

บทที่ 7

ธาตุเธรสทางการแพทย์

7.1 บทนำ

รายละเอียดในบทนี้เกี่ยวข้องกับธาตุเธรส (trace element) ต่างๆ ซึ่งเป็นธาตุจำเป็น แต่ร่างกายต้องการเพียงปริมาณน้อยๆ ถ้าเกิดอาการขาดหรือมีธาตุเธรสในร่างกายไม่เพียงพอ ย่อมก่อความไม่สมดุลของระบบต่างๆภายในร่างกาย ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับด้านสุขภาพหรือการแพทย์นั้นเอง

จากการศึกษาพบว่า ธาตุเธรสในน้ำเลือด (serum) มนุษย์ มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับในน้ำทะเล กล่าวคือ มีธาตุเธรสประกอบอยู่เหมือนกัน แต่ปริมาณความเข้มข้นไม่เท่ากัน (เปรียบเทียบในหน่วย ppm) พิจารณาโดยง่าย อาจเปรียบเทียบธาตุหลักที่ร่างกายต้องการนั้นใช้เพื่อสร้างหน่วยหรือปริมาตรที่แข็งแรงภายนอก ส่วนภายในต้องใช้ธาตุเธรสดำเนินการแปลงโครงสร้างเพื่อให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือ เกาะยึดกัน เป็นโมเลกุลต่างๆ เช่น โปรตีน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีธาตุเธรสที่เป็นพิษต่อร่างกายถ้าได้รับมากเกินไป เช่นเดียวกัน ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากวิวัฒนาการของเทคโนโลยีต่างๆในยุคมนุษย์สมัยใหม่ เช่น ความเข้มข้นของตะกั่วในบรรยากาศแต่ละบริเวณขึ้นกับความหนาแน่นของการจราจร เนื่องจากตะกั่วเป็นส่วนประกอบในน้ำมัน เชื้อเพลิงของยานยนต์ต่างๆ นั้นเอง ส่วนในโรงงานอุตสาหกรรมอาจเป็นบ่อเกิดของธาตุแคดเมียม ปรอท อาร์เซนิก (arsenic) เป็นต้น

7.2 บทบาทของธาตุเธรสต่อสิ่งมีชีวิต

ธาตุเธรสที่จะกล่าวรายละเอียดต่อไปนี้ เลือกอธิบาย เฉพาะธาตุที่นิยมวิเคราะห์เท่านั้น

(1) โครเมียม (chromium)

โดยทั่วไปมักมีในพืชและสัตว์น้อยมาก ทำให้ยากในการวิเคราะห์ ในรูปของสารอนินทรีย์จะพบว่าโครเมียมไตรวาเลนต์ (trivalent) เท่านั้นที่มีผลต่อกิจกรรมของสิ่งที่มีชีวิต มันจะถูกดูดซึม เป็นส่วนมากที่ลำไส้บริเวณ เจจูนัม (jejunum) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของทางเดินอาหาร (ประมาณ 1%) ถูกขับถ่ายทางปัสสาวะ หน้าที่สำคัญคือรักษาให้เมตาบอลิซึม (metabolism) ของกลูโคสปกติและกรดอะมิโน (amino acid) ให้เป็นปกติ

ในร่างกาย โครเมียมจะซิงกับเหล็กในการเกาะติดกับทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) กรณีที่ทรานส์เฟอร์รินอิ่มตัวสำหรับเหล็ก จะมีอาการเมตาฮวาน ซึ่งอาจเนื่องมาจากการรบกวนกลไกการขนส่งโครเมียม อาการเมื่อขาดโครเมียมคือ การรักษาระดับกลูโคส (glucose) ในเลือดถูกทำลาย มีการเจริญเติบโตช้า แก้วตาขุ่น ดับน้ำเลื่อม เนื่องจากถูกทำลาย สาเหตุของการมีโครเมียมต่ำอาจเนื่องจากร่างกายขาดโปรตีน หรือโลหิตจาง เนื่องจากพยาธิ เป็นต้น การเพิ่มปริมาณโครเมียมในน้ำดื่มอาจช่วยยืดอายุ เนื่องจากลดระดับโคเลสเตอรอล (cholesterol) ในเลือด และช่วยลดการแข็งตัวของผนังหลอดเลือด (atherosclerosis) ในหลอดเลือดแดงใหญ่

(2) โคบอลต์ (cobalt)

โดยทั่วไปร่างกายต้องการโคบอลต์ในรูปสารประกอบของวิตามินบี 12 (B_{12}) โดยจะมีโคบอลต์เกาะอยู่ ณ หันระโคหันระหนึ่งของวิตามินบี 12 (ชื่อทางวิทยาศาสตร์ของวิตามินบี 12 คือ cyanocobalamin) ในอวัยวะต่างๆจะมีโคบอลต์กระจายทั่วไปประมาณ 0.10-0.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ซึ่งนับว่ามากพอสมควร) ในตับ ไต กระดูก ม้าม ตับอ่อน และในเนื้อเยื่อของต่อมต่างๆ ในซีรัมมีความเข้มข้น 0.5-1.0 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนวิตามินบี 12 จะเกาะอยู่กับทรานส์โคบาลามิน (transcobalamin) จึงก่อให้เกิดการดูดซึมวิตามินบี 12 ในเซลล์เนื้อเยื่อ

โคบอลต์ถูกขับออกทางอุจจาระ ทั้งโคบอลต์และเหล็กจะแปร เนื้อที่การดูดซึมกันในลำไส้เล็กตอนต้น กล่าวคือ ถ้าธาตุโคบอลต์มีอยู่มากในบริเวณดังกล่าว ย่อมจะทำให้ลดปริมาณอีกธาตุหนึ่งให้มันน้อยลงในบริเวณเดียวกันนั้น โคบอลต์มีผลต่อการสร้าง เม็ดเลือดแดง เนื่องจาก เป็นตัวควบคุมขั้นตอนการผลิตโกลบิน (globin) และฮีม (haem)

(3) ทองแดง (copper)

มีส่วนประกอบ เข้มข้นในพลาสมา (plasma) ประมาณ 0.8-1.2 มิลลิกรัม/ลิตร ปรากฏในหลายรูปแบบซึ่งมีลักษณะซับซ้อน และเกาะอย่างหลวมๆกับอัลบูมิน (albumin) กรดอมิโน และหนึ่ง α_2 - globulin, caeruloplasmin ส่วนใหญ่จะถูกเก็บสะสมไว้ที่ตับ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ เมธอลโลไทโอนิน (metallothioneins) บางตัว (เมธอลโลไทโอนิน เป็นกรดอมิโนตัวหนึ่ง)

ทองแดงจะถูกดูดซึมในทาง เติอาหาร ส่วนปริมาณที่ถูกดูดซึมขึ้นกับรูปเคมีและส่วนประกอบของธาตุอาหารอื่น พบว่าจะ เกิดการดูดซึม เมื่อทองแดง เกาะอยู่กับโปรตีน ดูโอคีนัล (duodenal protein) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^4 ดาลตัน (daltons) เป็นที่เข้าใจว่าสังกะสี (zinc) และแคดเมียม (cadmium) เป็นตัวขัดขวางการดูดซึมทองแดง โดยแทนที่ทองแดงในโปรตีนดังกล่าว การขับถ่ายทองแดงคือทางอุจจาระและเหงื่อ

ทองแดงเป็นส่วนประกอบอยู่ในน้ำย่อยและโปรตีนประมาณ 35 ชนิด ที่สำคัญ เช่น caeruloplasmin, tyrosinase, cytochrome oxidase, catalase และ mono-aminic-oxidase เป็นต้น ดังนั้น ในการวิเคราะห์ว่าขาดทองแดงหรือไม่ ทำโดยตรวจระดับของน้ำย่อยดังกล่าว ซึ่งอาจมีการเกิด cuproproteins อื่นๆเนื่องจากการขาดน้ำย่อย เช่น RBC erythrocuprein, cerebrocuprein ของสมอง, hepatocuprein และ mitochondriocuprein ของตับ

อาการขาดทองแดงคือน้ำหนักลด โลหิตจางชนิดที่มีขนาด เม็ดเลือดแดง เล็กลง การสร้างกระดูกมีการรบกวน และการสร้าง เนื้อเยื่อพังทิด (collagen) เป็นแบบไม่สมบูรณ์ แต่

ถ้าบริโภคมากเกินไปย่อมมีการสะสมทองแดงที่ตับมาก อาการคือ เม็ดเลือดสลายตัว ตีข่าน (jaundice) และมีการรบกวนประสาท (หมายถึงหน้าที่การทำงานของประสาทไม่ดี เช่น อาจเกิดอาการชา ชักกระตุก ฯลฯ) ความผิดปกติของ เมตะบอลิซึมของทองแดง เป็นการ บ่งชี้ถึงโรคติดเชื้อ (infectious illness) เกิดความผิดปกติของ เซลล์ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ (neoplastic)

(4) ฟลูออรีน (fluorine)

เป็นส่วนประกอบของกระดูก ฟัน เนื้อเยื่ออ่อน และส่วนของเหลวในร่างกาย มีปรากฏในพลาสมาประมาณ 0.1-0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ในเส้นมีประมาณ 200-600 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม ในเนื้อเยื่ออ่อนประมาณ 2-5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยที่น้ำนมเมื่อแห้ง รก (placenta) จะทำหน้าที่สะสมฟลูออรีน จากนั้นส่งต่อไปยังตัวอ่อน (foetus) ฟลูออรีน ส่วนเกินจะถูกทิ้งไว้ในกระดูก หรือถูกขับออกโดยไต ผู้เป็นโรคกระดูกหุจะพบว่า มีปริมาณฟลูออรีนต่ำ

อาการที่มีฟลูออรีนมากเกินไป เรียกว่า "ฟลูออโรซิส" (fluorosis) โดยทั่วไป จะขาดการควบคุม ปวดเมื่อมีการเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อสำคัญเกิดคอด เป็นโรคข้อสะโพกอักเสบ (arthritis of the hip) เคลือบฟันมีการสึกกร่อน ฟลูออรีนในระยะนี้จะมีปรากฏ ประมาณ 5000-8000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

แหล่งธรรมชาติที่มีฟลูออรีนอยู่มาก ได้แก่ น้ำดื่มที่ได้จากบ่อลึกมากๆ (มีประมาณ 2-15 มิลลิกรัม/ลิตร) ถ้าเป็นระดับผิดปกติ ในบัสสาวะจะมีฟลูออรีน 5-12 มิลลิกรัม/ลิตร)

(5) ไอโอดีน (iodine)

เป็นที่ทราบกันดีว่าร่างกายใช้ไอโอดีนสร้างฮอร์โมนไธรอกซิน (thyroxin) และไตรไอโอดิไธโรนิน (triiodothyronine) ไอโอดีนมีอยู่ในอาหารและน้ำ

(Whatman) ขนาด 8 มิลลิกรัม/ซม.² แต่ขนาดความหนาและส่วนประกอบของมันไม่ช่วยให้ได้ความไวหรือลดความร้อน เนื่องจากล้าอนุภาคเป็นไปดังคาดหวังไว้

5.7 การดูดกลืนพลังงานภายในสารตัวอย่าง

สารตัวอย่างมีอิทธิพลต่อความแม่นยำในการทดลอง 2 ประการ ดังนี้

(1) เมื่อโปรตอนจะลุดทะลวงผ่านสารตัวอย่าง ย่อมมีความเร็วลดลง ดังนั้น

โอกาสในการ เปล่ง เอ็กซ์ เรย์จะแปรค่าไป

(2) เอ็กซ์ เรย์ที่ถูกทำให้เกิดขึ้นนั้น กลับถูกดูดกลืนอยู่ภายในสารตัวอย่าง

ถ้าใช้ เป้าชนิดหนา โปรตอนอาจถูกหยุดสนิท ต้องคำนึงถึง เอ็กซ์ เรย์ที่ถูกผลิตขึ้น และถูกดูดกลืนอยู่ภายในสารตัวอย่าง แต่ถ้า เป็น เป้าชนิดบาง พลังงานของโปรตอนจะถูกลดค่าลงขณะ เดินทางผ่านเนื้อสารตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างขนาด 2-3 มิลลิกรัม/ซม.² จะมีผลประมาณ 2-3% อาจแก้ไขโดยใช้ค่าพลังงานเฉลี่ยของโปรตอน เนื่องจากพื้นที่ภาคตัดขวางจะแปรค่าอย่างช้าๆถ้าพลังงานถูกแปรค่าไป (หมายถึงในช่วงดังกล่าวนี้)

สำหรับ เป้าที่มีลักษณะ เป็น เนื้อ เดียว คาดว่าจะ เปล่ง เอ็กซ์ เรย์ที่มีคุณสมบัติ เป็น เนื้อ เดียว สมบัติที่ ใช้ เป็นตัวแก้ เกี่ยวกับการดูดกลืนคือ

$$t = \frac{1}{\mu d / \sin \phi} (1 - e^{-\mu d / \sin \phi}) \quad (5-1)$$

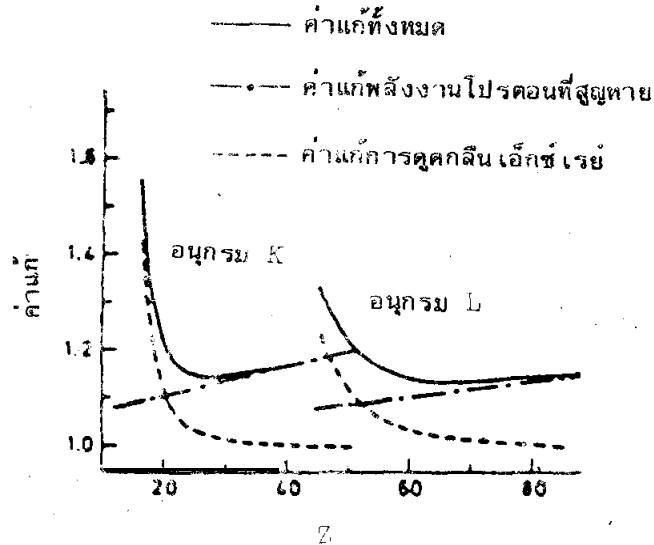
โดย μ เป็น ส.ป.ส. การดูดกลืนมวล

d ความหนาของสารตัวอย่าง

ϕ มุมระหว่างสารตัวอย่างและล้าอนุภาค

ค่าดังกล่าวนี้ใช้ได้กับจีโอ เมทริกซ์ที่วัดตั้งฉากกับล้าโปรตอน ถ้าแปรค่ามุมนี้และมุม ϕ จะช่วยลดปัญหาการดูดกลืนลงได้

รูป 5.4 แสดงเส้นกราฟที่แก้การดูดกลืนภายในสารตัวอย่าง เห็นได้ว่าพวกธาตุเบาที่เปล่งเอ็กซ์เรย์อนุกรม K เป็นส่วนใหญ่ การใช้ค่าแก้ดังกล่าวมีผลมาก ต่างกับอนุกรม L ในอัตราหนักกว่า



รูป 5.4 ตัวประกอบแก้ไข เพื่อใช้ เป็นค่าแก้สำหรับนุคเคลอพออร์ 1 มิลลิกรัม ต่อ ตร.ซม.

นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงขนาดของอนุภาคที่จะมีผลต่อการดูดกลืนเอ็กซ์เรย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์แอร์โรซอล และธาตุที่มีค่า Z ประมาณ 20

5.8 บทสรุป

จากข้อมูลรายละเอียดที่ได้เสนอในบทนี้ เห็นได้ว่าปัญหาสำคัญคือ การเตรียมสารตัวอย่าง รวมทั้งการเลือกแบคคิงก์ เพื่อรองรับตัวอย่าง เนื่องจากข้อได้เปรียบจะมีมากถ้าใช้ตัวอย่างชนิดบาง แต่คาร์บอนบางๆมีความเปราะ ซึ่งบางกรณีผู้วิเคราะห์อาจพลาดท่าหล่นก่อนจะทำการอานรังสีก็ได้ และถ้าคาร์บอนบางมากๆอาจแตกหักง่ายถ้าฉายรังสีที่มีความเข้มสูง ถ้าใช้วิธีการของ PIXE มีแนวทางเลือกอีกหลายแพ็คเกจ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีเยี่ยม ดังนี้

(1) ปริมาตรที่จะทำการอบรังสี อาจทำให้มีสภาพเป็นสูญญากาศ หรือในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เช่น ฮีเลียม หรืออาจอบรังสีโดยตรงไปยังสารตัวอย่าง

(2) การผลิตลำอนุภาคเพื่อตอบสนองคุณสมบัติตามต้องการ คือมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด ต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นๆช่วย เช่น วัสดุที่ทำหน้าที่กระจายลำอนุภาค หรือตัวดูดกัมมันพลังงาน เป็นต้น

(3) จัดจีโอ เมทริกซ์ของหัววัด สารตัวอย่าง และวัสดุดูดกัมมัน

(4) การเลือกใช้หัววัด เพื่อทำการตรวจบันทึกปริมาณ เอ็กซ์เรย์

(5) ระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่อาจช่วยให้ความไวดีขึ้น รวมทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะใช้วิเคราะห์ข้อมูล

(6) การเลือกเตรียมสารตัวอย่างให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ รวมทั้งเทคนิคที่รองรับ ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงปรากฏการณ์ดูดกัมมันพลังงาน เอ็กซ์เรย์ภายใน เนื้อสารตัวอย่างเองด้วย

แบบฝึกหัดบทที่ 5

1. ตามความคิด เห็นของท่าน จำ เป็นหรือไม่ที่ล้าอนุภาคใน PIXE จะต้องมึลักษณะเดียวกันหมด และในทางปฏิบัติจะสามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้อย่างไรบ้าง?
2. "วัสดุคูกกลืน" ใช้ในกรณีใดสำหรับการทดลอง PIXE ?
3. เหตุใดจึงไม่นิยมวิธีการตรวจวัดการกระจายความยาวคลื่นในเทคนิค
4. อธิบายความหมายของช่วง เวลาที่หัววัดคายพอ เข้าใจ
5. การแทรกสอดพลังงานใน เทคนิค PIXE เกิดได้ในกรณีใด และจะแก้ไขปัญหาค่าที่เกิดขึ้นได้อย่างไร?
6. วิเคราะห์ข้อดีและข้อ เสียของแมคกิงก์คาร์บอนบางๆ ซึ่งใช้ในเทคนิค PIXE
7. คำว่า "จีโอ เมทรี" ในการทดลองหมายถึงอะไร? มีกฎ เกณฑ์แน่นอนหรือไม่ในการจัดจีโอเมทรีสำหรับการทดลองหนึ่งๆ โดยทั่วไปนิยมจัด เช่นไร?