

การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชต่อความงอกของเมล็ดและความแข็งแรงของต้นกล้า

Seed Coating with Plant Nutrients on Seed Germination and Seedling Vigour

จักรพงษ์ กางโสภา^{1*}Jakkrapong Kangsopa^{1*}

คำนำ

เมล็ดพันธุ์ คือ ปัจจัยสำคัญของการปลูกพืช เมื่อเมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรง ต้นกล้าที่งอกจะมีพัฒนาการการเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์แข็งแรง ซึ่งคุณภาพที่ดีของต้นกล้าหลังการงอกนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลไปจนถึงการได้มาซึ่งผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพสูงด้วยเช่นกัน (Powell, 2009) การให้ความสำคัญของการอนุบาลต้นกล้าจึงเป็นปัจจัยสำคัญแรกเริ่มของการปลูกพืช โดยเฉพาะการให้ต้นกล้าได้รับธาตุอาหารพืชที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต ต้องมีความเหมาะสมทั้งชนิดและอัตราของธาตุอาหารพืช เพื่อช่วยส่งเสริมกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ ทั้งกระบวนการสร้างและการสลายอาหาร รวมทั้งซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เพื่อให้ต้นกล้าพืชสามารถมีพัฒนาการเจริญเติบโตไปเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์แข็งแรงได้ตามปกติ ซึ่งส่วนใหญ่นิยมให้ธาตุอาหารพืชผสมรวมไปกับการให้น้ำ (fertigation) การให้โดยวิธีการฉีดพ่นทางใบ และการให้ทางดินชนิดแบบเป็นเม็ด

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพการเพาะปลูกพืชตั้งแต่พืชยังเป็นเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเรียกว่าการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์พืชด้วยวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ (seed coating) ซึ่งเป็นที่นิยมกันทั่วโลก (อิศรัตน์ แก้วคำ, 2560) และวิธีการนี้ถูกนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยได้ไม่นาน เนื่องจากยังคงเป็นวิทยาการสมัยใหม่ โดยข้อดีของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ คือ สารเคลือบสามารถนำพาสารออกฤทธิ์ชนิดต่าง ๆ ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ ยกตัวอย่างเช่น ธาตุอาหารพืช สารจุลินทรีย์ชีวภาพ ฮอโมนพืช สารเร่งการเจริญเติบโต สารเคมีป้องกันแมลงศัตรูพืช สารป้องกันกำจัดวัชพืช และสารป้องกันเชื้อรา เป็นต้น (บุญมี ศิริ, 2558) โดยเฉพาะธาตุอาหารพืชที่มีประสิทธิภาพส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืช ทั้งนี้ สามารถกำหนดชนิดและอัตราส่วนของธาตุอาหารพืชให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ เมื่อต้นกล้างอกจะสามารถนำธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้ทันที โดยเป็นการลดทั้งค่าใช้จ่ายในการดูแลพืชในระยะต้นกล้าและประหยัดเวลา รวมทั้งง่ายต่อการจัดการต้นกล้าด้วย

การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชด้วยวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ คือ หนึ่งในวิธีการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่น่าสนใจมากในปัจจุบัน ซึ่งเห็นได้จากการลงทุนเพื่อศึกษาวิจัยเพิ่มมากขึ้นจากภาคเอกชนและอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ และหนึ่งในหัวข้อสำคัญ คือ การส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชด้วยวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืช ดังนั้น วัตถุประสงค์ของบทความเรื่องนี้ เพื่อรวบรวมข้อมูลความสำคัญของการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืชร่วมกับธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับนักศึกษา นักวิจัย และผู้สนใจทั่วไป

ความสำคัญของธาตุอาหารพืชต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า

กระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชจะเริ่มต้นจากเอ็มบริโอของเมล็ดที่สมบูรณ์โดยไม่มีระยะการพักตัวของเมล็ดมาขัดขวาง เมื่อได้รับปัจจัยที่เหมาะสมจะเริ่มงอกแรกและสร้างต้นอ่อนแล้วเติบโตเป็นต้นกล้า (Rajjou et al., 2012) โดยในกระบวนการงอกของเมล็ดธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดมีบทบาทสำคัญที่แตกต่างกัน กล่าวคือธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญอยู่ในเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่มีบทบาทสำคัญต่อการกระตุ้นและควบคุมปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Osuna et al., 2015) ส่วนธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบหลักในเอนไซม์ต่าง ๆ หลายชนิด ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่อการงอกของเมล็ด (Yang, 2018) ของธาตุโพแทสเซียม มีความสำคัญต่อกระบวนการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ และเร่งปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและการแตกตัวเคลื่อนย้ายของ starch ในเมล็ด (Sivanesan et al., 2011) และธาตุแคลเซียมมีบทบาทในการสร้าง Ca, pectate และเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน ส่งเสริมให้เมล็ดดูด $\text{NO}_3\text{-N}$ อีกทั้งมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิด และทำให้โปรตีนใน mitochondria เกิดและเพิ่มขึ้น (Liu et al., 2011) ธาตุแมกนีเซียมจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์พวกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรต และส่งเสริมการดูดและเคลื่อนย้ายฟอสเฟตในเมล็ด (Tobe et al., 2002) นอกจากนี้ธาตุกำมะถันยังมีบทบาทกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์พวก papainases ได้แก่ papain, bromelain และ ficin และเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนจำพวก cysteine cystine และ methionine และในการสังเคราะห์โปรตีนในกระบวนการงอกของเมล็ด (Bejandi et al., 2009) โบรอนช่วยส่งเสริมให้กระบวนการออกซิเดชันเป็นไปอย่างปกติ อีกทั้งปรับสมดุลใน phosphate ester metabolism และช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลข้าม membranes ได้ดียิ่งขึ้น

¹ สาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290

¹ Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

*Corresponding author, E-mail: jakkrapong_ks@mju.ac.th

(Ashagre et al., 2014) ธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อกระบวนการกระตุ้นเอนไซม์จำพวก fumaric hydrogenase, catalase, oxidase และ cytochromes (El-Rasafi et al., 2016) และธาตุแมงกานีสมีความสำคัญต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ carbohydrate metabolism ปฏิกริยา phosphorylation และ citric acid cycle (Wang et al., 2007) และธาตุทองแดงมีความสำคัญต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์จำพวก tyrosinase, laccase, ascorbic acid oxidase และ butyryl-CoA dehydrogenase (Verma et al., 2011)

ส่วนปัจจัยของธาตุอาหารพืชที่สนับสนุนการเจริญเติบโตส่วนหนึ่งได้มาจากอากาศและน้ำ คือ คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน และธาตุอื่น ๆ ซึ่งพืชในระยะต้นกล้าอาจยังไม่ต้องการธาตุอาหารพืชในปริมาณมาก แต่ยังคงต้องการธาตุอาหารบางชนิดเพื่อช่วยในการตั้งตัวของต้นกล้า (McCauley, 2009) ยกตัวอย่างความสำคัญของธาตุอาหารหลัก เช่น ธาตุไนโตรเจน (nitrogen, N) ช่วยเร่งการเจริญเติบโตทางใบและลำต้นให้แข็งแรง (Coskun et al., 2016) ส่วนธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus, P) ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของราก โดยเฉพาะรากฝอยและรากแขนง อีกทั้งยังช่วยสนับสนุนให้รากดูดธาตุโพแทสเซียมจากดินบริเวณรอบ ๆ มาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น (Schachtman et al., 1998) และธาตุโพแทสเซียม (potassium, K) จะช่วยให้ต้นกล้าพืชมีความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ ได้ดี อีกทั้งช่วยให้รากดูดน้ำได้ดียิ่งขึ้นด้วย (Manning, 2010) อย่างไรก็ตาม นอกจากความสำคัญของธาตุอาหารพืชที่มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าแล้ว กลุ่มของธาตุอาหารรองยังคงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าเช่นเดียวกัน ซึ่งแตกต่างกันเพียงปริมาณความต้องการของต้นกล้านำไปใช้นั่นเอง ดังนั้น ต้นพืชในระยะต้นกล้าจึงมีความต้องการธาตุอาหารพืชสำหรับการงอกและการเจริญเติบโต และอาจจะขาดไม่ได้แม้แต่เพียงธาตุเดียว ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของต้นกล้าพืชได้ ฉะนั้น ต้นกล้าพืชแต่ละชนิดจึงมีความต้องการธาตุอาหารพืชที่จำเพาะเจาะจง รวมทั้งชนิดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน และการมีวิธีการจัดการการอนุบาลต้นกล้าที่ดีเพื่อให้ธาตุอาหารพืชกับต้นกล้า โดยสามารถกำหนดชนิดและอัตราที่แน่นอนได้ จะช่วยให้พืชสามารถนำธาตุอาหารพืชไปใช้ได้เหมาะสม และสามารถพัฒนาเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์แข็งแรงได้ ยกตัวอย่างเช่น วิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืชร่วมกับธาตุอาหารพืช เป็นต้น

การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช

ความสำคัญของการเคลือบเมล็ดพันธุ์

ปัจจุบันเทคโนโลยีการเคลือบเมล็ดพันธุ์เริ่มเป็นที่รู้จักและแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญด้านการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ให้คงคุณภาพ และมีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับพร้อมนำไปใช้เพื่อการเพาะปลูกต่อไป การเคลือบเมล็ดพันธุ์มีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น เครื่องมือในการเคลือบเมล็ดพันธุ์ สารเคลือบเมล็ดพันธุ์ สารออกฤทธิ์ชนิดต่าง ๆ และชนิดของเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังคงมีการศึกษาค้นคว้าพัฒนาสูตรสารเคลือบ รวมไปถึงเทคโนโลยีของเครื่องเคลือบเมล็ดพันธุ์พืชให้มีความทันสมัยและเหมาะสมต่อชนิดของเมล็ดพันธุ์พืชมากยิ่งขึ้น ซึ่งหากกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ คือ การเป็นตัวกลางนำพาสารออกฤทธิ์ชนิดต่าง ๆ ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์พืช เมื่อเมล็ดพันธุ์ออกเป็นต้นกล้าจะสามารถนำสารออกฤทธิ์เหล่านั้นไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์แข็งแรงต่อไป (จิตรรัตน์ แก้วคำ, 2560)

การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืช

การเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นการประยุกต์วิธีการมาจากอุตสาหกรรมเคลือบเม็ดยา เพื่อช่วยทำให้เม็ดยามีความแข็งแรง ไม่หลุดร่อน รักษาคุณภาพสารออกฤทธิ์ และช่วยกลบรูปร่างประเภทที่ไม่พึงประสงค์ เช่น รสขม แต่การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืชเป็นวิธีการปฏิบัติต่อสิ่งมีชีวิตที่ต้องคำนึงถึงคุณภาพหลังการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ เช่น ความงอก ความแข็งแรง และความมีชีวิต การเคลือบเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีเป้าหมายที่ชัดเจนสำหรับการเลือกประเภทของสารออกฤทธิ์ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ตามวัตถุประสงค์ เช่น สารป้องกันเชื้อรา สารป้องกันแมลง สารป้องกันกำจัดวัชพืช สารจุลินทรีย์ชีวภาพ ฮอโมนพืช และธาตุอาหารพืช (Figure 1A) ฉะนั้น การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชจึงเป็นแนวทางหนึ่งของการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืช และในปัจจุบันสามารถระบุความจำเพาะของธาตุอาหารพืชต่อชนิดของเมล็ดพันธุ์ และยังสามารถกำหนดอัตราส่วนที่แน่นอนของธาตุอาหารพืชให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ อีกทั้งคุณสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์ยังช่วยส่งเสริมให้เมล็ดดูดซับน้ำได้ไวยิ่งขึ้น และยังช่วยอุ้มน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดพันธุ์ได้นานยิ่งขึ้นกว่าเดิม

ลักษณะทั่วไปของการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืชร่วมกับธาตุอาหารพืช

โดยทั่วไปการเคลือบเมล็ดพันธุ์จะมีองค์ประกอบ คือ สารเคลือบเมล็ดพันธุ์ สารออกฤทธิ์ และเครื่องเคลือบเมล็ดพันธุ์ ซึ่งหลักการเบื้องต้นของการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืชด้วยธาตุอาหารพืชคือ เมื่อธาตุอาหารพืชถูกเตรียมให้อยู่รวมกับสารเคลือบโดยเป็นเนื้อเดียวกัน (ซึ่งอาจจะอยู่ในสารละลายที่เตรียมเองหรือในรูปของสารเคลือบทางการค้าสำเร็จรูป) แล้วนำไปเคลือบร่วมกับ

เมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องเคลือบเมล็ดพันธุ์ จะได้เมล็ดที่ถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ในลักษณะแผ่นฟิล์มบาง ๆ โดยแผ่นฟิล์มที่ห่อหุ้มเมล็ดพันธุ์จะมีธาตุอาหารพืชติดไปกับเมล็ดพันธุ์โดยสม่ำเสมอ ๗ ผิวของเมล็ดพันธุ์ (Figure 1A) เมื่อเมล็ดงอกเป็นต้นกล้า รากที่ทำหน้าที่หาอาหารจะสามารถนำธาตุอาหารที่ละลายอยู่บริเวณรอบ ๆ ต้นกล้าขึ้นไปใช้ได้ทันที ทั้งนี้ ยังเป็นผลสืบเนื่องมาจากข้อดีของพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์ โดยจะค่อย ๆ ละลายออกช้า ๆ จากผิวของเมล็ดพันธุ์เมื่อได้รับความชื้นหรือถูกการชะล้างจากน้ำ แผ่นฟิล์มที่ห่อหุ้มเมล็ดพันธุ์จะค่อย ๆ ละลายออกจากผิวของเมล็ดพันธุ์ ทำให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาด้วยเช่นเดียวกัน และในขณะเดียวกันเมื่อเมล็ดพันธุ์เริ่มงอกรากและลำต้น ต้นกล้าจะสามารถนำธาตุอาหารพืชที่ละลายอยู่บริเวณรอบ ๆ ไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้สามารถพัฒนาเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์แข็งแรงได้อย่างรวดเร็ว (Figure 1B)

ดังนั้น การเคลือบเมล็ดพันธุ์ที่มีข้อดีต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาการที่สมบูรณ์แข็งแรงของต้นกล้าพืช และการเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านสารเคลือบพอลิเมอร์มาใช้ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ที่มีชีวิตโดยไม่เป็นอันตรายต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมมากที่สุดด้วย อย่างไรก็ตาม การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชยังคงมีความจำเพาะต่อวัตถุประสงค์การเลือกใช้ ซึ่งสิ่งที่ควรคำนึงเสมอ คือ ความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์ ชนิดของสารเคลือบ ชนิดของเมล็ดพันธุ์พืช รวมทั้งชนิดและอัตราที่เหมาะสมของธาตุอาหารพืชก่อนนำไปใช้เคลือบร่วมกับเมล็ดพันธุ์พืช ทั้งนี้ ควรทำความเข้าใจและคัดเลือกองค์ประกอบการเคลือบเมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสม เพื่อลดปัจจัยความเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และเพื่อประโยชน์สูงสุดของคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชเมื่อนำไปเพาะปลูก

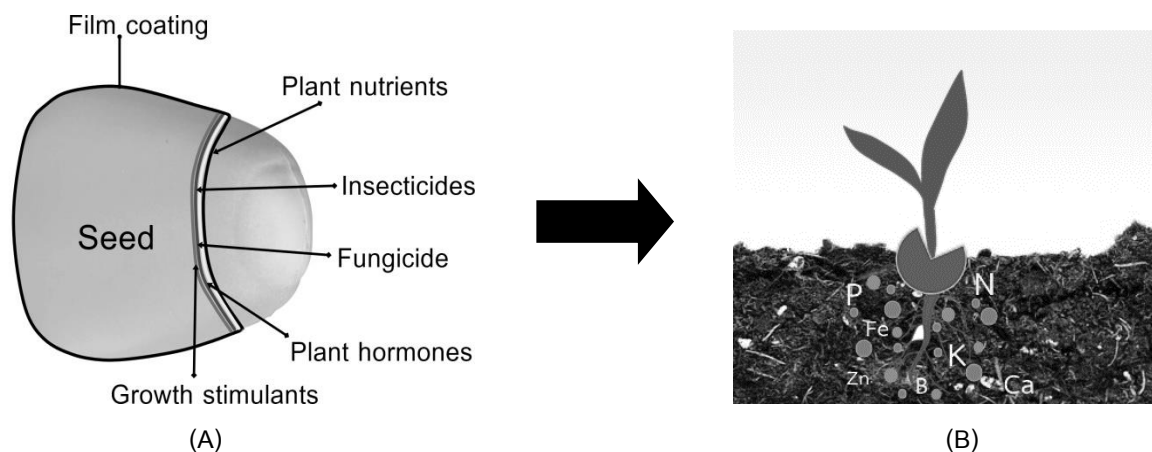


Figure 1 Show the pattern of seed coating with various active ingredients (A), show plant nutrients that are dissolved around the plant seedlings after coated seed with plant nutrients (B).

ผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืช

ต้นกล้าพืชทุกชนิดต้องการอาหารซึ่งเป็นสารที่มีธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม และจำเพาะเจาะจง ดังนั้น นักวิจัยจึงได้ทดลองนำธาตุอาหารพืชมาปรับใช้ร่วมกับเมล็ดพันธุ์พืชด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยเฉพาะการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในปัจจุบัน เพื่อให้ธาตุอาหารพืชติดไปกับเมล็ดพันธุ์ซึ่งบทความฉบับนี้ได้รวบรวมข้อมูลธาตุอาหารพืชที่นิยมนำมาใช้เคลือบร่วมกับเมล็ดพันธุ์ โดยข้อมูลบางส่วนได้รวบรวมไว้ใน Table 1 นอกจากนี้ยังได้รวบรวมรายละเอียดอื่น ๆ ของธาตุอาหารพืช ดังนี้

การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารหลัก

1) ธาตุไนโตรเจน (nitrogen, N) เป็นองค์ประกอบของพืชประมาณร้อยละ 18 โดยทั่วไปธาตุไนโตรเจนในดินมักขาดมากกว่าธาตุอื่น โดยพืชนำไนโตรเจนที่มาใช้ผ่านการดึงจากรากในดินในรูปของไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) (Monaco et al., 2003; Tsay et al., 2011; Rubio-Asensio et al., 2015) ซึ่งจากการรายงานของ Miyatake et al. (2019) ได้เคลือบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองร่วมกับปุ๋ยยูเรียพบว่า เมื่อทดสอบวางในตำแหน่งที่ลึก 20 เซนติเมตร เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการนำไนโตรเจนไปใช้พบว่า วิธีการเคลือบเมล็ดด้วยยูเรียไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการทำงานของปมรากถั่ว ทำให้การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองดีขึ้น อีกทั้งสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตของถั่วเหลืองขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ช่วยกระตุ้นการเกิดรากของถั่วเหลือง ช่วยให้รากดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดียิ่งขึ้นโดยไม่มีผลกระทบต่อการใช้ไนโตรเจนของพืช (Takahashi et al., 1991; Kaushal et al., 2004; Kaushal et al., 2005) ต่อมา Khunkeaw et al. (2012) รายงานว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด

ร่วมกับ urea formaldehyde (UF) โดยใช้ UF อัตรา 0.2 gN + PEG 6000 ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด คือ 94% และยังพบอีกว่า การเคลือบเมล็ดร่วมกับ UF อัตรา 0.2 gN ทำให้ต้นกล้าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดมีความแข็งแรงดีมากกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่เคลือบ

2) ธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus, P) เป็นธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอสอดคล้องความต้องการของพืช เพราะเป็นธาตุที่ถูกตรึงหรือเปลี่ยนเป็นสารประกอบได้ง่าย อีกทั้งสารเหล่านี้ละลายน้ำได้ยาก ทำให้พืชไม่สามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ โดยทั่วไปพืชดูดฟอสฟอรัสจากดินมาใช้ในรูปของ $H_2PO_4^{4-}$ และ HPO_4^{2-} และปริมาณสารทั้งสองชนิดจะมากหรือน้อยขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่ง Black (1968) ได้รายงานไว้ที่ pH 6-7 จะมีปริมาณ P คิดเป็น 50% ของค่า P ทั้งหมด และที่ pH 4-6 จะมี $H_2PO_4^{4-}$ ประมาณ 100% ของค่า P ทั้งหมดในสารละลาย ส่วนที่ pH 8 จะมี $H_2PO_4^{4-}$ คิดเป็น 20% และ HPO_4^{2-} คิดเป็น 80% ของ P ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่พืชไม่สามารถนำสารเหล่านี้ไปใช้ได้ เนื่องจากมักถูกยึดด้วยอนุภาคดินเหนียว (Vance et al., 2003) ดังนั้น วิธีการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์โดยให้ธาตุฟอสฟอรัสติดไปกับเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ จึงเป็นทางเลือกสำคัญต่อปัจจัยการเจริญเติบโตของต้นกล้าอย่างมาก

จากความสำคัญของฟอสฟอรัสจึงมีนักวิจัยได้เริ่มศึกษากันมานานมากแล้ว ยกตัวอย่างเช่น จากการรายงานของ Rebařka et al. (1993) ได้เคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างด้วย superphosphate, ammonium dihydrogen phosphate, monocalcium phosphate, sodium dihydrogen phosphate และ sodium triphosphate พบว่า การเคลือบเมล็ดด้วย ammonium dihydrogen phosphate (AHP) มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างดีที่สุด และต่อมา Karanam and Vadez (2010) ได้สนับสนุนเพิ่มเติมว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยฟอสฟอรัสยังคงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการส่งเสริมการตั้งตัวของข้าวฟ่างในระยะต้นกล้า อีกทั้งเห็นผลในเชิงบวกต่อการพัฒนาช่อดอกและมีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นได้ ในปัจจุบัน Soares et al. (2016) พบว่า ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่สำคัญที่สุดสำหรับถั่วเหลือง เนื่องจากเมื่อทดสอบเคลือบเมล็ดถั่วเหลืองด้วยฟอสฟอรัสแล้ว มีปริมาณของน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก องค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ และความสูงของต้นถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งมีปริมาณในการเกิดปมรากถั่วเพื่อช่วยส่งเสริมการตรึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และเห็นได้ชัดว่าพืชมีพัฒนาการด้านการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม

3) ธาตุโพแทสเซียม (Potassium, K) เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยพืชจะดูดโพแทสเซียมมาใช้ในรูปของโพแทสเซียมไอออน และสามารถละลายน้ำได้ดี ซึ่งมีบทบาทช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการการสวางแบ่ง การช่วยรักษาสมดุลระหว่างความเป็นกรด-เบส ของพืช ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ รวมทั้งการช่วยให้รากพืชสามารถดูดน้ำและอาหารได้ดียิ่งขึ้นด้วย ฉะนั้น ธาตุโพแทสเซียมคือหนึ่งในธาตุที่นักวิจัยให้ความสนใจมาจนวนาน ร่วมกับวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ ยกตัวอย่างจากการรายงานของ Zhang et al. (1998) เมื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวบาร์เลย์ด้วยสารเคลือบจาก polyurethane ร่วมกับ KCl อัตรา 44 และ 132 มิลลิกรัมของ K/กระถาง (มีดินบรรจุภายในกระถางปริมาณ 2,000 กรัม) และจากการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมจากต้นพืชหลังอบแห้งพบว่า การเคลือบเมล็ดร่วมกับโพแทสเซียมสามารถช่วยให้ต้นข้าวบาร์เลย์ดูดธาตุโพแทสเซียมไปใช้ได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะช่วงเวลา 40 ถึง 76 วันหลังเพาะปลูก ดังนั้น การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุโพแทสเซียมสามารถนำไปปรับใช้กับดินที่ขาดธาตุโพแทสเซียมได้

การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารรอง

1) ธาตุโบรอน (B) เป็นธาตุจุลธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยมาก แต่ที่มีธาตุโบรอนเป็นองค์ประกอบที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ บอแรกซ์ (Borax : $Na_2 B_4 O_7 \cdot 10 H_2O$) และในรูป tourmaline อย่างไรก็ตาม ธาตุโบรอนมีความสำคัญต่อพืชเนื่องจากมีส่วนช่วยให้กระบวนการสังเคราะห์โปรตีน และลิพิด ช่วยในการแบ่งเซลล์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญในพืช และยังมีส่วนช่วยในการยึดตัวของรากพืชบางชนิดรวมถึงมีความสำคัญในการสร้างปมรากของพืชตระกูลถั่วด้วย นอกจากนี้ ยังมีบทบาทเกี่ยวข้องต่อการดูดตั้งธาตุอาหารพืช ช่วยให้พืชดูดเอาธาตุแคลเซียมและไนโตรเจนไปใช้ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ยกตัวอย่างจากการศึกษาการเพิ่มแหล่งธาตุโบรอนให้กับเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ borax, boric acid และ sodium tetraborate อัตรา 0.2-2 กรัม/กิโลกรัมเมล็ดพันธุ์ข้าว และหลังการทดลองพบว่า ช่วยยกระดับการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม (Farooq et al., 2012) อย่างไรก็ตาม การศึกษาความจำเพาะของธาตุโบรอนร่วมกับวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ ยังคงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้น และจากการรายงานของ Rehman and Farooq (2013) พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับธาตุโบรอนอัตรา 2 กรัม/กิโลกรัมเมล็ดพันธุ์ จะช่วยยกระดับความสูงของต้นกล้าข้าวมากยิ่งขึ้น และนอกจากนี้ยังพบว่า โบรอนที่ใช้เคลือบร่วมกับเมล็ดพันธุ์ข้าวมีผลช่วยควบคุมการยึดตัวของเซลล์ การกระตุ้นการเจริญเติบโต และช่วยในการรักษาสถานะน้ำภายในเนื้อเยื่อ ทำให้เซลล์ใบและเซลล์ลำต้นข้าวยืดขยายได้มากขึ้น อีกทั้งช่วยเพิ่มการแตกกอของข้าวได้มากขึ้นด้วย

2) ธาตุโมลิบดีนัม (Mo) เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการตรึงธาตุไนโตรเจน ทำให้การทำงานของธาตุไนโตรเจนในพืชสมบูรณ์ขึ้น เนื่องจากส่งเสริมให้พืชสามารถตรึงไนโตรเจนและเร่งกิจกรรมเอนไซม์ไนโตรจีเนสเพื่อแปรเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียมสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตของพืชได้มากขึ้น (Barker and Pilbeam, 2007) นอกจากนี้ยังจำเป็นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และน้ำย่อยภายในพืชบางชนิด ฉะนั้นในเบื้องต้นนักวิจัยพบว่า การใช้ธาตุโมลิบดีนัมร่วมกับเมล็ดยีสต์ถั่วเหลือง 80 กรัม/เฮกตาร์ มีผลในการเพิ่มขึ้นของ chlorophyll index, จำนวนผัก, น้ำหนักเมล็ดยีสต์ และผลผลิตของเมล็ดยีสต์ (Biscaro et al., 2009) ในทำนองเดียวกัน เมื่อทดลองปลูกเมล็ดยีสต์ถั่วเหลืองและถั่วเหลืองในแปลงที่มีความเป็นกรด หลังจากการเคลือบเมล็ดยีสต์ร่วมกับธาตุโมลิบดีนัมพบว่า มีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม นอกจากนี้เมื่อใช้ร่วมกับ rock phosphate พบว่า มีความเป็นประโยชน์ต่อพืชดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ liming (Rhodes and Nangju, 1979)

นอกจากนี้ โมลิบดีนัมไอออนยังมีคุณสมบัติช่วยป้องกันไม่ให้ซัลไฟด์สร้าง sulfide ions สาเหตุจากการเกิดน้ำท่วมขังได้ (Hori et al., 1990; Biswas et al., 2009) ซึ่งโดยปกติ sulfide จะเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตโดยจุลินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้ในสภาพที่น้ำเสียจากการท่วมขังมีค่าพีเอชเป็นกรด เช่น จากการรายงานของนักวิจัยจากประเทศญี่ปุ่นที่มักพบปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่ ทำให้การปลูกถั่วเหลืองประสบปัญหาการงอกและการยืนต้นของต้นกล้า และจากการทดลองเคลือบเมล็ดยีสต์ถั่วเหลืองด้วยโมลิบดีนัมไดออกไซด์ (MoO₃) สามารถช่วยให้ต้นกล้ามีความแข็งแรง และมีการตั้งตัวของต้นกล้าได้เพิ่มมากขึ้นจากเดิม (Hara, 2015) และยังพบปัญหาการงอกและการตั้งตัวของต้นกล้าข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์หลังจากน้ำท่วมเพิ่มเติมขึ้นมามากขึ้น ฉะนั้นเมื่อทดลองเคลือบเมล็ดยีสต์ร่วมกับธาตุโมลิบดีนัมพบว่า การใช้ที่อัตรา 0.05-0.5 มิล-โมลิบดีนัม/กิโลกรัมเมล็ดยีสต์ ทำให้ต้นกล้าสามารถงอกและยืนต้นได้ดีเพิ่มมากขึ้นไม่น้อยกว่า 54% จากเดิม ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเมล็ดยีสต์ที่ไม่ได้เคลือบพบว่า ต้นกล้าสามารถงอกและยืนต้นได้เพียงเล็กน้อย (34%) (Hara, 2016) นอกจากนี้ยังพบว่า การเคลือบเมล็ดยีสต์ร่วมกับโมลิบดีนัมยังช่วยให้ต้นกล้าข้าวตั้งตัวได้ดีขึ้นด้วยในสภาพดินเหลวหรือถูกน้ำท่วมขังที่มีภาวะกันค่อนข้างมาก (Hara, 2013) ดังนั้นจากการเคลือบเมล็ดยีสต์ร่วมกับธาตุโมลิบดีนัมจะช่วยให้พืชหลังน้ำท่วมสามารถตรึงไนโตรเจนได้ดียิ่งขึ้น และทำให้พืชสามารถสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย จึงมีผลทำให้อัตราการรอดของต้นกล้าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม

3) ธาตุสังกะสี (Zn) มีความจำเป็นต่อพืชทุกชนิด โดยจะเป็นสารที่ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ในการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมีของพืช ได้แก่ การสังเคราะห์ด้วยแสง การสร้างน้ำตาล การสังเคราะห์โปรตีน การเจริญเติบโตของต้นกล้า และการต้านทานโรค (Kaya and Higgs, 2002) จากความสำคัญดังกล่าว มีการรายงานของนักวิจัยหลายท่านที่ได้ศึกษาการนำธาตุ Zn มาเคลือบและพกร่วมกับเมล็ดยีสต์ เพื่อช่วยในการยกระดับคุณภาพเมล็ดยีสต์ให้ดีขึ้น ยกตัวอย่างเช่น Singh (2004) รายงานว่า การเคลือบเมล็ดยีสต์ด้วยธาตุอาหารพืชทางการค้าสูตร Teprosyn-ZnP หรือ Teprosyn-Zn มีศักยภาพทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้นและมีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการทดลองในข้าวโพด ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ทานตะวัน และข้าวสาลี นอกจากนี้ Shabaz et al. (2015) พบว่า การเคลือบเมล็ดยีสต์ข้าวโพดด้วย ZnSO₄ อัตรา 2 กรัม/กิโลกรัมเมล็ดยีสต์ ทำให้ความยาวรากและความยาวต้นของต้นกล้าข้าวโพดโตมากกว่าเมล็ดยีสต์ที่ไม่ได้เคลือบ และจากการรายงานของ Adhikari et al. (2016) พบว่า การเคลือบเมล็ดยีสต์ด้วย Zn อัตรา 50 มิลลิกรัม ทำให้ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วมะพร้าว และ Ladies finger มีน้ำหนักแห้งต้นพืชโตมากกว่าเมล็ดยีสต์ที่ไม่ได้เคลือบ คือ 22.35 กรัม, 10.73 กรัม, 14.60 กรัม และ 9.47 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ในพืชแต่ละชนิดมีปริมาณสะสมของธาตุสังกะสี (Zn) ต่ำกว่าวิธีการทดลองอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้ Korishettar et al. (2016) รายงานเพิ่มเติมว่า เมื่อเคลือบเมล็ดยีสต์ถั่วมะพร้าวด้วยอนุภาคนาโนของธาตุเหล็ก พบว่าเมื่อใช้ในอัตรา 750 ppm จะทำให้ถั่วมะพร้าวมีความงอกของเมล็ดยีสต์สูงที่สุด คือ 96% นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงด้านอื่น ๆ ที่มีผลตอบสนองเพิ่มมากขึ้น คือ ความยาวของต้นกล้า (26.63 เซนติเมตร) น้ำหนักแห้งของต้นกล้า (85.00 มิลลิกรัม), ความเร็วในการงอก (32.95) การงอกในแปลงปลูกเพิ่มสูงขึ้น (89.67%) ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า (2556) กิจกรรม dehydrogenase เพิ่มสูงขึ้น (0.975 ค่า OD) และมีกิจกรรมของแอลฟาอะไมเลสดีเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน (25.67 มิลลิเมตร) และผลของการได้รับธาตุเหล็กในปริมาณที่เหมาะสมจึงทำให้ต้นกล้าหลังจากการงอกมีการเปลี่ยนแปลงของสรีรวิทยาผิดปกติเพียงเล็กน้อยคือ 2.50%

จากการรายงานของนักวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเคลือบเมล็ดยีสต์ร่วมกับธาตุอาหารพืชมีทั้งข้อดีและข้อเสียต่อคุณภาพเมล็ดยีสต์ ทำให้การเลือกใช้ชนิดและอัตราของธาตุอาหารพืชที่ไม่เหมาะสมต่อชนิดของเมล็ดยีสต์พืชอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดยีสต์ได้ ดังนั้นการศึกษานานาชนิดและอัตราส่วนของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม จึงมีความจำเป็นเพื่อลดความเสี่ยงต่อคุณภาพเมล็ดยีสต์ ส่งผลให้การกำหนดชนิดและอัตราที่เหมาะสมของธาตุอาหารพืชจะช่วยให้การเคลือบเมล็ดยีสต์เป็นกุญแจสำคัญต่อการผลิตพืชให้ประสบผลสำเร็จมากที่สุดในยุคปัจจุบัน

Table 1 Type of polymers, plant nutrients used for seed-coating on several plant seed.

Plant	Type of polymers	Type of plant nutrients	References
Artichoke	Chitosan power Polymer	Chitosan	Ziani et al. (2010)
Barley	-	Phosphorus	Zelonka et al. (2005)
Barley	Methylcellulose and polyvinyl alcohol	Phosphorus	Pilar-izquierdo et al. (2012)
Barley	CF Clear [®] polymer	Calcium, silicon	Corlett et al. (2014)
Cotton	-	Sulfur	Rezaei and Bagherian (2013)
Hereafter brome, junegrass, buckwheat, yarrow	Polyvinyl alcohol	Biochar	Williams et al. (2016)
Maize	Polyethylene glycol	Urea-formaldehyde	Khunkeaw et al. (2012)
Maize	Bio-polymer solution	Chitosan and hydrogen peroxide	Paulin et al. (2013)
Maize	-	Boron, Zinc	Shabaz et al. (2015)
Maize, soybean, pigeon pea, ladies finger	Ethyl alcohol and crude pine oleoresin	ZnO nano-particles	Adhikari et al. (2016)
Oat	-	Phosphorus	Peltonen-sainio et al. (2006)
Pearl millet	-	Phosphorus	Karanam and Vadez (2010)
Pigeon pea	Polymer and nanoparticles suspensions	Zinc, Iron	Korishettar et al. (2016)
Rice	Polyolefin resin	Iron	Singh et al. (2004)
Rice	-	Zinc, urea	Shivay et al. (2008)
Rice	Commercial polymer	Iron	Mori et al. (2012)
Rice	-	KNO ₃ , GA ₃	Gevrek et al. (2012)
Rice	Gum Arabic	Boron	Rehman et al. (2012)
Rice	Inert sticky	Boron	Rehman and Farooq (2013)
Rice	Polyvinyl alcohol	Molybdenum	Hara (2013)
Soybean	-	Urea	Takahashi et al. (2006)
Soybean	-	Urea, lime nitrogen	Tewari et al. (2007)
Soybean	Chitosan solution	Chitosan	Williams et al. (2012)
Soybean	Polymer backbone	Copper, manganese, zinc	Wiatrak (2013)
Soybean	Polyvinyl alcohol	MoO, MoPNH, MoPK	Hara (2015)
Wheat	-	Phosphorus	Mašauskiene et al. (2007)
Wheat	Polyvinyl alcohol	MoO, MoPNH	Hara (2016)

สรุป

การงอกและการเจริญเติบโตของพืชมีความต้องการธาตุอาหารพืชด้วยชนิดและปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละชนิดพืช เพื่อส่งเสริมพัฒนาการที่สมบูรณ์แข็งแรงของต้นกล้าพืช และวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชเป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ดีและเป็นที่ยอมรับมากในปัจจุบัน เนื่องจากการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชสามารถช่วยส่งเสริมพัฒนาการของต้นกล้า ได้แก่ ความงอก ความยาวราก ความยาวลำต้น ความแข็งแรง และมวลน้ำหนักแห้งของพืช

เอกสารอ้างอิง

- ธิดารัตน์ แก้วคำ. 2560. การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. *วารสารแก่นเกษตร* 45(1): 197-208.
- บุญมี ศิริ. 2558. *การยกระดับและการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์*. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังน่านวิทยา.
- Adhikari, T., Kundu, S., and Rao, A. S. 2016. Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. *Journal of Plant Nutrition* 39(1): 136-146.
- Ashagre, H., Hamza, I. A., Fita, U., and Nedes, W. 2014. Influence of boron on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Plant Science* 8(2): 133-139.
- Barker, A. V., and Pilbeam D. J. 2007. *Handbook of plant nutrition*. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Bejandi, T. K., Sedghi, M., Sharifi, R. S., Namvar, A., and Molaei, P. 2009. Seed priming and sulfur effects on soybean cell membrane stability and yield in saline soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44(9): 1114-1117.
- Biscaro, G. A., Goulart Junior, S. A. R., Soratto, R. P., Freitas-Júnior, N. A., Motomiya, A. V. A., and Calado-Filho, G. C. 2009. Molybdenum applied to seeds and side dressing nitrogen on irrigated common bean in cerrado soil. *Ciência e Agrotecnologia* 33: 1280-1287.
- Biswas, K. C., Woodards, N. A., Xu, H., and Barton, L. L. 2009. Reduction of molybdate by sulfate-reducing bacteria. *BioMetals* 22: 131-139.
- Black, C. A. 1968. *Soil-plant relationships*. New York: John Wiley and Sons.
- Corlett, F. M. F., Rufino, C. A., Vieira, J. F., Tavares, L. C., Tunes, L. M., and Barros, A. C. S. A. 2014. The influence of seed coating on the vigor and early seedling growth of barley. *Ciencia e Investigación Agraria* 41(1): 129-136.
- Coskun, D., Britto, D. T., and Kronzucker, H. J. 2016. Nutrient constraints on terrestrial carbon fixation: The role of nitrogen. *Journal of Plant Physiology* 203: 95-109.
- El-Rasafi, T., Nouri, M., Bouda, S., and Haddioui, A. 2016. The effect of Cd, Zn, and Fe on seed germination and early seedling growth of wheat and bean. *Ekológia (Bratislava)* 35(3): 213-223.
- Farooq, M., Wahid, A., and Siddique, K. H. M. 2012. Micronutrient application through seed treatments-a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12(1): 125-142.
- Gevrek, M. N., Atasoy, G. D., and Yigit, A. 2012. Growth and yield response of rice (*Oryza sativa*) to different seed coating agents. *International Journal of Agriculture and Biology* 14: 826-830.
- Hara, Y. 2013. Improvement of rice seedling establishment on sulfate-applied submerged soil by seed coating with poorly soluble molybdenum compounds. *Plant Production Science* 16(3): 271-275.
- Hara, Y. 2015. Improvement of soybean seedling establishment under a flooded condition by seed coating with molybdenum compounds. *Plant Production Science* 18(2): 161-165.
- Hara, Y. 2016. Improvement of seedling establishment under flood condition by seed coating with molybdenum compounds for wheat and barley. *Plant Production Science* 19(2): 223-229.
- Hori, K., Inubushi, K., Matsumoto, S., and Wada, H. 1990. Appropriate concentration of inhibitors for methane formation and sulfate reduction in submerged soil system. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 61: 647-648.
- Karanam, P. V., and Vadez, V. 2010. Phosphorus coating on pearl millet seed in low P Alfisol improves plant establishment and increases stover more than seed yield. *Experimental Agriculture* 46(4): 457-469.
- Kaushal, T., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, et al. 2004. Effect of placement of urea and coated urea on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.)) seed. *Soil Science and Plant Nutrition* 50: 1245-1254.
- Kaushal, T., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, et al. 2005. Analysis of promotive effect of deep placement of slow release N fertilizers on growth and seed yield of soybean. *Soil Science and Plant Nutrition* 51: 501-512.
- Kaya, C. and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae* 93: 53-64.
- Khunkeaw, S., Boonmala, N., Sawadeemit, C., Vearasilp, S., and Thanapornponpong, S. 2012. Using urea formaldehyde and polyethylene glycol as seed coating to improve maize seed qualities. *Journal of Natural Sciences* 11(1): 257-261.
- Korishettar, P., Vasudevan, S. N., Shakuntala, N. M., Doddagoudar, S. R., Hiregoudar, S., and Kisan, B. 2016. Seed polymer coating with Zn and Fe nanoparticles: an innovative seed quality enhancement technique in pigeonpea. *Journal of Natural and Applied Sciences* 8(1): 445-450.
- Liu, T. W., Wu, F. H., Wang, W. H., Chen, J., Li, Z. J., Dong, X. J., Patton, J., Pei, Z. M., and Zheng, H. L. 2011. Effects of calcium on seed germination, seedling growth and photosynthesis of six forest tree species under simulated acid rain. *Tree Physiology* 31(4): 402-413.
- Manning, D. A. C. 2010. Mineral sources of potassium for plant nutrition. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 281-294.
- Mašauskiene, A., Mašauskas, V., and Peltonen, J. 2007. The impact of phosphorus seed coating on winter wheat at different fertilisation practices. *Agronomy Research* 5(2): 123-133.

- McCauley, A. 2009. Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. pp. 1-16. In *Module No. 9 Extension service continuing education series, Nutrient management*. Bozeman: Montana State University.
- Miyatake, M., Ohshima, T., Yokoyama, T., Sugihara, S., Motobayashi, T., Kamiya, T., Fujiwara, T. et al. 2019. Effects of deep placement of controlled-release nitrogen fertilizer on soybean growth and yield under sulfur deficiency. *Soil Science and Plant Nutrition* 65(3): 259-266.
- Monaco, T. A., Mackown, C. T., Johnson, D. A., Jones, T. A., Norton, J., Norton, J. B., and Redinbaugh, M. G. 2003. Nitrogen effects on seed germination and seedling growth. *Journal of Range Management* 56: 646-653.
- Mori, S., Fujimoto, H., Watanabe, S., Ishioka, G., Okabe, A., Kamei, M., and Yamauchi, M. 2012. Physiological performance of iron-coated primed rice seeds under submerged conditions and the stimulation of coleoptile elongation in primed rice seeds under anoxia. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 58(4): 469-478.
- Osuna, D., Prieto, P., and Aguilar, M. 2015. Control of seed germination and plant development by carbon and nitrogen availability. *Frontiers in Plant Science* 6: 1-14.
- Paulín, E. G. L., Castro, S. P. M., Martínez, E. M., Sagahón, A. V. L., and Pacheco, I. T. 2013. Maize seed coatings and seedling sprayings with chitosan and hydrogen peroxide: their influence on some phenological and biochemical behaviors. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)* 14(2): 87-96.
- Peltonen-Sainio, P., Konturi, M., and Peltonen, J. 2006. Phosphorus seed coating enhancement on early growth and yield components in oat. *American Society of Agronomy* 98: 206-211.
- Pilar-izquierdo, M. C., Ortega, N., Perez-mateos, M., and Busto, M. D. 2012. Barley seed coating with free and immobilized alkaline phosphatase to improve P uptake and plant growth. *Journal of Agricultural Science* 150: 691-701.
- Powell, A. A. 2009. What is seed quality and how to measure it?. pp. 142-149. In *Proceeding the 2nd world seed conference*. Rome: FAO Headquarters.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, K., Bally, J., Job, C., and Job, D. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63: 507-533.
- Rebafka, F. P., Bationo, A., and Marschner, H. 1993. Phosphorus seed coating increases phosphorus uptake, early growth and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) grown on an acid sandy soil in Niger, West Africa. *Fertilizer Research* 3(35): 151-160.
- Rehman, A., and Farooq, M. 2013. Boron application through seed coating improves the water relations, panicle fertility, kernel yield, and biofortification of fine grain aromatic rice. *Acta Physiologiae Plantarum* 35: 411-418.
- Rehman, A. U., Farooq, M., Nawaz, A., Iqbal, S., and Rehman, A. 2012. Optimizing the boron seed coating treatments for improving the germination and early seedling growth of fine grain rice. *International Journal of Agriculture and Biology* 14(3): 453-456.
- Rezaei, M., and Bagherian, F. 2013. Effects of influence of planting date and sulfur coating in seed coating solution (SCS) on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds. Physiological traits. *Iranian Journal of Plant Physiology* 4(1): 917-923.
- Rhodes, E. R., and Nangju, D. 1979. Effects of pelleting cowpea and soybean seed with fertilizer dusts. *Experimental Agriculture* 15: 27-32.
- Rubio-Asensio, J. S., Rachmilevitch, S., and Bloom, A. J. 2015. Responses of arabidopsis and wheat to rising CO₂ depend on nitrogen source and nighttime CO₂ levels. *Plant Physiology* 168: 156-163.
- Schachtman D. P., Reid, R. J., and Ayling, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116: 447-453.
- Shabaz, M. K., Ali, H., Sajjad, M., Malook, S., Shah, S. A. N., and Ali, Q. 2015. Effect of seed coating with boron and zinc of zeas for various yield traits. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 15(7): 1304-1311.
- Shivay, Y. S., Kumar, D., Prasad, R., and Ahlawat, I. P. S. 2008. Relative yield and zinc uptake by rice from zinc sulphate and zinc oxide coatings onto urea. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 80: 181-188.
- Singh, K., Sharma, H. C., Singh, C. S., Singh, Y., Nishizawa, N. K., and Mori, S. 2004. Effect of polyolefin resin coated slow release iron fertilizer and its methods of application on rice production in calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 50(7): 1037-1042.
- Sivanesan, I., Son, M. S., Lim, C. S., and Jeong, B. R. 2011. Effect of soaking of seeds in potassium silicate and uniconazole on germination and seedling growth of tomato cultivars, Seogwon and Seokwang. *African Journal of Biotechnology* 10(35): 6743-6749.
- Soares, M. M., Sediya, T., Neves, J. C. L., Júnior, H. C. S., and Silva, L. J. 2016. Nodulation, growth and soybean yield in response to seed coating and split application of phosphorus. *Journal of Seed Science* 38(1): 30-40.
- Takahashi, Y., Chinushi, T., Nakano, T., Hagino, K., and Ohshima, T. 1991. Effect of placement of coated urea fertilizer on root growth and rubidium uptake activity in soybean plant. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 37(4): 735-739.
- Takahashi, Y., Ohtake, N., Hattori, M., Nagumo, Y., and Ohshima, T. 2006. Effect of basal side-dressing of various types of coated urea fertilizer on shoot growth, yield components and seed composition of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 52(3): 264-273.

- Tewari, K., Sato, T., Abiko, M., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Nagumo, Y. et al. 2007. Analysis of the nitrogen nutrition of soybean plants with deep placement of coated urea and lime nitrogen. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 53(6): 772-781.
- Tobe, K., Li, X., and Omasa, K. 2002. Effects of sodium, magnesium and calcium salts on seed germination and radicle survival of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Australian Journal of Botany* 50: 163-169.
- Tsay, Y. F., Ho, C. H., Chen, H. Y., and Lin, S. H. 2011. Integration of nitrogen and potassium signaling. *Annual Review of Plant Biology* 62: 207-226.
- Vance, C. P., Stone, C., and Allen, D. L. 2003. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157(3): 423-447.
- Verma, J. P., Singh, V., and Yadav, J. 2011. Effect of copper sulphate on seed germination, plant growth and peroxidase activity of Mung bean (*Vigna radiata*). *International Journal of Botany* 7(2): 200-204.
- Wang, Y., Wisniewski, M., Meilan, R., Uratsu, S., Cui, M., Dandekar, A., and Fuchigami, L. 2007. Ectopic expression of Mn-SOD in *Lycopersicon esculentum* leads to enhanced tolerance to salt and oxidative stress. *Journal of Applied Horticulture* 9: 3-8.
- Wiatrak, P. 2013. Effect of polymer seed coating with micronutrients on soybeans in southeastern coastal plains. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 8(4): 302-308.
- Williams, M. I., Dumroese, R. K., Dumroese, D. S. P., and Hardegree, S. P. 2016. Can biochar be used as a seed coating to improve native plant germination and growth in arid conditions?. *Journal of Arid Environments* 125: 8-15.
- Yang, W. 2018. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on growth and seed germination of *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus. *Journal of Plant Nutrition* 41(5): 636-644.
- Zelonka, L., Stramkale, V., and Vikmane, M. 2005. Effect and after-effect of barley seed coating with phosphorus on germination, photosynthetic pigments and grain yield. *Acta Universitatis Latviensis* 691: 111-119.
- Zeng, D., Luo, X., and Tu, R. 2012. Application of bioactive coatings based on chitosan for soybean seed protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry* 2012: 1-5.
- Zhang, M., Nyborg, M., Robertson, J. A., and Solberg, E. D. 1998. Coated KCl increases barley K uptake in two Alberta soils in a greenhouse experiment. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 615-617.
- Ziani, K., Ursua, B., and Mate, J. I. 2010. Application of bioactive coatings based on chitosan for artichoke seed protection. *Crop Protection* 29: 853-859.

วันรับบทความ (Received date) : 5 มิ.ย. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 14 พ.ย. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 29 ม.ค. 63