บทนำ

ในการปลูกพืชที่ไม่ใช่พืชเชิงเศรษฐกิจ ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกร คือการขาดข้อมูลของพืชชนิดนั้น เพื่อช่วยในการปรับปรุงและพัฒนา เช่นเดียวกับข้าวไร่ (upland rice; *Oryza sativa* L.) ที่แม้จะไม่ใช่พืชเศรษฐกิจระดับประเทศของไทย แต่สำหรับชุมชน และเกษตรกรในพื้นที่ที่ไม่มีระบบการชลประทาน การปลูกข้าวไร่ถือเป็นความจำเป็น เป็นปัจจัยหลักในการดำรงชีวิตของเกษตรกร เนื่องจากมีการปลูกเพื่อการบริโภคในครัวเรือนได้ตลอดทั้งปี แต่อย่างไรก็ตามในบางพื้นที่ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พันธุกรรมของข้าวไร่มีบางส่วนได้สูญหายไปจากชุมชน เนื่องจากปัญหาในเรื่องการจัดการพันธุกรรม การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์

ดังนั้นวัตถุประสงค์ในโครงการนี้นอกจากเพื่อการเก็บรวบรวมพันธุกรรมข้าวไร่ที่มีการใช้ประโยชน์เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับวิถีการดำรงชีวิตของชุมชนแล้ว บางส่วนยังได้นำพันธุกรรมข้าวไร่มาศึกษาถึงคุณลักษณะต่อการปรับตัวเข้ากับสภาวะจำลองที่ไม่เหมาะสมซึ่งสามารถพบได้ในพื้นที่สูงที่มีการปลูกข้าวไร่โดยทั่วไปเพื่อให้ทราบศักยภาพของพันธุ์

อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากพันธุ์แล้ว ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยต้น ๆ ที่กำหนดความสามารถในการให้ผลผลิตของข้าวไร่ ด้วยเหตุนี้การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อการปลูกข้าวไร่จึงเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการศึกษาการตอบสนองของพันธุ์ต่อความอุดมสมบูรณ์ดิน ซึ่งทั้งหมดนี้เพื่อให้ทราบข้อได้เปรียบรวมทั้งของจำกัดของพันธุกรรมข้าวไร่ต่าง ๆ เพื่อการเลือกพันธุ์ปลูกในพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งเพื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของพันธุ์ในสภาพการปลูกที่มีการบำรุงดิน

ตรวจเอกสาร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวไร่

ข้าวไร่มีลักษณะลำต้นทรงกลม ประกอบด้วยปล้องหลายๆ ปล้องต่อเชื่อมกัน ภายในปล้องมีลักษณะกลวง เมื่อต้นข้าวยังมีอายุน้อย ปล้องเหล่านี้ยังไม่ยืดตัว แต่จะเชื่อมติดกัน ทำให้ไม่สามารถเห็นเป็นปล้องได้ชัดเจน หลังจากต้นข้าวแตกกอเต็มที่และก่อนที่จะสร้างรวงอ่อน ปล้องเหล่านี้จะยืดตัวให้เห็นได้ชัดเจน รอยต่อระหว่างปล้องเป็นเนื้อเยื่อค่อนข้างแข็งเรียกว่า ข้อ ที่ข้อมีตาใบ ตายอด และตาราก ส่วนของตาใบจะเจริญเติบโตเป็นใบข้าว ตายอดสามารถพัฒนากลายเป็นหน่อหรือลำต้นใหม่ได้ และตารากก็สามารถเจริญเติบโตเป็นรากใหม่ได้

ใบข้าว เกิดสลับทิศทาง 2 ทิศทางบนลำต้น โดยมีฐานใบติดกับลำตัวส่วนที่เรียกว่าข้อ ใบ ข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือส่วนที่อยู่กับข้อเรียกว่ากาบใบ มีลักษณะโค้งหุ้มลำต้นข้าว และส่วนยอดเรียกว่าแผ่นใบ มีลักษณะแบน สีเขียว ส่วนที่เชื่อมระหว่างกาบใบและแผ่นใบเรียกว่าคอใบ โดยเฉลี่ยต้นข้าวจะมีใบทั้งหมดนับตั้งแต่งอกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 14 ใบ ใบข้าวใบสุดท้ายก่อนที่ต้นข้าวออกรวงเรียกว่าใบธง หรือ ใบวี หลังจากใบธงจะเป็นรวงข้าว บริเวณคอใบยังมีเยื่อกันน้ำฝนและเขี้ยวกันแมลง

รวงข้าว เกิดที่ปล้องสุดท้ายของลำต้น ประกอบด้วยก้านรวง ระแง้ และเมล็ด
รากข้าว เป็นระบบข้าวฝอย

ข้าวไร่ไวต่อช่วงแสง (Photosensitive upland rice)

ข้าวที่ปลูกในที่ดอนหรือในสภาพไร่ บริเวณไหล่เขาหรือพื้นที่ซึ่งไม่มีน้ำขัง ไม่มีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำ ปลูกโดยวิธีหยอดเมล็ด โดยอาศัยน้ำฝนและน้ำค้างเป็นหลัก มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น แตกกอน้อย ระบบรากลึกและขนาดรากใหญ่ เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้องการช่วงแสงหรือช่วงระยะเวลากลางวันสั้น เพื่อเปลี่ยนการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ มาเป็นการเจริญทางสืบพันธุ์เพื่อสร้างช่อดอกและเมล็ด พันธุ์ข้าวชนิดนี้จะกำเนิดช่อดอกเมื่อมีช่วงแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมง ความต้องการช่วงแสงของข้าวแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกัน จึงทำให้พันธุ์ข้าวออกดอกไม่พร้อมกัน ยกตัวอย่างพันธุ์ข้าวไร่ที่เป็นที่รู้จัก ได้แก่ พันธุ์กู้เมืองหลวง พันธุ์ขาวโป่งไคร้ พันธุ์ข้าวเหนียวลืมผัว พันธุ์ชิวแม่จัน พันธุ์เจ้าฮ้อ

ข้าวไร่ไม่ไวต่อช่วงแสง (Non-photosensitive upland rice)

การออกดอกของข้าวพวกนี้ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อต้นข้าวได้มีระยะเวลาการเจริญเติบโตครบตามกำหนด ต้นข้าวก็จะออกดอกทันทีไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว เมื่ออายุเจริญเติบโตนับจากวันตกกล้าครบ ๙๐-๑๐๐ วัน ต้นข้าวก็จะออกดอก ฉะนั้น พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จึงใช้ปลูกได้ผลดีทั้งในฤดูนาปรังและนาปี อย่างไรก็ตาม พวกไม่ไวต่อช่วงแสงมักจะให้ผลิตผลสูงเมื่อปลูกในฤดูนาปรังปกติระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้งไวและไม่ไวต่อช่วงแสงพันธุ์ที่เป็นที่รู้จัก ได้แก่ พันธุ์อาร์ 258 พันธุ์กข 1 แบ่งออกได้เป็น ๒ ระยะ ดังนี้

1.ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (basic vegetative growth phase) เป็นระยะเวลานับตั้งแต่วันตกกล้าจนถึงวันที่แตกกอและต้นสูงเต็มที่ ในระยะนี้ ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตทางความสูง และแตกเป็นหน่อใหม่จำนวนมาก

2.ระยะการสร้างช่อดอก (panicle initiation phase) เป็นระยะเวลาที่ต้นข้าวเริ่มสร้างช่อดอกจนถึงรวงข้าวเริ่มโผล่ออกมาให้เห็น ซึ่งใช้เวลาประมาณ ๓๐ วัน สำหรับพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง อาจเรียกระยะนี้ว่าระยะที่มีความไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive phase) ดังนั้น ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงเมื่อได้ครบระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นแล้ว ต้นข้าวจะไม่สร้างช่อดอกจนกว่าต้นข้าวจะได้รับช่วงแสงที่มันต้องการ ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จะเริ่มสร้างช่อดอกทันที หลังจากที่ต้นข้าวได้ครบระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นแล้ว ดังนั้น การปลูกในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมจึงทำให้พันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสงมีเวลามากหรือ น้อยเกินไปสำหรับการเจริญเติบโตทางลำต้นโดยเฉพาะการใช้พันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสงปลูกล่า กว่าปกติจะทำให้ต้นข้าวมีระยะเวลาน้อยไป ทำให้ได้ผลิตผลต่ำ

ข้าวไร่ (upland rice)

เป็นธัญพืชที่เกษตรกรในเขตพื้นที่สูงปลูกเพื่อการบริโภคหรือใช้ประกอบพิธีกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน การเพาะปลูกต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ส่วนใหญ่มีผลผลิตต่ำ (กรมการข้าว, 2550) ถึงแม้ว่าการปลูกข้าวไร่จะไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ แต่เกษตรกรกลุ่มชาติพันธุ์ต่างๆ ในพื้นที่ กลับมีความจำเป็นต้องปลูกข้าวไว้บริโภคเพราะข้าวเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญ มีความผูกพันกับขนบธรรมเนียมประเพณี ความมั่นคงทางเศรษฐกิจของครัวเรือนและชุมชน และเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่ไม่มีระบบชลประทาน ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเริ่มมีมากขึ้นในหลายประเทศนอกจากจีน โดยความรู้เรื่องเชื้อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเริ่มมีมาจากประเทศที่ยังอุดมด้วยพันธุ์ข้าวพื้นเมืองในท้องถิ่น เช่นลาว (Appa Rao et al, 2002a; Appa Rao et al 2002b) และเนปาล (Joshi et al, 2005).

การปลูกข้าวไร่

ประพาส (2526) ได้ให้ความหมายการปลูกข้าวไร่ไว้ว่า การปลูกข้าวไร่ หมายถึง การปลูกข้าวบนที่ดอนและไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก ชนิดของข้าวที่ปลูก เรียกว่า ข้าวไร่ พื้นที่ดอนส่วนมาก จะเป็นเชิงภูเขามักจะไม่มีระดับ คือ สูง ๆ ต่ำ ๆ จึงไม่สามารถไถเตรียมดินและปรับระดับได้ง่าย ๆ เหมือนกับพื้นที่ราบ เพราะฉะนั้นชาวนามักจะปลูกแบบหยอด โดยขั้นแรกทำการตัดหญ้าและต้นไม้เล็กออก ทำความสะอาดพื้นที่ที่จะปลูก แล้วใช้หลักไม้ปลายแหลมเจาะดินเป็นหลุมเล็กๆ ลึกประมาณ 3-4 เซนติเมตร ปากหลุมมีขนาดกว้างพอที่จะหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวลงไปได้ 5-10 เมล็ด หลุมนี้มีระยะห่างกันประมาณ 25 เซนติเมตร จะต้องหยอดเมล็ดพันธุ์ทันทีหลังจากที่ได้เจาะหลุม หลังจากหยอดเมล็ดพันธุ์แล้วจะใช้เท้ากลบดินปากหลุม เมื่อฝนตกลงมาเมล็ดได้รับความชื้นก็จะงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นข้าว เนื่องจากที่ดอนไม่มีน้ำขังและไม่มีการชลประทาน การปลูกข้าวไร่จึงต้องใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว พื้นดินที่ปลูกข้าวไร่จะแห้งและขาดน้ำทันทีเมื่อสิ้นฤดูฝน ดังนั้น การปลูกข้าวไร่จะต้องใช้พันธุ์ที่มีอายุเบา โดยปลูกในต้นฤดูฝน และแก่เก็บเกี่ยวได้ในปลายฤดูฝน การปลูกข้าวไร่ชาวนาจะต้องมีการกำจัดวัชพืช เพราะที่ดอนมักจะมีวัชพืชมากกว่าที่ลุ่ม เนื้อที่ที่ใช้ปลูกข้าวไร่ในประเทศไทยมีจำนวนน้อยและมีปลูกมากในภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางปลูกข้าวไร่น้อยมาก

สำหรับการปลูกข้าวบนที่สูงมีขั้นตอนการปลูกที่อาจแตกต่างจากการปลูกข้าวบนพื้นที่ราบทั่วๆไป โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

1) การเตรียมพื้นที่

การเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวบนที่สูงจะเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม โดยเฉพาะการปลูกข้าวไร่ จะเริ่มถางกำจัดวัชพืชนำออกไปไว้ข้างแปลงหรือวางเป็นแนวขวางทางลาดชันเพื่อดักตะกอนดิน ไม่แนะนำให้เผาเศษซากพืช ถ้าในพื้นที่ที่มีหินสามารถนำไปขวางลาดชันดักตะกอนดิน และทำให้เกิดลักษณะขั้นบันไดในระยะต่อไป พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงไม่ควรไถเพราะจะทำให้เร่งการชะล้างหน้าดินเมื่อฝนตก การเตรียมพื้นที่จะทำ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกในเดือนมีนาคม ครั้งที่สองในเดือนเมษายนหรือพฤษภาคม การเตรียมพื้นที่ครั้งที่สองเป็น

การเตรียมแบบประณีตเพื่อปลูกข้าว ส่วนข้าวนาที่สูงจะเริ่มเตรียมดินตกกล้าในเดือนพฤษภาคม มีการเตรียม 2 แบบ คือ เตรียมดินเพื่อตกกล้าสภาพไร่ โดยการถางวัชพืชออกแล้วสับดินให้ละเอียดก่อนหว่านเมล็ดข้าวลงไป และเตรียมดินเพื่อตกกล้าสภาพนาที่มีน้ำขัง เริ่มจากหลังที่ฝนตกมีน้ำขังในนาอยู่บ้าง มีการไถคราด ทำเทือก ยกร่องเป็นแปลงขนาดเล็กกว้าง 1-1.5 เมตรความยาวตามพื้นที่ มีร่องระบายน้ำ แล้วหว่านเมล็ดข้าวที่หุ้มให้งอกแล้วลงบนแปลงเพาะ ดังเช่นการตกกล้าสำหรับการทำนาบนพื้นราบทั่วไป (กรมการข้าว, 2550)

2) การเตรียมเมล็ดพันธุ์

ข้าวที่สูงหรือข้าวดอยเป็นพันธุ์ข้าวที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีกว่าข้าวที่ปลูกในพื้นที่ราบทั่วไป เช่น ทนต่อสภาพอากาศเย็นและสภาพอากาศแล้ง สามารถต้านทานต่อโรคไหม้ เป็นต้น เมล็ดพันธุ์ข้าวที่จะนำไปปลูกต้องมาจากแหล่งที่สามารถเชื่อถือได้ เช่น ไม่มีโรคแมลง สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน และควรมีความงอกไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 สำหรับความบริสุทธิ์ (purity) ของเมล็ดพันธุ์นั้น ในข้าวนา จะมีความบริสุทธิ์ของพันธุ์มากกว่าข้าวไร่ เนื่องจากข้าวไร่มีสภาพการปลูกบนดินที่ไม่มีน้ำขังในแปลงปลูก แปลงหนึ่ง ๆ อาจพบความหลากหลายทางพันธุกรรม (bio-diversity) ของข้าวที่ปลูกในแปลงนั้น ๆ ได้ ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกข้าวบนดินในสภาพไร่นั้นมักจะประสบปัญหามากกว่าข้าวนา เช่น ความแห้งแล้ง ฝนทิ้งช่วง อากาศหนาวเย็น โรคไหม้ แมลง และ วัชพืช เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วข้าวบนพื้นที่สูงมักมีอายุการออกดอก แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.1 ข้าวอายุเบา จะออกดอกประมาณต้นเดือนกันยายน ส่วนใหญ่จะพบในข้าวไร่มากกว่าข้าวนา เช่น พันธุ์อาร์ 258

2.2 ข้าวอายุกลาง ออกดอกประมาณกลางเดือนกันยายนถึงต้นเดือนตุลาคม จะพบมากที่สุดในข้าวบนที่สูงทั้งข้าวนา และข้าวไร่ ซึ่งจะอยู่ในพื้นที่ระดับความสูงไม่เกิน 1,200 เมตรจากระดับน้ำทะเล ข้าวอายุปานกลางที่เป็นข้าวไร่ ได้แก่ เจ้าลีซอสันป่าตอง เจ้าขาวลาซอ เป็นต้น

2.3 ข้าวอายุหนัก เป็นข้าวที่ออกดอกในช่วงปลายเดือนตุลาคม พื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่บนพื้นที่สูงกว่า 1,200 เมตรจากระดับน้ำทะเลที่ยังมีความชื้นจากฝนและหมอกที่ตกในช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ซึ่งในเขตที่ต่ำกว่าปริมาณฝนเริ่มลดลง ข้าวที่มีอายุหนักส่วนมากจะทนต่อความหนาวเย็นได้ดีกว่าพันธุ์อื่นและเป็นข้าวไร่ เช่น พันธุ์น้ำรู ขี้ช้าง งาช้าง เวตาโม เบล้ไช่ ดรามูดะ เป็นต้น

ข้าวทุกพันธุ์สามารถขึ้นได้ในพื้นที่ราบทั่วไป แต่จะมีอายุการออกดอกที่เร็วขึ้น ลำต้นสูงกว่าปลูกบนที่สูงและผลผลิตลดลง ในขณะเดียวกันหากนำข้าวที่ขึ้นได้ในระดับที่ต่ำกว่า ไปปลูกบนที่สูงจะมีผลกระทบต่อผลผลิต เช่น ไม่ออกรวง หรือออกรวงออกดอกแล้วผสมไม่ติด เมล็ดลีบ ดังนั้นการเตรียมเมล็ดข้าวที่จะปลูกควรใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่จะปลูกด้วย (กรมการข้าว, 2550)

3. วิธีปลูก

ข้าวไร่ (upland rice) การปลูกข้าวไร่เป็นการปลูกเมล็ดข้าวแห้งลงบนดิน (direct seeding) ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ

3.1 การปลูกแบบหยอดเป็นหลุม (drilling) เป็นวิธีการปลูกหลังจากเตรียมดินไว้แล้ว ใช้ไม้ปลายแหลมกระทุ้งดินให้เป็นหลุมลึกประมาณ 2-3 เซนติเมตร หรือใช้เสียมที่ต่อด้ามยาว ขุดดินให้เป็นหลุมเล็ก ๆ ลึกประมาณ 2-3 เซนติเมตร โดยให้ระยะห่างระหว่างต้นและแถวประมาณ 25-30 เซนติเมตร แล้วหยอดเมล็ดข้าวลงไปในหลุม หลุมละประมาณ 5-8 เมล็ด หากพื้นที่ปลูกมีความลาดชันไม่ควรกลบหลุม เพราะจะทำให้มีดินกลบหลุมปลูกแน่นเกินไปเมื่อมีฝนตก แต่ในพื้นที่ปลูกที่มีความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา ให้ใช้กิ่งไม้ลากผ่านหลุมที่หยอดเมล็ดแล้วเป็นการกลบหลุม การปลูกโดยวิธีหยอดเป็นหลุมเป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการกำจัดวัชพืชและดูแลรักษา เป็นวิธีการที่พบเห็นได้ทั่วไป การปลูกแบบนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 6-8 กิโลกรัม/ไร่

3.2 การปลูกแบบโรยเป็นแถว (row drilling) การปลูกวิธีนี้ต้องมีการเตรียมดินให้ประณีต โดยให้หน้าดินเรียบสม่ำเสมอกัน แล้วใช้ไม้หรือคราดขีดเปิดดินให้เป็นร่อง โดยให้ระยะห่างของแต่ละร่องหรือแถวประมาณ 25-30 เซนติเมตร แล้วโรยเมล็ดข้าวทันที การโรยควรโรยให้เมล็ดข้าวสม่ำเสมอกัน เพื่อให้ต้นข้าวที่งอกไม่กระจุกแน่นที่ใดที่หนึ่ง หากพื้นที่มีความลาดชันการทำร่องควรให้ขวางความลาดชัน ซึ่งเชื่อว่าหากปลูกขวางความลาดชัน จะช่วยให้ต้นข้าวดักตะกอนดินที่ไหลลงมาเมื่อฝนตก การปลูกวิธีนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 10-15 กิโลกรัม/ไร่

3.3 การปลูกแบบหว่าน (broadcasting) การปลูกโดยวิธีนี้เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยหรือที่ราบ การเตรียมดินควรสับดินให้ละเอียดหรือเป็นก้อนเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วปรับผิวหน้าดินให้สม่ำเสมอกัน แล้วหว่านเมล็ดข้าวลงไป และควรคราดหรือกลบเมล็ดข้าวหลังหว่าน เพื่อให้เมล็ดข้าวได้รับความชื้นจากดิน ป้องกันนก และแมลงศัตรูข้าว การปลูกวิธีนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 15 กิโลกรัม/ไร่ (นิตยา และวาสนา, 2540)

ปัญหาในการปลูกข้าวไร่

สำหรับการปลูกข้าวไร่ในภาคเหนือแม้จะพบปัญหาการปลอมปนของพันธุกรรมต่าง ๆ อันเนื่องมาจากสาเหตุ และปัจจัยต่าง ๆ แต่พบว่ามีหลายๆ องค์กร และหน่วยงานที่ดำเนินการให้ความรู้ ความเข้าใจ และทำงานที่เกี่ยวข้องกับข้าวไร่ในพื้นที่อยู่เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามในเขตภาคกลางตอนล่าง ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์พบว่ามีเกษตรกร และชาวเขาบางชุมชนมีการปลูก และใช้ข้าวไร่ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากการปลูกข้าวไร่ถือเป็นการสำรองอาหารที่เกษตรกร และชุมชนให้ความเชื่อถือมากที่สุด และเป็นการแบ่งเบาค่าใช้จ่ายในการบริโภคของเกษตรกรตลอดทั้งปี (ข้อมูลได้จากการติดต่อส่วนตัวในเบื้องต้น) แต่ยังไม่มีหน่วยงานใดที่ทำงานวิจัย หรือให้ข้อมูลเหล่านี้แก่ชุมชน หรือเกษตรกร ในจังหวัดเพชรบุรีได้มีการปลูกข้าวไร่เช่นเดียวกันโดยเฉพาะชาวกะเหรี่ยงในเขตพื้นที่ของอำเภอแก่งกระจาน และเขตพื้นที่น้ำตกป่าละอู อำเภอหัวหิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับประเพณีและวัฒนธรรม แต่จำนวนพันธุ์ข้าวที่ใช้อยู่ดั่งเดิมเริ่มพบน้อยลง และพบการไหล

เข้ามาของพันธุกรรมต่างถิ่นมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อผลผลิตที่ลดต่ำลง และส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจในระดับครัวเรือน และชุมชนได้ในที่สุด

ปัญหาหลักของผลผลิตข้าวไร่ต่ำเกิดจากสาเหตุสำคัญอย่างน้อย 3 ประการคือ 1) การปนกันของเมล็ดพันธุ์ข้าวต่างสายพันธุ์ที่ใช้ในการปลูก ทำให้ต้นข้าวในแปลงมีการสุก-แก่ของเมล็ดข้าวไม่เท่ากัน เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตจึงได้ข้าวที่มีเมล็ดลีบปนอยู่มาก แต่มีข้าวเมล็ดเต็มที่ใช้บริโภคปริมาณน้อย 2) การขาดการบำรุงคุณภาพดิน 3) ขาดการจัดการเขตกรรมที่เหมาะสม

พื้นที่ปลูกและสภานภาพการปลูกข้าวไร่ในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยพบว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวไร่ประมาณ 670,000 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 250 กิโลกรัมต่อไร่ เป้าหมายการผลิตส่วนใหญ่เพื่อการยังชีพ มีเพียงส่วนน้อยที่มีการผลิตเหลือพอที่จะจำหน่ายในตลาดชุมชนในท้องถิ่น ขนาดพื้นที่เพาะปลูกข้าวไร่เฉลี่ยต่อครัวเรือนจะมีขนาดพื้นที่ปลูกเล็ก และสอดคล้องกับขนาดของแรงงานในครัวเรือน ดังนั้นการปลูกข้าวไร่ในแต่ละครั้ง ครัวเรือนเกษตรกรจะไม่ขยายพื้นที่ปลูกเกินความจำเป็น ในประเทศไทยพันธุ์ข้าวไร่ที่เกษตรกรนำมาปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมมากกว่าข้าวพันธุ์ปรับปรุงหรือสายพันธุ์บริสุทธิ์ที่คัดจากพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิม สำหรับข้าวไร่บนที่สูง พบความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงมากเมื่อเทียบพื้นที่ปลูก โดยพบทั้งข้าวแบบอินเดีย (*Oryza sativa* indica) และข้าวแบบญี่ปุ่น (*Oryza sativa* japonica) ซึ่งมีพันธุกรรมแยกจากกันอย่างชัดเจน ในขณะที่ข้าวในพื้นราบเป็นข้าวแบบอินเดียเพียงชนิดเดียว ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองแตกต่างไปจากข้าวพันธุ์ปรับปรุงคือ ข้าวต่างพันธุกรรมอาจบังเอิญมีชื่อพ้องกัน ข้าวพันธุ์เดียวกันมีหลายชื่อ หรือมีพันธุกรรมที่หลากหลายภายในแต่ละตัวอย่างเชื้อพันธุ์ สำหรับการศึกษาพันธุ์ข้าวพื้นเมืองในประเทศส่วนใหญ่ยังคงถือเสมือนว่าตัวอย่างเมล็ดพันธุ์แต่ละตัวอย่างเป็นเสมือนพันธุกรรมเดี่ยว (ป่าน 2539; ปณิตา 2540; Chitrakorn, 1995) และพบความแตกต่างตั้งแต่ภายนอกที่สามารถสังเกตเห็นได้ เช่นการมีหาง สีเปลือกหุ้มเมล็ด สียอดดอก (apiculus) สีข้าวกล้อง และลักษณะทางสรีระ เช่นอายุการออกรวง ความแตกต่างที่ว่านี้อาจเกิดจากการผสมปะปนของข้าวต่างพันธุ์โดยบังเอิญ หรือเกษตรกรบางคนโดยเฉพาะในกลุ่มผู้ปลูกข้าวไร่มักปลูกข้าวด้วยเมล็ดหลายพันธุ์ผสมปนกันโดยตั้งใจ มีรายงานการวิเคราะห์ isozyme ว่าเมล็ดพันธุ์บางตัวอย่างที่มีลักษณะหลากหลายเกิดจากการปะปนของข้าวต่างพันธุ์จริง แต่ก็พบหลายตัวอย่างที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมโดยธรรมชาติ (Dennis, 1987) ซึ่งการวบรวมและศึกษาพันธุ์ข้าวจะก่อให้เกิดประโยชน์ซึ่งไม่ได้จำเพาะเฉพาะท้องถิ่น เนื่องจากฐานพันธุกรรมดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อยอดในท้องถิ่นอื่น หรือในการศึกษาอื่น ๆ เพื่อพัฒนาพันธุ์ข้าวได้เช่นเดียวกัน ในจังหวัดเพชรบุรีได้มีการปลูกข้าวไร่เช่นเดียวกันโดยเฉพาะชาวเขาในเขตพื้นที่ของอำเภอแก่งกระจาน และเขตพื้นที่น้ำตกป่าละอู อำเภอหัวหิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับประเพณีและวัฒนธรรม แต่จำนวนพันธุ์ข้าวที่ใช้อยู่เริ่มมีการใช้ประโยชน์น้อยลง รวมถึงมีจำนวนพันธุ์ที่ใช้น้อยลง มีพันธุกรรมสูญหาย อันเป็นผลมาจากสภาพสังคม วิถีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป

ปัญหาในการส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวไร่

ตัวอย่างของปัญหาในการผลิตข้าวไร่ที่รวบรวมได้มีดังนี้

1. เกษตรกรที่ปลูกข้าวไร่ส่วนใหญ่มีฐานะยากจน มีข้อจำกัดในโอกาสในการเข้าถึงแหล่งเรียนรู้เพื่อการพัฒนา การลงทุนใช้ปัจจัยเพื่อเพิ่มผลผลิต ทำให้ขาดเทคโนโลยีเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและปรับปรุงคุณภาพผลผลิต

2. เกษตรกรยังคงใช้พันธุ์ข้าวไร่ท้องถิ่นปลูกเพื่อบริโภค

3. เกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร่ ยังขาดการจัดการปลูกข้าวไร่อย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ลาดชัน เกษตรกรยังขาดความรู้ความเข้าใจในการผลิตข้าวไร่เชิงอนุรักษ์ เพื่อการผลิตที่ยั่งยืน

การรวบรวมข้อมูลในเรื่องของรูปแบบการใช้พันธุ์ พื้นที่ และวิธีการปลูกข้าวไร่ของชุมชนและเกษตรกร จึงคาดว่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ เพราะการทราบวิถีชีวิต ขนบธรรมเนียมการปฏิบัติ เหล่านี้จะช่วยให้นักวิจัยสามารถวางแผนดำเนินการวิจัยในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับการทำการเกษตร หรือการปลูกข้าวไร่ของเกษตรกรได้ตรงตามความต้องการ และเป็นประโยชน์สูงสุด โดยทั้งนี้ได้เลือกพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นพื้นที่เป้าหมายเพราะมีชุมชนที่ยังคงมีการใช้ข้าวไร่เพื่อการดำรงชีวิตอยู่

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้เพื่อทราบความแปรปรวนของลักษณะต่าง ๆ ในข้าวไร่ที่สะท้อนถึงความแตกต่างของพันธุกรรมที่มีการใช้ประโยชน์ในบางพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และเพื่อมุ่งหวังในการนำพันธุกรรมที่สามารถปรับตัวได้ในสภาพปลูกเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีมาใช้ประโยชน์ในอนาคต

สำหรับการรวบรวมพันธุกรรมที่มีอยู่ ทั้งพันธุกรรมดั่งเดิม และพันธุกรรมต่างถิ่นเพื่อป้องกันการสูญหายทางพันธุกรรมในอนาคต รวบทั้งทราบความแปรปรวนของลักษณะต่าง ๆ ในข้าวไร่ พันธุกรรมต่าง ๆ ภายใต้สภาพแวดล้อม การจัดการ ในเขตพื้นที่ของเกษตรกร ชุมชน เพื่อการเปรียบเทียบหาข้อได้เปรียบข้อเด่น ข้อด้อย ของแต่ละพันธุกรรม อันจะเป็นข้อมูลสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้พันธุ์ของเกษตรกร และชุมชน ภายใต้การจัดการแบบดั่งเดิม และภายใต้การจัดการที่เหมาะสมได้ และเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวไร่ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ต่อไป ซึ่งการจะทำให้เกษตรกรได้รับความรู้อย่างยั่งยืนนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างผู้นำ หรือผู้ที่สามารถถ่ายทอดความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานของรัฐหรือเอกชนได้ ดังนั้นจึงมุ่งหวังให้การจัดการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการปลูก การใช้พื้นที่ การใช้พันธุ์ และทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวไร่ ที่ถูกต้องและเหมาะสม นอกจากจะทำให้เกษตรกร ชุมชน ได้รับความรู้แล้ว ยังมุ่งหมายให้เกิดการรวมกลุ่มและผู้เข้ารับการอบรมบางคนสามารถเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดองค์ความรู้ต่างๆ ได้อย่างยั่งยืน เพราะการถ่ายทอดความรู้จากเกษตรกรสู่เกษตรกร น่าจะเป็นกลไกที่สามารถนำความรู้ต่างๆ ไปใช้ได้จริง และครบถ้วน

ข้าวไร่และฟอสฟอรัส

ข้าวไร่นิยมปลูกในที่ดอนหรือในสภาพไร่ บริเวณไหล่เขาหรือพื้นที่ซึ่งไม่มีน้ำขัง ไม่มีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำ การเพาะปลูกต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลักในการเจริญเติบโต ในประเทศไทยข้าวไร่ปลูกกันในที่ราบสูงทั่วทุกภาคของประเทศไทย แต่พื้นที่ที่นิยมปลูกส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือโดยมีพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในภาคเหนือโดยเฉพาะภาคเหนือตอนบนที่ทำการปลูกทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยเริ่ม

ปลูกในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม เป็นต้นไป ซึ่งสภาพแวดล้อมที่สูงแตกต่างจากพื้นที่ราบ เช่น อุณหภูมิลมแรง ความเข้มของแสงน้อย เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย ทำให้ธาตุอาหารในดินถูกชะล้าง มีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช พืชจึงเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ดังนั้นเกษตรกรจึงนิยมปลูกข้าวไร่เพื่อบริโภคซึ่งมีคุณสมบัติที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (Prakobboon, 1984)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก โดยพืชจะดูดกินฟอสฟอรัสในรูปของอนุมูลฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำภายในดิน แต่อนุมูลฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำมักจะทำปฏิกิริยากับธาตุประจุบวก และสารประกอบต่างๆ ในดินเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตชนิดใหม่ที่เป็นของแข็งละลายน้ำได้ยากทำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยากขึ้นความสำคัญของฟอสฟอรัสในข้าวคือช่วยในการแตกกอ การพัฒนาของราก การออกดอกและการสุกแก่ของข้าว แต่ปัญหาการขาดแคลนธาตุฟอสฟอรัสเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ผลผลิตลดลงอีกด้านหนึ่ง (กรมการข้าว, 2550)

ความเครียดจากสภาวะขาดน้ำหรือภัยแล้งคือภัยร้ายแรงที่กำลังคุกคามการเกษตร และมีผลต่อการเสื่อมสภาพของสิ่งแวดล้อม เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้จำนวนพืชทั่วโลกลดลง และพืชหลักที่สำคัญโดยมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตเฉลี่ยลดลง โดยการขาดน้ำเป็นข้อจำกัดของการงอกและระยะแรกของต้นอ่อนซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างกว้างขวางทั่วโลก ความเครียดจากการขาดน้ำส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก อัตราการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Farsiani and Ghobadi, 2009)

ดังนั้นการศึกษาการตอบสนองของข้าวไร่ต่อสภาวะการขาดแคลนธาตุอาหารและการทนต่อความแห้งแล้งจึงเป็นการศึกษาอีกเรื่องหนึ่งที่สำคัญ โดยงานวิจัยที่ศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นผลของความแตกต่างของระดับฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและระบบรากของข้าวไร่พันธุ์ต่างๆ และศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวไร่ในสภาพการปลูกที่ขาดน้ำโดยใช้สารเคมี polyethylene glycol ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จะลด osmotic potential ในสารละลายที่อยู่ล้อมรอบเซลล์ ทำให้เซลล์อยู่ในสภาวะขาดน้ำ ที่ระดับต่างๆ ในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวไร่ที่มีความทนต่อสภาวะทั้งสองที่ได้ทำการศึกษา (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550)

ความสำคัญของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 15 เป็นอโลหะที่มีวาเลนซ์ได้มากอยู่ในกลุ่มไนโตรเจน ฟอสฟอรัสพบทั้งในหินฟอสเฟต และเซลล์ที่มีชีวิตทุกเซลล์ เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยาได้สูง จึงไม่ปรากฏอยู่ในรูปอิสระในธรรมชาติได้มาก โดยเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของหลายสิ่ง เช่น Adenosine triphosphate (ATP) นิวคลีโอไทล์ (Nucleotile) กรดนิวคลีอิก (Nucleic acids) และฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในเมตาบอลิซึมของการสร้างพลังงานในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ส่วนการใช้งานทางพาณิชย์ที่สำคัญที่สุดของฟอสฟอรัส คือ การผลิตปุ๋ย นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตวัตถุระเบิด ไม้ขีดไฟ ดอกไม้ไฟ สารกำจัดแมลง ยาสีฟัน และผงซักฟอก (กฤตย์, 2549)

ฟอสฟอรัสที่พบในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดออโทฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้สามแบบขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลายดิน เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มากคือโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด pH ระหว่าง 6.8-7.2 และจะอยู่ในรูปไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ช้ากว่ารูปแบบแรกมาก แต่หาก pH สูงกว่า 7.2 จะพบในรูป PO^{3-}_4 เป็นส่วนใหญ่ซึ่งพืชดูดใช้ได้ยากกว่า และโดยเฉพาะหากดินเป็นกรดฟอสฟอรัสมักจะถูกตรึงด้วยอะลูมินัม เฟอรัส และแมงกานีส ก่อให้เกิดปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดินกรด (Foth and Ellis, 1997) ดังนั้นเมื่อพืชดูดฟอสเฟตไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการรีดักชันเพื่อเปลี่ยนรูปเหมือนไนเทรต (Nitate) หรือซัลเฟต (Sulfate) แต่ยังอยู่ในรูปของฟอสเฟตเหมือนเดิมในสองสภาพคือ อนินทรีย์ฟอสเฟต (Pi) และองค์ประกอบในสารอินทรีย์ (ยงยุทธ, 2546)

สารประกอบของฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก โดยพืชจะสามารถดูดกินฟอสฟอรัสในรูปของอนุมูลฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำภายในดิน แต่อนุมูลฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำมักจะทำปฏิกิริยากับธาตุประจุบวก และสารประกอบต่างๆ ในดินเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตชนิดใหม่ที่เป็นของแข็งละลายน้ำได้ยาก และมักจะเกิดปรากฏการณ์การดูดซับ (adsorption) ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะถูกยึดอยู่กับไอออนบวกบริเวณผิวของดินเหนียว (clay) ด้วยแรงยึดเหนี่ยวไฟฟ้าสถิต (electrostatic bonding) คือประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะดูดยึดอยู่ กับประจุบวกของแรดินเหนียวและปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange reaction) เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไฮดรอกไซด์ ไอออนกับฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน เมื่อฟอสเฟตเข้าไปแทนที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของแรดินเหนียว ได้ฟอสเฟตชนิดนี้ยากที่จะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ (กฤตย์, 2549)

ความสำคัญของฟอสฟอรัส คือ เป็นองค์ประกอบสำคัญของอินทรีย์สารในพืช เช่น ฟอสโฟลิพิด ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ NAD (Nicotinamide Adenine Dinucleotide) และ NADP (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate) ซึ่งทำหน้าที่ในเรื่องการเคลื่อนย้าย H^+ นอกจากนี้ ATP (Adenosine Triphosphate) และ ADP (Adenosine Diphosphate) ยังจำเป็นต่อการสร้างแป้งและโปรตีน และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ และโคเอนไซม์บางชนิด ฟอสเฟตมีอยู่ในไซโทพลาสซึม 12 เปอร์เซ็นต์ ทำหน้าที่เกี่ยวกับเมแทบอลิซึม และอีก 80 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในแวคิวโอล ซึ่งจะมีการเคลื่อนย้ายฟอสเฟตจากแวคิวโอลออกมาทำให้พืชขาดฟอสฟอรัส ตลอดวัฏจักรของพืชหากขาดฟอสฟอรัส จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชผิดปกติ รากของพืชชะงักการเจริญเติบโต กรณีที่พืชขาดฟอสฟอรัสรุนแรงจะเกิดอาการผิดปกติ เช่น ใบเล็กผิดปกติ ใบล่างมีสีเหลืองอมสีอื่น ลำต้นแคระแกร็น ถ้าเป็นไม้เถาจะพบว่าลำต้นบิดเป็นเกลียว เนื้อไม้เปราะ ออกดอกช้า ดอกเล็ก ติดผลต่ำ รากผอมบางและมีจำนวนจำกัด (สัมฤทธิ์, 2544)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญอันดับสองเมื่อพิจารณาในแง่ของการจัดการธาตุอาหารพืช ทั้ง ๆ ที่โดยแท้จริงแล้วพืชดูดกินฟอสฟอรัสน้อยกว่าโพแทสเซียมและแคลเซียมเสียอีก ทั้งนี้เพราะดินทั่วไปมักมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ฟอสฟอรัสเป็นส่วนสำคัญของ nucleo-proteins (นิวคลีโอโปรตีน) ในนิวเคลียสของเซลล์ซึ่งควบคุมการแบ่งเซลล์และการเติบโตของเซลล์ และยังเป็นส่วนสำคัญของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิค (deoxyribonucleic acid-DNA) ซึ่งเป็นส่วนประกอบใน

หน่วยถ่ายทอดกรรมพันธุ์ (gene) ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบในสารประกอบ adenosine triphosphate และ adenosine diphosphate (ATP and ADP) ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการเปลี่ยนแปลงรูปพลังงานในสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของสารประกอบหลายชนิดทำให้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีหน้าที่สำคัญในการแบ่งเซลล์ กระตุ้นการเติบโตในระยะแรกของรากพืช เร่งการแก่ (maturity) ของพืช เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานภายในเซลล์ ทำให้เกิดการออกดอก ติดผล และเมล็ด (คณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์, 2543) การขาดแคลนฟอสฟอรัสทำให้การแบ่งเซลล์ของพืชลดลง ทำให้การเติบโตของพืชหยุดชะงัก ต้นพืชในระยะต้นกล้ามีสีเขียวเข้มหรือม่วงและเป็นสีเหลืองในเวลาต่อมา การแก่ของพืชและการออกดอกติดผลช้ากว่าปกติ การขาดฟอสฟอรัสมีผลต่อการเติบโตของรากและลำต้นเท่าๆ กัน การได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปมีผลให้พืชแก่เร็วกว่าปกติในขณะที่พืชยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่และมีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นส่วนเหนือดินลดลง (นวรัตน์, 2541; Millar, 1959; Tisdale *et al.*, 1985; Wild, 1988)

ธาตุฟอสฟอรัสมีประโยชน์ในการเร่งการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากขยายยืด ส่งเสริมการเจริญของรากฝอยและรากแขนง ทำให้ลำต้นแข็งแรงไม่ล้มง่ายและต้านทานโรค ช่วยการออกดอกและสร้างเมล็ดต้นอ่อน ช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างแป้งและน้ำตาล ช่วยให้พืชดูดไนโตรเจน โพแทสเซียม และโมลิบดินัม ได้ดีขึ้น ถ้าพืชขาดธาตุฟอสฟอรัส รากจะผอม บาง สั้น และมีจำนวนน้อย ต้นแคระแกรน การเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก ใบแก่จะเปลี่ยนสี ออกดอกช้า มีขนาดเล็ก และจำนวนลดลง ถ้าไม่มีธาตุฟอสฟอรัสพืชจะสร้างธาตุไนโตรเจนไม่ได้ ดังนั้นอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสจะคล้ายคลึงกับการขาดธาตุไนโตรเจน (วิชุดา, 2555)

ฟอสฟอรัสช่วยให้รากดึงดูดโปแตสเซียมเข้ามาใช้เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น ช่วยแก้ผลเสียที่อาจจะเกิดขึ้น เนื่องจากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากฝอยและรากแขนงในระยะแรกของการเจริญเติบโต ช่วยเร่งให้พืชแก่เร็ว ช่วยในการออกดอก และสร้างเมล็ดของพืช เพิ่มความต้านทานต่อโรคบางชนิด ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดี และยังทำให้ลำต้นของพืชจำพวกข้าวแข็งแรงขึ้นไม่ล้มง่าย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

พืชแต่ละชนิดมีความสามารถดูดกินฟอสฟอรัสได้เร็วช้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ความสามารถในการดูดกินฟอสฟอรัสยังแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตด้วย โดยทั่วไปพืชจะสามารถดูดกินฟอสฟอรัสได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโตถ้าหากว่าในดินมีฟอสฟอรัสเพียงพอ เมื่อพืชมีน้ำหนักประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมื่อแก่ โดยพืชบางชนิดอาจดูดกินสะสมฟอสฟอรัสไว้ในต้นมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการตลอดอายุพืช อัตราความต้องการฟอสฟอรัสของข้าวโพดมีมากที่สุดในระยะ 3 สัปดาห์แรกของการเจริญเติบโต ความต้องการฟอสฟอรัสจะสูงมากในระยะแรกที่ระบบรากยังเล็กอยู่ (สมพร, 2551)

ฟอสฟอรัส (P) ที่อยู่ในสารละลายดินเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้ แต่อย่างไรก็ตามจากการที่ความเข้มข้นของ P ในสารละลายดินมีค่อนข้างต่ำมาก สำหรับการชดเชยที่มาจากการละลายของ P อาจจะไม่พอเพียง สำหรับวิธีการชดเชยที่จะทำให้ P ในสารละลายดินมีเพียงพอถือว่าเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อน เพราะฟอสฟอรัสพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในดินแล้วเกิดเป็นสารประกอบต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสมีปริมาณต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (Schjorring and Jensen, 2005) ความเขมข้นของฟอสฟอรัส ในสารละลายดินในดินทั่วไปนั้นจะมีคาประมาณ 10^{-5} M ซึ่งถาความ

เขมขนต่ำกวาคานี้ หมายถึงดินจะไมสามารถจัดสงฟอสฟอรัสใหพืชไดอยางเพียงพอและพืชจะแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสที่สามารถสังเกตดวยตาได (Visual P deficiency) โดยทั่วไปปริมาณ P ที่อยูในสารละลายดิน (Soil solution) ในบริเวณรากพืช (Root zone) มีคานอยกวา 80 กรัม/ไร่

สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สัดส่วนระหว่างสารทั้งสองแตกต่างกันระหว่างดินชนิดต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วสารอนินทรีย์มีอยู่มากกว่าสารอินทรีย์มาก สาร อนินทรีย์และอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินทั้งหมดมีองค์ประกอบพื้นฐานเหมือนกันคือฟอสเฟต (phosphate – PO_4) เมื่อพิจารณาในแง่ของความเป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว อาจจำแนกฟอสฟอรัสได้อย่างง่าย ๆ เป็น 3 กลุ่มด้วยกันคือ 1) พวกที่เป็นประโยชน์ได้ช้ามาก 2) พวกที่เป็นประโยชน์ได้ช้า และ 3) พวกที่เป็นประโยชน์ทันที (สมพร, 2551)

1. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ช้ามาก (very slowly available phosphorus) ได้แก่ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของแร่อพาไทต์ (apatites) ซึ่งแบ่งย่อยออกได้ 4 ชนิด

ฟลูออร์อพาไทต์ fluor apatite $3Ca_3(PO_4)_2\ CaF$

คาร์โบเนตอพาไทต์ carbonate apatite $3Ca_3(PO_4)_2\ CaCO_3$

ไฮดรอคซีอพาไทต์ hydroxy apatite $3Ca_3(PO_4)_2\ Ca(OH)_2$

ออกซีอพาไทต์ oxy apatite $3Ca_3(PO_4)_2\ CaO$

ฟลูออร์อพาไทต์มีอยู่มากที่สุด และคงทนต่อการสลายตัวผุพังมากที่สุด นั่นคือเป็นประโยชน์ต่อพืชช้ามากที่สุด แร่อพาไทต์ส่วนใหญ่ปรากฏในดินในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายละเอียดและทรายแป้ง และเป็นแหล่งต้นกำเนิดของฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินโดยธรรมชาติ หมายความว่าดินชนิดใดที่มีแร่อพาไทต์อยู่ในวัตถุต้นกำเนิดของมันมาก ก็ย่อมจะมีฟอสฟอรัสในดินนั้นมาก แต่ก็ไม่จำเป็นต้องมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากด้วย เพราะมีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ พบได้ทั่วในประเทศไทย แต่เป็นแหล่งเล็กๆ (ประพิศ และคณะ, 2527)

นอกจากแร่อพาไทต์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ช้ามากแล้ว ยังประกอบด้วยสารประกอบฟอสเฟตของ Fe, Mn, Al และ Ca ที่มีอายุมาก และสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่คงตัว (stable organic phosphates) สารประกอบฟอสเฟตของ Fe, Mn, Al และ Ca เกิดจากสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำ ซึ่งอาจได้มาจากการสลายตัวผุพังของแร่อพาไทต์โดยธรรมชาติ หรือจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ทำปฏิกิริยากับอิออนของ Fe, Mn, Al และ Ca ที่มีอยู่ในดิน (ซึ่งอิออนทั้ง 4 ก็มาจากการสลายตัวผุพังของแร่ในดินในหินบางชนิดเหมือนกัน) การเกิดฟอสเฟตของ Fe, Mn, Al, และ Ca นี้เป็นส่วนหนึ่งของการตรึงฟอสฟอรัสซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป (Nasser *et al.*, 2012)

2. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ช้า (slowly available phosphorus) ประกอบด้วยฟอสเฟตของ Fe, Mn และ Al ที่เพิ่งเกิดจากการตรึงฟอสฟอรัสและยังอยู่ในลักษณะของอนุภาคคอลลอยด์ นอกจากนี้ยังประกอบด้วย tricalcium phosphate $Ca_3(PO_4)_2$ ทั้งที่มีอายุมากและเกิดใหม่ และฟอสเฟตที่เพิ่งได้จากขบวนการมิเนอรัลไลเซชันของอินทรีย์ฟอสเฟตในอินทรียวัตถุ พบได้ในดินที่มีปฏิกริยาเป็นกรด (นิวัติ, 2553)

3. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทันที (readily available phosphorus) ได้แก่ สารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เช่น ammonium phosphate, monocalcium phosphate ($Ca(H_2PO_4)_2$) และสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำเช่น dicalcium phosphate ($CaHPO_4$) ฟอสฟอรัสในปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทันที โดยทั่ว ๆ ไป หินฟอสเฟตเป็นพวกฟอสเฟตที่มาจากทะเล (Marine phosphate) หรือจากขี้ค้างคาว (Guano phosphate) แต่ในประเทศไทยมักพบบริเวณภูเขาหินปูน ซึ่ง ฟอสเฟตประเภทนี้ละลายน้ำได้ดีมาก (มัณฑนีย์, 2554)

ฟอสฟอรัสในดินทั้ง 3 กลุ่มนี้ มีความสัมพันธ์กันสามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมา เพื่อรักษาสมดุลระหว่างกัน ในขณะที่ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์อย่างช้า และที่เป็นประโยชน์ทันทีนั้นมีไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดินเหนียวจะลดลงระดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับดินทราย เนื่องจากอาจจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟอสเฟตกับดินเหนียว (วิทยา, 2531)

การตรึงฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในดิน 3 กลุ่มนี้ มีการเปลี่ยนแปลงกลับไปมาได้ เพื่อรักษาสมดุลระหว่างกันและกัน ดังนั้นทันทีที่มีฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (ส่วนหนึ่งของฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ทันที) เพิ่มขึ้นกว่าภาวะสมดุลปกติ ส่วนหนึ่งของฟอสเฟตที่ละลายน้ำนี้จะเริ่มทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของดินบางประการ ทำให้เกิดการตกตะกอนหรือถูกดูดยึด (แบบไม่อาจแลกเปลี่ยนได้เหมือนอิออนที่อาจแลกเปลี่ยนได้, exchangeable ions) กลายสภาพเป็นฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ได้ช้า และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำก็จะเหลือน้อยลง คือกลายเป็นฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ช้า และช้ามากเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าจะเกิดภาวะสมดุลขึ้นใหม่ นั่นคือปฏิกิริยาของฟอสเฟตได้ผันขึ้นข้างบน ปรากฏการณ์ที่ฟอสฟอรัสละลายน้ำได้ถูกทำให้ตกตะกอนและดูดยึดในดินที่เรียกว่าการตรึงฟอสฟอรัส (phosphorus fixation) (บุญแสน, 2543)

แม้ว่าจะใช้คำว่าการตรึง (fixation) เหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความเป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว การตรึงไนโตรเจนกับการตรึงฟอสฟอรัสมีความหมายตรงกันข้ามกันเลยทีเดียว นั่นคือการตรึงฟอสฟอรัสทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง โดยทั่วไปแล้วเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสให้กับพืชที่ปลูกในฤดูหนึ่งๆ แล้ว พืชในฤดูปลูกนั้นสามารถดูดกินฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเพียงร้อยละ 10 - 25 ของทั้งหมดเท่านั้น ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 75 - 90 ถูกตรึงอยู่ในดิน ตัวการที่ทำให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสในดินมีดังนี้

1. อิออนของ Al, Fe, Mn, Ca โดย $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ที่ละลายน้ำได้ดีจะทำปฏิกิริยากับอิออนเหล่านี้ที่อยู่ในสารละลายดิน หรือที่ถูกดูดยึดไว้กับผิวอนุภาคดินทำให้กลายเป็นสารฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ

2. แร่ดินเหนียว สามารถทำปฏิกิริยากับ H_2PO^{4-} และ HPO_4^{2-} ให้กลายเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออำนาจการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

1. ความเป็นกรด - ด่าง ของดิน โดยธรรมชาติของดินที่เป็นกรดมักเป็นดินที่มีสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 5.5 สารประกอบของเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีส จะละลายตัวออกมาอยู่ในสารละลายดินและถูกดูดยึดติดที่ผิวอนุภาคดินได้มากกว่าเมื่อ pH สูงกว่า 5.5 ดังนั้นในดินที่เป็นกรด ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้จึงมีโอกาสทำปฏิกิริยากับอิออนของเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีสกลายเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้น้อยลง มากกว่าในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลาง สารประกอบของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้น้อยลงนี้ จะเปลี่ยนแปลงเป็นสารที่ยิ่งละลายน้ำได้น้อยลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณีที่ดินเป็นด่างคือดินที่มีสารประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ฟอสฟอรัสจะละลายน้ำได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+}, Mg^{2+} ก็จะกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยลงเช่นกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลางๆ คือมี pH อยู่ระหว่างช่วง 6.0-7.0 เป็นดินที่มีอำนาจการตรึงฟอสฟอรัสต่ำกว่าดินที่เป็นกรดหรือด่างกว่านี้ ยิ่งดินเป็นกรดหรือด่างรุนแรงมากเท่าใดก็ยิ่งมีอำนาจการตรึงฟอสฟอรัสได้สูงขึ้นเท่านั้น ในประเทศไทยพบดินกรดกระจายทั่วประเทศ ประมาณ 140 ล้านไร่ ส่วนมากพบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ (เจริญ และคณะ, 2540)

2. ชนิดและปริมาณแร่ดินเหนียวในดิน แร่ดินเหนียวแต่ละชนิดต่างมีปฏิกิริยาทำให้ฟอสฟอรัสละลายน้ำได้น้อยลงทั้งสิ้น ในขณะที่กลุ่มอนุภาคดินทรายแป้งและดินทรายไม่มีปฏิกิริยานี้ ดังนั้นดินที่มีเนื้อละเอียดจึงมีอำนาจตรึงฟอสฟอรัสได้มากกว่าดินเนื้อหยาบ แร่ดินเหนียวชนิดไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม (hydroxide of Fe and Al) มีอำนาจตรึงฟอสฟอรัสสูงที่สุดในบรรดาแร่ดินเหนียวทั้งหมด ตามด้วยแร่ดินเหนียวชนิดเคโอลิไนต์ (kaolinite) และแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ซึ่งมีอำนาจตรึงฟอสฟอรัสต่ำกว่าแร่ดินเหนียวชนิดอื่น ดังนั้นดินที่ผ่านขั้นตอนการสลายตัวมามากหรือดินที่มีอายุมาก เช่น ดินในอันดับอ็อกซิโซลส์และอุลติโซลส์ มีค่าความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสในดินสูง (Sanchez, 1976) ดินที่มีการชะล้างพังทลายมากขึ้นจะมีอินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูป Fe-P สูงขึ้นแต่มี Ca-P ลดลง โดยที่ pH ของดินเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน เมื่อดินเป็นกรดมากขึ้นจะมีอินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูป Fe-P และ Al-P สูงขึ้น ขณะที่ Ca-P ลดลง (Sanchez, 1976)

ดินโดยทั่วไปมีการดูดตรึงฟอสฟอรัสไวไดมาก จึงจำเปนตองควบคุมปจจัยบางประการเพื่อลดการดูดตรึงฟอสฟอรัสของดิน เชน การควบคุมความเปนกรดดางของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุใหเพียงพอตอความตองการของจุลินทรียที่ชวยละลายฟอสเฟต เพื่อใหพืชไดใชประโยชนจากธาตุฟอสฟอรัสมากที่สุด (สมเกียรติ, 2551)

3. ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน อินทรียวัตถุช่วยลดการตรึงฟอสฟอรัสในดินทั้งสองสาเหตุ ในขั้นตอนต่างๆ ของการสลายตัวของอินทรียวัตถุเป็นขุย โดยอินทรียวัตถุนั้นมีสารประกอบชนิดต่างๆ เกิดขึ้นมากมายหลายชนิด สารประกอบเหล่านี้บางชนิดทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) กับออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม บางชนิดทำปฏิกิริยากับตำแหน่งที่จะตรึงฟอสฟอรัสของแร่ดินเหนียวพวกซิลิเกตได้ โดยทำให้แร่ดินเหนียวเหล่านี้ลดอำนาจการตรึงฟอสฟอรัสลง ขณะเดียวกันก็ทำปฏิกิริยากับ Al^{3+} Fe^{2+}

ที่ละลายในสารละลายดินได้ด้วย ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงๆ จึงมีอำนาจการตรึงฟอสฟอรัสต่ำกว่าดินชนิดเดียวกันที่มีอินทรียวัตถุน้อยกว่า

ดินที่ใช้ทำการเกษตรมีค่า pH ต่ำอาจทำให้เกษตรบนพื้นที่สูง ประสบปัญหาดินขาดฟอสฟอรัส เนื่องมาจากพื้นที่เกษตรได้รับการใส่ปุ๋ยเคมี หรือสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ซึ่งเป็นการผลิตที่ใช้ต้นทุนสูงอย่างต่อเนื่อง อาจทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและทรัพยากรอื่นๆ (วิฑูรย์, 2547) ส่วนในดินนาน้ำขังหรือดินที่ลุ่มก็เช่นกันประสบปัญหาการขาดฟอสฟอรัสหรือฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อพืชที่ปลูก (Reijneveld and Oenema, 2012) แต่ประสบปัญหาน้อยกว่าเกษตรกรบนพื้นที่สูงเนื่องจากที่ลุ่มมีน้ำขัง ฟอสฟอรัสมีความสำคัญมากในการเพิ่มผลผลิตของข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน (Anh and Phung, 2004) อาจแก้ปัญหาการขาดฟอสฟอรัสโดยการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยอินทรีย์ในนาแต่ไม่ควรใช้ในอัตราสูงเกินกว่า 3-4 ตันต่อไร่ เนื่องจากการใส่ปุ๋ยมากเกินไปหากมีน้ำขังในนาจะเกิดการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์นอกจากนี้ยังมีผลให้ดินที่มีธาตุเหล็กมากปลดปล่อยเหล็กที่ละลายได้ออกมามากจนเป็นพิษต่อข้าวได้ (สมพร, 2551) ซึ่ง pH ที่ข้าวต้องการอยู่ที่ 5.0-6.0 (วันชัย, 2550)

อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้ในดินนั้นก็ใช่ว่าจะถูกตรึงไว้ตลอดกาล ไม่มีโอกาสจะกลับมาเป็นประโยชน์ต่อพืชเลย กล่าวคือตราบใดที่ยังปลูกพืชโดยการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสซึ่งทำให้มีฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำมากกว่าสมดุล การตรึงฟอสฟอรัสก็ยังเกิดขึ้น แต่เมื่อหยุดใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและยังคงปลูกพืชต่อไป พืชที่ปลูกก็จะดูดกินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทันทีทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนนี้ลดลงจนเสียสมดุล ปฏิกิริยาก็จะผันกลับลงมาข้างล่าง นั่นคือเกิดการละลายหรือปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้แต่ก่อนหน้านั้น

ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำและที่เป็นประโยชน์

ฟอสฟอรัสในปุ๋ยต่างๆ นั้นไม่ได้ละลายน้ำทั้งหมด มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ละลายน้ำ และสัดส่วนของฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยที่ละลายน้ำก็แตกต่างกันระหว่างปุ๋ยแต่ละชนิด สำหรับกรณีของปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในปุ๋ยไม่ใช่เป็นตัวกำหนดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในปุ๋ยที่ดีที่สุด จึงได้ตกลงกำหนดวิธีการบอกปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยการแยกฟอสฟอรัสในปุ๋ยออกเป็น 3 ส่วน ตามกรรมวิธีในการวิเคราะห์ปุ๋ยดังนี้ เมื่อเอาปุ๋ยผสมน้ำแล้วกรองแยกระหว่างน้ำใสกับตะกอน ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายติดไปกับน้ำเรียกว่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ นำตะกอนที่ได้จากการกรองไปผสมสารละลาย ammonium citrate ความเข้มข้น 1 นอร์มอล pH 7 แล้วกรองอีกครั้ง ฟอสฟอรัสที่ละลายในสารละลายเรียกว่าฟอสฟอรัสที่ละลายในซิเตรต (citrate-soluble phosphorus) ส่วน ฟอสฟอรัสที่ยังคงเหลืออยู่ในตะกอนเรียกว่าฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายในซิเตรต (citrate-insoluble phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำรวมกับที่ละลายในซิเตรตถือและเรียกว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์รวมกับที่ไม่ละลายในซิเตรต เรียกว่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ในการบอกปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยบอกเฉพาะค่าของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่านั้น

การตอบสนองต่อการขาดฟอสฟอรัสในข้าว

ความสำคัญของฟอสฟอรัสในข้าวคือช่วยในการแตกกอ การพัฒนาของราก การออกดอกและการสุกแก่ของข้าว (กรมการข้าว, 2550) แต่ปัญหาการขาดแคลนธาตุฟอสฟอรัสจะมีผลต่อรูปร่างสัณฐานวิทยาและเมตาบอลิซึม ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะแคระแกร็น การแตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรงและมีสีเขียวเข้ม ลำต้นผอมเรียว ข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวงและจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ใบอ่อนสมบูรณ์ดี แต่ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด ถ้าพันธุ์ข้าวที่ปลูกสามารถผลิตแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ได้ใบอาจเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีม่วง ในดินที่เป็นกรดการขาดฟอสฟอรัสมักจะเกิดร่วมกับเหล็กเป็นพิษ สาเหตุของการขาดฟอสฟอรัสเกิดจากการมีระดับฟอสฟอรัสในดินนาต่ำหรือถูกตรึงโดยดินจนพืชนำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ มักเกิดในดินที่เป็นกรดจัด การใส่ปุ๋ยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช วิธีการปลูกแบบนาหว่านมีโอกาสทำให้ข้าวขาดฟอสฟอรัสมากกว่าปลูกแบบปักดำเพราะต้นข้าวที่ปลูกนั้นจะหนาแน่นกว่าและมีรากตื้นกว่าข้าวที่ปลูกแบบปักดำ (กรมการข้าว, 2550) สำหรับอาการผิดปกติที่สำคัญของพืชที่เป็นผลมาจากการขาดหรือได้รับเกินจึงเกิดความเป็นพิษจากธาตุอาหารตลอดจนเมื่อมีความเครียดเนื่องจากสิ่งแวดล้อม (environmental stress) ลักษณะอาการคือครอโรซิส ซึ่งเป็นอาการซีดเผือด และเนโครซิสซึ่งเป็นการตายของเซลล์เนื้อเยื่อและอวัยวะ หรือเกิดการตายของพืชทั้งต้น (ยงยุทธ, 2546)

จากการศึกษาของ Bates and Lynch (1996) พบว่าความยาวของขนรากในสภาวะที่ขาดแคลนฟอสฟอรัส ยาวกว่าต้นที่อยู่ในสภาวะฟอสฟอรัส ประมาณ 3 เท่า ซึ่งการเพิ่มความยาวรากจะช่วยเพิ่มช่วงเวลาของการเจริญเติบโต (growth duration) และการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) และยังพบว่าความหนาแน่นของขนรากของ *Arabidopsis* ในสภาวะที่ปลูกในวัสดุที่มีฟอสฟอรัสต่ำ มีค่าสูงกว่าพืชที่ปลูกในวัสดุปลูกที่มีฟอสฟอรัสสูงประมาณ 5 เท่า ซึ่งการตอบสนองทั้งความยาวรากและความหนาแน่นของขนรากพบการตอบสนองแบบลอการิทึม ต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในวัสดุปลูก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราก *Arabidopsis* มีการเปลี่ยนแปลงโดยเมื่อปลูกในสภาวะที่มีฟอสฟอรัสต่ำ จะพบเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเพิ่มขึ้นและมี cortical cells เพิ่มขึ้น มีจำนวนเซลล์ผิว (epidermal cells) เพิ่มขึ้นขณะที่ขนาดเซลล์ลดลง

Fageria and Baligar (1997) ศึกษาการประเมินผลข้าวไร่ต่อประสิทธิภาพในการใช้ฟอสฟอรัสที่ความแตกต่างของระดับฟอสฟอรัสคือระดับต่ำ 0 mgP/kg ระดับปานกลาง 75 mgP/kg และระดับสูง 150 mgP/kg พบว่าความยาวของยอดและราก น้ำหนักแห้งยอดและราก การดูดซึมของฟอสฟอรัสในยอดและรากและประสิทธิภาพในการใช้ฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจจะเป็นวิธีวัดที่เหมาะสมสำหรับการคัดกรองยีนข้าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส

Ni *et al.* (1998) ศึกษาการทนต่อสภาวะความเครียดฟอสฟอรัสที่ปลูกโดยใช้สารละลายและในดินโดยมีความแตกต่างของระดับฟอสฟอรัสพบว่า ความสามารถในการแตกกอ จำนวนรากสัมพัทธ์ และความยาวรากสัมพัทธ์ ขึ้นอยู่กับอัตราของปริมาณระดับฟอสฟอรัสคือ 1 ppm และ 10 ppm สามารถนำมาประเมินพันธุกรรมของข้าวที่ทนต่อสภาวะความเครียดฟอสฟอรัสได้โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ และพบว่าการใช้สารละลายในการปลูกมีการควบคุมที่ง่ายและมีความน่าเชื่อถือได้ต่อการวัดการทนต่อสภาวะความเครียดฟอสฟอรัสได้ดีกว่า

สำหรับรูปร่างทางสัณฐานวิทยาของระบบรากที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัสต่ำคือมีการเพิ่มสัดส่วนของ รากต่อยอด (root/shoot ratio) เพิ่มความยาวรากและความหนาแน่นของขนราก รวมทั้งมีผลต่อการเพิ่มการแบ่งตัวของรากด้านข้าง (lateral root) ขณะที่บางพืชมีผลต่อการวางตำแหน่งของรากแต่เมื่อขาดฟอสฟอรัสแล้วรากจะมีการแผ่ออกด้านข้างมากขึ้น ซึ่งปกติจะมีแนวเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitropism) แต่เมื่อขาดฟอสฟอรัสแล้วรากจะมีการแผ่ออกด้านข้างมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดนี้เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบรากในการหาธาตุฟอสฟอรัสในดินภายใต้สภาวะที่มีความเครียดเนื่องจากการมีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสลดต่ำลง นอกจากนี้รากจะมีการปล่อยโปรตอนหรือกรดอินทรีย์ ในปริมาณที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายองค์ประกอบของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่สามารถละลายได้ (insoluble inorganic phosphate) และรากยังมีการปลดปล่อยเอนไซม์ phosphatases และ nucleases ที่จำเป็นต่อการนำฟอสฟอรัสจากแหล่งอินทรีย์วัตถุต่างๆ มาใช้มีหลายพืชที่มีการศึกษาการตอบสนองต่อการขาดแคลนอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และยังคงมีการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดความเข้าใจดียิ่งขึ้นทั้งด้านพันธุกรรมและชีวเคมีของพืช (Poirier and Bucher, 2002)

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นเซลล์ที่มีขนรากที่เรียกว่า trichoblast ขณะที่เซลล์ซึ่งอยู่เหนือ perclinal cortical cells walls ชั้นนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นเซลล์ที่ไม่มีขนรากที่เรียกว่า atrichoblast การเพิ่มความหนาแน่นของรากเป็นผลมาจากการเพิ่มของจำนวน trichoblasts ร่วมกับการเพิ่มการเปลี่ยนรูปของ trichoblasts ไปเป็นขนราก และการรวมกันของขนรากที่มาจาก trichoblasts ขนาดเล็กอื่นๆ (Ma *et al.*, 2001) นอกจากนั้นยังพบการเพิ่มขึ้นของจำนวน atrichoblast ที่แปลงรูปเป็นขนรากในสภาวะที่รากขาดฟอสฟอรัสด้วยเช่นกัน ซึ่งจากผลการศึกษาที่เกิดขึ้นเป็นตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนถึงผลของการขาดแคลนฟอสฟอรัสต่อการเปลี่ยนแปลงและรูปแบบของเซลล์ราก

การเพิ่มทั้งความยาวและความหนาแน่นของรากพืชที่ปลูกภายใต้สภาวะที่มีฟอสฟอรัสต่ำช่วยทำให้ปริมาตรของดินเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสดิน ซึ่งเป็นการปรับตัวที่สำคัญในการหาไอออนที่มีการแพร่อย่างจำกัดในดิน เช่น ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็ก ขณะที่ไนเตรตมีการแพร่ที่ดีในดิน ซึ่งจากเหตุผลข้างต้นอาจเป็นผลให้พบว่าในสภาวะที่มีฟอสฟอรัสและธาตุเหล็กในระดับน้อยหรือสภาวะเครียดจะชักนำให้มีการเพิ่มขึ้นของความยาวและความหนาแน่นของรากเหมือนกัน ขณะที่การขาดไอออนตัวอื่นๆ จะมีผลน้อยต่อขนราก (Bates and Lynch, 1996; Ma *et al.*, 2001) และสามารถเป็นตัวบ่งชี้การแข่งขันของพันธุ์ในขณะที่มีการปลูกร่วมกัน โดยในสภาวะที่มีระดับฟอสฟอรัสปกติจะไม่เกิดการแข่งขัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของขนรากและไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งต่างจากในสภาวะที่มีการขาดฟอสฟอรัส (Bates and Lynch, 2001) และในการศึกษารูปทรงทางเลขาคณิต (Gemometric models) ของรูปแบบการเจริญเติบโตของรากภายใต้สภาวะที่มีฟอสฟอรัสลดลงหรือสภาพเครียดพืชสามารถตอบสมมติฐานของการเพิ่มขึ้นของความยาวรากและความหนาแน่นของขนรากว่ามีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการหาฟอสฟอรัสของพืช (Ma *et al.*, 2001)

ความสัมพันธ์ของน้ำและพืช

ในต้นพืชมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 70-90 ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับอายุ อวัยวะ และชนิดของพืช รวมไปถึงสภาพที่พืชนั้นขึ้นอยู่ น้ำในต้นพืชมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการเป็นส่วนประกอบของเซลล์ เป็นตัวกลางในปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์ รวมไปถึงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ช่วยในการลำเลียงสารและช่วยให้เซลล์คงรูปอยู่ได้ ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลถึงการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตและการดำเนินชีวิตของพืช เมื่อใดก็ตามที่พืชขาดน้ำก็จะมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้นและจะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงด้วย (เฉลิมพล, 2535)

ลักษณะที่พืชได้รับน้ำจากดิน

พืชจะใช้น้ำจากดินด้วยสองลักษณะ คือ น้ำจากที่ที่มีความชื้นสูงกว่าจะแพร่ไปสู่ที่ที่มีความชื้นต่ำกว่าหรือแห้งกว่ารอบๆ รากขนด้วยแรงดูดซับและอีกวิธีหนึ่ง คือ รากพืชจะพยายามเจริญเข้าหาบริเวณที่มีความชื้นสูงหรือที่ที่มีน้ำอยู่มาก น้ำที่มีอยู่ในต้นพืชทั้งหมดนั้นเป็นน้ำในดินที่รากพืชดูดซับขึ้นมา การที่น้ำสามารถเคลื่อนที่จากดินเข้าสู่ต้นพืชได้โดยผ่านระบบรากและถูกคายออกทางใบ โดยการคายน้ำหรือหายใจ (transpiration) และการระเหย (evaporation) ซึ่งเกิดจากมีความแตกต่างกันในพลังงานศักย์ของน้ำหรือศักยภาพของน้ำ (water potential) ระหว่างจุดสองจุด น้ำจะเคลื่อนจากจุดที่มีศักยภาพสูงกว่าไปยังจุดที่มีศักยภาพต่ำกว่าจนกว่าทั้งสองจุดจะมีศักยภาพของน้ำเท่ากันหรือได้สมดุลกัน อากาศจะมีศักยภาพของน้ำต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพน้ำในดิน และดินจะมีศักยภาพของน้ำสูงกว่าของราก จึงทำให้น้ำสามารถไหลเคลื่อนจากดินสู่รากได้ เช่นเดียวกับการไหลของน้ำจากรากไปสู่กิ่งก้านและใบที่อยู่สูงขึ้นไป (เฉลิมพล, 2535)

ในต้นพืชทั่วๆ ไปจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ระหว่างร้อยละ 70-90 ขึ้นอยู่กับชนิด อายุส่วนใหญ่ของพืช และสภาพแวดล้อมที่พืชนั้นเจริญเติบโตอยู่ เช่น ในเมล็ดที่แก่เต็มที่จะมีน้ำอยู่ร้อยละ 5-15 ในใบร้อยละ 70-90 และที่อวบน้ำอาจมีอยู่ถึงร้อยละ 95 น้ำในต้นพืชดังกล่าวนับว่ามีบทบาทและมีความสำคัญยิ่งต่อการมีชีวิต ต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืชนอกจากนี้น้ำยังเป็นส่วนประกอบของเซลล์ เป็นตัวทำละลาย และเป็นตัวกลางของปฏิกิริยาเคมี เป็นตัวกลางการเคลื่อนย้ายสารพวกอินทรีย์ และอนินทรีย์วัตถุ รักษาความเต่งและรูปทรงของเซลล์และเป็นตัวระบายความร้อนของพืชโดยผ่านทางกระบวนการคายน้ำและรักษาอุณหภูมิภายในต้นไม่ให้ร้อนเกินไป รากของพืชเจริญอยู่ในสภาพแวดล้อม (ดิน) ที่มีความชื้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมของต้นและใบ (บรรยากาศ) ด้วยเหตุนี้น้ำจึงมีการไหลจากดินสู่ราก สู่ลำต้น สู่ใบและสู่บรรยากาศในที่สุด และอัตราการไหลของน้ำดังกล่าวขึ้นอยู่กับระดับความแตกต่างของความชื้นในดินกับความชื้นในบรรยากาศ (วิเชียร, 2546)

การเคลื่อนที่ของน้ำในต้นพืชเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำจากดินสู่รากและจากรากขึ้นสู่ลำต้นซึ่งเป็นกระบวนการทางฟิสิกส์ เนื่องจากความแตกต่างกันในเรื่องศักยภาพของน้ำระหว่างสองจุด ในบรรยากาศจะมีศักยภาพของน้ำต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพของน้ำในต้นพืชและดิน ดังนั้นน้ำจากใบจะเคลื่อนที่สู่บรรยากาศ อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นอยู่กับความแตกต่างของศักยภาพของน้ำระหว่างดินและบรรยากาศ เมื่อไรก็ตามที่น้ำเป็นตัวจำกัดหรือรากไม่สามารถดูดให้ทันกับการคายน้ำ พืชจะเกิดความเครียดน้ำ (water

stress) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการเจริญและผลผลิต แต่จะมากน้อยแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพืช ความรุนแรงของการขาดน้ำ และระยะเวลาที่เกิดความเครียดน้ำ (วิเชียร, 2546)

แหล่งน้ำที่พืชใช้ได้

1. ความชื้นหรือน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดินที่มีวามจุความชื้นที่ field capacity ซึ่งเป็นความชื้นในดินที่เหมาะสมแก่พืช เมื่อนำมาหาค่าศักยภาพของน้ำจะมีค่าประมาณ -0.1 ถึง -0.3 bars และดินที่มีความชื้นระดับนี้รากของพืชสามารถดูดซับน้ำไปใช้ได้ และถ้าไม่มีการเติมน้ำหรือให้น้ำกับดินนี้อีก ความชื้นในดินก็จะลดลงเป็นลำดับ เนื่องจากการดูดใช้น้ำของพืช ในที่สุดความชื้นในดินก็จะลดถึงจุดหนึ่งที่พืชไม่สามารถดูดน้ำไปใช้ได้อีกต่อไป เรียกว่าดินนั้นมีความชื้นที่ระดับเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) ศักยภาพของน้ำในดินที่จุดนี้มีค่าประมาณ -15 bars ดังนั้นความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water capacity) จะอยู่ระหว่าง field capacity และความชื้นที่ระดับเหี่ยวถาวร หรือระหว่าง 0 bars กับ -15 bars โดยประมาณ น้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณร้อยละ 70 จะอยู่ระหว่าง field capacity ถึง -5 bars ถ้าในดินมีความชื้นต่ำกว่านี้พืชจะเริ่มเกิดความเครียดน้ำและจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต (เฉลิมพล, 2535)

2.น้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่เพาะปลูกในส่วนที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชคือส่วนของน้ำที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้

3. แหล่งน้ำใต้ดินที่ไหลซึมขึ้นมาตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

4.น้ำชลประทานหรือการให้น้ำพืชซึ่งเป็นน้ำที่ให้ที่ให้โดยมนุษย์เป็นปริมาณน้ำที่พืชต้องการเพิ่มเติมนอกเหนือจากสามส่วนแรก (ดิเรก และคณะ, 2545)

ความสำคัญของรากพืช

เนื่องจากรากพืชเป็นอวัยวะที่สำคัญของพืชที่ในการดูดน้ำและธาตุอาหารไปเลี้ยงต้นพืช ซึ่งช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาได้เป็นปกติ แต่เนื่องจากเป็นส่วนของพืชที่ยากต่อการศึกษาเพราะเป็นส่วนที่อยู่ใต้ดิน ทำให้การวิจัยด้านนี้ค่อนข้างจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาโดยใช้ส่วนอื่นๆ ของพืช แต่ได้มีรายงานว่ารากพืชมีความสำคัญต่อขบวนการทางสรีรวิทยาของพืชอย่างมาก คือรากพืชมีความสามารถในการส่งสัญญาณ (signal) ไปยังส่วนยอดเพื่อการปรับตัวต่อความกดดันของสภาพแวดล้อม เช่น ภายใต้สภาพขาดน้ำมีผลทำให้รากพืชมีการสังเคราะห์ไซโตไคนิน (cytokinin) ลดลง ส่งผลให้ระดับความสมดุลระหว่าง cytokinin ต่อ ABA (abscissic acid) ลดลง มีผลให้ปากใบปิด ส่งผลสืบเนื่องให้สังเคราะห์ด้วยแสงของใบลดลงด้วย จากความสำคัญเช่นนี้ทำให้นักสรีรวิทยาให้ความสนใจในการศึกษารากพืชมากขึ้น โดยมีการพัฒนาเทคนิคในการศึกษาให้ดีขึ้น (บุญมา, 2548)

มีการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารจากดินขึ้นสู่รากพืช ซึ่งจะเป็นไปได้ใน 2 ทิศทาง คือ การไหลของมวลสารและการแพร่ของสาร จำนวนไอออนที่ถูกดูดโดยรากจะขึ้นอยู่กับขนาดของราก ความยาวราก หรือพื้นที่ผิวหน้าและคุณสมบัติอื่นๆ ของราก เช่น รัศมีของราก จำนวนขนรากและราจำพวกฟังไจ

(fungi) นอกจากนี้การกระจายของรากภายในดินก็เป็นอีกลักษณะที่สำคัญ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ศึกษาเกี่ยวกับการขนส่งสารอาหารจะเป็นการศึกษาความยาวราก รัศมีของราก และความหนาแน่นของขนรากเป็นสำคัญ โดยคิดเป็นอัตราการเจริญเติบโตของลำต้น ธาตุอาหารที่ถูกดูดซึมจากดินโดยระบบรากจะถูกส่งไปเก็บสะสมยังบริเวณลำต้นและใบของพืช (Tarafdar and Kumar, 2003)

พืชมีวิธีปรับตัวให้รอดพ้นและมีชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาพแห้งแล้งหลายวิธี ระบบรากที่หยั่งลึกก็เป็นอีกลักษณะหนึ่งที่มีผู้ให้ความสนใจกันมาก โดยพืชที่หยั่งลึกกว่าจะมีความทนทานต่อความแห้งแล้งมากกว่า ทั้งนี้เพราะรากสามารถหาน้ำได้ดีกว่า ทั้งนี้เพราะรากสามารถหาน้ำได้ดีกว่า การเจริญของรากนี้อยู่ภายใต้อิทธิพลที่สำคัญสองประการ คือ พันธุกรรมและสภาพแวดล้อม อันประกอบด้วย แสง อุณหภูมิ และชนิดของดิน (เศรษฐา และคณะ, ม.ม.ป)

พืชกับการเกิดความเครียดน้ำ (Plant and water stress)

พืชเกิดความเครียดน้ำ (waters tress) หมายถึง พืชมีน้ำในระบบในลำต้นไม่เพียงพอ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้สองกรณีด้วยกัน คือ เกิดจากการที่พืชขาดน้ำ (water deficit) หรือเกิดจากการพืชได้รับน้ำมากเกินไป (water excess) เช่น เมื่อพืชมีน้ำขัง ถ้าพืชเกิดความเครียดน้ำอันเนื่องมาจากพืชขาดน้ำ หรือมีความแห้งแล้งเรียกว่า water deficit stress เรียกสั้นๆ ว่า water stress หรือ drought stress (เฉลิมพล, 2535)

ความเครียดน้ำจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช แต่ผลกระทบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ระดับความรุนแรง และเวลาที่เกิดความเครียดน้ำ พืชแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อการเกิดความเครียดน้ำไม่เหมือนกัน แม้แต่พืชต้นเดียวกันแต่อวัยวะคนละส่วนก็มีความทนทานต่อความเครียดน้ำไม่เท่ากัน การเจริญของเซลล์จะไวต่อความเครียดน้ำมากมี่สุด นั่นคือเมื่อพืชขาดน้ำการเจริญของเซลล์จะได้รับผลกระทบก่อน เมื่อขาดน้ำรุนแรงขึ้นอีกจะนำไปสู่การสังเคราะห์โปรตีน ปฏิกิริยาของเอนไซม์ การสร้างคลอโรฟิลล์ และการแบ่งตัวขยายเซลล์ลดลง เป็นต้น (เฉลิมพล, 2535)

สภาพความแห้งแล้งที่เกิดกับพืช

สภาพความแห้งแล้งที่เกิดในช่วงการเจริญเติบโตของพืช โดยอาศัยช่วงเวลาและระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งเป็นเกณฑ์ ดังนี้

1) สภาพการขาดน้ำในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (early drought stress)

เป็นความแห้งแล้งที่เกิดกับพืชในช่วงแรกของการเจริญเติบโตโดยเฉพาะช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative stage) ลักษณะความแห้งแล้งนี้พบได้มากกับพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย เนื่องจากมีลักษณะการกระจายตัวของฝนแบ่งเป็น 2 ช่วง (double bell shape) คือ ช่วงแรกมีฝนระหว่างปลายพฤษภาคมถึงต้นกรกฎาคม และช่วงหลังที่มีฝนกระจายระหว่างสิงหาคมถึงต้นเดือนตุลาคม (Vorasoot *et al.*, 1985) โดยจะมีฝนทิ้งช่วงประมาณ 3-4 สัปดาห์ในเดือนกรกฎาคมของทุกปีประกอบกับฝนที่ตกในช่วงแรกนั้นมีปริมาณน้อยและกระจายตัวในช่วงสั้น ซึ่งอาจมีผลให้พืชประสบความแห้งแล้งได้ถ้าพืช

ปลูกในช่วงต้นฤดูฝน สำหรับผลกระทบต่อพืชเมื่อประสบความแห้งแล้งในช่วงแรกนี้มีความแตกต่างกันตามแต่ชนิดของพืช

2) สภาพการขาดน้ำที่เกิดขึ้นเป็นช่วงๆ (intermittent stress)

เป็นลักษณะการขาดน้ำของพืชที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนในพื้นที่ที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม ซึ่งในฤดูฝนเป็นฤดูปลูกพืชบริเวณเขตร้อน ประกอบกับดินในเขตร้อนนี้ส่วนใหญ่เป็นดินทราย ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำความเป็นประโยชน์ของน้ำมีน้อยพืชที่ปลูกมีโอกาสขาดน้ำได้ง่าย (เพิ่มพูน, 2527) โดยการขาดน้ำเป็นช่วงๆ นี้จะเกิดขึ้นได้กับทุกช่วงของการเจริญเติบโตและมีความรุนแรงแตกต่างกันตามความแปรปรวนของมรสุมและสภาพพื้นดิน (Ludlow and Muchow, 1990) ทำให้พืชที่ปลูกในสภาพเช่นนี้ประสบสภาพความแห้งแล้งตั้งแต่ช่วงเริ่มงอกจนถึงเริ่มสุกแก่

3) สภาพการขาดน้ำที่เกิดต่อเนื่องเพียงช่วงเดียวตอนปลายฤดูปลูก (terminal stress)

เป็นลักษณะการขาดน้ำที่เกิดขึ้นตอนช่วงปลายฤดูฝนของบริเวณเขตร้อนกึ่งแห้งแล้ง โดยลักษณะภูมิอากาศเช่นนี้มีปริมาณฝนน้อยและตกอยู่ในช่วงเวลาสั้นทำให้ฤดูปลูกสิ้นสุดเร็ว ลักษณะความแห้งแล้งเช่นนี้จะมีผลทำให้พืชที่ปลูกนั้นกระทบกับสภาพการขาดน้ำในช่วงปลายฤดูปลูก ซึ่งเป็นช่วงการเติมเต็มเมล็ด (grain filling period) พืชที่ปลูกอยู่เมื่อประสบสภาพความแห้งแล้งเช่นนี้จะให้ผลผลิตได้หรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับพืชและปริมาณความชื้นดินที่สามารถเก็บกักไว้ได้

การทนแล้งของพืช

การเกิดสภาพแล้ง (drought) ในระหว่างการปลูกพืช หมายถึง ช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอจนทำให้พืชขาดน้ำ และพืชจะอยู่ใน สภาวะขาดน้ำก็ต่อเมื่ออัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืช จนทำให้ปริมาณน้ำในต้นพืชลดลง ซึ่งจะมีผล ทำให้ขบวนการทางสรีรวิทยาของพืชเปลี่ยนแปลงไปและในที่สุดจะส่งผลให้ผลผลิตของพืชลดลง อย่างไรก็ตามพืชมีความ สามารถในการปรับตัวให้ทนทานต่อสภาพแล้งได้เนื่องจากพืชมีกลไกในการปรับตัวหลายรูปแบบ ซึ่งอาจจำแนกออกได้เป็น 4 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้

1) การหนีแล้ง (drought escape) เป็นความสามารถของพืชที่จะมีชีวิตอยู่จนครบวงจรชีวิต (life cycle) ก่อนที่จะกระทบกับสภาพแล้ง เช่น การมีอายุสั้น การออกดอกได้เร็วขึ้น การยืดระยะเวลาในการออกดอก เป็นต้น

2) การเลี่ยงแล้ง (drought avoidance) เป็นความสามารถของพืชที่จะมีชีวิตอยู่รอดได้โดยการลดความสูญเสียน้ำภายในต้นพืช เมื่อประสบ กับสภาพแล้ง เช่น การม้วนของใบ ใบมีไขเคลือบหนา ปากใบเปิดปิดได้รวดเร็วขึ้น มีระบบรากหนาแน่นและหยั่งลึก เป็นต้น

3) การทนแล้ง (drought tolerance) เป็นความสามารถของพืชที่จะมีชีวิตอยู่รอดได้เมื่อประสบกับสภาพแล้ง โดยการลดศักย์ของน้ำ (water potential) เช่น การปรับระดับของ solute ในเซลล์โดยวิธีการปรับแรงดันออสโมซิส (osmotic adjustment) เพื่อทำให้เซลล์เต่ง การยืดหยุ่นของผนังเซลล์ (cell wall elasticity) การลดขนาดของเซลล์หรือลดสภาวะระดับน้ำวิกฤตที่จะทำให้พืชตาย

4) การฟื้นตัวจากแล้ง (drought recovery) เป็นความสามารถของพืชที่จะฟื้นตัวได้ใหม่หลังจากประสบกับสภาวะแล้ง ซึ่งอาจทำให้ส่วนใด ส่วนหนึ่งของต้นพืชเหี่ยวแห้งไป และเมื่อได้รับน้ำใหม่ก็สามารถฟื้นตัว แตกกิ่งแตกหน่อใหม่เจริญเติบโตต่อไปได้

การปรับตัวต่อสภาพแล้งของข้าว

การพัฒนาพันธุ์พืชทนทานต่อสภาพแล้งก็คือ การปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีลักษณะทนแล้งในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งหรือหลาย ๆ รูปแบบรวมกัน เช่น การปรับปรุงพันธุ์ให้พืชออกดอกเร็วขึ้น เพื่อหนีแล้งที่อาจเกิดขึ้นในช่วงปลายฤดูปลูก การปรับปรุงให้ใบมีไขเคลือบหนาขึ้นเพื่อลดการคายน้ำของพืช ให้พืชมีรากยาวเพื่อที่จะดูดน้ำจากดินล่างได้ดีขึ้น ทำให้เซลล์พืชสามารถปรับแรงดันออสโมซิสได้ดีขึ้น ทำให้ใบมีไขเคลือบหนาขึ้นร่วมกัน การมีรากยาวขึ้น เป็นต้น กระทำได้โดยการผสมพันธุ์ร่วมกับการคัดเลือกต้นหรือสายพันธุ์ที่ทนแล้งในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมให้เกิดการขาดน้ำ ในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต เช่น ระยะกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอก และระยะติดเมล็ด เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการนำเทคนิค การเพาะเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อพืชมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคดังกล่าวจะช่วยทำให้ขั้นตอนการคัดเลือกพันธุ์พืชเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการเพาะเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อช่วยทำให้นักปรับปรุงพันธุ์พืชสามารถคัดเลือกพืชที่มี ลักษณะที่ต้องการจากประชากร เซลล์ที่มีขนาดใหญ่ และมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมภายในเนื้อที่แคบๆ และภายใต้สภาพแวดล้อมที่เลียนแบบ ธรรมชาติและสม่ำเสมอ ในข้าวได้มีการนำเทคนิคการเพาะเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อมาใช้ในการคัดเลือกพืชเพื่อปรับปรุงลักษณะ ต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น ความต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล ทนทานต่อดินเค็ม ทนแล้ง และการคัดเลือกเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดให้สูงขึ้น เป็นต้น

ในการคัดเลือกพืชให้ทนทานต่อสภาพแล้ง โดยอาศัยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อนั้น สามารถกระทำได้โดยการเพาะเลี้ยงเซลล์หรือ กลุ่มเซลล์บนอาหารที่เติมสารพวกออกโมติคัม (osmoticum) บางชนิด เช่น โพลีเอทธีลีน ไกลคอล (polythylene glycol) หรือพีอีจี (PEG) น้ำตาลแมนนิทอล (mannitol) ซูโครส (sucrose) และกลูโคส (glucose) เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะทำหน้าที่ลดแรงดันออสโมซิส (osmotic potential) ของสารละลายที่อยู่ล้อมรอบเซลล์ ทำให้เซลล์อยู่ในสภาพที่ขาดน้ำ จากนั้นจึงคัดเลือกเซลล์ที่ทนทานต่อ สภาพแล้ง แล้วชักนำให้เซลล์เหล่านี้พัฒนา เป็นต้น ทดสอบความทนแล้งของต้นพืชที่ได้ตลอดจนลูกชั่วต่อ ๆ มา ในเรือนปลูกพืชทดลองและ ในสภาพไร่นา เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาพแล้ง (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

จากการศึกษาการคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนทานต่อสภาพแล้งในหลอดทดลอง โดยการนำแคลลัสที่เจริญมาจากคัพภะของข้าวหอม (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เลี้ยงบนกระดาษกรองรูปสะพาน ซึ่งจุ่มอยู่ในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม polyethylene glycol 6000 (PEG) ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ พบว่า แคลลัสที่เลี้ยงบนอาหารที่เติม PEG 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการรอดชีวิต (70.1 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าแคลลัสที่เลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติม PEG (67.9 เปอร์เซ็นต์) อัตราการรอดชีวิตของแคลลัสลดลงเมื่อเลี้ยงแคลลัสบนอาหารที่เติม PEG ความเข้มข้นสูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แคลลัสตายหมดเมื่อเลี้ยงบนอาหารที่เติม

PEG 40 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของ PEG ที่ทำให้อัตราการรอดชีวิตของแคลลัสลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (LD_{50}) มีค่าเท่ากับ 29.5 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากการคัดเลือกแคลลัสที่มีชีวิตรอดอยู่ได้บนอาหารที่เติม PEG ความเข้มข้นต่างๆ แล้วย้ายไปเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนำให้แคลลัสพัฒนาไปเป็นต้น พบว่าแคลลัสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติม PEG สามารถพัฒนาไปเป็นต้นได้ในอัตรา 5.7 เปอร์เซ็นต์ จำนวนต้นที่ได้ทั้งหมด 49 ต้น แคลลัสที่ผ่านการคัดเลือกบนอาหารที่เติม PEG 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการพัฒนาไปเป็นต้นต่ำ (1.3 เปอร์เซ็นต์) จำนวนต้นที่ได้ทั้งหมด 2 ต้น แคลลัสที่ผ่านการคัดเลือกบนอาหารที่เติม PEG ความเข้มข้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถพัฒนาไปเป็นต้นได้ (ประภา, 2538)

การคัดเลือกความทนแล้งในระดับต้นกล้าในรุ่น R4 ถึง R6 และตรวจวัดปริมาณโพรลีนและน้ำตาลในใบข้าวเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตในสภาวะแล้ง โดยใช้ PEG6000 เป็นสารจำลองความแล้งสายพันธุ์ที่ดีที่สุดจากรุ่น R5 และ R6 มีอัตราการรอดตาย 99 เปอร์เซ็นต์ สายพันธุ์ทนแล้งนี้มีการสะสมโพรลีนและน้ำตาลในระดับสูงมากกว่าสายพันธุ์หลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเจริญเติบโตในสภาวะแล้ง แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการสะสมโพรลีนและน้ำตาลของข้าวเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแล้งว่ามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทนแล้งของแต่ละสายพันธุ์ ลักษณะอื่นๆ ในทางการเกษตรที่พบจากการแปรผันของเซลล์ร่างกายเช่น ความสูง จำนวนหน่อต่อกออายุการออกดอก และการผลิตเมล็ดพันธุ์ สายพันธุ์ที่ดีที่สุดที่คัดเลือกได้จากการทดลองนี้ คือสายพันธุ์ TC RD23 2777-01-03-13-07 ซึ่งมีอัตราการรอดตาย 99 เปอร์เซ็นต์ สายพันธุ์นี้มีลักษณะต้นเตี้ยกว่าสายพันธุ์หลัก อายุการออกดอกสั้นเพียง 91 วัน และให้ผลผลิตที่สูง (วรัญญา, 2541)

จากการศึกษาของ Farsiani and Ghobadi (2009) ผลกระทบจากความเครียดจากสภาวะขาดน้ำโดยใช้ PEG ต่อการงอกและระยะแรกของต้นอ่อนของข้าวโพด 2 สายพันธุ์ (*Zea mays* L.) พบว่ามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด อัตราการงอกของเมล็ด ความยาวของรากแรกเกิด (radicle) และต้นอ่อน (plumlue) และน้ำหนกแห้งของรากแรกเกิด (radicle) และต้นอ่อน (plumlue)

ผลของการขาดน้ำในการเจริญเติบโตของพืชของข้าว (*Oryza sativa*) 3 สายพันธุ์ คือ Sinaloa, IR10120 และ Chiapas ต่อการทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง ที่มีระดับแตกต่างของ PEG8000 0, 5,10, 15, 20, 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการงอกของเมล็ดและเจริญเติบโตของพืชมีความแตกต่างกันมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยที่ 20 เปอร์เซ็นต์ยังพบว่ามีการงอกอยู่ดังนั้นข้าวทั้งสามพันธุ์มีความทนต่อสภาพแล้งได้ดี (Eugenio *et al.*, 1996)

รัชนี และคณะ (2537) ได้ศึกษาการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวไทยทนแล้งโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการชักนำให้เกิดต้น ในการเลี้ยงแคลลัสของข้าวไทย 2 พันธุ์ คือ น้ำสะกุย 19 (NSG19) และขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) ในอาหารเหลวสูตร R-2 ซึ่งมีและไม่มีส่วนผสมของ PEG 100 g/l อยู่ด้วย เพื่อเลียนแบบการขาดน้ำของเซลล์พืชเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า NSG19 สามารถเจริญได้ดีจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วน KDML105 เจริญได้ดีเพียง 3 สัปดาห์ พบว่าในพันธุ์ NSG19 จำนวนต้นข้าวจะถูกชักนำจากอาหารที่มี PEG มากกว่าจากอาหารที่ไม่มี PEG 2 เท่า ส่วนใน KDML105 จำนวนต้นข้าวที่ผลิตได้จากอาหารเหลวที่ใส่หรือไม่ใส่ PEG ไม่มีความแตกต่างกัน

Polyethylene Glycol (PEG)

Polyethylene Glycol (PEG) เป็นสารที่สามารถควบคุมการเกิด osmosis ระหว่างพืชกับน้ำเพื่อให้เกิดสภาวะวะขาดน้ำ เช่นเดียวกับการงดให้น้ำกับพืชตามสภาพธรรมชาติโดยใช้ดิน และมีข้อดีหลายประการ คือเป็นสารที่มีคุณสมบัติที่เป็นสารเฉื่อย (inert) ซึ่งเป็นพิษต่อคนและสัตว์น้อยมาก เนื่องจากสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในการทำเครื่องสำอาง และยา (Jackson, 1962) ในพืชพบว่า PEG6000 ถูกดูดซึมโดยพืชหรือเซลล์พืชได้น้อยกว่าพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า (Michel, 1970) และ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 6000 ก็ถูกนำมาใช้มากกว่า mannitol ทั้งนี้พบว่าในบางครั้ง mannitol สามารถซึมผ่านเมล็ดขณะงอกได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบ water potential ของ PEG ที่เตรียมขึ้นใหม่ๆ กับที่เตรียมไว้แล้ว 28 วัน มีค่าเท่ากัน แสดงว่าสารละลาย PEG มี osmotic stability สูง (Thill *et al.*, 1979) และ PEG โมเลกุลใหญ่ เช่น PEG6000 ให้ค่า osmotic potential ในท่อลำเลียงน้ำที่คงที่กว่า PEG โมเลกุลเล็ก เช่น PEG400 อีกด้วย (Kaufman and Eckard, 1971) ส่วนการฟื้นตัวของต้นพืชที่ปลูกในสารละลายที่มี PEG ก็ทำได้ดีกว่าใน mannitol (Michel, 1970) จึงนับว่าเป็นสารที่เหมาะในการใช้เป็นสารชักนำให้เกิดความสภาวะการขาดน้ำ

คุณสมบัติของ Polyethylene Glycol (PEG)

PEG หรือชื่อทางการค้าว่า carbowax มีลักษณะเป็นโพลิเมอร์สายยาว (long-chain polymer) น้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 300-20,000 สูตรทางเคมีคือ $HOCH_2(CH_2OCH_2)_xOH$ ละลายในน้ำและเอทานอล จุดเยือกแข็ง 53-58 จุดหลอมเหลว 58 - 63 °C pH 5 - 7 (100 g/l, H O, 20 °C) (Jackson, 1962 ; Steuter, *et al.*, 1981)

ผล Polyethylene Glycol (PEG) ที่มีต่อการลด water potential

การที่ PEG สามารถลด water potential ลงได้นั้นเนื่องจากโมเลกุลของ ethylene oxide ซึ่งละลายได้ในน้ำไปยึดกับอะตอมของ ether oxygen ด้วยพันธะไฮโดรเจน หรืออาจเป็นไปได้ในอีกกรณีหนึ่งคือเมื่อ ethylene oxide อยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบจะเกิด cation-active polyoxonium compounds (Steuter *et al.*, 1981)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue culture)

กาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ หมายถึง การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืช (explant) หรืออาจหมายถึง การเพาะเลี้ยงเซลล์ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ หรือการเพาะเลี้ยงอวัยวะ ในอาหารสังเคราะห์สูตรต่างๆ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและปลอดเชื้อ นักวิทยาศาสตร์พบว่าเซลล์ของพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีความสามารถที่จะเติบโตเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ได้ โดยที่เซลล์จะมีรูปร่างคล้ายไซโกต (zygote) และทำหน้าที่เป็นไซโกตได้ โดยมีการแสดงออกของจีน (gene) เหมือนเดิม ความสามารถของเซลล์เช่นนี้เรียกว่า โททิ-โปเทนซี (totipotency) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวนี้เองทำให้มีการใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาใช้ในการ

ขยายพันธุ์พืช การปรับปรุงพันธุ์พืชร่วมกับเทคโนโลยีทางพันธุศาสตร์โมเลกุลเพื่อการตัดต่อจีนให้ได้ต้นพืชที่มีลักษณะที่ต้องการ ในปัจจุบันมีผลผลิตพืชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะประสบผลสำเร็จในขณะนี้ต้องผ่านการการศึกษาวิจัย พัฒนาความรู้มาเป็นระยะๆ ซึ่งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะนำไปสู่หลักการที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้ (สมพร, 2549)

การเจริญของเนื้อเยื่อ การอวัยวะหรือเอมบริออยด์จากเซลล์ร่างกายที่ทำในสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับชนิดและแคลลัสของพืช แคลลัสที่มาจากชิ้นส่วนของพืชที่อ่อนหรือมาจากไม้เนื้ออ่อนจะชักนำให้เกิดต้น (regenerate) ได้ดีกว่าพวกที่มาจากชิ้นส่วนพืชที่แก่หรือจากไม้เนื้อแข็ง ความสามารถในการเกิดต้น จะลดน้อยลงหรือสูญเสียไปถ้าหากเพาะเลี้ยงเป็นเวลานานๆ การเจริญติบโตและพัตนาของเนื้อเยื่อมีหลายรูปแบบ

ประโยชน์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ในปัจจุบันมีการนำเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาใช้ประโยชน์ ซึ่งพอสรุปได้ ดังนี้

1. การขยายพันธุ์ (propagation) โดยการนำชิ้นส่วนต่างๆ ของพืชมาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์โดยการจัดสภาวะต่างๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ทำให้สามารถควบคุมปริมาณและช่วงเวลาในการขยายพันธุ์พืชได้ตามประสงค์ ทำให้ได้ปริมาณมากในระยะเวลาอันรวดเร็ว ทำให้มีการผลิตพืชในเชิงการค้าได้มากมาย

2. การผลิตพืชที่ปราศจากโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปราศจากเชื้อไวรัส โดยการตัดส่วนยอดซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญของพืชให้มีขนาดเล็กๆ มีการศึกษาพบว่าเชื้อไวรัสซึ่งเคลื่อนที่ไปตามท่อน้ำ (xylem) และท่ออาหาร (phloem) ของพืชจะไม่ถึงบริเวณดังกล่าว ดังนั้นหากส่วนยอดปราศจากเชื้อไวรัสต้นพืชที่ได้จึงปราศจากโลก ทำให้ได้ท่อนพันธุ์ที่ปราศจากโรคเพื่อใช้ในการขยายพันธุ์พืชได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศต่อไป

3. การผลิตสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ได้มีการนำเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาผลิตสารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสมุนไพรชนิดต่างๆ ซึ่งอาจสร้างตัวยาได้มากกว่าในธรรมชาติ

4. การผลิตสายพันธุ์แท้ (inbred production) การผลิตสายพันธุ์แท้โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ทำได้โดยการนำละอองเรณูหรืออับเรณูมาเลี้ยงในอาหารจนเกิดเนื้อเยื่อที่มีจำนวนโครโมโซมครึ่งหนึ่งของเซลล์ปกติ เมื่อทำการเพิ่มชุดโครโมโซมให้เป็น 2n ก็จะได้สายพันธุ์แท้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การผลิตสายพันธุ์แท้ยังสามารถทำได้โดยการใช้รังสีต่างๆ และการรวมโพรโท พลาสต์ (protoplast fusion)

5. การคัดเลือกสายพันธุ์กลาย (mutant selection) เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสามารถนำไปใช้ในการคัดเลือกพันธุ์พืชที่มีลักษณะที่ดีเนื่องจากเกิดการกลายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ซึ่งการคัดเลือกทำได้โดยจัดอาหารเพาะเลี้ยงและสภาพแวดล้อมตามที่ต้องการ

6. การแปรผันทางพันธุกรรม (somaclonal variation) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้น พบว่าอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมในขั้นตอนของการเพาะเลี้ยง ทำให้ได้สายพันธุ์ที่กลาย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากมีการให้สภาวะแวดล้อมต่างๆ ในขั้นตอนของการเพาะเลี้ยง

7. การแปลงพันธุกรรม (genetic transformation) ได้มีการใช้วิธีการทางพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) ร่วมกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยการถ่ายโอนจีนที่ต้องการเข้าไปในเซลล์พืช โดยอาศัยพาหะ (vector)

8. การเก็บรักษาพันธุ์พืช การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในขวดเป็นวิธีการรวบรวมพันธุ์พืชได้เป็นอย่างดี สามารถส่งไปแลกเปลี่ยนพันธุ์กับต่างประเทศได้สะดวก นอกจากนี้ช่วยลดเนื้อที่ในการปลูก และปลอดภัยจากภัยธรรมชาติ เพราะการเก็บรักษาพันธุ์พืชในธรรมชาติอาจจะประสบปัญหาเรื่องของภัยธรรมชาติได้ (สมพร, 2549)

สภาพพื้นดินในการปลูกข้าวไร่

ในสภาพดินบนพื้นที่ลาดชันสูง (กลุ่มชุดดินที่62) เป็นกลุ่มชุดดินที่พบบนพื้นที่ลาดชันสูงมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป ส่วนใหญ่พบอยู่บนพื้นที่สูงภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากดินเหล่านี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ทำการเกษตร หากมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพาะปลูกพืชชนิดต่างๆอย่างไม่ถูกต้อง จะเกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน และการเสื่อมโทรมของดินอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลผลิตลดลงส่งผลกระทบต่อสภาวะเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร รวมไปถึงระบบนิเวศ โดยส่วนรวมจึงไม่ได้ทำการสำรวจและแบ่งแยกออกเป็นชุดดินต่างๆ และเรียกรวมๆไว้ในแผนที่ดินว่าเป็นหน่วยแผนที่ดินที่ลาดเชิงเขา ดินบนพื้นที่ลาดชันสูงจะมีลักษณะของดินและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้นบางแห่งอาจเป็นดินลึกแต่ส่วนใหญ่มักเป็นดินตื้นและมีเศษหิน ก้อนหิน หรือดินหินโผล่ กระจัดกระจายไปทั่ว ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้ประเภทต่างๆ เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง หรือป่าดงดิบ มีพื้นที่หลายแห่งทำไร่เลื่อนลอย โดยปราศจากมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ เนื้อดินอาจพบตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียว สีดินตั้งแต่สีน้ำตาลจนถึงแดง ปฏิกิริยาดินตั้งแต่เป็นดินกรดจัดถึงเป็นด่างแก่ตลอดจนความอุดมสมบูรณ์ของดินก็จะแปรผันไปตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง ดังนั้นการใช้ประโยชนที่ดินกลุ่มชุดดินที่ 62 โดยทั่วไปจำเป็นต้องพิจารณาถึงมาตราการจัดการพื้นที่ที่มีความลาดชันควบคู่ไปด้วย ได้แก่มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ มาตรการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมาตรการจดการพืชและไม้ยืนต้นแบบผสมผสานกันอย่างเหมาะสม การปลูกข้าวไร่ให้จัดทำขั้นบันได จัดทำคูน้ำรอบเขา ปลูกหญ้าแฝกแถวเดียวห่างกัน 10 เซนติเมตร ตามแนวระดับขวางตามความลาดเทของพื้นที่ ปลูกห่างกัน 6 – 10 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับความสูงของพื้นที่ ปลูกข้าวไร่เป็นแถวขวางความลาดเทใช้เศษพืชคลุมดิน (กิตติศักดิ์, 2552)

การปลูกข้าวไร่

เป็นการปลูกเมล็ดข้าวแห้งลงบนดิน เป็นวิธีการปลูกหลังจากการเตรียมดินไว้แล้วใช้ปลายไม้แหลมกระทุ้งดินให้เป็นหลุมลึกประมาณ 2 – 3 เซนติเมตร โดยใช้ระยะห่างระหว่างต้นและแถวประมาณ 25 – 30 เซนติเมตร แล้วหยอดเมล็ดข้าวลงไปในหลุมๆละ ประมาณ 5 – 8 เมล็ด หากพื้นที่ปลูกมีความลาดชันไม่ควรกลบหลุม เพราะ จะทำให้ดินกลบหลุมแน่นเกินไปเมื่อฝนตก แต่ในพื้นที่ปลูกมีความลาดชันน้อยกว่า 5 องศาให้ใช้กิ่งไม้ลากผ่านหลุมที่หยอดเมล็ดแล้วเป็นการกลบหลุม การปลูกโดยวิธีการหยอดหลุมเป็นวิธีที่เกษตรกร

นิยมมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการกำจัดวัชพืชและดูแลรักษา เป็นวิธีการที่พบเห็นได้โดยทั่วไป การปลูกแบบนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ไร่ละ 6 – 8 กิโลกรัม หากต้องการปลูกข้าวไร่ให้ได้ผลผลิตที่ดีนอกเหนือไปจากปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในดินจะต้องมั่นใจว่าในช่วงตั้งแต่ข้าวเริ่มออกรวง(heading stage) จนกระทั่งถึง 10 วัน ก่อนเก็บเกี่ยวต้องมีปริมาณของพลังงานแสงมากเพียงพอกับความต้องการของข้าวเพื่อการสร้างรวงและเมล็ดสมบูรณ์ (กิตติศักดิ์, 2552)

ปุ๋ยพืชสด

ปุ๋ยพืชสดที่นิยมใช้กันมากและแพร่หลายในประเทศไทยนั้น ได้แก่พืชตระกูลถั่วเนื่องจากเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ดีในกินทั่วๆไป ใช้ธาตุอาหารในดินน้อย และทนแล้งได้ดี บางชนิดยังสามารถทนต่อดินเค็มได้ดีอีกด้วยจึงใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยพืชสดไถกลบในดินเค็ม โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีปริมาณพื้นที่ดินเค็มมาก ที่สำคัญคือปุ๋ยพืชสดประเภทพืชตระกูลถั่วสามารถจัดเข้าในระบบปลูกพืช (cropping system) ได้ดี ซึ่งเหมาะแก่การทำการเกษตรในประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง (ประชา และคณะ, ม.ม.ป.)

ปุ๋ยพืชสด คือ พืชที่ปลูกขึ้นมาหรือขึ้นเองตามธรรมชาติและไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดบำรุงดิน เมื่อพืชนั้นเริ่มออกดอกจนถึงระยะที่ดอกบานเต็มที่ ส่วนใหญ่จะเป็นพืชตระกูลถั่วเพราะที่รากมีปมซึ่งที่ปมนี้จะมีแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน และปลดปล่อยให้กับดินเมื่อไถกลบเป็นปุ๋ย และเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน (วัลลีย์, 2542)

การตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว

การใช้พืชตระกูลถั่วในระบบการปลูกพืชหมุนเวียนหรือเป็นปุ๋ยพืชสดจะทำให้พืชที่ปลูกตามมาได้รับไนโตรเจนถึง 17.6 ถึง 20.8 กิโลกรัมต่อไร่ และทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างคุ้มค่า ทั้งนี้เนื่องจากการตัดกลบ เศษเหลือของพืชตระกูลถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดิน และช่วยทำให้ปฏิกิริยาต่างๆในดินดำเนินไปได้ดี เช่น การย่อยอาหารจากต้นกำเนิดดิน หรือการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ เรียกกระบวนการนี้ว่า mineralization ในส่วนของเศษซากพืชเหล่านี้ประกอบด้วยโพลีแซกคาไรด์ เช่น คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดิน ผลที่ได้ส่วนหนึ่งคือ น้ำ และธาตุอาหารส่วนหนึ่งที่จำเป็นสำหรับพืช (วัลลีย์, 2542)

การคัดเลือกปุ๋ยพืชสด

การพิจารณาคัดเลือกพืชที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นปุ๋ยพืชสด ในการพิจารณาควรคำนึงถึงลักษณะต่าง ๆ ของพืชที่จะปลูกเป็นปุ๋ยพืชสด ดังนี้ (บัญชา, 2552)

1) ควรเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินทั่ว ๆ ไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเลวและทนทานต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี

2) เมล็ดมีความงอกดี งอกได้รวดเร็วแม้ความชื้นในดินจะต่ำ

3) เจริญเติบโตรวดเร็ว ออกดอกในเวลาสั้นประมาณ1-2 เดือน และให้น้ำหนัก

สดสูง

4) มีความต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี

5) สามารถไถกลบได้ง่าย ลำต้นเปราะ และสลายตัวรวดเร็วเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินสูง

6) เป็นพืชที่ขยายพันธุ์ได้ง่ายเพื่อประโยชน์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์และเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้ในฤดูต่อๆ ไป

7) กำจัดได้ง่ายและไม่มีลักษณะที่จะเป็นวัชพืชต่อไป

ประโยชน์ที่ได้จากปุ๋ยพืชสด

1) ช่วยในการสร้างเม็ดดิน (Aggregation)

ปุ๋ยพืชสดที่ไถกลบลงเป็นอินทรีย์สารที่สลายตัวได้ง่าย (Active organic matter) ขบวนการสลายตัวของสารประกอบดังกล่าวจะเกิด Gums (Polysaccharide ชนิดหนึ่ง) ที่ช่วยการเชื่อมประสานอนุภาคดินให้เกาะกันเป็นเม็ดดินที่มีความเสถียร (Stable aggregation) อย่างไรก็ตาม Gums ที่เกิดขึ้นจะสลายตัวภายในระยะเวลาปีเดียว ยังผลให้เสถียรภาพของเม็ดดินเหล่านั้นหมดไปด้วย การรักษาคือต้องทำการใส่ปุ๋ยพืชสดอย่างต่อเนื่อง

2) ช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน

ปุ๋ยพืชสดเมื่อสลายตัวแล้วก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารพืชต่างๆลงสู่ดินเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะธาตุอาหารไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดีในดินทรายซึ่งเป็นดินที่มีไนโตรเจนต่ำอยู่แล้ว เมื่อทำการไถกลบพืชปุ๋ยสดลงสู่ดินที่มีความชุ่มชื้นและมีอุณหภูมิเหมาะสม การสลายตัวของซากพืชจะเริ่มต้นหากพืชสดนั้นมีไนโตรเจนสูงกว่า 2% การปลดปล่อยธาตุอาหารจะเร็วมากในช่วงหนึ่งเดือนหรือสองเดือนแรกในช่วงเวลาถัดมาการปลดปล่อยธาตุอาหารจะยังคงดำเนินต่อไปด้วยอัตราที่ต่ำลง และการย่อยสลายและการปลดปล่อยธาตุอาหารของเศษซากพืชตระกูลถั่วและ Tithonia โดยเฉพาะแอมโมเนียจะปลดปล่อยมากในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการหมัก

3) ช่วยเพิ่มและชดเชยอินทรียวัตถุในดิน

หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระดับอินทรียวัตถุของดินเปิดใหม่ ที่ถูกบุกรุกมาใช้เพาะปลูกและกระทำต่อเนื่อง อินทรียวัตถุในดินดังกล่าวจะลดลงเรื่องๆ จนถึงระดับหนึ่งแล้วเริ่มคงตัว ภูมิอากาศ พืชพรรณ เนื้อดินและองค์ประกอบของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว หากประสงค์จะเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินที่ทำเกษตรกรรมต่อเนื่องให้สูงขึ้นดังเดิมจำเป็นต้องใส่อินทรีย์สารลงไปปีละมากมายและต้องกระทำติดต่อกันนานๆสำหรับการเพิ่มอินทรีย์สารลงในไร่นาที่ปฏิบัติกันทั่วๆไปนั้นไม่ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดินได้เลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินแถบร้อนและชุ่มชื้นเนื่องจากดินในบริเวณดังกล่าวมีการสลายตัวของอินทรีย์สารเร็วมาก ดังนั้นการใช้ปุ๋ยพืชสดไถกลบดินที่ทำเกษตรกรรม และเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องในต้นฤดูปลูก แทบไม่มีผลในด้านเพิ่มอินทรียวัตถุของดินในปลายปีเลยเพียงแต่ชดเชยส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายเท่านั้น อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยพืชสดจะให้ผลดีมากกับดินเนื้อหยาบ เพราะการใส่อินทรียวัตถุในดิน

ดังกล่าวจะช่วยเพิ่มผลผลิตได้มาก นอกจากนี้ปุ๋ยพืชสดนั้นยังแบ่งองค์ประกอบได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ย่อยสลายได้รวดเร็วจะเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชที่ปลูกตามมา ส่วนที่ย่อยสลายอย่างช้าๆก็คือพวกเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งมีประมาณ 20% ของพืชจะเป็นส่วนเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน และถึงแม้ส่วนที่ย่อยสลายช้านี้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตามแต่การใช้ปุ๋ยพืชสดปลูกไถกลบในระยะยาวก็จะสามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินได้

4) ช่วยในการป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดิน (Erosion)

การปลูกพืชปุ๋ยสดคลุมดินหรือตัดสับกลบลงในดินในระยะเวลาต่อมา จะสามารถช่วยป้องกันพื้นผิวดินไม่ให้อยู่ในสภาพว่างเปล่าทำให้โครงสร้างของดินมีสภาพดีต่อการระบายน้ำและป้องกันไม่ให้ดินถูกชะล้างพังทลาย นอกจากนั้นการปลูกพืชปุ๋ยสดและการใช้เศษเหลือของพืชลงคลุมดินจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถของดินในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย ทำให้ลดปริมาณการไหลบ่าและการสูญเสียดินได้ทุกกรณี ป้องกันการตกกระทบของน้ำฝนบนผิวดิน ลดการเคลื่อนย้ายดินไปกับน้ำที่บ่าท่วม ลดอุณหภูมิของดินและลดการระเหยน้ำจากผิวดิน ดังนั้นการปลูกพืชปุ๋ยสดไม่ว่าจะใช้คลุมดินหรือไถกลบลงในดินก็ตามก็จะสามารถช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดิน อันเป็นส่วนที่มีแร่ธาตุที่จำเป็นแก่พืชสะสมอยู่ได้อย่างดียิ่งในระยะยาว

5) ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น

คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่สำคัญได้แก่ความหนาแน่นของดิน (Bulk density) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity) ความพรุนของดิน (Porosity) เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพของดินดังกล่าวจะดีขึ้นได้ก็ด้วยวิธีการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ซึ่งการใช้ปุ๋ยพืชสดปลูกแล้วทำการไถกลบ หรือสับกลบลงในดินก็เป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน อินทรียวัตถุจากปุ๋ยพืชสดนี้ก็จะเข้าไปแทรกระหว่างเม็ดดิน ทำให้ดินโปร่งมีความร่วนซุยและเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะของเม็ดดินให้เกาะกันดีขึ้นทำให้ความหนาแน่นของดิน (B.D.) ในดินเหนียวลดลง การอุ้มน้ำของดินดีขึ้นเนื่องจากอินทรียวัตถุในปุ๋ยพืชสดจะเป็นตัวช่วยอุ้มน้ำไว้ได้ดี ความพรุนของดินมีมากขึ้นทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆในดินมากขึ้นซึ่งอากาศและน้ำก็มามารถเข้าไปแทรกอยู่ในรูพรุนของดินได้ และคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ดีก็จะเป็นตังควบคุมความสามารถในการให้ผลผลิตของดินถึง60% การไถกลบพืชปุ๋ยสดตระกูลถั่ว 7 ชนิดได้แก่ ปอเทือง ถั่วพุ่ม ถั่วขอ ถั่วแปป ถั่วแดง ถั่วแปยี และถั่วพร้า สามารถลดความหนาแน่นของดินชุดปากช่องลงจากเดิม 1.29 กรัม/ตร.ซ.ม. ความพรุนของดินเพิ่มขึ้นจากเดิม 63.20% เป็น 66.66% การอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้นจากเดิม 23.35% เป็น 27.73% อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางกายภาพของดินดังกล่าวแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักจนเห็นได้ชัดจากการใช้ปุ๋ยพืชสดในระยะเวลาสั้นๆจะต้องมีการใช้ปุ๋ยพืชสดอย่างต่อเนื่องในระยะยาวจึงเห็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของดินชัดขึ้น

6) ช่วยในการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน

โดยปกติแล้วคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเหนือดินจะมีปริมาณ 0.03% โดยปริมาตร ส่วนอากาศในดินที่มีพืชเจริญเติบโตอยู่อาจมี CO_2 ตั้งแต่ 0.05-0.28% โดยปริมาตรและอาจสูงกว่านี้ถ้าดินมีอินทรียวัตถุมากและพืชสามารถใช้ CO_2 (ในรูปไบคาร์โบเนต) จากสารละลายของดินแล้วแล้วเคลื่อนย้ายไปที่ใบและเข้าร่วมในกระบวนการสังเคราะห์แสง เช่นเดียวกับที่ใบพืชได้รับโดยตรงจากอากาศเหนือดิน สำหรับ

ปริมาณที่ได้รับทางรากนั้นอาจจะน้อยเพียงร้อยละ 5 หรือสูงถึงร้อยละ 25 ของที่ได้รับทางใบดังนั้น CO_2 ที่ได้จากการสลายตัวของปุ๋ยพืชสดย่อมเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างแน่นอน อย่างน้อยที่สุดก็ในแง่เพิ่มการละลายของธาตุอาหารบางรูปส่วนในแง่ผลในการเพิ่มการสังเคราะห์แสงของพืชที่ปลูกตามมาอาจจะมีไม่มากนัก หากมีบ้างก็อยู่ในช่วงที่พืชมีใบปกคลุมดินหนาแน่นและขณะนั้นการสลายตัวของซากพืชมีอัตราสูง

7) ช่วยในการควบคุมโรคพืช

การใส่อินทรียวัตถุลงไปในดินเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้พืชปลอดจากโรคบางชนิดเมื่อ พ.ศ. 2469 นักโรคพืชชาวแคนนาดาชื่อ Sanford, B.G. แสดงให้เห็นว่าการใส่อินทรียวัตถุช่วยควบคุมโรค Scab ของมันฝรั่งได้ดีในปีถัดมา Millard, W.A. และ Toylor, C.B. ได้ทำการทดลองใช้ปุ๋ยพืชสดไถกลบลงดินที่ Wales ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าอินทรียวัตถุที่ได้จากปุ๋ยพืชสดเป็นตัวการที่เร่งการสังเคราะห์ Ethylene ให้เกิดขึ้นภายใน 24-28 ชั่วโมง ด้วยสาเหตุ 2 ประการคือ อินทรียวัตถุเร่งกิจกรรมของ Aeroloes จึงช่วยแผ่ขยายอาณาเขตที่ขาดออกซิเจน และอินทรียวัตถุเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานในการสังเคราะห์ Ethylene ซึ่งเป็นตัวการสังเคราะห์ Ethylene นี้คือจุลินทรีย์ดินพวก Aerobes เท่านั้นที่เป็นตัวดำเนินปฏิกิริยาตามขั้นตอนที่เรียกว่า Oxygen-ethylene cycle หลักฐานที่แสดงว่า Ethylene สามารถควบคุมโรคระบาดได้ เช่น Ethylene ชะงักการงอกของ *Sclerotia* ของ Southern blight fungus (*Sclertium rofsii*) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยพืชสดจึงจำเป็นต้องทำอย่างต่อเนื่องมนช่วงเวลาที่เหมาะสมจึงจะเป็นการรักษาศักยภาพในการผลิต Ethylene ของดินไว้หากละเลยหรือทำอย่างไม่ต่อเนื่องก็จะทำให้เกิดผลที่ตรงกันข้าม

8) ช่วยในการเจริญเติบโตของรากพืช

ปุ๋ยพืชสดช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืชหลักได้อย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยพืชสดที่ได้จากพืชตระกูลถั่วที่มีระบบรากลึก เช่น Kudzu และพวกที่มีรากค่อนข้างลึก เช่น ถั่วพุ่ม (Corpeas) และถั่วเหลือง พืชเหล่านี้เมื่อปลูกในดินที่มีเนื้อละเอียดสามารถหยั่งรากลึกประมาณ 2 ฟุต หรือมากกว่านั้นซึ่งนับว่าลึกกว่ารากพืชหลักหลายๆชนิดในระบบปลูกพืชหมุนเวียนรากที่หยั่งลึกลงนี้อาจถึงชั้นดินดานหรือผ่านชั้นดินดานได้บ้าง โดยปกติรากพืชตระกูลถั่วมักมีความสามารถชอนไชชั้นดินแข็งได้ดีกว่าพืชตระกูลอื่นอยู่แล้วเนื่องจากมีรากมาก เมื่อไถกลบพืชปุ๋ยสดลงไปรากที่อยู่ในดินล่างก็จะผุพังอยู่ตรงที่เดิม และรากของพืชหลักก็จะสามารถชอนไชผ่านแนวรากเดิม และก็ได้รับธาตุอาหารที่มาจากการผุพังของรากเก่า ทั้งอาจจะหยั่งลึกลงไปกว่าที่เคยหยั่งได้อีกทั้งยังสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในดินชั้นล่างๆนั้นได้ด้วย

9) ประโยชน์อื่นๆ ที่ได้จากปุ๋ยพืชสด

ประโยชน์อื่นๆ คือ ทำให้สะดวกในการไถพรวนและบำรุงรักษาดินเมื่อสภาพเหมาะสมแก่การปลูกพืชเพราะเกิดการร่วนซุยของดินและโปร่งไม่แน่นทึบ การไถพรวนก็จะสะดวกและไถน้อยครั้งขึ้น ช่วยในการปราบวัชพืชบางชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือปุ๋ยพืชสดที่ปกคลุมดินป้องกันไม่ให้วัชพืชอื่นๆที่ไม่ต้องการเจริญเติบโตได้ เป็นการลดต้นทุนในการกำจัดวัชพืชได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ส่วนของลำต้นและใบปุ๋ยพืชสดบางชนิดอาจตัดไปเป็นอาหารสัตว์เลี้ยงได้เป็นอย่างดีด้วย และเป็นประการสุดท้ายก็คือธาตุอาหารที่สำคัญแก่พืชที่ได้รับจากปุ๋ยพืชสดจะช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชให้สูงขึ้น

การปลูกพืชหลักตามหลังจากการไถกลบพืชปุ๋ยสด

การปลูกพืชหลักตามหลังจากการไถกลบพืชปุ๋ยสดไปแล้วนั้นจะต้องคำนึงถึงประโยชน์ที่พืชหลักจะได้รับอย่างเต็มที่ พืชปุ๋ยสดมีการผุพังสลายตัวเร็วหรือช้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพืชและอายุของพืช อุณหภูมิ ความชื้น และลักษณะการไถกลบโดยปกติพืชที่อายุสั้นหรือยังอ่อนอยู่จะเน่าเปื่อยง่าย สามารถปลูกพืชหลักตามได้หลังจากไถกลบ 7-10วัน แต่พืชที่มีอายุมากหรือแก่จะต้องทิ้งไว้10-15วัน และการไถกลบถั่วพุ่ม ถั่วเขียว ต้องทิ้งไว้นาน 30วัน ปอเทืองและโสน ต้องทิ้งไว้นาน 45 วัน จึงควรปลูกพืชหลักตาม การไถกลบพืชสดควรให้คลุกเคล้ากับดินและให้พืชสดอยู่ใต้ผิวดิน หรือทำการกลบให้มิดแต่ไม่ลึกเกินไป (พีรพงษ์, 2543)

การปลูกพืชหลักทันทีหลังจากการไถกลบพืชปุ๋ยสดลงไปในดินทำให้การงอกของเมล็ดพืชได้รับผลเสียจากการสลายตัวของพืชปุ๋ยสด เช่น การมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป มีสารที่เป็นพิษ (phytotoxic substances) ที่เกิดจากการย่อยสลายปุ๋ยพืชสด มีการผลิตแอมโมเนียมและไนไตรท์ในปริมาณมากเกินไป และมีเชื้อโรค damping off เกิดขึ้น แต่ก็พบว่าผลเสียจากการสลายปุ๋ยพืชสดจะหมดไปภายใน 2-3 สัปดาห์ และสารปฏิชีวนะที่เกิดจากจุลินทรีย์ก็จะถูกดินดูดยึดไว้ (พีรพงษ์, 2543)

ปุ๋ยคอก

เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งได้มาจากการเลี้ยงสัตว์ซึ่งขับถ่ายออกมาในรูปของแข็งและของเหลว รวมไปถึงสิ่งที่ปูหรือรองไว้ให้สัตว์ เช่น ฟาง หญ้า แกลบ โดยสิ่งต่างๆเหล่านี้ต้องผ่านการหมัก สลายตัวก่อนนำไปใช้ประโยชน์ (บัญชา, 2552) และได้มีการนำมาใช้ทางการเกษตรอย่างแพร่หลายเป็นเวลานาน ปุ๋ยคอกไม่เพียงแต่ให้อินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ดินมีการระบายน้ำและอากาศที่ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความคงทนให้แก่เม็ดดินเป็นการลดปัญหาการชะล้างพังทลายของดินและช่วยรักษาหน้าดินไว้ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์นั้นดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน ในอดีตการใช้ปุ๋ยคอกเป็นไปอย่างง่ายตามธรรมชาติ โดยเกษตรกรเลี้ยงสัตว์ เช่น วัว ควาย สุกร ม้า แพะ และแกะ ซึ่งการเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่จะกระจัดกระจายไปตามท้องทุ่ง เมื่อสัตว์ขับถ่ายมูลสัตว์ออกมาก็จะตกหล่นบนพื้นดินโดยตรง ซึ่งเป็นการใช้ปุ๋ยคอกแบบประหยัด (อัตถ์, 2555)

ปุ๋ยคอกที่สำคัญ

ปุ๋ยคอกที่สำคัญ ได้แก่ ขี้หมู ขี้เป็ด และขี้ไก่เป็นต้น ซึ่งเป็นปุ๋ยคอกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในบรรดาสวนผักและสวนผลไม้ ปุ๋ยคอกโดยทั่วไปแล้วราคาต่อหน่วยธาตุอาหารพืชนั้นจะมีราคาแพงกว่าปุ๋ยเคมีมาก แต่ปุ๋ยคอกช่วยปรับปรุงดินให้โปร่งและร่วนซุยทำให้การเตรียมดินทำได้ง่าย การตั้งตัวของต้นกล้าเร็วทำให้มีโอกาสรอดได้มาก นาข้าวที่มีลักษณะเป็นดินทรายการใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ เท่าที่จะหาได้ในบริเวณใกล้เคียง จะช่วยให้การดำนาง่ายมากยิ่งขึ้น เมื่อข้าวตั้งตัวได้ดีการเจริญเติบโตงอกงามจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากดินทรายมีอินทรียวัตถุต่ำมาก การใส่ปุ๋ยคอกลงไปจะทำให้ดินอุ้มน้ำและปุ๋ยได้ดีขึ้น การ

ปักดำกล้าจึงทำได้ง่ายขึ้น ปุ๋ยคอกมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมค่อนข้างต่ำ โดยหยาบๆแล้วจะมีไนโตรเจน (N) ประมาณ 0.5% ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.25% และโพแทสเซียม (K_2O) 0.5% สำหรับปุ๋ยขี้ไก่และขี้เป็ดจะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าขี้หมู และขี้หมูจะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าขี้วัว และขี้ควาย ปุ๋ยคอกใหม่ๆ จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยคอกที่เก็บนาน เนื่องจากส่วนของปุ๋ยที่ละลายได้ง่ายถูกชะล้างออกไปหมด บางส่วนก็กลายเป็นก๊าซสูญหายไป ดังนั้นการเก็บรักษาปุ๋ยคอกอย่างระมัดระวังก่อนนำไปใช้จะช่วยรักษาคุณค่าของปุ๋ยคอกไม่ให้เสื่อมคุณค่าอย่างรวดเร็ว โดยการเก็บรักษาปุ๋ยคอกนั้นทำได้จากการนำมากองรวมกันเป็นรูปฝาชีแล้วอัดให้แน่น และควรหาวัสดุมาคลุมไว้ หากกลางแจ้งควรหาจากหรือทางมะพร้าวมาคลุมไว้ ปุ๋ยคอกที่ได้มาใหม่ๆ และสดอยู่ถ้าใส่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา (20 % P_2O_5) ลงไปด้วยสักเล็กน้อยก็ช่วยป้องกันให้มีการสูญเสียไนโตรเจนโดยการระเหิดกลายเป็นก๊าซได้ดี ถ้าเลี้ยงสัตว์อยู่ในคอกควรใช้แกลบ ขี้เลื่อยหรือฟางข้าวรองพื้นคอกให้ให้ดูดซับปุ๋ยไว้ เมื่อฟางข้าวอิ่มตัวด้วยปุ๋ยก็รองเพิ่มเป็นชั้นๆเมื่อสะสมไว้มากพอจึงนำไปกองเก็บไว้ หรือนำไปใส่ในไร่นาได้โดยตรง อัตราปุ๋ยคอกที่ใช้นั้นไม่เคร่งครัดเหมือนกับปุ๋ยเคมี ปกติแนะนำให้ใส่อัตรา 1-4 ตันต่อไร่ โดยค่อนข้างมากในดินเหนียวจัดหรือดินทรายจัด หลังจากใส่ปุ๋ยคอกแล้วถ้ามีการไถพรวนดินหรือกลบลงไปในดิน ช่วยให้ปุ๋ยเป็นประโยชน์แก่พืชได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (อัตถ์, 2555)

วิธีการใส่ปุ๋ยคอกที่เหมาะสมนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (อัตถ์, 2555)

1) ใส่รองก้นหลุม เป็นวิธีการที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ เช่น รองก้นหลุมปลูกไม้ผลชนิดต่างๆ หลุมปลูกแตงโมโดยทั่วไปจะใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก มูลวัว และกระบือ รองก้นหลุมๆละ 5 – 10 กิโลกรัมต่อหลุม

2) ใส่ในร่องรอบรัศมีพุ่ม สำหรับในสวนไม้ยืนต้น เช่น สวนส้ม เงาะ ทุเรียน เป็นต้น จะทำการใส่ปุ๋ยอินทรีย์รอบต้นไม้ในร่องรัศมีพุ่มและขยายออกไปทุกปี ตามรัศมีพุ่มจนกระทั่งต้นไม้ผลนั้นโตเต็มที่

3) ใส่แบบหว่าน สำหรับสวนไม้ผลที่โตแล้ว ซึ่งในสวนเหล่านี้มีหญ้าและวัชพืชขึ้นคลุมเพียงแต่มีการตัดถางแล้วปล่อยคลุมดินโดยไม่มีการไถหรือสับกลบ โดยส่วนใหญ่นิยมหว่านมูลโคและกระบือ

4) กองใต้ร่มเงาสำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่มีอัตราส่วน C/N สูงๆ จะสลายตัวช้าโดยทั่วไปใช้กับพืชที่ต้องการคุณภาพของผลผลิต เช่น กล้วย ไผ่ หน่อไม้ฝรั่ง และในสวนไม้ผล เป็นต้น

5) ใส่แบบหว่านแล้วสับกลบ เหมาะสำหรับพืชอายุสั้น (annual crops) เช่น พืชผัก พืชไร่ต่างๆ

6) ใส่ในร่องแถวปลูกพืชเป็นวิธีการประหยัดและมีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับพืชที่ปลูกเป็นแถว ทั้งพืชอายุสั้นและอายุยาว (annual and perennial crops)

ประโยชน์ของปุ๋ยคอก

ข้อดีของปุ๋ยคอกนั้น คือ หาได้ง่ายในท้องถิ่น มีราคาถูก แต่การนำเอาปุ๋ยคอกไปใส่กับต้นพืชโดยตรงอาจเป็นอันตรายแก่พืชได้ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหมักในดิน และภาวการณ์เกิดแรงดันออสโมติก

จากความเข้มข้นของแร่ธาตุ ทำให้ต้นพืชสูญเสียน้ำทางราก และเหี่ยวเฉาตายในที่สุด ดังนั้นควรนำปุ๋ยคอกมาหมักให้เกิดการย่อยสลายและไม่มีความร้อนหลงเหลืออยู่ก่อนการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ในช่วงระหว่างการหมักปุ๋ยคอก อุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ช่วยในการกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคที่ติดมากับมูลสัตว์ จึงลดความเสียงจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตผลทางการเกษตร โดยเฉพาะพวกผักสดต่างๆซึ่งมักประสบปัญหาเมื่อส่งออกแล้วตรวจพบเชื้อโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร ทำให้ต่างประเทศลดความน่าเชื่อถือลง (อัตถ์, 2555)

ปุ๋ยคอกมีความสำคัญในการปรับปรุงสภาพดิน ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ทางด้านกายภาพของดิน ปุ๋ยคอก ส่งเสริมทำให้เกิดเม็ดดิน (soil aggregation formation) ตามเสถียรภาพของเม็ดดิน ถ้าใช้อย่างต่อเนื่อง จะทำให้ความหนาแน่นรวม (bulk density) และความแข็ง (hardness) ลดลงแต่เพิ่มการเกิดเม็ดดิน (aggregation) ความพรุน (aeration) จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยคอกเป็นเวลาติดต่อกัน 5 ปีจะทำให้คุณภาพของดินดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ทางด้านเคมีของดินปุ๋ยคอกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพธาตุอาหารพืชในดิน เนื่องจากปุ๋ยคอกเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนและกำมะถัน นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยคอกอย่างต่อเนื่องจะทำให้ดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้นและทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และทางด้านชีวภาพของดิน ปุ๋ยคอกเป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารของจุลินทรีย์ การใส่ปุ๋ยคอก จึงเป็นการเพิ่มชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ดินรวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วย (บัญชา, 2552)

คำสำคัญ

ภาษาไทย : ข้าวไร่ การรวบรวมพันธุกรรมพืช การขาดน้ำ การขาดฟอสฟอรัส การบำรุงดิน

ภาษาอังกฤษ : Upland rice, Plant genetic collection, Water deficiency, Phosphorus deficiency, Soil fertility improvement