Thesis Title Boron Deficiency in Maize

Author Mr. Sittichai Lordkaew

Degree Doctor of Philosophy (Agronomy)

Thesis Advisory Committee Prof. Dr. Benjavan Rerkasem Chairperson

Assoc. Prof. Dr. Sansanee Jamjod Member

Assoc. Prof. Dr. Dumnern Karladee Member

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is one of the world's three most important crops. Utilization of maize has been increasing over the years in Thailand as a direct result of expanding livestock industry, rising urban income, increasing in the consumption of meat and diary products and particularly rising export of meat have caused a rapid growth in demand for maize as feed. Boron (B) is the nutrient that is most often deficient for crop production among all of the micronutrients. Boron deficiency is a treat to maize yield in many parts of the world including Africa where maize is grown for food on soils are often infertile. Boron deficiency has been reported to depress grain yield in many cereals, such as wheat, barley and triticale by causing male sterility. A wide range of genotypic variation in the response to B deficiency has also been reported in these crops. However, knowledge about B responses in maize is limited. Thus, this thesis proposed to determine the response of maize to B during vegetative and reproductive growth and evaluate genotypic variability in response to B deficiency. Findings are expected to contribute towards management of maize on low B soils, to maize breeding programs serving such areas.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

A field study found that soil B application increased B concentration in different parts of the maize plant, but had no effect on biomass or seed yield. Maize (cv. NS72) was examined in sand culture at two levels of B added to the nutrient solution (0 and 20 μM B, designated B0, B20). B deficiency depressed grain yield, from 72 g plant^{-1} in B20 plants to <1 g plant^{-1} in B0 plants. Withholding B had no effect on plant growth at vegetative stage (5-leaf stage). The effect of B deficiency on grain yield was associated with depression in the number of grains per ear and malformation of some reproductive parts. B-deficient plant had 3-5 small abnormal ears, with short silks, at the first ear node. Some tassels in B0 were small and emerged dead, containing very small, shrivelled and empty anthers. B0 tassels contained about 4 mg B kg^{-1} DW and silks 4 mg B kg^{-1} DW compared with B20 tassels that contained >8 and silks 15-18 mg B kg^{-1} DW. Moreover, B0-pollens were mostly sterile, and lacked starch deposit. The silk from the upper and lower part of young ear showed different responses to B in their appearance, but not their function. From the upper part of young ear, the B0 silk was poorly developed and thin, whereas B20 silk appeared normal and thick. In the lower part of the baby corn, the silk from B0 and B20 both appeared normal and thick. However, grain set in B0 plants failed throughout the whole ear.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

The symptoms of B deficiency in maize found in this study were on both the male and female flowers. In B-deficient male flower, symptoms included smaller tassel that was depressed in dry weight, with some branches degenerated into white, papery dead tissues. Tassel branches were more severely affected by B deficiency than main axis. Moreover, B deficient tassel had fewer and mostly sterile pollen grains, that lacked starch deposit and failed to germinate. Sterility of the pollen was

especially severe in the lower floret of the two staminate florets on each spikelet of the tassel. Boron deficiency symptoms were associated with tassels that contained 4-5 mg B kg^{-1} DW and pollen that contained 3 mg B kg^{-1} DW, whereas normally function tassels contained 18 mg B kg^{-1} DW and normally function pollen contained 7 mg B kg^{-1} DW.

In case of the female flower, B-deficient plant may develop multiple ears at the same node in which these ears may no longer have the typical morphology of the maize ear, but develop into branches that look more like tassels. Some B-deficient ears that keep normal morphology of the maize ear may not show any adverse effect of B deficiency on the ear dry weight, but may produce silk threads that are much shorter, much fewer in numbers, and appear to be thinner, with collapsed interior that can be seen under the microscope. B-deficient silk may not function properly; grain set may still fail when healthy pollen is applied to these, as healthy pollen requires sufficient external B supply to germinate fully. B-deficiency symptoms were associated with silk that contained 4 mg B kg^{-1} DW, whereas normally function silk contained 15-18 mg B kg^{-1} DW.

Seven maize genotypes, including NS1, Pioneer A33, CM, Glutinous Corn (GC), Sweet Corn 7101 (SC), White Sweet Corn (WSC) and NS72, were evaluated for their response to B. Highly significant genotype x boron interaction was observed for their effect on grain yield and various reproductive processes. The genotype most tolerant to B deficiency was SC, which had about the same grain number in B0 and in B20. This was followed by WSC with grain set in B0 at three quarters of that in B20. By contrast, NS1, NS72 and CM can be considered most sensitive to B deficiency, because they set almost no grain in B0 compared with completely filled ears in B20.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

GC and Pioneer were some where in between, with grain number in B0 at 51% and 20%, respectively, of those in B20. The grain number in B0 relative to B20 (B0/B20) was closely correlated with the concentration of B in the silk (r = 0.84, $P < 0.01$), pollen (r = 0.72, $P < 0.01$), flag leaf (r = 0.72, $P < 0.01$) and ear leaf (r = 0.70, $P < 0.01$). It is therefore postulated that maize genotypes may differ in their B response by the ability to supply B to the critical reproductive tissues.

In conclusion, this thesis has shown how B deficiency can depress maize yield by impairing reproductive development and function of the reproductive organs, especially the silk. Genotypic variation in the response to low B has also been demonstrated. These new pieces of information should be useful for management of the maize crop on low B soils and contribute to maize breeding programs that include B efficiency as a breeding objective.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การขาดโบรอนในข้าวโพด
ผู้เขียน	นายสิทธิชัย ลอดแก้ว
ปริญญา	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชไร่)
คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ. ดร. เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม ประธานกรรมการ
	รศ. ดร. ศันสนีย์ จำจด กรรมการ
	รศ. ดร. ดำเนิน กาละดี กรรมการ

บทคัดย่อ

ข้าวโพดเป็นหนึ่งในสามของพืชอาหารสำคัญที่สุดของโลก การใช้ประโยชน์จากข้าวโพดในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเป็นเวลาหลายปีมาแล้ว เนื่องจากการขยายอุตสาหกรรมปศุสัตว์ การเพิ่มรายได้ มีการบริโภคผลิตภัณฑ์เนื้อและนมเพิ่มขึ้น โบรอนเป็นธาตุอาหารที่พบว่ามีการขาดแพร่หลายที่สุดในหมู่จุลธาตุ การขาดโบรอนจึงอาจเป็นข้อจำกัดผลผลิตข้าวโพดในดินที่มีโบรอนต่ำ โดยเฉพาะในประเทศทางทวีปอัฟริกาที่ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและยังจำเป็นต้องใช้ข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารหลัก โดยมีรายงานว่าการขาดโบรอนลดผลผลิตในธัญพืชหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และทริติเคลี โดยทำให้เกสรตัวผู้เป็นหมัน (male sterility) และมีความแตกต่างระหว่างพันธุ์มากในความทนทานต่อการขาดโบรอนในดิน แต่ความเข้าใจเรื่องผลกระทบจากการขาดโบรอนในข้าวโพดยังคงมีอยู่จำกัดมาก ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อโบรอนในระยะการเจริญทางต้นและใบ (vegetative growth) และระยะสืบพันธุ์ (reproductive growth) ตลอดจนประเมินความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในการตอบสนองต่อการขาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โบรอน เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการจัดการข้าวโพดในดินโบรอนต่ำ รวมทั้งการปรับปรุงพันธุ์ให้ทนทานต่อการขาดโบรอนด้วย

การศึกษาในแปลงพบว่าการใส่โบรอนลงในดิน ทำให้ปริมาณโบรอนในต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งต้นหรือผลผลิตเมล็ด การศึกษาในทราย (sand culture) สามารถกำหนดระดับการขาดโบรอนในข้าวโพดได้อย่างแม่นยำ ในการปลูกข้าวโพดพันธุ์ นครสวรรค์ 72 (NS72) ในทราย ประกอบด้วยโบรอน 2 ระดับ คือ ไม่ใส่โบรอน (B0) และใส่โบรอน (B20: 20 μM B) การขาดโบรอนทำให้ผลผลิตข้าวโพดลดลงจาก 72 กรัมต่อต้น จนเหลือน้อยกว่า 1 กรัมต่อต้น การขาดโบรอนไม่มีผลต่อการเจริญทางต้นและใบ (5-leaf stage) การขาดโบรอนทำให้ผลผลิตลดลงเพราะจำนวนเมล็ดต่อฝักลดลง ข้าวโพดที่ขาดโบรอนมีระบบสืบพันธุ์ที่ผิดปกติ ทั้งในเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ได้แก่ การเกิดฝักเล็ก ๆ หลายฝัก มีไหมสั้น ในช่อดอกตัวผู้บางช่อมีขนาดเล็ก ตาย อับเรณูมีขนาดเล็ก และเหี่ยวย่น มีละอองเรณูที่ไม่สมบูรณ์ ข้าวโพดที่ขาดโบรอนมีโบรอนในช่อดอกตัวผู้ และไหมประมาณ 4 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้ง เปรียบเทียบกับในต้นปกติที่มีมากกว่า 8 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้งในช่อดอกตัวผู้ และ 15-18 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้งในไหม นอกจากนี้ยังพบว่าละอองเรณูจากต้นข้าวโพดที่ขาดโบรอนส่วนใหญ่เป็นหมันและไม่มีการสะสมแป้ง การขาดโบรอนมีผลต่อไหมข้าวโพดบนตำแหน่งของฝักข้าวโพดอ่อนแตกต่างกัน ไหมจากส่วนบนของฝักอ่อนจะได้รับผลกระทบจากการขาดโบรอนมากกว่าไหมที่อยู่บนส่วนที่อยู่ต่ำกว่าของฝักอ่อน โดยไหมที่ส่วนบนของฝักอ่อนนี้มีลักษณะผอมบาง แต่ไหมบนฝักส่วนล่าง มีลักษณะหนา ไม่แตกต่างไปจากไหมในต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดโบรอน การขาดโบรอนซึ่งทำให้น้ำหนักช่อดอกตัวผู้ลดลง ก็มีผลต่อส่วนต่างๆ ของช่อดอกตัวผู้ต่างกัน โดยดอกตัวผู้ตามกิ่งก้านจะแสดงอาการขาดโบรอนมากกว่าดอกย่อยที่อยู่บนแกนกลางช่อดอก ดอกตัวผู้ตามกิ่งก้านของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวโพดที่ขาดโบรอนมีละอองเรณูในปริมาณน้อยและเป็นหมันเนื่องจากไม่มีการสะสมของแป้ง การงอกล้มเหลว นอกจากนี้การขาดโบรอนยังมีผลต่อดอกย่อยสองดอกในแต่ละช่อดอกของข้าวโพด โดยละอองเรณูในดอกย่อยที่อยู่ต่ำกว่าจะเป็นหมันเนื่องจากการขาดโบรอนมากกว่าดอกย่อยที่อยู่ด้านบน ช่อดอกตัวผู้ที่ขาดโบรอนนี้มีโบรอนอยู่ประมาณ 4-5 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้ง และละอองเรณูมี 3 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้ง เปรียบเทียบกับข้าวโพดที่ไม่ขาดโบรอนซึ่งมี 18 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้ง ในช่อดอกตัวผู้ และ 7 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้งในละอองเรณู สำหรับอาการขาดโบรอนในดอกตัวเมียอาจทำให้เกิดหลายฝัก ซึ่งบางครั้งอาจมีรูปร่างเหมือนกับฝักทั่วไปแต่ส่วนปลายของฝักมีการเจริญเป็นกิ่งก้าน และมีลักษณะเหมือนช่อดอกตัวผู้ติดอยู่ที่ปลายฝัก บ้างมีลักษณะเหมือนกับฝักของข้าวโพดต้นปกติแต่มีการสร้างไหมจำนวนน้อยและสั้น และมีลักษณะผอมบางเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ไหมที่ขาดโบรอนไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ถึงแม้ว่าจะนำเอาละอองเรณูจากต้นปกติมาผสมก็ตามทำให้การติดเมล็ดล้มเหลวเนื่องจากละอองเรณูต้องการโบรอนสำหรับการงอกได้อย่างสมบูรณ์ ต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดโบรอนนี้มี โบรอนอยู่ประมาณ 4 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้ง ในต้นปกติมีประมาณ 15-18 มก. โบรอน ต่อ กก. น้ำหนักแห้ง

ในการทดลองปลูกข้าวโพด 7 สายพันธุ์ ประกอบด้วย NS1, Pioneer A33 CM Glutinous Corn (GC), Sweet Corn 7101 (SC), White Sweet Corn (WSC) และ NS72 ในทรายรดด้วยสารละลายอาหารที่ไม่มีการเติมโบรอน (B0) และ เติมโบรอน 20 μM B (B20) พบว่าพันธุ์ข้าวโพดแตกต่างกันใน (1) การเกิดการขาดโบรอนเมื่อไม่มีการเติมโบรอนในสารละลายธาตุอาหาร และ (2) ในการตอบสนองต่อโบรอน พันธุ์ SC นับว่าทนต่อการขาดโบรอนได้ดีที่สุด เพราะมีการติดเมล็ดและให้ผลผลิตเมล็ดที่ B0 ไม่แตกต่างจากที่ B20 ถัดไปได้แก่พันธุ์ WSC ที่ติดเมล็ดใน B0 ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประมาณสามในสี่ของต้น B20 ในขณะที่พันธุ์ที่มีสมรรถภาพการใช้โบรอนต่ำ ได้แก่ NS1 NS72 และ CM ที่ติดเมล็ดใน B0 ได้เพียง 5% หรือต่ำกว่าของต้นที่ติดได้ใน B20 สำหรับพันธุ์ Pioneer A33 ติดเมล็ดใน B0 เพียง 20% และ GC ติดเมล็ดใน B0 ได้ 51% ของต้นเมื่อไม่ขาดโบรอนใน B20 นอกจากนี้ยังพบว่าการติดเมล็ด (จำนวนเมล็ดใน B0 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการติดเมล็ดใน B20) มีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของโบรอนในไหม ($r = 0.84$, $P < 0.01$) ละอองเรณู ($r = 0.72$, $P < 0.01$) ใบธง ($r = 0.72$, $P < 0.01$) และใบที่ฝัก ($r = 0.70$, $P < 0.01$) นอกจากนี้การขาดโบรอนยังมีผลกระทบต่อพัฒนาการต่างกันในข้าวโพดต่างพันธุ์ ในพันธุ์ CM และ SC โบรอนไม่มีผลต่อวันออกไหม วันออกดอกตัวผู้ จำนวนก้านของช่อดอกตัวผู้ และจำนวนไหม แต่พบการขาดโบรอนทำให้ข้าวโพดมีดอกเร็วขึ้นในพันธุ์ WSC และมีดอกช้าลงในพันธุ์ Pioneer และ NS72

จากการศึกษาวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงลักษณะพิเศษของการตอบสนองต่อโบรอนในข้าวโพด ว่า ถึงแม้การขาดโบรอนจะมีผลกระทบต่อทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย ดอกตัวเมียโดยเฉพาะการทำงานของไหมข้าวโพดในการสนับสนุนการผสมเกสร เป็นกระบวนการทางสรีระที่มีความไวต่อการขาดโบรอนมากที่สุด และพันธุ์ข้าวโพดมีความแตกต่างกันมากในการตอบสนองต่อการขาดโบรอน โดยในระดับโบรอนที่รากระดับเดียวกัน มีพันธุ์ข้าวโพดบางพันธุ์ที่แทบจะไม่ติดเมล็ดเลยเพราะขาดโบรอน ในขณะที่ข้าวโพดบางพันธุ์ติดเมล็ดและให้ผลผลิตได้เป็นปกติ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการจัดการธาตุอาหารและการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีสมรรถนภาพในการเจริญได้ดีในสภาพดินที่มีโบรอนต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved