

ปริมาณธาตุอาหารพืชของข้าวพันธุ์ กข41, ปทุมธานี1 และขาวดอกมะลิ105 Plant Nutrients of Rice (*Oryza sativa*) var. RD41, Pathum Thani1 and Khao Dawk Mali105

ศรีสังวาลย์ ลายวิเศษกุล^{1,2,3,*} และ สุนทรี ยิงซ์ชวาลย์^{1,2}
Srisangwan Laywisadkul^{1,2,3,*} and Suntaree Yingjajaval^{1,2}

¹ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

³ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

¹ Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140 Thailand

² Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900 Thailand

³ Biology Department, Faculty of Science, Naresuan University, Phisanulok 65000 Thailand

วันที่รับบทความ: 14 มกราคม 2562

Received: 14 January 2019

วันที่แก้ไขบทความเสร็จ: 8 กันยายน 2562

Revised: 8 September 2019

วันที่รับตีพิมพ์บทความ: 23 กันยายน 2562

Accepted: 23 September 2019

* Corresponding author: srisangwan@gmail.com

ABSTRACT: The nutrient contents of 3 rice varieties: RD41, Pathum Thani1 (PTT1) and Khao Dawk Mali105 (KDML105) were determined at 6 stages: seedling, early tillering, maximum tillering, flowering, harvesting and late harvesting. All nutrient concentrations (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and B) were at their highest levels during the vegetative phase, and gradually decreased during the reproductive phase. Nutrient contents increased linearly with increased dry mass. During early stage of growth, the rapid construction of shoot required higher amounts of N and K, whereas a steady increase of P, Ca and Mg was required throughout the growing period. In the reproductive part, N was 3–5 times higher than other nutrients. Whole plant major nutrient contents in all three varieties were similar during vegetative phase, with potassium (1.2–1.8%) and N (0.9–1.8%) contents being the most abundant. The levels became different at the reproductive phase, as KDML105 continued to cumulate biomass after flowering, it required much higher amount of nutrients up to harvesting. N in the reproductive part was as high as in the vegetative shoot, while K reduced to ¼, while other nutrients were miniscule. The fertilizer ratio for RD41 was 3.5 : 1 : 1.8, as similar for PTT1 at 3.4 : 1 : 1.9, but that for KDML105 was distinctive at 2.2 : 1 : 2.1. The application of the widely recommended amount of fertilizer was estimated to barely compensate for N and P in the harvested grain, with almost or no application of K, Ca and Mg. The incomplete types and insufficient amount of nutrients applied to replenish the soil in each rice production cycle is deemed as the cause of the stagnant rice yield of the country.

Keywords: Rice nutrient concentration, rice nutrient content, fertilizer ratio

บทคัดย่อ

ประเมินปริมาณธาตุอาหารพืชในข้าว กข41 ปทุมธานี1 และข้าวดอกมะลิ105 ที่ 6 ระยะการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้า ระยะเริ่มแตกกอ ระยะแตกกอเต็มที่ ระยะออกดอก ระยะเก็บเกี่ยว และ ระยะเก็บเกี่ยวล่า พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และโบรอน (B) ในทุกส่วนมีระดับสูงกว่าในช่วงการเติบโตทางลำต้น แล้วลดลงเมื่อเข้าสู่การเติบโตทางสปีพันธุ ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรงกับมวลแห้งในช่วงแรกของการเจริญเติบโตการสร้างส่วนเหนือดิน ต้องการปริมาณ N และ K ที่สูง ขณะที่ต้องการปริมาณ P, Ca และ Mg เพิ่มขึ้นช้า ๆ สม่่าเสมอตลอดระยะการเจริญเติบโต ในช่วงการเติบโตทางสปีพันธุต้องการ N มากกว่าธาตุอาหารหลักอื่น 3-5 เท่า ปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งต้นข้าว 3 พันธุ์ มีรูปแบบคล้ายกันในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น มีความเข้มข้น K (1.2-1.8%) และ N (0.9-1.8%) สูงสุด ระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างในช่วงการเติบโตทางสปีพันธุ จากที่ข้าวดอกมะลิ105 สร้างมวลต้นเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ทำให้มีความต้องการธาตุอาหารสูงกว่าไปถึงระยะเก็บเกี่ยว ในส่วนสปีพันธุ N มีความเข้มข้นสูงสุดใกล้เคียงกับที่อยู่ในส่วนของการเติบโตทางลำต้น ขณะที่ K มีความเข้มข้นลดลง (อยู่ที่ 1/4) และธาตุอาหารอื่นมีในความเข้มข้นต่ำคำนวณจากปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในข้าว อัตราส่วนปุ๋ยสำหรับ กข41 เท่ากับ 3.5 : 1 : 1.8 เหมือนกับปทุมธานี1 ที่ เท่ากับ 3.4 : 1 : 1.9 ส่วนข้าวดอกมะลิ105 แตกต่างชัดเจน เท่ากับ 2.2 : 1 : 2.1 จากอัตราปุ๋ยที่แนะนำสำหรับข้าว พบว่า N และ P เพียงพอในการชดเชยส่วนของข้าวเปลือกที่นำออกจากรน แต่แทบจะหรือไม่มีกรใส่ K, Ca และ Mg ปริมาณธาตุอาหารที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เพียงพอที่เติมลงในดินใน

แต่ละฤดูปลูกข้าวถือว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตข้าวของประเทศยกระดับขึ้นไม่ได้

คำสำคัญ: ความเข้มข้นธาตุอาหารพืชในข้าว, ปริมาณธาตุอาหารพืชในข้าว, อัตราส่วนปุ๋ย

บทนำ

การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เป็นการพิจารณาจากแหล่งให้ธาตุอาหาร (supply) คือ ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ซึ่งในการคำนวณเป็นอัตราปุ๋ยสำหรับพืชที่ปลูก จำเป็นต้องมีข้อมูลความต้องการใช้ธาตุอาหารของพืช (demand) ประกอบด้วย การศึกษาเพื่อประเมินความต้องการใช้ธาตุอาหารของพืชตามพันธุ์และระยะการเติบโตสร้างมวลชีวภาพจึงมีความสำคัญ การคำนวณอัตราปุ๋ยอยู่ภายใต้หลักการว่าเป็นการคืนธาตุอาหารสู่ดินเท่ากับที่นำออกจากดินในรูปต่าง ๆ ซึ่งเท่ากับไม่มีการนำธาตุอาหารออกสุทธิจากดินในแต่ละฤดูปลูก เป็นการรักษากำลังผลิตของดินไม่ให้ลดต่ำลงจากการผลิตพืชอย่างต่อเนื่อง (Munson, 1998; Barker and Pilbeam, 2007) นอกจากนี้การกำหนดอัตราปุ๋ยตามการคิดบัญชีธาตุอาหารที่นำออกจากดิน จึงทำให้อัตราปุ๋ยที่เพิ่มลงในดินขึ้นอยู่กับระดับผลผลิตและการสร้างมวลชีวภาพของต้นพืช

ปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ คือ ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในต้น ซึ่งสามารถประเมินธาตุอาหารในส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชจากผลคูณของมวลแห้งกับความเข้มข้นของธาตุอาหาร โดยผลรวมปริมาณธาตุอาหารในแต่ละส่วน คือ ปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งหมดที่ปรากฏของต้น วิธีการนี้ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางกำหนดอัตราปุ๋ยให้มีปริมาณและสัดส่วนธาตุอาหารให้ตรงตามความต้องการของยางพารา อ้อย และปาล์มน้ำมัน (Bangjan and Yingjajaval, 2006; Yingjajaval and Bangjan, 2006; Khunsanit and Yingjajaval, 2011, 2012; Yingjajaval *et al.*, 2016)

ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าวยังมีอย่างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวไวแสง ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ105 (KDML105) และข้าวไม่ไวแสง ได้แก่ กข41 (RD41) และ ปทุมธานี1 (PTT1) ด้วยเหตุนี้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละส่วนของต้นข้าว และประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในต้นที่ระยะพัฒนาการต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางกำหนดการให้ปุ๋ยที่ตรงกับความต้องการของต้นข้าวสนับสนุนการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่มีคุณภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของข้าว 3 พันธุ์ที่ 6 ระยะการเติบโต คือ ระยะต้นกล้า ระยะเริ่มแตกกอ ระยะแตกกอเต็มที่ ระยะออกดอก ระยะเก็บเกี่ยว (หลังออกดอก 25 วัน) และระยะเก็บเกี่ยวล่า การเก็บตัวอย่างแยกเป็นส่วนเหนื่อ ดินที่แยกเป็นใบและลำต้น และส่วนใต้ดิน คือ ราก ในระยะสืบพันธุ์มีการเก็บตัวอย่างส่วนรวงข้าวเพิ่มเติม

เมล็ดพันธุ์ข้าวและสถานที่ศึกษาเป็นของศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อำเภอลำดวน จังหวัดพิษณุโลก ปลูกข้าวในบ่อดินขนาด 3.5 x 4.5 เมตร แบ่งพื้นที่เป็น 3 ส่วน ปลูกข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ระยะปักดำระหว่างต้น 25 x 25 ตารางเซนติเมตร มีการใส่ปุ๋ยสำหรับพื้นที่ทั้งบ่อสูตร 16-20-0 ในระยะต้นกล้าปริมาณ 100 กรัม และในระยะแตกกอ 150 กรัม ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของดิน

เฉลี่ย 3 ตัวอย่าง คือ pH(1 : 1) = 5.0, om. = 3.1%, available P = 160, exchangeable K = 127, Ca = 2018, Mg = 161, Fe = 337, Mn = 25.7, Cu = 4.9 และ Zn = 17.4 mg kg⁻¹ โดยงานบริการห้องปฏิบัติการห้องปฏิบัติการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

วิเคราะห์ธาตุอาหารของทุกส่วนของต้นข้าวจากกอดีียวกันที่ทุกระยะของการเติบโต โดยสุ่มเลือกต้นข้าวมา 1 ตัวอย่างของแต่ละพันธุ์ วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B โดยห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้วิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยการกลั่น (micro-Kjeldahl) สำหรับธาตุที่อาหารเหลือใช้วิธีการย่อยในกรด (mixed-acid digestion) และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง ICP-OES (Perkin Elmer Optima 43000) จากข้อมูลความเข้มข้นของธาตุอาหารและมวลแห้งของต้นข้าวแต่ละส่วน คำนวณปริมาณธาตุอาหารแต่ละส่วนเป็นผลคูณระหว่างมวลแห้งกับค่าความเข้มข้นของธาตุอาหาร (Nutrient content = dry mass X nutrient concentration) เมื่อรวมปริมาณธาตุอาหารในแต่ละส่วนย่อยของพืชเข้าด้วยกันจะเป็นผลรวมของปริมาณธาตุอาหารของทั้งต้น คำนวณความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารแต่ละตัวสำหรับแต่ละส่วนและทั้งต้น เป็นค่าความลาดชันของสมการเชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณธาตุอาหารกับมวลแห้ง

Table 1 Nutrient concentrations in various parts of RD41 at 6 stages of growth

Stage	Plant part	Concentration, % dry mass					Concentration, $\mu\text{g g}^{-1}$ dry mass				
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
<u>RD41</u>											
1	Leaf	2.03	0.25	2.58	0.25	0.17	1,128	649	3.4	18.3	1.8
2	Leaf	3.05	0.31	2.97	0.24	0.18	1,320	459	3.6	16.1	3.4
3	Leaf	3.15	0.32	2.90	0.22	0.17	596	182	3.1	13.8	2.2
4	Leaf	2.09	0.30	2.08	0.27	0.21	843	244	1.5	15.4	1.1
5	Leaf	1.74	0.23	1.62	0.31	0.18	598	224	1.1	7.1	1.2
6	Leaf	1.71	0.21	2.15	0.37	0.19	770	239	1.2	11.1	1.4
1	Stem	*	0.18	0.86	0.15	0.22	6,479	351	19.5	94.3	nd
2	Stem	*	0.54	1.17	0.14	0.09	5,276	95	5.7	24.5	nd
3	Stem	1.47	0.50	1.11	0.13	0.10	4,050	89	5.5	20.8	0.9
4	Stem	0.81	0.33	0.40	0.21	0.07	4,649	82	3.6	16.0	0.2
5	Stem	0.83	0.25	0.28	0.16	0.06	4,280	70	3.3	15.0	nd
6	Stem	1.26	0.22	0.26	0.26	0.07	19,051	153	4.0	22.0	nd
1	Root	*	0.18	1.09	0.22	0.14	17,014	360	10.4	20.6	nd
2	Root	1.59	0.55	0.44	0.31	0.10	44,174	279	7.6	32.1	nd
3	Root	1.37	0.40	0.37	0.31	0.09	34,575	190	6.1	28.4	nd
4	Root	1.26	0.31	0.19	0.39	0.08	23,771	180	4.9	30.3	nd
5	Root	1.29	0.30	0.26	0.30	0.10	20,959	182	4.6	28.8	nd
6	Root	0.77	0.19	0.23	0.14	0.05	3,957	61	3.0	13.0	nd
4	Peduncle	1.60	0.20	1.20	0.09	0.22	139	83	1.5	15.6	2.2
5	Peduncle	1.09	0.07	2.04	0.19	0.10	143	109	1.2	7.6	1.6
6	Peduncle	0.99	0.07	1.99	0.20	0.14	217	100	1.4	11.2	3.3
4	Filling seed	1.38	0.17	0.43	0.08	0.10	457	91	3.8	14.6	0.4
5	Filling seed	*	0.12	0.47	0.17	0.09	27	121	0.8	10.1	2.2
6	Filling seed	*	0.10	0.53	0.17	0.10	295	138	1.3	10.2	2.0
5	Filled seed	1.92	0.25	0.30	0.04	0.13	100	42	1.2	12.6	0.2
6	Filled seed	1.92	0.20	0.27	0.04	0.10	93	43	1.1	11.7	0.1

Note: Stage of growth: 1 = seedling, 2 = tiller initiation, 3 = maximum tillering, 4 = flowering, 5 = harvesting, 6 = late harvesting

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของข้าว

พืชสร้างมวลชีวภาพตามปริมาณของสารที่สังเคราะห์ได้จากสารประกอบคาร์บอนและธาตุอาหารพืชที่ดูดเข้าดิน โดยทั่วไป พืชไม่สะสมธาตุอาหารพืชเกินกว่าที่ต้องการใช้ในการสร้างแต่ละส่วน ข้อมูลความเข้มข้นธาตุอาหารพืชของแต่ละส่วนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตเป็นปกติ จึงมักมีค่าไม่ผันแปรมากและเป็นค่าประจำสายพันธุ์ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารตลอดวงจรชีวิตของต้นข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีแนวทางคล้ายกัน คือ มีความเข้มข้นในทุกส่วนสูงกว่าในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น แล้วความเข้มข้นของธาตุอาหารลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อต้นข้าวพัฒนาเข้าสู่ระยะเจริญเติบโตทางสืบพันธุ์ (Table 1-3) ทั้งนี้ ส่วนใหญ่ความเข้มข้นของธาตุอาหารมีระดับคงที่ตั้งแต่ระยะแตกกอเต็มที่จนถึงเก็บเกี่ยว ที่แตกต่างจากทั้งหมด คือ ธาตุ Ca ที่มีแนวการเปลี่ยนแปลงสวนกัน คือมีระดับความเข้มข้นต่ำกว่าในช่วงแรก แล้วมีระดับสูงขึ้นเมื่อข้าวเข้าสู่ช่วงเจริญเติบโตทางสืบพันธุ์แล้ว แต่ความเข้มข้นของ Ca ในเมล็ดมีระดับต่ำ ธาตุ Fe มีลักษณะเด่นที่มีความเข้มข้นในส่วนของรากสูงกว่าส่วนอื่น ส่วน B มีค่าต่ำในส่วนของใบ และต่ำจนวัดไม่ได้ในส่วนของลำต้น ราก และเมล็ดที่เติมเต็มแล้ว

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจน แสดงให้เห็นว่ามีการเคลื่อนย้ายจากใบเข้าสู่เมล็ด โปแทสเซียมมีการเคลื่อนย้ายเช่นกันแต่มีระดับต่ำกว่า ส่วนการเคลื่อนย้ายแคลเซียมเข้าสู่เมล็ดมีปริมาณน้อยมาก โดยมีแคลเซียมคงค้างอยู่ในต้น ทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมกลับเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น นอกจากนี้ ธาตุอาหารอื่นที่เหลือมีความเข้มข้นในเมล็ดในระดับต่ำ

ปริมาณธาตุอาหารในข้าว

ในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (ระยะที่ 1-4) ปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดในแต่ละส่วนของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ มีค่าเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรงกับมวลแห้ง ข้าวต้องการใช้ N และ K ในปริมาณที่สูงใกล้เคียงกันและต้องการใช้ในปริมาณที่สูงกว่าธาตุอาหารอื่นตั้งแต่ช่วงแรกของการเจริญเติบโต คือ มีปริมาณสูงอย่างก้าวกระโดดตั้งแต่เริ่มสร้างต้นที่ระยะเป็นต้นกล้า ส่วน P, Ca และ Mg แสดงการเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่สม่ำเสมอ โดยมีลำดับ คือ Ca มากกว่า P ในขณะที่ Mg มีปริมาณต่ำที่สุด แม้ต้นข้าวจะต้องการ Ca มากเป็นอันดับ 3 แต่เป็นปริมาณใกล้เคียงกับ P และ Mg ทั้งนี้เพราะต้นข้าวไม่สร้างเนื้อไม้ เมื่อถึงช่วงเติบโตทางสืบพันธุ์ (ระยะที่ 4-6) ปริมาณธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรงกับมวลรวมของเมล็ดกับก้านรวง ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่ปรากฏในส่วนการเติบโตทางสืบพันธุ์ (รวงข้าว) สูงกว่าอีก 4 ธาตุอย่างชัดเจนถึง 3-5 เท่า ธาตุที่มีปริมาณรองลงไป คือ K ส่วน Ca มีปริมาณในรวงข้าวต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ ปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการสร้างมวลแห้งรวมทั้งต้นของข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีรูปแบบความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก (Figure 1) โดยเฉพาะในระยะการเติบโตทางลำต้น ความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารเกิดในช่วงการเติบโตทางสืบพันธุ์ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความต้องการธาตุอาหารพืชสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น เนื่องจากการสร้างมวลเพิ่มต่อเนื่องไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ทั้งนี้ความต้องการธาตุอาหารหลักในการสร้างมวลแห้งในช่วงการเติบโตทางลำต้นมีอัตราที่เร็วกว่าที่ใช้ในช่วงการเติบโตทางสืบพันธุ์ สำหรับข้าวไม่ไวแสงที่การเจริญเติบโตทางลำต้นได้ลดลงชัดเจนเมื่อมีการสร้างรวงข้าวพบว่า ทั้ง P และ K แสดงรูปแบบที่ชัดเจนกว่าอีก 3 ธาตุ ว่าปริมาณที่ดูดใช้ในการสร้างมวลส่วนต้นจะถูกเคลื่อนย้ายจากต้นไปไว้ที่เมล็ด เพราะปริมาณ

ธาตุอาหารไม่ได้เพิ่มขึ้นตามมวลแห้งทั้งต้นที่เพิ่มขึ้น สำหรับธาตุ K ที่ไม่ได้เป็นส่วนขององค์ประกอบของเซลล์ แต่ทำหน้าที่ช่วยหล่อลื่นการไหลในระบบท่อลำเลียงอาหาร เมื่อพืชมีการสร้างเนื้อเยื่อลดลง ต้นข้าว จึงไม่ต้องการปริมาณ K เพิ่มขึ้นอีก ในด้านของจุลธาตุ

พบว่า มีแต่ Fe (เหล็ก) เท่านั้น ที่มีปริมาณในระดับใกล้เคียงกับ P และ Ca ส่วน Cu, Zn และ B ปรากฏในต้นข้าวในปริมาณต่ำมาก โดยเฉพาะ B มีในปริมาณที่น้อยมาก จนไม่สามารถตรวจวัดได้

Table 2 Nutrient concentrations in various parts of PTT1 at 6 stages of growth

Stage	Plant part	Concentration, % dry mass					Concentration, $\mu\text{g g}^{-1}$ dry mass				
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
PTT1											
1	Leaf	3.48	0.35	1.44	0.29	0.25	456	627	6.5	26.5	2.6
2	Leaf	2.80	0.27	3.27	0.23	0.14	837	395	4.2	15.1	3.4
3	Leaf	2.10	0.24	2.05	0.23	0.15	571	158	2.2	13.4	1.0
4	Leaf	2.16	0.29	1.63	0.31	0.14	597	188	1.6	15.1	1.7
5	Leaf	1.26	0.13	2.00	0.42	0.10	656	208	1.6	13.6	1.4
6	Leaf	1.10	0.16	1.68	0.46	0.09	615	189	1.2	11.6	1.6
1	Stem	*	0.31	0.63	0.13	0.25	5,338	542	117.3	162.1	nd
2	Stem	1.14	0.29	1.41	0.15	0.09	5,473	110	6.6	31.6	nd
3	Stem	0.87	0.27	0.51	0.16	0.09	4,922	83	6.0	29.2	0.1
4	Stem	0.71	0.27	0.22	0.14	0.04	6,086	71	2.5	27.1	nd
5	Stem	0.61	0.16	0.16	0.20	0.06	8,064	102	4.3	24.2	nd
6	Stem	0.58	0.10	0.22	0.19	0.05	8,459	93	3.5	23.8	nd
1	Root	*	0.39	0.60	0.16	0.13	24,161	479	18.1	37.1	nd
2	Root	1.25	0.34	0.74	0.25	0.09	27,741	270	7.8	30.1	nd
3	Root	1.10	0.26	0.31	0.31	0.10	22,342	174	5.3	27.8	nd
4	Root	1.06	0.19	0.16	0.28	0.06	16,879	136	3.9	23.7	nd
5	Root	0.96	0.18	0.15	0.29	0.09	15,776	204	3.5	25.9	nd
6	Root	0.79	0.12	0.14	0.32	0.07	14,921	138	3.3	22.6	nd
4	Peduncle	1.61	0.19	1.12	0.10	0.23	356	71	2.0	16.8	9.2
5	Peduncle	1.10	0.05	1.76	0.27	0.05	144	113	1.9	11.7	1.6
6	Peduncle	0.97	0.08	2.53	0.22	0.11	232	79	2.3	9.7	2.4
4	Filling seed	1.31	0.17	0.49	0.14	0.12	400	98	2.8	20.1	2.9
5	Filling seed	1.29	0.16	0.47	0.13	0.10	189	89	2.5	10.3	0.6
6	Filling seed	*	0.10	0.49	0.20	0.10	223	97	2.3	11.9	2.3
5	Filled seed	1.75	0.22	0.26	0.04	0.12	133	38	2.6	12.9	nd
6	Filled seed	1.57	0.20	0.28	0.05	0.12	96	39	2.1	12.3	nd

Note: Stage of growth: 1 = seedling, 2 = tiller initiation, 3 = maximum tillering, 4 = flowering, 5 = harvesting, 6 = late harvesting

Table 3 Nutrient concentrations in various parts of KDML105 at 6 stages of growth

Stage	Plant part	Concentration, % dry mass					Concentration, $\mu\text{g g}^{-1}$ dry mass				
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
KDML105											
1	Leaf	4.69	0.48	2.99	0.30	0.23	301	572	3.8	28.0	3.6
2	Leaf	2.30	0.36	3.39	0.26	0.15	658	279	3.7	15.1	2.9
3	Leaf	2.12	0.31	2.30	0.27	0.15	437	194	2.2	14.9	1.1
4	Leaf	1.32	0.29	1.20	0.22	0.16	533	127	1.4	17.4	1.4
5	Leaf	0.69	0.20	1.46	0.37	0.16	441	124	1.2	16.0	1.2
6	Leaf	0.80	0.19	0.92	0.38	0.10	592	103	1.4	9.3	1.5
1	Stem	*	0.40	1.89	0.14	0.24	2,566	511	23.5	116.1	nd
2	Stem	1.34	0.49	2.16	0.13	0.09	3,201	85	4.5	53.8	0.7
3	Stem	1.04	0.43	0.94	0.17	0.06	4,802	105	3.6	30.6	0.1
4	Stem	0.86	0.30	0.21	0.18	0.06	4,722	81	3.0	28.5	nd
5	Stem	0.39	0.23	0.20	0.10	0.02	1,750	55	1.2	14.3	nd
6	Stem	0.48	0.19	0.20	0.17	0.05	4,797	76	3.4	15.7	nd
1	Root	*	0.36	1.66	0.18	0.15	27,466	502	20.5	36.5	nd
2	Root	1.37	0.31	0.70	0.31	0.07	17,450	191	7.0	23.0	nd
3	Root	1.52	0.35	0.41	0.47	0.07	22,575	248	5.9	27.5	nd
4	Root	1.36	0.20	0.16	0.38	0.07	15,450	180	4.3	25.9	nd
5	Root	0.93	0.13	0.20	0.25	0.07	12,232	157	3.6	24.5	nd
6	Root	0.90	0.12	0.18	0.32	0.09	12,102	199	3.4	23.9	nd
4	Peduncle	1.44	0.22	0.97	0.08	0.20	234	45	1.2	15.6	1.2
5	Peduncle	0.68	0.06	1.59	0.20	0.05	99	77	0.9	10.5	1.7
6	Peduncle	0.78	0.07	1.29	0.21	0.08	148	63	0.7	12.4	0.9
4	Filling seed	1.12	0.13	0.49	0.11	0.10	343	66	1.6	18.5	1.4
5	Filling seed	0.84	0.14	0.41	0.13	0.10	459	91	2.9	16.4	1.3
6	Filling seed	1.43	0.20	0.40	0.10	0.12	153	77	1.4	17.3	0.8
5	Filled seed	1.23	0.20	0.27	0.04	0.11	126	32	1.8	15.5	nd
6	Filled seed	1.30	0.15	0.21	0.04	0.09	82	36	1.3	13.9	0.0

Note: Stage of growth: 1 = seedling, 2 = tiller initiation, 3 = maximum tillering, 4 = flowering, 5 = harvesting, 6 = late harvesting

คำนวณความเข้มข้นธาตุอาหารเฉลี่ย เป็นค่าความชื้นของสมการเชิงเส้นตรงระหว่างมวลแห้งกับปริมาณธาตุอาหาร ได้ค่าของส่วนที่เติบโตทางลำต้น (ราก ลำต้น และใบ) ของส่วนที่เติบโตทางสืบพันธุ์ (เมล็ดและก้านรวง) ส่วนของต้นข้าวรวมทั้งหมด และ ส่วนของเมล็ดดี แสดงดังใน Table 4 ซึ่งพบว่า ในส่วนการเติบโตทางลำต้น ข้าวมีความเข้มข้นของ K สูงที่สุด

(1.2–1.8%) โดยสูงกว่า N (0.9–1.8%) เล็กน้อย แต่ใน ส่วนของรวงข้าวและของเมล็ดดี ความเข้มข้นของ N มีค่าสูงสุดใกล้เคียงกับที่อยู่ในส่วนของการเติบโตทางลำต้น ในขณะที่ ความเข้มข้นของ K ในรวงข้าวลดลงอย่างชัดเจน (0.33–0.40%) จนเหลืออยู่ที่ประมาณ ¼ ของส่วนเติบโตทางลำต้น

Table 4 Whole plant averaged of nutrient concentrations in 3 rice varieties

Plant stage	Concentration, % dry mass					Concentration, $\mu\text{g g}^{-1}$ dry mass				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
RD1										
Vegetative	1.82	0.25	1.84	0.31	0.18	2,307	223	1.7	12.6	1.2
Reproductive	1.82	0.21	0.39	0.05	0.12	115	49	1.3	12.1	0.3
Total	1.78	0.23	1.18	0.20	0.15	1,296	147	1.5	12.1	0.8
Filled seed	1.92	0.23	0.28	0.04	0.12	96	42	1.1	12.1	nd
PTT1										
Vegetative	1.56	0.20	1.67	0.35	0.11	2,131	192	1.9	14.8	1.4
Reproductive	1.58	0.20	0.40	0.06	0.12	132	47	2.3	12.5	0.3
Total	1.49	0.19	1.15	0.25	0.11	1,317	133	2.0	13.9	1.0
Filled seed	1.66	0.21	0.27	0.04	0.12	115	38	2.3	12.6	nd
KDML105										
Vegetative	0.86	0.21	1.21	0.33	0.13	1,247	121	1.5	14.9	1.2
Reproductive	1.21	0.18	0.33	0.05	0.10	126	39	1.6	14.9	0.2
Total	0.92	0.20	0.97	0.26	0.12	941	99	1.5	14.8	0.9
Filled seed	1.25	0.19	0.25	0.04	0.12	113	33	1.7	15.0	nd

Note: nd = not detectable

การประเมินปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งพืชใช้ในการสร้างมวลเพื่อการเติบโตทางลำต้นและทางสืบพันธุ์ คำนวณจากค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารและมวลชีวภาพของส่วนต้นและผลผลิต โดยเริ่มจากกำหนดผลผลิตข้าวในสภาพแปลงเป็นมวลสดของเมล็ดดี (Mf, filled seed) ที่มีความชื้นที่ 15% (หรือสัดส่วนมวลแห้งต่อมวลสด เท่ากับ 85%, $Md/Mf = 0.85$)

คำนวณให้อยู่ในรูปเป็นมวลแห้งของข้าวเปลือก (Md, filled seed) = $(Mf, \text{filled seed}) / (Md/Mf)$ ผลคูณของมวลแห้งข้าวเปลือกกับความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารในข้าวเปลือก (Table 4) คือ ปริมาณธาตุอาหารในข้าวเปลือกเมล็ดดีตามผลผลิตข้าวระดับต่าง ๆ (Table 5 ข้อมูลแถวตั้งแถบซ้าย)

Table 5 Major nutrient contents for the production of yield and vegetative parts in 3 rice varieties

		Filled Seed, kg ra ⁻¹					Vegetative part, kg ra ⁻¹					
Yield mass		Nutrient content					Mass	Nutrient content				
fresh	dry	N	P	K	Ca	Mg	dry	N	P	K	Ca	Mg
RD1												
700	595	11.4	1.34	1.70	0.24	0.69	621	11.3	1.55	11.4	1.91	1.10
750	638	12.2	1.44	1.82	0.25	0.74	665	12.1	1.66	12.2	2.05	1.18
800	680	13.0	1.53	1.94	0.27	0.79	710	12.9	1.77	13.0	2.18	1.26
850	723	13.8	1.63	2.06	0.29	0.84	754	13.7	1.88	13.8	2.32	1.34
900	765	14.7	1.72	2.18	0.30	0.89	798	14.5	2.00	14.7	2.45	1.42
PTT1												
600	510	8.5	1.07	1.37	0.22	0.61	569	8.9	1.16	9.5	2.01	0.64
650	553	9.2	1.16	1.48	0.24	0.66	616	9.6	1.25	10.3	2.18	0.69
700	595	9.9	1.25	1.60	0.25	0.71	664	10.3	1.35	11.1	2.35	0.75
750	638	10.6	1.34	1.71	0.27	0.76	711	11.1	1.45	11.9	2.51	0.80
800	680	11.3	1.43	1.82	0.29	0.81	758	11.8	1.54	12.7	2.68	0.85
KDML105												
300	255	3.2	0.48	0.64	0.09	0.30	695	6.0	1.48	8.4	2.32	0.91
350	298	3.7	0.56	0.74	0.11	0.35	811	7.0	1.73	9.8	2.70	1.06
400	340	4.2	0.64	0.85	0.13	0.40	926	7.9	1.98	11.2	3.09	1.21
450	383	4.8	0.72	0.96	0.14	0.45	1,042	8.9	2.22	12.6	3.47	1.36
500	425	5.3	0.80	1.06	0.16	0.50	1,158	9.9	2.47	14.0	3.86	1.51

สำหรับผลประเมินปริมาณธาตุอาหารในส่วนการเติบโตทางลำต้นที่ควบคู่กับผลผลิตพืชแต่ละชนิด และแต่ละพันธุ์มีสมบัติประจำตัวของการแบ่งส่วนมวลระหว่างส่วนต้นกับส่วนผลผลิตที่ระดับต่างกัน ด้วยเหตุนี้ผลผลิตข้าวเปลือกแต่ละระดับจึงเกิดควบคู่เป็นสัดส่วนหนึ่งกับมวลแห้งของส่วนต้น ข้อมูลการแบ่งส่วนของมวลชีวภาพ ทำให้กำหนดได้ว่า สัดส่วนมวลแห้งของเมล็ดติดต่อกับส่วนการเติบโตทางลำต้น (Md filled seed/Md vegetative) ของข้าวพันธุ์กข41 มีค่าเท่ากับ 0.96 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 มีค่าเท่ากับ 0.90 และข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 มีค่าเท่ากับ 0.37 (Laywisadkul

and Yingjajaval, 2017) ใช้ข้อมูลนี้ในการคำนวณมวลแห้งของส่วนการเติบโตทางลำต้นที่สัมพันธ์กับระดับผลผลิต เมื่อคูณมวลแห้งกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารของส่วนการเติบโตทางลำต้น (Table 4) จะได้ปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวใช้ในการสร้างส่วนการเติบโตทางลำต้นที่สัมพันธ์กับผลผลิตระดับต่าง ๆ (Table 5 ข้อมูลแถวตั้งแถบขวา) คือ ข้าวพันธุ์ กข41 และปทุมธานี1 มีการแบ่งส่วนมวลแห้งในการสร้างรวงข้าวที่ใกล้เคียงกับมวลแห้งที่ใช้สร้างส่วนเพื่อการเติบโตของลำต้น ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ใช้ใน 2 ส่วนนี้ จึงมีระดับใกล้เคียงกัน แต่ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 มี

การสร้างมวลแห้งเพื่อการเติบโตทางลำต้นมากกว่าทาง การสืบพันธุ์ (ผลผลิตคิดเป็น 37% ของมวลต้น) ซึ่งถือว่าเป็นพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการแบ่งมวลไปสร้างผลผลิตต่ำ จึงเป็นพันธุ์ข้าวที่ใช้ธาตุอาหารในการสร้าง ส่วนของลำต้นมากกว่าสร้างผลผลิต

สูตรและอัตราปุ๋ยสำหรับข้าว

การคำนวณอัตราอ้างอิงปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่ลงดิน มีหลักการให้ใส่ปุ๋ยในปริมาณเท่ากับที่ทดแทน ส่วนที่พืชนำจากดินไปใช้ในการสร้างต้นและสร้างผลผลิตตามระดับกำลังการให้ผลผลิต ในพื้นที่ที่ปลูกพืชเดิมอย่างต่อเนื่อง มักมีชั้นส่วนพืชส่วนหนึ่งหลงเหลือในแปลงหลังเก็บเกี่ยว การกำหนดอัตราปุ๋ยทดแทนลงดิน จึงเป็นผลรวมของธาตุอาหารในผลผลิตรวมกับเศษต้นที่สูญเสียไปจากแปลง กรณีที่มีการทิ้งตอซังไว้ในแปลง แต่มีการสูญเสียธาตุอาหารของตอซังฤดูก่อนไปประมาณครึ่งหนึ่ง ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต้องชดเชยตามปริมาณที่นำออกจากดินที่ระดับผลผลิตต่าง ๆ ของข้าวเปลือก เมื่อประเมินเฉลี่ยตลอดช่วงผลผลิตข้าวเปลือกทั้งหมด จะได้อัตราส่วนปุ๋ยสำหรับข้าวพันธุ์ กข41 มีอัตราส่วนเท่ากับ 3.5 : 1 : 1.8 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ที่มีอัตราส่วน 3.4 : 1 : 1.9 ในขณะที่ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 มีค่าอัตราส่วนเท่ากับ 2.2 : 1 : 2.1

สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมมีอัตราส่วนปุ๋ยตามที่เหมาะสมของข้าวแต่ละพันธุ์ คือ พันธุ์ กข41 ควรใช้สูตรปุ๋ย 25-7-13 ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรปุ๋ยสำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 คือ 24-7-14 ในขณะที่ สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 คือ 20-8-20 ทั้งนี้ ต้องใส่โดโลไมท์ (dolomite, 22% Ca + 13% Mg) การใช้ปุ๋ยในแต่ละสูตรในข้าวทั้ง 3 พันธุ์ยังจำเป็นเพื่อให้มีธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินในปริมาณที่เหมาะสมด้วย นอกจากนี้ อัตราปุ๋ยผสมที่ตรงกับระดับ

การสร้างผลผลิตของข้าวแต่ละพันธุ์ (Table 6) เป็นปริมาณที่ให้แมกนีเซียมครบจำนวน โดยที่มีแคลเซียมเกินปริมาณที่นำออกจากดิน ทั้งนี้ ยังไม่ได้รวมปริมาณที่ต้องใช้เพื่อปรับเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของดิน

เมื่อเทียบกับปุ๋ยที่แนะนำโดยทั่วไป เช่น ข้าวไม่ไวแสง ใช้ปุ๋ย 46-0-0 จำนวน 10 กิโลกรัมต่อไร่ และ 16-20-20 จำนวน 35 กิโลกรัมต่อไร่ (คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารต่อไร่ เท่ากับ 10.2 กิโลกรัม N 7.0 กิโลกรัม P₂O₅ และ 7.0 กิโลกรัม K₂O) เมื่อเทียบกับปริมาณธาตุอาหารที่ต้องใช้ในการผลิตข้าว กข41 ที่ระดับผลผลิต 700 กิโลกรัมต่อไร่ (ข้าวเปลือก + ตอซังครึ่งหนึ่ง ใช้ธาตุอาหาร 17.0 กิโลกรัม N 4.8 กิโลกรัม P₂O₅ และ 8.9 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่) พบว่า ปริมาณ N ที่ใส่ยังต่ำกว่าที่ปรากฏในข้าวเปลือกที่นำออกจากดิน และปริมาณ K ต่ำกว่าที่ต้องใช้ในการเติบโตของทั้งต้น ซึ่งยังไม่รวมถึงความเชื่อกันอย่างต่อเนื่องมานานเกินกว่า 60 ปี ว่าไม่จำเป็นต้องให้ปุ๋ย K ในดินนาภาคกลาง เพราะมีธาตุนี้ในดินเหนียวในปริมาณมาก ในขณะที่มีการนำธาตุ K ออกจากดินในการผลิตข้าวจำนวนมหาศาลในช่วงเวลานั้น อีกทั้งไม่มีการศึกษาใดยืนยันว่าปริมาณ K ในดินของที่ราบภาคกลางยังมีปริมาณมากอย่างไม่มีสิ้นสุด และดินสามารถปลดปล่อยออกมาในอัตราที่ทันกับที่ต้นข้าวต้องการใช้ในอีกกรณีหนึ่ง อัตราปุ๋ยสำหรับข้าวดอกมะลิ105 ที่ปลูกในภาคอีสาน คือ 46-0-0 จำนวน 25 กิโลกรัมต่อไร่ และ 15-15-15 อีก 20 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารต่อไร่ เท่ากับ 14.5 กิโลกรัม N, 3.0 กิโลกรัม P₂O₅ และ 3.0 กิโลกรัม K₂O ในขณะที่ ข้าวดอกมะลิ105 ที่ผลผลิตข้าวเปลือก 400 กิโลกรัมต่อไร่ ต้องการธาตุอาหารต่อไร่เท่ากับ 8.2 กิโลกรัม N, 3.7 กิโลกรัม P₂O₅ และ 7.7 กิโลกรัม K₂O จึงแสดงได้ว่า ค่าแนะนำปุ๋ยข้าวที่ให้ทั่วไป เป็นอัตราที่ให้ K ไม่เพียงพอ และไม่มีการให้ Ca และ Mg สำหรับการเติบโตทางลำต้น

Table 6 Suggested fertilizer formula, fertilizer and dolomite rates to compensate for the production of various levels of yield of the 3 rice varieties. The calculation was based on the assumption that half of the required nutrient contents were derived from the leftover biomass of the previous crop

Variety	Fertilizer rate, kg/rai		
	Field rice yield	Fertilizer formula	Dolomite
		25-7-13	
RD41	700	68.2	9.6
RD41	750	73.1	10.3
RD41	800	77.9	10.9
RD41	850	82.8	11.6
RD41	900	87.7	12.3
		25-7-14	
PTT1	600	53.8	7.1
PTT1	650	58.3	7.7
PTT1	700	62.7	8.3
PTT1	750	67.2	8.9
PTT1	800	71.7	9.5
		20-8-20	
KDML105	300	30.8	5.8
KDML105	350	35.9	6.7
KDML105	400	41.1	7.7
KDML105	450	46.2	8.7
KDML105	500	51.3	9.6

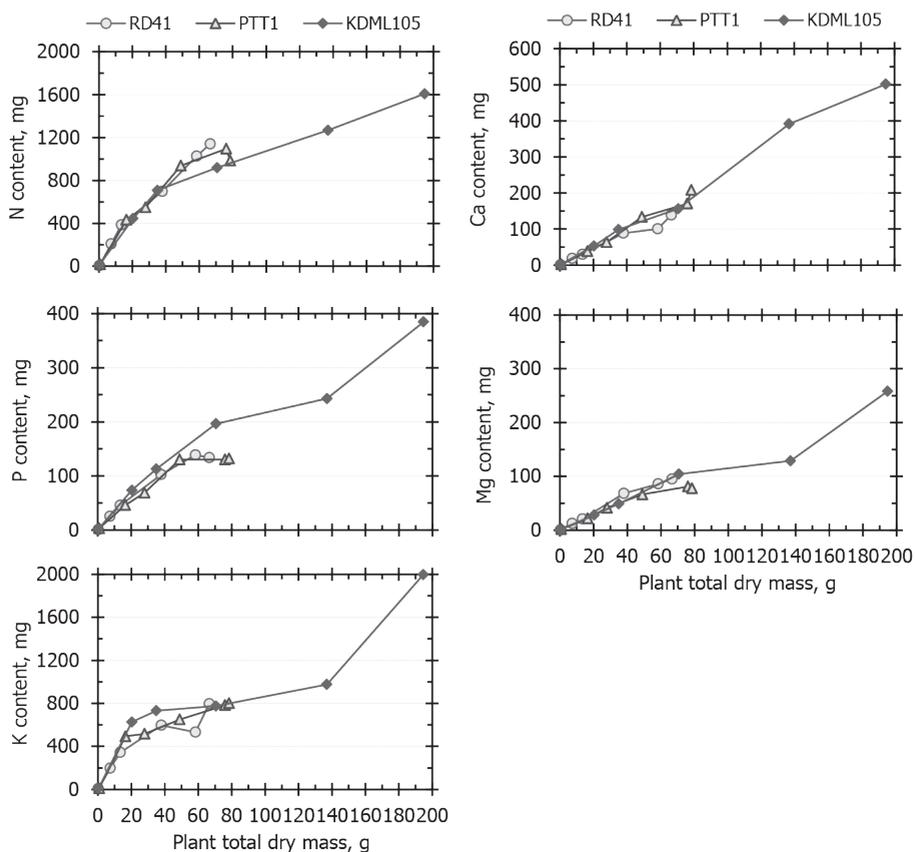


Figure 1 Total contents of major nutrients in 3 rice varieties

อัตราปุ๋ยแนะนำสำหรับข้าวจะพอเพียงสำหรับธาตุ N และ P ในการชดเชยส่วนของข้าวเปลือกที่นำออกจากนา แต่ธาตุ K, Ca และ Mg สำหรับการสร้างต้นและข้าวเปลือก ซึ่งการขาดธาตุอาหารหลัก 3 ชนิดนี้ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมานาน ทำให้การผลิตข้าวของประเทศไม่สามารถยกระดับผลผลิตขึ้นได้ เพราะมีการใส่ดินธาตุอาหารหลักเพียงบางส่วนที่ประมาณเท่ากับที่นำออกจากดินในรูปข้าวเปลือก โดยไม่มีการใส่ธาตุอาหารหลักเพื่อเพิ่มการเติบโตทางลำต้น ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินจะถูกหมุนเวียนจากตอซังที่ทิ้ง

ไว้จากฤดูปลูกก่อน ซึ่งหากแม่คืนกลับลงดินหมดก็ได้เพียงให้สร้างมวลต้นเท่าเดิม ทำให้ธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะ K, Ca และ Mg ได้กลายเป็นตัวจำกัดการสร้างมวลของต้น ส่งผลให้ต้นข้าวไม่สามารถแบ่งส่วนมวลไปสร้างรวงข้าวได้มากขึ้น

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือ ความคิดของเกษตรกรที่ว่า ไม่ใส่ปุ๋ยให้ข้าวมากเกินไป เพราะทำให้ข้าวล้มง่าย ส่วนหนึ่งเกิดจากลักษณะทรงต้นของข้าวแต่ละพันธุ์ รวงข้าวขาวดอกมะลิ105 มีลักษณะโค้งลงดิน ซึ่งทำให้จุดศูนย์ถ่วงตกออกนอกฐานทรงพุ่ม

ข้าวดอกมะลิ105 จึงมีโอกาสเกิดต้นล้มได้มาก ทั้งนี้ การผลิตข้าวตลอดเวลาที่ผ่านมา ไม่มีการให้ธาตุ Ca ซึ่ง จำเป็นต่อความแข็งแรงและยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ซึ่ง จะทำให้ต้นมีความแข็งแรงต้านทานการล้มได้มากขึ้น

สรุป

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในทุกส่วน ในช่วง การเจริญเติบโตทางลำต้นมีระดับสูงกว่าระยะเจริญ โตเติบโตทางสีป่นธุ์ ส่วนปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ

เพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรงกับมวลแห้ง โดยความต้องการ N และ K สูงตั้งแต่ช่วงแรกของการเติบโต ส่วน P, Ca และ Mg ต้องการเพิ่มขึ้นช้า ๆ สม่่าเสมอ ปริมาณธาตุอาหาร รวมทั้งต้นของข้าว 3 พันธุ์ มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน ใน ระยะก่อนออกดอก แต่ระยะสีป่นธุ์ของข้าวขาว ดอกมะลิ105 มีการสร้างมวลต้นเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ทำให้ มีความต้องการธาตุอาหารสูงกว่าไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว จากอัตราส่วนธาตุอาหารที่ได้ใช้กำหนด อัตราส่วนปุ๋ยเพื่อให้ได้สัดส่วนธาตุอาหารที่เหมาะสม กับ ความต้องการของข้าวแต่ละพันธุ์

เอกสารอ้างอิง

- Bangjan, J. and S. Yingjajaval. 2006. Biomass of Para rubber (RRIM 600). *Agricultural Sci. J.* 37(4): 341–351. (in Thai)
- Barker, A.V. and D.J. Pilbeam. 2007. Introduction, pp. 3–18. *In*: Barker, A.V. and D.J. Pilbeam., eds. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press, New York, USA.
- Khunsanit, P. and S. Yingjajaval. 2011. Biomass of sugarcane cv. K95–84. *Agricultural Sci. J.* 42(3): 485–493. (in Thai)
- Khunsanit, P. and S. Yingjajaval. 2012. Macronutrient contents of sugarcane cv. K95–84. *Agricultural Sci. J.* 43(2–3): 217–226. (in Thai)
- Laywisadkul, S. and S. Yingjajaval. 2017. Biomass and Plant Nutrients of Rice (*Oryza sativa*) var. RD41, Pathum Thani1 and Khao Dawk Mali105. Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, Thailand. 30 p. (in Thai)
- Munson, R.D. 1998. Principle of plant analysis, pp. 1–24. *In*: Kalra, Y.P., ed. *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, New York, USA.
- Yingjajaval, S. and J. Bangjan. 2006. Major plant nutrient contents in para rubber (RRIM600). *Agricultural Sci. J.* 37(4): 353–364. (in Thai)
- Yingjajaval, S., P. Paiboon and P. Chuennakorn. 2016. Data Compilation on Plant Biophysics and Nutrient Requirement for Oil Palm Production. Center for Agricultural Biotechnology. Kasetsart University. Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, Thailand. 43 p. (in Thai)