หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ธาตุโลหะบางชนิดจัดเป็นสารมลภาวะที่ให้พิษรุนแรงทั้งต่อสุขภาพมนุษย์ สัตว์ และเป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำคัญ ผลจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมและการเกษตร ได้ทำให้โลหะเข้ามาปะปนในสภาพแวดล้อมมากยิ่งขึ้น ทางที่สำคัญทางหนึ่งในการลดอันตรายจากโลหะเหล่านี้คือการลดปริมาณโลหะที่สะสมในพืช จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างพืชและโลหะ เช่น อาการผิดปกติที่เกิดกับพืช ระดับความเข้มข้นของโลหะที่เป็นอันตรายต่อพืช ความสามารถในการดูด การลำเลียง และการสะสมในพืช เป็นต้น ธาตุโลหะที่จัดว่าเป็นปัญหาอยู่มากในขณะนี้ ส่วนใหญ่เป็นพวกโลหะหนัก ซึ่งหมายถึงโลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัม/ลบ.ซม. (Stoker & Seager, 1976) เช่น ตะกั่ว โคบอลท์ ปรอท แคดเมียม สังกะสี นิกเกิล โครเมียม มังกะนีส ทองแดง ซีเซียม รูบีเดียม เป็นต้น

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้จึงได้เลือกศึกษาอิทธิพลของธาตุโลหะเหล่านี้บางชนิดได้แก่ แคดเมียม นิกเกิล โคบอลท์ และโครเมียม ซึ่งเป็นโลหะหนัก รวมทั้งสตรอนเทียมซึ่งเป็นโลหะเบาชนิดหนึ่ง ในพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดขาวกวางตุ้ง ผักกาดเขียวกวางตุ้ง ผักบุ้งจีน และผักกาดหอม สำหรับโครเมียม ในการทดลองครั้งนี้ เลือกใช้ Cr III ซึ่งเป็นรูปที่พบมากในดิน (Proctor, 1971)

วัตถุประสงค์ของการศึกษามีดังนี้

1. ศึกษาลักษณะการตอบสนองของพืชเหล่านี้ต่อธาตุโลหะต่าง ๆ ที่ได้รับทั้งในปริมาณน้อย ปานกลาง และปริมาณมาก

2. เพื่อหาว่าพืชแต่ละชนิดสามารถทนทานต่อธาตุโลหะต่าง ๆ ได้มากที่สุดที่ระดับความเข้มข้นเท่าใด

การตรวจเอกสาร

แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีอันตรายร้ายแรง มีพิษสะสมในคนทำให้เป็นโรคกระดูกผุที่เรียกว่า "อิไต อิไต" ในญี่ปุ่น (Ito & Iimura, 1976) โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดของหัวใจ (Carroll, 1966) โรคความดันสูง (Schroeder, 1965) โรคถุงลมโป่งพอง โรคหลอดลมอักเสบ (Lewis et al., 1969)และโรคไต (Friberg et al., 1971)

ในธรรมชาติ แคดเมียมปะปนอยู่กับแร่สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ในดินบริเวณใกล้โรงงานถลุงสังกะสีจึงพบแคดเมียมปะปนอยู่มากกว่า 1700 ppm (Buchauer, 1973) ในดินบริเวณใกล้โรงงานแบตเตอรี่พบแคดเมียมสูงถึง 95 ppm (John et al., 1972 a) นอกจากนี้ยังได้จากการสึกกร่อนของยางรถยนต์ (Lagerwerff & Specht, 1970) การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น (Lagerwerff, 1971) จากปุ๋ยฟอสเฟต (Williams & David, 1976) จากยาฆ่าราทางใบในรูปของ cadmium succinate และ cadmium carbonate (Thomson,1976)จาก sewage sludge (Jones et al., 1973) และจากควันบุหรี่ (Stoker & Seager, 1976)

พืชที่มีโอกาสสะสมแคดเมียมทั้งจากดิน น้ำ และอากาศ เพราะแคดเมียมเข้าสู่พืชได้ทั้งโดยทางราก (Lagerwerff & Specht, 1970; Lagerwerff, 1971; Haghiri, 1973; Iwai et al., 1975; Root et al.; 1975; Lee et al., 1976) ทางลำต้น (Lepp, 1975) และทางใบ (Lagerwerff, 1971; Haghiri, 1973)

ขบวนการที่พืชใช้ในการดูดและสะสมแคดเมียมนั้น ส่วนใหญ่เกิดโดย exchange adsorption (Cutler & Rains, 1974; Jarvis et al., 1976) diffusion (Cutler & Rains, 1974) และ active absorption (Ito & Iimura, 1976)

แคดเมียมเป็นโลหะที่เคลื่อนที่ได้ดีในพืช เมื่อเทียบกับทองแดง โครเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล (Pilegaard, 1978) จึงถูกลำเลียงจากรากไปยังส่วนต้นและใบอย่างสม่ำเสมอ ขบวนการลำเลียงแคดเมียมในพืชยังไม่ทราบรายละเอียดแน่นอน คาดว่าอาจไปตาม symplastic pathway (Cutler & Rains, 1974) หรือโดย transpiration stream (Reddy & Patrick, 1977)

แคดเมียมสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชได้มากน้อยต่างกัน ขึ้นกับชนิดพืช พืชส่วนใหญ่สะสมแคดเมียมไว้ในรากมากที่สุด (Jones et al., 1973; John & vanLaerhoven, 1976; Cutler & Rains, 1974; Iwai et al., 1975; Root et al, 1975; Ito & Iimura, 1976; jarvis et al., 1976; Wallace et al., 1977; Jarvis & Jones, 1978) พืชบางชนิดสะสมแคดเมียมไว้ในลำต้นมากกว่าส่วนอื่น ๆ (John, 1972, 1973; Haghiri, 1973; Reddy & Patrick, 1977 Pilegaard, 1978) พืชบางชนิดสะสมแคดเมียมไว้ในใบมากกว่าส่วนอื่น ๆ (Bingham et al, 1975) ส่วนในเมล็ดและผลมีการสะสมแคดเมียมน้อยที่สุด (Haghiri, 1973; Iwai et al., 1975; Pilegaard, 1978)

พืชที่ต่างพันธุ์กัน มีประสิทธิภาพในการสะสมแคดเมียมและทนทานต่อแคดเมียมได้ต่างกัน (Page et al., 1972; John, 1973; Bingham et al., 1975; John & van Laerhoven, 1976) พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้า เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม และสารอาหารมีจำกัด สะสมแคดเมียมได้มากกว่าพวกที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง (Jarvis & Jones, 1978) pH ต่ำ มีผลให้พืชดูดแคดเมียมได้มากขึ้น (Lagerwerff, 1971; Haghiri, 1974; Miller et al., 1976; Reddy & Patrick, 1977) แต่ Iwai et al. (1975) กลับพบว่า pH ไม่มีผลต่อการดูดแคดเมียม นอกจากนี้พืชยังดูดแคดเมียมได้มากขึ้นในที่มี cation exchange capacity ต่ำ (John et al., 1972; Jones et al., 1973; Haghiri, 1974; Miller et al., 1976) และที่มี redox potential สูง (Reddy & Patrick, 1977)

การสะสมแคดเมียมในพืชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในสารละลายรอบราก (John et al, 1972; Page et al., 1972; Haghiri, 1974; Bingham et al., 1975; Iwai et al., 1975; Miller et al., 1976) ปริมาณฟอสฟอรัส และสังกะสีในสารอาหารไม่มีผลต่อการดูดแคดเมียม แต่การเติมแคลเซียม เหล็ก ลดการดูดแคดเมียมได้ (Iwai et al., 1975) ซึ่งเป็นผลที่ตรงกันข้ามกับที่ Page et. al. (1972) และ Haghiri (1974) พบว่า สังกะสีทำให้พืชดูดแคดเมียมได้น้อยลง

อาการผิดปกติเนื่องจากแคดเมียมที่สังเกตเห็นได้ชัดเจน คือ เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง คล้ายอาการขาดธาตุเหล็ก พืชบางชนิดใบบางลง ขอบใบซีดขาว ปลายใบม้วน ใบแก่ล่าง ๆ อาจพบจุดสีน้ำตาลระหว่างเส้นใบ บางชนิดเส้นใบเป็นสีน้ำตาลแดงตลอดเส้นใบต้นเล็กแกร็นจนบางครั้งเห็นเป็นกระจุก การเจริญของรากลดลง บางชนิดรากเน่าเปื่อย (John et al., 1972; Haghiri, 1973; Bazzaz et al., 1974 b; Iwai et al., 1975; Root et al., 1975; Ito & Iimura, 1976; Lee et al., 1976; John & Laerhoven, 1976; Lamoreaux & Chaney 1977; Miller et al., 1976; Malone et al., 1978; Rauser, 1979.)

ความเป็นพิษของแคดเมียมเกิดจากแคดเมียมไปมีผลต่อเมตาโบลิซึมของพืช เช่น ขบวนการหายใจ โดยไปมีผลต่อการถ่ายทอดอิเล็กตรอนตรงตำแหน่ง cytochrome b complex (Miller et al., 1973) และยับยั้ง phosphorylation (Bittell et al., 1974)

แคดเมียมมีผลยับยั้งขบวนการสังเคราะห์แสง และขบวนการคายน้ำ ในทำนองเดียวกัน (Bazzaz et al., 1974 a, b) จึงเชื่อว่าแคดเมียมไปทำให้ปากใบปิด ต่อมา Lamoreaux & Chaney (1978) เสนอว่า แคดเมียมยับยั้งการสังเคราะห์แสง โดยทำให้ใบมี diffusive resistance ต่อการเคลื่อนย้ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเพิ่มขึ้น

แคดเมียมยังมีผลยับยั้งตรง photosystem II โดยยับยั้งตรงตำแหน่งที่จะให้ O_2 (Bazzaz & Govindjee, 1974) ลด noncyclic photophosphorylation ลดปริมาณคลอโรฟิลล์ คาโรตินอยด์ และทำให้โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ เช่น การจัดเรียงตัวของ lamella และ grana ผิดปกติ (Baszynki, 1980)

แคดเมียมทำให้เกิด senescence ได้เร็วขึ้น โดยไปเพิ่ม activity ของ hydrolytic enzyme เช่น malate dehydrogenase, acid phosphatase, ribonuclease, deoxyribonuclease และเพิ่ม activity ของ peroxidase (Lee et al., 1976)

แคดเมียมทำให้พืชได้รับธาตุบางธาตุน้อยลง เช่น ไนโตรเจน เหล็ก มังกะนีส สังกะสี แคลเซียม และทองแดง (Iwai et al., 1975; John, 1976; Wallace et al., 1977)

แคดเมียมทำให้จำนวนไซเลมน้อยลง และถูกอุดตันด้วย gum ทำให้พืชลำเลียงน้ำได้น้อยลง (Lamoreaux & Chaney, 1977)

<u>นิกเกิล และโคบอลท์</u>

เนื่องจากนิกเกิลและโคบอลท์ เป็น transition element เหมือนกัน จึงมักมีผู้ทำการศึกษาโลหะทั้งสองเปรียบเทียบกัน

นิกเกิลไม่จัดว่าเป็นธาตุจำเป็นของสิ่งมีชีวิต แต่โคบอลท์เป็นธาตุจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำบางชนิด เพราะเป็นส่วนประกอบของวิตามินบี 12 (Comhaire, 1967) ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ ในการสร้าง Leghaemoglobin ที่จำเป็นในขบวนการตรึงไนโตรเจน

นิกเกิลและโคบอลท์เข้ามาปะปนในสภาพแวดล้อม เพราะเป็นผลที่ได้จากโรงงานหลอมและชุบโลหะ โรงงานแล่นประสาน โรงงานแบตเตอรี่ (Lagerwerff & Specht, 1970) และปะปนในสีผสมอาหาร (Khanna et al., 1976) นอกจากนี้ นิกเกิลยัง

ได้จากการสึกกร่อนของยางรถยนต์ การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล (Lagerwerff & Specht, 1970) จาก sewage sludge (Berrow & Webber, 1972) และพบมากใน serpentine soil (Proctor, 1971)

อันตรายที่เกิดจากนิกเกิลคือ โรคผิวหนัง, การหายใจผิดปกติ และมะเร็ง (Lau et al., 1972, Sunderman, 1973) ส่วนอันตรายจากโคบอลท์ คือเม็ดเลือดแดงมากผิดปกติ หัวใจล้มเหลว และมะเร็งชนิดร้ายแรง (Heath 1954; Heath 1956; Gilman & Ruckerbauer, 1962)

นิกเกิลและโคบอลท์ เข้าสู่พืชได้ทั้งทางรากและทางใบ (Minami & Araki, 1975) นิกเกิลเคลื่อนที่ในพืชได้ดีพอควรรองจากแคดเมียม (Hara et al., 1976; Pilegaard 1978) ส่วนโคบอลท์สะสมอยู่ที่ราก (Hunter & Vergnano, 1952; Hara et al., 1976) และสะสมในเมล็ดได้มาก (Pilegaard, 1978)

นิกเกิลและโคบอลท์ ทำให้พืชเกิด chlorosis และ necrosis ได้เช่นเดียวกัน แต่อาจเกิดในลักษณะแตกต่างกัน เช่น ในพืชบางชนิด โคบอลท์ ทำให้เกิด inter-veinal chlorosis แต่นิกเกิลทำให้เกิด diffuse chlorosis (Hunter & Vergnano, 1953) แต่ในพืชบางชนิด นิกเกิลทำให้เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบมีสีซีดขาว ส่วนบริเวณใกล้เส้นใบเป็นสีเขียวเข้ม จึงทำให้เห็นเป็นแถบเขียว-ขาว สลับกันไป ดังนั้น necrosis ที่เกิดจึงเห็นเป็นแถบ ๆ (banding symptoms) (Crooke et al., 1954; Anderson et al., 1973; Iizuka, 1975; Hara et al., 1976) นอกจากนี้ chlorosis เนื่องจากนิกเกิลและโคบอลท์รุนแรงกว่าโครเมียม การเกิด chlorosis และ necrosis เนื่องจากโคบอลท์แสดงอาการช้ากว่า และใช้ความเข้มข้นสูงกว่านิกเกิล (Hunter & Vergnano, 1953; Hara et al., 1976) โคบอลท์ ทำให้ตามขอบของใบแก่เกิดจุดสีน้ำตาล (brown speckles) แต่นิกเกิลไม่ทำให้เกิด อาการรุนแรงที่เหมือนกันคือ ทำให้ต้นเล็กแกร็น ใบไม่คลี่ และรากเป็นสีน้ำตาล (Hara et al., 1976)

chlorosis ที่เกิดเนื่องจากนิกเกิลไม่สัมพันธ์กับปริมาณเหล็ก หรือนิกเกิลในพืช แต่สัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างนิกเกิล และเหล็กในพืช (Crooke, 1955)

ผลของนิกเกิลและโคบอลท์ต่อสรีรวิทยาของพืช พบว่า ทั้งนิกเกิลและโคบอลท์ ทำให้มีการสร้างรงควัตถุสีน้ำตาลแดงที่เส้นใบ ก้านใบ และลำต้น (Rauser, 1979) ทำให้มีการสร้าง callose สะสมใน sieve plate ของ phloem โดยเฉพาะบริเวณเส้นกลางใบ (Peterson & Rauser, 1979) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และโปรตีนลดลง (Agarwala et al., 1977) โลหะทั้งสองยังมีผลต่อเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตโดยนิกเกิลทำให้มีการสะสม sucrose และ reducing sugar แต่โคบอลท์ทำให้มีการสะสมแป้งและ non-reducing sugar (Agarwala et al., 1977; Samarakoon & Rauser 1979; Rauser 1979) นิกเกิลมีผลยับยั้งเอนไซม์หลายชนิด เช่น isocitrate dehydrogenase, malate dehydrogenase, nitrate reductase, glucose-6-phosphate dehydrogenase, peptidase และช่วยกระตุ้น activity ของ peroxidase, aldolase 1, 3-glycerophosphatase และ ribonuclease แต่โคบอลท์มีผลกระตุ้น activity ของ malate dehydrogenase, isocitrate dehydrogenase, peptidase และยับยั้ง nitrate reductase (De Kock et al., 1960; Agarwala et al., 1977) โคบอลท์ปริมาณสูง ๆ ยับยั้งการลำเลียงเหล็กไปสู่ต้นและลด activity ของ catalase ในใบอ่อน ซึ่งนิกเกิลไม่มีผลในแง่นี้ (Agarwala et al., 1977) นอกจากนี้ นิกเกิลยังมีผลต่อ ascorbic acid oxidase polyphenol oxidase, β-amylase และขบวนการหายใจ (Kastori et al., 1978) ยับยั้งการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำโดยไปมีผลต่อการทำงานของปากใบ เช่นเดียวกับแคดเมียม (Bazzaz et al., 1974 a)

โครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะที่อันตราย ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิค ทำให้ผิวหนังอักเสบ บวม คัน ลิ้น ฟัน เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ผนังกั้นในจมูกทะลุ ทำให้หูดเสียงอู้อี้ ดั้งจมูกแบนลง และเกิดมะเร็งที่ปอด โครเมียมในสิ่งแวดล้อมมาจากการนำโครเมียมมาใช้ในงานอุตสาหกรรมทำสี ทำพรมน้ำมัน ทำยาง ล้างและอัดรูป อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ใช้ผสมโลหะทำให้เกิดความเหนียวทนทาน ไม่เป็นสนิม ทนต่อการผุกร่อน เป็นต้น (วิกรม เสงคิสิริ และคณะ, 1978)

ในสภาพEh(oxidation - reduction potential)และ pH ปกติที่พบในดิน โครเมียมสามารถอยู่ได้ 4 รูป (Bartlett & Kimble, 1976) คือ

1. trivalent (Cr III) คือ Cr^{3+} cation และ CrO_2^- anion
2. hexavalent anion (Cr VI) คือ CrO_4^{2-} และ $Cr_2O_7^-$

ผลกระทบของโครเมียมจึงขึ้นกับสูตรทางเคมี ความสามารถในการละลายและวาเลนซี เช่น ในรูปของ $CrO_4^=$ และ Cr-trioxide เป็นอันตรายมากกว่าในรูปของโลหะหรือ trivalent (Bartlett & Kimble, 1976)

ในธรรมชาติ Cr VI ซึ่งละลายน้ำได้ดี หาได้ยากเพราะถูกรีดิวซ์เป็น Cr III ได้เมื่อดินมีอินทรีย์สารอยู่มาก และสภาพ pH ค่อนข้างต่ำ (Cary et al., 1977 b) ต่อมาพบว่า Cr III ก็ถูกออกซิไดส์เป็น Cr VI ได้ ถ้าดินนั้นมีออกซิไดส์ แมงกานีสเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Bartlett & James, 1979) ดังนั้น Cr III จะกลายเป็นสารมลภาวะตัวใหม่ได้เมื่อเปลี่ยนเป็น Cr VI ซึ่งอันตราย

ความสามารถที่พืชจะดูดเอาโครเมียมเข้าไปได้มากน้อย ขึ้นกับชนิดของพืช (Huffman & Allaway, 1973; Lahouti & Peterson; 1973; Cary et al., 1977 a) และขึ้นกับรูปของสารประกอบโครเมียม เช่น รากพืชดูดโครเมียมในรูป oxalate,

methionine, Cr EDTA ได้เช่นเดียวกับในรูป Cr III หรือ Cr VI แต่ดูดโครเมียมในรูปของ tartrate หรือ citrate ไม่ได้ (Cary et al., 1977 a)

รากพืชดูด Cr VI ได้ดีที่ pH 6 – 7 (Cary et al., 1977 a) แต่ดูด Cr III ได้ดีที่ pH 5 และดูดได้น้อยลงเมื่อ pH สูงขึ้น (Bartlett & Kimble, 1976) ถ้าสารละลายรอบรากมีโครเมียมสูงเกิน 50 ppm พืชดูดและลำเลียงโครเมียมได้มากขึ้น (Cary et al., 1977 a) Cr VI เข้าสู่พืชโดยผ่าน sulphate pathway แต่ Cr III เข้าสู่พืชโดยวิธี passive (Lahouti & Peterson, 1979) โครเมียมที่รากดูดเข้าไปนั้น ประมาณ 98 % ถูกสะสมที่ราก มีส่วนน้อยที่ถูกลำเลียงไปยังต้น (Hunter & Vergnano, 1953; Turner & Rust, 1971; Huffman & Allaway, 1973 b; Pilegaard, 1978; Lahouti & Peterson, 1979) ยกเว้นใน Leptospermum scoparium สามารถสะสมโครเมียมไว้ในต้นได้สูงถึง 20,000 ppm (Lyon et al., 1969) ดังนั้น ตัวพืชเองเป็นสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของโครเมียมจากดินที่จะเข้าสู่สัตว์และมนุษย์ สิ่งที่กีดขวางการลำเลียงโครเมียมจากรากไปสู่ต้น ยังอธิบายไม่ได้ เคยมีรายงานว่าโครเมียมไป chelate กับโปรตีนในราก (De Kock, 1956; Bourque et al., 1966) แต่ Huffman & Allaway (1973 b) พบว่า โครเมียมที่ไปรวมกับโปรตีนในรากนั้นมีน้อยมาก

เคยมีรายงานว่า โครเมียมเป็นธาตุจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช (Arnon, 1937; Haas & Brusca, 1961) แต่ต่อมาด้วยเทคนิคที่ดีขึ้น พบว่าโครเมียมไม่จำเป็นสำหรับพืชเลย (Huffman & Allaway, 1973 a) ในแง่ที่เป็นอันตรายต่อพืช พบว่า Cr III หรือ Cr III ผสมกับ Cr VI ทำให้เกิด interveinal chlorosis และ interveinal necrosis ได้ตั้งแต่ 5 ppm ต้นเล็กแกร็น ใบมีขนาดเล็ก แคบ มีสีน้ำตาลแดงเกิดขึ้น ตั้งแต่ที่ 25 ppm รากกลายเป็นสีน้ำตาลตั้งแต่ 10 ppm เกิดการเหี่ยว (wilting) ตั้งแต่ 20 ppm เริ่มลดผลผลิตได้ตั้งแต่ 0.5 ppm ลดผลผลิตได้ 50 % ที่ 5 ppm ภายใน 5 วัน และถ้าให้แก่ดินในระดับ 30 หรือ 60 ppm พืชตายได้

ภายใน 3 วัน (Hewitt, 1948; Hunter & Vergnano, 1953; De Kock, 1956; Turner & Rust, 1971; Anderson & Mayer, 1973; Hara et al., 1976; ความเป็นพิษเนื่องจากโครเมียม อาจเกิดจากโครเมียมไปลดไนโตรเจนในพืช (Hunter & Vergnano, 1953) ลดแคลเซียม โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก มังกานีส แมกนีเซียม โบรอน และทองแดงในพืช (Turner & Rust, 1971)

สตรอนเทียม

สตรอนเทียม เป็นโลหะสำคัญที่ได้จากขบวนการนิวเคลียร์ฟิชชั่นในระเบิดปรมาณู และจากการปฏิบัติการของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (Rediske & Selders, 1953) สตรอนเทียมเป็นอนุภาคที่น่าสนใจ เพราะสตรอนเทียมเป็นธาตุโลหะที่อยู่ใน Division A group II ของ Periodic Table เช่นเดียวกับแคลเซียม จึงมีคุณสมบัติเหมือนกับแคล-เซียม (Karrer & Annie, 1939) สตรอนเทียมในรูปของกัมมันตภาพรังสี เช่น ^{90}Sr จึงเข้าสู่คน สัตว์ และพืชได้เช่นเดียวกับแคลเซียม ในประเทศทางยุโรปที่รับประทานนมกันมาก พบว่าในน้ำนมนอกจากเป็นแหล่งให้แคลเซียมแล้ว ยังเป็นแหล่งสำคัญให้ ^{90}Sr ด้วย (Russell, 1963) และสตรอนเทียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในผิวดินชั้นบน ๆ ลึกไม่เกิน 15 ซม. รากพืชจึงดูดเข้าไปได้เรื่อย ๆ เป็นจำนวนมากเช่นเดียวกับแคลเซียม (Bhujbal & Mistry, 1970) ดังนั้นพืชผักหรือพวกธัญญาหารที่เป็นแหล่งให้แคลเซียมมักมีอนุภาคกัมมันตรังสีสตรอนเทียมปนอยู่ด้วย (Aarkrog, 1969; Duckworth & Hawthorn, 1960;) เมื่ออนุภาคสตรอนเทียมเข้าสู่คน ทำให้เกิดมะเร็งที่กระดูก และทำลายไขกระดูก ซึ่งเป็นแหล่งผลิตเม็ดเลือดแดง (Russel, 1963; Bhujbal & Mistry, 1970) อนุภาคสตรอนเทียมเข้าสู่พืชได้ 2 ทางคือ เกาะติดกับใบและลำต้น แล้วจึงดูดซึมเข้าไปหรือโดยการดูดผ่านทางระบบราก (Aarkrog, 1969)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสตรอนเทียมกับพืช พบว่า พืชดูดสตรอนเทียมได้น้อยลงถ้าเพิ่มแคลเซียมในสารอาหารให้มากขึ้น และถ้าเพิ่มสตรอนเทียมในสารอาหาร

ให้มากขึ้น พืชจะดูดแคลเซียมได้น้อยลงเช่นกัน (Wallace & Romney, 1971; Hara et al., 1977) พืชดูดสตรอนเทียมได้มากขึ้นที่ pH ต่ำ เช่น pH = 4 (Rediske & Selders, 1953) ประสิทธิภาพในการลำเลียงสตรอนเทียมขึ้นไปส่วนบนไม่ขึ้นกับ pH และพืชใบเลี้ยงคู่ ลำเลียงขึ้นไปได้ดีกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Bhujbal & Mistry, 1970) ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างในลักษณะการเจริญเติบโต และความแตกต่างในกลไกทางสรีรวิทยาของพืช นอกจากนี้ การลำเลียงสตรอนเทียมในรากยังถูกยับยั้งโดย cyanide และ DNP แสดงว่าการลำเลียงสตรอนเทียมต้องอาศัย oxidative phosphorylation (Pinkas & Smith, 1966; Athayle & Mistry, 1970) การสะสมสตรอนเทียมในพืชส่วนใหญ่อยู่ที่ราก (Rediske & Selders, 1953; Duckworth & Hawthorn, 1960; Bhujbal & Mistry, 1970; Athalye & Mistry, 1970; Wallace & Romney, 1971) แต่ Hara et al., (1977) กลับพบว่า 80 % ของสตรอนเทียมที่รากดูดเข้าไปจะถูกลำเลียงไปยังส่วนต้น ใบแก่มีมากที่สุดและลดลงตามลำดับในใบอ่อน (Athalye & Mistry, 1970)

สตรอนเทียมมีผลลดการเจริญเติบโตของพืช เมื่ออัตราส่วนระหว่างสตรอนเทียมและแคลเซียมในสารอาหารมีค่าเกิน 1 (Myttenaere, 1965) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานเก่า ๆ ที่มีว่า ที่สตรอนเทียม 100 ppm และแคลเซียม 140 ppm พืชยังเจริญได้เป็นปกติ (Rediske & Selders 1953) แต่ที่สตรอนเทียม 1000 ppm และแคลเซียม 45 ppm พืชตายได้ (Karrer & Annie, 1939) แต่จากรายงานของ Hara et al., (1977) พบว่า เมื่อให้สตรอนเทียมในรูป $Sr(NO_3)_2$ แก่กะหล่ำปลี จะเกิดเป็นพิษอย่างรุนแรงที่ 25 ppm ไม่ว่าจะให้แคลเซียม 20 หรือ 200 ppm อาการผิดปกติที่สังเกตเห็นได้ คือ เกิดสีน้ำตาลแดงที่ขอบใบรอบนอก ไม่เกิดจุดหรือ necrosis ขอบใบม้วนออก รากเป็นสีน้ำตาล และน้ำหนักแห้งลดลง เป็นต้น