายตลอดเวลา หน้าที่ที่สำคัญที่สุดของคลอไรด์ไอออนในร่างกายก็คือ ไอออนนี้จะถูกใช้ในการผลิตกรดไฮโดรคลอริกในกระเพาะอาหาร

#### 10.2.1.3 แมกนีเซียม

แมกนีเซียมไอออนส่วนใหญ่ในร่างกาย จะรวมอยู่กับแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่เมทริกซ์ของกระดูก นอกจากนั้นยังพบที่กล้ามเนื้อและเซลล์เม็ดเลือดแดงในความเข้มข้นสูงด้วย สำหรับส่วนที่เหลือ จะกระจายอยู่ตามเนื้อเยื่อและของไหล เกลือแร่ชนิดนี้พบมากในผักสีเขียว ถั่วเหลือง และ ธัญพืชที่มีเมล็ด ร่างกายควรได้รับแมกนีเซียม 300 มิลลิกรัมต่อวัน

แมกนีเซียมมีความสำคัญในการส่งความรู้สึกของเส้นประสาท และการหดตัวของกล้ามเนื้อ ถ้าขาดจะทำให้กล้ามเนื้อสั่น กระตุก และหดเกร็งอย่างรุนแรง ทำให้เกิดชักได้ ถ้าได้รับอัลกอฮอล์เข้าไป จะทำให้แมกนีเซียมสูญเสียออกไปจากร่างกายได้มากขึ้น และเนื่องจากแมกนีเซียมเป็นยากดประสาท ดังนั้นถ้าฉีดเกลือของแมกนีเซียมเข้าไปในเส้นโลหิต (intravenous injection) จะทำให้สลบหรือถึงกับเป็นอัมพาตได้ แต่แมกนีเซียมนี้จะช่วยลดอาการชักลงด้วย แมกนีเซียมไอออนไม่สามารถที่จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ได้ ดังนั้นมันจึงไปดึงน้ำจากเนื้อเยื่อที่อยู่ข้างเคียงให้เข้ามาในลำไส้ โดยใช้ขบวนการออสโมซิส ด้วยเหตุนี้เอง จึงมีการใช้เกลือแมกนีเซียมบางตัว เช่น เกลือเอปซอม ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) เป็นยาถ่าย

#### 10.2.1.4 กำมะถัน

พบในเซลล์ทุกชนิดของร่างกาย และในอาหารโปรตีนส่วนใหญ่ ดังนั้นอาหารที่รับประทานเข้าไปตามปกติ จึงมีจำนวนกำมะถันเพียงพอกับความต้องการ ในโปรตีน กำมะถันจะเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนบางชนิด โดยที่โปรตีนของเส้นผม เล็บ และขนสัตว์ จะมีกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ได้กลิ่นฉุนเมื่อเส้นผมหรือขนสัตว์ไหม้ไฟ นอกจากนี้ยังพบกำมะถันในรูปของซัลเฟตไอออนในเลือดและของไหลภายในร่างกายด้วย เมื่อมีการย่อยอาหารเกิดขึ้น กำมะถันจะถูกออกซิไดส์เป็นซัลเฟตและขับออกทางปัสสาวะ

### 10.2.2 micronutrients หรือ trace elements

#### 10.2.2.1 เหล็ก

ร่างกายของมนุษย์มีเหล็กเป็นส่วนประกอบอยู่เป็นจำนวนเพียงน้อยกว่า 5 กรัม โดยมนุษย์จะต้องการเหล็กมากที่สุดในช่วง 2 ปีแรกของชีวิต และในหญิงมีครรภ์ สำหรับในผู้ใหญ่ เพศชายควรได้รับ 10 มิลลิกรัมต่อวัน และเพศหญิงควรได้รับ 20 มิลลิกรัมต่อวัน แหล่งที่พบเหล็กมากที่สุดคือในตับ ไข่ ผักสีเขียว รองลงมาคือในไข่แดง ยีสต์ ปลา ข้าวสาลี ถั่ว ข้าวโอ๊ต เหล็กในรูปของ  $Fe^{2+}$  ไอออนที่มีในอาหารจะถูกรีดิวส์โดยวิตามินซีให้กลายเป็น  $Fe^{2+}$  แล้ว  $Fe^{2+}$  นี้จึงถูกดูดซับในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนบน เกือบทั้งหมดของเหล็กในร่างกายจะถูกนำกลับมาใช้อยู่เรื่อย ๆ

ในผู้ใหญ่ที่สุขภาพดี จะสูญเสียเหล็กประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อวันออกไปกับปัสสาวะ เหงื่อ และอุจจาระ ซึ่งการสูญเสียนี้ก็จะได้รับทดแทนจากอาหารที่รับประทานเข้าไป แต่ถ้าเป็นในกรณีของผู้หญิงที่มีประจำเดือน ครรภ์แก่ใกล้คลอด หรือในผู้ป่วยด้วยโรคโลหิตจางชนิดที่ขาดธาตุเหล็ก (iron - deficient anemia) แล้ว จะต้องได้รับเหล็กในรูปเกลือเฟอร์รัสเข้ามาทดแทนถึงวันละ 100 มิลลิกรัม ในผู้ป่วยที่ต้องผ่าตัดเอากระเพาะอาหารหรือลำไส้ทิ้งไป จะทำให้การนำเหล็กกลับมาใช้ใหม่เกิดขึ้นไม่ได้ จึงมักทำให้เกิดอาการของโรคโลหิตจางชนิดขาดธาตุเหล็ก ซึ่งจะมีอาการเมื่อยล้า แต่ถ้าความเข้มข้นของเหล็กในร่างกายสูงเกินไปก็จะเป็นอันตราย และอาจนำไปสู่อาการเลือดคั่งในหัวใจหรือตับแข็งได้

#### 10.2.2.2 สังกะสี ทองแดง แมงกานีส โมลิบดีนัม และโคบอลต์

สังกะสีมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตเป็นปกติ การมีชีวิตยืนยาว และการสืบพันธุ์ของพืชและสัตว์ ในร่างกายของผู้ใหญ่มีสังกะสีอยู่ประมาณ 2 กรัม ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะไปรวมกันอยู่ที่ผิวหนัง รองลงมาคือที่กระดูกและฟัน สังกะสียังเป็นโคเอนไซม์สำหรับเอนไซม์หลายชนิดด้วย ผู้ใหญ่ที่สุขภาพดีควรได้รับสังกะสี 15 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งในอาหารปกติก็จะให้สังกะสีจำนวนนี้ได้

เพียงพอ แหล่งที่พบสังกะสีมากได้แก่ ตับ ไข่ เนื้อสัตว์ นม หอย ถ้าขาดธาตุนี้จะทำให้การรับรู้รสไม่ดี ไม่เจริญอาหาร การประสานตัวของบาดแผลก็เป็นไปอย่างช้า ๆ และในกรณีที่รุนแรงจะทำให้ร่างกายแคระแกรน

ส่วนทองแดงนั้นมีอยู่ในร่างกายประมาณ 100 มิลลิกรัม โดยจะพบมากที่สุดที่กล้ามเนื้อ กระดูก ตับ และเลือด ความเข้มข้นของทองแดงในเลือดของผู้ใหญ่ ตามปกติจะอยู่ในช่วงประมาณ 100 – 200 ไมโครกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร แม้ว่าทองแดงที่มีในร่างกายมนุษย์จะมีเพียงจำนวนน้อย แต่ธาตุนี้มีความสำคัญอย่างมากต่อเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งในจำนวนนี้จะรวมทั้งเอนไซม์ตัวหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเมลานินด้วย โดยที่เมลานินเป็นรงควัตถุของผิวหนัง ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้มนุษย์ได้รับอันตรายจากรังสีของดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ทองแดงยังช่วยทำให้เยื่อป้องกันเส้นประสาทถูกสร้างและได้รับการบำรุงรักษาอย่างถูกต้องด้วย ดังนั้นถ้าขาดธาตุนี้อย่างรุนแรง จะทำให้เยื่อป้องกันเส้นประสาทเกิดความบกพร่อง และระบบประสาทเสื่อมสลาย

การสร้างฮีโมโกลบินในร่างกายมนุษย์ต้องอาศัยทั้งทองแดงและเหล็ก ถ้ามนุษย์ได้รับเหล็กตามปกติแต่ไม่ได้รับทองแดง การสร้างฮีโมโกลบินจะลดลง มีโรคซึ่งถ่ายทอดทางพันธุกรรมโรคหนึ่งชื่อ Wilson's disease ผู้ที่เป็นโรคนี้นี้จะมีทองแดงสะสมอยู่ในตับและสมอง โดยถ้ามีจำนวนมาก จะทำให้ตับแข็งได้ โดยปกติมนุษย์ควรได้รับทองแดงเป็นจำนวน 2 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งอาหารที่มีธาตุนี้มากได้แก่ตับ ไต ลูกเกด ถั่ว และหอย

ธาตุอีกตัวหนึ่งคือแมงกานีส ซึ่งถึงแม้ร่างกายจะต้องการในจำนวนน้อย แต่ก็มีความสำคัญในการทำหน้าที่ของระบบประสาทส่วนกลางและต่อมไทรอยด์ รวมไปถึงการสร้างกระดูกและกระดูกอ่อน แมงกานีสทั้งหมดที่พบในมนุษย์มีประมาณ 15 มิลลิกรัม และมนุษย์ควรได้รับแมงกานีสจากอาหารประมาณวันละ 5 มิลลิกรัม

โมลิบดีนัมพบมากในยีสต์ ตับ ไข่ โดยจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในรูปของโมลิบดีนอ-เดทออิน (MoO<sub>4</sub><sup>-</sup>) ถ้าโมลิบดีนัมหรือสังกะสีในร่างกายมีระดับสูงจะทำให้การดูดซึมของทองแดงลดลง และอาการของการขาดทองแดงก็จะปรากฏขึ้น

สำหรับโคบอลต์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ก็จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวิตามินบี 12

#### 10.2.2.3 เซเลเนียมและโครเมียม

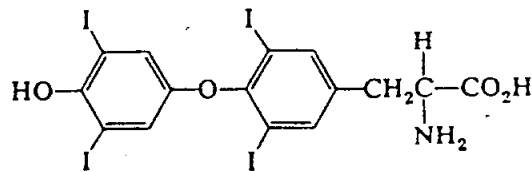
เซเลเนียมเป็นอโลหะที่อยู่ในหมู่เดียวกับบอกซิเจนและกำมะถัน แม้ว่าสารตัวนี้มีพิษอย่างร้ายแรง แต่ในจำนวนน้อยจะเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อมนุษย์ นักวิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถชี้ชัด

ลงไปได้ว่า เซเลเนียมมีหน้าที่อย่างไรต่อร่างกาย เพียงแต่ทราบว่าจะช่วยทำให้เซลล์ตับของหนูอยู่ในสภาพปกติ และป้องกันไม่ให้เกิดความบกพร่องของกล้ามเนื้อในหนู แกะ และปศุสัตว์ เซเลเนียมจะกระจายอยู่ทั่วไปในร่างกายแต่มีมากที่สุดที่ไตและตับ ถ้าพืชผักผลไม้ปลูกในบริเวณที่มีเซเลเนียมในดินสูง ปริมาณเซเลเนียมในอาหารเหล่านี้ก็จะสูงไปด้วย และเมื่อมนุษย์หรือสัตว์บริโภคเข้าไป ก็จะทำให้เกิดการผิดปกติขึ้น กล่าวคือ ถ้ามีเซเลเนียมความเข้มข้นเพียง 10 ในล้านส่วนอยู่ในอาหาร จะสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อไต กล้ามเนื้อหมดแรง และการมองเห็นไม่ดี

โครเมียมเป็นธาตุจำเป็นต่อเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ทุกชนิด โดยที่มีในร่างกายมนุษย์ประมาณ 6 มิลลิกรัม อาการขาดโครเมียมในสัตว์ แสดงออกโดยทำให้การเจริญเติบโตไม่ดี และช่วงอายุสั้นลง ส่วนในมนุษย์นั้น นักโภชนาการบางคนเชื่อว่าโครเมียมจะช่วยแก้ปัญหาให้กับผู้มีวัยกลางคนที่ร่างกายไม่สามารถใช้กลูโคสได้

#### 10.2.2.4 ไอโอดีน

เกือบทั้งหมดของไอโอดีนในร่างกายอยู่ที่ต่อมไทรอยด์ โดยไอโอดีนจะถูกใช้ในการสังเคราะห์ฮอร์โมนต่าง ๆ ของต่อมนี้ ตัวอย่างได้แก่ ไทรอกซีน (thyroxine) อันเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเมตาบอลิซึมและการเจริญเติบโตของร่างกาย



Thyroxine

มนุษย์ควรได้รับไอโอดีนประมาณ 100 ไมโครกรัมต่อวัน โดยหญิงมีครรภ์และวัยรุ่นจะต้องการไอโอดีนมากเป็นพิเศษ เนื่องจากไอโอดีนมีมากในน้ำทะเล ดังนั้นผู้ที่อาศัยอยู่ตามชายฝั่งจึงไม่ประสบกับปัญหาการขาดธาตุตัวนี้ แต่สำหรับผู้ที่อยู่ไกลทะเลถ้าขาดไอโอดีนจะทำให้เป็นโรคคอพอก ซึ่งก็คือการที่ต่อมไทรอยด์ขยายตัวใหญ่ขึ้น ในปัจจุบันมีการเติมไอโอดีนลงไปในการแปรรูปที่ใช้กันตามบ้านเรือน ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการขาดธาตุนี้นั่นเอง

#### 10.2.2.5 นิกเกิล คีบูก วานาเดียม ซีลีคอน



ธาตุเหล่านี้พบเพียงจำนวนน้อยในสัตว์ และคิดว่าคงมีความจำเป็นต่อมนุษย์เช่นกัน แม้ว่ายังไม่ทราบถึงหน้าที่แน่ชัดของธาตุเหล่านี้ก็ตาม จากการทดลองในสัตว์พบว่า ถ้าขาดธาตุเหล่านี้จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้ถ้าขาดนิกเกิลยังทำให้เซลล์ตับเกิดความเสียหายอีกด้วย จึงคาดว่านิกเกิลคงมีบทบาทในการเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนดีบุกและวานาเดียมจะมีผลกับเมตาบอลิซึมของไขมัน ซิลิกอนเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของผิวหนังและเนื้อเยื่อที่ยืดและหนูนุ่ม คาร์บอนต่าง ๆ ของร่างกาย (connective tissue)

#### 10.2.2.6 ฟลูออรีน

ฟลูออรีนจะสะสมอยู่ที่กระดูกและฟันในรูปของฟลูออไรด์ไอออน ความเข้มข้นที่พบขึ้นอยู่กับอายุของบุคคล และปริมาณของฟลูออไรด์ไอออนที่ได้รับเข้าไป ร่างกายจะดูดซับฟลูออไรด์ไอออนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายไปตามของไหลภายนอกเซลล์ แล้วจะมีบางส่วนไปสะสมที่กระดูกและฟัน สำหรับส่วนที่เหลือจะถูกขับออกกับปัสสาวะ

จากการศึกษาเป็นเวลานานนับปีพบว่า ฟลูออไรด์ไอออนช่วยป้องกันฟันผุ ดังนั้นในปัจจุบันบางประเทศจึงเติมฟลูออไรด์ลงในระบบน้ำดื่มด้วยอัตรา 1 ในล้านส่วน ซึ่งเทียบได้กับการได้รับธาตุนี้จากอาหารวันละ 1 – 2 มิลลิกรัม ฟลูออไรด์ไอออนจะไปแทนที่บางส่วนของไฮดรอกซีอะปาทิตในเกลือแร่ไฮดรอกซีอะปาทิต (hydroxyapatite mineral) ของกระดูกและฟัน ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ฟลูออไรด์ก็ต้องระมัดระวังด้วย กล่าวคือ ถ้าระดับของฟลูออไรด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 ในล้านส่วนต่อวัน จะทำให้ฟันไม่มีสีหรือตกกระคือมีลายทางสีดำอยู่ในเนื้อฟัน และฟันจะแข็งแต่เปราะ แต่ถ้าฟลูออไรด์เพิ่มมากขึ้นอีกเป็น 10 ในล้านส่วนต่อวัน จะทำให้เกิด fluorosis ซึ่งทำให้ฟันตกกระเช่นกัน นอกจากนี้ยังทำให้กระดูกมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติไปด้วย ในทางตรงข้าม ถ้าระดับฟลูออไรด์ที่ร่างกายได้รับลดต่ำลงจนต่ำกว่า 0.5 ในล้านส่วนจะทำให้การผุของฟันเพิ่มขึ้น

### 10.3 โลหะที่เป็นพิษ (toxic metals)

มีโลหะและโลหะหลายชนิดที่ร่างกายต้องการเพียงจำนวนเล็กน้อย แต่ถ้าความเข้มข้นของสารเหล่านี้เพิ่มขึ้นแล้ว จะกลับมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้ ตัวอย่างของสารเหล่านี้ดังแสดงในตารางที่

ธาตุ	ความสำคัญ	พิษของธาตุเมื่อมีปริมาณสูง	ปริมาณที่อนุญาตในน้ำดื่ม (มิลลิกรัม/ลิตร)
ทองแดง	เป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์หลายชนิด และเกี่ยวข้องกับ	ทำอันตรายต่อตับ	1.0
เซเลเนียม	การสร้างฮีโมโกลบิน ช่วยให้ตับทำหน้าที่ได้ เป็นปกติ	มีผลต่อประสาทและทำอันตรายต่อตับ	0.01

ตารางที่ 10 - 2 ธาตุบางชนิดที่ความเป็นพิษขึ้นกับความเข้มข้น

นอกจากนี้ยังมีธาตุโลหะอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งไม่ทราบถึงหน้าที่ที่มีต่อสิ่งมีชีวิต แต่จะมีพิษต่อร่างกาย แม้ว่าจะใช้ในความเข้มข้นต่ำ ๆ ก็ตาม ธาตุพวกนี้ดังแสดงในตารางที่ 10 - 3

ธาตุ	พิษที่มีต่อมนุษย์และสัตว์	ปริมาณที่อนุญาตในน้ำดื่ม (มิลลิกรัม/ลิตร)
แคดเมียม	ทำอันตรายต่อไต และทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงสูญเสียไป	0.01
ตะกั่ว	ทำให้เกิดปัญหาอ่อนในเด็ก ไตล้มเหลว และมีอาการชัก	0.05
ปรอท	มีผลต่อการคลอด ทำอันตรายต่อเส้นประสาท และสมอง และทำให้เกิดอัมพาต	0.002

ตารางที่ 10 - 3 ธาตุบางชนิดที่มีพิษต่อมนุษย์และสัตว์โดยไมขึ้นกับความเข้มข้น

ธาตุทั้งห้าในตารางที่ยกตัวอย่างมานี้ มีความเป็นพิษแตกต่างกันเป็นอย่างมาก กล่าวคือ ทองแดงจะมีพิษค่อนข้างต่ำ โดยถ้าขาดจะทำให้เป็นโรคโลหิตจาง และเซลล์ประสาทเสื่อมสลาย แต่ถ้าร่างกายได้รับธาตุนี้เพียง 2 มิลลิกรัมต่อวัน ก็เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดอาการที่กล่าวข้างต้น ถ้าทองแดงที่ร่างกายได้รับมากเกินไป 50 มิลลิกรัมต่อวัน จะทำให้อาเจียรและท้องเดิน สำหรับเซเลเนียมเป็นธาตุโลหะที่มีพิษสูง แม้ว่าในจำนวนน้อยจะช่วยให้งานการทำงานของตับเป็นไปตามปกติก็ตาม แต่ในบางครั้งถ้าระดับของเซเลเนียมในร่างกายสูงขึ้น เซเลเนียมจะเข้าไปแทนที่กำมะถันในชีวโมเลกุลที่สำคัญบางชนิดได้ ทั้งนี้เพราะธาตุทั้งสองอยู่ในตาราง periodic หมู่เดียวกัน และเมื่อเกิดการแทนที่นี้แล้ว โครงสร้างที่ได้ใหม่ซึ่งมีเซเลเนียมเป็นส่วนประกอบ จะไม่มีความเสถียรเท่ากับโครงสร้างเดิมที่มีกำมะถัน ดังนั้นจึงเกิดการแตกออก ทำให้การทำหน้าที่ของเซลล์ตามปกติเสียหายไป ส่วนแคดเมียมจะมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายสังกะสี และสามารถแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์บางชนิดได้ แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ ก็ไม่สามารถทำงานได้เหมือนเอนไซม์ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ

ตะกั่วกับปรอทจะอยู่ในหมู่ธาตุที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เรียกว่าโลหะหนัก (heavy metal) สารทั้งสองนี้ในรูปเกลือที่ละลายน้ำได้และรูปสารประกอบที่ระเหยได้ จะเป็นพิษอย่างสูงต่อมนุษย์ เมื่อไอออนของโลหะหนักเข้าสู่เส้นเลือด จะไปทำให้เอ็นไซม์และโปรตีนต่าง ๆ แปรสภาพไป และยังทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลางด้วย ส่วนเกลือของโลหะหนักที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ปรอท (Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) จะไม่มีพิษ ทั้งนี้เพราะเกลือพวกนี้สามารถผ่านไปตามระบบย่อยอาหารได้ โดยไม่มีการเคลื่อนย้ายไอออนของโลหะหนักเข้าสู่กระแสเลือดเลย ตะกั่วและปรอทในรูปที่มีพิษมากที่สุดก็คือรูปที่โลหะเกาะติดอยู่กับหมู่อินทรีย์

สารที่มีพิษสูงสุด 2 ชนิด ที่รู้จักกันได้แก่ tetraethyl lead (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>Pb และ dimethyl mercury (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Hg สารทั้งสองชนิดนี้เป็นของเหลวที่ระเหยได้ จึงเข้าสู่ร่างกายได้ทางผิวหนังหรือจากการสูดดมไอของสารเข้าไป tetraethyl lead พบในน้ำมันรถชนิดที่มีตะกั่ว ดังนั้นจึงทำให้เกิดมลภาวะของสารพิษนี้อยู่ทั่วไป ส่วนในกรณีของปรอทนั้น เนื่องจากใช้มากในทางอุตสาหกรรม ดังนั้นสารพิษชนิดนี้จึงเล็ดลอดลงไปตามแหล่งน้ำได้ นักวิทยาศาสตร์พบว่า ปรอทในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (อันรวมทั้งโลหะปรอทเองและเกลือประเภทที่ไม่ละลายน้ำ) จะถูกเปลี่ยนให้เป็น dimethyl mercury ได้โดยการทำงานของแบคทีเรีย สารพิษที่เกิดขึ้นจะสะสมอยู่ในพืชและสัตว์น้ำเล็ก ๆ จากนั้นก็เข้าสู่ลูกโซ่อาหาร โดยที่ปลาจะมากินพืชและสัตว์เล็ก ๆ เหล่านี้อีกทอดหนึ่ง ทำให้สารพิษเข้าไปอยู่ในตัวปลา และไม่เหมาะสมที่มนุษย์จะนำมาบริโภคอีกต่อไป ทั้งนี้เพราะโลหะหนักทั้งหลาย เมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์

แล้ว จะถูกกำจัดออกได้ช้ามากและผลจากสารพิษเหล่านี้สะสมกันด้วย ดังนั้นจึงต้องช่วยกันทำให้มลพิษเหล่านี้ลดน้อยหรือหมดไปจากสิ่งแวดล้อม เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีของมวลมนุษยชาติสืบไป

### สรุปเนื้อหาสาระสำคัญ

นอกจากสารประกอบคาร์บอน เช่น คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน และกรดนิวคลีอิกแล้ว สิ่งมีชีวิตยังต้องการวิตามินและเกลือแร่เพื่อการมีสุขภาพที่ดีด้วย ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินขึ้นเองได้ จึงต้องได้รับจากภายนอกเข้าไป วิตามินแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พวกที่ละลายในไขมันอันได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี และเค กับพวกที่ละลายน้ำได้แก่ วิตามิน บี คอมเพล็กซ์ และ วิตามิน ซี วิตามินที่ละลายน้ำจะถูกใช้เป็นโคเอนไซม์ของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาสำคัญ ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย

ธาตุหลัก 4 ชนิดคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน คาร์บอน และ ไนโตรเจน จะมีจำนวนถึง 99.4% ของอะตอมทั้งหมดในร่างกายมนุษย์ ส่วนอีก 0.6% จะเป็นธาตุอื่น ๆ 21 ชนิด รวมเรียกว่าเกลือแร่ แม้ว่าธาตุกลุ่มหลังนี้จะเป็นเพียงส่วนประกอบส่วนน้อยของร่างกายก็ตาม แต่ก็มีความสำคัญที่จะขาดเสียมิได้ ทั้งนี้เพราะบางธาตุจะพบในเนื้อเยื่อที่มีความแข็งแรงเช่นกระดูกและฟัน ในขณะที่ธาตุที่เหลือจะพบในเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มและของไหลในร่างกาย

เกลือแร่แบ่งได้เป็น 2 พวกคือ macronutrients และ micronutrients หรือ trace elements พวกแรกจะเป็นพวกที่ร่างกายต้องการในจำนวนไม่น้อยนัก มีด้วยกัน 7 ชนิด คือ โลหะแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และ อโลหะ ฟอสฟอรัส กำมะถัน และ คลอรีน สำหรับ micronutrients ซึ่งร่างกายต้องการในจำนวนน้อยมี 14 ชนิด คือ เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โคบอลต์ โมลิบดีนัม โครเมียม เซเลเนียม ไอโอดีน ดินบุก วานาเดียม นิกเกิล ฟลูออรีน และ ซีลีเนียม

มีโลหะและอโลหะหลายชนิดที่ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อย และถ้าความเข้มข้นของสารเหล่านี้เพิ่มขึ้นแล้วจะมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้ ตัวอย่างได้แก่ ทองแดง เซเลเนียม นอกจากนี้ยังพบธาตุโลหะอีกประเภทหนึ่งซึ่งแม้จะใช้ในความเข้มข้นต่ำก็จะมีพิษต่อร่างกาย พวกนี้ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท

## คำถามท้ายบท

1. ทำไมมนุษย์จึงต้องได้รับวิตามินชนิดที่ละลายน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ
2. โรคต่อไปนี้เกิดจากการขาดวิตามินที่ละลายน้ำ จงบอกชื่อวิตามินนั้น
  - 2.1 pellagra
  - 2.2 ลักปิดลักเปิด
  - 2.3 beriberi
  - 2.4 pernicious anemia
3. จงเขียนรายชื่อ macronutrients ทั้ง 7 ชนิด พร้อมทั้งสูตร
4. แจกแจง macronutrients แต่ละชนิดในข้อ 3 ว่าเป็นโลหะ หรืออโลหะ
5. คำพูดต่อไปนี้ถูกหรือผิด เพราะเหตุใด  
“การขาดโปรตีนที่สังเคราะห์จากอาหาร สามารถที่จะถูกทดแทนได้โดยรับประทานอาหารที่มีโซเดียมเข้าไปให้มากขึ้น”
6. จงบอกผลที่จะเกิดขึ้นจากการรับประทานฟอสฟอรัสเข้าไปมากเกินไป
7. ถ้าร่างกายได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ จะมีผลต่อการเจริญเติบโตอย่างไร
8. โซเดียมและโปรตีนที่สังเคราะห์จากอาหารทำหน้าที่ต่างกันอย่างไรในร่างกาย
9. จงเขียนรายชื่อ micronutrients ทั้ง 14 ชนิด และเขียนสัญลักษณ์ทางเคมีของธาตุแต่ละตัวนั้นด้วย
10. แจกแจง micronutrients ออกเป็นธาตุโลหะ ธาตุอโลหะ หรือเมทัลลอยด์
11. เหล็กมีมากในอาหารประเภทใด
12. เหล็กจะอยู่ได้ในรูป  $Fe^{2+}$  และ  $Fe^{3+}$  รูปใดที่ร่างกายจะดูดซึมได้ดีกว่า และวิตามินซีมีส่วนช่วยในการดูดซึมนี้ได้อย่างไร
13. ทำไมเราจึงต้องการเหล็ก และถ้าร่างกายขาดเหล็กจะเกิดอะไรขึ้น
14. คำพูดต่อไปนี้ถูกหรือผิด เพราะเหตุใด  
“เกือบทั้งหมดของเหล็กที่อยู่ในอาหารจะถูกร่างกายดูดซับเอาไว้ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างฮีโมโกลบิน”
15. นอกจากเหล็กแล้ว ยังมีธาตุโลหะชนิดใดอีกที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฮีโมโกลบินและจงบอกชื่อของโรคที่เกิดจากการกระจายตัวของธาตุนี้ในร่างกายผิดปกติไป
16. จงบอกหน้าที่ของไอโอดีนในร่างกาย และถ้าท่านอยู่ในบริเวณที่ขาดไอโอดีน ท่านจะปฏิบัติตัวอย่างไร เพื่อให้ร่างกายได้รับไอโอดีนอย่างเพียงพอ
17. ทำไมเมื่อขาดไอโอดีน จึงทำให้เกิดโรคคอพอก

18. ฟลูออรีนเป็นธาตุที่มนุษย์จะขาดได้หรือไม่
19. อะไรเป็นสาเหตุให้ฟันตกกระ
20. จงบอกหน้าที่ของ trace elements ต่อไปนี้มาตัวละ 1 หน้าที่
  - 20.1 โมลิบดีนัม
  - 20.2 สังกะสี
  - 20.3 แมงกานีส
  - 20.4 โคบอลท์
  - 20.5 โครเมียม
  - 20.6 เซเลเนียม
  - 20.7 นิกเกิล
  - 20.8 ดีบุก
  - 20.9 วานาเดียม
  - 20.10 ซีลีคอน
  - 20.11 สารหนู