

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม

1. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (Botany)

คาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม เป็นพืชตระกูลถั่วประเภทเลื้อยพัน ลักษณะเถาแข็งและมีขนแฉะมองเห็นไม่ชัด เถาที่แก่จัดจะมีรากเป็นปุ่มเล็กสีขาวเกือบทุกข้อ และสามารถงอกเป็นรากที่สมบูรณ์เมื่อข้อยู่ติดกับพื้นดิน ใบมีสีเขียวเป็นมันค่อนข้างหนา ลักษณะคล้ายใบโพธิ์ ใบมี 3 ใบย่อย(trifoliate) ดอกมีสีม่วงมีลักษณะเป็นช่อดอก(inflorescence) ยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร ดอกเป็นชนิดที่มีกลีบดอกไม่เหมือนกัน(irregular flower) เช่นเดียวกับพืชตระกูลถั่วโดยทั่วไป ปกติจะเริ่มสร้างช่อดอกประมาณเดือนธันวาคม พักมีลักษณะเป็นฝักแบนยาวค่อนข้างเหลี่ยม ไม่มีขน เมื่อฝักแก่จัดจะมีสีน้ำตาลเข้ม แต่ละฝักมีเมล็ด 2-9 เมล็ด ซึ่งอาจเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ก็ได้ เมล็ดมีสีเขียวอ่อนปนน้ำตาลจนถึงน้ำตาลแก่ ฝักเมล็ดจะเรียบค่อนข้างแข็งและเป็นมันเนื่องจากมีสารจำพวกขี้ผึ้ง(wax) เคลือบอยู่ (สุจินต์, ประเทือง และ กัทธาวุธ, 2526)

1.2 ลักษณะการเจริญเติบโตของพืชคลุม

คาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้หลายปี (perennial legume) มีระยะการเจริญเติบโตสร้างลำต้นและใบคาบเกี่ยวกันอย่างเด่นชัดกับระยะการสร้างดอกและผลิตเมล็ด ถ้าในระยะเวลาก่อการออกดอกและติดฝักหากดินมีความชื้นเพียงพอ พืชคลุมจะยังคงมีการเจริญเติบโตสร้างลำต้นและใบด้วย สำหรับการออกดอกนั้นก็มีลักษณะทยอยออกดอกไปเรื่อยๆเป็นระยะเวลานาน 2-3 เดือน (Jewtragoon and

Topark-Ngarm, 1986) ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นการเจริญเติบโตแบบหอคอยออก (indeterminate type)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตสร้างดอกและผลผลิตของถั่วคาลาโบโกเนียม ซีรูเลียม

2.1 พันธุ์

พันธุ์มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของถั่วคาลาโบโกเนียม ซีรูเลียม ซึ่งพบว่าโดยทั่วไปจะมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าจะปลูกในแหล่งที่มีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากพืชคลุมดินนี้เป็นพันธุ์ป่าที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์เหมือนพืชตระกูลถั่วประเภทเลี้ยงพันธุ์อื่นที่ใช้ปลูกเป็นพืชอาหารสัตว์ (Humphreys, 1979) หรือพืชคลุมดิน จึงทำให้แตกต่างไปจากพืชที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์มานานแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นที่ปลูก

2.2 ช่วงแสง (photoperiod) หรือความยาวของกลางวัน (day-length)

นับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการผลิตเมล็ดของถั่วคาลาโบโกเนียม ซีรูเลียม เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากพืชคลุมดินนี้จะสามารถออกดอกได้ก็ต่อเมื่อความยาวของกลางวันสั้นกว่าช่วงแสงวิกฤติ (critical day-length) เท่านั้น หรือจัดอยู่ในพืชวันสั้นที่มีการตอบสนองต่อช่วงแสงแบบ qualitative (qualitative short-day plant) (Vince-Prue, 1975) ซึ่ง Jewtragoon และ Topark-Ngarm (1986) รายงานไว้ว่า พืชคลุมดินนี้จะเริ่มสร้างตาดอกให้เห็นเมื่อได้รับแสงในช่วงความยาวของกลางวันประมาณ 11.40 ชั่วโมงหรือสั้นกว่า ซึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีช่วงแสงในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เดือนกุมภาพันธ์โดยเฉลี่ย 10.95 ชั่วโมง ขณะที่ในภาคใต้จะมีช่วงแสงเฉลี่ย 11.48 ชั่วโมง

2.3 แหล่งปลูก

การพิจารณาเลือกแหล่งปลูกนับว่ามีความสำคัญต่อการผลิตเมล็ดถั่วคาลาโบโกเนียม ซีรูเลียม เพราะแต่ละแหล่งปลูกมีช่วงแสงและภูมิอากาศที่แตกต่างกัน จากการศึกษา

ในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภัทราวุธ (2530) พบว่า พื้นที่โดยทั่วไปของภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือพื้นที่อื่นที่มีสภาพภูมิอากาศคล้ายคลึงกัน จะเหมาะต่อการผลิตเมล็ดถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม จากการทดลองของ ภัทราวุธ และคณะ (2529) พบว่า การปลูกที่จังหวัดขอนแก่นสามารถให้ผลผลิตเมล็ดได้สูงถึง 40.8 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนภาคใต้ที่เป็นแหล่งปลูกยางพารานั้นไม่เหมาะต่อการผลิตเมล็ด แต่จะเหมาะต่อการปลูกเป็นพืชคลุมดินเท่านั้น

นอกจากนี้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างต่ำ ซึ่ง Humphreys (อ้างโดย ภัทราวุธ, 2530) รายงานว่า ลักษณะภูมิอากาศดังกล่าวจะมีความสำคัญต่อระดับการให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ด

2.4 ชนิดดิน

ภัทราวุธ และคณะ (2529) ได้ศึกษาถึงการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตเมล็ดของถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม ในท้องที่ต่างๆของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีชุดดิน (soil series) แตกต่างกัน พบว่าดินชุดโคราช (fine-loamy, siliceous, Oxic Paleustults) เป็นดินชุดหนึ่งที่เหมาะสมต่อการใช้ปลูกเพื่อผลิตเมล็ด โดยที่พืชคลุมสามารถให้ผลผลิตเมล็ดได้ในระดับสูงถึง 41.1 และ 63.4 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่การปลูกในดินชุดอื่นๆ เช่น สี่คิ้ว วังสะพุง ท่วมวัง ชาติพนม และเรณู ให้ผลผลิตเพียง 8.6, 1.7, 4.8, 7.3 และ 2.1 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ แต่ไม่มีรายงานถึงสาเหตุของความแตกต่างระหว่างชุดดิน

2.5 ช่วงเวลาปลูก

ช่วงเวลาปลูกมีผลทำให้ถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม ให้ผลผลิตแตกต่างกัน การปลูกในตอนต้นของฤดูฝนจะดีกว่าการปลูกที่ล่าช้าออกไป จากการศึกษาของ ภัทราวุธ (2527) พบว่า ในทุกอัตราปุ๋ยที่ใส่พืชคลุมที่ปลูกในเดือนมิถุนายนซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝนจะใช้เวลาน้อยที่สุดในการคลุมพื้นที่ได้ 100% ส่วนพืชคลุมที่ปลูกในช่วงกลางหรือปลายฤดูฝน คือ ช่วงเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมตามลำดับ จะมีช่วงระยะการเจริญเติบโตสั้น และมีอัตรา การเจริญเติบโตต่ำ ซึ่งเป็นผลทำให้หลังจากที่ฤดูฝนสิ้นสุดลงแล้วพืชคลุมก็ยังไม่สามารถคลุม

คืนได้เพิ่มขึ้น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืชในปีแรกและปีต่อไป และในทำนองเดียวกันทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ หรืออาจไม่ให้ผลผลิตเมล็ดเลย โดยพืชคลุมที่ปลูกในช่วงต้นฤดูฝน กลางฤดูฝน และปลายฤดูฝน จะให้ผลผลิตเฉลี่ย 1.58, 0.31 และ 0.70 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ (ภัทธารุธ, 2527)

2.6 การเขตกรรม

การเขตกรรมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับวิธีการปลูก การจัดระยะปลูก การให้น้ำ และการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ล้วนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการที่จะผลิตเมล็ดถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม ให้ได้ผลดี ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป คือ

2.6.1 วิธีการปลูก ในการปลูกถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม เพื่อผลิตเมล็ด อาจทำได้ 2 แบบ คือ การปลูกแบบปักดินคิน (sward planting) และการปลูกแบบขึ้นค้ำ (trellis planting) จากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการปลูกทั้ง 2 แบบนี้ ภัทธารุธ (2527) พบว่า การปลูกแบบขึ้นค้ำจะให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าการปลูกแบบปักดินคิน โดยการปลูกแบบขึ้นค้ำจะให้ผลผลิตเมล็ด 4.90 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่การปลูกแบบปักดินคินจะไม่ให้ผลผลิตเมล็ดเลย เนื่องจากการปลูกแบบขึ้นค้ำจะทำให้ส่วนของพืชที่มีสีเขียวมีโอกาสได้รับแสงมากกว่าการปลูกแบบปักดินคิน ซึ่งใบของพืชจะมีการซ้อนหรือบังแสงกันมาก จึงทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชต่างกัน

2.6.2 ระยะปลูก การจัดระยะปลูกที่เหมาะสมจะทำให้มีประชากรต่อพื้นที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโต เพราะพืชจะสามารถดูดแร่ธาตุอาหาร น้ำ และได้รับแสงสว่างเพียงพอ

แต่จากการทดลองศึกษาระยะปลูกของ ภัทธารุธ (2528) และ เพ็ชรจิตร (2530) พบว่า ระยะปลูกมีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ การปลูกในระยะแคบจะเจริญเติบโตคลุกกันที่ได้เร็วกว่าการปลูกในระยะที่กว้าง (อัตราและความหนาของการคลุมดิน) แต่ไม่มีผลต่อการผลิตเมล็ด โดยการปลูกโดยใช้ระยะปลูก 30x90, 60x90 และ 90x90 เซนติเมตร พืชคลุมจะให้ผลผลิตเมล็ด 8.9, 8.2 และ 6.1 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าระยะปลูกจะไม่มีผลต่อการผลิตเมล็ด แต่การปลูกในระยะที่แคบเกินไป อาจทำให้เกิดการแข่งขันของการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ จนทำให้มีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากกว่าที่จะให้ผลผลิตได้สูง ส่วนการปลูกระยะห่างเกินไปก็จะทำให้พืชคลุมเจริญเติบโตคลุมพื้นที่ได้ช้า ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืช

2.6.3 การให้น้ำ จากการศึกษาอิทธิพลของการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม โดย เพ็ชรจิตร (2530) พบว่า การให้น้ำตั้งแต่ปลูกจนถึงระยะออกดอกสูงสุด (242 วัน) พืชคลุมจะให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุด คือ 4.46 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่การให้น้ำในช่วงระยะเวลาอื่นที่พืชคลุมจะให้ผลผลิตเมล็ดต่ำมาก โดยการให้น้ำตั้งแต่ปลูกจนถึงระยะตั้งตัวได้ (อายุ 84 วัน) พืชคลุมจะให้ผลผลิตเมล็ด 0.03 กิโลกรัมต่อไร่ การให้น้ำตั้งแต่ปลูกจนถึงระยะการเจริญเติบโตด้านลำต้นและใบ (อายุ 112 วัน) พืชคลุมจะให้ผลผลิตเมล็ด 0.18 กิโลกรัมต่อไร่ และการให้น้ำตั้งแต่ปลูกจนถึงระยะออกดอก (อายุ 142 วัน) พืชคลุมจะให้ผลผลิตเมล็ด 0.05 กิโลกรัมต่อไร่ (เพ็ชรจิตร, 2530)

2.6.4 การใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยให้กับถั่วคาโลโปโกเนียม ซีรูเลียม ที่ปลูกเพื่อผลิตเมล็ดนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นและมีประโยชน์ ทั้งนี้เพราะนอกจากจะช่วยเร่งให้พืชคลุมเจริญเติบโตคลุมดินได้เร็วขึ้นแล้ว ยังช่วยให้ผลผลิตเมล็ดสูงขึ้นอีกด้วย โดยการใส่ปุ๋ยซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ในอัตรา 6.4, 6.4 และ 12.8 กิโลกรัมต่อไร่ พืชคลุมจะให้ผลผลิตเมล็ดถึง 23.5 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ในอัตรา 3.2, 3.2 และ 6.4 กิโลกรัมต่อไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยเลย พืชคลุมจะให้ผลผลิต 15.0 และ 14.8 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ (ภัทราวุธ และคณะ, 2532) ส่วนปุ๋ยชนิดอื่นยังไม่มีการทดลองมากนัก

ธาตุโบรอน

1. บทบาทและความสำคัญของโบรอนต่อพืช

โบรอนเป็นธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าพืชขาดธาตุโบรอนจะทำให้การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายยอด ปลายราก และ

cambium ลดลง เนื่องจากโบรอนมีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างโปรตีน และกระบวนการเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในพืช โบรอนเป็นธาตุที่จำเป็นในการสังเคราะห์ uracil ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ ribonucleic acid (RNA) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระบวนการลอกทรานสคริปชัน (transcription) พันธุกรรมจาก DNA และมีความสำคัญต่อการสร้างโปรตีน นอกจากนี้ uracil ยังเป็นสารตั้งต้นของ uridine diphosphate glucose (UDPG) ซึ่งเป็น coenzyme ที่สำคัญในการสร้างน้ำตาล sucrose น้ำตาลที่สร้างได้จะถูกลำเลียงไปยังส่วนอื่น ๆ ของพืช การขนย้ายน้ำตาลในพืชจะอยู่ในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเชิงซ้อนกับโบรอน (borate-polyhydric complex) ซึ่งจะดีกว่าการเคลื่อนย้ายในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Kabata-Pendias and Pendias, 1985) ดังนั้นถ้าขาด uracil จะมีผลทำให้ไม่มีการสร้างโปรตีน RNA และน้ำตาล sucrose ซึ่งการสร้างโปรตีนและน้ำตาล sucrose เป็นกระบวนการที่สำคัญมากในการสร้างเนื้อเยื่อเจริญ ถ้าพืชขาดโบรอนก็จะทำให้การแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญหยุดชะงัก (Mengel and Kirkby, 1982) นอกจากนี้ยังพบว่าโบรอนจะมีความสำคัญต่อการงอกของละอองเกสรตัวผู้ (pollen) พืชที่ได้รับโบรอนไม่เพียงพอจะทำให้การงอกของ pollen ไม่ดี และการติดผลก็น้อยลง (Gartel, อ้างถึงใน Mengel and Kirkby, 1982)

2. การขาดโบรอนของพืช

อาการเริ่มแรกของการขาดโบรอนที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ การเจริญเติบโตของส่วนยอดจะผิดปกติหรือช้า ใบอ่อนจะมีรูปร่างผิดปกติ ย่น หนา และมีสีเขียวเข้ม (darkish blue-green colour) ใบอาจจะมียางสีเหลืองคั่นอยู่ระหว่าง intercostal vein อย่างไม่เป็นระเบียบ ใบและลำต้นจะเปราะ (brittle) ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่ากระบวนการคายน้ำผิดปกติ ถ้าหากปล่อยให้พืชแสดงอาการขาดนานขึ้น เนื้อเยื่อเจริญที่อยู่ตามยอดของพืชจะตาย พืชจะมีขนาดเล็ก การสร้างดอกและผลจะมีอย่างจำกัดหรือหยุดชะงัก (Mengel and Kirkby, 1982) Brown (1981) ได้ศึกษาอาการขาดโบรอนของมะเขือเทศ พบว่าการขาดโบรอนของมะเขือเทศจะทำให้ยอดของมะเขือเทศแห้งตาย และมีกิจกรรมของเอนไซม์ ascorbate oxidase ที่ใบเพิ่มขึ้น ส่วนการขาดโบรอนของ

อ่อน พบว่าจะทำให้เกิดผลที่เรียกว่า parthenocarpic fruit ผลที่ได้จะมีขนาดเล็ก และคุณภาพไม่ดี เนื่องจากเกิดการแท้งของละอองเกสรตัวผู้(pollen)ในขณะออก (Gartel, อ้างถึงใน Mengel and Kirkby, 1982) และที่รากของอ่อนที่ขาดไบรอนจะหยุดการเจริญเติบโต รากของพืชเหล่านี้จะเหี่ยวว่าเป็นเมือก หนา และที่ปลายรากจะเกิดการตายของเนื้อเยื่อชั้น (necrosis) (Bussler, อ้างถึงใน Mengel and Kirkby, 1982)

พืชต่างชนิดกันจะมีการตอบสนองต่อการขาดไบรอนแตกต่างกัน โดยปกติแล้วพืชใบเลี้ยงคู่(dicots) จะมีความต้องการไบรอนสูงกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว(monocots) (Shive, อ้างถึงใน Mengel and Kirkby, 1982) ดังนั้นพืชจึงไม่ค่อยแสดงอาการขาดไบรอน Syworotkin (1985) รายงานว่า พืช 3 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว พืชใบเลี้ยงคู่ และพืชใบเลี้ยงคู่ที่มียาง จะมีปริมาณไบรอนในลำต้นและความต้องการไบรอนแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ความแตกต่างระหว่างพืชทั้ง 3 กลุ่มนี้สามารถอธิบายได้โดยสัดส่วนของเนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) ซึ่งพบในพืชทั้ง 3 กลุ่ม

เนื้อเยื่อเจริญนี้มีความต้องการไบรอนมาก พืชใบเลี้ยงคู่จะมีเนื้อเยื่อ cambium และเนื้อเยื่อเจริญอื่นอีกมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และในกรณีของพืชใบเลี้ยงคู่ที่มียาง (ตระกูล Euphorbiaceae) นั้น จะมีระบบการให้น้ำยาง (latex system) เพิ่มขึ้นอีก จึงทำให้พืชเหล่านี้มีความต้องการไบรอนสูง กล่าวคือ ในพืชใบเลี้ยงคู่ที่มียาง จะมีความต้องการไบรอนสูงกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ และพืชใบเลี้ยงคู่จะมีความต้องการไบรอนสูงกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

3. การเป็นพิษเนื่องจากไบรอน

ไบรอนอาจจะเป็นพิษต่อพืชบางชนิดได้ โดยปริมาณที่ทำให้เป็นพิษนี้จะสูงกว่าปริมาณไบรอนที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ปกติเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเอง การเป็นพิษจากไบรอนอาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยไบรอนมากเกินไป หรือดินนั้นมีไบรอนสูงมาก เช่น ดินที่เกิดมาจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเล (marine sediment) เป็นต้น การเป็นพิษเนื่องจากไบรอนมักจะพบในเขตแห้งแล้ง(arid) และกึ่งแห้งแล้ง(semi-arid) ทั้งนี้เพราะดินในเขตเหล่านี้จะมีไบรอนสะสมอยู่มาก ดังนั้นปริมาณไบรอนในน้ำที่ใช้ในการ

ชลประทานจึงมีความสำคัญมากในเขตน้ (Mengel and Kirkby, 1982) Reisenauer และคณะ (1973) ได้อ้างถึงรายงานของ University of California Agricultural Extension Service ซึ่งพบว่าถ้าปริมาณโบรอนในน้ำชลประทานมีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัมโบรอนต่อลิตร จะทำให้พืชที่ไวต่อโบรอน (B sensitive crops) แสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากโบรอนอย่างเห็นได้ชัด และถ้าในน้ำชลประทานมีโบรอนอยู่ 10 มิลลิกรัมโบรอนต่อลิตร จะทำให้พืชที่ทนทานต่อโบรอนแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากโบรอนได้ นอกจากนี้ Reisenauer และคณะ (1973) ยังพบอีกว่า การเป็นพิษเนื่องจากโบรอนจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณของโบรอนในดินส่วนที่ละลายในน้ำร้อนมีค่ามากกว่า 5 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมดิน

พืชที่ไวต่อการเป็นพิษเนื่องจากโบรอน ได้แก่ ห่อ อุ่น ถั่วแดงหลวง (kidney bean) และมะเดื่อ พืชที่ค่อนข้างจะทนทานต่อการเป็นพิษของโบรอน ได้แก่ ข้าวบาร์เลย์ ถั่วลิ้นเต่า ข้าวโพด lucerne ยาสูบ และมะเขือเทศ สำหรับพืชที่ทนทานต่อการเป็นพิษของโบรอน ได้แก่ turnip, sugarbeet และฟ้าย อาการเป็นพิษเนื่องจากโบรอนจะมีผลทำให้ปลายใบเหลือง และตามด้วยการตายของเนื้อเยื่อ (necrosis) ซึ่งจะค่อยๆ ลามเข้ามาจากปลายใบและขอบใบเข้าสู่เส้นใบ (lateral vein) และเส้นกลางใบ (mid rib) ในที่สุดใบจะแห้งกรอบและร่วงอย่างรวดเร็ว (Mengel and Kirkby, 1982)

4. การดูดและลำเลียงโบรอนในพืช

โบรอนในดินจะถูกดูดเข้าไปในต้นพืชในรูปของ boric acid ที่ไม่แตกตัวโดยกระบวนการ passive uptake ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่เข้าไปในรากโดยอาศัยไปกับน้ำ มากกว่ากระบวนการ active uptake ซึ่งเกิดขึ้นน้อยมาก โบรอนที่ถูกรากพืชดูดเข้าไปจะเข้าไปอยู่ที่ช่องว่างของเซลล์พืช (free space) บางส่วนถูกดูดยึดอยู่ที่ผนังเซลล์ (cell wall) ในรูป borate polysaccharide complexes ที่ไม่ถาวร สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ระหว่างในช่องว่างกับผนังเซลล์ (Bowen and Nissen, 1976) โบรอนจะถูกลำเลียงจากส่วนรากไปสู่ส่วนบนของพืชผ่านทาง xylem โดยอาศัยแรงดึงน้ำจากการคายน้ำทางใบของพืช (Jones, 1970) การเคลื่อนย้ายโบรอนภายใน xylem ขึ้นสู่ใบจะ

เป็นแบบอิสระเพื่อไปสะสมอยู่ที่เซลล์ของใบ ทำให้มีการสะสมของโบรอนที่ปลายใบและขอบใบ ส่วนการลำเลียงใน phloem นั้นเกิดขึ้นน้อยมาก (Kabata-Pendias and Pendias, 1985)

5. ผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว

ถั่วบางชนิดมีความต้องการโบรอนสูงมาก Ouellette และ Lachance (อ้างถึงใน Mengel and Kirkby, 1982) รายงานว่า ถั่ว lucerne ที่ประเทศแคนาดา จะมีการขาดโบรอนมาก อาการขาดโบรอนจะมีความสัมพันธ์ทางลบ (negative correlation) กับปริมาณของโบรอนที่มีอยู่ในต้นพืช และถั่ว lucerne มีปริมาณโบรอนในต้นต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของพืช ก็ถือว่าพืชไม่ได้รับโบรอนอย่างเพียงพอกับความต้องการ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Martin และ Matocha (1973) ซึ่งรายงานไว้ว่า ถั่ว lucerne จะมีค่า critical concentration ของโบรอนในน้ำหนักแห้งอยู่ระหว่าง 10-25 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของพืช สำหรับถั่วลิสงนั้นพบว่า ถั่วลิสงที่ขาดโบรอนมีอาการข้อปล้องสั้น บางครั้งเป็นรอยแตกที่ข้อปล้องและมีสีดำ ใบค่างกระ มีการสร้างใบขนาดเล็กที่บริเวณข้อปล้องสั้นนั้นเป็นจำนวนมาก ก้านใบจะสั้น ใบไม่คลี่ตัว เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนในอัตรา 0.02 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน พบว่าภายในเวลา 4 วันหลังการใส่ปุ๋ยถั่วลิสงมีการตอบสนอง คือ กิ่ง ก้าน และใบ ที่เกิดใหม่จะไม่แสดงอาการขาดโบรอนเลย แต่ในส่วนที่ขาดโบรอนอยู่ก่อนนั้นก็ยังแสดงอาการขาดเหมือนเดิม สำหรับการออกดอกนั้น พบว่าถั่วลิสงที่ขาดโบรอนจะมีจำนวนดอกทั้งหมดตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตมากกว่าถั่วลิสงปกติ แต่ลักษณะการออกดอกไม่เหมือนกัน โดยถั่วลิสงที่ขาดโบรอนจะมีการออกดอกเร็วยาวแม้ว่าจะพ้นอายุการออกดอกแล้วก็ตาม แต่ถั่วลิสงที่ไม่ขาดโบรอนจะออกดอกพร้อมๆกันในช่วงอายุการออกดอก และหยุดการออกดอกเมื่อพ้นช่วงดังกล่าว (Harris and Brolmann, 1966a; Harris and Brolmann, 1966c)

สำหรับผลของโบรอนต่อผลผลิตนั้น พบว่าถั่วลิสงที่ขาดโบรอนจะแสดงอาการกลวงภายในเมล็ด ซึ่งเป็นอาการจำเพาะที่บอกถึงการขาดโบรอนในพืชชนิดนี้ (Harris and Gillman, 1957; Harris and Brolmann, 1966b) เนื่องจากการขาดโบรอน

ไปทำให้กระบวนการแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของเซลล์หยุดชะงัก ภายในเมล็ดจึงว่างเปล่าและบุบตัวลง ซึ่งเรียกอาการนี้ว่า "hollow heart" (Harris and Brolmann, 1966b) การใส่โบรอนให้แก่ถั่วลิสงจะทำให้คุณภาพของเมล็ดดีขึ้น แต่จะไม่เกิดความแตกต่างในด้านปริมาณของผลผลิต (Harris and Brolmann, 1966a; Harris and Brolmann, 1966b) อาการกลวงในเมล็ดของถั่วลิสงจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดดินและความเข้มข้นของโบรอนที่อยู่ในดิน Hill และ Morrill (1974) รายงานว่า ถั่วลิสงจะแสดงอาการเมล็ดกลวงเมื่อปริมาณโบรอนในดินที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน (hot water soluble boron) น้อยกว่า 0.15 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน และอาการเมล็ดกลวงนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อดินมีปริมาณโบรอนน้อยกว่า 0.06 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน Cox และคณะ (1982) รายงานว่า ในดิน calcareous soil จะมีระดับวิกฤติของโบรอนประมาณ 0.20 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน ส่วนดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้น ระดับโบรอนในดินที่ถั่วลิสงแสดงอาการขาดให้เห็นเด่นชัดที่ใบและเมล็ด คือ 0.05-0.09 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน (เพิ่มพูน วาสนา และ เรืองศักดิ์, 2532; สุทธิพงศ์, 2532)

6. โบรอนในดิน

โบรอนเป็นธาตุโลหะอยู่ใน group III ในตารางธาตุ ปริมาณทั้งหมดของโบรอนในดินจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20-200 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน โบรอนที่อยู่ในดินส่วนใหญ่จะไม่ใช่ประโยชน์ต่อพืช (unavailable boron) ปริมาณของโบรอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available boron) คือ โบรอนที่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำร้อน (hot water soluble boron) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4-5 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน (Gupta, 1979) โบรอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในหินและแร่หลายชนิด โดยเฉพาะในแร่ tourmaline ซึ่งมีสูตรทางเคมีว่า $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)\text{Si}_6\text{O}_{18}$ เป็นแร่ปฐมภูมิซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของโบรอน จะมีโบรอนเป็นองค์ประกอบอยู่ 3-4% เมื่อหินและแร่ต่าง ๆ เหล่านี้สลายตัวก็จะให้โบรอนออกมาในสารละลายดินในหลายรูปด้วยกัน เช่น BO_2^- , $\text{B}_4\text{O}_2^{2-}$, BO_3^{3-} , H_2BO_3^- และ $\text{B}(\text{OH})_4^-$ แต่โบรอนในดินที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของกรดโบริก (H_3BO_3) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งภายใต้สภาพทั่วไปของดินที่มี pH ต่ำกว่า 7

กรดโบรอนจะไม่แตกตัว (deprotonated or dissociated) ดังนั้นโบรอนจึงแตกต่างไปจากธาตุอาหารพืชชนิดอื่น เพราะโบรอนจะอยู่ในสารละลายดินในรูปที่ไม่มีประจุ (nonionized form) โบรอนจึงถูกชะล้างออกไปจากดินได้โดยง่าย (Mengel and Kirkby, 1982) Gupta และ Cutcliffe (1978) รายงานว่า หลังจากใส่ปุ๋ยโบรอนให้กับดิน Pozolic เป็นเวลา 5 เดือน พบว่าโบรอน 60% จะสูญหายไปจากดินชั้นบน (upper layer) แต่โบรอนในดินเขตแห้งแล้งจะแตกต่างไปจากในเขตชุ่มชื้น คือโบรอนอาจมีการสะสมในดินชั้นบนจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืชได้ (Kanwar and Shah Singh, 1961; Kick, 1963) เนื่องจากว่าปริมาณโบรอนในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นอยู่ในช่วงที่แคบมาก คือ 1-5 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน ดังนั้นโบรอนจึงเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งในแง่การขาดและการเป็นพิษ Reisenauer และคณะ (1973) รายงานว่า อาการขาดธาตุโบรอนจะเกิดในพืชมากขึ้น และสภาพฟ้าอากาศ(climate)ที่กว้างขวางกว่าจุลธาตุอาหารชนิดอื่นๆ ดังนั้นโบรอนจึงเป็นธาตุที่มีความสำคัญกว่าจุลธาตุอาหารชนิดอื่นในการผลิตพืชเพื่อให้มีผลผลิตสูง และมีคุณภาพดี

การขาดโบรอนมักจะพบในดินที่มีโบรอนต่ำมาจากการกำเนิด (inherently low in B) อาทิเช่น ดินที่มีกำเนิดมาจากหินอัคนี (igneous rock) และดิน podzolised soil ดินทรายกรด (sandy acid soil) จำเป็นจะต้องมีการให้ปุ๋ยโบรอนในรูปเกลือโบรอนบ่อยครั้ง เพราะโบรอนในดินดังกล่าวจะถูกชะล้างออกไปได้ง่าย ในกรณีของดินกรดเมื่อได้รับปุ๋ยขี้เถ้ามากเกินไปจะมีผลทำให้พืชแสดงอาการขาดโบรอนได้ และการแก้ไขทำได้โดยการให้ปุ๋ยโบรอน (Walsh and Golden, 1952) ความเป็นประโยชน์ของโบรอนจะลดลงเมื่อ pH ของดินเพิ่มขึ้น ดังนั้นดินด่าง (calcareous soil) จึงมักจะมีโบรอนไม่เพียงพอความต้องการของพืช และพืชมักจะแสดงอาการขาดอยู่เสมอ (Scheffer and Welte, 1955) ดินที่มีอนุภาคแร่ดินเหนียวมากจะมีปริมาณโบรอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโบรอนถูกดูดซับไว้กับอนุภาคแร่ดินเหนียวเป็นจำนวนมาก ปริมาณของโบรอนที่ถูกดูดซับไว้โดยพืชจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณโบรอนที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน (Mengel and Kirkby, 1982) ถ้าหากค่าของโบรอนที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อนมีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน แสดงให้เห็นว่าปริมาณโบรอนในดินนั้นมีไม่เพียงพอต่อ

การเจริญเติบโตของพืช และถ้าหากค่าโบรอนที่สกัดได้โดยน้ำร้อนมีค่ามากกว่า 5 มิลลิกรัม โบรอนต่อกิโลกรัมของดิน แสดงให้เห็นว่าดินนั้นมีปริมาณโบรอนมาก และอาจเป็นพิษต่อพืช ได้ (Reisenauer *et al.*, 1973) ความเป็นประโยชน์ของโบรอนต่อพืชจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลด้วย การขาดโบรอนมักจะเกิดมากในฤดูร้อน หลังจากฤดูหนาวหรือฤดูใบไม้ผลิที่มีความชื้นในดินสูงการขาดจะรุนแรงมากยิ่งขึ้น ถ้าหากว่ามีช่วงแล้งเกิดขึ้นภายหลังจากเกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในฤดูใบไม้ผลิ (Batey, 1971) การที่เกิดการขาดโบรอนในช่วงดังกล่าว อาจเป็นเพราะความแห้งแล้งทำให้โบรอนเคลื่อนที่ในดินได้น้อยลง (Mengel and Kirkby, 1982)

7. กระบวนการดูดซับโบรอนในดิน

Parfitt (1978) ได้แสดงให้เห็นว่า กรดโบรિકจะไม่แสดงปฏิกิริยาเป็นตัวให้ประจุบวก (proton doner) แต่จะแสดงปฏิกิริยาเป็น Lewis acid ซึ่งมีหน้าที่รับไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ดังสมการ



การที่ค่าของ pk มีค่าสูง จะชี้ให้เห็นว่าการเกิดอนุมูลโบเรต [B(OH)_4^-] จะเกิดขึ้นหรือมีความสำคัญเฉพาะในช่วงที่มี pH สูงๆ อนุมูลโบเรตที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับ (adsorbed) ไว้โดยพวก sesquioxide อนุภาคแร่ดินเหนียว หรืออินทรีย์วัตถุในดิน โดยการดูดซับโบรอนอาจเกิดจากกระบวนการ ligand exchange โดยการที่ B(OH)_4^- เข้าไปไล่ที่ OH^- หรือโมเลกุลของน้ำที่ผิวของแร่ดินเหนียว และ Hydroxy oxide ของเหล็กและอลูมิเนียม หรือการที่ B(OH)_4^- เข้าไปทำปฏิกิริยากับ hydroxyl group ที่อยู่ตามผิวอนุภาคดิน เกิดเป็น borate-diol complex (Sim and Bingham, 1968) หรือโบรอนอาจถูกดูดซับไว้ได้โดยอินทรีย์วัตถุ โดย carboxyl group ของ humic colloid จะจับรวมตัวกับกรดโบรિક (H_3BO_3) ได้ ซึ่ง Russel (1973) รายงานว่าพันธะ (bond) ระหว่างกรดโบริกกับ carboxylic group จะแข็งแรงกว่าพันธะที่เกิดจากการจับกันระหว่างกรดโบริกกับ sesquioxide ภายใต้สภาพที่เป็นกรดหรือกลาง และ

humic colloids จะเป็นแหล่งใหญ่ของโบรอนในดินที่ทำการเกษตรทั่วไป และเนื่องจาก การเกิดอนุภาคโบรินขึ้นอยู่กับ pH ดังนั้นกระบวนการดูดซับ(adsorption)ของโบรอนจึงมี มากขึ้นเมื่อ pH ของดินเพิ่มสูงขึ้น กระบวนการดูดซับของโบรอนจึงแตกต่างจาก anion ตัวอื่นๆ ซึ่งจะถูกดูดซับได้น้อยลงเมื่อ pH ของดินเพิ่มขึ้น โดยการดูดซับของโบรอนจะมีมาก ที่สุดเมื่อ pH ประมาณ 9 (Hingston *et al.*, 1972)

8. การดูดซับโบรอนโดยองค์ประกอบของดิน

องค์ประกอบของดินที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดซับโบรอนในดิน ได้แก่ ส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุ ซึ่งส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดซับ โบรอนในดิน ได้แก่ อนุภาคแร่ดินเหนียว และแร่ไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม

8.1 อินทรีย์วัตถุในดิน

อินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบที่สามารถทำปฏิกิริยากับโบรอนในดินได้ โดย carboxylic group ของ humic colloid ในอินทรีย์วัตถุรวมตัวกับกรดโบริกได้ด้วย พันธะที่แข็งแรง (Russel, 1973) ดังรายงานของ Harada และ Tamai (1968) ที่ พบว่า การดูดซับโบรอนในดินมีสหสัมพันธ์ทางด้านบวก (positive correlation) กับ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ฉะนั้นดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจึงมีปริมาณโบรอนสูง และมีผลทำให้ ปริมาณโบรอนที่สกัดด้วยน้ำร้อนสูงตามไปด้วย (Keren and Bingham, 1985) การที่ อินทรีย์วัตถุสามารถรวมตัวได้กับกรดโบริกซึ่งเป็นรูปของโบรอนในสภาพดินทั่วไปที่มี pH ต่ำ กว่า 7 ดังนั้นอินทรีย์วัตถุจึงมีบทบาทสำคัญในการดูดซับโบรอนในดินกรด

8.2 ชนิดของอินทรีย์วัตถุในดิน

ปริมาณการดูดซับโบรอนในดินขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งได้แก่ แร่ ดินเหนียว และแร่ไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม อนุภาคแร่ดินเหนียวเป็นองค์ประกอบที่ สำคัญในการดูดซับแร่ธาตุแทบทุกชนิดในดิน เนื่องจากที่ขอบของอนุภาคแร่ดินเหนียวจะ ประกอบไปด้วยประจุ ทั้งประจุชนิดการและประจุที่เปลี่ยนแปลงได้ Keren และ Mezuman (1981) รายงานว่า โบรอนสามารถดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (specific adsorption) กับพื้นผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียว การดูดซับโบรอนเกิดขึ้นในดินเหนียวมาก กว่าดินทราย Elrashidi และ O'Connor (1982) พบว่า ดินเหนียวจะมีการดูดซับ

ไบรอนได้ 33.9 มิลลิกรัมไบรอนต่อกิโลกรัมของดิน ส่วนดินทรายจะมีการดูดซับไบรอนได้เพียง 4.4 มิลลิกรัมไบรอนต่อกิโลกรัมของดิน และในบรรดาแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ Hingston และคณะ (1972) พบว่า แร่ดินเหนียว illite สามารถดูดซับไบรอนได้ดีที่สุดในการทดลองกับแร่ดินเหนียว 3 ชนิด คือ แร่ดินเหนียว illite, smectite และ kaolinite ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองของ Karen และ Mezuman (1981) ที่พบว่า ไบรอนจะถูกดูดซับโดยแร่ดินเหนียว illite มากกว่าแร่ดินเหนียว montmorillonite ถึงแม้ว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของแร่ดินเหนียว montmorillonite จะมากกว่าแร่ดินเหนียว illite ก็ตาม ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ไบรอนถูกดูดซับตามบริเวณขอบของผลึกแร่ดินเหนียวที่แตกหัก โดยการเข้าไปใส่ที่หมู่ไฮดรอกซิลในกระบวนการ ligand exchange มากกว่าที่จะถูกดูดซับบนผิวผลึกบริเวณที่เป็นแผ่นเรียบ และการดูดซับไบรอนโดยอนุภาคแร่ดินเหนียวจะเพิ่มขึ้นตาม pH ของดินด้วย (Keren and O'Connor, 1982) นอกจากนี้ในแร่ดินเหนียวชนิดเดียวกัน แร่ที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะดูดซับไบรอนได้มากกว่าแร่ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ Keren และ Talpaz (1984) ได้ทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของขนาดของอนุภาคแร่ดินเหนียวที่มีต่อการดูดซับของไบรอน โดยทำให้อนุภาคของแร่ดินเหนียว montmorillonite แยกออกเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก พบว่าปริมาณการดูดซับไบรอนโดยแร่ที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมากกว่าแร่ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่

อนุภาคแร่ไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมสามารถดูดซับไบรอนได้ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า pH โดยที่ขอบของอนุภาคแร่ชนิดนี้ประกอบด้วย H^+ และ OH^- จึงทำให้แร่ชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าไปตามค่า pH ของสารละลายดิน ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงรูปของไบรอนไปตามค่า pH ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ในดินที่มี pH มากกว่า 7 ไบรอนในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอนุมูลไบเรท ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ทำให้สามารถดูดซับกับอนุภาคของเหล็กและอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ โดยการเข้าไปใส่ที่หมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวของเหล็กและอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ หรือเข้าไปใส่ที่โมเลกุลของน้ำที่ผิวของไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม เกิดเป็นสารประกอบพวก borate-diol complex ขึ้น (Sim and Bingham, 1968) Beyroute และคณะ (1984) พบว่า การดูดซับไบรอนบนพื้นผิวของแร่อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นแบบเฉพาะเจาะจง (specific adsorption) โดยมีผลทำให้ค่า zero point of charge ลดลงเมื่อมีการดูดซับไบรอนเกิดขึ้น

Goldberg และ Glaubig (1985) ได้ศึกษาการดูดซับโบรอนโดยเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าปริมาณการดูดซับโบรอนจะเพิ่มขึ้นตาม pH และการดูดซับจะสูงสุดในช่วง pH 8-9 หลังจากนั้นการดูดซับจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Scharrer และคณะ (1965) ที่ศึกษาการดูดซับโบรอนโดยพวกเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์เช่นเดียวกัน พบว่าการดูดซับโบรอนโดยเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น และลดลงเมื่อ pH สูงกว่า 9 ทว่าไปแล้วการดูดซับโบรอนโดยพวกไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมจะมีอิทธิพลมากกว่าการดูดซับโบรอนโดยพวกอนุภาคแร่ดินเหนียว Keren และ Gast (1981) รายงานว่า การดูดซับโบรอนโดยไฮดรอกไซด์ของอลูมิเนียมจะสูงกว่าการดูดซับโบรอนโดยแร่ดินเหนียว montmorillonite ถึง 7.5 เท่าที่ pH 9.5 จะเห็นได้ว่าการดูดซับโบรอนโดยอนุภาคแร่ดินเหนียวและแร่ไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นตามระดับ pH ของดินที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีการดูดซับสูงสุดในช่วง pH 8-9

9. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณโบรอนในดิน

9.1 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนต่อพืช ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อดินมี pH สูง โบรอนจะอยู่ในรูปที่สามารถถูกดูดซับไว้กับองค์ประกอบของดินได้มากขึ้น ดังนั้นความเป็นประโยชน์ของโบรอนจึงลดลงเมื่อ pH ของดินเพิ่มขึ้น (Keren and Mezuma, 1981) Peterson และ Newman (1976) รายงานว่า โบรอนที่เป็นประโยชน์ในดินจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อ pH ของดินมีค่า 4.7-6.3 และจะลดลงเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น จนมีปริมาณต่ำสุดเมื่อดินมี pH = 9 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Keren และคณะ (1981) ได้ทำการทดลองการดูดซับโบรอนโดยแร่ Na-Montmorillonite พบว่าการดูดซับโบรอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น และจะถูกดูดซับสูงสุดในช่วง pH ประมาณ 9 และการดูดซับโบรอนโดยแร่เหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์จะสูงสุดในช่วง pH 8-9 เช่นเดียวกัน (Goldberg and Glaubig, 1985) Gupta และ Macleod (1977) พบว่า เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 6.5 โบรอนที่เป็นประโยชน์ในดินจะเพิ่มขึ้น และไม่มีความสัมพันธ์กับค่า pH แต่เมื่อ pH สูงกว่า 6.5 แล้ว โบรอนที่เป็นประโยชน์จะลดลงอย่างชัดเจน ซึ่ง Sim และ Bingham (1968);

Hingston และคณะ (1972) อธิบายว่า กรดโบรริก (H_3BO_3) จะไม่แตกตัวที่ pH ต่ำกว่า 6.5 ทำให้ปริมาณโบรอนในสารละลายมีมาก และในทางตรงกันข้ามเมื่อ pH สูงขึ้น ทำให้โบรอนอยู่ในรูปของอนุมูลโบเรต $[B(OH)_4^-]$ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาคูดัดแบบ ligand exchange กับองค์ประกอบของดินได้มาก

9.2 เนื้อดิน

ปริมาณโบรอนที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน เมื่อสกัดในดินเนื้อละเอียดจะมีมากกว่าในดินเนื้อหยาบ (Gupta, 1968) ดินเนื้อละเอียด (clay) ที่มีปริมาณดินเหนียว 57% จะมีการคูดัดโบรอนได้มากกว่าดินเนื้อหยาบ (sand) ที่มีปริมาณดินเหนียว 5.6% ถึง 8 เท่า (Elrashidi and O'Connor, 1982) และโบรอนในดินเนื้อหยาบจะถูกชะล้างไปได้ง่ายกว่าในดินเนื้อละเอียด (Keren and Bingham, 1985) เนื่องจากว่าในดินเนื้อละเอียดจะมีปริมาณแร่ดินเหนียวซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาคูดัดกับโบรอนได้มากกว่าในดินเนื้อหยาบ Gupta (1979) รายงานว่า ประมาณ 85% ของโบรอนที่ใส่ลงไปในดินเนื้อหยาบ จะถูกชะล้างออกไปเมื่อดินได้รับน้ำ 12.50 เซนติเมตร แต่ในดินเนื้อละเอียดและโครงสร้างแน่นทึบ โบรอนจะถูกชะล้างออกไปได้น้อย

9.3 ปริมาณโบรอนและน้ำในดิน

ปริมาณการคูดัดโบรอนในดินจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณโบรอนในสารละลายดิน Keren และคณะ (1981) ได้ทดลองศึกษาการคูดัดโบรอนในดิน พบว่าที่ pH ของดินระดับเดียวกันการคูดัดโบรอนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณโบรอนในสารละลายดินเพิ่มขึ้น ซึ่งการคูดัดโบรอนโดยแร่ดินเหนียวหรือไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายดินเช่นเดียวกัน สำหรับปริมาณน้ำในดิน (water content) ไม่มีผลต่อการคูดัดโบรอน (Keren and Mezuman, 1981) ซึ่ง Keren และ Gast (1981) รายงานว่า ในดินชนิดเดียวกันเมื่ออยู่ในสภาพดินเปียกหรือดินแห้ง ไม่ทำให้การคูดัดและการปลดปล่อยโบรอนที่อุณหภูมิดินเหนียวต่างกัน

9.4 ชนิดของไอออนที่คูดัดร่วมด้วยกับโพแทสเซียม

Keren และ Gast (1981) รายงานว่า การคูดัดโบรอนจะขึ้นอยู่กับชนิดของแคตไอออนที่อยู่ร่วมด้วยในแร่ดินเหนียว จากการทดลองการคูดัดโบรอนโดยอนุภาคของแร่ดินเหนียว montmorillonite ที่อิ่มตัวด้วย Na และ Ca พบว่าที่ pH 7

การดูดซับโบรอนในแร่ทั้งสองจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 8 แร่ Ca-montmorillonite จะดูดซับโบรอนได้มากกว่าแร่ Na-montmorillonite และจากการทำ adsorption isotherm ของการดูดซับโบรอนโดยแร่ montmorillonite ในสารละลายที่มีตัวนำไฟฟ้าต่างกันที่ pH 9.5 พบว่าการดูดซับโบรอนที่ผิวของแร่ montmorillonite ที่อยู่ในสารละลายที่มีตัวนำไฟฟ้าของแคลโคออนที่มี valency สูง (CaCl_2) จะดูดซับโบรอนได้มากกว่าแร่ที่อยู่ในสารละลายที่มีตัวนำไฟฟ้าของแคลโคออนที่มี valency ต่ำ (NaCl) ในทุกความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายที่เพิ่มขึ้น (Keren and O'Connor, 1982)

ชนิดของแอนไอออนก็มีอิทธิพลต่อการดูดซับโบรอนในดินเช่นเดียวกัน

Bingham และ Page (1971) รายงานว่า อนุคลซิลเฟตและฟอสเฟตในดินภูเขาไฟ (allophanic soil) จะไม่มีผลในการแข่งขันกับการดูดซับโบรอนในสารละลายดินที่ pH 6.0 และ 8.5 แต่อนุคลของโมโนซิลลิคมีผลทำให้การดูดซับโบรอนลดลงเล็กน้อยที่ pH 8.5 เมื่อความเข้มข้นของโมโนซิลลิค (monosilicic acid) เพิ่มขึ้น

10. วัสดุปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยโบรอน

วัสดุปุ๋ยที่ใช้เป็นแหล่งให้ธาตุโบรอนมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), boric acid (H_3BO_3), boron frits ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), sodium pentaborate ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), solubor ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) แต่ปุ๋ยโบรอนที่นิยมใช้และรู้จักกันมาก ได้แก่ borax และ boric acid ซึ่งวิธีการใส่มี 2 วิธี คือ การใส่ลงในดิน และการให้ทางใบ ไม่นิยมคลุกโบรอนให้กับเมล็ดพันธุ์ เพราะอาจทำให้เกิดการเป็นพิษต่อเมล็ดและต้นกล้า การให้ทางดินอาจให้ในรูปปุ๋ยเดี่ยวหรือผสมกับปุ๋ยอื่นๆ การใส่ปุ๋ยโบรอนโดยการโรยเป็นแถบ (band) หรือการพ่นทางใบ (spray) จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการหว่าน (broadcast) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินที่ปลูกพืชมีความสามารถที่จะตรึงโบรอนไว้ได้มาก การใส่ปุ๋ยโดยการพ่นทางใบนั้นควรฉีดพ่นในตอนเช้าขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง ปากใบเปิด และพืชเริ่มมีการสังเคราะห์แสง อาจฉีดพ่นให้ในรูป boric acid หรือ solubor (Gupta, 1979) ซึ่งการให้ปุ๋ยโบรอนทางใบสามารถช่วยรักษาอาการของเนื้อเยื่อตรงบริเวณที่ขาดโบรอนได้โดยตรง แต่

ไม่อาจส่งต่อไปยังเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่หลังการปนเปื้อนได้ (เบญจวรรณ, 2532) ส่วนการให้ปุ๋ยโบรอนโดยการโรยเป็นแถบนั้นพืชสามารถดูดใช้ได้ดีกว่าการหว่าน เพราะการโรยเป็นแถบนั้นปริมาณปุ๋ยที่ส่งไปจะไปอยู่ใกล้กับรากพืช พืชจึงสามารถดูดไปใช้ได้รวดเร็วกว่า (Gupta and Cutcliffe, อ้างถึงใน Gupta, 1979) ปัญหาประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้ปุ๋ยโบรอนก็คือ จะต้องระวังไม่ใส่ให้มากเกินไป หรือใส่ไม่สม่ำเสมอทำให้มีโบรอนมากเป็นจุด ก็จะมีผลทำให้เกิดการเป็นพิษเนื่องจากโบรอนได้ เพราะปริมาณโบรอนในดินช่วงระหว่างการขาดและการเป็นพิษจากโบรอนนั้นเป็นช่วงที่แคบมาก (1-5 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัมของดิน) (Gupta, 1979)