บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวตอซัง

ข้าวตอซังเป็นผลพลอยได้ต่อเนื่องจากข้าวรุ่นหลักที่ปลูกข้าวด้วยเมล็ด โดยหลังจากการปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักมีตอซังเหลืออยู่ในพื้นที่นา เมื่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่นาเหมาะสมได้แก่ ความชื้นของดิน และธาตุอาหาร เป็นต้น ตายอดบนตอซังข้าวเหล่านี้สามารถพัฒนาเป็นต้นข้าว เรียกต้นข้าวที่เกิดขึ้นว่า ข้าวตอซัง (Ratoon rice) ต่อไปนี้จะกล่าวถึง ความหมาย ลักษณะ วิธีการปลูก และพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมของข้าวตอซัง รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากข้าวตอซัง

2.1.1 ความหมายของข้าวตอซัง

ข้าวตอซัง (Ratoon rice) คือ ต้นข้าวที่เกิดจากตายอดที่มีชีวิตบริเวณข้อเหนือผิวดิน (Upper node) และข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) บนตอซังข้าว (Tiller) พัฒนามาพร้อมกับการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกด้วยเมล็ดในครั้งแรกที่เรียกว่า ข้าวรุ่นหลัก (Main crop) ซึ่งทำการปลูกข้าวรุ่นหลักได้หลายวิธี ได้แก่ ปักดำ หว่านแห้ง และหว่านน้ำตม เป็นต้น (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นา โดยในระยะแรกตอซังข้าวรุ่นหลักมีหน้าที่เป็นแหล่งสะสมธาตุอาหาร และลำเลียงธาตุอาหารจากดิน เพื่อให้ตายอดพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง จากนั้นต้นข้าวตอซังมีการเจริญเติบโต ออกรวง เมล็ดในรวงสุกแก่ และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตอีกครั้ง (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; IRRI, 1988)

2.1.2 ลักษณะของข้าวตอซัง

การปลูกข้าวตอซัง (Rice Ratooning) เป็นการผลิตข้าวโดยที่ไม่ได้เริ่มต้นจากกระบวนการปลูกด้วยเมล็ด แต่เป็นการใช้ประโยชน์ตอซังข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลัก ทำให้มีกระบวนพัฒนาเป็นต้นข้าว และลักษณะการเจริญเติบโตต่างจากข้าวรุ่นหลัก มีดังต่อไปนี้

2.1.2.1 การพัฒนาของตายอดเป็นข้าวตอซัง

การพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังของตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลัก ขึ้นอยู่กับการมีชีวิต (Viability) ของตายอดที่ข้อบริเวณเหนือผิวดิน (Upper node) และข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) เมื่อพื้นที่นามีปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวตอซังเหมาะสม ได้แก่ ความชื้นในดิน และธาตุอาหาร จะกระตุ้นให้ตายอดที่อยู่ในระยะพักตัวพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง ซึ่งตายอดเหล่านี้มี

การพัฒนามาพร้อมกับการเจริญเติบโตของข้าวรุ่นหลักในระยะที่แตกต่างกัน (Chauhan,Vergara and Lopez, 1985; Nair and Sahadeven, 1961) ทำให้การพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังไม่พร้อมกัน มีผลต่อการเจริญเติบโต ออกรวง เมล็ดในรวงสุกแก่ไม่พร้อมกัน ยากต่อการเก็บเกี่ยว ได้ผลผลิตน้อย และคุณภาพผลผลิตต่ำ โดยเฉพาะการปลูกข้าวตอซังแบบไม่ข่มตอซัง (Conventional ratooning) นอกจากนี้ข้าวตอซังที่เกิดจากตอซังข้าวรุ่นหลักที่ปลูกด้วยวิธีปักดำ พบว่า ตายอดที่ข้อบริเวณผิวดิน (Upper node) พัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง เจริญเติบโต ออกรวง และเมล็ดในรวงสุกแก่ได้เร็วกว่าต้นข้าวตอซังที่เกิดจากตายอดที่บริเวณผิวดิน (Lower node) (Prashar, 1970)

2.1.2.2 การเจริญเติบโตของข้าวตอซัง

ข้าวตอซังเป็นผลสืบเนื่องมาจากข้าวรุ่นหลัก หากต้นข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์แข็งแรง ย่อมส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง การเจริญเติบโตของข้าวตอซังนั้นสามารถพิจาณาได้จาก ความสูง น้ำหนักแห้งของฟาง ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง

1) ความสูงของข้าวตอซัง

ตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักที่พัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังมีการสะสมสารควบคุมการออกดอก เมื่อพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังสามารถออกรวงได้เร็ว ทำให้มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น จึงมีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นสั้น ส่งผลให้ข้าวตอซังมีความสูงน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian, Morachan and Kaliappa, 1970; Sutaryo and Suprihatno, 1993) สำหรับลักษณะของข้าวตอซังที่มีความสูงน้อยกว่าข้าวรุ่นหลักถือได้ว่าเป็นข้อดี เพราะทำให้ลำต้นแข็งแรง ไม่ล้มง่าย สามารถใช้ประโยชน์จากแสงแดดในการสังเคราะห์แสง น้ำ และธาตุอาหารเพื่อการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งต้นข้าวที่มีความสูงน้อยมักมีมวลชีวภาพน้อย แต่มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูง (Kupkanchanakul,Vergara and Kupkanchanakul, 1993)

2) น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซัง

น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซัง โดยทั่วไปแล้วจะน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก คือ ร้อยละ 44 ของน้ำหนักแห้งของฟางข้าวรุ่นหลัก เป็นผลมาจากการที่ข้าวตอซังสามารถออกรวงได้เร็วทำให้มีระยะเวลาในการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้นและใบสั้นกว่าข้าวรุ่นหลัก นอกจากนี้น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังยังมีความสอดคล้องกับความสามารถในการพัฒนาของตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักเป็นต้นข้าวตอซัง และระยะเวลาในการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง ขณะที่น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังน้อยกว่าข้าวรุ่นหลักนั้น แต่กลับมีดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สูงกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; IRRI, 1988)

3) ผลผลิตของข้าวตอซัง

ข้าวตอซังส่วนใหญ่ให้ผลผลิตน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก โดยทั่วไปให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 39-77 ของข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Chauhan et al., 1985; Karunakaran, Jalajakumari and Sreedevi, 1983) กรณีที่ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวตอซังเป็นข้อจำกัด ได้แก่ น้ำ ธาตุอาหาร และอุณหภูมิ ข้าวตอซังจะไม่ให้ผลผลิต (Karunakaran et al., 1983) และพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักทำให้ผลผลิตข้าวตอซังสูงกว่าข้าวรุ่นหลัก ประมาณร้อยละ 59 (Reddy, Mahadevappa and Kulkani, 1979) นอกจากนี้การจัดการธาตุอาหารสำหรับข้าวตอซัง คือ ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวตอซังเพิ่มขึ้น (อำนาจ ชินเชษฐ์, 2521)

4) องค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง

องค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซังสามารถบ่งชี้ถึงรายละเอียดการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง และโอกาสการใช้ประโยชน์จากข้าวตอซัง สำหรับองค์ประกอบผลผลิตของข้าวที่นิยมทำการศึกษากันทั่วไป (สถาบันวิจัยข้าว, 2531) ได้แก่ จำนวนต้นต่อพื้นที่ จำนวนรวงต่อพื้นที่ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

ข้าวตอซังมีองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนรวงต่อกอ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก อาจเกิดจากสาเหตุการที่ข้าวตอซังออกรวงเร็ว ทำให้เกิดการแย่งธาตุอาหารในช่วงการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง ระหว่างลำต้นกับเมล็ด อย่างไรก็ตามพบว่า ข้าวตอซังมีจำนวนต้นต่อตารางเมตร และจำนวนรวงต่อตารางเมตรมากกว่าข้าวรุ่นหลัก เพราะตอซังข้าวรุ่นหลัก มีตายอดบริเวณข้อเหนือผิวดิน (Upper node) และข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) พัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังได้หลายต้น อีกทั้งการที่ข้าวตอซังมีจำนวนเมล็ดต่อรวงน้อยกว่าข้าวรุ่นหลักทำให้แต่ละเมล็ดข้าวในรวงมีความสมบูรณ์มาก ส่งผลให้มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากกว่าข้าวรุ่นหลักด้วย (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Bardhan Roy and Mondal, 1988; Mahadevappa and Yogeesha, 1988)

2.1.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวตอซัง

ข้าวตอซังมีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย ปริมาณโปรตีนหยาบ 14.95-17.76 เปอร์เซ็นต์ (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Gerpacio and Castillo, 1979) และปริมาณไนโตรเจนของข้าวตอซังมีความสัมพันธ์ในทางลบกับอายุการเก็บเกี่ยวข้าวตอซัง (Garcia, 1981) นอกจากนี้โดยทั่วไปอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ของฟางข้าวรุ่นหลัก ประมาณ

70 : 1 มีผลต่อระบบการย่อยสลายฟางข้าวของจุลินทรีย์ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540; ประเสริฐ สองเมือง; 2543) ขณะที่ข้าวตอซังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อยู่ในช่วง 11:1-17:1 สามารถสลายตัวได้ดีในระยะเวลาสั้นๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546) สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือไถกลบลงในพื้นที่นาได้

2.1.3 วิธีการปลูกข้าวตอซัง

การปลูกข้าวตอซังสามารถจะทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับข้าวตอซัง ได้แก่ ลักษณะความเหมาะสมของพื้นที่นา วิธีการปลูกข้าวรุ่นหลัก ความสะดวก เครื่องมืออุปกรณ์ แรงงาน เป้าหมายการใช้ประโยชน์ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตข้าวตอซัง เป็นต้น ในปัจจุบันมีวิธีการปลูกข้าวตอซัง 3 รูปแบบ คือ การปลูกข้าวตอซังแบบไม่ข่มตอซัง (Conventional rationing) การปลูกข้าวตอซังแบบข่มตอซัง (Lock-lodge rationing) และการปลูกข้าวตอซังแบบล้มตอซัง (Stubble-lodge rationing) (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546)

2.1.3.1 การปลูกข้าวตอซังแบบไม่ล้มตอซัง (Conventional ratooning)

การปลูกข้าวตอซังแบบไม่ล้มตอซัง เป็นการปลูกข้าวจากตอซังแบบดั้งเดิม พบในหลายประเทศเป็นเวลานาน ส่วนมากเป็นการปลูกข้าวตอซังจากข้าวรุ่นหลัก (Main crop) ที่ปลูกด้วยวิธีปักดำ หว่านแห้ง และหว่านน้ำตม เป็นต้น (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548) กระบวนการปลูกข้าวตอซังแบบไม่ข่มตอซัง เริ่มหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักเกษตรกรจะตัดตอซังข้าวให้มีความสูงเหนือพื้นดิน 10-20 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้ตอซังข้าวยืนต้นตามธรรมชาติ จากนั้นควบคุมความชื้นในพื้นที่นา และจัดการสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสม เพื่อกระตุ้นให้ตายอดที่ข้อบนตอซังพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง ต้นข้าวตอซังจากการปลูกข้าวตอซังแบบไม่ข่มตอซัง ส่วนใหญ่จะเกิดจากตายอดที่ข้อเหนือผิวดิน (Upper node) และข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) อาจเกิดในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันหรือต่างเวลากันมาก ทำให้การเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ ออกรวง และเมล็ดในรวงสุกแก่ไม่พร้อมกัน ส่งผลทำให้การใส่ปุ๋ย การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยวไม่สะดวก อีกทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิตข้าวตอซังที่ได้มักขาดความสม่ำเสมอ จึงไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกร แต่ก็มีบางประเทศที่นิยมปลูกข้าวตอซังแบบไม่ข่มตอซัง ได้แก่ สหรัฐอเมริกา และจีน (IRRI, 1988)

2.1.3.2 การปลูกข้าวตอซังแบบข่มตอซัง (Lock-lodge ratooning)

การปลูกข้าวตอซังแบบข่มตอซัง เป็นการปลูกข้าวจากตอซังข้าวรุ่นหลักที่ปลูกด้วยวิธีปักดำ เพราะการปักดำเป็นวิธีการปลูกข้าวที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง โดยหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก เกษตรกรจะไม่ตัดตอซังข้าว แต่จะข่มตอซังข้าวในแต่ละกอให้ล้มราบกับ

ผิวดินด้วยแรงงานคน ให้ส่วนบนของตอซังไขว้ทับกันอย่างเป็นระเบียบ จากนั้นควบคุมความชื้นในพื้นที่นา และจัดการสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสม เพื่อกระตุ้นให้ตายอดที่ข้อบนตอซังพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง ในการปลูกข้าวตอซังด้วยวิธีการปลูกนี้ ต้นข้าวตอซังส่วนใหญ่พัฒนาจากตายอดที่ข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) มากกว่าตายอดที่ข้อเหนือผิวดิน (Upper node) รวมทั้งต้นข้าวตอซังจะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน ทำให้มีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอ เกษตรกรสามารถใส่ปุ๋ยและดูแลรักษาให้สอดคล้องกับสภาพและระยะการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง จนต้นข้าวตอซังออกรวงเมล็ดในรวงสุกแก่ และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ เนื่องจากต้นข้าวตอซังจากการปลูกข้าวตอซังแบบข่มตอซัง เกิดขึ้นในเวลาที่ใกล้เคียงกัน มีจำนวนมาก การเจริญเติบโตสม่ำเสมอ ออกรวงและเมล็ดในรวงสุกแก่ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เก็บเกี่ยวสะดวก ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพเมล็ดดี (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Calendacion, Garrity and Ingram, 1991)

2.1.3.3 การปลูกข้าวตอซังแบบล้มตอซัง (Stubble-lodge ratooning)

การปลูกข้าวตอซังแบบล้มตอซัง เป็นการปลูกข้าวจากตอซังแบบพัฒนาเกิดจากการสังเกต คิด ทดสอบ พัฒนา และภูมิปัญญาของนายละเมียด ครุฑเงิน เกษตรกร/ช่างบ้านเลขที่ 46 หมู่ที่ 9 ตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี เมื่อปี พ.ศ. 2529 (กรมวิชาการเกษตร, 2544; ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546) พบว่าหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักในแปลงนาหว่านน้ำตมด้วยเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแล้ว ประมาณ 7-10 วัน บริเวณล้อรถเกี่ยวนวดข้าวทับตอซังข้าวและทำให้ตอซังล้มราบกับผิวดิน จะมีต้นข้าวตอซังเกิดขึ้นหนาแน่นกว่าบริเวณอื่นๆ จึงเกิดแนวความคิดการล้มตอซังทั้งแปลงนา จึงได้ทดลอง ปรับปรุงวิธีการ พัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับล้มตอซังเรื่อยมา จนประสบผลสำเร็จสามารถให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากการปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตม ซึ่งเป็นต้นแบบของแนวความคิดในการปลูกข้าวแบบล้มตอซังในปัจจุบัน (กรมวิชาการเกษตร, 2544; เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวีคุปต์กาญจนากุล, 2546; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2545) ในทางปฏิบัติหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักแล้ว จะทำการเกลี่ยฟางข้าวที่พ่นออกมาจากเครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้กระจายสม่ำเสมอทั่วพื้นที่นา และทำการล้มตอซังด้วยเครื่องล้มตอซังที่ประดิษฐ์จากล้อยางรถยนต์เก่าประกอบกันเป็นชุด ประมาณ 4-8 ล้อ (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2544) จากนั้นควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสม เพื่อกระตุ้นให้ตายอดที่ข้อบนตอซังพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง ส่วนใหญ่แล้วข้าวตอซังพัฒนาจากตายอดที่ข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) และส่วนน้อยเกิดจากตายอดที่ข้อเหนือผิวดิน (Upper node) ซึ่งเกิดขึ้นในเวลาใกล้เคียงกัน เมล็ดในรวงสุกแก่ และทำให้เก็บเกี่ยวสะดวก หากมีการใส่ปุ๋ย และดูแลรักษาได้เหมาะสมกับระยะการเจริญเติบโตบางครั้งจะให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงกับข้าวรุ่นหลักที่เกิดจากการปลูกด้วยเมล็ด (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; IRRI, 1988)

2.1.4 พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวตอซัง

ความสามารถในการพัฒนาของตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักเป็นต้นข้าวตอซังในแต่พันธุ์มีความแตกต่างกัน (Ichil and Hada, 1983; Thakur, 2002; Volkova and Smethnin, 1971) ดังนั้นการปลูกข้าวตอซังให้ได้ผลดีควรใช้พันธุ์ข้าวที่มีความสามารถในการพัฒนาของตายอดเป็นต้นข้าวตอซังได้ดี คือ มีลำต้นและระบบรากแข็งแรง และมีจำนวนปล้องและข้อมาก ซึ่งทำให้มีตายอดบนตอซังมากด้วย (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; บุญรอด ต่วนชัย, 2548; วาสนา อินแถลง, 2548; Gupta and Mitra, 1948) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวพันธุ์อายุสั้นสามารถพัฒนาตายอดเป็นต้นข้าวตอซังและให้ผลผลิตได้ดี เมื่อปลูกในเขตอบอุ่น ส่วนในเขตร้อนข้าวพันธุ์อายุปานกลาง-หนักสามารถพัฒนาตายอดเป็นต้นข้าวตอซังและให้ผลผลิตข้าวตอซังได้ดี (Krishamurthy, 1988) จากผลการศึกษาวิจัยของวาสนา อินแถลง (2548) พบว่า ข้าวตอซังพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 60 สุพรรณบุรี 90 ปทุมธานี 1 และ กข 23 ให้ผลผลิตไม่ต่างกันทางสถิติ คือ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 411-456 กิโลกรัม/ไร่ แต่ข้าวตอซังพันธุ์ปทุมธานี 1 มีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตสูงสุด ขณะที่ข้าวตอซังพันธุ์สุพรรณบุรี 60 มีศักยภาพในการปลูกข้าวตอซังได้ดี เนื่องจากข้าวตอซังให้ผลผลิตลดลงจากข้าวรุ่นหลัก 20.27 % หรือให้ผลผลิตเฉลี่ย 434 กิโลกรัม/ไร่

2.1.5 ลักษณะพื้นที่นาที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวตอซัง

การปลูกข้าวตอซังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการปลูกข้าวหลายครั้งอย่างต่อเนื่องในพื้นที่นาชลประทาน มีปริมาณแหล่งน้ำชลประทานเพียงพอสำหรับการปลูกข้าวตลอดทั้งปี และมีลักษณะของพื้นที่นาค่อนข้างราบเรียบสม่ำเสมอ มีความสะดวกในการจัดการน้ำสำหรับการปลูกข้าวตอซัง หากพื้นที่นาไม่สม่ำเสมอ เมื่อระบายน้ำเข้าพื้นที่นา น้ำจะขังในบริเวณพื้นที่ลุ่มทำให้ตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักบริเวณนี้เน่าเสียได้ การเกิดต้นข้าวตอซังบริเวณนี้จะมีน้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2544; เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2544)

ข้าวตอซังมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น และมีการใช้น้ำน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก แต่มีประสิทธิภาพใช้น้ำสูง จึงสามารถจะปลูกในพื้นที่นาน้ำฝน ซึ่งเป็นพื้นที่นาที่มีการทำนาเพียงปีละหนึ่งครั้ง แต่หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักแล้ว ดินยังมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 อีกทั้งมีแหล่งน้ำไม่เพียงพอสำหรับการปลูกข้าวจากเมล็ด แต่เพียงพอกับการปลูกข้าวตอซัง (เจริญ ท้วมขำ, 2543; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Chauhan et al., 1985; Krishnamurthy; 1988)

2.1.6 การใช้ประโยชน์จากข้าวตอซัง

การใช้ประโยชน์จากข้าวตอซังที่มีในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มุ่งเน้นเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในรอบปีให้ได้มากที่สุด ไม่ว่าเป็นการวิธีการปลูกข้าวตอซังในแบบไม่ล้มตอซัง แบบข่มตอซัง และ

แบบล้มตอซัง ล้วนแล้วมีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวทั้งสิ้น แต่ในกรณีที่พื้นที่นามีปริมาณน้ำไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตเมล็ดข้าวตอซัง แต่ดินนายังมีความชื้นเพียงพอสำหรับการพัฒนาของตายอดที่ข้อบนตอซังข้าวรุ่นหลักเป็นต้นข้าวตอซัง ก็สามารถจะใช้ประโยชน์ต้นข้าวตอซังเป็นสำหรับแหล่งอาหารสัตว์ได้

2.6.1.1 เพิ่มผลผลิตข้าว

การปลูกข้าวตอซังเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตข้าวในระยะเวลาสั้น โดยเฉพาะในพื้นที่นาไม่มีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับการปลูกข้าวด้วยเมล็ดหลายครั้ง แต่เพียงพอสำหรับการปลูกข้าวตอซัง (ทวี คุปต์กาญจนกุล, 2546; IRRI, 1988) ถึงแม้ว่าผลผลิตของข้าวตอซังโดยเฉลี่ยน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก คือ ให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 39-77 ของข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Chauhan et al., 1985; Karunakaran et al., 1983) แต่ในกระบวนการปลูกข้าวตอซังสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการเตรียมดิน เมล็ดพันธุ์ข้าว แรงงาน น้ำ ธาตุอาหาร และสารเคมี ทำให้มีผลกำไรทางเศรษฐศาสตร์สูงกว่าข้าวรุ่นหลัก (เจริญ ท้วมขำ, 2543; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; สุภา อินทปัชฌาย์, 2546)

2.1.6.2 แหล่งอาหารสัตว์

การเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมักไม่ค่อยมีการปลูกหญ้าเพื่อการเลี้ยงสัตว์ ส่วนใหญ่ใช้หญ้าที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางด้านเกษตรกรรม เช่น ฟางข้าว เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำ และมีปริมาณลิกนินสูง จึงทำให้อาหารสัตว์มีความน่ากิน (Palatability) ต่ำ ทั้งนี้ฟางข้าวมีส่วนประกอบของซิลิกอนในรูปซิลิกา (SiO_2) มาก คือ 0.8 % ทำให้มีผลต่อคุณภาพอาหารสัตว์ โดยเฉพาะระบบการย่อยอาหารของสัตว์ (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) อย่างไรก็ตาม พืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดีอย่างน้อยต้องประกอบด้วยโปรตีนซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจน และธาตุอาหารอื่นๆ ได้แก่ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับความต้องการของสัตว์ (ทวี แก้วคง, 2527)

โปรตีนเป็นสารประกอบไนโตรเจน ที่เป็นตัวชี้วัดถึงคุณค่าทางอาหารของอาหารสัตว์ โดยพืชอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการกินอาหารของสัตว์ลดลง (วัลลภ สันติประชา และประวิตร โสภโณดร, 2524; เฉลิมพล แซมเพชร, 2530) เพราะสัตว์ใช้โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต คือ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ กล้ามเนื้อ เลือด น้ำย่อย ฮอร์โมน เนื้อเยื่อ ขน ผิวหนัง และทดแทนเซลล์ที่ตายไป อีกทั้งโปรตีนยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำนม เมื่อเป็นเช่นนี้สัตว์ที่กำลังให้นม และสัตว์ที่อยู่ในวัยกำลังเจริญเติบโตจึงต้องการอาหารที่มี

โปรตีนสูง หากขาดโปรตีนแม้แต่เพียงเล็กน้อยก็จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การให้น้ำนม การสืบพันธุ์ และกระบวนอื่นๆ ของสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องต้องการโปรตีนสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะ เพื่อให้การย่อยและเผาผลาญอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและไขมันมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น หากมีปริมาณโปรตีนอยู่ในระดับต่ำ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะที่เกี่ยวข้องกระบวนการย่อยอาหาร และการสังเคราะห์วิตามินจะมีผลกระทบเป็นอย่างมาก (ทวี แก้วคง, 2527; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531)

ฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบของกระดูก และฟัน ช่วยรักษาความสมดุลของความเป็นกรดเป็นด่างในร่างกาย ช่วยในการควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ช่วยในการดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดียวจากลำไส้และไต สำหรับอาการขาดฟอสฟอรัส คือ ทำให้กระดูกอ่อนในสัตว์อายุน้อย และเกิดโรคกระดูกเปาะในสัตว์อายุมาก สัตว์แสดงอาการของโรคพิก้า (Pica) โดยสัตว์ที่เป็นจะชอบกัดไม้ กระดูก ก้อนหิน มีอาการเบื่ออาหาร และมีขนหยาบกร้าน ทำให้ความสามารถในการสืบพันธุ์ต่ำลง การเป็นสัดผิดปกติ ทำให้ชะงักการเจริญเติบโตเนื่องจากประสิทธิการใช้อาหารต่ำลง และทำให้ลูกคลอดใหม่ตายในกรณีที่ขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง รวมทั้งผลผลิตด้านเนื้อ นม และไข่ลดลง (ทวี แก้วคง, 2527; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531)

โพแทสเซียม ช่วยรักษาระดับความดันออสโมซิส และความสมดุลของกรดและด่างภายในร่างกาย ช่วยควบคุมการเคลื่อนย้ายสารเข้าสู่เซลล์ และกระบวนเมตาบอลิซึมของน้ำ สำหรับอาการขาดโพแทสเซียม คือ สัตว์แสดงอาการเบื่ออาหาร น้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็ว การเจริญเติบโต และผลผลิตด้านเนื้อ นม และไข่ ลดลง (ทวี แก้วคง, 2527; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531)

จากการศึกษาวิจัยการปลูกข้าวตอซังพันธุ์น้ำลึกในพื้นที่นาชลประทานเพื่อใช้ส่วนลำต้นและใบของข้าวตอซังเป็นอาหารสัตว์ (Kupkanchanakul et al., 1993) พบว่ามวลชีวภาพของต้นข้าวตอซังน้ำลึกแต่พันธุ์แตกต่างกัน และมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการพัฒนาตายอดที่ข้อบนตอซัง ต้นข้าวตอซังบางพันธุ์ให้มวลชีวภาพสูงถึง 528 กิโลกรัม/ไร่ ภายใน 30 วัน ประกอบด้วยใบข้าวตอซังประมาณร้อยละ 40 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 60 เป็นกาบใบและลำต้นข้าวตอซัง และ 1,416 กิโลกรัม/ไร่ภายใน 60 วัน ประกอบด้วยใบข้าวตอซังร้อยละ 45 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 55 เป็นกาบใบและลำต้น สำหรับเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบในต้นข้าวตอซังพันธุ์น้ำลึกมีเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูง แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างพันธุ์ข้าวที่ศึกษา เมื่ออายุ 30 วัน ต้นข้าวตอซังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบระหว่าง 14.95-17.76 เฉลี่ย 16.17 ใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ในพืชตระกูลถั่วซึ่งมีโปรตีนหยาบประมาณ 16.13 และต้นข้าวตอซังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบ 7.69-9.56 เฉลี่ย 8.43

เมื่อมีอายุ 60 วัน ใกล้เคียงกับพืชตระกูลหญ้า (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Gerpacio and Castillo, 1979) แสดงถึงศักยภาพของข้าวตอซังพันธุ์น้ำลึกเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ขณะเดียวฟางข้าวรุ่นหลักในระยะที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวมีองค์ประกอบทางเคมี คือ มีปริมาณโปรตีนหยาบ เท่ากับ 2.76 เปอร์เซ็นต์ ถือได้ว่ามีคุณค่าทางอาหารต่ำ แต่ถ้ามีการปรับปรุงคุณภาพโดยการหมักกับยูเรียหรือกากน้ำตาล ก็จะทำให้ปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น (เจริญ แสงดี, 2529; ชูศักดิ์ แสงสินธุ์, 2533)

2.2 การจัดการเพื่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดีของข้าวตอซัง

ข้าวตอซังเป็นผลพลอยได้สืบเนื่องจากข้าวรุ่นหลัก หากต้องการปลูกข้าวตอซังให้มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดีนั้น ต้องมีการจัดการตั้งแต่การปลูกข้าวรุ่นหลักให้ต้นข้าวรุ่นหลักมีสมบูรณ์แข็งแรง พร้อมทั้งมีการจัดการเพื่อการเจริญเติบโตของข้าวตอซังร่วมด้วย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 การจัดการข้าวรุ่นหลัก

ข้าวรุ่นหลักที่สมบูรณ์แข็งแรงมีผลสืบเนื่องถึงการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าวตอซัง โดยเฉพาะต้นข้าวรุ่นหลักที่สมบูรณ์แข็งแรง สม่ำเสมอ ความหนาแน่นพอเหมาะ มีระบบรากแข็งแรง เป็นปัจจัยสำคัญของการปลูกข้าวตอซัง (ทวี คุปต์กาญจนากุล; 2546; Chauhan et al., 1985; Mahadevappa, 1979) สำหรับข้าวรุ่นหลักที่โค่นล้ม เนื่องจากฝน และแรงลม รวมทั้งต้นข้าวรุ่นหลักที่เก็บเกี่ยวผลผลิตช้ากว่ากำหนด จัดเป็นต้นข้าวรุ่นหลักที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกข้าวตอซัง (Mahadevappa and Yogeesha, 1988) ดังนั้นการจัดการและการดูแลรักษาข้าวรุ่นหลัก ได้แก่ การเตรียมดิน ช่วงเวลาการปลูก วิธีปลูก ระยะปลูก อายุกล้า ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การจัดการน้ำ และการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ถูกต้องและเหมาะสม ล้วนเป็นขั้นตอนที่สำคัญในเตรียมการปลูกข้าวตอซังให้มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดี

2.2.1.1 การเตรียมดิน

การปลูกข้าวตอซังไม่มีการเตรียมดิน ดังนั้นจึงควรเตรียมดินให้ดีตั้งแต่การปลูกข้าวรุ่นหลัก ได้แก่ ไถดะ ไถแปร คราดเอาเศษวัชพืชออก และทำเทือกเพื่อปรับโครงสร้างของดินด้วยการตีดินจนละเอียดในสภาพที่เป็นโคลนตม และปรับสภาพพื้นที่นาให้สม่ำเสมอ เพื่อสะดวกในการจัดการน้ำสำหรับการปลูกข้าวรุ่นหลักและข้าวตอซัง รวมทั้งช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของพื้นที่นาอีกด้วย (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) การเตรียมดินที่ดีช่วยให้การเจริญเติบโตของข้าวรุ่นหลักดี ต้นข้าวมีความสมบูรณ์แข็งแรง ให้ผลผลิตสูง และทำให้ได้ตอซังข้าวรุ่นหลักที่สมบูรณ์แข็งแรงและมีธาตุอาหารสะสมในตอซังข้าวรุ่นหลักปริมาณมาก ส่งผลดีต่อการพัฒนาของตายอดเป็นต้นข้าวตอซัง ตลอดจนมีผลดีสืบเนื่องต่อไป

จนถึงการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าวตอซังอีกด้วย (Bahar and De Datta, 1977; Parago, 1963; Samson, 1980)

2.2.1.2 ช่วงเวลาการปลูก วิธีการปลูก ระยะการปลูก และอายุกล้า

ปัจจัยของข้าวรุ่นหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวตอซังนั้นนับว่ามีความสำคัญ พบว่า ช่วงเวลาการปลูก วิธีการปลูก ระยะการปลูก และอายุกล้า ล้วนมีอิทธิพลสำหรับการปลูกข้าวตอซัง

ข้าวตอซังเป็นผลสืบเนื่องจากข้าวรุ่นหลัก ดังนั้น ช่วงเวลาการปลูกข้าวรุ่นหลักจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการปลูกข้าวตอซัง และสภาพแวดล้อมของพื้นที่นาที่ข้าวตอซังได้รับถ้าเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมย่อมส่งผลดีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวทั้งข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง สำหรับช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกข้าวรุ่นหลักเพื่อปลูกข้าวตอซัง อยู่ในช่วงของฤดูกาลทำนาปีของแต่ละพื้นที่การทำนา (นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Basavaraju, Jayakumar and Mahadevappa, 1986) เพราะปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม มีผลต่อความชื้นของดิน ซึ่งดินจะมีความชื้นจนกระทั่งถึงช่วงเวลาการปลูกข้าวตอซัง โดยทั่วไปแล้วในแถบทวีปเอเชียเป็นแหล่งปลูกข้าวแหล่งใหญ่ที่สุดในโลก ฤดูกาลทำนาปีอยู่ในช่วงฤดูฝน ประมาณเดือน สิงหาคม-กันยายน (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) และช่วงการปลูกข้าวตอซังมักจะอยู่ในช่วงเดือนธันวาคมเป็นต้นไป ขึ้นอยู่กับรอบการปลูกข้าวตอซัง โดยปกติแล้วสามารถจะปลูกข้าวตอซังได้ถึง 2 รอบ/ปี (เจริญ ท้วมขำ, 2543; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Garcia, 1962)

วิธีการปลูกข้าวรุ่นหลักที่นิยมกัน ได้แก่ ปักดำ หว่านแห้ง และหว่านน้ำตม เป็นต้น (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม และมีปัจจัยอื่นๆ เป็นตัวกำหนดวิธีการปลูกข้าวรุ่นหลักอีกด้วย พบว่าวิธีการปลูกข้าวรุ่นหลักที่กล่าวมานั้น ล้วนสามารถทำการปลูกข้าวตอซังได้ทั้งหมด สำหรับวิธีการปลูกข้าวรุ่นหลักที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวตอซังนั้น ยังไม่มีผลการวิจัยที่ชัดเจน (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546) อย่างไรก็ตามการปลูกข้าวรุ่นหลักจำเป็นต้องให้มีจำนวนต้นข้าวต่อพื้นที่มาก และปริมาณหนาแน่นจะทำให้ได้ตอซังข้าวรุ่นหลักต่อพื้นที่จำนวนมาก เมื่อตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง จะมีจำนวนต้นข้าวตอซัง และให้ผลผลิตต่อพื้นที่มากเช่นเดียวกัน

การปลูกข้าวรุ่นหลักแบบปักดำ โดยระยะปักดำเป็นตัวกำหนดความหนาแน่นของจำนวนต้นข้าวรุ่นหลัก และต้นข้าวตอซังต่อพื้นที่ พบว่าระยะปักดำที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวตอซัง คือ 20 x 20 เซนติเมตร ส่งผลให้มีจำนวนต้นข้าวรุ่นหลัก ต้นข้าวตอซัง และผลผลิตข้าวตอซังต่อพื้นที่มาก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Bahar and De Datta, 1977; IRRI, 1988)

อายุกล้าข้าวรุ่นหลักอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง แต่ยังมีรายงานการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องน้อย Sompaew (1979) ได้รายงานว่า อายุกล้าข้าวรุ่นหลัก 20 วัน มีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวตอซังสูง เพราะมีจำนวนรวงต่อพื้นที่ จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมาก

2.2.1.3 ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดีของข้าวตอซังนั้น ดินที่ใช้ปลูกข้าวรุ่นหลักต้องมีความอุดมสมบูรณ์ คือ ประกอบด้วย ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) และธาตุเสริมประโยชน์ คือ ซิลิกอน (Si) โดยเฉพาะธาตุอาหารหลักต้องมีปริมาณเพียงพอและเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าวรุ่นหลัก จึงจะทำให้ต้นข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์แข็งแรง ทั้งนี้ต้นข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์แข็งจะมีปริมาณธาตุอาหารสะสมในตอซังมาก ย่อมส่งผลดีทำให้ตายอดบนตอซังพัฒนาเป็นข้าวตอซังได้มากด้วย (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Plucknett, Escalada and Dala Pena, 1978) ขณะเดียวกันข้าวรุ่นหลักได้รับปริมาณธาตุอาหารหลักที่มากเกินไป จะมีการเจริญเติบโตของลำต้นมากเกินไป มีอาการเฝือใบ ลำต้นอ่อน หักล้มง่าย และตายอดบนตอซังไม่สมบูรณ์การพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังเกิดขึ้นน้อย (Hsieh, Kao and Chiang, 1968) สำหรับซิลิกอนที่สะสมอยู่ในลำต้นและใบของข้าวรุ่นหลัก ทำให้ต้นข้าวแข็งแรง ต้านทานโรค และแมลง ลดการล้ม (Sommer, 1976) และทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Imaizumi and Yoshida, 1958) ล้วนมีผลต่อการพัฒนาของตายอดบนตอซังเป็นข้าวตอซัง

การเกิดต้นข้าวตอซังอาจขึ้นอยู่กับธาตุอาหารจากดินที่สะสมในตอซังและรากข้าวรุ่นหลัก ธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นและรากมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาของตายอดที่ข้อบนตอซังเป็นต้นข้าว และการเจริญเติบโตของต้นข้าวตอซัง โดยเฉพาะในระยะแรกก่อนที่ต้นข้าวตอซังจะสามารถสังเคราะห์แสงหรือสร้างอาหารได้เองอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ Yoshida and Takahashi (1958) กล่าวว่า รากข้าวไม่จัดเป็นอวัยวะที่ใช้สะสมธาตุอาหารของข้าว นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักให้ตอซังข้าวมีความสูงมาก ทำให้มีปริมาณธาตุอาหารสะสมในตอซังสูงตามไปด้วย (Ichii and Hada, 1983) และต้นข้าวที่มีลำต้นขนาดใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารในลำต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่มีขนาดเล็ก สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในตอซังมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาของตายอดบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซัง และการเจริญเติบโตของต้นข้าวตอซังในระยะแรก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546)

2.2.1.4 การจัดการน้ำข้าวรุ่นหลัก

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการปลูกข้าว ข้าวจะเจริญเติบโตได้ดีต้องมีน้ำในปริมาณเพียงพอและเหมาะสม โดยทั่วไปเกษตรกรขังน้ำไว้ในพื้นที่นาตั้งแต่ระยะการทำเทือก

จนกระทั่งข้าวรุ่นหลักออกรวง 80 % แล้วนับต่อไปอีกประมาณ 20 วัน จากนั้นระบายน้ำออกพื้นที่นา (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) รวมทั้งการขังน้ำยังช่วยควบคุมวัชพืช ซึ่งมีผลทำให้จำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว (Vergara, Lopez and Chaunhan, 1988) สำหรับการขังน้ำในพื้นที่นาที่ข้าวรุ่นหลักในระดับความสูงที่มากเกินไป พบว่ามีข้อเสีย คือ ทำให้ยับยั้งการแตกกอ การพัฒนาของหน่อข้าวไปเป็นรวง และผลผลิตข้าวรุ่นหลักลดลงด้วย (Borell, Garside and Fukai, 1997; De Datta, 1981; Mishra, Rathore and Pant , 1997; Ramasamy, Berge and Purushothaman, 1997) นอกจากนี้ต้นข้าวรุ่นหลักจะยืดปล้อง ทำให้มีตายอดที่ข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) มีจำนวนน้อย สำหรับระดับการขังน้ำในพื้นที่นาที่ปลูกข้าวรุ่นหลักที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0-10 เซนติเมตร การแตกกอของข้าวเกิดขึ้นได้ดี และผลผลิตของข้าวรุ่นหลักมากขึ้น (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Wannasai et al., 1991; Wickham, 1973)

การระบายน้ำออกจากพื้นที่นาก่อนเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลัก เป็นขั้นตอนปฏิบัติที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง มีผลกระทบต่อการปลูกข้าวตอซัง ต้องวางแผนการระบายน้ำให้ถูกต้องเหมาะสม โดยหลังจากข้าวรุ่นหลักออกรวง 80 เปอร์เซ็นต์แล้วนับต่อไปอีกประมาณ 20 วัน จากนั้นระบายน้ำออกพื้นที่นา ทำให้ดินในระยะเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 ตอซังข้าวรุ่นหลักส่วนที่ยังสดมีตายอดที่ชีวิตที่ข้อบนตอซังสามารถเป็นข้าวตอซังได้ แต่ถ้าดินในระยะเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักมีความชื้นมากเกินไปหรือมีน้ำขังจะทำให้มีปัญหาในการเก็บเกี่ยว และคุณภาพของข้าวรุ่นหลัก ในทางตรงกันข้าม หากระบายน้ำออกจากพื้นที่นาเร็วเกินไป ดินในระยะเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักมีความชื้นน้อย ทำให้ตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักไม่สามารถพัฒนาเป็นข้าวตอซังได้ (เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวี คุปต์กาญจนกุล; 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548)

2.2.1.5 การเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก

ระยะการสุกแก่ของรวงข้าวในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักมีผลต่อการพัฒนาตายอดที่ข้อบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซัง (Haque, 1975; Votong, 1975) หากการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักในขณะที่ลำต้นยังมีสีเขียว ทำให้ได้ตอซังข้าวรุ่นหลักที่มีตายอดและตารากที่มีชีวิตและแข็งแรง (Grist, 1965) นอกจากนี้ Votong (1975) ได้รายงานว่า การเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักในช่วง 44-46 วัน หลังออกดอก จะทำให้อายุการเก็บเกี่ยวข้าวตอซังสั้นลง ในเวลาต่อมา Ichii and Kuwada (1981) พบว่า ความสามารถในการพัฒนาตายอดเป็นต้นข้าวตอซัง ความสูง มวลชีวภาพ และอายุการเก็บเกี่ยวของข้าวตอซังลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักช้ากว่าปกติ 10-20 วัน แต่ Haque (1975) และ Reddy et al. (1979) พบว่า การเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักเมื่อ 30 35 และ 40 วันหลังออกดอกไม่ทำให้ผลผลิตข้าวตอซังแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักช้ากว่ากำหนด อาจทำให้ได้ผลผลิตข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้น เพราะต้นข้าวมีเวลาในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารที่สะสมในเมล็ดมาก

ขึ้น แต่อาจมีผลกระทบต่อการพัฒนาของตายอดที่ข้อบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซัง เพราะ ตายอดบางส่วนอาจหมดอายุ หรือแห้งตาย กลายเป็นตอซังตาย และเหลือธาตุอาหารที่สะสมในตอซังน้อย ในทางตรงกันข้ามหากเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักเร็วกว่ากำหนด อาจทำให้การผลิตข้าวตอซังได้รับผลดี เพราะมีตอซังเป็นมาก ตายอดบนตอซังมีความอุดมสมบูรณ์แข็งแรงพร้อมที่จะพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง และมีสารอาหารสะสมในตอซังมาก ต้นข้าวเจริญเติบโตดี แต่อาจทำให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดข้าวรุ่นหลักลดลง เพราะต้นข้าวรุ่นหลักมีเวลาในการสะสมสารอาหารในเมล็ดสั้น และอาจมีข้าวเมล็ดสีเขียวปะปน (เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวี คุปต์กาญจนากุล; 2546; IRRI, 1988)

สำหรับระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวตอซัง คือ ระยะพลับพลึงหรือหลังจากออกดอก 80 % ประมาณ 28 วัน ซึ่งเป็นระยะที่มีตายอดที่มีชีวิตบนตอซัง และปริมาณธาตุอาหารสะสมในตอซังมากด้วย แต่ควรระมัดระวังในระหว่างการปฏิบัติงานขณะเก็บเกี่ยว ไม่ให้มีผลกระทบต่อการมีชีวิตของตายอด และการพัฒนาของตายอดเป็นต้นข้าวตอซัง (เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวี คุปต์กาญจนากุล; 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548)

2.2.2 การจัดการข้าวตอซัง

ความสำเร็จของการปลูกข้าวตอซัง นอกจากจะขึ้นอยู่กับการเลือกพื้นที่ และการจัดการข้าวรุ่นหลัก ดังที่กล่าวมาแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการจัดการข้าวตอซังอีกด้วย

2.2.2.1 การจัดการตอซัง

ความยาวของตอซังมีผลกระทบโดยตรงต่อการพัฒนาของตายอดที่ข้อบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซัง เพราะความยาวของตอซังบ่งชี้ถึงจำนวนตายอดบนตอซังแต่ในละตอซังที่จะพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง และปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในตอซัง การตัดตอซังข้าวให้เหลือตอซังยาวจะให้ผลผลิตข้าวตอซังมากกว่าการตัดตอซังให้เหลือสั้น แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของตอซังกับจำนวนต้นข้าวตอซังค่อนข้างแปรปรวน เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย ระดับความยาวของตอซังที่เหมาะสม คือ 15-20 เซนติเมตร หากตัดตอซังต่ำกว่าระดับที่กล่าวมา จะทำให้เกิดต้นข้าวตอซังน้อยกว่า และอายุของข้าวตอซังก็มากกว่าการตัดตอซังสูง (Bahar and De Datta, 1977; Quddus, 1981; Samson, 1980)

2.2.2.2 การให้ปุ๋ยข้าวตอซัง

ปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าวตอซัง แต่ผลของการใช้ปุ๋ยต่อผลผลิตข้าวตอซังนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเกิดต้นข้าวตอซัง ความสมบูรณ์ของต้นข้าวตอซัง และอายุการเก็บเกี่ยวข้าวตอซัง มีความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ข้าว อีกทั้งมีงานวิจัยเกี่ยวกับ

การใส่ปุ๋ยในข้าวตอซังจำนวนมาก แต่ผลที่รายงานอาจสอดคล้องหรือต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมร่วมด้วย การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ข้าวตอซัง ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนประมาณ 15-20 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ หากพบว่าใบข้าวตอซังมีสีเหลือง ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มตามความจำเป็น ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทสเซียมให้เท่าที่จำเป็นเพียงครั้งเดียว เมื่อต้นข้าวมีอายุประมาณ 10-30 วัน (เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวี คุปต์กาญจนกุล; 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; IRRI, 1998)

การใส่ปุ๋ยแก่ต้นข้าวตอซัง ทำให้ผลผลิตข้าวตอซังมากกว่าไม่ใส่ปุ๋ย แต่ชนิด อัตรา วิธีการ และเวลาที่ใส่ปุ๋ยยังให้ผลแตกต่างกันและแปรปรวนตามสภาพของต้นข้าวและสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามปุ๋ยที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้เร็วจะมีความเหมาะสมกับต้นข้าวตอซังมากกว่า (Reddy and Pawar, 1959; Reddy et al., 1979; Yang, 1940) และยังพบว่าการปลูกข้าวตอซังให้ได้ผลดี จำเป็นอย่างยิ่งต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจน เพื่อกระตุ้นให้ตายอดที่ข้อบนตอซังพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง ทำให้มีจำนวนต้นข้าวตอซังเพิ่มขึ้น และผลผลิตข้าวตอซังเพิ่มขึ้นด้วย (เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; อำนาจ ชินเชษฐ์, 2521; Bahar, 1976; De Datta, 1978; Flinchum and Evatt, 1972; Hsieh and Young, 1959; Ishikawa, 1964) นอกจากนี้ปุ๋ยไนโตรเจน ยังส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายฟางข้าวรุ่นหลักโดยจุลินทรีย์ดินอีกด้วย เพราะฟางข้าวรุ่นหลักมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง ประมาณ 70:1 ยากต่อการทำงานของจุลินทรีย์ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540; ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; ประเสริฐ สองเมือง, 2543)

2.2.2.3 การจัดการน้ำในข้าวตอซัง

การปลูกข้าวตอซังจะใช้น้ำเพียงร้อยละ 60 ของข้าวรุ่นหลัก (Elias, 1969) แต่การจัดการน้ำอย่างถูกต้องมีความสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จของการปลูกข้าวตอซัง และพบว่าผลผลิตข้าวตอซังในพื้นที่นาชลประทานสูงกว่าในพื้นที่นาน้ำฝน (Hsieh, Kao and Chiang, 1964) การจัดการน้ำให้เพียงพออย่างเดียวไม่ได้เป็นตัวชี้ว่าการปลูกข้าวตอซังจะได้รับผลดีตามที่ต้องการ แต่การจัดการน้ำในช่วงการพัฒนาของตายอดบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซังถือมีความสำคัญยิ่ง มีรายงานว่า หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก ไม่ควรขังน้ำในพื้นที่นา เพราะการน้ำขังพื้นที่นาหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก ทำให้ตายอดที่ข้อตอซังเน่าตายก่อนที่จะพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง หรือต้นอ่อนของข้าวตอซังเน่าตาย (Bahar and De Datta, 1977; Hodges and Evatt, 1969; Ichii, 1983; Plucknett, Escalada and Dela Pena, 1978; Prashar, 1970) เพียงแต่รักษาความชื้นของดินร้อยละ 30 เป็นเวลา 10-15 วัน (Bahar and De Datta, 1977; Hsieh and Young, 1959) ก็เพียงพอสำหรับกระตุ้นการพัฒนาของตายอดบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซัง และควรเริ่มขังน้ำเมื่อต้นข้าวตอซังมีความสูงประมาณ 10-15 เซนติเมตร หรือหลังจากต้นข้าวตอซังมีอายุ 15 วัน (Bahar and De Datta, 1977) พร้อมทั้งรักษาระดับน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต และส่งเสริมการแตกกอของข้าวตอซัง

คือ ไม่ควรลึกเกิน 5 เซนติเมตร อีกทั้งเป็นการป้องกันไม่ให้เมล็ดข้าวและเมล็ดวัชพืชที่รวงหล่นงอกและเจริญเติบโตแข่งกับต้นข้าวตอซัง จากนั้นระบายน้ำออกก่อนเก็บเกี่ยวข้าวตอซังประมาณ 10 วัน (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548)

สำหรับพื้นที่นาน้ำฝน ซึ่งจำเป็นต้องเก็บกักน้ำไว้ในพื้นที่นาเพื่อใช้ประโยชน์หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้ หากมีความจำเป็นต้องปลูกข้าวตอซัง ให้ตัดตอซังข้าวรุ่นหลักสูงประมาณ 15 เซนติเมตร (Zandstra and Samson, 1979)

2.3 ธาตุอาหารของข้าว

ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับข้าวมีอยู่ 16 ธาตุ ถ้าขาดธาตุอาหารเหล่านี้เพียงชนิดเดียว การเจริญเติบโตของต้นข้าวจะหยุดชะงัก และแสดงอาการขาดธาตุอาหารชนิดนั้น ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มธาตุอาหารได้ 4 กลุ่ม คือ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุอาหาร และธาตุเสริมประโยชน์ ในที่นี้ธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวจะกล่าวถึงเฉพาะ ธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์ เท่านั้น

2.3.1 ธาตุอาหารหลัก

ธาตุอาหารหลักเป็นธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการเป็นปริมาณมากเพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต ถ้าขาดธาตุอาหารหลัก พืชไม่เจริญเติบโตและแสดงอาการขาดธาตุนั้นๆ สามารถจะแก้ไขได้ด้วยการเติมธาตุอาหารที่ขาดแคลนลงไปในดินให้พืชดูดดึงไปใช้ประโยชน์ ส่งผลให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างปกติ โดยทั่วไปแล้วดินมักจะขาดธาตุเหล่านี้เสมอ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลักให้กับดิน ซึ่งธาตุอาหารหลักประกอบด้วย 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

2.3.1.1 ไนโตรเจน (N)

ไนโตรเจน (N) นับเป็นธาตุอาหารหลักของพืช มีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน (Amino acid) โปรตีน นิวคลีโอไทด์ และคลอโรฟิล สารเหล่านี้มีความสำคัญมากต่อกระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism) ของพืช ทำให้พืชสร้างใบ แตกกอ ความสูง และการเจริญเติบโตทางลำต้น รวมทั้งทำให้ใบพืชมีสีเขียว (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) รูปที่เป็นประโยชน์ของไนโตรเจนที่ข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ คือ แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนเตรต (NO_3^-) และรูปของยูเรีย หรือเอมีน ($R\text{-}NH_2$) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ได้รับจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ น้ำฝน จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน และการใส่ปุ๋ยให้กับดิน อาจได้มาจากปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีการสูญเสีย

จากดินได้ง่าย โดยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ Denitrification leaching และ Runoff เป็นต้น รวมทั้งระเหยสู่บรรยากาศในรูปของแก๊สต่างๆ และมักพบการขาดไนโตรเจนในดินที่ปลูกพืชโดยทั่วไป เพราะพืชส่วนใหญ่โดยเฉพาะข้าวมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณมาก และในดินนาเองมีปริมาณที่ไม่เพียงพอ (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อข้าว คือ ในระยะแรก ทำให้ข้าวตั้งตัวเร็ว ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ทำให้ใบข้าวมีสีเขียว ช่วยควบคุมการออกดอก เพิ่มปริมาณโปรตีน โดยไนโตรเจนจะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นโปรตีน และทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น ช่วยลดความเป็นพิษของอลูมินัม (Al) และแมงกานีส (Mn) ที่ละลายออกมามากในดินกรด และมีบทบาทสำคัญในการแตกกอของต้นข้าวซึ่งส่งผลต่อการเกิดข้าวตอซัง (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) ทั้งนี้ในระยะแรกของการเจริญเติบโต (Early growth stage) ต้นข้าวจะดูดดึงไนโตรเจนเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงระยะหลังการเจริญเติบโต (Later growth stage) ไนโตรเจนที่ถูกดูดดึงจะนำไปใช้สำหรับการสร้างเมล็ด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981; Mikkelsen, 1970; Yoshida, 1981)

ไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อความสูง ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต (จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด) และน้ำหนักแห้งของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้น (สมศักดิ์ ศิริพานิชเจริญ, 2535; Mikkelsen, 1970) ส่วนตอบสนองต่อไนโตรเจนของข้าวตอซัง พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในการปลูกข้าวรุ่นหลักนั้นไม่มีผลต่อความสูง ความยาวรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซัง (Sompaew, 1979 อ้างถึงในทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546) ในทางกลับกันถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับข้าวตอซัง พบว่า ความสูง จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกต่อกอเพิ่มขึ้น (สุระพร รัตนโกศล, 2520) สำหรับกรณีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ข้าวตอซังให้ผลผลิตโดยเฉลี่ย 170 กิโลกรัม/ไร่ แต่ถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 8 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ จะทำให้ผลผลิตลูกข้าวสูงขึ้นเป็น 390 กิโลกรัม/ไร่ และเมื่อใส่เพิ่มขึ้นเป็น 16 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ แล้วจะได้ผลผลิตสูงขึ้นถึง 610 กิโลกรัม/ไร่ (อำนาจ ชินเชษฐ์, 2521; เจริญ ท้วมขำ, 2543) ขณะเดียวกันเมล็ดข้าวมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบทางเคมีมากกว่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ดังนั้นปุ๋ยไนโตรเจนจะไม่มีผลตกค้างในดินไม่ว่าเป็นดินชนิดใด จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อเพิ่มผลผลิตหรือไม่ทำให้ผลผลิตลดลง (สุดประสงค์ สุวรรณเลิศ, 2535) และในการปลูกพืชอาหารสัตว์ ถ้าให้ปุ๋ยไนโตรเจน จะทำให้ใบมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงเป็นสองเท่าของหญ้าที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และมีปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen compound) (Brenes, Mas and Arroyo, 1961; Litter, Vicente-Chandler and Abruna, 1959; Mays, 1974)

เมื่อดินนาขาดไนโตรเจนมีผลกระทบต่อข้าว คือ บริเวณใบของต้นข้าวจะยาวและกว้างกว่าปกติ แต่ใบบางลง ใบจึงอ่อนและโค้ง สังเกตสีเหลืองที่ปลายใบอ่อนและเส้นกลางใบ การแตกกอและการเจริญทางความสูงจะหยุดชะงักลง และถ้าขาดไนโตรเจนมากๆ ต้นข้าวทั้งต้นจะเหลือง ผอม ใบเล็กแหลม ไม่มีการแตกกอ หากเกิดขึ้นในระยะตั้งท้องจะทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง และน้ำหนักเมล็ดจะน้อยลงส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ลดลง (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; ยงยุทธ โอสถสภา, 2547; Yoshida and Ancajas, 1969) หากได้รับไนโตรเจนปริมาณมากเกินไปตั้งแต่ระยะแรกนั้นส่วนลำต้นจะเจริญเติบโตได้เร็ว แต่รากเจริญเติบโตช้า ลำต้นสูงชะลูด มีสีเขียวจัด แตกกอมาก ลำต้นอ่อนแอและทำให้ล้มง่าย ความต้านทานต่อโรคและแมลงลดลง ข้าวสุกแก่และเก็บเกี่ยวได้ช้ากว่าปกติ เพราะไนโตรเจนจะทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตไปเรื่อยๆ ผลผลิตของข้าวที่ได้จะน้อยกว่าปกติ เนื่องจากมีการเจริญเติบโตด้านลำต้นมากกว่า ส่งผลให้ต้นข้าวไม่ออกคอกอีกด้วย (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981)

2.3.1.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ในดินส่วนใหญ่มีธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช อีกทั้งฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ถูกตรึงหรือเปลี่ยนรูปได้ง่าย กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืชลดลง ในดินจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม พื้นที่ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกโดยทั่วไปจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.06 % ขณะที่ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็น 0.14 และ 0.83 % ตามลำดับ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ฟอสฟอรัสในดินจะปรากฏในรูปของสารประกอบที่เรียกว่า ออโธฟอสเฟต หรือเมื่อมีการแตกตัวออกไป จะเรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นไอออนของกรดออโธฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้สองแบบขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายดิน กรณีที่ pH ของดินต่ำกว่า 6.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในรูป คือ $H_2PO_4^-$ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ง่ายที่สุด และ pH ของดิน ระหว่าง 6.8-7.2 จะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มาก ซึ่งพืชดูดดึงได้ช้ากว่ารูป $H_2PO_4^-$ แต่ถ้า pH ของดินสูงกว่า 7.2 จะมี PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ยาก เมื่อพืชดูดฟอสเฟตไอออนเข้าไปในเยื่อพืชแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการรีดักชันเพื่อเปลี่ยนรูปเหมือนไนเตรตหรือซัลเฟต แต่คงอยู่ในรูปของฟอสเฟตเหมือนเดิมในสองสภาพ คือ อนินทรีย์ฟอสเฟต และองค์ประกอบในสารอินทรีย์ อย่างไรก็ตามพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 % (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค

(Vegetative stage) เป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1 % (โดยน้ำหนักแห้ง) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของพลังงาน (ATP) ในพืช มีความสำคัญต่อการสร้างอาหารในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างดอก การผสมเกสร การติดเมล็ด การสร้างความแข็งแรงของรากและลำต้น การสุกของผลผลิตของพืช สำหรับบทบาทหน้าที่ของฟอสฟอรัสต่อข้าว คือ ต้นข้าวต้องการฟอสฟอรัสในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต เนื่องจากช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของรากข้าวในส่วนของรากฝอย รากแขนงและลำต้น ซึ่งทำให้ลำต้นไม่ล้มง่าย ช่วยเร่งการเจริญเติบโตทำให้ออกดอกได้เร็ว ช่วยดูดดึงโพแทสเซียม และควบคุมสมดุลไนโตรเจนของราก และทำให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดีขึ้น (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Yoshida, 1981)

การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในการปลูกข้าวรุ่นหลักจะทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวตอซังเพิ่มขึ้น (Mengal and Leonards, 1978 อ้างถึงใน ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546) ในทำนองเดียวกันเมื่อเติมปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลทำให้ความสูง การแตกกอ ผลผลิต น้ำหนักแห้งของตอซังของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เพิ่มขึ้น (รัตนชาติ ช่วยบุดดา, 2544)

การขาดฟอสฟอรัสของพืช พืชจะมีใบสีเขียวเข้ม ปลายใบสีม่วง ลำต้นแคระแกรน ไม่ออกดอก ใบเสื่อมอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ สำหรับในข้าวจะมีลำต้นแคระแกรน มีทรงพุ่มแตกต่างจากต้นข้าวปกติ การพัฒนาการของรากจะเป็นไปอย่างช้า ทำให้ต้นข้าวจะล้มง่าย ใบด้านล่างๆ ของต้นข้าวเริ่มมีสีม่วงแกมเขียว การแตกกอจะลดลง การสุกแก่จะช้ากว่าปกติ เพราะออกดอกช้า ส่งผลกระทบต่อการสร้างเมล็ดทำให้เมล็ดที่ได้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา โดยทั่วไปแก้ปัญหาด้วยการใช้ปุ๋ยสูตรเดี่ยว ซูเปอร์ฟอสเฟต หรือทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต หรือปุ๋ยผสม สูตรที่มีธาตุอาหารตัวอย่างที่มีปริมาณสูง เช่น 12-24-6 เป็นต้น (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Barry and Miller, 1989 อ้างใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) แต่ถ้าต้นข้าวได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไป จะส่งผลกระทบต่อการดูดดึงธาตุสังกะสี (Zn) ลดลง การแตกกอลดลง ส่วนต่างๆ ของต้นข้าวจะมีสีเหลือง โดยเริ่มปรากฏระหว่างเส้นใบใกล้กับปลายใบ ทำให้ข้าวสุกแก่ช้าและผลผลิตต่ำ (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981)

2.3.1.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียม เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่และหิน เป็นวัตถุต้นกำเนิดของดินหลายชนิด ในดินโดยทั่วไปมีธาตุโพแทสเซียมกระจายทั่วไปทั้งดินชั้นบนดินชั้นล่าง และพบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลัก และมีความสำคัญสำหรับพืช

อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอนุมูลของเกลือที่ละลายได้ ไม่เกิดการแปรสภาพเป็นสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ และสามารถเคลื่อนที่ได้ในพืช ในทำนองเดียวกับไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และพบว่าดินนาบางพื้นที่มีองค์ประกอบของดินเป็นแร่ดินเหนียวประเภทอิลไลต์หรือมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญของโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยจะดูดซับโพแทสเซียมไว้ และสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ ดินเหล่านี้จึงมีความสามารถในการรักษาระดับโพแทสเซียม จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินนาเหล่านี้ ปุ๋ยที่ใช้จึงเป็นปุ๋ยสูตร 16-20-0 เป็นต้น (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่สำคัญในโครงสร้างของเอนไซม์ที่สำคัญมากกว่า 30 ชนิด โพแทสเซียมทำให้กระบวนต่างๆ ในต้นข้าวสมบูรณ์ขึ้น ช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโตทำให้ต้นข้าวแข็งแรงไม่ล้ม สามารถต้านทานโรคและแมลงได้ดีขึ้น ช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์ มีเมล็ดขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักดี และส่งเสริมการพัฒนาการของรากข้าวช่วยให้รากดูดน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ต้นข้าวสามารถทนแล้งได้ดี (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) นอกจากนี้ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ต่างๆ จำเป็นต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารและสารบางชนิดในการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543)

โพแทสเซียมมีผลอย่างเด่นชัดเกี่ยวกับจำนวนดอกและเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อรวง โดยข้าวจะนำไปสร้างดอก สร้างเมล็ด และทำให้ละอองเกสรแข็งแรงมากกว่าการแตกกอ (Von Uexkull, 1976) ซึ่งมีความสอดคล้องกับอิทธิพลของปุ๋ยโพแทสเซียมที่เติมลงในดินนามีผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น คือ จำนวนรวงต่อตารางเมตร เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น (Mondal, Dasmahapatra and Chatterju, 1982) โดยที่โพแทสเซียมจะช่วยให้ใบธงของข้าวสามารถดำเนินกิจกรรมทางกระบวนการทางสรีรวิทยาได้ดี มีผลทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้น (Ishizuka and Tanaka, 1951; Kiuchi and Ishizaka, 1961) รวมทั้งความสูงของต้นข้าวจะเพิ่มขึ้นเช่นกันเมื่อได้รับปุ๋ยโพแทสเซียม แต่ไม่มีผลต่อการแตกกอของข้าว (Feng and Saldana, 1978; Ismunadji and Parlohasdjono, 1979)

ต้นข้าวที่ขาดโพแทสเซียมจะมีอาการใบเป็นสีเหลือง และน้ำตาลเข้มคล้ายสนิมที่ปลายใบและขอบใบ โดยเริ่มจากปลายใบเข้าสู่กลางใบ จนในที่สุดส่วนที่เป็นสีน้ำตาลจะแห้งและเหี่ยว ต้นข้าวจะเตี้ย แคระแกรน ความต้านทานต่อโรคและแมลงลดลง ลำต้นอ่อนและหักล้มง่าย รวงข้าวสามารถโผล่จากกาบใบได้บางส่วนเท่านั้น เมล็ดข้าวมีขนาด และจำนวนต่อรวงลดลง รวมทั้งมีน้ำหนักเบาผิดปกติ โดยทั่วไปดินนาที่เป็นดินเหนียวจะมีธาตุโพแทสเซียมอยู่มากเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่ถ้าเป็นดินทรายจะขาดโพแทสเซียม เพราะดินทรายไม่

สามารถยึดติดกับอนุภาคของดินได้ดีเท่ากับดินเหนียว เนื่องจากดินทรายมีอินทรียวัตถุต่ำ ในการปลูกข้าวในนาที่ดินทรายจึงจำเป็นจะต้องใส่ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมเพิ่มเติม นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความเป็นพิษเนื่องจากเหล็กอีกด้วย หากต้นข้าวได้รับธาตุโพแทสเซียมมากเกินไป จะทำให้การสุกแก่ของข้าวช้ากว่าปกติ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981)

2.3.2 ธาตุเสริมประโยชน์

ซิลิกอน (Si) ในดินจะอยู่ในรูปของซิลิกา (SiO_2) ซึ่งอาจเป็นผลึกหรืออสัญฐาน (Amorphous) และในรูปของซิลิกา (Silicate) ถูกดูดซับหรือตกตะกอนร่วมกับ Hydrous oxide ของ Al^{3+} Fe^{3+} และ Mn^{4+} ส่วนซิลิกอนที่ข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ละลายอยู่ในสารละลายดินในรูปของกรดโมโนซิลิซิก (Monosilicic acid; $Si(OH)_4$) ซึ่งอยู่ในสมดุลกับ SiO_2 ในดิน (Yoshida, 1975) ดินนาเมื่อขังน้ำความเข้มข้นของซิลิกอนในสารละลายดินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากการขังน้ำ และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อดินขังน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้นและอาจมีค่าต่ำกว่าในช่วงแรกของการขังน้ำ (Ponnamperuma, 1972; Yoshida, 1981) ปริมาณซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยซิลิกอนที่ถูกดูดซับกับ hydroxide ของเหล็ก และอะลูมินัม (Imaizumi and Yoshida, 1958) และการละลายได้ของซิลิกอนจะไม่ขึ้นอยู่กับ pH ช่วง 2-9 (Iler, 1979; Tisdale, Nelson and Beaton, 1985)

ซิลิกอน ไม่ได้จัดอยู่ในธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช (Non essential nutrient) แต่จัดว่าเป็นธาตุเสริมประโยชน์สำหรับพืช (Beneficial nutrient) (Rahman, Kawamura and Kayama, 1998; Sommer, 1926; Yoshida, 1975) และเป็นธาตุที่ข้าวต้องการปริมาณมาก เพราะมีประโยชน์ทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของข้าว รวมถึงมีบทบาทสำคัญทางสรีรวิทยา (Takahashi, Ma and Miyake,1990; Yoshida, 1975) มีหน้าที่ทำให้ต้นข้าวสามารถต้านทานต่อโรค และแมลง เนื่องจากซิลิกอนจะตกผลึกในผนังเซลล์ชั้นนอก และเคลือบอยู่ตามผิวของใบหรือส่วนต่างๆ ของลำต้น ทำให้ผนังเซลล์หนาและแข็ง จึงเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำลายของโรค แมลง และไร เป็นต้น ทำให้ใบตั้งตรง (Erect leaves) ใบไม่ลู่ (Drooping) ถือว่าเป็นลักษณะดีของใบข้าวที่สามารถจะรับแสงแดดได้มากโดยไม่บังแสงแดดซึ่งกันและกัน ทำให้พื้นที่ใบในการรับแสงแดดมากขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง อีกทั้งต้นข้าวมีความแข็งแรง การล้มของต้นข้าวลดลง ล้วนส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น (Imaizumi and Yoshida, 1958; IRRI ,1967; Takahashi, 1968) ช่วยลดปริมาณการสูญเสียน้ำจากใบเนื่องจากขบวนการคายน้ำ (Transpiration) เพราะมี Cuticle ที่หนาขึ้น (Yoshida, 1975) ส่งเสริมให้ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีขึ้น เนื่องจากข้าวที่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้สูงมักจะมีปริมาณของซิลิกอนในต้นสูงด้วย เพราะผลจากซิลิกอนที่

ทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ข้าวสามารถสร้างแป้งและน้ำตาลได้มากขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการดูดดึงปุ๋ยขึ้นมาใช้จึงสูงขึ้นตามไปด้วย (Yoshida, Naveser and Ramirez, 1969)

ซิลิกอนมีผลทำให้ความสูงของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในการช่วยเพิ่มการแตกกอของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (รัตนชาติ ช่วยบุดดา, 2544) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ma, Nishimura and Takahashi (1989) ที่พบว่า ซิลิกอนมีผลทำให้การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวเพิ่มขึ้น โดยอิทธิพลของซิลิกอนจะมีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวค่อนข้างชัดในช่วงหลังของการเจริญเติบโตของข้าว (reproductive) และข้าวจะเริ่มดูดดึงซิลิกอนได้มากขึ้นหลังจากที่ผ่านระยะการแตกกอ (Tillering stage) (Kato and Owa, 1990) การใส่ซิลิกอนร่วมกับฟอสฟอรัสยังมีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของจำนวนเมล็ดในรวง และจำนวนเมล็ดดีของข้าวสูงขึ้น ซึ่งทำให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว แสดงว่า การใส่ซิลิกอนร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งเสริมให้ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (Friesen et al., 1994)

ซิลิกอนยังมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบพวกซิลิเกตจะลดการตรึงฟอสเฟตในดินที่มีการตรึงฟอสเฟตสูง โดยสารประกอบพวกซิลิเกตจะเข้าไปแทนที่ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัม ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Takahashi, 1968)

ในทำนองเดียวกันซิลิกอนยังช่วยเพิ่ม Oxidation power ของรากพืช มีผลทำให้ลดความเป็นพิษของเหล็กและแมงกานีส โดยซิลิกอนจะทำปฏิกิริยากับอลูมินัมเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในรูปของ Aluminosilicate ตกตะกอนบริเวณผนังเซลล์ของรากข้าว และมีผลยับยั้งการดูดดึงอลูมินัมที่มากเกินไป ทำให้การดูดดึงอลูมินัมในข้าวลดลง (Hammond, Evans and Hodson, 1995) อีกทั้งยังมีส่วนช่วยลดความพิษของเหล็กและแมงกานีสที่มากเกินไป เนื่องจากซิลิกอนจะส่งเสริมให้รากมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงขึ้น รากจึงสามารถออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษต่อข้าว (Tadano and Yoshida, 1978)

การที่ต้นข้าวขาดซิลิกอนอาจจะเกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรือหลายสาเหตุดังนี้ คือ ในดินนามีวัตถุต้นกำเนิดที่มีซิลิกอนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ การเคลื่อนย้ายฟางข้าวออกไปจากพื้นที่นาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ซิลิกอนที่พืชดูดขึ้นมาไว้ในฟางข้าวถูกเคลื่อนย้ายออกไปด้วย เพราะซิลิกอนจะสะสมอยู่ในฟางข้าว 2-10 % เนื่องจากต้นข้าวจะดูดซิลิกอนจากดินมาใช้มากกว่าธาตุอื่นๆ สำหรับต้นข้าวที่ขาดซิลิกอนมีผลทำให้ใบลู่ (Drooping leaves) ประสิทธิภาพในการรับแสงน้อยลง ต้นข้าวมีความสามารถในการต้านทานต่อโรคและแมลงน้อยลง และล้มง่าย รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนมากเกินไปจะเป็นการเพิ่มมวลชีวภาพของต้นข้าว ทำให้ความ

เข้มข้นของซิลิกอนในเนื้อเยื่อของพืชต่ำ มีลักษณะเหมือนกับการขาดซิลิกอน ในดินที่มีซิลิกอนต่ำหรือปลดปล่อยซิลิกอนออกมาได้น้อย ควรแก้ปัญหา โดยการจัดการฟางข้าวและแกลบที่เหมาะสม เช่นไถกลบฟางข้าวและแกลบลงไปในดิน หรือการใช้สารประกอบที่มีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Calcium silicate ใส่อัตรา 20 -32 กิโลกรัม/ไร่ หรือ Potassium silicate ใส่อัตรา 6-10 กิโลกรัม/ไร่ (อานนท์ สุขสวัสดิ์, 2547)

2.4 แหล่งของธาตุอาหารหลักและธาตุเสริมประโยชน์ของข้าว

แหล่งธาตุอาหารของข้าวตามปกติแล้ว มักจะนึกถึงปุ๋ยเคมี ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักสูง และอยู่ในรูปที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที ขณะเดียวกันเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์ของข้าวล้วนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวได้

2.4.1 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี เป็นปุ๋ยประเภทอนินทรีย์ เป็นสารเคมีเช่นเดียวกับเกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีความจำเป็นต่อร่างกายของคนเรา ได้มาจากการผลิตหรือสังเคราะห์ทางอุตสาหกรรม จากแร่ธาตุ และก๊าซที่ได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นปุ๋ยเคมีจึงเป็นสารประกอบทางเคมี ที่มีธาตุอาหารพืชจำพวกไนโตเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) โดยวัตถุประสงค์ที่จำเป็นต้องมีการผลิตปุ๋ยเคมี เนื่องจากว่าปัจจุบันธาตุอาหารพืชในดินที่ใช้ทำการเพาะปลูกมีอยู่น้อยจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชที่ปลูกนั้น แล้วจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมี เพิ่มเติมให้ตามความจำเป็น หรือกล่าวอีกอย่างก็คือ ปุ๋ยเคมีผลิตมาเพื่อให้เกษตรกรนำมาใช้เพื่อปรับปรุงดินด้านการเพิ่มเติมธาตุอาหารพืชให้เหมาะสมกับสภาวะความอุดมสมบูรณ์ของดินและของชนิดพืชที่ปลูกนั้นๆ ได้ดีขึ้นนั่นเอง เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพทางด้านโภชนาการ เช่น โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ ครบถ้วนสมบูรณ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภค (มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547)

ปุ๋ยเคมี ประกอบด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติละลายน้ำง่าย จึงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปที่รากพืชดูดดึงขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ทันที พืชตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเคมีได้เร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ มีธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักมาก เมื่อเทียบกับปุ๋ยชนิดอื่นๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด เป็นต้น นับว่าเป็นข้อดี คือ สามารถใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถให้ธาตุอาหารแก่ดินได้เพียงพอกับความต้องการพืช ทำให้ประหยัดทั้งแรงงานและธาตุอาหารที่ใส่ ลงไปในดิน (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2528)

ปุ๋ยเคมีที่ผลิตออกมาจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ แม่ปุ๋ย (Straight fertilizer หรือ Fertilizer carriers) และปุ๋ยผสม (Mixed fertilizer)

(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547; ยงยุทธ โอสถสภา, 2528; สถาบันวิจัยข้าว, 2544; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2521)

แม่ปุ๋ยส่วนใหญ่ที่ผลิตออกมา ประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจน (Nitrogen carriers) ได้แก่ แม่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก เช่น ปุ๋ยยูเรีย (46 %N) ปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยฟอสฟอรัส (Phosphorus carriers) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสเป็นหลัก เช่น ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (45 $\%P_2O_5$) หรือปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (46 $\%P_2O_5$ และ 18 %N) และปุ๋ยโพแทสเซียม (Potassium carriers) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้โพแทสเซียมเป็นหลัก เช่น ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 $\%K_2O$) หรือปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรท (46 % K_2O และ 13 %N)

สำหรับปุ๋ยผสม คือ ปุ๋ยเคมีที่ได้มาจากการนำแม่ปุ๋ยตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกันเข้าเพื่อให้ได้ปุ๋ยผสมที่มีปริมาณและสัดส่วน ของธาตุอาหารทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เช่น ปุ๋ยสูตร 17-17-8 ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส อย่างละ 17 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 8 กิโลกรัม ในปุ๋ยผสม 100 กิโลกรัม ซึ่งอยู่ในรูปปุ๋ยผสมปั้นเม็ด หรือปุ๋ยคอมปาวด์ และปุ๋ยผสมธรรมดา (ปุ๋ยผง ปุ๋ยเกล็ด ปุ๋ยน้ำ และปุ๋ยผสมคลุกเคล้า) ข้อดีของปุ๋ยผสมปั้นเม็ดหรือปุ๋ยคอมปาวด์ คือ ทุกเมล็ดของปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณของธาตุอาหารกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอการนำไปใช้จะง่ายและสะดวก

ปุ๋ยเคมีมีธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักมาก นับว่าเป็นข้อดี แต่ก็มีข้อเสีย คือ มีราคาแพง และถ้าต้นข้าวได้รับปริมาณมากเกิดอาการเฝือใบ และล้มง่าย เป็นต้น (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) นอกจากนี้ยังมีข้อควรระวังที่สำคัญในการใช้ปุ๋ยเคมี คือ เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานจะทำให้ดินแข็ง หมดสภาพความโปร่งและร่วนซุย เพราะปุ๋ยเคมีไม่มีคุณสมบัติในด้านการปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน และเนื่องจากปุ๋ยเคมีเป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ง่าย จึงมีความเค็ม ถ้าใช้ไม่ระมัดระวัง เช่น ใส่ลงในดินเป็นจำนวนมาก และปล่อยให้สะสมอยู่ที่โคนต้นหรือที่ใบมากเกินไป ก็จะเป็นอันตรายแก่พืช คือ ทำให้พืชมีใบไหม้ หรือต้นเหี่ยวเฉาตายได้ ถ้าใส่โคนเมล็ดพืชที่กำลังงอกก็จะทำให้ต้นอ่อนตายหรือเสียหายได้ง่าย อีกทั้งการใส่ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมติดต่อกันเป็นเวลานานในการปลูกพืชจะทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2521) กรณีที่เป็นปุ๋ยผสมในกระบวนการปั้นเม็ดปุ๋ย จำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการผสมแม่ปุ๋ยกับอินทรีย์สารต่างๆ เช่น เปลือกถั่วและฝ้าย แกลบ ต้นยาสูบ กากเมล็ดฝ้าย และปลาป่นหรือเลือดไก่ เป็นต้น หรือดินและทราย หรืออาจเป็นกากของเสียจากภาคอุตสาหกรรม และในบางครั้งมีการเติมวัสดุป้องกันการจับตัวของเม็ดปุ๋ยหรือวัสดุเคลือบเม็ดปุ๋ย ได้แก่ ผงไดอะตอม ดินเหนียวคาโอลิน และแร่จำพวกแป้งและผงชอล์ก

(ยงยุทธ โอสถสภา, 2528; Anonymous, 1979) ซึ่งล้วนแล้วทำให้ปุ๋ยเคมีชนิดผสมมีโอกาสเสี่ยงในการปนเปื้อนธาตุพิษได้

2.4.2 เถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยลิกไนต์เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรือเป็นเชื้อเพลิง ถ่านหินที่นำมาใช้เป็นทรัพยากรพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่นเดียวกับน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนมีแหล่งกำเนิดมาจากแหล่งเดียวกัน คือ การทับถมของซากพืชซากสัตว์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อหลายสิบล้านปีมาแล้ว ผ่านการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลก จากความกดดันของน้ำหนักที่กดทับ รวมทั้งความร้อนจากภายในโลก ทำให้ซากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้แปรสภาพเป็นถ่านหิน ในทางธรณีวิทยาได้จัดแบ่งถ่านหินออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ลิกไนต์ (Lignite) ซับบิทูมินัส (Subbituminous) บิทูมินัส (Bituminous) และแอนทราไซต์ (Anthracite) ตามคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้นเถ้าถ่าน สารระเหยเร็ว และปริมาณคาร์บอน

2.4.2.1 แหล่งกำเนิดเถ้าลอยลิกไนต์

โรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ที่อุณหภูมิ 900-1,000 องศาเซลเซียล ซึ่งได้พลังงานความร้อนส่งผ่านไปให้น้ำจนเดือดกลายเป็นไอ และมีความดันไอสูง และหมุนกังหันไอน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป การเผาไหม้นั้นทำให้เกิดของเหลือทิ้ง ได้แก่ ก๊าซต่างๆ เถ้าหนัก (Bottom ash) และเถ้าลอย (Fly ash) โดยเถ้าหนักเกิดจากอนุภาคเล็กๆ ปะทะกันเอง หรือปะทะกับผนังเตา แล้วหลอมติดกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่เรียกว่า ตระกรัน เมื่อมีปริมาณมากขึ้นตะกรันจะหล่นลงมาสู่ก้นเตา มีปริมาณร้อยละ 15-25 ของน้ำหนักถ่านหินทั้งหมด ขณะเดียวกันเถ้าลอยลิกไนต์จะมีขนาดอนุภาคเล็กที่หลงเหลืออยู่ (Residue) ในเตาเผา และลอยออกมาพร้อมกับไอร้อนไปยังบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำลง การลดลงของอุณหภูมิอย่างกะทันหันจากร้อนเป็นเย็นทำให้อนุภาคของเถ้าที่ใกล้จุดหลอมเหลวกลับเย็นตัวลงและรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคทรงกลมในขนาดต่างๆ ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 75-80 ของเถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเตาเผา เถ้าลอยลิกไนต์จะถูกดักจับไว้ ไม่ให้ลอยปะปนไปสู่บรรยากาศ ด้วยเครื่องดักจับเถ้าลอยลิกไนต์ด้วยเครื่องไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator) จะดักและแยกเถ้าลอยที่มีขนาดเล็กและเบาออกจากก๊าซร้อน แล้วนำไปรวบรวมเก็บไว้ในไซโล ในระหว่างการเผาไหม้จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ธาตุที่มีอยู่ในถ่านหินและบางส่วนเผาไหม้ไม่หมดให้กลายเป็นแร่ธาตุในรูปแบบซึ่งไม่เป็นผลึกที่แน่นอนของโลหะหลายชนิด ส่วนประกอบหลักของเถ้าลอยที่ตรวจพบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ Non-crystalline structure (อัญรูป) ได้แก่ ซิลิกา อลูมินา

เหล็ก และมีส่วนประกอบย่อยอื่นๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมในปริมาณเล็กน้อย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544)

2.4.2.2 สมบัติทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยลิกไนต์มีคุณสมบัติเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 10-12 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2530; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546) มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบปริมาณมากทำให้เถ้าลอยลิกไนต์แสดงความเป็นด่าง (Han and Jiang, 2001; Ma et al., 1999) ดังนั้น จึงมีการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุง pH ของดิน เช่น การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาช่วยทำให้ดินกรด (Acidic soil) เป็นกลาง ซึ่งจะต้องใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณที่มากกว่าปกติหลายเท่าในการปรับค่า pH ให้สูงขึ้น (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546; Phung, Lund and Page, 1978) จากการทดลองยกระดับ pH ของดินให้ได้เท่ากับ 7.00 โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (pH = 10.25) ในดินเหนียว (pH = 5.87) และในดินร่วน (pH = 5.00) จะต้องเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 14.2 และ 16 ตัน/ไร่ ขณะที่เติมปูนมาร์ล ($CaCO_3$) เพียง 1 ตัน/ไร่ จึงเท่ากับว่าต้องเติมเถ้าลอยลิกไนต์มากเป็น 15-18 เท่าของการเติมปูนมาร์ล แสดงว่าการยกระดับ pH ของดินกรดด้วยเถ้าลอยลิกไนต์มีความเป็นไปได้น้อย ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในดินที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (Calcareous soil) สามารถยกระดับ pH จาก 8.0 เป็น 10.8 (Page, Elseewi and Straughan, 1979)

เถ้าลอยลิกไนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญโตของข้าว โดยเฉพาะธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ในปริมาณ 600-2,500 ppm และ 1,534-34,700 ppm ตามลำดับ และซิลิกอน (Si) ซึ่งเป็นธาตุเสริมประโยชน์ ในปริมาณ 196,000-271,000 ppm ขณะเดียวกันไนโตรเจนมีปริมาณน้อยมาก นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารรองได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S) ในปริมาณ 5,400-177,100 ppm 4,900-58,000 ppm และ 0.11-0.25 ppm ตามลำดับ รวมทั้งจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในปริมาณ 7,800-289,000 ppm 31-4,400 ppm 30-3,020 ppm และ14-13,000 ppm ตามลำดับ ซึ่งล้วนเป็นธาตุอาหารที่ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวเช่นกัน แต่ส่วนใหญ่แล้วธาตุอาหารเหล่านี้อยู่ในรูปของออกไซด์ของโลหะหลายชนิดที่ซับซ้อน เนื่องจากความร้อนในเตาเผาก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมี (วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2537) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีจะมีปริมาณที่แตกต่างกันตามแหล่งกำเนิดของถ่านหินลิกไนต์ สำหรับธาตุพิษที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีในเถ้าลอยลิกไนต์นั้น พบว่ามีแคดเมียม (Cd) อลูมินัม (Al) นิกเกิล (Ni) และสารหนู (As) ในปริมาณ 0.1-250 ppm 11,500-144,000 ppm 1.8-8,000 ppm และ 2.3-1,700 ppm ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544; Adriano et al., 1980; U.S.EPA, 1988)

2.4.2.3 การใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ในการปลูกข้าว

การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยลิกไนต์ในการปลูกข้าว มีผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยของเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเป็น 650 775 882 911 และ 922 ถัง/ไร่ ตามลำดับ และส่งผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเพิ่มขึ้น โดยมีจำนวนเมล็ดต่อรวงเพิ่มจาก 108 เป็น 109 118 130 และ137 ตามลำดับ แต่ไม่มีผลทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น คือ อยู่ในช่วง 27-28 กรัม ซึ่งเป็นอัตราปกติ เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 0.5 1 1.5 และ 2 ตัน/ไร่ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมพัฒนาที่ดิน, 2541) เช่นเดียวกันเมื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก และน้ำหนักแห้งของฟางข้าวเพิ่มขึ้น อีกทั้งในส่วนของฟางข้าว และเมล็ดข้าวเปลือก มีปริมาณทั้งหมดของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มากกว่าดินเดิม และดินที่เติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว สามารถจะนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ต่อไปได้ (กนกพร ชัยวุฒิกุล, 2544) ส่วนการทดลองเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในภาคสนามของประเทศอินเดียในกับพืชชนิดอื่น ได้แก่ ข้าวสาลี มัสตาร์ด และข้าวโพด พบว่าผลผลิตเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 1.6 ตัน/ไร่ ผลผลิตข้าวสาลีเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 3.2 ตัน/ไร่ และลดลงเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์มากกว่านี้ แต่ยังมีปริมาณมากกว่าเมื่อไม่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และมัสตาร์ด เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 1.6 ตัน/ไร่ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Naveen et al., 1998)

ถึงแม้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยธาตุพิษ เช่น แคดเมียม อลูมินัม นิกเกิล และสารหนู ซึ่งการละลายได้ของธาตุพิษทุกชนิดมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) (Siriratpiriya,Vigerust and Selmer-Olsen, 1985) โดยธาตุพิษจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทางเคมี เมื่อ pH ของดินเปลี่ยนแปลง ค่า pH ที่สูงของเถ้าลอยลิกไนต์สามารถลดการละลายของธาตุบางชนิดได้ (Scotti, Silva and Botteschi, 1999) จากการทดลองพบว่า ค่า pH ที่สูงขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ความเข้มข้นของเหล็ก และแมงกานีส ลดลง เนื่องจากเกิดกระบวนการตกตะกอนของธาตุ เมื่ออยู่ในสารละลาย ขณะที่ความเข้มข้นของ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี มีปริมาณลดลงเช่นกัน (Albanis, 1998) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตราที่สูงในดินทำให้ค่า pH สูงขึ้นอาจลดความเป็นประโยชน์ของธาตุบางชนิดที่จำเป็นสำหรับการเจริญของพืช (Han and Jiang, 2001; Matsi and Keramidas, 1999) แต่จากการศึกษาวิจัย พบว่า ความเสี่ยงจากธาตุพิษมีน้อยมาก เมื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 0.5-2 ตัน/ไร่ ไปใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และสิทธิพร เกตุสุวรรณ, 2546)

2.4.3 ปุ๋ยหมักฟางข้าว

ปุ๋ยหมักฟางข้าว เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ได้จากการนำฟางข้าวมาหมัก หรืออาจผสมสารเคมีเข้าไปด้วยเพื่อช่วยให้ปุ๋ยหมักมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้น และยังช่วยให้อินทรียวัตถุสลายตัว

ได้เร็วขึ้นอีกด้วย โดยการกองซ้อนกันบนพื้นดิน เศษฟางข้าวที่นำมาหมักนั้นจะผ่านกระบวนการการย่อยสลายจนแปรสภาพไปจากรูปเดิม โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้อินทรียวัตถุที่มีความคงทนไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 (คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541) ขณะที่ฟางข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าวนั้น เป็นวัสดุเหลือใช้ทางด้านเกษตรกรรม จากการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมพบว่าในพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยประมาณ 321 ล้านไร่ เป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวรวมทั้งหมดประมาณ 61.1 ล้านไร่ (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2545) ซึ่งปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 25.45 ล้านตัน/ปี (เกษม ทั่งทอง และเมธา วรรณพัฒน์, 2528) ถือได้ว่าฟางข้าวมีปริมาณมาก หาได้ง่าย และมีราคาถูก จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และต้องมีการจัดการที่ดีและเหมาะสม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

ประกอบกับในปัจจุบันมีการจัดการ และการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การเผาฟางข้าว เป็นวิธีที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมทำหลังจากนวดข้าวเสร็จแล้ว เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก และประหยัดเวลาในการเตรียมดิน สามารถที่จะกำจัดวัชพืช แมลงศัตรูพืช ทำลายโรคแมลงที่ติดอยู่กับฟางข้าว แต่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ อีกทั้งความร้อนจากการเผาฟางจะแผ่ไปทั่วผิวดินทำให้ดินมีอุณหภูมิสูง ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (Hungerford et al., 1991) การเคลื่อนย้ายฟางข้าว (Removal of Straw) เป็นวิธีนำฟางข้าวออกจากไปใช้วัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ใช้เป็นอาหารหรือรองพื้นคอกสัตว์ ใช้ในการเพาะเห็ดฟาง เป็นแหล่งเชื้อเพลิง ใช้คลุมแปลงผัก และนำไปวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น และการเคลื่อนย้ายฟางข้าวออกไปจะสูญเสียธาตุโพแทสเซียม และซิลิกอนในดินเป็นจำนวนมากกว่าธาตุอื่นๆ โดยการเคลื่อนย้ายฟางข้าว 1,000 กิโลกรัมจะสูญเสียโพแทสเซียมและซิลิกอนไป 1.92-2.72 และ6.4-11.2 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (Doberman and Fairhurt, 2000)

สำหรับการไถกลบฟางข้าว (Incorporation) มีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินนา และปรับปรุงบำรุงดินนาให้มีความอุดมสมบูรณ์ รวมถึงทดแทนธาตุอาหารบางส่วนที่นำออกไปจากพื้นที่นาในรูปของผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยเก็บรักษาและสำรองธาตุอาหารไว้ในนาข้าวได้ในระยะยาว การไถกลบฟางข้าวต้องทำก่อนปลูก 1 เดือน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายในฟางข้าวที่สมบูรณ์ (วราภรณ์ คำบุญเรือง, 2538) แต่การไถกลบฟางข้าวจำเป็นต้องใช้รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ทำให้ชาวนาบางส่วนนิยมที่จะเผาฟางข้าวแทน (ประเสริฐ สองเมือง, 2543) รวมทั้งการปล่อยฟางข้าวทิ้งไว้ในพื้นที่นา (Spread in the field) คือการทิ้งฟางข้าวไว้ในพื้นที่นาเพื่อให้ผุสลายตัวเองตามธรรมชาติ ซึ่งอาจต้องใช้เวลานาน แต่ก็นับว่าเป็นนำธาตุอาหารจากฟางข้าวทั้งหมดจะกลับคืนสู่พื้นที่นาอีกครั้ง

2.4.3.1. องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าว

วัตถุดิบที่สำคัญในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว คือ ฟางข้าวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสประมาณ 36-40 % ลิกนินประมาณ 10-15 % เซลลูโลสจัดเป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย ส่วนลิกนินที่เป็นส่วนประกอบของฟางข้าวนั้นทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับฟางข้าวและย่อยสลายได้ยาก รวมทั้งฟางข้าวประกอบไปด้วย โปรตีน ไฟเบอร์ ขี้ผึ้ง น้ำตาล ขี้เถ้า และซิลิกา เป็นต้น (Clawson, Garret and Richards, 1970) นอกจากนี้ฟางข้าวยังประกอบไปด้วยธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจน 0.59 % ฟอสฟอรัส 0.08 % โพแทสเซียม 1.56 % แคลเซียม 0.38 % แมกนีเซียม 0.23 % ซัลเฟอร์ 0.08 % และซิลิกอน 0.8 % (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; Han, 1978) ซึ่งซิลิกาในฟางข้าวมีผลทำให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างช้าๆ เพราะซิลิกาในผนังของเซลล์พืชมีหน้าที่เสริมความแข็งแรงเช่นเดียวกับลิกนิน (Soest and Jones, 1968) และฟางข้าวมี C/N ratio = 70:1 ยากต่อการย่อยสลายตัวด้วยจุลินทรีย์ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540; ทวีคุปต์กาญจนากุล, 2546; ประเสริฐ สองเมือง; 2543) อย่างไรก็ตามการใส่ฟางข้าวสดจำนวนมากลงในดินต้นข้าวอาจได้รับอันตรายอย่างรุนแรงจาก N-mmobillization และดินเกิดขาดออกซิเจน การหลีกเลี่ยงจากความเสียหายดังกล่าวสามารถทำได้โดยทำปุ๋ยหมักฟางข้าวเสียก่อน ต้นข้าวจะเป็นการใช้ธาตุอาหารจากฟางข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Inoko, 1984)

การผลิตปุ๋ยหมักฟางข้าว โดยใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ ผสมกับ มูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรีย และสารเร่งพด.1 ที่ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และรา ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ได้ดี สามารถจะผลิตปุ๋ยหมักฟางข้าวในระยะเวลาสั้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ซึ่งปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ได้นั้นส่วนใหญ่ มีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอน ในปริมาณร้อยละ 0.39 0.19 0.70 และ 4.5 ของน้ำหนัก (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543) สอดคล้องกับการรายงานของ Tanaka (1978) ที่พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าว ได้แก่ ไนโตรเจน 0.07-1.07 % ฟอสฟอรัส 0.03-0.57 % โพแทสเซียม 0.09-2.22 % และซิลิกอน 0.01-16.4 % จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและแหล่งที่มาของฟางข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ขณะเดียวกันมีรายการการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักฟางข้าว 3 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย 1.26 % (สมศักดิ์ วังใน, 2519) และปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ทำจากฟางข้าว 7 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย 1.08 % (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540)

2.4.3.2 การใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมักฟางข้าว

การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือฟางข้าว ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 12 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ ในนาหว่านน้ำตมในแปลงเกษตรกร ทำให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

สูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 12 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ เพียงอย่างเดียว และใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว อัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ หรือฟางข้าว อัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี สูตร 12-6-6 อัตรา 18 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และสุพรรณบุรี 1 และปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาเพิ่มขึ้น (จามีกร ศรีสุมล และคณะ, 2548) นอกจากนี้ประเสริฐ สองเมือง (2543) พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2, 000 กิโลกรัม/ไร่ ติดต่อกัน 12 ปี มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย อีกทั้งการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวยังช่วยให้ดินดูดซับโพแทสเซียม (K^+) ได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวเมื่อสลายตัวแล้วจะได้ฮิวมัส มีประจุลบที่เกิดขึ้นหลังจากการแยกตัว (Dissociation) ของบางกรุ๊ปในอินทรียวัตถุ เช่น Carboxylic group (-COOH) และ Phenolic group (-OH) (ปรีดี ดีรักษา, 2537)

Ponnamperuma (1984) พบว่า การไถกลบฟางข้าวหรือการใส่ปุ๋ยหมักติดต่อกันระยะยาวมีผลทำให้อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และช่วยให้ผลผลิตข้าวเพิ่มสูงขึ้นกว่าการเผาฟางข้าวหรือเกี่ยวฟางข้าวออก รวมทั้งการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันระยะยาว (16 ฤดูกาลเพาะปลูก) ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเป็น 2.19 % สูงกว่าการไถกลบฟางข้าว เกี่ยวฟางออก และการเผาฟางข้าว ซึ่งมีค่าอินทรียวัตถุ 2.17 1.81 และ 1.94 % ตามลำดับ เป็นผลให้การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวเพิ่มไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงถึง 0.203 % สูงกว่าการไถกลบฟางข้าว การเกี่ยวฟางข้าวออก และการเผาฟางข้าวที่มีค่าไนโตรเจนทั้งหมด 0.192 0.167 และ 0.173 % ตามลำดับ อีกทั้ง Inoko (1984) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยหมักติดต่อกัน ทำให้ปริมาณธาตุอาหารสะสมในดิน และสลายตัวของธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น

การใช้ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวยังช่วยเพิ่มประสิทธิ์ภาพของปุ๋ยเคมีและการตรึงไนโตรเจน ส่งเสริมให้ต้นข้าวดูดดึงไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีไปใช้ประโยชน์มากขึ้น ลดการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนและทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (ประเสริฐ สองเมือง และคณะ, 2529; Vacharotayan and Takai, 1983) ขณะเดียวกันยังช่วยลดความเป็นของอลูมินัม และแมงกานีส พร้อมทั้งช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินนา (Buffer capacity) ทำให้การเปลี่ยนแปลงไม่เกิดขึ้นเร็วเกินไปจนก่อให้เกิดอันตรายต่อต้นข้าว (สุวพันธ์ อัตนะรัต และครรชิต ภูรมะโรหิต, 2526)

2.5 ข้าวปทุมธานี 1

ปทุมธานี 1 หรือสายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1 เป็นข้าวเจ้าหอมพันธุ์ใหม่ของสถาบันวิจัยข้าวที่ได้รับการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรในปี พ.ศ. 2543 เป็นพันธุ์ข้าวหอมไม่ไวต่อช่วงแสงสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี คัดเลือกได้จากการผสมพันธุ์ข้าวระหว่างสายพันธุ์ข้าวหอม BKNA6-18-3-2 เป็นสายพันธุ์แม่ และ PTT85061-86-3-2-1 เป็นสายพันธุ์พ่อ ทำการผสมพันธุ์ที่

ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2533 สายพันธุ์แม่ BKNA6-18-3-2 มีลักษณะความหอมที่ได้รับมาจากพันธุ์ข้าวกข 15 หรือข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่กลายพันธุ์ อายุเบา สายพันธุ์พ่อ PTT85061-86-3-2-1 ได้ลักษณะความหอมของข้าวหอมมะลิจากจังหวัดร้อยเอ็ดที่ชนะการประกวด ซึ่งจัดโดยกระทรวงพานิชย์ ในปี พ.ศ. 2525 จากการเริ่มดำเนินการผสมพันธุ์เมื่อ พ.ศ. 2533 ได้ปลูกคัดเลือกพันธุ์แบบสืบตระกูล (Pedigree method) จนถึงชั่วรุ่น (Generation) ที่ 6 แล้วนำไปปลูกศึกษาลักษณะพันธุ์ในปี พ.ศ. 2536 และผ่านการประเมินผลผลิต คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ และเคมี ความต้านทานโรคและแมลงศัตรูข้าวในงานทดลองการเปรียบเทียบผลผลิตข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงภายในสถานี และระหว่างสถานี ระหว่างปี พ.ศ. 2537 ถึง 2539 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี และสถานีทดลองข้าวในเครือข่ายรวม 5 แห่ง ได้รับการพิจารณาคัดเลือกให้เป็นข้าวสายพันธุ์ดีเพื่อนำไปทดสอบผลผลิตในนาราษฎร์ของภาคกลาง รวม 8 จังหวัด ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2540 ถึง 2542 ปทุมธานี 1 มีเสถียรการให้ผลผลิตสูง และให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงในสภาพแวดล้อมต่างกัน เช่นเดียวกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสามารถตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับ 6 ถึง 12 กิโลกรัม/ไร่ ในดินอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และประมาณ 18 กิโลกรัม/ไร่ ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ลักษณะเด่นของข้าวของปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ทั้งฤดูนาปี และนาปรัง มีความสูงของลำต้น 104-113 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวมีขน ใบแก่ช้า กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาว รวงอยู่ใต้ใบธง คอรวงสั้น จำนวนต้นต่อตารางเมตร 240-272 รวง/ตารางเมตร ความยาวรวง 29-34 เซนติเมตร มีอายุการเก็บเกี่ยว 104-126 วัน เปลือกเมล็ดสีฟาง ขนาดของเมล็ดเฉลี่ย ยาว 10.52 มิลลิเมตร กว้าง 2.47 มิลลิเมตร และหนา 1.95 มิลลิเมตร มีขน มีหาง ลักษณะเรียวยาว ท้องไข่ คุณภาพการสีดี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 650-774 กิโลกรัม/ไร่ และคุณภาพการหุงต้มจัดเป็นข้าวหุงสุกง่าย เมื่อหุงสุกมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ข้าวสุกมีสีขาวนวล ผิวค่อนข้างมัน เป็นข้าวนุ่มค่อนข้างเหนียว เช่นเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105

นอกจากนี้ยังสามารถต้านทานต่อโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลค่อนข้างสูง และเพลี้ยกระโดดหลังขาวในระดับปานกลาง สำหรับข้อควรระวังของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่า การต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้มได้น้อย ไม่ควรใช้ปุ๋ยในอัตราสูง โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน เช่น ปุ๋ยยูเรีย ถ้าเป็นพื้นที่นาที่มีความอุดมสมบูรณ์ดีปานกลาง ไม่ควรใช้เกิน 15 กิโลกรัม/ไร่ ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ฟางอ่อน ต้นข้าวล้มและผลผลิตลดลง และหากใช้ปุ๋ยยูเรียในเวลาที่ไม่เหมาะสมและมากเกินความจำเป็น จะทำให้ต้นข้าวเฝือใบ อาจทำให้หนอนม้วนระบาดรุนแรง และการเก็บเกี่ยวมีผลต่อคุณภาพข้าว นอกจากนี้ควรเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในระยะพลับพลึง หรือหลังจากข้าวออกดอก 28-30 วัน เนื่องจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ใบธงแก่ช้า จึงไม่ควรรอจนใบธงเหลืองหรือแห้ง เพราะอาจทำให้เมล็ดข้าวแตกหักได้ง่ายจากการสี ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงจึงควรปลูกข้าวใน

ระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงการเก็บเกี่ยวที่ตรงกับช่วงฝนตกชุก ข้าวที่เปียกน้ำจะทำให้คุณภาพเมล็ดเสื่อม ควรดูแลการตากหรืออบลดความชื้น ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงมาก มิฉะนั้นกลิ่นหอมของข้าวจะระเหยหายไป (ธีรพร บุศยอังกูล, 2543)