



1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เป็นปัญหาสำคัญที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันในอันที่จะศึกษาและหาทางแก้ไข ธาตุที่เป็นพิษซึ่งปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น อาหาร ดิน น้ำ อากาศ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษขึ้น ธาตุพิษที่เป็นอันตรายเหล่านี้อาจมาจากแหล่งต่าง ๆ อาทิเช่น จากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทในรูปของเสีย ยากำจัดศัตรูพืช⁽¹⁾ ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ และแม่แคปซูลธรรมชาติ

ประเทศไทยนั้นประมาณร้อยละ 85 ของประชากรมีอาชีพกสิกรรมเป็นหลัก และที่สำคัญที่สุด ได้แก่ การเพาะปลูกข้าว ปัจจุบันกสิกรใช้สารเคมีในการปราบศัตรูพืชมากขึ้น เพราะศัตรูเหล่านี้ทำลายพืชผลและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้เสียหายปีละเป็นจำนวนมาก การใช้ยากำจัดศัตรูพืชจึงมีอิทธิพลต่อเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก เพราะทำให้เกิดผลต่อการเกษตรเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงข้ามยากำจัดศัตรูพืชเป็นเสมือนดาบสองคมคือมีทั้งคุณและโทษ กล่าวคือ ถ้าใช้อย่างไม่ระมัดระวังจะมีโทษจากการสะสมสารพิษตกค้าง (residue) ในธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีสารพิษตกค้างและปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมในปริมาณน้อยมาก แต่ถ้ามมีการสะสมในระยะเวลายาวนานจะมีจำนวนมากเพียงพอที่จะเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ได้ โดยเฉพาะในกรณี

(1) ยากำจัดศัตรูพืชในที่นี้หมายถึงยาฆ่าแมลงและสัตว์อื่น ๆ ที่เป็นศัตรูของพืช เช่น ไล่เห็บคนผอม หอยทาก รวมทั้งยากำจัดวัชพืชและยากำจัดโรคพืชพวกเชื้อราและแบคทีเรีย

ที่เกิดการสะสมสารพิษตกค้างเป็นลูกโซ่อาหาร ซึ่งจะเป็นไปอย่างทวีคูณ โดยสารพิษเหล่านี้จะเข้าไปสะสมในตัวคนเป็นลำดับสุดท้าย Thornberg และคณะ (1) ได้รวบรวมรายงานการศึกษาคนคว่ำวิจัยและทดลองเกี่ยวกับสารพิษตกค้าง เนื่องจากยากำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ในตัวอย่างสิ่งแวดลอมและตัวอย่างทางชีวภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับธาตุหนักที่เป็นพิษอย่างเช่นปรอทและซีลีเนียม อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการศึกษาถึงบทบาทของปรอทในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะความเป็นพิษเป็นเรื่องที่สนใจกันมาก และมีความสำคัญมากขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ซีลีเนียมในตัวอย่างพร้อมกันไปด้วยเพราะนักวิทยาศาสตร์หลายคนได้ทำการทดลองพบว่า สารประกอบของซีลีเนียมมีอิทธิพลต่อพิษของปรอท และจากการทดลองสังเกตได้ว่า ปริมาณของปรอทและซีลีเนียมมีความสัมพันธ์กันอยู่

ปรอท (Mercury) สัญลักษณ์ Hg ค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Aristotle (2) เป็นโลหะหนักมีน้ำหนักอะตอม 200.61 ความหนาแน่น 13.55 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว -38.87°C องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่ 356.6°C องศาเซลเซียส ในอุณหภูมิปกติปรอทจะอยู่ในสภาพของเหลว มีสีเงินและสามารถระเหยเป็นไอได้ ไอของปรอทนี้ถ้าหายใจเข้าไปจะเกิดเป็นพิษขึ้นได้ต่างกับตัวโลหะปรอท ซึ่งถ้ากินหรือฉีดเข้าไปในร่างกายจะมีอันตรายน้อยและไม่ปรากฏว่า เกิดเป็นพิษขึ้นได้ สำหรับสารประกอบอื่น ๆ ของปรอทจะมีลักษณะเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ตามปกติปรอทที่ไร้ทำประโยชน์อยู่ในรูปโลหะปรอทและสารประกอบทั้งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์

ปรอทส่วนใหญ่ได้มาจากการถลุงแร่ซินนามาร์ (Cinnabar, HgS) ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญที่สุดของปรอท รองลงมาคือ คาโลเมล (Calomel, Hg_2Cl_2) และแร่ไทแมนไนท์ (Tiemannite, HgSe) นอกจากนี้ยังพบเป็นปรอทอิสระอยู่ในชั้นต่าง ๆ ของหิน

ต้นเหตุหลักของการเปราะเปื้อนปรอทในธรรมชาติที่สำคัญ 2 ประการ คือ การแพร่กระจายของปรอทในลูกโซ่อาหาร เนื่องจากการปลดปล่อยของเสีย ซึ่งมีปรอทปนเปื้อนอยู่ในทางอุตสาหกรรม และการใช้สารประกอบของปรอทเป็นยาฆ่า

เซอรา (mercurial fungicide) ในการเกษตร ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป พบว่ามีปรอทกระจายปะปนอยู่เป็นธาตุปริมาณน้อย (trace element) ประมาณ 1-100 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) (3) ปริมาณปรอทในดินบริเวณที่ไม่มีการเพาะปลูกเป็นปรอทมากอนมีค่าเฉลี่ย 0.07 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และที่ลึกกว่า 20 เซนติเมตรจากดินบริเวณนี้จะมีค่าน้อยกว่า 0.04 ส่วนในล้านส่วน ส่วนดินบริเวณที่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.10 ส่วนในล้านส่วน ดินบริเวณที่มีการใช้ปรอทเป็นยาฆ่าเชื้อราจะมีปริมาณปรอทในดินบริเวณนี้ประมาณ 0.15 ส่วนในล้านส่วน โดยจะลดลงตามความลึกของดินเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบปรอทเจือปนอยู่ในอาหารแทบทุกชนิดในปริมาณ 0.005-0.25 ส่วนในล้านส่วน (4)

เป็นที่รู้กันดีในวงการเกษตรกรรมทั้งในและต่างประเทศถึงการใช้อาหารประกอบของปรอทบางอย่างเป็นยากำจัดศัตรูพืช เช่น ปรอทเฟนิล อะซิเตท (phenyl mercury acetate) การใช้ปรอทเมทิล ไซยานาไมด์ (methyl mercury cyanamide) และปรอทเมทิล (methyl mercury) ฟันด์เมิลด์พิช เพื่อป้องกันเชื้อรา นอกจากนี้ยังมีการนำสารประกอบของปรอทเหล่านี้ไปใช้เป็นยาพ่นกล้วยไม้ ยาพ่นหญ้า รวมทั้งในอุตสาหกรรมทำเยื่อกระดาษด้วย สารประกอบปรอทอนินทรีย์บางตัวถูกนำไปใช้กับดินและรากพืช สารสังเคราะห์เคมีที่ถูกใช้มากที่สุดตัวหนึ่งคือ ยาแพนโนเจน (panogen) ซึ่งเป็นยาชนิดที่มีสารเข้าปรอทมีประสิทธิภาพในการป้องกันโรคพืชหลายชนิดได้อย่างดีเยี่ยมโดยใช้ฉาบเมล็ดก่อนนำไปปลูก แต่ปัจจุบันในสหรัฐอเมริกาห้ามใช้โดยเด็ดขาด เนื่องจากเกิดปัญหาการสะสมสารพิษเป็นลูกโซ่อาหารเกิดขึ้น สารประกอบของปรอทดังเช่นที่กล่าวนี้หากตกค้างและสะสมอยู่ในธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จะเป็นอันตรายต่อสัตว์และคนได้ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายโดยการกิน การหายใจ หรือดูดซึมเข้าทางผิวหนังสำหรับปรอทชนิดอนินทรีย์ หรือโดยการกินและการหายใจสำหรับปรอทชนิดอนินทรีย์แล้ว ปรอทจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบที่สำคัญของเอ็นไซม์ (enzyme) ของเซลล์ (cell) ต่าง ๆ กลายเป็นสารเมอร์แคปไทด์ (mercaptides) เป็นผลให้การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายถูกรบกวนหรือสูญเสียหน้าที่ไป ที่สำคัญได้แก่ ไต ลำไส้ใหญ่ ต่อมไทรอยด์และถุงน้ำดี

เพราะอวัยวะเหล่านี้ทำหน้าที่ขับถ่ายปรอทออกจากร่างกาย ครึ่งชีวิตของปรอทในร่างกายเฉลี่ยประมาณ 20-70 วัน ขึ้นกับชนิดของสารประกอบและส่วนของอวัยวะในร่างกายที่ปรอทไปสะสมอยู่ ถ้าหากมนุษย์ได้รับปรอทเข้าไปในร่างกายในปริมาณที่สูง ปรอทจะสะสมอยู่ในร่างกายเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ นอกจากจะเป็นพิษต่ออวัยวะต่าง ๆ อย่างร้ายแรงแล้ว ยังมีผลทำให้ผู้ป่วยมีอาการทางสมองและประสาท อาจทำให้หูหนวก ตาบอด หรือเกิดความพิการอื่น ๆ อีกหลายอย่าง สำหรับสตรีมีครรภ์ พิษปรอทจะผ่านไปสู่ทารกในครรภ์และทำให้ทารกพิการแต่กำเนิดได้ ในชีวิตประจำวันร่างกายได้รับสารปรอทส่วนใหญ่ โดยการกิน เข้าไปประมาณวันละ 5-20 ไมโครกรัม ซึ่งปรอทจำนวนนี้จะถูกขับถ่ายออกไปทางไตเป็นส่วนใหญ่ โดยในคน ปกติจะขับออกทางปัสสาวะประมาณวันละ 10 ไมโครกรัม ถ้าพบว่า มีปริมาณปรอทที่ขับออกทางปัสสาวะเกิน 40 ไมโครกรัมในหนึ่งวัน แสดงว่า ได้รับสารปรอทในปริมาณมากผิดปกติอาจทำให้เกิดพิษขึ้นได้ถ้าไม่รีบกำจัดสาเหตุหรือทำการป้องกันให้ถูกวิธี (2,5,6)

ซีลีเนียม (Selenium) สัญลักษณ์ Se เป็นอโลหะมีน้ำหนักอะตอม 78.96 ความหนาแน่น 4.81 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลวที่ 220 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 688 องศาเซลเซียส ค้นพบโดย John Jacob Berzelius ในปี ค.ศ. 1817(7) และให้ชื่อว่า ซีลีเนียม จากคำภาษากรีก "ซีลีเน" (Selene) ซึ่งแปลว่า ดวงจันทร์ เป็นธาตุที่มีลักษณะและสมบัติใกล้เคียงธาตุเทลลูเรียม (Tellurium) มาก นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับกำมะถัน (Sulfur) จะพบอยู่ปนกับสารประกอบของกำมะถันเสมอ และรวมอยู่ในกรดอะมิโน (amino acid) ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอย่างน้อย 6 ตัว คือ ซิสเทอีน (cysteine) ซิสทีน (cystine) เมทไธโอนีน (methionine) ซีสตาไธโอนีน (cystathionine) เมทิลซิสทีน (methyl cystine) และเมทิลเมทไธโอนีน (methyl methionine) (8)

ซีลีเนียมที่ดูถูกนำมาใช้ประโยชน์เกือบทั้งหมดเป็นผลพลอยได้จากการถลุงและขจัดฟอกทองแดง และบางส่วนได้จากสินแร่พวกซัลไฟด์ (sulfide ores)

ของโลหะต่าง ๆ เช่น เงิน ตะกั่ว ทอง และสังกะสี ซีลีเนียมในดินอาจอยู่ในรูปของซีลีเนตเป็นสำคัญ เช่น แคลเซียมซีลีเนต (calcium selenate, CaSeO_4) มีพบอยู่บ้างในรูปของซีลีไนต์ เช่น ไทแมนไนต์ (Tiemannite, HgSe) และสารประกอบอินทรีย์หรือแม่แคในรูปของซีลีไนท์ ซึ่งไม่ละลายน้ำ เช่น เหล็กซีลีไนท์ (ferric selenite, $\text{Fe}_2(\text{OH})\text{SeO}_3$) ตามรายงานของ Bowea(8) ซีลีเนียมในดิน เบียกมีปริมาณ 0.001-3 ส่วนในล้านส่วน ในดินแห้งมีปริมาณ 0.01-2 ส่วนในล้านส่วน หรือโดยเฉลี่ยในดินมี 0.2 ส่วนในล้านส่วน ในแม่น้ำมีน้อยกว่า 0.02 ส่วนในล้านส่วน ส่วนในทะเล Mason(9) รายงานไว้ว่า มีอยู่มากเป็นอันดับที่ 12 คือ 0.004 ส่วนในล้านส่วน ดินบางพื้นที่อาจขาดแคลนซีลีเนียมเนื่องจากการชะล้างของฝน แต่บางพื้นที่พบว่า ซีลีเนียมมีมากพอที่จะทำให้พืชผลเป็นพิษกับสัตว์ที่กินได้ เช่น ในอเมริกาเหนือและใต้ สเปน อิสราเอลและแอฟริกาใต้ พืชที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ เมล็ดข้าวและหญ้า สามารถสะสมซีลีเนียมได้ถึง 30 ส่วนในล้านส่วน ขึ้นกับปริมาณซีลีเนียมในดิน พืชที่สะสมซีลีเนียมไว้อาจสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดโรค Alkali disease และ Blind staggers ในวัวควายที่กินพืชชนิดนี้ (8, 10) ถึงแม้ว่าซีลีเนียมจะเป็นธาตุที่มีพิษทั้งยังพบว่า มีความเป็นพิษมากกว่าสารหนู แต่ในปี ค.ศ. 1957 Schwarz และคณะ (11, 12) ค้นพบว่า ซีลีเนียมเป็นธาตุสำคัญที่จำเป็นสำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและสัตว์อื่น ๆ ถ้าขาดซีลีเนียมจะทำให้เกิดอาการของโรคต่าง ๆ เช่น โรคตับในหมู โรคของกล้ามเนื้อในลูกวัว ลูกม้า นอกจากนี้เกลือของซีลีเนียมยังสามารถใช้แทนวิตามินอี (vitamin E) ในสัตว์ที่ขาดวิตามินอีได้ จึงเห็นได้ว่า ซีลีเนียมปริมาณน้อย ๆ มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการทำงานอย่างปกติของกล้ามเนื้อ, ตับ แต่ยังไม่มียารายงานหรือหลักฐานว่า คนเป็นโรคขาดซีลีเนียมแต่อย่างไร ซีลีเนียมในพืชโดยทั่วไปพบไม่มากแต่อาหารทะเล เนื้อสัตว์และเมล็ดข้าว ส่วนใหญ่มีปริมาณสูงพอสมควร ปริมาณที่ได้รับจากอาหารมาตรฐานประจำวันมีปริมาณ 62 ไมโครกรัม การวิเคราะห์ซีลีเนียมในคนและสัตว์พบว่า ไตจะมีซีลีเนียมอยู่มากที่สุด ปริมาณซีลีเนียมในคนจะมีเพียง $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ ของสัตว์ป่า ค่าเฉลี่ยในร่างกายคนปกติเท่ากับ 14.6 มิลลิกรัม

ธาตุและสารประกอบของปรอทและซีลีเนียมถูกนำมาใช้ทั้งใน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วโลกเป็นปริมาณปีละหลายพันตัน ประเทศไทยซึ่งกำลังพัฒนาตนเองก็มีการสังเคราะห์ธาตุและสารประกอบดังกล่าวมาใช้เป็นจำนวนมากขึ้นโดยเฉพาะในค่านเกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีทางเป็นไปได้ว่า อาจจะมีสารพิษของธาตุและสารประกอบของปรอทและซีลีเนียมตกค้างสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมและพืชพันธุ์ต่าง ๆ ได้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศสักรกรรม และข้าวเป็นอาหารหลักในการบริโภคของประชากรในประเทศคือ ประมาณร้อยละ 70 ของอาหารที่บริโภคทั้งยังเป็นสินค้าออกที่สำคัญอีกด้วย จึงควรให้ความสนใจเป็นพิเศษโดยเฉพาะในค่านความปลอดภัยของผู้บริโภค และด้วยเหตุที่ยังไม่เคยมีผู้ทำรายงานการศึกษาวิเคราะห์ถึงปริมาณของปรอทและซีลีเนียมในข้าวในประเทศไทยมาก่อน จึงเห็นความสำคัญที่จะศึกษา เพื่อให้ทราบว่า ชาวภายในประเทศของเรานั้นมีสารพิษดังกล่าวสะสมอยู่หรือไม่ และถ้ามีจะมีอยู่ปริมาณมากน้อยเพียงใด

ปัญหาสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ปริมาณปรอทและซีลีเนียมที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ และที่มีอยู่ในข้าวนั้นมีอยู่ในปริมาณค่อนข้างน้อย การวิเคราะห์ที่จะทำได้ผลถูกต้องนั้นจำเป็นต้องใช้กรรมวิธีวิเคราะห์ที่มีความไว (sensitivity) และมีประสิทธิภาพ (efficiency) สูง กรรมวิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน (neutron activation analysis) เป็นวิธีหนึ่งที่มีความไวสูง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหานี้โดยอาศัยกรรมวิธีทางเคมีบางอย่างประกอบด้วย จะทำให้สามารถวิเคราะห์ปรอทและซีลีเนียมปริมาณน้อยในข้าวได้โดยพร้อมกัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณของปรอทและซีลีเนียมในข้าวเจ้า และข้าวเหนียวพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย ในช่วงปีเพาะปลูก 2519 และ 2520 อาทิเช่น ข้าวคอกมะติ 105 เหลืองประทิว 123 เหนียวสันป่าตอง เหมยทอง 62 เอ็ม ฯลฯ

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของธาตุทั้งสองในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่เก็บจากสถานีทดลองข้าวหลายแห่งทั่วประเทศ

1.2.3 เพื่อหาข้อมูลสำหรับใช้เป็นแนวทางนำไปสู่การประเมินค่าระดับมาตรฐานของธาตุทั้งสองในข้าวในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ข้าวที่นำมาวิเคราะห์เป็นเมล็ดข้าวพันธุ์หลักที่ได้จากสถานีทดลองข้าวจังหวัดต่าง ๆ รวม 13 แห่งทั่วประเทศไทย ซึ่งมีบันทึกอย่างละเอียดว่า ในระหว่างการเพาะปลูกมีการใช้ปุ๋ยและยากำจัดศัตรูพืชอะไรบ้าง ปริมาณเท่าใด และในระยะเวลาใด ข้าวพันธุ์หลักเป็นข้าวที่ปลูกจากเมล็ดพันธุ์คัดเลือกที่มีความบริสุทธิ์ของพันธุ์สูงและมีคุณภาพดีตรงตามมาตรฐาน ซึ่งชาวนาจะนำไปปลูกเพื่อขยายพันธุ์และปลูกจำหน่ายเพื่อใช้ในการบริโภคและส่งเป็นสินค้าออกต่อไป

1.3.2 ตัวอย่างข้าวที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยข้าวสารและข้าวกล้องของขาวเจ้าและขาวเหนียว รวมทั้งสิ้น 17 พันธุ์ เป็นข้าวเจ้า 14 พันธุ์ ได้แก่ กข.1 กข.5 กข.7 กข.9 ขาวดอกมะลิ 105 น้ำสะกุก 19 ขาวปากหม้อ 148 เหลืองประทิว 123 เล็บมือนาง 111 ปิ่นแก้ว 56 ตะเภาแก้ว 161 นางพญา 132 พวงไร 2 และเผือกน้ำ 43 ข้าวเหนียว 3 พันธุ์ ได้แก่ กข.2 เหนียวสันป่าตอง และเหมยนอง 62 เอ็ม

1.3.3 ข้าวสารและข้าวกล้องที่ใช้ในการวิเคราะห์ นำมาหาค่าดัชนีละอองและความชื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวด้วยลำอากาศที่ผ่านเครื่องกรองแล้วในรูปหลอดดูด (laminar air flow)

1.3.4 การวิเคราะห์กระทำโดยใช้วิธีวิเคราะห์นิวตรอนแอกติเวชันแบบที่คงอาศัยกรรมวิธีทางเคมี (radiochemical neutron activation analysis) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.3.4.1 ตรวจสอบความเชื่อถือได้ของกรรมวิธีวิเคราะห์ (reliability test) โดยวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานและสารตัวอย่าง

มาตรฐาน (standard reference material) Orchard Leave
 ของ National Bureau of Standard (NBS) ตามขั้นตอน 1.3.4.2-
 1.3.4.5

1.3.4.2 นำสารตัวอย่างเข้าอบรังสีนิวตรอน (neutron irradiation)

1.3.4.3 ผ่านกรรมวิธีทางเคมีโดยใช้เทคนิคของการเผาทำลายแบบแห้ง (dry combustion technique)

1.3.4.4 วิเคราะห์ปริมาณปรอทและซีลีเนียมในสารตัวอย่างโดยการวัดความแรงรังสีเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน (standard)

1.3.4.5 คำนวณและรายงานผล

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

1.4.1 ทราบถึงปริมาณของปรอทและซีลีเนียมในข้าวเจ้าและข้าวเหนียวพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศ

1.4.2 ข้อมูลที่ได้รับสามารถนำมาใช้ในการประเมินระดับมาตรฐานของปรอทและซีลีเนียมในข้าวในประเทศ

1.4.3 ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยเรื่องธาตุพิษปริมาณน้อยที่ตกค้างในพืชพันธุ์ในประเทศไทย

1.5 การสำรวจงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

1.5.1 ประโยชน์ของปรอทและสารประกอบของปรอท (2, 13-15)

นับตั้งแต่มีการค้นพบปรอทโดย Aristotle ได้มีการนำปรอทและสารประกอบของปรอทชนิดต่าง ๆ มาใช้เป็นประโยชน์ในกิจการอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง หนึ่งในสามของปริมาณปรอทที่ผลิตได้ในโลกทั้งหมดนำมาใช้ในรูปของโลหะปรอท ก็ได้แก่ ปรอทวัดอุณหภูมิและความกดดันของอากาศ ปรอทวัดไข้ เครื่องมือวัดความดันโลหิต เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ส่วนประกอบของนาครวัคระแสไฟตรง สวิตซ์อัตโนมัติของตู้เย็น ตะเกียงอุตสาหกรรม ไวโอเดคและหลอดไฟบางชนิด ใช้ประโยชน์จากการทำเป็นโลหะอะมัลกัม (amalgam) หรือโลหะผสม เช่น สารที่ใช้ชุบฟันเป็นอะมัลกัมของโลหะเงินและคิงกวมผสมกับคิงกวมในการทำกระจกเงา

นอกจากนี้ยังได้ประโยชน์จากการใช้สารประกอบทั้งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ของปรอทอีกมากมาย ประโยชน์ของสารประกอบอนินทรีย์มี เช่น ใช้ในขบวนการทำหมากสักหลาดและเครื่องนุ่งห่มขนสัตว์ ซึ่งต้องใช้สารปรอทในเครท (mercurous nitrate) ปรอทออกไซด์ (mercuric oxide) ใช้ในสีทาบ้าน ใช้ปรอทซัลไฟด์ (mercuric sulphides) เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้สีเสียหายในอุตสาหกรรมผลิตสีและสีย้อมโดย เฉพาะสีแดง ทำสีกันบูดสำหรับทาใต้ทองเรือ ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมผลิตสาร เคมีและในการผลิตสารประกอบ โพลีเมอร์ (polymers) หลายชนิด เช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride หรือ PVC) ในทางการแพทย์มีการนำสารประกอบอนินทรีย์ของปรอทมาใช้ผลิตยาฆ่าเชื้อ และยารักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับผิวหนัง เช่น ปรอทคลอไรด์ (mercuric chloride) และปรอทไซยาไนด์ (mercuric cyanide) ซึ่งใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรค และใช้ยั้งปรอทที่ใช้รักษาโรคผิวหนังบางชนิด ยาฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางแพทย์ ใช้ในการคงสภาพ ทั้งยังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบของครีมประเทืองผิวของสตรี

สำหรับสารประกอบอินทรีย์ของปรอทในรูปต่าง ๆ ทั้งอัลคิล (alkyl), อัลคอกซี (alkoxy) และอาริล (aryl) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก ที่สำคัญคือ ทางคานเกษตร เช่น การใช้เป็นยาฆ่าเชื้อราเคลือบเมล็ดพืชเพื่อป้องกันเมล็ดในระหว่างการเริ่มการเพาะปลูก ใช้เป็นยากำจัดศัตรูพืช ดังไคกลาวแล้วข้างต้น นอกจากนี้ก็กล่าวแล้วยังมีการใช้สารประกอบของปรอท เมทิลในการตกแต่งเมล็ดพืช ใช้เป็นยาฆ่าหญ้าและใช้ถอนมเนื้อไม้ไคควาย สารประกอบอินทรีย์ของปรอทที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ด้วยกันก็คือ ใช้เป็นยาขับปัสสาวะ ยาถ่ายและยารักษาโรคซิฟิลิส

1.5.2 การเปราะเปื้อนเนื่องจากการใช้งานและอันตรายเนื่องจากพิษของปรอทและสารประกอบของปรอท

เมื่อมีการนำปรอทไปใช้ประโยชน์ในกิจการค้าต่าง ๆ มากมาย ย่อมพบปัญหาการเปราะเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อมทั่วไป ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย โดยเฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องกับใกล้ชิด เพราะทั้งปรอทและสารประกอบของปรอทเป็นสารที่มีพิษต่อร่างกาย เหตุการณ์รุนแรงอันเกิดเนื่องมาจากพิษปรอทมีรายงานเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1810 โดยปรากฏว่า ในขณะที่ทำการลำเลียงสินค้าในเรือลำหนึ่งซึ่งมีลูกเรือ 200 คน ถึงบรรจุปรอทได้ก็แตกตกลงกับพื้นเป็นผลให้ลูกเรือ 3 คน เสียชีวิตในเวลาต่อมาและยังมีนก วัว ควาย ในเรือบางส่วนตายไปอีกควย (2) และในศตวรรษที่ 19 นั้นเอง Jussieu (16) ได้สังเกตเห็นว่าพวกทาสที่ทำงานเหมืองแร่ปรอทในลามังคา มีอาการผิดปกติ เช่น คอมน้ำลายอีกเสบ บวม น้ำลายไหลและเหนื่อยง่าย ครอบครัวหนึ่งมีอาการถูกพิษปรอทโดยไม่รู้สาเหตุอยู่เป็นเวลานานปี ก่อนที่จะค้นพบว่า คนเหตุอยู่ที่กระดาศบิคนั่งห้อง ซึ่งเคยเอาน้ำยาเขาปรอททาเพื่อฆ่าเชื้อโรค (17) Lewin (17) อาจารย์ศาสตราจารย์ผู้หนึ่ง ซึ่งถูกพิษปรอทเนื่องจากอุดฟันด้วยอะมัลกัมและทราบความจริงก็คือเมื่อ Lewin เอาสิ่งที่อยู่คนนั้นออกและทำให้หายจากอาการถูกพิษ Cook และ Yates (18) รายงานถึงผู้ชายทันตแพทย์ซึ่งทำงานมาแล้ว 20 ปี ลมป่วยและตายด้วยโรคไตจากการตรวจศพพบว่า มีปรอทค้างอยู่ที่ไตเป็นจำนวนมาก วินิจฉัยว่าเป็นโรคพิษปรอทชนิดเรื้อรังเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ผู้ป่วยต้องใส่ปรอทอะมัลกัมอยู่เสมอ

ในปี ค.ศ. 1953 ที่ประเทศญี่ปุ่น ได้เกิดโรคลึกลับขึ้นที่อ่าวมินามาตะ (Minamata) และจึงเรียกกันว่า โรคมินามาตะ (Minamata disease) หลายปีต่อมาจึงค้นหาสาเหตุของโรคได้ว่า เป็นเพราะมีการปล่อยระบายน้ำเสียที่มีเกลือคลอไรด์ของปรอทจากโรงงานทำพลาสติกลงสู่ทะเล (เกลือของปรอทชนิดนี้ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิต) ซึ่งหลังจากนั้นเกลือของปรอทนี้ จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบปรอทชนิดอินทรีย์ ซึ่งพบว่า มีปริมาณสูงอยู่ในน้ำทะเล สารปรอทจะถูกสะสมในเนื้อปลาและสัตว์น้ำทะเลอื่น ๆ เมื่อชาวประมงและประชาชน

บริเวณนั้นบริโภคอาหารทะเลเหล่านั้นเข้าไป จึงเกิดพิษปรอทขึ้นและทำให้มีผู้เคราะห์ร้ายทนทุกข์ทรมาน รวมทั้งต้องพิการจากปรอทเป็นพิษถึง 121 ราย คาย 46 ราย และทารกอีก 22 รายที่เกิดจากมารดา ซึ่งป่วยด้วยพิษปรอทเกิดมีความผิดปกติทางสมอง เป็นอัมพาตและปัญญาอ่อน (2,19) ในปี ค.ศ. 1964-1965 เกิดโรคมินามาตะเป็นครั้งที่สองในเมืองนิอิกาทา (Niigata) ยังผลให้มีคนตาย 6 คน (20)

ในประเทศอิตาลี เมื่อปี ค.ศ. 1956 หมู่บ้านแห่งหนึ่งได้มีการใช้สารประกอบปรอทปนเพื่อฆ่าเชื้อรา ต่อมาพบว่า มีผู้ป่วยจากพิษปรอทจำนวน 100 คน และตายไป 14 คน ในปี ค.ศ. 1960 ที่ประเทศอิตาลีเช่นกัน เกิดพิษปรอทขึ้นกับบรรดาชาวประมงที่นำเมล็ดข้าวสาลีที่เคลือบด้วยสารประกอบปรอทเพื่อป้องกันเชื้อราและเก็บไว้สำหรับทำพันธุ์ โดยเฉพาะ ไปทำแป้งขนมปังปรากฏว่า ผู้ที่กินเข้าไปป่วยเป็นพิษปรอทอย่างน้อย 221 คน และตายไป 22 คน (2,21)

ที่ประเทศสวีเดนมีการศึกษาการเปราะเปื้อนปรอทของปลาน้ำจืดในทะเลสาบและแม่น้ำเนื่องจากของเสียจากโรงงานทำกระดาษและเยื่อกระดาษ และจากการถูกชะล้างของยาฆ่าเชื้อราที่มีปรอทของสูงทะเลสาบและแม่น้ำ มีการศึกษาทำนองเดียวกันในบริเวณทะเลสาบและแม่น้ำของแคนาดาและสหรัฐอเมริกา ซึ่งแหล่งมลพิษที่สำคัญคือของเสียจากโรงงานอัลคาไล-คลอรีน (alkali-chlorine) ทั้งยังมีรายงานว่าพบปรอทมากพอสมควรในนกบางชนิดของสวีเดน แคนาดาและสหรัฐอเมริกา ทั้งชนิดที่กินปลาเป็นอาหารและกินพืชเป็นอาหาร แหล่งของปรอทในกรณีเหล่านี้คือ ปลาที่สะสมปรอทในกรณีของนกกินปลาและเมล็ดพืชที่ถูกปนด้วยยาฆ่าเชื้อราในกรณีของนกกินพืช (22) นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 1969 Johnels และ Westermark (23) รายงานว่า ชาวประมงและเจ้าหน้าที่รักษาพันธุ์สัตว์ในสวีเดนสังเกตเห็นว่า นกจำนวนมากหายไปจากรังและถิ่นฐานเดิม รวมทั้งพบว่า ปริมาณของนกปลาที่ตายมีอัตราสูงขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากการที่กินเมล็ดข้าวที่เปราะเปื้อนยาฆ่าเชื้อราเข้าไป

ในประเทศไทยเรายังไม่ปรากฏเหตุการณ์ที่ร้ายแรงมาก มีแต่เพียงรายย่อย ๆ ซึ่งเกิดกับประชาชนที่อยู่ห่างไกลความเจริญหรือผู้ที่รู้เท่าไม่ถึงการณ์ คั่งตัวอย่างที่มีรายงานไว้ครั้งแรกเมื่อประมาณ 30 ปีมาแล้ว (24) คือมีชายผู้เคราะห์ร้ายคนหนึ่งได้รับคำแนะนำจากเพื่อนบ้านให้ใช้โลหะปรอทมารมควันเพื่อรักษาโรคเกี่ยวกับจุก อีกรายหนึ่งเป็นพระภิกษุที่ใช้วิธีรมควันปรอทเพื่อรักษาโรคเรื้อรังจุกเช่นกัน ผลทำให้ผู้ป่วยรายหลังถึงแก่ความตายเนื่องจากพิษปรอท ตัวอย่างอีกรายหนึ่งเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2516 (13) คือหญิงชาวโรมันสำปะหลังคนหนึ่งเกิดอาการปรอทเป็นพิษอย่างรุนแรง เนื่องจากกินโลหะปรอทเพื่อคุมกำเนิดตามคำแนะนำของพ่อค้ายา เธอมีอาการสำคัญคือ น้ำหนักตัวลดลงประมาณ 10 กิโลกรัม ในระยะเวลา 2 เดือน อ่อนเพลีย ผิวคล้ำและหน้าเป็นรอยคางค้ำ แต่รอดจากความพิการได้เพราะได้รับการรักษาที่ถูกต้องและทันเวลาที่

1.5.3 การดูดซึม การกระจายและการขับถ่ายของสารปรอท (13, 16, 19, 25)

กล่าวกันว่า ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับปรอทแม้ชั่วเวลาอันสั้นมีโอกาที่จะถูกพิษเสมอ เพราะปรอทสามารถดูดซึมผ่านอวัยวะต่าง ๆ ได้ง่ายทั้งทางปาก ผิวหนังหรือทางปอดโดยสูดเอาไอระเหยของปรอทเข้าไป เมื่อสารปรอทถูกดูดซึมเข้าสู่การไหลเวียนของโลหิตจะถูกอวัยวะต่าง ๆ จับรวมตัวอย่างรวดเร็ว โดยส่วนใหญ่จะไปสะสมอยู่ที่บริเวณทิวบูลและกรวยกรองของไต บางส่วนจะเก็บไว้ที่ตับ สมองในส่วนของประสาทนิวโรนและปมประสาท ส่วนน้อยจะถูกสะสมไว้ที่ม้าม ผนังลำไส้ ปอดและกระดูก เป็นต้น

โดยทั่วไป การขับถ่ายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากที่ได้รับสารปรอท ส่วนใหญ่จะขับถ่ายออกทางไตและทางลำไส้ใหญ่ ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

1.5.3.1 ทางไต ไตเป็นอวัยวะที่สำคัญที่สุดในการขับถ่ายสารปรอท สาร่างกายได้รับเข้าไปมาก ๆ จะทำให้เยื่อผิวส่วนคอนวอลูเททิวบูล (convoluted tubule) ถูกทำลายอย่างรุนแรง Renal tubular necrosis เป็นอาการเด่นชัดที่สำคัญของการเกิดพิษปรอทอย่างรุนแรง ถ้าได้รับ

สารปรอทในขนาดน้อยหรือปานกลาง จะพบว่า ระยะแรก ๆ อาจมีการขับปัสสาวะ ออกมากเพราะขบวนการคูดน้ำกลับของทิวบูลถูกกด ภายหลังที่เนื้อเยื่อไตถูกทำลาย จะขับปัสสาวะออกน้อยลงทุกทีจนเกิดภาวะยูรีเมีย (uremia) คือจะขับปัสสาวะ ไม่ออก แต่ถ้าได้รับสารปรอทในขนาดสูงอาจจะมีผลเหนี่ยวนำการขับปัสสาวะ ตั้งแต่ในระยะแรกได้

1.5.3.2 ทางลำไส้ใหญ่ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญเช่นกัน ถ้าหาก สารปรอทมีมากอาจทำอันตรายต่อผนังลำไส้ โดยเฉพาะส่วนซีคัม (cecum) และ ลำไส้ใหญ่ส่วนต้น (ascending colon) บางครั้งอาจมีการตกเลือดรุนแรงได้

1.5.3.3 ขับทางท่อน้ำลาย จะเกิดการระคายเคืองเฉพาะที่ และมีการหลั่งน้ำลายมากเป็นลักษณะเฉพาะของพิษจากสารปรอท ต่อมาอาจทำให้เกิดการทำลายและการเปลี่ยนแปลงเยื่อเมือกภายในปากและรากฟันทำให้ฟันโยก คลอนได้

1.5.3.4 ขับทางท่อน้ำดี ซึ่งในสมัยก่อนเคยใช้วิธีตัดเอาถุงน้ำดี ออกเป็นการรักษาโรคสารปรอทเป็นพิษวิธีหนึ่ง

อย่างไรก็ตาม การขับถ่ายสารปรอทจะแตกต่างกันไปในแต่ละคน ส่วนใหญ่ของสารปรอทจะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายภายใน 6 วัน ส่วนที่เหลือ เล็กน้อยอาจคงอยู่ในร่างกายได้นานเป็นเวลาหลายเดือนหรือนานนับปี

1.5.4 กลไกการออกฤทธิ์ของสารปรอท (25)

โดยทั่ว ๆ ไปเกลือของปรอททุกชนิดจะออกฤทธิ์คล้ายคลึงกัน ที่สำคัญคือ จะมีปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฟด์ไฮดริล (sulfhydryl group) เกิดเป็นสารใหม่คือ เมอร์แคปไทด์ พวกเกลือปรอทแมขนาดน้อย ๆ จะสามารถหักล้างหมู่ซัลไฟด์ไฮดริล ซึ่งจะมีผลทำให้ไปรบกวนขบวนการทำงานและหน้าที่ของเซลล์ต่าง ๆ ทั้งร่างกาย การออกฤทธิ์ในร่างกายย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือปรอทซึ่งจะมีผลต่ออำนาจการ ละลายการกระจายตัว ความสัมพันธ์ต่อเซลล์ต่าง ๆ ตลอดจนการขับถ่าย ตัวอย่าง เช่น พวกเกลือ ปรอทอินทรีย์ที่ใช้เป็นยาขับปัสสาวะ มีคุณสมบัติในการแยกตัวต่ำมาก

และถูกขบดอย่างรวดเร็ทางไต ส่วนเกลือของปรอทบางอย่าง เช่น พรอท-คลอไรด์ มีคุณสมบัติไม่ละลายเมื่อกินเข้าไปจะมีความเข้มข้นสูงแต่ในลำไส้เท่านั้น

1.5.5 ความเป็นพิษของปรอท

โดยปกติโลหะปรอทและพวกเกลือปรอทชนิดต่าง ๆ ทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายถึงแก่ชีวิตได้ทั้งสิ้น แต่อาการของพิษปรอทจากไอของโลหะปรอทและสารประกอบอนินทรีย์แตกต่างจากสารประกอบพวกอินทรีย์ พิษของไอของโลหะปรอทและสารประกอบอนินทรีย์จะทำให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ การเน่าเปื่อยของเยื่อภายในช่องปาก เหงือกบวมอักเสบและเจ็บปวดมาก อาจสังเกตเห็นเส้นสีน้ำเงินบนเหงือกใกล้ขอบฟัน ซึ่งจะพบได้ในการถูกพิษโลหะอย่างอื่นคล้ายเหมือนกัน ฟันจะโยกคลอนและหลุดไปเอง น้ำลายไหลออกมาก ผิดปกติ มีรสโลหะในปากและปากเหม็น ซึ่งเป็นอาการสำคัญในช่องปาก ลำไส้ใหญ่ อักเสบ มีอุจจาระเป็นมูกเลือด ไตอักเสบและในรายที่เป็นอยู่นานอาจมีตับอักเสบด้วย หากเป็นหญิงมีครรภ์อาจแท้งลูก ในบางแห่งเชื่อกันว่า อาจทำให้หย่อนสมรรถภาพทางเพศหรือถึงเป็นหมันได้ อาการทางประสาทพบว่า มีการสั่นของเปลือกตา ริมฝีปาก ลิ้นและนิ้วมือ ถ้าเป็นมากขึ้นจะมีอาการสั่นที่แขนและขา ทำให้การเดินเป็นไปด้วยความลำบาก ลักษณะที่สั่นนี้ต่างกับการสั่นในโรคอื่น ๆ คือ มีการกระตุกเกิดขึ้นสลับกันไปเป็นระยะ ๆ อาการทางจิตแตกจนพบได้มาก โดยเฉพาะกับพวกคนงานทำกระຈกเงา เพราะใช้อะมัลกัมของคิงในอุตสาหกรรมทำกระຈกเงา แต่ในปัจจุบันได้เลิกใช้ไปแล้ว เนื่องจากเกิดพิษปรอทกับพวกคนงานมากและเปลี่ยนไปใช้สารประกอบของโลหะเงินซึ่งไม่มีพิษแทน ลักษณะอาการทางจิตนี้แตกต่างกับอาการของโรคจิตอื่น ๆ คือ มีอารมณ์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วรับอารมณ์ไวไม่ได้ ชวนทะเลาะวิวาทแตกหวาคกดังง่าย ง่วงนอนเวลากลางวัน แต่กลางคืนนอนไม่หลับ ความจำเสื่อม เส่ราซึม เป็นต้น อาการอีกอย่างหนึ่งพบได้ที่ตา เป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบได้ยากก่อนที่จะมีอาการอื่นปรากฏขึ้น ลักษณะเป็นจุดฝ้าขาวเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปที่ส่วนหน้าเปลือกเลนซ์ของลูกตาซึ่งจะตรวจพบได้โดยจักษุแพทย์ควยกลองสลิตแลมป์ (slit lamp) เท่านั้น แต่สายตา

หรือการมองเห็นยัง เป็นปกติ ฉะนั้นจึงเหมาะที่จะใช้เป็นวิธีตรวจเพื่อวินิจฉัยโรค
แต่อาการทั่วไปของผู้ป่วยจากพิษปรอทที่ทำงานสัมพันธ์กับไอปรอทในระยะแรก คือ
จะดมลงมากในระยะเวลาด้านต้น และสีของผิวหนังอาจดำคล้ำผิดปกติ
(2,26,27)

อาการเป็นพิษจากสารประกอบปรอทชนิดอินทรีย์นั้นจะปรากฏอาการ
เด่นชัดทางระบบประสาท เริ่มแรกด้วยอาการชาตามปลายนิ้วมือนิ้วเท้าแล้วค่อย ๆ
ลามสูงขึ้น ต่อมาจะรู้สึกปวดไคลำบากไม่ชัดและชาลง สายตาเปลี่ยนแปลงไปคือ
มองเห็นสิ่งของใดในเนื้อที่แคบเข่า การเดินจะก้าวขาไคลำบากลักษณะโซเซ
มือสั่นหยิบจับของใดไม่ถนัด นอกจากนั้นจะมีอาการวิงเวียนอ่อนเพลียปวดศีรษะ
กระสับกระส่าย จิตใจฟุ้งซ่าน นอนไม่หลับ มีความรู้สึกชาผิดปกติที่ริมฝีปากและลิ้น
ซึ่งถ้าไม่ได้รับการรักษาที่ถูกต้องจะถึงแก่ความพิการหรือตายได้ (2)

ถ้าจะกล่าวโดยเปรียบเทียบแล้ว โลหะปรอทจะเกิดพิษน้อยกว่าพวก
เกลือปรอทมากกว่ากับไอระเหยของโลหะปรอท ซึ่งมีอันตรายอย่างรุนแรงถึงชีวิตได้
และกล่าวโดยทั่วไปพวกเกลือเมอร์คิวรีต (bivalent) จะก่อให้เกิดพิษต่อ
ร่างกายไคมากกว่าพวก เกลือเมอร์คิวรีต (monovalent) (13) ข้อเท็จจริง
อีกประการคือ อาการพิษจากสารประกอบอินทรีย์ของปรอทรุนแรงกว่าสารประกอบ
พวกอนินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ของปรอทมีความสำคัญเป็นพิเศษเพราะความ
เข้มข้นที่จะก่อให้เกิดพิษนั้นมีค่าเพียง $\frac{1}{10}$ ของพวกไอออนปรอท (ionic
mercury) (28) ตัวที่เด่นเป็นที่สนใจกันมากที่สุด ไคแก่ ปรอทเมทิล
องค์การอนามัยโลกได้แนะนำไว้ว่า ร่างกายควรได้รับปริมาณปรอทไม่เกิน 0.3
มิลลิกรัมใน 1 อาทิตย์ และถ้าคิดเป็นปรอทเมทิลจะต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม

1.5.6 การวินิจฉัย การรักษาและการป้องกันโรคพิษปรอท

การวินิจฉัยอาการภายนอกอย่างเดียวอาจบอกได้เพียง "การถูกพิษโลหะ"
จะต้องอาศัยประวัติการทำงานหรือวิธีการที่อาจทำให้ได้รับสารปรอทเข้าไปใน
ร่างกายประกอบการพิจารณา การตรวจหาระดับปรอทในปัสสาวะเป็นสิ่งที่จำเป็น
ถ้าพบว่า มีปริมาณเกิน 0.3 มิลลิกรัมในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมง สำหรับ

ปรอทหนักอินทรีย์หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรสำหรับปรอทหนักอินทรีย์ แสดงว่า
เกิดพิษเนื่องจากปรอท (2)

โรคพิษปรอทในปัจจุบันมียาแก้พิษที่ใช้รักษาได้ 2 ชนิด ซึ่งมีในประเทศไทยคายน คือ บีเอแอล (BAL-Dimercaprol) ใช้ฉีดได้ผลดีพอควร และเพนนิซิลลามีน (penicillamine) ซึ่งใช้ได้ผลดีกว่าและใช้กินได้คายน การเร่งการขับถ่ายคายนโพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide) และคายนการอมความร้อนหรือให้คายนน้ำมาก ๆ อาจช่วยได้คายน การรักษาจะคายนผลเพียงคายนแล้วแต่ระยะเวลาและความรุนแรงของอาการ บางรายที่เป็นรุนแรงแม้จะวินิจฉัยพบและทำการรักษาตั้งแต่เริ่มแรกอาจใช้เวลารักษาคายนนานเป็นแรมปีและอาจยังคงมีความพิการได้

การป้องกันเป็นเรื่องยากหากการใช้สารปรอทยังปราศจากมาตรการควบคุมและป้องกันอย่างจริงจัง โดยเฉพาะอันตรายจากพิษปรอทที่เกิดแก่ผู้รู้เท่าไม่ถึงการณ์ จำเป็นจะต้องเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในแง่ต่าง ๆ โดยเฉพาะพิษภัยจากการใช้ประโยชน์จากปรอทให้ประชาชนทั่วไปทราบ

1.5.7 ประโยชน์ของซีลีเนียมและสารประกอบของซีลีเนียม (7)

ในปี ค.ศ. 1873 willoughby Smith พบว่า ซีลีเนียมมีคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ จึงมีประโยชน์ในการทำเครื่อง เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้า (photoelectric cells) เครื่องกลบกระแสไฟฟ้า (rectifiers) หมอเก่าเบ็คไฟฟ้าใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar batteries) กล้องโทรทรรศน์ นอกจากนี้ซีลีเนียมยังมีประโยชน์มากในการใช้เป็นตัวพอกสีแก้วและเครื่องกระเบื้อง แคดเมียมซีลีไนด์ (cadmium selenide) เป็นผงสีสีแดงที่นำไปใช้ในหลอดไฟท้ายรถ ไฟจราจร เครื่องกระเบื้องดินเผาภาชนะเคลือบและตัวฉนวนบนขวด ซีลีเนียมและสารประกอบของซีลีเนียมถูกนำไปใช้ผสมกับกำมะถันในการทำยาง (vulcanizing agent) เป็นตัวเติมออกซิเจน (oxidizing agent) ในการเตรียมไนอะซิน (niacin) และคอร์ติโซน (cortisone) ใช้เป็นตัวป้องกันการเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจน

(anti-oxidant) ในน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันอื่น ๆ เป็นตัวให้น้ำตาลแก่ในการพิมพ์ภาพ เป็นตัวเพิ่มเงาประกายในการชุบทองแดง ใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำยาขจัดสี กาวและน้ำมันเคลือบเงา ใช้ประโยชน์จากความเป็นพิษในการทำเป็นยาฆ่าแมลงและยาฆ่าเชื้อรา เช่น ในรูปของโซเดียมซีลีไนท์ (sodium selenite) ใช้เป็นยากำจัดรังแค ใช้ซีลีเนียมออกซีคลอไรด์ (selenium oxychloride) เป็นส่วนผสมในการผลิตพลาสติก เป็นต้น

1.5.8 การเปราะเปื้อนและอันตรายเนื่องจากซีลีเนียม

คงได้กล่าวแล้วว่า ซีลีเนียมส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่ทองแดง การเปราะเปื้อนซีลีเนียมในสิ่งแวดล้อมในโรงงานถลุงโลหะทองแดง จึงมีโอกาสมันไปไ้มาก และปรากฏว่า นายแพทย์ Hamilton (29) ได้พบว่า คนงานในโรงถลุงโลหะทองแดงในสหรัฐอเมริกาเกิดอาการพิษเรื้อรังของซีลีเนียมขึ้น

ในปี ค.ศ. 1947 Buchan (30) รายงานว่า ในโรงงานอุตสาหกรรมการพิมพ์ ซึ่งมีการใช้ซีลีเนียมในรูปของกรด มีซีลีเนียมฟุ้งกระจายปะปนอยู่ในอากาศโดยมีปริมาณประมาณ 0.662 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือ 0.2 ส่วนในล้านส่วน และในบางช่วงของเวลาอาจพบปริมาณสูงถึง 1-5 ไมโครกรัมต่อลิตร

มีรายงานเมื่อปี ค.ศ. 1937 (31) ว่า ในมลรัฐดาโกต้าใต้ (South Dakota) เกิดโรค "Alkali disease" และ "Blind staggers" กับสัตว์พวกวัวควาย เนื่องจากความเป็นพิษของซีลีเนียมที่มีในพืชที่สัตว์เหล่านั้นบริโภค Rosenfeld และ Beath (10) รายงานไว้ว่า ปริมาณซีลีเนียมในน้ำดื่มมากกว่า 2,000 ไมโครกรัมต่อลิตร อาจทำให้เกิดผลร้ายต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้ดังเช่น ครอบครัวยุโรปหนึ่งในประเทศอินเดีย ได้ใช้น้ำที่มีปริมาณซีลีเนียมสูงถึง 9,000 ไมโครกรัมต่อลิตรในการบริโภคทำให้เกิดมีอาการเป็นพิษขึ้น



ที่มดรัฐโอเรกอน (Oregon) Hadjimarkos (32) ตรวจสอบในเด็ก
พบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีลีเนียมที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายกับการเกิดโรค
แมงกานีส

1.5.9 ความสำคัญของซีลีเนียมต่อสิ่งมีชีวิต

ซีลีเนียมเป็นธาตุที่มีอยู่ในปริมาณต่ำที่สุดและเป็นพิษมากที่สุดในการขาดธาตุ
ที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต Schroeder และคณะ (7) ได้ทำการทดลองกับสัตว์หลายชนิด
พบว่า ซีลีเนียมมีความเข้มข้นสูงสุดในไตโดยมีประมาณ 3 เท่าของอวัยวะอื่น
สำหรับคนพบว่า ในไตมีความเข้มข้นของซีลีเนียมสูงสุดเช่นกัน รองลงมา ได้แก่
ตับ ม้าม หัวใจ ลำไส้เล็กและสมอง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่า ซีลีเนียมคงอยู่ใน
เนื้อเยื่อในรูปของสารประกอบอินทรีย์มากกว่าสารประกอบอนินทรีย์

สัตว์เกิดใหม่ถ้าขาดซีลีเนียมจะเกิดอาการของโรคต่าง ๆ เช่น white
muscle disease ซึ่งเกิดกับกล้ามเนื้อเรียบของลูกวัว ลูกแกะ ลูกม้าและกระต่าย
โรค Liver necrosis ในหนู โรค Exudative diathesis ในนก
Underwood (33) กล่าวว่า การเกิดโรคอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- โรคที่เกิดเนื่องจากการขาดแค็วิตามินอี เช่น Encephalomalacia
ในลูกนก ลูกเป็ด ลูกไก่ sterility ในหนู
- โรคที่เกิดเนื่องจากการขาดวิตามินอีและซีลีเนียม เช่น Liver
necrosis ในหนูและหนู Exudative diathesis ในนก
และ Muscular dystrophy ในสัตว์ต่าง ๆ
- โรคเนื่องจากการขาดซีลีเนียมอย่างเดียว ได้แก่ การเจริญเติบโตช้า
และไม่สมบูรณ์ของหนู ลูกนก ลูกเป็ด ลูกไก่ และสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ซีลีเนียมปริมาณน้อยมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต
และการทำงานอย่างปกติของกล้ามเนื้อและตับ แต่ยังไม่มียารายงานหรือหลักฐานว่า
คนเป็นโรคขาดธาตุนี้แต่อย่างใด อีกประการหนึ่งคือ การเพิ่มธาตุซีลีเนียมให้กับสัตว์

จะต้องพิจารณาให้เหมาะสมเพราะเป็นสารมีพิษ ถ้าได้รับมากเกินไปก็จะเกิดอันตรายได้เช่นกัน และคนอาจได้รับอันตรายจากการบริโภคเนื้อสัตว์ด้วย

1.5.10 ความเป็นพิษของซีลีเนียม

สารประกอบของซีลีเนียมที่เป็นพิษมีเช่น ซีลีเนียมแอนไฮไดรด์ หรือ ไฮโดรเจนซีลีไนด์ (selenium anhydride or hydrogen selenide, SeH_2) ซีลีเนียมไดออกไซด์ (selenium dioxide, SeO_2) และกรดซีลีนิก (selenic acid, H_2SeO_3) เป็นต้น Duvoir และคณะ (34) เคยอธิบายไว้ว่า อาการเป็นพิษเกิดขึ้นเนื่องจากพิษของซีลีไนท์ไอออน (selenite ion) โดยตรง

ความเป็นพิษของซีลีเนียมในทางอุตสาหกรรมเป็นที่ยอมรับกันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1917 และในปี ค.ศ. 1934 เป็นที่รู้จักว่า ซีลีเนียมเป็นต้นเหตุของโรค Blind staggers และ Alkali disease อาการของโรค Blind staggers คือ เคนโซเซ ปวดท้อง เป็นอัมพาตและตายในที่สุด เนื่องจากระบบหายใจหยุดทำงาน ส่วนโรค Alkali disease นั้น จะมีอาการชุ่มผอม ซากความกระปรี้กระเปร่า ขนที่คอกและหางร่วง และกีบเท้าแตก (4) อันที่จริงมีผู้รายงานถึงมาและวัวที่มีอาการคล้ายกับโรคเหล่านี้มานานแล้วตั้งแต่ศตวรรษที่ 16 เช่นในโคลัมเบียเมื่อปี ค.ศ. 1560 ในเม็กซิโกเมื่อปี ค.ศ. 1760 แต่ผู้ที่เขียนบรรยายถึงความ เป็นพิษเรื้อรังของซีลีเนียมคนแรกอาจเป็น Marco Polo

อาการเป็นพิษเนื่องจากซีลีเนียมในคนจะมีลักษณะต่าง ๆ ดังได้แก่ ฟันเสียและเปลี่ยนสี สีผิวออกเหลืองและพุพอง ขนออกเสบริ่ง เล็บเปราะ การผิดปกติของกระเพาะอาหารและลำไส้ ทับและมามถูกทำลาย โลหิตจาง ในบางกรณี อาจเกิดอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ผอมบางและเล็บหลุด สำหรับในสัตว์จะมีอาการอ่อนเพลีย การมองเห็นเสื่อมลง เบื่ออาหาร ปวดขัดตามข้อ อัมพาต ระบบหายใจผิดปกติ การตกเลือดในช่องท้อง เนื้อเยื่อตับถูกทำลายเกิด Liver necrosis หรืออาจเกิดโรคคัมแข็ง เลือดจาง ขนร่วง อาจเป็นเพราะซีลีเนียมสามารถแทนที่กำมะถันในเคราติน (keratin) ได้ จึงเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในเส้นผม ขน เล็บ และกีบเท้าสัตว์ได้ (7) พิษของซีลีเนียมอย่างรุนแรงจะมีผล

คือระบบประสาทส่วนกลางซึ่งทำให้มีอาการเหมือนเป็นโรคเส้นประสาท ประสาท-
อ่อน เซื่องซึม บางที่อาจเกิดอาการสั่นและชัก (35)

1.5.11 ซีลีเนียมกับโรคมะเร็ง

ในปี ค.ศ. 1958 Food and Drug administration รวม
ซีลีเนียมไว้ในรายชื่อของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้โดยได้รวบรวมข้อมูลและ
หลักฐานจากงานและการทดลองมากมาย การทดลองส่วนใหญ่ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน
ใช้หนูและกระต่ายเป็นสัตว์ทดลอง ดังเช่นการทดลองของ Tsuzuki และคณะ (36)
ซึ่งให้หนูและกระต่ายสัมผัสกับไอและละอองของซีลีเนียม ปรากฏว่า เกิดเนื้องอก
ชนิดที่คอแต่ไม่แพร่กระจายไปสู่ส่วนอื่น ๆ Tschertes และคณะ (37) ได้ยั้งหนู
ด้วยอาหารประจำวันที่มีซีลีเนียมอยู่ในรูปของซีลีเนต (selenate) 4.3 ส่วน
ในล้านส่วน พบว่าในหนู 23 ตัวที่มีชีวิตอยู่ได้นานถึง 18 เดือนหรือกว่านั้น
มี 3 ตัวเป็นมะเร็งในตับ 4 ตัวเกิดเนื้องอกชนิดร้าย 3 ตัวเกิดเนื้องอกธรรมดา
และอีก 4 ตัวมีร่องรอยของโรคที่จะเกิด ก่อนเป็นมะเร็งเนื้อร้าย Schroeder
และคณะ (7) ทดลองให้อาหารที่มีซีลีเนต 3 ส่วนในล้านส่วนกับหนูเช่นกัน
และหลังจาก 18 เดือนผลปรากฏว่า เกิดเนื้องอกในหนูตัวผู้ร้อยละ 38 ในหนูตัวเมีย
ร้อยละ 75 และกลายเป็นเนื้อร้ายในหนูตัวผู้ร้อยละ 14 และร้อยละ 52 ในหนู
ตัวเมีย

แต่ในอีกทางหนึ่งพบว่า ซีลีเนียมอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อร้าย
ได้เหมือนกัน เช่น ซีลีโนซิสทีน (selenocystine) ช่วยยับยั้งการขยายตัวของ
เนื้องอกและเซลมะเร็งในเม็คเลือดในหนูได้ (38, 39) 6-ซีลีโนพิวรีน
(6-selenopurine) ซึ่งคล้ายกับ 6-mercaptapurine อันจัดเป็นตัวต่อต้าน
เนื้องอก) มีผลต่อมะเร็งในเม็คเลือด (40) และในน้ำเหลืองของหนู (41) เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า ซีลีเนียมอาจเปรียบได้กับรังสีนั่นเองคือ ทั้งสามารถก่อให้เกิด
เกิดเนื้องอกได้และใช้ในการรักษาเนื้อร้ายก็ได้

1.5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทและซีลีเนียมในสิ่งมีชีวิต

ซีลีเนียมและปรอทเป็นธาตุปริมาณน้อยที่สำคัญและเป็นที่น่าสนใจมาก ในอันที่จะศึกษาให้กว้างขวางยิ่งขึ้นเกี่ยวกับความรู้ในแง่ต่าง ๆ ของธาตุทั้งสอง ธาตุทั้งสองมีแนวโน้มว่าจะเกี่ยวข้องกับกำมะถันในโปรตีน จึงมีเหตุผลที่จะคาดได้ว่า อาจจะพบซีลีเนียมและปรอทอยู่ด้วยกันที่นั่น เนื่องจากเป็นไปได้ที่จะมีความสัมพันธ์หรือแลกเปลี่ยนที่ซึ่งกันและกัน ผลการวิเคราะห์ปลาทูนา (tuna) ของ Ganther และคณะ (42) และการวิเคราะห์สัตว์ทะเลที่เลี้ยงลูกด้วยนม อย่างแมวน้ำและปลาวาฬของ Koeman และคณะ (43) แสดงให้เห็นว่าปริมาณปรอทและซีลีเนียมในธรรมชาติมีความเกี่ยวพันกันอยู่ การทดลองกับกลุ่มคนของ Kosta และคณะ (44) และของ Cigna Rossi และคณะ (45) ได้ผลทำนองเดียวกัน คือ พบว่าซีลีเนียมจะคงอยู่ในร่างกายในสัดส่วนที่สูงขึ้นเมื่อปรอทมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการเชื่อมกันของทั้งปรอทและซีลีเนียมกับกำมะถันในโปรตีน แต่อย่างไรก็ตาม Cigna Rossi พบว่า เมตาโบลิซึม (metabolism) ของปรอทในร่างกายคนต่างกับของซีลีเนียม และการสะสมซีลีเนียมในอวัยวะภายนอกบางอย่างเช่น ผมไม่เกี่ยวข้องกับการได้รับปรอท สำหรับอิทธิพลในเชิงบวกของการสะสมของซีลีเนียมในสัตว์เนื่องจากปรอทรูปต่าง ๆ มีรายงานไว้เช่นกันโดย Parizek และคณะ (46, 47) จากการศึกษาเหล่านี้ ดูเหมือนว่าอิทธิพลดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ไม่ว่าปรอทจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ และไม่ว่าจะได้รับซีลีเนียมจากอาหารประจำวันมากน้อยเท่าใดก็ตาม

นอกจากนี้ Parizek และคณะ ยังได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการที่จะใช้ซีลีเนียมในทางการแพทย์เพื่อต้านหรือยับยั้งพิษของปรอท โดยได้ทำการทดลองกับหนู (46, 47) ให้เห็นว่า สารประกอบของซีลีเนียมมีผลต่อความเป็นพิษของปรอทและสารประกอบของปรอททั้งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ การศึกษาทดลองกับนกคุ้มในญี่ปุ่นของ Stoewsand และคณะ (48) ได้ผลเช่นเดียวกัน โดยพบว่าการเพิ่มซีลีเนียมในอาหารประจำวันสามารถลดความเป็นพิษของปรอทได้



1.5.13 กรรมวิธีวิเคราะห์ปริมาณของปรอทและซีลีเนียมโดยเทคนิค-
ของนิวตรอนแอคทีเวชัน

1.5.13.1 การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคทีเวชันที่ใช้เฉพาะ
เครื่องมือวัดรังสี (Instrumental neutron activation analysis: INAA)

Dutov และคณะ (49) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณซีลีเนียมในตะกอนหิน
โดยนำตัวอย่างเข้าอบรังสีนิวตรอน ซึ่งได้จากต้นกำเนิดพอโลเนียม-เบอริลเลียม
(Po-Be source) ขนาดความเข้ม 2×10^4 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
เป็นเวลา 55 วินาที แล้วนำไปวัดรังสีแกมมาของซีลีเนียม-77 เอ็ม ผลที่ได้มี
ความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1.5

ในปี ค.ศ. 1974 Guinn และ Kishore (50) ได้รายงานผลการ
วิเคราะห์ปริมาณปรอทและซีลีเนียมในตัวอย่างต่าง ๆ จากทะเล เช่น สาหร่ายทะเล
และปลาพันธุ์ต่าง ๆ โดยนำสารตัวอย่างประมาณ 1-2 กรัม เข้าอบรังสีนิวตรอน
ขนาดความเข้ม 0.7×10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เป็นเวลา
6 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดความแรงรังสีของปรอท-197 และซีลีเนียม-75 ด้วยตัววัด
เจอร์เมเนียม-ลิเทียม (Ge(Li)) ขนาด 36 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งต่อกับ
เครื่องมือวัดรังสีแบบหลายช่องชนิด 4096 ช่อง (multichannel analyzer)
ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้สำหรับปรอทและซีลีเนียมคือ 0.01 และ 0.2 ส่วนในล้านส่วน
ตามลำดับ

Litman และคณะ (28) รายงานไว้เมื่อปี 1975 ถึงการวิเคราะห์ปรอท
ในตัวอย่างตะกอนปลาและหอยว่า จากการนำตัวอย่างไปอบรังสีนิวตรอนขนาดความ
เข้ม 1×10^{14} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที แล้ววัดรังสีด้วยตัววัด
โซลิด-สเตทชนิดบาง (thin solid-state detector) พบว่า ถ้าไม่มีเรดิโอ-
ไอโซโทป (radioisotope) ของธาตุตัวอื่น ๆ มารบกวนแล้ว จะสามารถวิเคราะห์
ปรอทที่มีปริมาณต่ำกว่า 0.3 นาโนกรัมได้

ในปี ค.ศ. 1978 McKown และ Morris (51) รายงานการวิเคราะห์ซีลีเนียมในตัวอย่างต่าง ๆ ทางชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับการแพทย์ไว้ว่า จากตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ทำให้แห้งโดยการเยือกแข็ง (lyophilization) แล้วไปอบรังสีนิวตรอนขนาดความเข้มประมาณ 1×10^{14} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีเป็นเวลา 5 วินาที แล้ววัดรังสีของซีลีเนียม-77 เอ็ม ซึ่งมีครึ่งชีวิต (half-life) 17 วินาที ด้วยหัววัดเจอร์เมเนียม-ลิเทียม ขนาด 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะสามารถวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมได้ จากการทดสอบความเชื่อถือได้ของกรรมวิธีวิเคราะห์นี้ โดยการวิเคราะห์สารเปรียบเทียบมาตรฐาน (standard reference material) Bovine Liver พบว่า ได้ผลถูกต้องและความแม่นยำดีเยี่ยม

ปีต่อมา Hirai (52) ทำการวิเคราะห์ซีลีเนียมและเทลลูเรียมในตะกอนดินก้นทะเล ที่เก็บจากบริเวณรอบ ๆ ปล่องภูเขาไฟแห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น โดยนำสารตัวอย่างเข้าอบรังสีนิวตรอนที่มีความเข้ม 1×10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที วัดความแรงรังสีของซีลีเนียม-79 เอ็ม และเทลลูเรียม-131 พร้อมกันในเวลา 200 วินาที ด้วยหัววัดเจอร์เมเนียม-ลิเทียมที่ต่อกับเครื่องวัดรังสีแบบหลายช่อง

ปี ค.ศ. 1980 Faanhof และ Das (53) รายงานการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยรวมทั้งปรอทในใบยาสูบ โดยนำตัวอย่าง 300 มิลลิกรัมเข้าอบรังสีนิวตรอนที่มีความเข้มประมาณ 5×10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีเป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง จึงทำการวัดความแรงรังสี โดยวิธีดังกล่าวนี้ สามารถวิเคราะห์ปรอทปริมาณในระดับ 50 ส่วนในพันล้านส่วนได้

และในปี ค.ศ. 1981 Lin (54) ทำการวิเคราะห์ปรอทในพืชชนิดต่าง ๆ ในบริเวณรอบโรงงานผลิตพลาสติก ตัวอย่างพืชที่ใช้จะทำให้แห้งก่อนนำไปอบรังสีแล้วนำมาวัดความแรงรังสีของปรอท-203 ด้วยหัววัด

เจอร์เมเนียม-ลิเทียม ที่ต่อกับเครื่องวัดรังสีแบบหลายช่องชนิด 4096 ของ
ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า พบปรอทในช่วงตั้งแต่ 3.6×10^{-3} -11.508
ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม

1.5.13.2 การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชันที่ต้องอาศัย

กรรมวิธีทางเคมี (Radiochemical neutron activation analysis)
เนื่องจากปรอทและซีลีเนียมในสารตัวอย่างโดยทั่วไปมีอยู่ในปริมาณน้อย และบางครั้ง
ไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีวิเคราะห์ตาม 1.5.13.1 ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะพบว่า
มีการรบกวนจากเรดิโอไอโซโทปของธาตุตัวอื่น ๆ มาก จึงนิยมใช้วิธีทางเคมี
เข้าประกอบการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน เพื่อแยกหรือทำให้ปรอทและ
ซีลีเนียมบริสุทธิ์หรือเข้มข้น แล้วจึงทำการวัดรังสีและคำนวณหาปริมาณปรอท
และซีลีเนียมในสารตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์แบบนี้เป็นที่นิยมมากกว่าและมีผู้ทำการ
ศึกษาค้นคว้าไว้มากมายหลายวิธี อาทิเช่น

ในปี ค.ศ. 1972 Bader และ Hedrich (55) ทำการวิเคราะห์ปริมาณ
ของปรอทในตัวอย่างต่าง ๆ เช่น ไขมัน ปลาและมันฝรั่ง โดยอาศัย
เทคนิคการสกัด (solvent extraction) กล่าวคือ เมื่อนำสารตัวอย่างไปอบ
รังสีนิวตรอนแล้วนำมาทำลายด้วยกรด จากนั้นแยกสกัดปรอทโดยใช้สารละลาย
ไดไทโซน (dithizone) ในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride)
แล้วสกัดกลับ (back extraction) ด้วยกรดเกลือ นำชั้นกรดเกลือมาวัดรังสี
แกมมาของปรอท-197 โดยวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปรอทได้ต่ำขนาด 0.05 ส่วน
ในล้านส่วน

De Goeij และคณะ (56) ได้รายงานไว้เมื่อปี 1974 เกี่ยวกับการ
ศึกษาหาธาตุปริมาณน้อยในตัวอย่างปลาและตะกอนดินจากทะเล วิธีทางเคมีหลังจาก
การอบรังสีนิวตรอนประกอบด้วยการทำละลายด้วยกรดกำมะถันและไฮโดรเจน-
เปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) จากนั้นอาศัยการกลั่นในกรดไฮโดรโบรมิก
(hydrobromic acid) แยกปรอทซีลีเนียม สารหนูและพลวงออกมาในรูปของ
สารประกอบโบรไมด์ นำไปวัดความเข้มรังสีด้วยตัววัดเจอร์เมเนียม-ลิเทียม

ในปีเดียวกันนี้ Byrne และ Kosta (57) ทำการวิเคราะห์ปริมาณปรอทและซีลีเนียมในตัวอย่างชีวภาพพร้อมกันได้ โดยนำสารตัวอย่างมาเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของกาซออกซิเจน ปรอทและซีลีเนียมจะระเหยเป็นไอได้หมด จับไอของธาตุทั้งสองด้วยกระดาษที่ชุบซีลีเนียม นำไปวัดรังสีแกมมาของปรอท-197 และซีลีเนียม-75

ในปี ค.ศ. 1976 Masse และคณะ (58) รายงานการวิเคราะห์ซีลีเนียมในตัวอย่างนำจากสิ่งแวดล้อมโดยกรรมวิธีแยกซีลีเนียมก่อนนำไปอบรังสีนิวตรอน (pre-irradiation technique) เริ่มด้วยการทำรีดักชัน (reduction) ซีลีเนียมในน้ำให้ม้ออกซิเดชัน สเทท (oxidation state) เป็นศูนย์กลางกรดแอสคอร์บิกและกรดแอสคอร์บิก (1-ascorbic acid) จากนั้นผ่านสารละลายลงบนผงถ่าน (active charcoal) ซึ่งจะดูดจับซีลีเนียมไว้ นำผงถ่านไปอบรังสีนิวตรอนแล้วจึงทำการวัดรังสีแกมมาของซีลีเนียม-75 ด้วยหัววัดเจอร์เมเนียม-ลิเทียม

ในปี ค.ศ. 1977 Faanhof และ Das (59) ประยุกต์ใช้การย่อยทำลายระบบปิด (Closed destruction system) ในการวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในตัวอย่างต่าง ๆ เช่น แป้ง น้ำตาล กระจกกรอง ยาสูบ เลือดและน้ำมันที่ใช้ในการบริโภค เป็นต้น วิธีแรกคือ Closed quartz tube technique ซึ่งเป็นวิธีย่อยทำลายแบบเปียกและเหมาะสำหรับสารตัวอย่างที่มีอยู่จำนวนน้อย โดยทำให้ตัวอย่างในส่วนผสมของกรดกำมะถันและกรดคินประสิ่วเข้มข้นประมาณ 2 มิลลิลิตรร้อนถึง 140-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5-2 ชั่วโมง วิธีที่สองคือ การทำลายใน Teflon-lined stainless-steel bomb ซึ่งเหมาะสมมากที่สุดสำหรับตัวอย่างปริมาณมาก โดยใช้สารตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ทอส่วนผสมของกรดกำมะถันและกรดคินประสิ่วเข้มข้น 10 มิลลิลิตร และทำให้ร้อนถึง 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1.5-5 ชั่วโมง การตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์โดยไซปรอท -203 พบว่า ได้น้อยละ 99 ± 2.5 สำหรับ Closed quartz tube technique และร้อยละ 97 ± 2 สำหรับ Teflon-lined stainless-steel bomb

Lo และคณะ (60) วิเคราะห์ปรอทปริมาณน้อยในปัสสาวะคน โดยอาศัยวิธีตกตะกอนอะมัลกัมแบบง่าย ๆ จากตัวอย่างของคนงานผลิตเซลล์แสงสารละลายด้วยไฟฟ้าที่ไซปรอสเป็นส่วนประกอบ ผลปรากฏว่า พบปรอทในตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 33-600 ส่วนในพันล้านส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของแต่ละคน

ในปี ค.ศ. 1978 Gallorini และคณะ (61) ใช้ไฮดรอกไซด์แมงกานีสไดออกไซด์ (Hydrated manganese dioxide:HMD) ซึ่งเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนชนิดอนินทรีย์ในการแยกสารหนู พลวง และซีลีเนียมออกจากตัวอย่างสิ่งแวดล้อมชนิดต่าง ๆ หลังจากอาบรังสีนิวตรอนและทำลายด้วยกรดแล้ว นำ HMD ไปวัดความแรงรังสีด้วยหัววัดเจอร์เมเนียม-ลิเทียม

ปี ค.ศ. 1976 May และ Piccot (62) รายงานการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยที่เป็นพิษ ได้แก่ สารหนู แคดเมียม ปรอท พลวง และซีลีเนียมในโปรตีนสังเคราะห์ โดยนำสารตัวอย่างเข้าอาบรังสีนิวตรอนขนาดความเข้ม 5×10^{13} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นใช้สารละลายผสมซัลโฟไนตริก (sulfonitric mixture) แยกสารหนูและพลวงออกมาในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ แยกแคดเมียมออกโดยใช้ Dowex 2, x 8 ion exchange resin ปรอทจะถูกจับอยู่บนเรซิน (resin) และซีลีเนียมถูกแยกออกได้โดยใช้กรดเกลือ หลังจากให้ซีลีเนียมทำปฏิกิริยากับ sodium-diethyl dithio carbamate แล้วแยกสารประกอบเชิงซ้อนของซีลีเนียมที่ได้ด้วยการสกัดด้วยคาร์บอนเตตราคลอไรด์ วิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนานี้ได้ทำการตรวจสอบความเชื่อถือได้โดยการทดสอบกับสารมาตรฐาน Bovine Liver ของ NBS และได้ผลสอดคล้องกับที่รายงานไว้

Rosenberg (63) วิเคราะห์สารหนู ซีลีเนียมและพลวงในตัวอย่างชีวภาพโดยอาศัยการกลั่นตามด้วยการตกตะกอนของแต่ละธาตุ ซีลีเนียมและสารหนูตกตะกอนโดยการทำรีดักชันให้อยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์ ส่วนพลวงตกตะกอนในรูปของซัลไฟด์ ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้สารตัวอย่าง 0.5 กรัม สำหรับสารหนู ซีลีเนียมและพลวง

มีการย่อยละ 90-100, 80-100 และ 50-70 ตามลำดับ ส่วนค่าค่าสุดที่วิเคราะห์ได้ สำหรับสารหนู ซีดี เนียมและพลวง มีค่า 0.4, 8 และ 0.2 ส่วนในพันล้านส่วน ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 1980 Noda และคณะ (64) ทำการศึกษาซีดี เนียม ในเครื่องบริโกลโคโดยนำตัวอย่างที่มีซีดี เนียมปริมาณน้อยกว่า 0.05 ส่วนในล้านส่วน รวมทั้งอาหารสำเร็จรูปที่มีปริมาณเกลือสูง เข้าอบรังสีนิวตรอนความเข้ม 4×10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วทำการย่อยทำลาย ด้วยสารละลายผสมของกรดกำมะถันและกรดเปอร์คลอริก ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$) และทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตกตะกอน จากการทดลองพบว่า เครื่องบริโกลโคที่ทำจาก เนื้อสัตว์มีซีดี เนียมอยู่มากกว่าที่มาจากพืชโดยมีปริมาณลดลงตามลำดับดังนี้ คือ ปลา เนื้อสัตว์ ขาว ผักและผลไม้ Valentini และคณะ (65) อาศัยวิธี ทางเคมีแยกทองแดง แคดเมียมและปรอท ปริมาณน้อยจากตัวอย่างทางชีวภาพ และตัวอย่างทางธรณีวิทยาหลังจากการอบรังสีนิวตรอน หลักการสำคัญที่ใช้คือ การดูดซับโดยไอสารที่เหมาะสมและเทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออน ชีตจำกัด ของการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง แคดเมียมและปรอทมีค่าเท่ากับ 50, 20 และ 5 นาโนกรัม ตามลำดับ

อัจฉรา เศรษฐนันท์ (66) รายงานไว้เมื่อปี พ.ศ. 2523 ถึงการ วิเคราะห์ปริมาณของปรอทและซีดี เนียมพร้อมกันในปลาทะเลบางชนิดในอ่าวไทย โดยใช้เทคนิคของการเผาทำลายแยกปรอทและซีดี เนียมออกจากสารตัวอย่าง ที่อบรังสีนิวตรอนแล้ว และวัดความแรงรังสีแกมมาของปรอท-197 และ ซีดี เนียม-75 ชีตจำกัดของการวิเคราะห์นี้ มีค่า 0.0001 และ 0.0009 ไมโครกรัม สำหรับปรอทและซีดี เนียม ตามลำดับ