หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

สารหนู (Arsenic) สัญญลักษณ์ As เป็นธาตุที่ 33 ในตารางธาตุ จัดอยู่ในหมู่ V_B (1) มีน้ำหนักอะตอม 74.9216 เลขอะตอม 33 มี 4 วาเลนซี คือ -3, 0, +3, +5 (2) แต่วาเลนซีหลักคือ +3, +5 และ -3 เท่านั้น สารหนูจะปรากฏในรูปของแข็ง 3 แบบ คือ สีเหลือง สีดำ และสีเทา มีน้ำหนักพิกัด (Specific gravity) 1.97, 4.73 และ 5.73 เทียบกับน้ำตามลำดับ (3) สารหนูในรูปเสถียรจะเป็นของแข็งกึ่งโลหะมีสีเทา ใสเหมือนผลึก มีจุดหลอมเหลว 817° ซ ที่ 28 บรรยากาศ ระเหิดที่ 613° ซ รูปที่สามัญที่สุดของสารหนูที่พบคือสีเทา สารหนูสามารถละลายได้ในกรดไนตริก (nitric acid : HNO_3) ไม่ละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น (3)

สารหนูเป็นธาตุที่พบโดยทั่วไปในอากาศ น้ำ ดิน สินแร่ และเนื้อเยื่อของสิ่งที่มีชีวิตทุกชนิด เป็นสารที่รู้จักกันตั้งแต่สมัยคริสตศักราช 250 และนำมาใช้ในทางการแพทย์ในรูปของยารักษาโรคเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 400 (4) โดย Hippocrates ใช้สารหนูในรูปของอาร์ซีนิคซัลไฟด์ (arsenic sulphide : As_2S_5) ซึ่งมีสีส้ม ในการบำบัดแผลพุพอง (5) ในธรรมชาติทั่ว ๆ ไปสารหนูจะอยู่ในรูปของสารประกอบอาร์ซีเนท (arsenate) ถ้าอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ขาดออกซิเจนจะอยู่ในรูปของสารประกอบอาร์ซีไนท์ (arsenite) สารประกอบของสารหนูที่ระเหย และ/หรือเปลี่ยนสภาพได้ง่ายจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น เมื่อเกิดการเซาะกร่อน เกิดการละลายของเนื้อดินทำให้สารหนูแปรสภาพเป็นอาร์ซีน (arsine) และอาจมีการแปรสภาพเป็นสารประกอบของสารหนูอย่างอื่น แล้วเข้าสู่พืช เกิดวัฏจักรของสารหนูในธรรมชาติเป็นผลให้สารหนูปรากฏอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม (2)

สารหนูพบว่ามีปะปนในสินแร่ตามธรรมชาติหลายชนิด ในรูปต่าง ๆ กัน ที่สำคัญ คือ รีเอลการ์ (realgar : As_2S_5) ออร์พิเมนท์ (orpiment : As_2S_3) อาร์ซีโนไลท์ (arsenolite : As_2O_3) มิสพิคเกล (mispickel : $FeS_2 + FeAs_2$) และ อาร์ซีโนไพไรท์ส (arsenopyrites : $FeAs_2$) (5) นอกจากนี้ยังพบสารหนูในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของนิกเกิล (nickel) และโคบอลต์ (cobalt) จากการศึกษาพบว่าในการถลุงแร่นั้นจะมีสารประกอบของสารหนูฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ ซึ่งจะมีอาร์ซีนิคออกไซด์ (As_2O_3) อยู่ในปริมาณร้อยละ 97 (6) และพบว่าสารหนูเป็นผลพลอยได้จากการแยกแร่ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ดีบุก และทองคำ นอกจากนั้นยังพบเป็นสารเจือปน (impurity) อยู่ในสินแร่ของโลหะซัลไฟด์ (7) และพบว่าเป็นธาตุจำนวนน้อย (trace element) ปะปนอยู่ในดิน (10-500 ส่วนในล้านส่วน) (5) ฝุ่นละออง (0.25-5 ส่วนในล้านส่วน) (8) เส้นผมและเล็บ (1.0-5.0 ส่วนในล้านส่วน) (2) น้ำ (0.01-1.0 ส่วนในล้านส่วน) หญ้า (0.1-1.6 ส่วนในล้านส่วน) ต้นเฟิร์น (0.2-3.64 ส่วนในล้านส่วน) ผักต่าง ๆ (0.00-2.9 ส่วนในล้านส่วน) ข้าว (0.11-0.16 ส่วนในล้านส่วน) น้ำมันจากปลาทะเล (1.0-5.0 ส่วนในล้านส่วน) เนื้อปลา (2.0-9.0 ส่วนในล้านส่วน) สัตว์น้ำ จำพวก กุ้ง หอย ปู (1.6-2.9 ส่วนในล้านส่วน) กุ้งทะเล-กุ้งฝอย (1.5-100.0 ส่วนในล้านส่วน) เนื้อสัตว์ (0.06-1.07 ส่วนในล้านส่วน) น้ำนมสัตว์ (0.01-0.05 ส่วนในล้านส่วน) (9,10) อาหารอื่น ๆ (0.01-1.1 ส่วนในล้านส่วน) (11) และสารหนูในอาหารทะเลจะพบว่ามีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง (12)

สารหนูและสารประกอบของสารหนูมีที่ใช้อย่างกว้างขวาง กล่าวคือในอดีตใช้สารหนูผสมทำสีของกระดาษติดฝาผนัง สีสำหรับใช้พิมพ์ผ้า ใช้ในการรักษาแผลพุพอง ปัจจุบันนิยมใช้สารหนูในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตยาฆ่าแมลง ยาทำลายวัชพืช ยาฆ่าเชื้อรา ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้วเพื่อทำให้เกิดสีบรอนซ์ (bronzing) หรือใช้เป็นตัวฟอกสี ใช้ในการผลิตพลอยสีเหลืองมุกดา รวมถึงการผลิตแก้วโอปอล (opal glass) และสีเคลือบต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมโลหะผสมนิยมเติมสารหนูลง

ไปในปริมาณร้อยละ 0.3-0.5 เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง และความคงทนต่อความร้อน ของโลหะ สารหนูจะมีประโยชน์มากขึ้นเมื่อมีความบริสุทธิ์สูง โดยใช้เป็นสารโดปปิ้ง (doping agent) ในสารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ ใช้ในการผลิตสารประกอบของสารหนูเพื่อใช้เป็นยาบำบัดโรค เช่น สารละลายของฟาวเลอร์ (Fowler's solution : KOAs = O) เพื่อใช้ในการบำบัดโรคมะเร็งในเม็ดโลหิต (Leukemia) อาร์สฟีนามีน (arsphenamine) ใช้ในการบำบัดโรคซิฟิลิส (Syphilis) และใช้ในการผลิตยาชนิดอื่น ๆ (13,14) นอกจากนี้ยังใช้สารประกอบระหว่างสารหนูกับกำมะถัน คือ รีเอลการ์ ในการผลิตสีแดง ดอกไม้เพลิง และน้ำยาที่ใช้บันทึกลวดลายบนโลหะ ใช้ออร์พิเมนท์ในการผลิตสีเหลือง

สารประกอบของสารหนูที่มีอันตรายมาก คือ สารหนูไฮไดรด์ (AsH_3) หรืออาร์ซีน สารหนูออกไซด์ (As_2O_3) สารหนูคลอไรด์ ($AsCl_3$) สารประกอบอาร์ซีไนท์และสารประกอบอาร์ซีเนท สารประกอบของสารหนูที่เป็นอันตรายมากที่สุด คืออาร์ซีน อันตรายลำดับรองลงมาคือ สารประกอบอาร์ซีไนท์และสารประกอบอาร์ซีเนท สำหรับสารหนูซัลไฟด์ (As_2S_3) นั้น จะมีอันตรายน้อยที่สุด ความเป็นพิษของสารหนูที่มีต่อสัตว์จะอยู่ในรูปของอาร์ซีนิคไตรออกไซด์ (15) และได้รับการยืนยันโดย Schwartz (16) ว่าความเป็นพิษของอาร์ซีนิคไตรออกไซด์จะเป็นปฏิภาคผกผันกับขนาดของอนุภาค (particle size) ของมัน นอกจากนี้สารละลายของอาร์ซีนิคไตรออกไซด์จะเป็นพิษมากกว่าอาร์ซีนิคไตรออกไซด์ที่เป็นผงหลายเท่า (17)

เมื่อสารหนูเข้าสู่ร่างกายจะแผ่กระจายไปตามอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ ไต ม้าม ถุงน้ำดี กล้ามเนื้อ สมอง กระดูกสันหลัง ผิวหนัง ส่วนใหญ่จะไปสะสมอยู่ที่เส้นผมและเล็บ (2) ปริมาณของสารหนูในเนื้อเยื่อทุกชนิดมีปริมาณระหว่าง 0.05-30 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณสารหนูที่จัดว่าอยู่ในระดับปกติซึ่งมีอยู่ในต่อมน้ำนม ต่อมไทรอยด์ ต่อมไหมัส เส้นผม ผิวหนัง และกระดูก มีค่าประมาณ 0.113-0.76 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (18) ร่างกายจะขับถ่ายสารหนูออกมาทางปัสสาวะและอุจจาระ (19) ในปัสสาวะของคนปกติจะมีสารหนูประมาณ 0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร (20)

หรือ 0.017 มิลลิกรัมของ As_2O_3 ต่อ 100 ลบ.ซม. (21) และปริมาณของสารหนูในเด็กและผู้ใหญ่จะไม่มีความแตกต่างกันเลย (22)

ความเป็นพิษอย่างรุนแรงของสารหนูต่อสิ่งที่มีชีวิตทั่ว ๆ ไป ทั้งพืชและสัตว์แสดงออกโดยผลของการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพวกฟอสฟาเตส (Phosphatases) (23) เป็นผลให้การทำงานของเนื้อเยื่อลดลง สารหนูจะมีผลต่อการเป็นอัมพาตของกล้ามเนื้อเรียบ และมีพิษต่อระบบหมุนเวียนของโลหิต ทำให้เกิดอาการโลหิตไหลไม่หยุด (Haemorrhage) (24) ความเป็นพิษของสารหนูที่มีต่อเซลล์จะเกิดขึ้นกับโครโมโซม (chromosome) ทำให้การเจริญของเซลล์ในระยะไมโตติคเมตาเฟส (mitotic metaphase) ชะงักลง (25) สารประกอบของสารหนูพวกอาร์ซีนจะทำให้เกิดอาการโลหิตไหลไม่หยุดอย่างรุนแรง สัตว์ที่ได้รับไอของสารหนูโดยฉับพลันนั้นจะทำให้เกิดการลอกหลุดของคอร์เนีย จนในที่สุดกวงตาจะใช้งานไม่ได้ Hadjoloff พบว่าสารหนูจะมีผลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของเม็ดเลือดแดง (26) มนุษย์ที่ได้รับสารประกอบของสารหนูเข้าไปมากกว่า 2 เกรน (1 เกรน = 0.0648 กรัม) จะมีชีวิตอยู่ได้ระหว่าง 12-48 ชั่วโมงภายหลังที่ได้รับสารหนูเข้าไป โดยจะเกิดอาการเจ็บปวดภายในช่องท้อง และการคลื่นเหียนภายใน 1 ชั่วโมง เกิดการอักเสบของเยื่อบุกระเพาะและระบบทางเดินอาหาร บางทีจะเกิดอาการแพ้ที่ผิวหนัง ผิวหนังจะมีสีคล้ำ เกิดการพุพอง ผมร่วง และเกิดการอักเสบของระบบประสาท (27) เกิดการท้องร่วงตามด้วยท้องผูก

การหายใจเอาไอของสารหนู และ/หรือ ฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีสารหนูปะปนอยู่จะก่อให้เกิดผลโดยทันที คือ อาการขัดเคืองเกี่ยวกับระบบหายใจ จาม ไอ เจ็บหน้าอก หายใจขัด และอาการอื่น ๆ อาทิเช่น ปวดหัว เวียนหัว คลื่นเหียน อาเจียร ท้องร่วง ความดันเลือดลดต่ำลง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการเป็นอัมพาตของเส้นเลือด แต่ถ้าร่างกายได้รับสารหนูปริมาณหนึ่งอย่างสม่ำเสมอ นอกจากจะทำให้เกิดผลดังกล่าวแล้ว จะมีผลกระทบต่อระบบประสาท และก่อให้เกิดมะเร็งตามผิวหนังได้ด้วย แต่การเกิดมะเร็งนั้นจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบอื่น ๆ อีกหลายประการ

อาทิเช่นความทนทานของเนื้อเยื่อ ความไวของผิวหนัง ความไวต่อแสงและการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกาย

แคดเมียม (Cadmium) สัญญลักษณ์ Cd เป็นธาตุที่ 48 ในตารางธาตุ จัดอยู่ในหมู่ II_B (28) มีน้ำหนักอะตอม 112.40 เลขอะตอม 48 มีวาเลนซี +2 เป็นโลหะที่ออน ดัดง่าย ไม่เปราะ มีสีขาวอมเงิน น้ำหนักพิกัด 8.65 จุดหลอมเหลว 320.9° ซ จุดเดือด 765° ซ แคดเมียมสามารถละลายได้ในกรด ละลายได้ในแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) และในกรดซัลฟูริคที่ร้อน ไม่ละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น (3)

แคดเมียมเป็นธาตุที่พบทั่วไปในน้ำ ดิน สินแร่ เนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ ส่วนใหญ่แคดเมียมจะกระจายปะปนอยู่กับสินแร่ในดิน สินแร่ที่พบว่ามีแคดเมียมปะปนอยู่มากคือ สินแร่กรีนโนไคท์ (greenockite) หรือแคดเมียมเบลนด์ (cadmium blende : CdS) ซึ่งมีแคดเมียมอยู่ร้อยละ 77.6 (5) นอกจากนี้ยังพบแคดเมียมในแร่สังกะสีและแร่ตะกั่ว เมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงจะเกิดการเซาะกร่อนของสินแร่ที่มีอยู่ในดิน ทำให้แคดเมียมแพร่กระจายออกมาปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดความแปดเปื้อน (contamination) ของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมคือการกระทำของมนุษย์ (29) แหล่งกำเนิดของความเปรอะเปื้อนที่สำคัญได้แก่ ไอของแคดเมียมที่ได้จากการหลอมละลายสินแร่ตะกั่วและสินแร่สังกะสี รวมทั้งการทำให้ได้แร่บริสุทธิ์ ตลอดจนการผลิตโลหะชิ้นเล็ก ๆ การเผาไหม้ของถ่านหินและน้ำมัน การกระจายของน้ำทิ้ง และของเสียจากโรงงานผลิตพลาสติค ซึ่งใช้แคดเมียมเป็นตัวช่วยให้โพลีไวนีล (polyvinyls) อยู่ในสภาพที่คงตัว และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ซึ่งปล่อยแคดเมียมออกมาด้วย (29-32)

ปัจจุบันมีการใช้แคดเมียมกันอย่างกว้างขวางในกิจการอุตสาหกรรมหลายประเภท อาทิ การผลิตแบตเตอรี่ การชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้แคดเมียมเป็นตัวเคลือบป้องกันผิว (protective coating) ของเหล็ก เหล็กกล้า ทองแดง การใช้แคดเมียมในการผลิตโลหะผสมของทองแดงเพื่อใช้เคลือบสายโทรศัพท์ สายไฟฟ้า

ผสมกับตะกั่วเพื่อใช้เป็นตัวหุ้มสายเคเบิล ผสมกับบิสมัทเพื่อเตรียมโลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ใช้ในหม้อไอน้ำ เครื่องสัญญาณเตือนไฟไหม้ ผสมกับเงินและนิกเกิลเพื่อใช้ในแบตเตอรี่ ในอุตสาหกรรมของการผลิตแก้วใช้สารประกอบของแคดเมียมซัลไฟด์กับซัลโฟซิลิไนด์ ทำเป็นเม็ดสี (pigment) ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวสามารถทนความร้อนได้สูง ในทางกสิกรรมนิยมใช้สารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของแคดเมียมเป็นส่วนผสมในการผลิตยาฆ่าแมลง (33) มีการใช้แคดเมียมเติมลงในสีที่ใช้กับรถยนต์ นอกจากนี้แคดเมียมยังนำมาใช้ในการผลิตแท่งควบคุม (control rod) เพื่อเป็นตัวดูดนิวตรอน (neutron absorber) ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (5) และใช้เป็นขั้วบวกของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

แคดเมียมที่ปะปนอยู่ในบรรยากาศนั้น ส่วนใหญ่จะกระจายลงสู่ดินและแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณแหล่งกำเนิดนั้นจะมีโอกาสได้รับแคดเมียมเข้าไป และได้รับต่อเนื่องกันตามวัฏจักรของอาหาร (food chains) การที่แคดเมียมเข้าสู่สัตว์และมนุษย์ได้นั้น เนื่องมาจากการกินอาหารเป็นส่วนใหญ่ แคดเมียมในน้ำจะอยู่ในรูปของไอออนอิสระ (free ion) และแคดเมียมจะละลายได้ตามอิทธิพลที่ได้รับ ซึ่งขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง ตลอดจนความสามารถที่จะละลายได้ของสารประกอบของมัน (34) เมื่อน้ำจากแม่น้ำลำคลองไหลลงสู่ทะเล แคดเมียมซึ่งปกติจะอยู่รวมกับไอออนของโลหะหนักตัวอื่น ๆ จะไปสะสมอยู่ในตะกอนและปะปนอยู่ในน้ำทะเลในรูปของโมโนคลอโรคอมเพลกซ์ (34) สิ่งที่มีชีวิตในน้ำทะเลจะมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าปริมาณแคดเมียมที่มีในน้ำทะเล หอยทะเลจะสะสมแคดเมียมไว้ในเนื้อ ปูทะเลจะสะสมแคดเมียมไว้ในไต และอวัยวะย่อยอาหาร สัตว์ปีกตามฝั่งทะเลซึ่งจับปลาทะเลที่กินแพลงตอนเป็นอาหารจะถ่ายเทแคดเมียมตามวัฏจักรของอาหาร และจะสะสมแคดเมียมไว้ที่ตับในปริมาณที่สูง แต่ยังไม่มีหลักฐานแสดงถึงปริมาณของแคดเมียมในวัฏจักรของอาหารเหล่านี้ (29) ปลาทั้งน้ำจืดและน้ำเค็มจะสะสมแคดเมียมจากน้ำที่ไหลผ่านเหงือก และจากอาหารที่กินเข้าไป แม้ว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมจะต่ำแต่ความเป็นพิษของแคดเมียมจะยังมีสะสมอยู่ในปลาที่โตเต็มที่

ฉะนั้นเมื่อมนุษย์กินปลาดังกล่าวเข้าไป แคดเมียมย่อมจะถ่ายเทเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทำนองเดียวกัน

แม้ว่าแคดเมียมจะไม่ถูกจัดเป็นธาตุจำนวนน้อยที่จำเป็นต่อสิ่งที่มีชีวิต แต่แคดเมียมจัดเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ตามปกติในพืช ซึ่งพืชจะได้รับแคดเมียมโดยทางใบและราก นอกจากนี้พืชยังไม่มีขบวนการขับถ่ายแคดเมียมออกมา ดังนั้นเมื่อพืชได้รับแคดเมียมเข้าไป จึงยังคงสะสมอยู่ (29) ส่วนปริมาณแคดเมียมในดินจะเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพความเป็นกรดของดิน ซึ่งแคดเมียมในดินนี้จะสามารถถ่ายทอดสู่พืชและสัตว์ได้ ปริมาณของแคดเมียมในดินจะอยู่ในปริมาณที่ต่ำ (0.01-0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดิน) แต่ถ้าเป็นดินในบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมจะมีแคดเมียมอยู่ในปริมาณที่สูงกว่านี้ สัตว์ที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร จะได้รับแคดเมียมเข้าไปสะสมไว้ ดังนั้นมนุษย์จึงได้รับแคดเมียมจากอาหารที่รับประทานเข้าไปเป็นส่วนใหญ่ เช่น ในเนื้อวัว เนื้อหมู จะมีแคดเมียมสะสมอยู่ประมาณ 0.015-0.025 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และในอาหารอื่น ๆ รวมทั้งผัก ผลไม้ นม ไข่ ตลอดจน ปลา หอย โดยเฉลี่ยแต่ละวันคนแต่ละคนจะได้รับแคดเมียม 20-50 ไมโครกรัม นอกจากนี้การสูบบุหรี่ยังทำให้มนุษย์ได้รับแคดเมียมเข้าไปสะสมเพิ่มขึ้น (35) กล่าวโดยทั่วไปแล้วแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ ทางปาก ทางจมูก และทางผิวหนัง เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานอาหาร หรืออาจได้รับโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ เช่น การใช้ภาชนะที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบบรรจุเครื่องดื่มหรืออาหารที่มีสภาพเป็นกรด ทำให้สามารถชะ (leach) แคดเมียมปะปนมากับอาหารที่รับประทานได้ ถ้าร่างกายได้รับแคดเมียมเป็นประจำ แคดเมียมจะถูกสะสมไว้ในไต ตับ ม้าม (36) เมื่อการสะสมอยู่ในปริมาณที่มากพอย่อมเกิดอันตรายโดยจะทำให้ร่างกายไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร ประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนและไขมันลดลง ทำให้โปรตีนและไกลโคเจนถูกขับออกมากับปัสสาวะ ปัสสาวะกะปริบกะปรอย เกิดอาการของโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ นอกจากนั้นแคดเมียมยังสามารถแทนที่สังกะสี และแคลเซียมในร่างกายได้ (37) ถ้าหายใจเอาไอออกไซด์ของแคดเมียม

เข้าไป จะมีผลในการทำลายระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดการระคายคอ โพรง-จมูกอักเสบ หายใจขัด ไอ คลื่นไส้อาเจียร อ่อนเพลีย ปวดเมื่อยตามกล้ามเนื้อ เป็นไข้หนาวสั่น ปอดบวม ปอดผิดปกติ เยื่อปอดถูกทำลาย และอาจทำให้เกิดมะเร็งได้ ไอของแคดเมียมที่หายใจเข้าไป จะไปสะสมอยู่ที่ปอด ไต ตับ ตับอ่อน ไอของแคด-เมียมนี้มาจากการถลุงและหลอมแคดเมียม หรือสารประกอบของแคดเมียมในรูป แคดเมียมออกไซด์ และสารประกอบรูปอื่น ๆ จากธรรมชาติ และ/หรือ จากอุตสาห-กรรมประเภทอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้แคดเมียม ถ้าแคดเมียมสัมผัสกับผิวหนัง กรณีที่ผิวหนังไม่มีบาดแผลจะไม่ก่ออันตรายแต่อย่างใด แต่ถ้าผิวหนังที่มีบาดแผลจะทำให้แคดเมียมดูดซึมเข้าสู่ภายในร่างกาย และอาจก่อให้เกิดอันตรายได้เช่นกัน

เนื่องจากสารหนูและแคดเมียมที่มีปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม และในสารตัว-อย่างต่าง ๆ ตามธรรมชาติ มีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ สารหนูและแคดเมียมที่ทำให้สิ่งแวดล้อมสกปรก สืบเนื่องมาจากการใช้ยาปราบศัตรูพืช และ/หรือ สิ่งปฏิกูล จากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ มีปริมาณไม่มากนักเช่นกัน ประกอบทั้ง ระดับปริมาณสารหนูและแคดเมียมที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ก็มีปริมาณ น้อย ดังนั้นการที่จะแสดงให้เห็นระดับปริมาณที่แตกต่างกันระหว่างสารหนูและแคด-เมียมที่มีอยู่ตามปกติในธรรมชาติ กับสารหนูและแคดเมียมที่เกิดจากการเปรอะเปื้อน หรือปริมาณที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์หรือสัตว์ จำเป็นที่จะต้องใช้กรรมวิธีวิ-เคราะห์ที่มีความไว (sensitivity) ความเที่ยงตรง (precision) สูง และในปัจจุบันภายในประเทศมีการใช้สารหนูและแคดเมียมในกิจการเกษตร และอุตสาหกรรมมากขึ้น การเปรอะเปื้อนเนื่องจากสารหนูและแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม ย่อมจะมีมากขึ้นเป็นเงาตามตัว เป็นที่ทราบและยอมรับกันว่าสัตว์ประเภทปลาจัดเป็น อาหารที่สำคัญประเภทหนึ่งของมนุษย์ โดยเฉพาะประชากรไทย ดังนั้นสารหนูและ แคดเมียมที่สะสมอยู่ในสัตว์น้ำเหล่านั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสุขภาพ หรือเป็นอันตราย ต่อผู้บริโภคได้ ประกอบทั้งการศึกษาวิจัยในด้านนี้ยังไม่กว้างขวางเท่าที่ควรนัก ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากอุปสรรคทางเทคนิคของการวิเคราะห์เอง และ/หรือ การสรรหา

ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดีด้วย

เนื่องจากการวิเคราะห์ทางนิวตรอนแอคติเวชัน (Neutron Activation Analysis : NAA) เป็นเทคนิคที่ยอมรับกันว่ามีความไวในการวิเคราะห์สูง (38,39) สามารถกระทำได้ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พป.) ทั้งนี้เพราะมีแหล่งกำเนิดนิวตรอน และอุปกรณ์วัดรังสีอยู่พร้อม รวมทั้งได้รับความร่วมมืออย่างดีเลิศจากกองประมงทะเล กรมประมง ในการเก็บปลาตัวอย่างให้ จึงสมควรดำเนินการศึกษาถึงปริมาณของสารหนูและแคดเมียมในปลาทะเลชนิดต่าง ๆ ที่ประชากรไทยนิยมใช้บริโภคจากแหล่งต่าง ๆ ในน่านน้ำไทย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณของสารหนู และแคดเมียมในปลาทะเลสามัญที่ประชาชนส่วนใหญ่นิยมใช้รับประทาน อาทิ ปลาทู (ลัง) ปลาตาโต ปลาทราย-แดง ปลาข้างเหลือง ปลาหมึก ฯลฯ ในน่านน้ำไทย โดยวิธี Radiochemical neutron activation analysis

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบถึงปริมาณของธาตุทั้งสองในปลาประเภทต่าง ๆ ดังกล่าว จากเขตต่าง ๆ และจาก peak period ต่าง ๆ ของฤดูมรสุม

1.2.3 เพื่อหาข้อมูลสำหรับใช้เป็นแนวทางนำไปสู่การประเมินค่าระดับมูลฐาน (baseline level) ของธาตุทั้งสองในปลาทะเลในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ปลาตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นปลาทะเลชนิดสามัญธรรมดา ซึ่งประชาชนทั่ว ๆ ไปนิยมใช้รับประทาน และราคาที่ซื้อขายในท้องตลาดไม่สู้แพงนัก ประมาณ 5-6 ชนิด เช่น ปลาทู (ลัง) ปลาตาโต ปลาทรายแดง ปลาข้างเหลือง ปลาหมึก ปลาแป้น ฯลฯ ปลาทุกประเภทจะเก็บในบริเวณและสถานีต่าง ๆ ที่กำหนดไว้แน่นอนในน่านน้ำไทย โดยที่แต่ละบริเวณจะดำเนินการเก็บเป็นจำนวน 4 ครั้ง ในรอบปีตาม peak period ของฤดูมรสุม (มค. เม.ย กค. และ ตค.)

1.3.2 ปลาตัวอย่างจะนำมาชำแหละ เลือกเอามาเฉพาะกล้ามเนื้อส่วนหลัง เป็นตัวแทนของปลาทั้งหมดในส่วนที่รับประทานได้ และนำมาทำให้แห้งโดยเทคนิคของการเยือกแข็ง (freeze drying technique)

1.3.3 การวิเคราะห์จะกระทำโดยเทคนิคของ Radiochemical neutron activation analysis ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1.3.3.1 ตรวจสอบความแน่นอนของกรรมวิธีวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์สารมาตรฐานเปรียบเทียบ (Standard Reference Material) ซึ่งได้แก่สารมาตรฐาน Kale (Standard Kale Sample) ของ Professor Dr. H.J.M. Bowen แห่งมหาวิทยาลัย Reading สหราชอาณาจักร และสารตัวอย่าง Bovine (Bovine Liver Sample) ของ National Bureau of Standards (NBS) แห่งสำนักงาน Standard Reference Materials กรุงวอชิงตัน ดี ซี สหรัฐอเมริกา ตามขั้นตอน 1.3.3.2-1.3.3.6

1.3.3.2 การอาบรังสีนิวตรอน (neutron irradiation)

1.3.3.3 การทำละลายสารตัวอย่าง (wet ashing)

1.3.3.4 ขบวนการแยกทางเคมี (chemical separation)

1.3.3.5 การวัดปริมาณรังสี (counting)

1.3.3.6 การคำนวณและรายงานผล (calculation and reports)

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

1.4.1 ข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถนำมาใช้ประกอบการพิจารณาประเมินค่าระดับมูลฐานของสารหนูและแคดเมียมในปลาทะเลในประเทศไทยได้

1.4.2 ข้อมูลที่ได้รับนี้อาจนำไปสู่การพิจารณาถึงความเปรอะเปื้อนของธาตุทั้งสองในปลาทะเลในน่านน้ำไทย ซึ่งข้อมูลนี้ยังไม่มีผู้ใดรายงานไว้ก่อน

1.4.3 ข้อมูลที่ได้รับนี้อาจใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางโครงการวิจัยเรื่องสภาวะแวดล้อมเป็นพิษในน่านน้ำไทย ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติต่อไปในอนาคต

1.5 การสำรวจงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

1.5.1 ประโยชน์ของสารประกอบของสารหนู

ในปี ค.ศ. 1868 Hodges รายงานไว้ว่าบริเวณตะวันตกของสหรัฐ-อเมริกา ในรัฐโคโลราโด มีการใช้ Paris Green เพื่อป้องกันตัวแมลงที่ทำลายมันฝรั่ง และตัวหนอนซึ่งเกาะกินใบของต้นแอปเปิล (40) ต่อมาในปี ค.ศ. 1935 Boos และ Werby กล่าวถึงประโยชน์ของสารประกอบของสารหนูว่าสมารถใช้เป็นยาเบื่อหนู ยาปราบศัตรูพืช ใช้เป็นสีผงผสมในกระดาษติดฝาผนัง ผสมเป็นสีทาบ้านและสีย้อมผ้า (41) Hunter (42) สรุปว่ามีการใช้สารหนูในรูปของโคกบรีซ (coke breeze) ผสมกับปูนเพื่อใช้ฉาบผนังบ้าน และใช้ในรูปของตะกั่วอาร์ซีเนท (lead arsenate) เป็นยากำจัดศัตรูพืช

ในปี ค.ศ. 1969 Browning รายงานไว้ว่าสารประกอบของสารหนูเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุรเวท โดยนำไปผสมใช้เป็นยาเพื่อใช้รักษาแผลมีหนอง แผลพุพอง และฝีต่าง ๆ เช่นใช้สารละลายของฟาวเลอร์ ซึ่งเป็นสารละลายเจือจางที่เป็นกลางของอาร์ซีนิคไตรออกไซด์ เพื่อรักษาโรคผิวหนัง และอาการของโรคโลหิตจางบางชนิด หรือในรูปของอินทรียสาร เช่น อาร์สฟีนามีน นีโออาร์สฟีนามีน (neoarsphenamine) และมาฟาร์เซน (marpharsen) ซึ่งใช้รักษาโรคซิฟิลิส และใช้สารประกอบของสารหนูบางชนิดผสมเป็นยาปฏิชีวนะ (5)

1.5.2 การเปรอะเปื้อนของสารหนูและสารประกอบของสารหนูในสิ่ง-แวดล้อม

ในปี ค.ศ. 1929 Hamilton รายงานว่า จากการใช้สารหนูผสมในสีกระดาษใช้ติดฝาผนัง เป็นผลทำให้เกิดสารพิษขึ้นในบ้านสืบเนื่องจากการรวมตัวเกิดเป็น

สารประกอบไดเมธิลอาร์ซีน (dimethylarsine) ซึ่งระเหิดได้ (43) Boos และ Werby (41) แสดงให้เห็นช่วงปริมาณของสารหนูในผักและผลไม้ต่าง ๆ ว่ามีค่าประมาณ 0.1-0.7 ไมโครกรัมต่อกรัม ถ้าใช้ยาฆ่าแมลงกับผักและผลไม้แล้ว สารหนูจะมีปริมาณที่สูงกว่านี้มาก

สำหรับประเทศไทยนั้น สุชาติและคณะ (44) รายงานว่าจากการวิเคราะห์ผัก จำนวน 45 ชนิด และผลไม้ จำนวน 20 ชนิด พบว่ามีค่าสารหนูเฉลี่ยระหว่าง 0.0013-0.3711 และ 0.0015-0.2649 ไมโกรกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ Hunter (42) รายงานว่าการใช้ตะกั่วอาร์ซีเนทเป็นยากำจัดศัตรูพืช ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้และต้นไม้ อย่างไรก็ตามอันตรายที่ได้รับจากพิษของตะกั่วมีมากกว่าสารหนู ยกเว้นในกรณีที่ได้รับสารหนูอย่างรุนแรงในระยะเวลาสั้น

ในปี ค.ศ. 1945 McCaughey ได้ตรวจพบว่าในโรงงานที่ผลิตอาร์สฟีนามีน มีปริมาณสารหนูในอากาศถึง 0.2 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร และพบสารหนูในปัสสาวะของคนงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานนั้นถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (21) Morris (45) ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของสารหนูในรูปของอาร์ซีนในโรงงานสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ ซึ่งใช้กรดซัลฟูริคและกรดไนตริกที่มีสารหนูเจือปนอยู่ และ Morris ยังพบต่อไปว่าการที่มีสารหนูสะสมอยู่ในอาหารทะเลพวกกุ้ง ปลา นั้นเป็นผลมาจากการใช้ยาฆ่าแมลงกำจัดเชื้อราในผักและผลไม้

ในปี ค.ศ. 1971 Goulding รายงานว่าในประเทศญี่ปุ่น มีการใช้สารประกอบอินทรีย์ของสารหนูอย่างกว้างขวางในการทำฟาร์มปศุสัตว์ กล่าวคือใช้สารหนูผสมกับอาหาร เพื่อเป็นตัวเร่งการเจริญเติบโต จึงทำให้เกิดการสะสมของสารพิษในอาหารและสิ่งแวดล้อม (46)

1.5.3 ความเป็นพิษของสารประกอบของสารหนู

ความจริงแล้วธาตุสารหนูไม่มีพิษ และสามารถใช้รับประทานได้ คนที่อาศัยอยู่แถบบริเวณเทือกเขาแอลป์ (Alps) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เชื่อกันว่าถ้าบริโภค

สารหนูที่เกิดอยู่ตามธรรมชาติในปริมาณ 1-2 กรัม จะช่วยเพิ่มพลังงาน และความอดทนต่อการปีนขึ้นที่สูง ๆ ได้ และนอกจากนั้นยังช่วยทำให้เจริญอาหารอีกด้วย (9)

ความเป็นพิษของสารประกอบของสารหนูมีมาก และจะพบอยู่เสมอในคนงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หรือผลิตสารประกอบของสารหนู Wampler รายงานไว้ในปี ค.ศ. 1943 ว่า พิษของสารหนูจะมาจากสารหนูออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ และจะมีผลกระทบต่อระบบย่อยอาหาร (47) ในปี ค.ศ. 1944 Hunter ได้รายงานสอดคล้องต้องกันว่า นอกจากสารหนูออกไซด์แล้ว ถ้าได้รับฝุ่นละอองที่มีสารประกอบอินทรีย์ของสารหนูอยู่เสมอจะทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนัง และเยื่อเมือก (mucous membrane) โดยจะเกิดเป็นแผลมีหนอง แผลพุพอง และผนังกลางจมูกเป็นรู (42)

ปัญหาสำคัญที่กำลังถกเถียงกันมาก และยังหาข้อสรุปเพื่อยุติไม่ได้ คือสารหนูเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งหรือไม่ ในเรื่องนี้ในปี ค.ศ. 1948 Hill และคณะ ได้รายงานไว้ว่าจากการสำรวจคนงานชาวอังกฤษที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารหนู ปรากฏว่า พบอาการของมะเร็งทั้งภายนอกและภายในระบบหายใจของคนงานเหล่านั้น (48) แต่ Snegireff และ Lombard ได้วิจัยกรณีคล้ายกันนี้ในปี ค.ศ. 1951 ในสหรัฐอเมริกา รายงานขัดแย้งว่า จากการสำรวจคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับการถลุงแร่ และเสียชีวิตด้วยมะเร็งไม่ปรากฏว่าพบปริมาณสารหนูผิดปกติในร่างกายแต่อย่างใด (49)

สารประกอบอินทรีย์ของสารหนูส่วนใหญ่มีพิษอย่างร้ายแรง อาทิ ลีวิไซท์ (Lewisite : $CHCl = AsCl_2$) ซึ่งเป็นกาซพิษชนิดหนึ่งใช้ในการทำสงคราม ที่สามารถทำให้เกิดการไหม้เกรียมของผิวหนัง และมีอำนาจทำลายอย่างรุนแรงต่อเนื้อเยื่อทั้งภายในและภายนอกร่างกาย ไดเฟนีลคลอโรอาร์ซีน (diphenylchloroarsine) ไดเฟนีลามีนคลอโรอาร์ซีน (diphenylaminechloroarsine) และไดเฟนีลไซยาโนอาร์ซีน (diphenylcyanoarsine) สารประกอบสามชนิดหลังนี้จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนัง ถ้าสัมผัสและเพียงแต่ได้รับในปริมาณเล็กน้อยก็อาจทำให้เกิดการอาเจียรได้ สารประกอบของอาร์ซีนิคไตรคลอไรด์

($AsCl_3$) เป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่สามารถทำอันตรายอย่างรุนแรงต่อเนื้อเยื่อ และทำให้เกิดการไหม้เกรียม รวมทั้งจะมีพิษอย่างรุนแรงเมื่อสัมผัสกับผิวหนัง (50)

ในปี ค.ศ. 1971 มีรายงานการเปรอะเปื้อนของสารหนูในข้าวของโรงเลี้ยงเด็กชาวอินโดนีเซีย 2 แห่ง โดย Tjaij และ Aziz (51) พบว่าภายหลังจากที่รับประทานข้าวนั้นประมาณ 1-2 ชั่วโมง คนจำนวน 109 คน เกิดอาการผิดปกติขึ้น กล่าวคือ มีอาการปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นเหียนอาเจียรและปวดศรีษะ ต่อมาคนส่วนใหญ่มีอาการท้องร่วง และตรวจพบสารหนูในปัสสาวะ อย่างไรก็ตาม อาการของโรคจะหายไปภายใน 2-3 วัน ซึ่งอาจสรุปได้ว่าปริมาณสารหนูที่ได้รับน้อยกว่าปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งมีค่าประมาณ 120 มิลลิกรัมสำหรับผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักตัวปกติ

จากการที่คนงานได้รับสารหนูแบบต่อเนื่อง (chronic exposure) นอกจากจะทำให้ระบบหายใจ ระบบประสาท ระบบหมุนเวียนของโลหิตผิดปกติ มีอาการปวดท้อง อาเจียรแล้ว จะมีผลต่อดวงตาด้วย โดยสารหนูจะทำให้เกิดโรคผิวหนังที่เปลือกตา เกิดอาการระคายเคืองอย่างรุนแรงต่อเยื่อบุตา (52) นอกจากนี้พวกเกลืออนินทรีย์ของสารหนูที่มีวาเลนซี 3 จะเป็นอันตรายมากกว่าพวกที่มีวาเลนซี 5 และในสภาวะของไอจะก่อให้เกิดการฟกช้ำลอกหลุดของคอร์เนีย (53)

1.5.4 กรรมวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารหนู

1.5.4.1 วิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน โดยใช้เฉพาะเครื่องมือนับรังสี (Instrumental neutron activation analysis)

การวิเคราะห์สารหนูโดยวิธีนี้ไม่ค่อยจะมีผู้นิยมใช้มากนัก ทั้งนี้เพราะค่าของครึ่งชีวิต (half-life) ของสารหนู (26.4 ชั่วโมง) และค่าของพลังงานของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมา (0.559 MeV, 0.657 MeV และ 1.22 MeV) อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม ประกอบกับมีเรดิโอไอโซโทปอื่น ๆ ที่มีค่าครึ่งชีวิตและ/หรือพลังงานของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมา มีค่าใกล้เคียงกัน เช่น โบรมีน-82

พลวง-122 ทองแดง-64 แมงกานีส-56 โซเดียม-24 ฯลฯ ฉะนั้นการวิเคราะห์โดยอาศัยเฉพาะเครื่องมือจึงมีความไวไม่สู้ดีนัก อย่างไรก็ตามมีผู้นำเทคนิคการวิเคราะห์นี้มาใช้เช่นกัน แต่เป็นการวิเคราะห์ในสารตัวอย่างที่ไม่สู้จะมีสิ่งรบกวนมากนัก เช่น Guinn และ Wagner รายงานไว้ในปี ค.ศ. 1960 ว่าสามารถวิเคราะห์สารหนูที่มีเจือปนในกรดซัลฟูริคซึ่งใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กได้ โดยนำกรดซัลฟูริคประมาณ 10 กรัม ไปอาบรังสีที่มีความเข้มนิวตรอน 10^7 นิวตรอน ต่อ ตร.ซม. ต่อวินาที เป็นเวลานานประมาณ 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เรดิโอไอโซโทปที่มีครึ่งชีวิตสั้น ๆ สลายตัวไปบ้าง แล้วจึงนำมานับปริมาณรังสีด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI (Tl) แบบหลุม ขนาด 12 เซนติเมตร การวิเคราะห์นี้สามารถวิเคราะห์สารหนูได้ต่ำสุด 5 ส่วนในล้านส่วน และมีความถูกต้องในการวิเคราะห์ ±5 ส่วนในล้านส่วน (54)

ในปี ค.ศ. 1963 Adams และ Hoste ได้วิเคราะห์ปริมาณสารหนูและพลวง ซึ่งเป็นสิ่งเจือปนในโลหะตะกั่ว ในกรณีนี้การวิเคราะห์สารหนูทำไม่ลำบาก เนื่องจากคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของตะกั่วไม่เอื้ออำนวยที่จะทำให้เกิดการรบกวนได้ และถึงแม้ว่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาจากสารหนู-76 และพลวง-122 จะใกล้เคียงกัน แต่ก็สามารถใช้วิธีคำนวณอย่างง่าย ๆ แก้ปัญหานี้ได้ (55) ต่อมาในปี ค.ศ. 1969 William และคณะรายงานว่าสามารถวิเคราะห์ธาตุจำนวน 15 ธาตุ ในสารตัวอย่างภายหลังจากนำเข้าอาบรังสีนิวตรอนที่มีความเข้ม 10^{13} นิวตรอน ต่อ ตร.ซม. ต่อวินาที โดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำชนิด Ge (Li) ในการนี้สามารถวิเคราะห์สารหนูได้ภายหลังการอาบรังสี 48 ชั่วโมง ปริมาณสารหนูที่วิเคราะห์ได้ในข้าว ข้าวบาร์เลย์ ลูกเกตุ ถั่ว มีค่าน้อยกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อกรัม และในแอปเปิลลูกแพร์ มีค่า 18 ±6 และ 46 ±6 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในกรณีเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าบริมาณสารหนูต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพียง 0.1 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งนับว่าไม่สู้ดีนัก (56)

002281

1.5.4.2 วิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน โดยอาศัยกรรมวิธีทางเคมี (Radiochemical neutron activation analysis)

เพื่อให้การวิเคราะห์สารหนูได้ค่าละเอียดมากยิ่งขึ้น และลดข้อผิดพลาดจากการรบกวนของเรดิโอไอโซโทปที่มีพลังงานแกมมาที่ปลดปล่อยใกล้เคียงกับสารหนู-76 นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้กรรมวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเข้าช่วยเพื่อแยกสารหนู-76 ออกมาให้บริสุทธิ์ หรือเกือบบริสุทธิ์หลังจากการอาบรังสีนิวตรอนแล้ว กรรมวิธีดังกล่าวมีผู้ศึกษาไว้หลายวิธี อาทิเช่น

ในปี ค.ศ. 1952 Smales และ Pate ได้ศึกษาวิเคราะห์สารหนูจำนวนน้อยในสารตัวอย่างทางชีววิทยา เช่น ผม เล็บ ปัสสาวะ เลือด และอวัยวะภายในปากของคน ด้วยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชันโดยอาศัยกรรมวิธีแยกสารหนูออกมา และไม่จำเป็นต้องมี reagent blank โดยเฉพาะอย่างยิ่งความไวของวิธีวิเคราะห์สูงกว่าวิธีก่อน ๆ ที่เคยใช้ประมาณ 100 เท่า กล่าวคือ สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารหนูได้ต่ำสุดถึง 0.0001 ไมโครกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก จนกระทั่งสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างเลือดหรือปัสสาวะของคนที่มีปริมาตรเพียงหยดเดียวได้ (57) ต่อมา Hamilton (58) กล่าวว่าการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันเป็นวิธีที่รวดเร็วและแน่นอนสำหรับการวิเคราะห์สารหนูจำนวนน้อยในสารตัวอย่างทางชีววิทยา วิธีวิเคราะห์ของ Hamilton คือละลายสารตัวอย่างที่อาบรังสีเทอร์มัลนิวตรอนแล้วด้วยกรดซัลฟูริคและกรดไตริกเข้มข้น นำสารละลายที่ได้มาแยกสารหนูด้วยวิธีของคอลลิเออร์ กุตไซท์ (Collier's Gutzeit technique) (59) หลังจากนั้นจึงนำสารหนูที่แยกได้มานับปริมาณรังสีเบตาด้วยเครื่องวัดชนิดไกเกอร์ (Geiger counter) โดยเทคนิคดังกล่าว Hamilton สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้ถึง 100 ตัวอย่าง โดยใช้ผู้วิเคราะห์ 2 คน ในเวลา 2 วัน

ในปี ค.ศ. 1962 Christell และ Sjöstrand ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายและรวดเร็วสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูจากทุกเนื้อสาร (matrix) ของสารตัวอย่างทางชีววิทยาด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันโดยอาศัยการกลั่นและการตกตะกอนเท่านั้น ตะกอนของสารหนู-76 ที่ได้จะนำมานับปริมาณรังสีแกมมาหรือเบตาด้วยเครื่องวัดรังสีแกมมาหรือเครื่องวัดรังสีเบตา ความไวของการวิเคราะห์นี้ขึ้นอยู่กับ

เทคนิคของการวัดปริมาณรังสี แต่จะมีค่าระหว่าง 0.01-0.0001 ไมโครกรัมต่อสารตัวอย่างหนัก 1 กรัม และความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าไม่เกินร้อยละ ±6 Christell และ Sjöstrand ได้ใช้วิธีนี้วิเคราะห์ปริมาณสารหนูจากศพกษัตริย์อีริค ที่ 14 (Erik XIV) แห่งสวีเดน ซึ่งสิ้นพระชนม์ในปี ค.ศ. 1577 และสงสัยว่าถูกลอบปลงพระชนม์ด้วยการวางยาพิษ ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าพบปริมาณสารหนูสูงกว่าปกติเมื่อเทียบกับค่าปกติที่มีผู้รายงานไว้ แต่ไม่อาจสรุปได้ว่าเป็นการวางยาพิษหรือไม่ ต่อมาในปี ค.ศ. 1964 Christell ได้ศึกษาปรับปรุงเทคนิคการละลายและการกลั่นในแต่ละสภาวะ พบว่าสารหนูจะกลั่นออกมาระหว่างอุณหภูมิ 100° ซ-110° ซ และจะถูกกลั่นออกมาอย่างสมบูรณ์ (ร้อยละ 100) ที่อุณหภูมิประมาณ 120° ซ เมื่อนำสิ่งที่กลั่นได้ไปนับปริมาณรังสีแกมมาของสารหนู-76 ด้วยเครื่องมือนับรังสีซึ่งต่อกับหัววัดรังสีแบบ NaI (Tl) ขนาด 3" x 3" Christell สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารหนูได้ 0.001-0.0001 ไมโครกรัมต่อสารตัวอย่าง 1 กรัม (60)

ต่อมา Grimanis และ Soutiotis (61) ได้ตรวจสอบปริมาณของสารหนูในทองแดงและทองเหลือง โดยนำสารตัวอย่างที่ผ่านการอาบรังสีนิวตรอนแล้วมาละลายในกรดเปอร์คลอริคที่ร้อน ที่มีสารหนูตัวพา (carrier) อยู่ด้วย สกัดแยกสารหนูออกจากสารละลายนั้นด้วยเบนซีน แล้วนำไปนับปริมาณรังสีด้วยเครื่องนับรังสีแบบหลายช่อง (multichannel analyzer) ผลการตรวจสอบปรากฏว่ามีปริมาณสารหนูอยู่ในทองแดงและทองเหลืองในช่วง 1-50 ส่วนในล้านส่วน การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาน้อยกว่า 15 นาทีต่อหนึ่งสารตัวอย่าง

ในปี ค.ศ. 1968 Hadjistelios และ Grimanis ได้ศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารหนูโดยอาศัยเทคนิคการสกัดและการแลกเปลี่ยนไอออน (extraction and ion-excharge chromatography) กล่าวคือนำสารตัวอย่างทางชีววิทยามาอาบรังสีนิวตรอน และละลายสารตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริคและกรดไนตริกเข้มข้น ต้มสารละลายจนหมดควันสีขาวของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ แล้วจึงนำมาสกัดด้วยเบนซีน นำสารละลายที่สกัดได้ผ่านลงในคอลัมน์ซึ่งบรรจุเรซินชนิด Dowex 1 X 8

ด้วยเทคนิคนี้จะแยกสารหนูออกมาได้อย่างบริสุทธิ์ (62)

ในปี ค.ศ. 1969 Fausto และ Celia ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของแฟคเตอร์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์สารหนู โดยอาศัยเทคนิคของกุดไซท์ คือ การละลายสารตัวอย่าง เวลาของการเกิดปฏิกริยา ปริมาณของเหล็กไอออน ปริมาณของสแตนนัสไอออน การรบกวนจากพลวงและทองแดงในสารตัวอย่าง ทั้งนี้เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์ให้มีความไวในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้น (63) และในปีเดียวกันนี้ Fer และ Fourcey ได้รายงานถึงการตรวจสอบปริมาณของสารหนูและโบรมีน ซึ่งเป็นสิ่งตกค้างจากยากำจัดศัตรูพืชที่หลงเหลือ อยู่บน/ในพืช ผัก และผลไม้ ด้วยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน โดยอาศัยกรรมวิธีการกลั่นเข้าช่วย ด้วยวิธีนี้สามารถตรวจวิเคราะห์โบรมีน และสารหนูได้ในสารตัวอย่างเดียวกันจากการกลั่นเพียงครั้งเดียว สามารถแยกโบรมีน และสารหนูได้ 0.0025 และ 0.005 ไมโครกรัม ตามลำดับ (64) ต่อมาในปี ค.ศ. 1970 Yoshiki และคณะได้รายงานถึงการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในบุหรี่ โดยการนำบุหรี่ที่อาบรังสีนิวตรอนแล้วละลายด้วยสารละลายผสมของกรดซัลฟูริคและกรดไนตริกเข้มข้น ตกตะกอนสารหนูออกจากสารละลายที่กลั่นออกมาได้ในรูปของสารหนูซัลไฟด์ กรรมวิธีนี้มีเคมีคัลยีลด์ (chemical yield) ร้อยละ 80 และมีความไวของการวิเคราะห์เท่ากับ 0.08 ไมโครกรัม (65)

ในปี ค.ศ. 1972 Morrison และ Potter ได้ศึกษาถึงการแยกธาตุหลาย ๆ ตัวที่มีอยู่ในสิ่งที่มีชีวิตโดยการใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน และขบวนการแยกหมู่ธาตุทางเคมี (Group separation) แล้ววิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ โดยการวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีแบบ Ge (Li) ที่ต่อกับเครื่องนับรังสีชนิด 4096 ช่อง เนื้อเยื่อที่ศึกษาได้แก่ ไต หัวใจ ที่กระทำให้แห้งโดยเทคนิคการเยือกแข็งแล้ว สารมาตรฐานเปรียบเทียบ Orchard Leaves ของ NBS. no. 1571 สำหรับการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ทางคุณภาพนั้น Morrison และ Potter ได้ศึกษาจาก ไต และหัวใจ ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณได้กระทำใน Orchard Leaves การวิเคราะห์กระทำโดยการละลายสารตัวอย่างที่อาบรังสีแล้วด้วยสารละลายผสมของ

กรดซัลฟูริคและกรดไนตริก จับไอของโบรมีนที่ออกมาด้วยสารละลายเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายใสที่เหลืออยู่ในขวดกลั่นนำมาผ่านคอลัมน์ที่บรรจุ HAP (Hydrated antimony pentoxide) เพื่อแยกเรดิโอไอโซโทปของโซเดียม-24 ผ่านสารละลายจาก HAP ลงในคอลัมน์ซึ่งบรรจุเรซินของ Dowex 1 X 8 ขนาด 200-400 เมช (mesh) สารหนูและแคดเมียมจะถูกจับอยู่ในเรซิน (66)

ต่อมา Lee และคณะ (67) ได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์ธาตุปรอท โบรมีน สารหนู และแคดเมียม ในสารตัวอย่างทางชีววิทยาโดยใช้เทคนิคของการกลั่นและการแลกเปลี่ยนไอออนเข้าประกอบ ภายหลังจากการอาบรังสีนิวตรอนแล้ว กลั่นแยกธาตุที่ระเหยได้ เช่น ปรอท และโบรมีน ออก วิเคราะห์สารหนู และแคดเมียม โดยใช้วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ขีดจำกัดของการหาปริมาณปรอท โบรมีน สารหนู และแคดเมียม มีดังนี้คือ 0.001 0.003 0.001 และ 0.02 ไมโครกรัมตามลำดับ วิธีการนี้ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาธาตุทั้งสี่ชนิดในข้าวและปลา การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของวิธีที่พัฒนานี้กระทำโดยวิเคราะห์สารมาตรฐานเปรียบเทียบของ Dr. Bowen (68) ซึ่งต่อมา Lee และคณะได้ประยุกต์วิธีนี้ในการศึกษาธาตุจำนวนน้อยในข้าว ปลาน้ำจืด และปลาทะเล (69)

ในปี ค.ศ. 1974 Orvini และคณะได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์สารหนูและแคดเมียมในปลาทูนา (tuna fish) โดยใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน และการตรวจสอบวิธีที่พัฒนานี้โดยการวิเคราะห์สารมาตรฐานเปรียบเทียบ 3 ชนิด คือ Orchard Leaves, Bovine Liver และ Mercury in Coal เทคนิคที่ใช้หลังจากการอาบรังสีนิวตรอนของสารตัวอย่างแล้ว คือ การเผาทำลายสารตัวอย่าง และตกตะกอนโลหะในรูปของโลหะซัลไฟด์ วิเคราะห์ปริมาณของสารหนูและแคดเมียมจากสารหนู-76 (0.657 MeV) อินเดียม-115m (0.335 MeV) ตามลำดับ (70) ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 Wilshire และคณะได้ศึกษาวิธีการแยกธาตุพิษบางตัวในสารตัวอย่างทางชีววิทยาโดยใช้วิธีการแยกทางเคมี และใช้การวัดรังสีแกมมา กล่าวคือ หลังจากการอาบรังสีนิวตรอนแล้ว จะแยกไอโซโทปของสารหนู ปรอท ซีลีเนียม

ไอโอดีน และสังกะสี โดยขบวนการแยกทางเคมี วิธีที่ใช้ก็คือการแลกเปลี่ยนไอออน ลบโดยใช้ไตรไอโซออกทีลามีน และการเผาทำลายสารตัวอย่าง วิธีการทดลองได้ กระทำเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่เป็นถ่านหินซึ่งทราบปริมาณธาตุแน่นอน และ กระทำใน fly ash (71) ในปีเดียวกันนี้ Kronborg และ Steinnes ได้ศึกษาปริมาณของสารหนู และซีลีเนียมในดินโดยใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน ร่วมกับวิธีทางเคมี กล่าวคือหลังจากละลายตัวอย่างดินด้วยด่าง และแยกเอาพวกไฮ-ดรอกไซด์ที่ไม่ละลายออกแล้ว แยกสารหนูและซีลีเนียมออกจากสารละลาย ภายหลัง จากทำให้สารละลายมีความเป็นกรดด้วยกรดเกลือแล้วโดยตกตะกอนธาตุทั้งสองด้วย ไธโออะเซตามีด (thioacetamide) แล้ววิเคราะห์ปริมาณของธาตุได้จากการนำ ตะกอนซัลไฟด์ไปอาบรังสี วิธีนี้เหมาะสำหรับการหาปริมาณของสารหนูและซีลีเนียม ในดินเท่านั้น (72) ต่อมา Woolson (73) ได้รายงานการวิเคราะห์สารหนู ปริมาณน้อยโดยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน จากไอโซโทปของสารหนู-76 และใช้ ไอโซโทปของสารหนู-74 โดยวิธีสับสตรอยชิโอเมตริกไอโซโทปไดลูชัน (substoi-chiometric isotope dilution) ตลอดจนศึกษาสารหนูจากเทคนิคอื่น โดย ศึกษาถึงการสะสม การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศวิทยาของสารหนูทั้ง-ในยาปราบศัตรูพืช ดิน พืช อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และของเสียต่าง ๆ นอกจากนี้ Frost และคณะ (74) ได้วิเคราะห์ธาตุจำนวนน้อยในถ่านหินโดยใช้เทคนิคของ นิวตรอนแอคติเวชัน ธาตุที่วิเคราะห์ทั้งหมด 11 ชนิด รวมทั้งสารหนูและแคดเมียม ด้วย วิธีทางเคมีที่ใช้คือ การเผาทำลายสารตัวอย่าง การกลั่น การตกตะกอน การ แลกเปลี่ยนไอออน และการสกัดด้วยตัวทำละลาย และตรวจสอบวิธีวิเคราะห์ด้วยสาร มาตรฐานเปรียบเทียบของ NBS

ในปี ค.ศ. 1976 Gladney และ Owens ได้ศึกษาถึงปริมาณของ สารหนูและธาตุอื่น ๆ ในน้ำตามธรรมชาติโดยใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน และ การแลกเปลี่ยนไอออนบน Al_2O_3 สำหรับการอาบรังสีจะใช้ระยะเวลาในการอาบ รังสีช่วงสั้น ๆ และผ่านขบวนการแลกเปลี่ยนไอออนอย่างรวดเร็วโดยไม่ผ่านกรรมวิธี

ทางเคมีอื่น ๆ วัดรังสีแกมมาที่ออกมาด้วยหัววัดรังสีแบบ Ge (Li) (75) ต่อมา Fujita และคณะ (76) ได้วิเคราะห์ปริมาณปรอทและสารหนูในสารตัวอย่างทางชีววิทยา โดยละลายสารตัวอย่างที่อาบรังสีแล้วอย่างสมบูรณ์ สกัดแยกสารหนูด้วยเบนซีนและตกตะกอนให้อยู่ในรูปของสารหนูซัลไฟด์ วิเคราะห์ปริมาณสารหนูโดยการวัดรังสีแกมมาที่ออกมา ขีดจำกัดของการวิเคราะห์สารหนูเป็น 0.5 นาโนกรัม ข้อผิดพลาดในการวัดมีค่าร้อยละ ± 15 วิธีวิเคราะห์นี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ปริมาณสารหนูและปรอทในเส้นผมและเลือดของหญิงมีครรภ์

1.5.5 ประโยชน์ของแคดเมียมและสารประกอบของแคดเมียม

ในปี ค.ศ. 1934 Ginsberg กล่าวถึงการใช้แคดเมียมในรูปของสารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์ ผสมลงในยาฆ่าแมลง พบว่าใช้ประโยชน์ได้ดีทัดเทียมกับการใช้ตะกั่วอาร์ซีเนท (33) ต่อมา Fairhall (77) ได้ให้ข้อคิดว่าในการใช้ประโยชน์ของแคดเมียมในอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้น ความเป็นพิษของแคดเมียมไม่ได้มาจากกรรมวิธีการชุบ แต่เกิดขึ้นภายหลังการเผาและเชื่อมโลหะแล้วเกิดความร้อนสูง ทำให้แคดเมียมเกิดออกซิเดชัน (oxidation) กลายเป็นไอขึ้นและ ในปี ค.ศ. 1969 Browning รายงานว่าแคดเมียมสามารถนำไปใช้เป็นตัวดูดนิวตรอนในการผลิตแท่งควบคุมในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูได้ด้วย (5)

1.5.6 การเปรอะเปื้อนและความเป็นพิษของแคดเมียม

ในปี ค.ศ. 1947 Hardy และ Shinner พบว่าคนงาน 5 คน ในโรงงานถลุงแคดเมียม ในรัฐแมสซาจูเซท สหรัฐอเมริกา แสดงอาการเป็นพิษ เนื่องมาจากแคดเมียมขึ้น กล่าวคือ มีอาการไอ กระเพาะอาหารพิการ เหนื่อยอ่อน โลหิตจาง (78) ในระหว่างปี ค.ศ. 1948 ถึง ค.ศ. 1950 Friberg ได้ศึกษาและรายงานว่าคนงานจำนวน 58 คน ในโรงงานแบตเตอรี่ในประเทศสวีเดน มีอาการปอดอักเสบ พังผืดเหลือง ระบบทางเดินหายใจเสื่อม มีโปรตีนปะปนมาในปัสสาวะซึ่งเป็นอาการของพิษแคดเมียม (79,80) เช่นเดียวกับในปี ค.ศ. 1952 Baader ได้ศึกษาโรคที่เกิดขึ้นกับคนงานในโรงงานแบตเตอรี่ในประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐ-

เยอรมัน พบว่าคนงานส่วนใหญ่เป็นโรคริดสีดวงจมูก ปอดอักเสบ โปรตีนปะปนมาในปัสสาวะและฟันเหลือง (81)

ในปัจจุบันนี้แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจเข้าไปนั้นเป็นผลมาจากการเปรอะเปื้อนของแคดเมียมจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ซึ่งใช้แคดเมียมในขบวนการทางเคมี และ/หรือ จากไอเสียของยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ ในเขตกรุงเพทมหานครพบว่าเขตที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีปริมาณแคดเมียมในอากาศสูงถึง 4.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในย่านโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้แคดเมียม พบว่าในอากาศที่หายใจเข้าไปมีแคดเมียมอยู่ในช่วง 7.3-135.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (37) ระดับแคดเมียมในอากาศที่หายใจในประเทศสหรัฐอเมริกามีค่าสูงสุดเพียง 0.062 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (82) นอกจากนี้ ในปี ค.ศ. 1965 ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ามีคนไข้ 117 ราย ที่ตายด้วยอุบัติเหตุพบแคดเมียมในอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ 2940 ± 120 ไมโครกรัมต่อกรัมของเนื้อเยื่อที่แห้ง และพบว่าคนไข้ 17 ราย ที่ตายด้วยโรคความดันโลหิตสูง พบแคดเมียมในอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ 4220 ± 390 ไมโครกรัมต่อกรัมของเนื้อเยื่อแห้ง (83)

นอกจากฝุ่นละอองของแคดเมียมจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กระจายสู่บรรยากาศแล้ว สิ่งปฏิกูล และน้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีแคดเมียมหลงเหลืออยู่จะถูกระบายสู่แม่น้ำ ลำคลอง โดยมิได้ดำเนินการขจัดแคดเมียมออกเสียก่อน ทำให้เกิดความเปรอะเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม แคดเมียมในสิ่งปฏิกูลและน้ำทิ้งจะสะสมอยู่ใน/บนดินที่ใช้ในการกสิกรรม ในปลา และสิ่งที่มีชีวิตอื่นที่อาศัยอยู่ตามแหล่งน้ำ จากวัฏจักรทางอาหารจะทำให้มนุษย์ได้รับแคดเมียมไปสะสมไว้ ตัวอย่างที่เห็นได้อย่างชัดเจนก็คือ ในปี ค.ศ. 1974 ประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีโรงงานอุตสาหกรรมหนาแน่น และปล่อยแคดเมียมออกมาปะปนในน้ำทิ้ง เช่น โรงงานถลุงทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ทำให้คนงานและประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณโรงงานได้รับอันตรายจากแคดเมียมเป็นพิษ เกิดเป็นโรคที่เรียกว่า Itai-itai ผู้ป่วยจะแสดงอาการขาดไวตามินดี แคดเมียมเข้าไปแทนที่แคลเซียมในกระดูก โดยเฉพาะในกระดูกหน้าแข้งและซี่โครง

ทำให้ผู้ป่วยเป็นง่อยและเดินเหมือนเป็ด (ducklike gait) (30)

แคดเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าโดยตรงหรือทางอ้อม จะเข้าไปอยู่ในกระแสโลหิต ตับ ไต หัวใจ สมอง บางส่วนเข้าไปที่กระดูกและฟัน อันตรายที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณที่ร่างกายได้รับ ถ้าได้รับมากอาจทำให้ตายในทันที น้อยลงมาทำให้เกิดการอาเจียร กระเพาะและลำไส้เป็นแผลเหมือนถูกไฟลวก Schwarze และ Alsberg (36) พบว่าปริมาณแคดเมียมที่มากที่สุดโดยไม่ทำให้เกิดการอาเจียรก็คือ 22.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร แต่อาจทำให้เกิดอาการท้องร่วง ถ้าได้รับปริมาณน้อย ๆ จะทำให้น้ำหนักตัวลด ปริมาณเม็ดเลือดแดงลดลง เม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้น เกิดเป็นโรคโลหิตจาง ปริมาณของแคดเมียมที่ทำให้เกิดอาการของโรคเหล่านี้คือ 0.01-0.02 มิลลิกรัมต่อลิตรของโลหิต (84)

ตามรายงานของ U.S Public Health Service (85) กล่าวว่าสารที่มีส่วนผสมของแคดเมียมจะมีอันตรายมากเมื่อเข้าไปในร่างกายของมนุษย์และสัตว์ อาจทำให้ถึงตายได้ถ้าได้รับในปริมาณที่มากพอ และถ้าได้รับในปริมาณน้อยจะทำให้เกิดอาการเรื้อรัง Schroeder และคณะ (86) ได้รายงานไว้ว่าระดับแคดเมียมที่ทำให้เกิดพิษได้คือประมาณ 3 ส่วนในล้านส่วน และปริมาณของแคดเมียม 4,000 ส่วนในล้านส่วนจะทำให้เกิดอาการอย่างรุนแรง

1.5.7 กรรมวิธีวิเคราะห์ปริมาณของแคดเมียม

1.5.7.1 วิธีวิเคราะห์โดยกรรมวิธีทางเคมี

ในปี ค.ศ. 1968 Pringle และคณะได้สำรวจวิเคราะห์ถึงปริมาณของแคดเมียมในหอยนางรมจากทะเลฝั่งตะวันออกของสหรัฐอเมริกา พบว่ามีค่าตั้งแต่ 0.1-7.8 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และจากทะเลฝั่งตะวันตกของสหรัฐอเมริกามีค่าตั้งแต่ 0.2-2.1 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (87) ในปี ค.ศ. 1970 Ishizaki และคณะ ได้รายงานปริมาณของแคดเมียมในตับของปลาหมึกและหอยที่จับจากบริเวณที่สกปรกของประเทศญี่ปุ่น พบว่ามีค่าตั้งแต่ 10-110 และ 92-420

ในปี ค.ศ. 1960 Westermark และ Sjöstrand ได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมจากไตของมนุษย์โดยใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน น้ำหนักไตที่ใช้อยู่ระหว่าง 2-15 มิลลิกรัม หลังจากการอาบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแล้วละลายตัวอย่างและตกตะกอนแคดเมียมให้อยู่ในรูปของแคดเมียมซัลไฟด์ นำตะกอนมาวัดรังสีแกมมาที่ออกมาในช่วง 100-600 KeV ด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI ขนาด 3" x 3" จากการศึกษาพบว่าในไตของคนงานที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปจะมีปริมาณแคดเมียม 0.5-3 ไมโครกรัมใน 2-10 มิลลิกรัมของน้ำหนักไต (93) ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 Ana Chueca และคณะได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณของสังกะสีและแคดเมียมในอวัยวะของสิ่งที่มีชีวิตขนาดเล็กคือไตและอัณฑะของหนู โดยใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน และใช้เทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับแยกสังกะสีและแคดเมียม วัดความแรงของรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI (Tl) ซึ่งต่อกับเครื่องนับรังสีชนิด 400 ช่อง ความไวของวิธีวิเคราะห์นี้ประมาณ 3×10^{-8} กรัม สำหรับแคดเมียม และ 2×10^{-7} กรัม สำหรับสังกะสี การตรวจสอบความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์กระทำโดยการวิเคราะห์สารตัวอย่างมาตรฐานเปรียบเทียบ Kale ของ Dr. Bowen (94)

Henry และคณะ (95) ได้ศึกษาวิธีการแยกและวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารตัวอย่างทางชีววิทยาโดยใช้เทคนิคการสกัดแยกด้วยไดไธโซนในเบนซีนภายหลังการอาบรังสีนิวตรอน วัดความแรงรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI ขนาด 3" x 3" ซึ่งต่อกับเครื่องนับรังสีชนิด 400 ช่อง ความไวของวิธีวิเคราะห์มีค่า 10^{-7} กรัม ซึ่งในปี ค.ศ. 1970 นี้ Lucas และคณะได้ศึกษาปริมาณแคดเมียมในปลาจำนวน 19 ตัวอย่าง โดยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน พบว่าค่าเฉลี่ยของแคดเมียมเป็น 0.094 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (96)

ในปี ค.ศ. 1974 Robert และคณะ ได้รายงานการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารตัวอย่างทางชีววิทยาโดยเทคนิคของนิวตรอนและโฟตอนแอคติเวชัน (Neutron and Photon Activation) ในประเทศแคนาดา โดยประยุกต์เทค-

ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (88)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1971 Reynolds ได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในปู โดยใช้เทคนิคของการสกัดด้วยไดไธโซน (dithizone method) พบว่าปริมาณแคดเมียมในปูสีขาวจะมีค่าต่ำ คือตั้งแต่ 0.02-1.1 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ปูสีดำจะมีปริมาณแคดเมียมตั้งแต่ 2.5-8.6 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (89) ในปีเดียวกัน Taylor (90) ได้รายงานปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปลาและผลผลิตที่ได้จากปลาในประเทศอังกฤษ พบว่าในเนื้อปลาทูนาจำนวน 48 ตัวอย่าง จะมีแคดเมียมโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม ในเนื้อปลาแซลมอนมีแคดเมียมมากกว่า 3 ไมโครกรัมต่อกรัม และในปลาเพสท์ (paste) มีแคดเมียมอยู่สูงสุดคือ 5.3 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนกรรมวิธีวิเคราะห์แคดเมียมนั้นไม่ได้กล่าวถึง นอกจากนี้ Lovett และคณะ (91) ได้ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปลาจำนวน 406 ตัว จากแหล่งน้ำจืด 49 แห่ง ในกรุงนิวยอร์ค พบว่าจะมีแคดเมียมในเนื้อปลา 0.02 ไมโครกรัมต่อกรัมหรือน้อยกว่า และมีบางตัวเท่านั้นที่มีแคดเมียม 0.1 ไมโครกรัมต่อกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าในปลาเทราท์ (trout) ปริมาณแคดเมียมจะไม่มีความสัมพันธ์กับอายุของปลา เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ คือ อะตอมมิคแอปซอฟชั่นสเปโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry)

ในปี ค.ศ. 1972 Harve และคณะได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมจากเนื้อปลาที่ได้มาจากทะเลนอรเวย์ ซึ่งปลาที่จับมาเป็นปลาในบริเวณที่สกปรก พบว่าหลังจากสกัดแยกแล้วใช้เทคนิคของอะตอมมิคแอปซอฟชั่นสเปคโตรโฟโตเมตรี ปริมาณของแคดเมียมที่พบในปลาคอด (cod) จำนวน 21 ตัวอย่าง มีค่าระหว่าง 0.001-0.041 ไมโครกรัมต่อกรัม ใน 24 ตัวอย่างของปลาตะกุย (flounder) มีแคดเมียมระหว่าง 0.005-0.024 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในปลาพอลแลค (pollack) 5 ตัวอย่าง มีแคดเมียม 0.002-0.008 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนในตับปลาจะมีแคดเมียม 0.109-2.225 ไมโครกรัมต่อกรัม (92)

1.5.7.2 วิธีวิเคราะห์โดยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน

ในปี ค.ศ. 1960 Westermark และ Sjöstrand ได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมจากไตของมนุษย์โดยใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน น้ำหนักไตที่ใช้อยู่ระหว่าง 2-15 มิลลิกรัม หลังจากการอาบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแล้วละลายตัวอย่างและตกตะกอนแคดเมียมให้อยู่ในรูปของแคดเมียมซัลไฟด์ นำตะกอนมาวัดรังสีแกมมาที่ออกมาในช่วง 100-600 KeV ด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI ขนาด 3" x 3" จากการศึกษาพบว่าในไตของคนงานที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปจะมีปริมาณแคดเมียม 0.5-3 ไมโครกรัมใน 2-10 มิลลิกรัมของน้ำหนักไต (93) ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 Ana Chueca และคณะได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณของสังกะสีและแคดเมียมในอวัยวะของสิ่งที่มีชีวิตขนาดเล็กคือไตและอัณฑะของหนู โดยใช้เทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน และใช้เทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับแยกสังกะสีและแคดเมียม วัดความแรงของรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI (Tl) ซึ่งต่อกับเครื่องนับรังสีชนิด 400 ช่อง ความไวของวิธีวิเคราะห์นี้ประมาณ 3×10^{-8} กรัม สำหรับแคดเมียม และ 2×10^{-7} กรัม สำหรับสังกะสี การตรวจสอบความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์กระทำโดยการวิเคราะห์สารตัวอย่างมาตรฐานเปรียบเทียบ Kale ของ Dr. Bowen (94)

Henry และคณะ (95) ได้ศึกษาวิธีการแยกและวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารตัวอย่างทางชีววิทยาโดยใช้เทคนิคการสกัดแยกด้วยไดไธโซนในเบนซีนภายหลังการอาบรังสีนิวตรอน วัดความแรงรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI ขนาด 3" x 3" ซึ่งต่อกับเครื่องนับรังสีชนิด 400 ช่อง ความไวของวิธีวิเคราะห์มีค่า 10^{-7} กรัม ซึ่งในปี ค.ศ. 1970 นี้ Lucas และคณะได้ศึกษาปริมาณแคดเมียมในปลาจำนวน 19 ตัวอย่าง โดยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน พบว่าค่าเฉลี่ยของแคดเมียมเป็น 0.094 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (96)

ในปี ค.ศ. 1974 Robert และคณะ ได้รายงานการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารตัวอย่างทางชีววิทยาโดยเทคนิคของนิวตรอนและโฟตอนแอคติเวชัน (Neutron and Photon Activation) ในประเทศแคนาดา โดยประยุกต์เทค-

นิคของนิวตรอนแอคติเวชันในการวิเคราะห์อาหาร ผัก และเส้นผม วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมจากแคดเมียม-115 และเทคนิคของโฟตอนแอคติเวชันกระทำในดิน ปุ๋ย และผักบางชนิด หาปริมาณของแคดเมียมจากแคดเมียม-111m หัววัดรังสีที่ใช้คือ Ge (Li) การวิเคราะห์นี้ได้ตรวจสอบความแม่นอน โดยวิเคราะห์สารมาตรฐานเปรียบเทียบ และได้เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่วิเคราะห์ได้กับปริมาณแคดเมียมที่ได้จากวิธีอะตอมมิคแอปซอฟชั่นด้วย (97) และในปี ค.ศ. 1975 Steinnes ได้ศึกษาถึงธาตุจำนวนน้อยที่มนุษย์ได้รับสะสมไว้ในเส้นผม จากการทดลองนี้ได้ศึกษาแคดเมียมจากแคดเมียม-115 โดยใช้เทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออนลบบนเรซินชนิด Dowex 1 X 8 (98)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1977 Lee และคณะได้รายงานการวิเคราะห์ธาตุจำนวนน้อยในน้ำทะเลโดยผ่านน้ำทะเลลงไปบนเรซินชนิด Chelex-100 ก่อนที่จะนำไปอาบรังสีนิวตรอนในคอลัมน์จะบรรจุของผสมระหว่างเรซินชนิด Chelex 50-100 เมช และผงแก้วไพเร็กซ์ (pyrex glass powder) 50-100 เมช ในอัตราส่วน 1 : 1 วิธีนี้สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ถึง 15 ชนิด รวมทั้งแคดเมียม และสามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้ทั้งในน้ำทะเล และ/หรือ น้ำจืด (99)