บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลูกข้าว หรือ ต้นข้าวตอซัง (Ratoon Tiller)

ลูกข้าว หรือ ต้นข้าวตอซัง (Ratoon Tiller) หมายถึง ต้นข้าวที่เกิดจากตอซังหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวจากต้นข้าวรุ่นหลัก (Main Crop) ที่ปลูกจากเมล็ด โดยลูกข้าวสามารถเกิดขึ้นได้หลายจุด เช่น บริเวณตาแขนง โคนตอซัง และที่ข้อต่อตอซัง (เจริญ ท้วมขำ, 2543; สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5, 2543) ความสามารถในการงอกของลูกข้าว จะขึ้นอยู่กับการมีชีวิตของตายอดที่ข้อบนตอซัง และปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งกระตุ้นให้ตายอดที่ข้อบนตอซังพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง เนื่องจากตายอดที่ข้อบนตอซังอาจอยู่ในระยะการเจริญเติบโตเดียวกัน (Chauhan et al, 1985) การปลูกลูกข้าวเรียกอีกอย่างว่า การปลูกข้าวด้วยตอซัง เป็นเทคโนโลยีชาวบ้านโดยเกิดจากภูมิปัญญาท้องถิ่น ซึ่งวิธีการปลูกข้าวด้วยตอซังนี้เกิดจากเกษตรกรเป็นผู้พบโดยบังเอิญซึ่งเป็นวิธีการปลูกข้าวโดยไม่ต้องใช้เมล็ดพันธุ์ ไม่ต้องเตรียมดิน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายใน 90 วัน (เจริญ ท้วมขำ, 2543)

2.1.1 วิธีการปลูกลูกข้าวหรือการปลูกข้าวด้วยตอซัง (Rice Ratooning หรือ Stubble Rice Cropping)

เมื่อถึงฤดูเก็บเกี่ยวของข้าวรุ่นหลัก ต้องทำการไขน้ำเข้าแปลงนาก่อนวันเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน เพื่อให้พื้นดินมีความชุ่มชื้น และทำการเกี่ยวข้าวระยะพลับพึง (ห้ามทำการเผาฟาง) จากนั้นทำการเกลี่ยฟาง (เจริญ ท้วมขำ, 2543) หากนำรถแทรกเตอร์มาไถทำให้ตอซังราบกับพื้นเรียกว่า "การปลูกข้าวแบบล้มตอซัง" สำหรับกรณีไม่ทำให้ตอซังแบนราบกับพื้นดิน เรียกว่า การปลูกข้าวแบบไม่ล้มตอซัง เมื่อหน่อลูกข้าวแตกใบประมาณ 3-4 ใบ ให้ไขน้ำเข้าแปลงนา (IRRI, 1993; เจริญ ท้วมขำ, 2543)

นอกจากนี้ ทวี คุปต์กาญจนากุล (2546) ได้จำแนกวิธีการปลูกข้าวตอซัง ได้เป็น 3 วิธีหลัก ดังนี้

1) การปลูกข้าวตอซังแบบไม่ข่มตอซัง (Conventional Ratooning) เป็นการปลูกข้าวจากตอซังแบบดั้งเดิมที่มีในหลายประเทศมานาน ส่วนมากเป็นการปลูกข้าวจากตอซังของข้าวรุ่นหลักที่ปลูกโดยวิธีปักดำ หรือหว่านแห้ง โดยทำการตัดแต่งตอซังที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลัก โดยให้ตอซังสูงจากพื้นดินประมาณ 10-20 เซนติเมตร หรือไม่ต้องตัดตอซังหาก

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอซังมีความสูงอยู่ในระดับที่เหมาะสม จากนั้นปล่อยให้ตอซังให้ยืนต้นตามธรรมชาติโดยไม่ต้องทำการข่มตอซังให้ราบไปกับผิวดิน ไม่ต้องปักดำต้นกล้าข้าว หรือหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวเพิ่มเติม และไม่ต้องไถพรวน แต่ต้องควบคุมความชื้นในนา ร่วมถึงต้องจัดการสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้เหมาะสม เพื่อกระตุ้นตายอดที่ข้อบนตอซังให้พัฒนาแตกหน่อกลายเป็นลูกข้าว หรือ ต้นข้าวตอซัง ซึ่งการเกิดต้นข้าวตอซังนี้สามารถเกิดจากการแตกตายอดที่ข้อเหนือผิวดิน (Upper Node) และ/ หรือ ข้อบริเวณผิวดิน (Basal/Lower Node) ซึ่ง Prashar (1970) ได้ศึกษาพบว่าการปลูกข้าวแบบไม่ข่มตอซัง ที่เกิดจากต้นข้าวรุ่นหลักที่ปลูกด้วยวิธีปักดำนั้นตายอดที่ข้อส่วนบนของตอซังจะพัฒนาเป็นต้นลูกข้าวก่อน จึงสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าตายอดที่ข้อส่วนล่าง ดังนั้นจึงทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกในรวงสุกแก่เร็วกว่ารวงของลูกข้าวที่เกิดจากตายอดที่ข้อบริเวณผิวดิน และนอกจากนี้ Iso (1954) พบว่าต้นข้าวตอซังที่เกิดจากตายอดที่ข้อเหนือผิวดิน ส่วนใหญ่จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) สูง ซึ่งมีลักษณะคล้ายต้นข้าวที่มีอายุมาก ดังนั้นการปลูกข้าวตอซังจะพบว่า ต้นข้าวตอซังที่เกิดจากตาบริเวณผิวดินจะให้ผลผลิตดีกว่า แต่ Sun et al (1988) ได้พบว่าลูกข้าวที่เกิดจากตายอดที่ข้อเหนือผิวดินนั้นจะให้รวงที่มีขนาดเล็กกว่า แต่มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและผลผลิต/รวงสูงกว่าลูกข้าวที่เกิดจากตายอดที่ข้อบริเวณผิวดิน อย่างไรก็ตามผลผลิตข้าวที่เกิดจากการปลูกด้วยวิธีปลูกข้าวตอซังแบบไม่ข่มตอซังมักเกิดไม่พร้อมกัน การเจริญเติบโตจึงไม่สม่ำเสมอ การออกรวงและการสุกแก่ของเมล็ดจะไม่พร้อมกัน จึงทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งได้ผลผลิตน้อย และคุณภาพเมล็ดค่อนข้างต่ำ

2) การปลูกข้าวตอซังแบบข่มตอซัง (Lock-Lodge Ratooning) เป็นการปลูกข้าวจากตอซังของข้าวรุ่นหลักที่ปลูกโดยวิธีปักดำ เพราะการปักดำเป็นวิธีการปลูกข้าวที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในประเทศฟิลิปปินส์ หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลัก โดยเกษตรกรจะไม่ตัดตอซังของข้าวรุ่นหลัก แต่จะข่มตอซังข้าวโดยทำให้แต่ละกอล้มราบกับผิวดินโดยใช้แรงงานคน ทำการสานตอซังให้ไขว้ทับกันอย่างเป็นระเบียบ ไม่ทำการพรวน และไม่มีการปักดำกล้าหรือหว่านเมล็ดพันธุ์เพิ่มเติม แต่ต้องควบคุมความชื้นในดินนา และทำการจัดการสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้เหมาะสมเพื่อกระตุ้นให้ตายอดที่ข้อบนตอซังพัฒนากลายเป็นหน่อลูกข้าว ซึ่งการเกิดเป็นลูกข้าวจะเกิดการแตกตายอดที่ข้อบริเวณผิวดินมากกว่าเกิดจากบริเวณข้อเหนือผิวดิน และเวลาในการแตกยอดใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกยอดออกเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงความสามารถในการสังเคราะห์แสง และการสะสมมวลชีวภาพได้มาก ส่งผลให้ต้นข้าวตอซัง หรือลูกข้าวที่เกิดขึ้นออกรวงในเวลาใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้สะดวกต่อการเก็บเกี่ยวผลผลิต จึงทำให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพเมล็ดดี

3) การปลูกข้าวตอซังแบบล้มตอซัง (Stubble-lodge Ratooning) เป็นการปลูกข้าวจากตอซังแบบพัฒนาที่เกิดจากการสังเกต คิด ทดสอบ พัฒนา และภูมิปัญญาของนายละเมียด ครุฑเงิน เกษตรกร/ช่าง ในอำเภอเมืองลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี เมื่อปี พ.ศ. 2539 (กรมวิชาการเกษตร, 2544) โดยการปลูกข้าววิธีนี้เป็นผลิตลูกข้าวจากตอซังของต้นข้าวที่ปลูกด้วยวิธีหว่านน้ำตม หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นหลักด้วยเครื่องนวด จากนั้นทำการกระจายฟางข้าวที่พ่นจากเครื่องซึ่งซ้อนทับกันเป็นแนวให้กระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงนา แล้วล้มตอซังให้ราบขนานกับผิวดินโดยใช้เครื่องล้มตอซัง (Mechanically Lodging) ซึ่งประดิษฐ์จากล้อรถยนต์ และไม่ทำการไถพรวน ไม่ต้องหว่านเมล็ดเพิ่มเติม ควบคุมความชื้นในนา และจัดการสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมเพื่อกระตุ้นให้เกิดการแตกตายอดที่ข้อ ซึ่งลูกข้าวที่เกิดขึ้นจากการปลูกด้วยวิธีนี้จะแตกตายอดบริเวณผิวดิน และส่วนน้อยจะเกิดบริเวณที่ข้อเหนือผิวดิน โดยที่ต้นลูกข้าวจะเกิดในเวลาใกล้เคียงกัน และการปลูกข้าววิธีนี้สามารถย้ายต้นข้าวตอซังไปบริเวณที่มีต้นข้าวไม่หนาแน่นได้ และวิธีนี้หากทำการดูแลต้นข้าวตอซังอย่างถูกวิธีสามารถให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงกับต้นข้าวที่ปลูกจากเมล็ด

2.1.2 การลดต้นทุนการผลิตข้าวโดยการปลูกข้าวด้วยตอซัง

จากการรายงานของสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 (2544) ระบุว่าการปลูกข้าวแบบล้มตอซังนั้นสามารถสร้างผลผลิตข้าว 800-900 กิโลกรัม /ไร่ ในขณะที่ใช้เวลาผลิตข้าวเพียง 90 วัน อีกทั้งสามารถลดค่าเตรียมดินประมาณ 150 บาท /ไร่ ลดค่าเมล็ดพันธุ์ประมาณ 300-400 บาท /ไร่ ลดค่าสารเคมีกำจัดวัชพืช 80-200 บาท /ไร่ และลดต้นทุนการกำจัดหอยเชอรี่ 60-80 บาท /ไร่ นอกจากนี้กรมวิชาการเกษตร (2544) รายงานว่า นายประยุทธ มณีน้อย เกษตรกร อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี ทำการปลูกข้าวด้วยตอซังเทียบกับการปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตม โดยใช้ข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 ข้าวตอซังรุ่นที่ 1 ข้าวตอซังรุ่นที่ 2 และข้าวตอซังรุ่นที่ 3 ให้ผลผลิต 820, 840 และ 680 กิโลกรัม /ไร่ คิดเป็นร้อยละ 92, 102 และ 91 ของผลผลิตข้าวที่ปลูกจากเมล็ดโดยวิธีหว่านน้ำตม ตามลำดับ ซึ่งการปลูกข้าวตอซังเป็นการรักษาสภาพแวดล้อม เพราะสามารถลดการใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืช และหอยเชอรี่ อีกทั้งลดปัญหาการเผาฟางข้าว โดยนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในการคลุมหน้าดินเพื่อรักษาความชื้นในแปลงนา (กรมวิชาการเกษตร, 2543) สำหรับในประเทศอินเดีย Reddy et al (1979) พบว่าการปลูกข้าวไวแสง พันธุ์ Intan ในแปลงเกษตรกร สภาพนาน้ำฝนได้ผลผลิตจากข้าวตอซัง ประมาณ 864 กิโลกรัม / ไร่ สูงกว่าผลผลิตข้าวรุ่นหลัก ซึ่งมีผลผลิต 544 กิโลกรัม /ไร่ ทั้งนี้การไม่ให้ปุ๋ยกับข้าวรุ่นหลัก แต่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับลูกข้าว พบว่าลูกข้าวสามารถให้ผลผลิตมากกว่าข้าวรุ่นหลักประมาณ 3.5 เท่า

2.1.3 ปัจจัยของการปลูกข้าวตอซัง

การปลูกข้าวตอซังมีปัจจัยหลายประการที่เสริมให้เกิดการแตกตายอด และพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการโดย ทวี คุปต์กาญจนากุล (2546)ได้รายงานดังนี้

1) พันธุ์ข้าว : ความสามารถในการจากตายอดเป็นต้นข้าวตอซังของข้าวแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างทางด้านแหล่งกำเนิด ชนิด สัณฐาน สรีระ อายุการเก็บเกี่ยว และองค์ประกอบภายในของข้าวแต่ละพันธุ์

2) อายุของพันธุ์ข้าว : ซึ่งอายุการเก็บเกี่ยวของพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อการพัฒนาตายอดเป็นต้นข้าวตอซัง โดยข้าวพันธุ์อายุสั้นสามารถพัฒนาตายอดได้เร็วกว่าข้าวพันธุ์อายุยาว

3) ปริมาณสารอาหารที่สะสมในตอซัง : ปริมาณสารอาหารที่เป็นประโยชน์ (Total Available Carbohydrate: TAC) ที่สะสมในตอซัง และในรากข้าวมีผลต่อการแตกยอดของต้นข้าว จากการศึกษาในพืชวงศ์หญ้า โดยเฉพาะหญ้าอาหารสัตว์ Ehara et al (1965) นอกจากนี้ Ichii and Sumi (1983) รายงานว่า สารอาหารที่สะสมในลำต้นและราก มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาตายอดที่ข้อบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซัง

4) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน : ต้นข้าวตอซังที่เกิดจากตาบนข้อที่ระดับความสูงที่ต่างกันมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ต่างกัน จากการศึกษาข้าวพันธุ์ Kagi Ben 2 พบว่าต้นข้าวตอซังที่เกิดจากตายยอดที่ข้อบริเวณผิวดิน มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีค่าสูงมีสมบัติคล้ายต้นข้าวอายุมาก ซึ่งถ้าต้นข้าวมีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำจะเกิดเป็นต้นข้าวตอซังที่สมบูรณ์กว่า (Iso, 1954 ; Chauhan et al, 1985)

5) การแก่ของใบข้าว : การแก่ของใบข้าวรุ่นหลักสัมพันธ์กับการเกิดหน่อ และผลผลิตข้าวตอซัง การแก่ของใบข้าว คือ การสลายตัวของสารคลอโรฟิลด์ในใบข้าว ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง มีการสะสมสารอาหารในต้นข้าวน้อยลง

6) ปริมาณไนโตรเจนในตอซัง : ธาตุไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อการแตกกอของต้นข้าว ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนจึงมีส่วนช่วยในการเกิดต้นข้าวตอซัง ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนมีผลต่อผลผลิตของข้าวตอซัง

7) สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช : สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ช่วยในการยืดต้น (Stem Elongation) ทำให้ลำต้นสูงขึ้น ชะงักการพัฒนาของตายอด (Lateral Bud) สารจำพวก Benzyladenine (BA), 2-Chloroethyl

Ammonium Chloride, GA3, Kinetin และ NAA ทำให้การเกิดต้นข้าวตอซังแตกต่างกันตามอัตราความเข้มข้น และระยะเวลาที่ใช้สาร การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแก่ต้นข้าวรุ่นหลัก

8) อุณหภูมิอากาศ : การสร้างใบและพัฒนาด้านลำต้นของข้าวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ โดยปกติต้นข้าวที่ปลูกในอุณหภูมิสูงมีการพัฒนาใบเร็วกว่าต้นข้าวที่ปลูกในอุณหภูมิต่ำ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงทำให้ตายอดบนตอซังพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังได้เร็วกว่า และมีจำนวนมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

9) การระบาดของโรคและแมลงศัตรูข้าว : โรคที่เคยระบาดในข้าวรุ่นหลักสามารถเกิดต่อเนื่องในข้าวตอซัง ทำให้เกิดความเสียหายส่งผลต่อจำนวนต้นข้าวตอซังได้

10) การจัดการตอซัง : วิธีการตัดต้นข้าวให้เหลือตอซังในระดับความสูงจากพื้นดิน ส่งผลให้จำนวนตายอดที่เหลืออยู่ของตอซังที่สูงกว่ามีมากกว่า แต่ไม่มีผลต่อการแตกตายอดมากนัก

11) การจัดการน้ำ : การปลูกข้าวตอซังใช้น้ำเพียงร้อยละ 60 ของการปลูกข้าวจากเมล็ด (Elias, 1969) ซึ่งระดับน้ำและความสูงของต้นข้าวตอซังต่อการพัฒนาตายอดบนตอซังจนกลายเป็นต้นข้าวตอซัง ซึ่งการให้น้ำหลังจากการเกี่ยวข้าวรุ่นหลักประมาณ 6 วันจะให้ผลดีกว่าการขังน้ำทันที

2.1.4 ข้อจำกัดของการปลูกข้าวตอซัง

การปลูกข้าวด้วยตอซังนั้นยังมีข้อจำกัดในการปลูก เช่น การสุกแก่ของเมล็ดข้าวนั้นมีระยะเวลาที่แตกต่างกัน จึงทำให้กำหนดวันเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ไม่แน่นอน ตลอดจนสภาพพื้นที่ต้องเป็นพื้นที่ที่มีการชลประทานทั่วถึง เพื่อสามารถมีน้ำในการทำนาตอนฤดูนอกเหนือจากฤดูทำนา

2.2 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาของเกษตรกร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาลักษณะ และปรับปรุงพันธุ์ให้บริสุทธิ์ตามหลักวิชาการจึงได้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม และเมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ดังนั้นรัฐบาลประกาศให้ขยายพันธุ์ส่งเสริมการปลูกได้ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2502 เป็นต้นมา สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เหมาะสมได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่

ลักษณะทั่วไป ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปีเท่านั้น ลักษณะลำต้นที่เจริญเติบโตเต็มที่สูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร ออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายนของทุกปี ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ขนาดเมล็ดข้าวกล้องยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดเรียวยาว ปลายเมล็ดบิดงอเล็กน้อย สีเหมือนฟางข้าว

ข้อดีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คือ ข้าวสุกมีกลิ่นหอม และเมล็ดอ่อนนุ่ม สามารถทนต่อสภาพแล้ง ดินเปรี้ยวและดินเค็ม คุณภาพการขัดสีดี เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง มีท้องไข่น้อย จึงสามารถนวดได้ง่ายเนื่องจากเมล็ดหลุดร่วงจากรวงได้ง่าย เป็นที่ต้องการของตลาด ขายได้ราคาดี

ข้อจำกัดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คือ น้ำหนักเมล็ดเบา ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ประมาณ 363 กิโลกรัม / ไร่ ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคใบหงิก แมลงบั่ว หนอนกอ เพลี้ยจักจั่น และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ต้นอ่อนล้มง่าย ทรงกอแผ่ออก ถ้าปลูกในบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงมากและสุกงอมเกินไปจะเก็บเกี่ยวยาก

2.3 เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite fly ash)

เถ้าลอยลิกไนต์เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยประมาณร้อยละ 20 ของถ่านหินลิกไนต์ที่ใช้เผาไหม้ สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ใช้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเถ้าลอยลิกไนต์มีลักษณะเบา ลอยตัว สามารถฟุ้งกระจายไปในบรรยากาศระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้นจึงมีการติดตั้งเครื่องดักจับเถ้าลอยลิกไนต์ด้วยระบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitatic System) เพื่อแยกเถ้าลอยลิกไนต์ออกจากก๊าซร้อนก่อนที่ปล่อยอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2540) ซึ่งลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์มีลักษณะค่อนข้างกลวง และมีลักษณะทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ประกอบไปด้วยธาตุอาหารพืช คือ ฟอสฟอรัส (P) 600-2,500 ppm โพแทสเซียม (K) 1,534-34,700 ppm เหล็ก (Fe) 7,800-289,000 ppm และธาตุพิษ คือ อาร์เซนิก (As) 2.3-1,700 ppm แคดเมียม (Cd)0.1-250 ppm นิกเกิล (Ni) 1.8-8,000 ppm และอลูมิเนียม (Al) 11,500-144,000 ppm (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2540; U.S.EPA, 1988)

2.3.1 การใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดิน

เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash) มีลักษณะค่อนข้างกลมและกลวงจึงสามารถปรับปรุงเนื้อดิน (Soil Texture) จึงทำให้ดินเหนียวและดินทรายมีโครงสร้างดีขึ้น (Chang et al,1989) ทำให้เนื้อดินมีช่องว่างสำหรับเก็บกักน้ำเพื่อให้พืชใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีขึ้นซึ่งจะเป็น

ลักษณะของดินทรายแป้ง (Millar, Turk and Foth, 1965) และด้วยคุณสมบัติการอุ้มน้ำได้ดีของเถ้าลอยลิกไนต์ช่วยในการซึมผ่านของน้ำในสนามปลูกหญ้า เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash) มีความสามารถดูดซึมน้ำได้รวดเร็ว และสามารถปล่อยน้ำออกมาในเวลาที่แห้งแล้งได้ดี จึงช่วยในเจริญเติบโตของพืชได้(Patterson and Henderionsand Adams, 1968) นอกจากนี้ Millar, Turk and Foth (1965) ได้ศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นในดิน (Soil Moisture Content) ในแปลงควบคุม และแปลงที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 800 ตัน/เอเคอร์ นั้นมีความสามารถเก็บสะสมความชื้นได้ต่างกัน โดยแปลงที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์สามารถเก็บความชื้นได้ดีกว่าจนถึงช่วงฤดูร้อน นอกจากนี้ ปิยนุช ปิยะตระกูล และคณะ (2543) ศึกษาโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมกับขี้เถ้าแกลบ ทรายหยาบ และขุยมะพร้าว ใช้ทำเป็นวัสดุปักชำต้นเบญจมาศ และต้นคาร์เนชั่น ปรากฏว่าเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ผสมกับขุยมะพร้าวอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ส่งผลให้มีจำนวนราก และความยาวมากที่สุด โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมต่อการเจริญของรากพืช คือ เถ้าลอยลิกไนต์ทำให้วัสดุปักชำมีความร่วนซุยทำให้การระบายน้ำ และอากาศได้ดี นอกจากนี้เถ้าลอยลิกไนต์ยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่อาจจะเพิ่มธาตุอาหารให้กับกิ่งชำได้

2.3.2 การใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช

เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash) สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารบางชนิดเพื่อเสริมธาตุอาหารให้กับพืชได้ เนื่องจากในเถ้าลอยลิกไนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นธาตุอาหารของพืช (Nutrient) เช่น ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม แมงกานีส (Mn) และ ซัลเฟอร์ (S) (วราภรณ์ คุณาวนกิจ, 2544) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์มีผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 65 ถัง/ไร่ เป็น 77.5, 88.2, 91.1 และ 92.2 ถัง/ไร่ ตามลำดับ เมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 ตัน/ไร่ ในหนึ่งฤดูปลูกข้าว (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541) นอกจากมีการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในการปลูกข้าวแล้ว ยังสามารถเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพื่อปรับสภาพดินในการปลูกข้าวโพด พบว่าปริมาณนิกเกิล (Ni) ในเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้นจาก 0.031 ppm เป็น 0.053 ppm ในชุดดินแม่เมาะ และพบปริมาณนิกเกิลในซังข้าวโพดเพิ่มขึ้นจาก 0.229 ppm เป็น 0.271 ppm ในชุดดินปากช่อง (สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย และวราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2544)

นอกจากนี้ กนกพร ชัยวุฒิกุล (2544) ได้ศึกษาโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินเปรี้ยว ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก และน้ำหนักฟางของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากแปลงที่เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ มีค่าสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

2.4 ธาตุอาหารพืชสำหรับการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ธาตุอาหารพืชซึ่งมีความสำคัญต่อการเติบโตของต้นพืชธาตุอาหารหลักที่ต้นข้าวต้องการมี 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

2.4.1 ไนโตรเจน (N)

เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการและนำไปใช้โดยได้จากการดูดจากดินในปริมาณมาก ซึ่งโดยปกติปริมาณไนโตรเจนในดินจะถูกดูดเข้าสู่พืชในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_3) หรือในรูปของไนเตรต (NO_3) แล้วจึงถูกนำไปรวมตัวกับสารประกอบคาร์บอน เพื่อให้เกิดเป็นกรดอะมิโน (Amino Acid) แล้วกรดเหล่านี้ก็จะรวมตัวกันเป็นส่วนประกอบที่เรียกว่า โปรตีนซึ่งเป็นส่วนของโปรโตพลาสซัม (Protoplasm) หรือ ถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ เช่น เอ็นไซม์ (Enzymes) ระบบน้ำย่อยเหล่านี้เป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปทางพลังงาน หรือ เป็นส่วนสำคัญต่อขบวนการเมตตาโบลิซึม (Metabolism) ของพืช ทำให้พืชสร้างใบแตกกอเป็นลำต้นและหน่อใหม่ ซึ่งนอกจากนี้ไนโตรเจนมีผลต่อความสูง การเจริญเติบโตทางลำต้นของพืช ทำให้ใบพืชมีสีเขียว ทั้งนี้ไนโตรเจนในพืชจะมีอยู่ 1-4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของพืช

ไนโตรเจนเป็นประโยชน์ต่อพืชด้านการกระตุ้น (Stimulate) ให้เจริญเติบโตและมีความแข็งแรง เมื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้กับต้นข้าวจะส่งผลต่อการเพิ่มน้ำหนักของตอซังข้าว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวต้องการเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตพบว่าผลผลิตข้าว 1 ตัน ต้องการธาตุไนโตรเจน 18.9 กิโลกรัม (นพรัตน์ ม่วงประเสริฐ, 2541) ซึ่งธาตุไนโตรเจนช่วยส่งเสริมการเติบโตทางใบ ดอก และผลผลิต แต่หากมีปริมาณไนโตรเจนในดินที่พอเหมาะกับความต้องการของพืชจะช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตตลอดจนสร้างความแข็งแรงของใบและลำต้น ช่วยเสริมคุณภาพของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) โดยเฉลี่ยแล้วไนโตรเจนในดินมี 0.14 %

2.4.2 ฟอสฟอรัส (P)

เป็นธาตุอาหารหลักที่เป็นส่วนประกอบของสารประกอบที่เป็นแหล่งพลังงานของพืช คือ ฟอสฟอรัส จะถูกนำไปสร้าง ATP ซึ่งมีบทบาทสำคัญในขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงมีความจำเป็นต่อกระบวนการเจริญเติบโตของต้นพืช ช่วยในการสร้างดอก การผสมเกสร การติดเมล็ด การสร้างความแข็งแรงของลำต้น รวมทั้งการงอกของราก และการสังเคราะห์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ส่วนมากฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินมักอยู่ในรูปของสารประกอบใน

แร่ต่าง ๆ เช่น อะปาไตท์ (Apatites) ซึ่งอยู่ตามสารละลายดินต่าง ๆ สารผสมที่มีเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์ในอินทรียวัตถุในดินอีกด้วย นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังเป็นธาตุที่ถูกตรึงได้โดยง่ายด้วยอนุภาคของดิน โดยเฉพาะในดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต่ำกว่า 5.5 ดังนั้นในดินที่เป็นกรดซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.0-5.0 จึงนับเป็นดินที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส แม้ว่าจากค่าวิเคราะห์ดินจะพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินมาก แต่การที่จะทำให้ธาตุฟอสฟอรัสในดินกรดนี้สามารถละลายออกมาใช้ได้ จึงต้องใช้ปูนที่มีฤทธิ์ปรับให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงขึ้น พืชจึงจะนำธาตุฟอสฟอรัสในสารละลายดินขึ้นไปใช้ได้ นอกจากนี้ Khouma and Toure (1981) พบว่าการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลในทางดีต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญ

ฟอสฟอรัสทำหน้าที่ช่วยในการสร้างรากและดอก ส่งเสริมคุณภาพผลผลิต โดยทั่วไปผลผลิตข้าว 1 ตัน ต้องมีปริมาณฟอสฟอรัส 5.17 กิโลกรัม (นพรัตน์ ม่วงประเสริฐ, 2541) นอกจากนี้ Embleton et al. (1978) ได้แนะนำว่าควรรักษาระดับฟอสฟอรัสได้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.11 % การได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปในส้มเขียวหวานจะไม่แสดงอาการ นอกจากนี้ช่วงวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในของต้นส้มเขียวหวานที่ปลูกในแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทยอยู่ในช่วง 0.12-0.29 % (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2545) ในดินมีฟอสฟอรัสต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมโดยเฉลี่ยแล้วในดินมีฟอสฟอรัสเพียง 0.06 % ซึ่งฟอสฟอรัสในดินเกิดจากแร่วัตถุต้นกำเนิดของดินในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic Phosphorus) เป็นใหญ่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ก็ต้องขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน ปริมาณเหล็ก (Fe) อลูมิเนียม (Al) และแมงกานิส (Mn) ที่สะสมในดิน ชนิดของแร่ดินเหนียว ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในดิน และอัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ (นวลศรี กาญจนกูล และคณะ, 2543) นอกจากนี้ Buckman and Brady (1959) ได้กล่าวว่า สารประกอบฟอสฟอรัสของเหล็ก หรือสารประกอบอลูมิเนียมจะละลายได้น้อยในดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 3-4 ดังนั้นในดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำมาก ๆ จะทำให้ขาดฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

2.4.3 โพแทสเซียม (K)

เป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญในโครงสร้างของเอนไซม์ (Enzymes) มากกว่า 30 ชนิด หน้าที่อันแท้จริงของโพแทสเซียมยังไม่ระบุแน่ชัด และเป็นที่ทราบกันว่า ธาตุโพแทสเซียมทำให้กระบวนการต่าง ๆ ในต้นพืชสมบูรณ์ ซึ่งพืชโดยมากจะมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ 0.5-2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ต้นพืชต้องการธาตุโพแทสเซียมสำหรับกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืช และสารบางชนิดในพืชที่ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ โพแทสเซียมจึงมีส่วนช่วยทำให้เมล็ดมีขนาดใหญ่ น้ำหนักสูง ต้นข้าวมีความแข็งแรงไม่ล้ม สามารถต้านทานโรค และแมลงได้ดี ธาตุโพแทสเซียมที่มีอยู่ตามแร่และส่วนที่เป็นเนื้อดินเหนียว

ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ โพแทสเซียม (K_2O) และส่วนหนึ่งของธาตุโพแทสเซียมจะพบในดินตะกอน ซึ่งติดมากับน้ำที่ไหลมาจากที่ต่าง ๆ โดยทั่วไปในดินนาที่เป็นดินเหนียวจะมีธาตุโพแทสเซียมอยู่มากเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่ส่วนดินทรายไม่สามารถยึดธาตุอาหารโพแทสเซียมไว้ได้ดีเท่าดินเหนียว เพราะมีอินทรียวัตถุต่ำกว่า ดังนั้นการปลูกข้าวในนาที่เป็นดินทรายจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมด้วยเสมอ

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มความแข็งแรงให้กับพืชอีกด้วย (Buckman, 1988) แต่โพแทสเซียมเป็นธาตุที่ถูกชะล้างได้ง่าย โดยเฉพาะในดินที่มีการสลายตัวสูงเช่นบริเวณแถบศูนย์สูตร (Ritchey, 1979) นอกจากนี้เป็นธาตุอาหารที่เพิ่มผลผลิตและคุณภาพโดยรวมของพืช ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยที่เกี่ยวข้อง การสร้างแป้ง น้ำตาล โปรตีน ควบคุมการคายน้ำ ความแข็งแรงของต้นพืชและระบบราก (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2545) ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมีปริมาณโพแทสเซียมในดินประมาณ 0.83 % ซึ่งธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อข้าวชนิดต่าง ๆ สามารถแสดงที่เพียงพอต่อความต้องการได้แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว ข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลี ในต้นพืชระยะแตกกอสูงสุด (คณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุน ศ.ดร.สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2535)

ธาตุอาหาร(%)	ข้าว	ข้าวบาร์เลย์	ข้าวสาลี
ไนโตรเจน	2.9-4.2	2.0-4.0	2.5-4.5
ฟอสฟอรัส	0.18-0.26	0.28-0.50	0.25-0.5
โพแทสเซียม	1.8	2.5	3.2

2.5 ธาตุพิษ (Toxic elements)

ธาตุพิษ (Toxic Elements) โดยทั่วไป หมายถึง ธาตุโลหะหนัก และธาตุอื่น ๆ ซึ่งเป็นสารมลพิษ เนื่องจากมีการใช้ประโยชน์ในรูปของสารประกอบ และเครื่องมือหรือเครื่องใช้ต่าง ๆ แล้วมีการปนเปื้อนสู่สภาพแวดล้อม ทั้งนี้อาจรวมถึงโลหะหนัก (Heavy Metals) ซึ่งหมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป ซึ่งเป็นธาตุในตารางธาตุที่มี Atomic Number ในช่วง 23-29 อยู่ในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ซึ่งหากมีการปนเปื้อนลงสู่ดินอาจมีโอกาสสะสมของธาตุพิษโดย Siriratpiriya et al (1985) ได้กล่าวว่าสมบัติของดินที่เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการสะสมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิด คือ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งหากเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหาร และ

ธาตุพิษบางชนิดในดินได้ แลโลหะหนักในดินมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายที่ต่างกัน โดย สังกะสี นิกเกิล และแคดเมียม เป็นโลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ส่วนท่องแดงมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายได้ในระดับปานกลาง (Davis, 1984) ซึ่งการสะสมโลหะหนักและธาตุพิษในดินนั้นอาจเกิดการสะสมโลหะหนักในพืชได้หลายทาง เช่น ดิน น้ำ และอากาศ เนื่องจากโลหะหนักสามารถเข้าสู่พืชได้ทั้งทางราก ลำต้น และใบ (Lagerwerff and Specht, 1970; Lagerwerff, 1971; Minami and Araki, 1975; Lee et al, 1976) ทั้งนี้ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2525) ได้พบว่า หากมีการสะสมโลหะหนักในดินจะส่งผลให้พืชเกิดการดูดดึงโลหะหนักเข้าไปสะสมในต้นพืชได้มากขึ้น ทั้งนี้พืชจะดูดดึง แคดเมียม นิกเกิล สังกะสี และทองแดง ได้ดีกว่าตะกั่ว ปรอท และโครเมียม ซึ่งการสะสมโลหะหนักอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อต้นพืชได้ตามปริมาณของธาตุพิษที่แสดงความเป็นพิษต่อต้นข้าว ดังตารางที่ 2.2 และการสะสมโลหะหนักในต้นพืชส่วนใหญ่พบว่ามักสะสมไว้ในบริเวณรากมากที่สุด (Root et al, 1975; Agarwala et al, 1977; Jarvis and Jone, 1978) แต่ยังมีพืชบางชนิดที่พบว่าสะสมโลหะหนักที่ส่วนอื่นมากกว่า (Page et al, 1972; Bingham et al, 1975)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณธาตุพิษในดินและพืช และระดับเป็นพิษในข้าว (ppm) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ธาตุ	ปริมาณที่พบ		เปลือกโลก	แม่น้ำ(ppb)	ระดับที่เป็นพิษต่อข้าว	
	ดิน	พืช			ต้น	ราก
As	0.1-7.0	0.1-5.0	1.8	2.0	20.0-100.0	1,000
Cd	0.1-7.0	0.2-0.8	0.2	0.1	5.0-10.0	1000-600.0
Cu	2.0-175.0	4.0-15.0	55.0	7.0	20.0-30.0	100.0-
Pb	2.0-200.0	0.1-1.0	12.5	3.0	50.0-2,000	300.0
Hg	ND-6	n.a.	0.08	0.07	n.a.	300-3,000
B	2.0-100.0	30.0-75.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	10.0-620.0	15.0-200.0	70.0	20.0	500-1,000	n.a.
Mn	100.0-4,000.0	15.0-100.0	n.a.	n.a.	200-600	500-1000
Ni	10.0-1,000.0	1.0	75.0	0.3	200-400	200-600
Fe	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	200-400
						n.a.

หมายเหตุ ND หมายถึง น้อยมากจนวัดไม่ได้

n.a. หมายถึง ไม่มีรายงาน

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.1 แคดเมียม (Cadmium)

1) ลักษณะและรูปแบบตามธรรมชาติ

แคดเมียมตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เนื่องจากอิออนของแคดเมียมจะรวมตัวเป็นสารประกอบกับอิออน อื่น ๆ ในน้ำได้ดี โดยมีสามารถรวมตัวกับ Humic Acid $>CO_3^->OH^-\geq CL^-\geq SO_4^-$ US.EPA.(1997) ได้รายงานว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และค่าความกระด้างของน้ำมีส่วนสำคัญในการปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่างโลหะกับกรดฮิวมิค (Humic Acid) ในดิน คือ เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนรูปของแคดเมียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แคดเมียมจะจับตัวกับดินเหนียว สารอินทรีย์ Hydous Iron , Aluminum or Manganese Oxide และ Carbonate Minerals ซึ่ง Huang และคณะ (1977) ได้รายงานไว้ใน US.EPA.(1979) ว่าความเป็นกรดเป็นด่างนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซับของแคดเมียมในดิน คือ ในสภาวะด่างการดูดซับแคดเมียมในดินจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงต่ำกว่า 6 หรือ 7 จะทำให้แคดเมียมที่ถูกดูดซับไว้หลุดออกมา ซึ่งแสดงว่าแคดเมียมมีความสามารถยึดเกาะกับในเนื้อดินได้ และสามารถหลุดออกจากเนื้อดินเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดต่ำลง

2) ความเป็นพิษต่อพืช

อาการผิดปกติเนื่องจากธาตุแคดเมียมที่สังเกตเห็นคือ เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลืองคล้ายอาการขาดเหล็ก พืชบางชนิดใบบางลง ขอบใบซีดขาว ปลายใบม้วน ใบแก่ด้านล่าง ๆ ของต้นพืช อาจพบจุดสีน้ำตาลระหว่างเส้นใบ บางชนิดเส้นใบเป็นสีน้ำตาลแดงตลอดทั้งเส้น ทำให้ต้นแคระแกร็นจนบางครั้งเห็นเป็นกระจุก การเจริญของรากลดลง บางชนิดรากเน่าเปื่อย (Iwai et al, 1975; Ito and Iimura, 1976; Miller et al, 1976; Malone et al, 1978; Rauser, 1979) ซึ่งแคดเมียมเป็นตัวขัดขวางการดูดซึม และการลำเลียงสังกะสี จึงทำให้เกิดการขาดธาตุสังกะสีและรบกวนกลไกสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์ (Vesk et al, 1966; Hawf and Schmid; 1967) และนอกจากนี้ Rauser (1978) ทำการศึกษา ต้นกล้าของต้นถั่ว (White Bean) พบว่าแคดเมียมทำให้สีของเส้นใบ (Vein) ซีดจางลงก่อนแล้วจึงมีผลต่อก้านใบ (Petiole) และลำต้นของพืชตามลำดับ และนอกจากนี้สันติ บุญฟ้าประทาน (2526) ได้ศึกษาพบว่า แคดเมียมทำให้เกิดอาการใบซีดเหลืองของผักกาดเขียว ผักกวางตุ้ง และข้าว โดยแคดเมียมส่งผลรบกวนเมตตาโบลิซึมและการดูดซึมลำเลียงของธาตุเหล็ก ซึ่งในข้าวจะเกิดจากการมีผลต่อสมดุลของแร่ธาตุอื่น ๆ มากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของธาตุเหล็ก และการเปลี่ยนแปลงสมดุลของแร่ธาตุดังกล่าวยังคงมีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (Root et al, 1975)

3) ความเป็นพิษต่อคนแบบเรื้อรัง (Long term Effects)

แคดเมียมสามารถทำให้เกิดพิษสะสมในมนุษย์ เช่น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายจะเพิ่มขึ้นตามอายุ การได้รับแคดเมียมที่ร่างการดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่ายกายได้ช้ามาก และวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในร่างการคนค่อนข้างยาวนานถึง 16-33 ปี ซึ่งปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ไตและตับ ซึ่งระดับความเป็นพิษของสารประกอบแคดเมียมนั้น โดยสหประชาชาติ (UN:United Nations) ได้แสดงถึงอันตรายจากความเป็นพิษที่จะเกิดจากสารประกอบแคดเมียมในสัตว์ทดลอง ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงถึงอันตรายจากความเป็นพิษที่จะเกิดจากสารประกอบแคดเมียมในสัตว์ทดลอง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

สารประกอบ	อันตราย
1.Cadmium chloride	ทำให้เกิดมะเร็ง เนื้องอกและความผิดปกติของทารกในสัตว์ทดลอง
2.Cadmium sulfate	ทำให้เกิดมะเร็ง เนื้องอกและความผิดปกติของทารกในสัตว์ทดลอง
3.Cadmium sulfate tetrahydrate	ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง
4.Cadmium ethylene bisdithiocarbamate	ทำให้เกิดเนื้องอกในสัตว์ทดลอง

ความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์หลังจากได้รับแคดเมียมในปริมาณปานกลางเข้าสู่ร่างกายในระยะเวลานานติดต่อกัน ความเป็นพิษจะปรากฏที่ปอด ไต และระบบกระดูด เม็ดโลหิต เช่น โรคอิไต-อิไตในประเทศญี่ปุ่น (กรมควบคุมมลพิษ, 2541; นิยา รัตนาปนนท์ และวิบูล รัตนาปนนท์, 2541) ซึ่งผู้ป่วยมีความผิดปกติของกรวยไต ท่อไตไม่ทำงานมีความผิดปกติของกระดูก และซี่โครง

4) การสะสมแคดเมียมในอาหารและพืช

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักมีความเป็นพิษต่อร่างกายสิ่งมีชีวิต และมีโอกาสปนเปื้อนในอาหารและน้ำดื่มได้ ซึ่งคนที่ได้รับพิษจากแคดเมียมจากอาหารที่ปนเปื้อน เช่น ในประเทศญี่ปุ่นพบว่าคนป่วยโรคอิไต-อิไต มักบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนแคดเมียม เช่น ข้าวที่มีแคดเมียมสูงถึง 120-350 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งข้าวปกติมีแคดเมียมเพียง 20 ส่วนต่อพันล้านส่วน (ppb.) อีกทั้งพืชสามารถดูดซึมแคดเมียมได้ทั้งทางใบและรากซึ่งสามารถกระจายไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยจะเก็บสะสมไว้ในลำต้น(นิยา รัตนาปนนท์ และวิบูล รัตนาปนนท์, 2541) ดังนั้นหน่วยงาน

ต่าง ๆ จำเป็นต้องกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการบริโภค เช่น ค่ามาตรฐานปริมาณแคดเมียมน้ำดื่มในประเทศไทย ของกระทรวงสาธารณสุข กรมทรัพยากรธรณี และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ต่างกำหนดปริมาณแคดเมียมในน้ำที่ยอมรับได้ไม่เกิน 0.01 mg / 1 นอกจากนี้มีการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณแคดเมียมในอาหารที่ยอมรับได้ของแต่ละประเภทอาหารตาม ตารางที่ 2.4 นอกจากนี้องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดให้ไม่ควรได้รับปริมาณแคดเมียมเกิน 57-71 ไมโครกรัม / วัน ซึ่ง Tolerance Dose ของแคดเมียมคือประมาณ 0.5 มิลลิกรัม / สัปดาห์

ตารางที่ 2.4 แสดงมาตรฐานปริมาณแคดเมียมในอาหารที่ยอมรับได้ของแต่ละประเภท (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

หน่วยงาน/ประเทศ	ประเภทอาหาร	ค่ามาตรฐาน (mg/kg)
Council for mutual economic assistance	- ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์	0.1-1.0
	- ผลิตภัณฑ์นม	0.01-0.1
	- ผลิตภัณฑ์ปลา	0.05
	- ธัญพืช เช่น ข้าว ถั่ว	0.01
	- ผักสด	0.03-0.2
	- ผักแห้ง	0.30
	- ผลไม้	0.03-0.05
	- ผลไม้แห้ง	0.50
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	- พืชผักทุกชนิด	0.00
สหพันธ์สาธารณรัฐโซเวียตสังคมนิยม	- ธัญพืช	0.022
	-ผักและผลไม้	0.030

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.2 อาร์เซนิก (Arsenic)

อาร์เซนิก หรือ สารหนูเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งโลหะ และอโลหะ ซึ่งพบในรูปของธาตุหรือโลหะ (Element or Metallic Arsenic) และในรูปของสารประกอบอาร์เซนิก สารประกอบอินทรีย์ เช่น Methanearsonic Acid Cacodylic Acid และนอกจากนี้ยังอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ เช่น Arsenic Anhydride, Arsenic Acid (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ซึ่งสารหนูในธรรมชาติประกอบด้วยธาตุสารหนู (As^0) ที่อยู่ในรูปของสารประกอบสารหนูในธรรมชาติ ได้แก่ เกลืออาร์เซไนต์ (Arsenite Salt, As^{+3}) เช่น สารหนูออกไซด์ (As_2O_3) ซึ่งสารประกอบสารหนูแต่ละตัวจะมีระดับความเป็นพิษแตกต่างกัน (นิยา รัตนาปนนท์ และวิบูล รัตนาปนนท์, 2541) การแพร่กระจายสารหนูออกสู่สิ่งแวดล้อมการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมวิธีการเผา มาจากการสึกกร่อนของพื้นผิวโลกซึ่งพบสารหนูในรูปของ Arsenious Oxide เกิดจากแหล่งธรรมชาติประมาณปีละ 72,000 ตัน นอกจากนี้เกิดจากเผาถ่านหินและการแยกแร่ธาตุโดยวิธีการเผาการใช้สารพิษป้องกันกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตร เป็นต้น ในดินทั่วไปจะพบสารหนูประมาณ 0.2-40 mg/kg

1) ความเป็นพิษของอาร์เซนิก

การเกิดพิษจากสารหนูส่วนใหญ่เป็นการเกิดพิษเรื้อรัง จากการสัมผัส ทางกิน หายใจ และทางผิวหนัง ซึ่งได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายนาน ๆ ติดต่อกัน เช่น การระคายเคือง ตาแดง และอักเสบ หลอดลมอักเสบ มีผลต่อระบบประสาท ระบบไหลเวียนโลหิต และสมอง ตับโต เกิดภาวะโลหิตจาง และจำนวนเม็ดเลือดขาวน้อยลง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2) การสะสมอาร์เซนิกในอาหาร

การปนเปื้อนอาร์เซนิกในอาหาร และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นสำนักคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 2.6 ส่วน / ล้านส่วน (0.26 ไมโครกรัม /กิโลกรัม) นอกจากนี้ยังพบในอาหารทะเลบางชนิด เช่น ในปลาทะเล มีปริมาณสารหนู 0.02-1.50 มิลลิกรัม / 100 กรัม และนอกจากนี้สารหนูสามารถปนเปื้อนในน้ำดื่มได้โดยธรรมชาติ ซึ่งในน้ำดื่มในประเทศไทยในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี 2526 พบสารหนูในแหล่งน้ำมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.07-0.12 มิลลิกรัม / ลิตร นอกจากนี้ในประเทศต่างได้กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณสารหนูที่ยอมรับได้ในอาหารและผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงค่ามาตรฐานอาหารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของประเทศต่าง ๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ประเทศ	ชนิดอาหาร	ปริมาณสารหนูที่ยอมรับได้ (mg/kg)
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	พืชทุกชนิด	0.00
อินเดีย	อาหารเฉพาะชนิด	0.10-0.50
ญี่ปุ่น	พืชผักเฉพาะชนิด	1.00-3.50
เคนยา	อาหารเฉพาะชนิด	0.10-5.00
สหพันธ์สาธารณรัฐโซเวียต สังคมนิยม	อาหารทุกชนิด	ไม่ให้ใช้ pesticide ที่มี As
สหรัฐอเมริกา	อาหาร ยาเครื่องสำอางที่เติมสี	1.0-3.0
บราซิล	พืชเฉพาะชนิด	3.50

2.5.3 นิกเกิล (Ni)

นิกเกิลมีผลทำให้พืชเกิดอาการซีดเหลือง (Chlorosis) และการตายของเนื้อเยื่อ (Necrosis) ทั้งแผ่นใบอย่างสม่ำเสมอ (Diffuse Chlosis) (Anderson et al, 1972) และจากการศึกษาของ สันติ บุญฟ้าประทาน (2526) ได้พบว่า นิกเกิลส่งผลให้เกิด Interveinal Cholorosis ของใบอ่อน และแก่ ของทั้งผักกาดเขียว ผักกวางตุ้ง และ ข้าว อันเป็นให้เกิดการรบกวนเมตตาโบริซึมของธาตุเหล็ก ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลด์ เช่นเดียวกับธาตุสังกะสี และระดับความรุ่นแรงจะเพิ่มขึ้น ตามปริมาณ และระยะเวลาที่พืชได้รับ นอกจากนี้ปริมาณนิกเกิลยังส่งผลให้เนื้อเยื่อระหว่างเส้นของ ต้นข้าวโอ๊ตมีสีซีดขาว และบริเวณใกล้เส้นใบซึ่งปกติมีสีเขียวเข้มกลายเป็นแถบเขียวสลับขาว (Crooke et al, 1954; Anderson et al, 1973; Iizuka, 1975; Hara et al, 1976) ส่วนจากการศึกษาของ Hunter and Vernano (1953) พบว่าในบริเวณของต้นพืชที่มีแถบขีดสีเหลืองเกิดจากมีปริมาณ ธาตุเหล็กต่ำ นิกเกิลส่งผลให้เกิดการยับยั้งการลำเลียงเหล็กจากรากไปสู่ยอด (Lingle et al, 1963; Wallace and Dekock, 1966; Chaney,1970) ได้ศึกษาทดลองปลูกข้าวบาร์เลย์ พบว่าปริมาณ ธาตุเหล็กในใบที่เกิด Chlorosis อย่างรุนแรงไม่แตกต่างจากต้นปกติ(Control) ในขณะที่ Roth et al (1971) รายงานว่าธาตุเหล็กมีปริมาณต่ำกว่าปกติมาก นอกจากนี้นิกเกิลมีผลไปยับยั้ง Activity ของ เอนไซม์หลายชนิด เช่น Isocitratc-Dehydrogenase, Malate Dehydrogenase, Nitrate Reductase, Glucose 6-p Dehydrogenase, Eptidase เป็นต้น และช่วยกระตุ้นการทำงานของ Peroxidase, ldolase,1,3-Glycerophosphtase (DeKock et al, 1960; Agarwala et al,1977)

2.5.4 อลูมิเนียม (Al)

Miyake (1916) พบว่า ความเข้มข้นของอลูมิเนียมในสารละลายดิน 6.7 ppm จะเป็นพิษต่อต้นกล้าข้าว Cate และ Sukhai (1964) รายงานว่า ข้าวที่ปลูกในน้ำยาที่มีอลูมิเนียม 25 ppm จะแสดงอาการเป็นพิษ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Tanaka และ Navasero (1966) พบว่าอลูมิเนียม 5 ppm ในน้ำยาเพาะเลี้ยงเป็นระดับวิกฤตที่เป็นพิษต่อต้นข้าว ในกรณีที่พืชได้รับฟอสฟอรัสพอเพียง แต่ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัสระดับวิกฤตที่เป็นพิษต่อต้นข้าว คือ 15 ppm และอลูมิเนียมสะสมในส่วนของลำต้นของต้นข้าวในระยะแตกกอที่แสดงอาการเป็นพิษของอลูมิเนียมมากกว่า 300 ppm นอกจากนี้ Fageria และ Carvalho (1982) ได้รายงานว่า ความเป็นพิษของอลูมิเนียมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว โดยจำกัดการดูดธาตุอาหาร ปริมาณอลูมิเนียมในพืชเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณอลูมิเนียมในน้ำยา ซึ่งระดับความเป็นพิษในส่วนยอดที่อายุ 21 วัน จะผันแปรตั้งแต่ 100-147 ppm ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว นอกจากนี้ Nhung and Ponnamperuma (1966) พบว่าในดินกรดจัดความเข้มข้นของอลูมิเนียมในสารละลายดิน 68 ppm จะทำให้ต้นข้าวตายได้ และ Ponnampperuma (1972) รายงานว่าที่ระดับ pH 3.5 ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายได้สูงถึง 69 ppm ซึ่งอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อต้นข้าวได้ จากการศึกษาของ Thawornwong and Van Diest (1974) ความเข้มข้นของอลูมิเนียม 0.05-2.00 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว และที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm จะทำให้ข้าวแสดงอาการเป็นพิษ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rorison (1972) พบว่า ความเข้มข้นของอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้1-2 ppm จะเป็นพิษต่อต้นกล้าข้าว ลัดดาวรรณ เพียรเพิ่มภัทร (2528) ศึกษาในระยะปักดำของต้นข้าว พบว่าความเข้มข้นของอลูมิเนียมที่ใส่ในปริมาณ 10 me / 100 g ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าในระยะปักดำ ความเข้มข้นของอลูมิเนียมในสารละลายดินสูงถึง 168 ppm และเมื่อใส่อลูมิเนียมลงไปเพียง 5 me / 100g จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตแต่จะฟื้นตัวได้ในภายหลังจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้า

ต้นข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษจากอลูมิเนียมโดยจะแสดงอาการเกิดขึ้นที่ใบล่างก่อน โดยปรากฏจุดสีส้มระหว่างเส้นใบ โดยเฉพาะที่ปลายใบและตามขอบใบ ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นขีดสีน้ำตาล รากแคระแกร็น มีสีน้ำตาล (Clarkson, 1969; IRRI, 1979) ซึ่งระดับความเป็นพิษของอลูมิเนียมขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณอลูมิเนียมในดิน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน และ ปริมาณฟอสฟอรัส (P)

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินนั้นมีผลต่อกิจกรรมของจุลลินทรีย์ในดิน ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส การปลดปล่อยแคลเซียม การละลายได้ของเหล็ก แมงกานีส และอลูมิเนียม ซึ่งทำให้เป็นพิษต่อต้นพืชได้ ถ้าดินมีการสะสมในปริมาณของธาตุเหล่านี้มากจนทำให้เกิดพิษได้ (Millar et al, 1965) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างยังมีความสัมพันธ์กับการขาดธาตุฟอสฟอรัส เพราะโดยปกติดินที่เป็นกรดจัดมักจะมีปริมาณของธาตุเหล็กและอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ซึ่งแลกเปลี่ยนได้สูง จึงทำให้เกิดปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสในดินได้อย่างรวดเร็ว (สรสิทธิ์ วัชโรยาน, 2520) ดังนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในดินมีปริมาณค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ Khouma and Toure (1981) ได้พบว่าการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลในทางบวกต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญ คือ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 50 กิโลกรัม / เฮกตาร์ ในดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ระดับ ต่ำกว่า 4.5 , 4.5 และ 5.5 ทำให้ผลผลิตของข้าวทุกระดับมีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ Van Breeman (1975) แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่า 4.5-5.0 รีดักชันของซัลเฟตจะเกิดขึ้น และจะตกตะกอนเป็นเฟอร์รัสซัลไฟด์ ถ้าดินมีเฟอร์รัสอิออนในปริมาณต่ำจะทำให้เกิดความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจเกิดขึ้นได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย