หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุโลหะต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก พบว่า โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่ศึกษา ได้แก่ แคดเมียม นิกเกิล โคบอลท์ และโครเมียม มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและต้นในพืชทุกชนิด แต่สตรอนเทียมซึ่งเป็นโลหะเบาชนิดเดียวที่ศึกษา ไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ยกเว้นที่ 200 ppm ที่อาจพบว่าขนาดต้นเล็กลง เช่นในผักกาดหอม น้ำหนักแห้งของต้นที่ 200 ppm ลดลงต่างจาก control และต่างจาก treatment อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

แคดเมียม นิกเกิล และโคบอลท์ ให้ผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิดมากกว่าโครเมียม เมื่อดูจากระดับความเข้มข้น เวลาที่เริ่มให้ผลยับยั้ง และส่วนของพืชที่ได้รับความกระทบกระเทือน

แคดเมียม เริ่มมีผลลดน้ำหนักแห้งของต้นในพืชทุกชนิด ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 โดยเริ่มที่ 1 หรือ 2 ppm ขึ้นไป และผลยับยั้งรุนแรงมากขึ้นที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ในผักคะน้า และผักบุ้งจีน ผลยับยั้งรุนแรงที่สุด เริ่มที่ 10 ppm เพราะน้ำหนักแห้งของต้นที่ 10 และ 20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่แคดเมียมเริ่มมีผลลดน้ำหนักแห้งของรากในพืชทุกชนิดตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 โดยเริ่มที่ 5 ppm ขึ้นไป ยกเว้น ผักกาดขาว ซึ่งได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด เริ่มที่ 1 ppm และผลยับยั้งรุนแรงที่สุด เริ่มที่ 5 ppm ในผักกาดขาวกวางตุ้ง และผักกาดเขียวกวางตุ้ง ส่วนผักบุ้งจีน เริ่มที่ 10 ppm ผักกาดหอม อยู่ที่ 20 ppm และผักคะน้า เป็นพืชชนิดเดียวที่โลหะนี้ไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของรากเลย

นิกเกิลเริ่มมีผลลดน้ำหนักแห้งของทั้งรากและต้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ยกเว้น ผักกาดขาวกวางตุ้ง และผักกาดเขียวกวางตุ้ง การเจริญของรากเริ่มถูกยับยั้งตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2

น้ำหนักแห้งของต้นเริ่มลดลงที่ 1 ppm ขึ้นไป ผลยับยั้งรุนแรงที่สุดเริ่มที่ 10 ppm ยกเว้นในผักบุ้งจีน เริ่มที่ 5 ppm เพราะน้ำหนักแห้งของต้นที่ 5, 10 และ 20 ppm ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ น้ำหนักแห้งของรากเริ่มลดลงที่ 2 ppm ขึ้นไป ยกเว้นผักกาดขาวกวางตุ้ง เริ่มที่ 5 ppm ผลยับยั้งรุนแรงที่สุดเริ่มที่ 5 ppm ยกเว้นในผักกาดขาว-กวางตุ้ง และผักกาดหอม เริ่มที่ 10 ppm

โคบอลท์ เริ่มมีผลลดน้ำหนักแห้งของทั้งรากและต้น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ยกเว้นผักบุ้งจีน และผักกาดหอม เริ่มในสัปดาห์ที่ 1 โดยเริ่มมีผลต่อต้นที่ 2 ppm ขึ้นไป ยกเว้นในผักกาดเขียวกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เริ่มที่ 1 ppm ขึ้นไป ผลยับยั้งรุนแรงที่สุด เริ่มที่ 10 ppm ยกเว้นผักบุ้งจีน และผักกาดหอม เริ่มที่ 5 ppm น้ำหนักแห้งของรากเริ่มลดลงที่ 2 ppm ขึ้นไป ยกเว้น ผักกาดเขียวกวางตุ้ง และผักกาดหอม ที่เริ่มที่ 1 ppm ขึ้นไป ผลยับยั้งรุนแรงที่สุดเริ่มที่ 5 ppm ยกเว้นในผักบุ้งจีน เริ่มที่ 2 ppm เพราะน้ำหนักแห้งของรากที่ 2, 5, 10 และ 20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

โครเมียม เริ่มมีผลลดน้ำหนักแห้งของต้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 โดยเริ่มที่ 50 ppm ยกเว้นในผักกาดขาวกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เริ่มที่ 100 ppm และผลยับยั้งรุนแรงที่สุดอยู่ที่ 200 ppm ยกเว้นในผักคะน้า เริ่มที่ 100 ppm เพราะน้ำหนักแห้งของต้นที่ 100 และ 200 ppm ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ น้ำหนักแห้งของรากเริ่มลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 โดยเริ่มที่ 100 ppm ขึ้นไป ยกเว้น ผักกาดหอมเริ่มตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 และโครเมียมไม่มีผลต่อการเจริญของรากในผักคะน้า และผักบุ้งจีนเลย ผลยับยั้งรุนแรงที่สุดเริ่มที่ 100 ppm ยกเว้น ผักกาดขาวกวางตุ้ง อยู่ที่ 200 ppm

นอกจากโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดจะมีผลลดน้ำหนักแห้งของพืชต่าง ๆ แล้ว ยังมีผลให้พืชแสดงอาการผิดปกติ เช่น แคดเมียม ทำให้ใบชีดเหลืองคล้ายอาการขาดธาตุเหล็ก เส้นใบเป็นสีน้ำตาลแดง รากเน่าเปื่อยเป็นสีน้ำตาล ต้นเล็กแกร็น ซึ่งผลเนื่องจากแคดเมียมนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาในผักกาดหอม ข้าวโพด ข้าว ถั่วเหลือง ที่พบว่าแคดเมียม

เริ่มมีผลลดน้ำหนักแห้งของรากและต้น และแสดงอาการผิดปกติดังกล่าวได้ ตั้งแต่ที่ 2 ppm ขึ้นไป (Haghiri, 1973; Root et al., 1975; John & Laerhoven, 1976; Varia, 1976)

นิกเกิล และโคบอลท์ ทำให้ใบซีดเหลือง ตามด้วยการตายของเนื้อใบ (Necrosis) ต้นเล็กแกร็น สอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาในกะหล่ำปลี ข้าวโอ๊ต หรือถั่ว ที่พบว่านิกเกิลเริ่มมีผลลดน้ำหนักแห้งของรากและต้น และแสดงอาการผิดปกติดังกล่าว ตั้งแต่ที่ 2 หรือ 5 ppm ขึ้นไป (Hunter & Vergnano, 1953; Hara et al., 1976; Rauser & Samarakoon, 1980)

โครเมียมทำให้น้ำหนักแห้งของรากและต้นลดลง และแสดงอาการผิดปกติต่าง ๆ ได้ที่ 100 ppm ขึ้นไป สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า พืชดูดเอาโครเมียมจากสารอาหารได้มากขึ้นที่ 50 ppm ขึ้นไป และโครเมียมซึ่งปกติสะสมที่รากจะถูกลำเลียงไปต้นได้ที่โครเมียมเกิน 25 ppm (Cary et al., 1977 a) ซึ่งเป็นผลที่ต่างจากการศึกษาในถั่ว เมื่อใช้ Cr VI จะมีผลให้ใบซีดเหลือง และน้ำหนักแห้งลดลงที่ 2 หรือ 5 ppm ขึ้นไป (Turner & Rust, 1971, Hara et al., 1976) เป็นผลสนับสนุนว่า Cr III มีพิษรุนแรงน้อยกว่า Cr VI

อาการที่ใบอ่อนซีดเหลืองในระหว่างเส้นใบ (interveinal chlorosis) และรุนแรงจนซีดขาว ดังที่พบในพืชเมื่อได้รับแคดเมียม หรือในผักบุ้งจีนที่ได้รับโครเมียมนั้น คล้ายอาการที่เกิดจากการขาดธาตุเหล็ก จึงไม่อาจถือเป็นอาการเฉพาะเจาะจงของโลหะทั้ง 2 ได้ ซึ่งต่างจากอาการที่เกิดจากนิกเกิล เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบที่ซีดเหลืองอย่างไม่สม่ำเสมอ ต่อมาเป็นรอยแผลเล็ก ๆ กระจายทั่วใบ หรือแห้งตายจนเหลือแต่ก้านใบ หรือเส้นกลางใบที่ยังสดเขียว ตรงกับที่พบในพวกโอ๊ต (Hunter & Vergnano, 1952; Crooke et al, 1954; Anderson et al., 1973) อาการดังกล่าวนี้ถือเป็นลักษณะเฉพาะของนิกเกิลได้ ส่วนอาการที่เกิดจากโคบอลท์นั้น แม้จะเริ่มต้นในลักษณะคล้ายกับนิกเกิล แต่ลักษณะการซีดเหลืองและการแห้งตายจากขอบใบเข้าไปในเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบ จนแห้งทั้งแผ่นใบอย่างสม่ำเสมอ

เว้นเส้นใบเขียวนั้น ทำให้แยกความแตกต่างจากนิกเกิลได้ชัดเจน

อาการซีดเหลืองที่คล้ายกับอาการขาดธาตุเหล็กดังที่พบในพืช เมื่อได้รับนิกเกิลและโคบอลท์นั้น มีหลักฐานว่านิกเกิล และโคบอลท์ ไปเกี่ยวข้องกับการดูด และการลำเลียงเหล็กในพืชจริง (Hewitt, 1948; Hunter & Vergnano, 1952; Forster, 1954; Crooke & Knight, 1955; Mizuno, 1968; Agarwala et al., 1977).

อาการซีดเหลืองดังที่พบในพืชเมื่อได้รับแคดเมียมนั้น มีผู้แย้งว่าไม่ได้เกิดจากการขาดเหล็ก เพราะพบว่าเมื่อแคดเมียมในเนื้อเยื่อพืชสูงขึ้น อัตราส่วนระหว่างเหล็กและสังกะสีเพิ่มขึ้น (Root et al., 1975) ต่อมาจึงทราบว่า การที่พบว่าปริมาณเหล็กในพืชไม่สอดคล้องกับอาการซีดเหลืองที่เกิด เช่น ในต้นที่แสดงอาการซีดเหลือง อาจพบปริมาณเหล็ก > control นั้น อาจเป็นเพราะเทคนิคที่ใช้ตรวจหาปริมาณเหล็กนั้นยังไม่ถูกวิธี (Katyal & Sharma, 1980) เช่นควรจะหาปริมาณ active Fe แทนที่จะหา total Fe

อาการซีดเหลืองดังที่พบในผักคะน้า ผักกาดเขียวกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เนื่องจากแคดเมียมหรือโคบอลท์ที่ 2 ppm ได้หายไปในสัปดาห์ที่ 3 หรือ 4 ทำให้พืชเหล่านั้นกลับเขียวเป็นปกตินั้น อธิบายได้ว่าอาจเป็นเพราะความเข้มข้นของโลหะที่เติมลงไปไม่ได้มีการควบคุมให้คงที่ และการเติมน้ำชดเชย evapotranspiration ในระหว่างการทดลอง ทำให้สารอาหารนั้นเจือจางลง dilution effect จึงมีความสำคัญใน treatment ที่มีโลหะระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ หรืออาจเกิดจากการดูดโลหะหนักเหล่านี้ เป็นไปได้ช้ากว่าอัตราการเจริญเติบโตของพืช หรือเนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทำให้ pH ของสารอาหารสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้โลหะนั้นถูกพืชนำไปใช้ได้น้อยลง

อาการที่แคดเมียม นิกเกิล และโคบอลท์ ที่ 10 ppm ขึ้นไป ทำให้ลำต้น ก้านใบ และเส้นใบ ของผักกาดขาวกวางตุ้ง ผักกาดเขียวกวางตุ้ง เป็นสีม่วงของสีแอนโทไซยานินนั้น อาจเป็นเพราะโลหะหนักเหล่านี้ทำให้เกิด water stress ขึ้นในพืช ซึ่งมีผลให้เกิด

การสะสมแอนโทไซยานินได้ (Spyropoulos & Mavrommatis, 1978) หรือนิกเกิล และโคบอลท์ ไปมีผลต่อเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต มีน้ำตาลสะสมมาก ก็ทำให้เกิดการสะสมแอนโทไซยานินได้เช่นกัน (Agarwala et al., 1977)

อาการที่แคดเมียม 5 ppm ขึ้นไป ทำให้เส้นใบของผักกาดหอมเป็นสีน้ำตาลแดง เช่นเดียวกับที่พบในต้นถั่ว (Rauser, 1979) ในถั่วเหลือง (Haghiri, 1973) ในผักกาดหอม (John & Laerhoven, 1976) อธิบายได้ว่า แคดเมียมคงไปมีผลทำให้ phenolic compound ที่รากสะสมไว้ ถูกพาขึ้นไปตาม Transpiration stream ไปสะสมในผนังของ vessel (Samarakoon & Rauser, 1979)

ลักษณะที่รากเน่าเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากแคดเมียม นิกเกิล และโคบอลท์ นั้นตรงกับที่พบในกะหล่ำปลี ถั่ว และข้าว (Hara et al., 1976; Varia, 1976; Rauser, 1979)

อิทธิพลของแคดเมียม นิกเกิล และโคบอลท์ รุนแรงมากเมื่อเทียบกับโครเมียม และสตรอนเทียม และเชื่อว่าเป็นผลจากการที่โลหะหนักเหล่านี้ไปมีผลต่อเมตาโบลิซึมของพืชโดยตรงมากกว่า เช่น แคดเมียมไปมีผลต่อระบบเอนไซม์ต่าง ๆ (Lee et al., 1976) ไปมีผลต่อขบวนการสำคัญ ๆ เช่น การหายใจ การสังเคราะห์แสง การคายน้ำ (Miller et al., 1973; Bazzaz et al., 1974 a, b; Bittell et al., 1974; Baszynki, 1980) ส่วนนิกเกิลและโคบอลท์ ไปมีผลต่อการสังเคราะห์เอนไซม์ (De Kock et al., 1960; Agarwala et al., 1977; Kastori et al., 1978) นอกจากไปเกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมของเหล็ก ยังไปมีผลต่อขบวนการสังเคราะห์แสง, การคายน้ำ (Bazzaz et al., 1974 a) เมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ทำให้เกิดการสะสมแป้งและน้ำตาลในพืช (Agarwala et al., 1977) หรือไปขัดขวางการลำเลียงสารอาหารจากใบที่จะไปยังแหล่งที่มีการเจริญเติบโต หรือแหล่งสะสม เพราะพบน้ำตาลซูโครสคงอยู่ใน mesophyll แทนที่จะพบในเส้นใบ (Rauser & Samarakoon 1980)

การที่พืชแสดงอาการผิดปกติรุนแรง เนื่องจากนิกเกิล อาจเป็นเพราะ pH ที่ใช้อยู่ในช่วง 5.8 – 6.2 ซึ่งเป็น pH ที่ค่อนข้างเหมาะกับการดูดนิกเกิล (Crooke et al., 1954)

สำหรับโครเมียมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็น Cr III จึงไม่ทำอันตรายต่อพืช แม้ที่ระดับความเข้มข้น 50 ppm ซึ่งต่างกับ Cr VI ที่เป็นพิษได้ตั้งแต่ที่ 5 ppm ดังกล่าวมาแล้ว แม้จะมีรายงานว่า โครเมียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ที่ราก แต่จากการทดลองพบว่ารากยังสีปกติ เจริญได้ดี แสดงว่า Cr III ไม่ได้ทำอันตรายต่อพืชโดยตรง อาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นคงเป็นผลจากการที่โครเมียมไปมีผลต่อการดูด และการลำเลียงธาตุอื่น ๆ เช่น ฟอสฟอรัส (Vergnano, 1959) ไนโตรเจน (Hunter & Vergnano, 1953) และเหล็ก (Hewitt, 1948)

อาการเป็นพิษจากโครเมียมเริ่มแรกคือ การเหี่ยว (wilting) ในตอนกลางวัน และฟื้นตัวในตอนเย็น ซึ่งสังเกตเห็นได้ที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 200 ppm อาจเป็นเพราะความเข้มข้นที่ใช้ค่อนข้างสูง และ Cr III ที่ใช้เกิดตกตะกอนเนื่องจาก pH สูงเกิน 5.5 (Cr III ละลายได้ดีที่ pH = 4) จะเห็นตะกอนทับถมกันหนามากที่ก้นกาละมัง ซึ่งอาจเป็นตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ หรือออกไซด์ ทำให้พืชมีความสามารถดูดน้ำได้น้อยลง และมีการคายน้ำมากในตอนกลางวัน พืชจึงเหี่ยว อาการตามมาคือการร่วงของใบล่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อเกิด water stress ขึ้น ใบอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตดึงน้ำไปได้ดีกว่า ใบแก่จึงร่วงก่อน (Noggle & Fritz, 1976) ต่อมาอาการเหี่ยวหายไปในสัปดาห์ที่ 2 อาจเป็นเพราะโครเมียมไม่ทำอันตรายต่อรากพืช

สตรอนเทียม มีผลลดการเจริญเติบโตของต้นที่ 200 ppm อย่างมีนัยสำคัญในผักกาดหอมเท่านั้น แต่ไม่มีผลทำให้พืชเจริญผิดปกติหรือตาย ดังในโลหะหนัก อาจเป็นเพราะอัตราส่วนของ Sr/Ca ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่า = .005, .05, .25, .5 และ 1 ดังนั้นที่ระดับสตรอนเทียม 200 ppm เท่านั้น ที่ทำให้พืชดูดสตรอนเทียมได้มากพอ ๆ กับแคลเซียม และเป็นสาเหตุให้พืชได้รับแคลเซียมน้อยลง (Collander, 1941;

Myttenaere, 1965) ซึ่งผลนี้แตกต่างจากผลของ Hara et al.,(1977) ที่ทดลองในกะหล่ำปลี และพบว่า อาการผิดปกติเนื่องจากสตรอนเทียมสังเกตเห็นได้ตั้งแต่ที่ 25 ppm ไม่ว่าจะได้รับแคลเซียมมากน้อยเพียงใด

จากการวัด pH ของสารละลายธาตุอาหารทุกสัปดาห์ พบว่า การเจริญเติบโตของพืชมีผลเปลี่ยนแปลง pH ของสารอาหารภายนอก เพราะพืชพยายามคงสภาพ pH ภายในเซลให้คงที่อยู่เสมอ ด้วยการปล่อย H^+ หรือ OH^- ที่มีมากเกินไปออกมา จากการทดลองพบว่า แคดเมียม นิกเกิล โคบอลท์ ที่ระดับต่ำ ๆ 0, 1, 2 ppm หรือที่ 0, 1 10, 50 ppm ของโครเมียม และสตรอนเทียม นั้น พืชเจริญเติบโตได้ดี pH ของสารอาหารจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อธิบายได้ว่าเป็นผลจากขบวนการต่าง ๆ ที่ทำให้พืชเจริญเติบโต เช่น photosynthetic CO_2 fixation, N-assimilation, sulfate reduction, sulfate incorporation ซึ่งทำให้มีการเพิ่ม OH^- แก่สารอาหารภายนอก (Raven & Smith, 1974) ส่วนในแคดเมียม นิกเกิล และโคบอลท์ที่ 5, 10, 20 นั้น pH ค่อนข้างคงที่ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย หรือลดลงอีกเล็กน้อย อธิบายได้ว่าโลหะทั้ง 3 ไปมีผลให้เกิดการขาดเหล็ก พืชจึงตอบสนองโดยการปล่อย H^+ จาก cell ออกมา ลดการดูด anion และสะสม carboxylate ให้มากขึ้น pH ภายนอกจึงลดลง (Egmond & Aktas, 1977) หรือความเข้มข้นสูง ๆ นั้นไปทำลายเนื้อเยื่อรากทำให้การแลกเปลี่ยนธาตุอาหารลดลง pH จึงไม่ค่อยเปลี่ยน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย