ผลของปุ๋ยชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน
Effect of biofertilizers on growth of oil palm seedling

สุวิมล กลศึก[1] เกริกชัย ธนรักษ์[1] ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต[2] นิศารัตน์ ทวีนุต[2-]
Suvimon Konlasuk[1], Krekchai Thanaruk[1], Sirilak Kaewsuralikhit[2] Nisarat Thaweenut[2]

Received/15 May. 2021 Revisied 18 Nov. 2021/Accepted 22 Dec. 2021

ABSTRACT

The transplanting of healthy oil palm seedlings from a nursery to the field results in seedlings adaptation to the environment and a high yield produce. This study aims to investigate the effects of biofertilizers viz. arbuscular mycorrhiza (M), phosphate solubilizing fungi (P), and Azolla (A), on growth performance and nutrient content in leaves of oil palm seedlings in main nursery. The eight treatments with three replications in randomized complete block design were 1) control, 2) M, 3) P, 4) A, 5) MP, 6) AM, 7) AP and 8) AMP. The experiment was conducted at Suratthani Oil Palm Research Center. Growth and nutrient content in leaves of oil palm seedlings were analyzed at nineteen months old. The results showed that the growth of seedling, as shown by total dry weight, root dry weight, leave dry weight, and leaf area, under AM application displayed significantly higher than the other treatments. Total dry weight of AM was higher than M and A by 51.52% and 28.75%, respectively. These results corresponded with nutrient content in leaves of AM which was higher than the others. The production cost was increased by 1.7 bath/seedling for AM application.

Keywords: Oil palm seedling, Abuscular mycorrhiza, Azolla, Phosphate solubilizing fungi

[1/] ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร
126 ม. 4 ต. ท่าอุแท อ. กาญจนดิษฐ์ จ. สุราษฎร์ธานี 84160

[1/] Suratthani Oil Palm Research Center, Field and Renewable Energy Crops Research Institute (FCRI). Department of Agriculture, 126 Moo 4 Tambon Tha-U-Thae, Kanchanadith, Surat Thani 84160

[2/] กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[2/] Soil Microbiology Research Subgroup, Soil Science Group, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900

***Corresponding author : k__suvimon@hotmail.com**

บทคัดย่อ

การอนุบาลต้นกล้าปาล์มน้ำมันให้สมบูรณ์แข็งแรง ช่วยให้ต้นกล้าที่ย้ายปลูกลงแปลงปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และเจริญเติบโตเป็นต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตสูงต่อไป การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่า (M) จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (P) และแหนแดง (A) ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลหลัก วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี 4 ซ้ำ คือ 1) กรรมวิธีควบคุม 2) M 3) P 4) A 5) MP 6) AM 7) AP และ 8) AMP โดยทุกกรรมวิธีใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ดำเนินการทดลอง ณ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จากการวัดการเจริญเติบโตและวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบเมื่อต้นกล้าอายุ 19 เดือน พบว่า ต้นกล้าที่ได้จากกรรมวิธี AM (การใช้ปุ๋ยเคมี+แหนแดง+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่า) มีการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักแห้งทั้งต้น น้ำหนักรากแห้ง น้ำหนักใบแห้ง และพื้นที่ใบ ดีที่สุดและสูงกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีน้ำหนักแห้งทั้งต้นสูงกว่ากรรมวิธี M 51.52 % และสูงกว่ากรรมวิธี A 28.75 % สอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบของต้นกล้าจากกรรมวิธี AM ที่มีปริมาณสูงสุดและสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การผลิตต้นกล้าด้วยกรรมวิธี AM มีต้นทุนค่าปุ๋ยชีวภาพ 1.7 บาท/ต้น

คำสำคัญ: ต้นกล้าปาล์มน้ำมัน, อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า, แหนแดง, จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกในประเทศไทยมากกว่าหกล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้น ต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่ใช้ปลูกลงแปลงจึงควรได้รับการอนุบาลให้มีความสมบูรณ์และแข็งแรง เพื่อให้สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีชีวิตรอดในสภาพแปลงปลูก และเจริญเติบโตเป็นต้นที่สมบูรณ์แข็งแรงและให้ผลผลิตดี การใช้ปุ๋ยชีวภาพจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ต้นกล้าสมบูรณ์แข็งแรง เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารให้กับพืช ช่วยปรับปรุงดินทั้งด้านชีวภาพ กายภาพ และชีวเคมี ปุ๋ยชีวภาพที่นิยมใช้และมีรายงานประสบความสำเร็จช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชยืนต้น ได้แก่ ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า (McGonigle *et al*., 2003; Satter *et al*., 2006; Sundram, 2010) จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (Saber *et al*., 2009; Ingle and Padole, 2017) และแหนแดง (Yadav *et al*., 2014; Agbagba *et al*., 2018; Yao *et al*., 2018) เป็นต้น

แหนแดงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอาศัยอยู่ในโพลงใบ ช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศเปลี่ยนเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสะสมอยู่ในแหนแดง (Watanabe and Ramirez, 1990) การผลิตแหนแดงมีต้นทุนไม่สูงนัก เกษตรกรสามารถผลิตได้ด้วยตนเอง โดยทยอยใส่แหนแดงสดหรือแห้งได้หลาย ๆ ครั้ง ทั้งในระยะอนุบาลต้นกล้าและในแปลงปลูก ส่วนอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชในรูปแบบได้ประโยชน์ร่วมกัน อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าได้รับสารอาหารจากพืชและช่วยรากพืชดูดซับธาตุอาหารในดินและส่งต่อให้พืชได้ใช้ประโยชน์ การใส่อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าให้กับพืชเพียงครั้งเดียว จุลินทรีย์จะเข้าอาศัยอยู่ภายในรากและให้ประโยชน์ไปได้ตลอดอายุของต้นพืช (Johnson *et al,* 1997; Lu *et al.,* 2018) ดังนั้น ถ้าใส่ในระยะต้นกล้า อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าก็สามารถติดตามต้นกล้าไปด้วยเมื่อย้ายปลูกลงแปลง สำหรับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ช่วยละลายฟอสฟอรัสที่อาจถูกตรึงอยู่ในดิน ทำให้

พืชสามารถดูดฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Walpola and Yoon, 2012) ปุ๋ยชีวภาพทั้งสามชนิดนี้จะเป็นประโยชน์มากสามารถช่วยให้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันแข็งแรงและเจริญเติบโตดี รวมทั้งช่วยให้ต้นกล้าสามารถปรับตัวและทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ตั้งแต่ในระยะแรกของการปลูกลงแปลง โดยเฉพาะแปลงที่มีสภาพโล่งเตียนจากการเตรียมพื้นที่ปลูก การทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลหลัก

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

ในระยะอนุบาลแรกเพาะเมล็ดงอกปาล์มน้ำมันลงในถุงเพาะชำขนาด 5 x 7 นิ้ว โดยเตรียมดินปลูกตามอัตราส่วน หน้าดิน : ขุยมะพร้าว : ปุ๋ยอินทรีย์ : และทราย : เท่ากับ 8:3:3:1 (โดยปริมาตร) ให้ปุ๋ยและน้ำตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร อนุบาลต้นกล้าจนอายุได้ 12 เดือน คัดเลือกต้นกล้าที่สมบูรณ์ มีขนาดสม่ำเสมอ และไม่มีลักษณะผิดปกติ ย้ายปลูกไปยังแปลงอนุบาลหลัก เนื่องจากต้นกล้ามีอายุมากจึงตัดส่วนยอด คงเหลือส่วนโคนต้นไว้ให้มีความยาว 10 นิ้ว ย้ายปลูกโดยใช้ดินปลูกในอัตราส่วนเดิม ถุงเพาะชำขนาด 12 x 14 นิ้ว อนุบาลต่อในแปลงอนุบาลหลักเป็นระยะเวลาประมาณ 7 เดือน วางเรียงต้นกล้าเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ระยะห่าง 70 x 70 x 70 ซม. วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น มี 8 กรรมวิธี ดังนี้

1. กรรมวิธีควบคุม: ปุ๋ยเคมี
2. M: ปุ๋ยเคมี + อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า
3. P: ปุ๋ยเคมี + จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต
4. A: ปุ๋ยเคมี + แหนแดงแห้ง
5. MP: ปุ๋ยเคมี + อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า + จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต
6. AM: ปุ๋ยเคมี + แหนแดงแห้ง + อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า
7. AP: ปุ๋ยเคมี + แหนแดงแห้ง +จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต
8. AMP: ปุ๋ยเคมี + แหนแดงแห้ง + อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า + จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

ปุ๋ยเคมีที่ใส่และอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีในระยะอนุบาลหลักดังแสดงใน Table 1 การใส่ปุ๋ยชีวภาพดำเนินการในระยะนุบาลหลัก โดยปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่า จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และแหนแดงได้รับอนุเคราะห์และคำแนะนำการใช้จากกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กรมวิชาการเกษตร กรรมวิธีที่มีการใส่อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าร่วมด้วย จะใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่ารองก้นหลุมก่อนปลูกปริมาณ 10 ก./ต้น กรรมวิธีที่มีการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมด้วย จะใส่ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตปริมาณ 10 ก./ต้น กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพแหนแดงแห้ง ใส่แหนแดงแห้งปริมาณ 120 ก./ต้น โดยแบ่งใส่เป็น 3 ชั้น ๆ ละ 40 ก. สลับกับดินปลูก

2. การวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

วิเคราะห์สมบัติของดินปลูกก่อนการทดลองได้แก่ เนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley & Black (Walkley and Black, 1947) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) ด้วยวิธี BrayII (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Excg. K, Ca, Mg) โดยวิธีการสกัดดินด้วย NH_4OAc pH 7 และวัดด้วยเครื่อง AAS

3. การวัดการเจริญเติบโตของต้นกล้า

เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้าจากกรรมวิธีต่าง ๆ เมื่อต้นกล้ามีอายุ 19 สัปดาห์ โดยการวัดการเจริญเติบโต ดังนี้

3.1 นับจำนวนทางใบและจำนวนใบย่อย/ทางใบ และหาพื้นที่ใบโดยวัดความกว้าง-ยาว

Table 1 Application rates of chemical fertilizer of oil palm seedling in main nursery

Seedling age (week)*	Chemical fertilizer	quantity (g/seedling)
2	18-46-0	7
4	13-13-21	7
6	15-15-15	7
8	13-13-21	7
10	15-15-15	10
12	13-13-21	10
14	15-15-15 + borax	10 + 0.5
16	13-13-21+ geyserite	10 + 10
18	15-15-15	10
20	13-13-21	10
22	15-15-15	15
24	13-13-21 + geyserite	15 + 10
26	15-15-15	20

Week after seedlings were transplanted to main nursery.

ของใบย่อยที่ยาวที่สุด 6 ใบ นำค่าที่ได้มาคำนวณพื้นที่สัมพัทธ์ด้วยสูตร n x b มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร โดย n คือจำนวนใบย่อย และ b คือค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบย่อยจำนวน 6 ใบ คำนวณพื้นที่ใบจริงด้วยการคูณกับค่าคงที่ 0.55 (Corley and Tinker, 2016)

3.2 น้ำหนักสดทั้งต้น น้ำหนักแห้งทั้งต้น น้ำหนักรากแห้ง และน้ำหนักใบแห้ง โดยถอนต้นกล้าออกจากถุงเพาะและล้างรากให้สะอาด ตัดแยกแต่ละส่วนออกจากกัน ได้แก่ ทางใบ ลำต้น และราก ชั่งน้ำหนักสด นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°ซ. จนกว่าน้ำหนักแห้งไม่เปลี่ยนแปลง บันทึกค่าน้ำหนักแห้ง

4. การวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบ

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบ โดยเลือกเก็บใบย่อยของทางใบที่ 4 จำนวน 6 ใบย่อย/ต้น จาก 3 ตำแหน่ง คือ จุดกึ่งกลางทางใบ เหนือจุดกึ่งกลางทางใบ และใต้จุดกึ่งกลางทางใบ ด้านละ 1 ใบย่อย ดึงแกนใบย่อยออก ชั่งน้ำหนักสดแผ่นใบ จากนั้น จึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°ซ. 24 ชม. ชั่งน้ำหนักแห้งใบย่อย รวมใบย่อยของแต่ละต้น จำนวน 10 ต้น/ซ้ำ บดรวมกันและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในใบ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี micro Kjeldahl ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด $HClO_4$ และ HNO_3 และวัดปริมาณโดยวิธี molybdate-vanadate ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดโดยวิธีย่อยการสลายตัวอย่างด้วยกรด $HClO_4$ และ HNO_3 และวัดปริมาณโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนโดยวิธี Walkley & Black นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

5. การคำนวณต้นทุนการใช้ปุ๋ยชีวภาพผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

คำนวณต้นทุนการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันโดยหาค่าเฉลี่ยต่อต้นของปริมาณปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่า จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และแหนแดงที่ใช้ และราคาเฉลี่ยของปุ๋ยต่อต้น จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของราคาปุ๋ยชีวภาพที่ใช้ในกรรมวิธีที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดมารวมกับค่าแรงงาน

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของดินปลูกที่ใช้ พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.69 ค่าการนำไฟฟ้า 0.247 เดซิซีเมน/เมตร มีอินทรียวัตถุ 1.22% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 75 มก./กก. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 458 มก./กก. ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 1,234 มก./กก. และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 264 มก./กก. (Table 2)

2. การเจริญเติบโตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

การศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลหลักเมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมี ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และแหนแดง โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพชนิดใดชนิดหนึ่ง (M, P, A) หรือใช้ร่วมกันสองชนิด (MP, AM, AP) หรือสามชนิด (AMP) ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นปุ๋ยเม็ดที่ละลายน้ำง่าย ใส่ให้ต้นกล้าในปริมาณน้อย และทยอยใส่ให้บ่อยครั้งในอัตราเดียวกันทุกกรรมวิธี สำหรับต้นกล้าที่ย้ายมาปลูกในแปลงอนุบาลหลัก เป็นต้นกล้าจากแปลงอนุบาลแรกที่มีอายุมาก 12 เดือน ดังนั้นจึงมีระบบรากสมบูรณ์ จากผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสดทั้งต้น น้ำหนักแห้งทั้งต้น น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักรากแห้ง และพื้นที่ใบ รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารในใบของต้นกล้าที่ได้จากกรรมวิธี M ซึ่งใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมที่ใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Table 3 และ 4) แสดงให้เห็นว่า รากของต้นกล้าในกรรมวิธี M สามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้ทันเวลาด้วยตัวเองทั้งหมด ไม่จำเป็นต้องพึ่งการทำงานของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าจึงลดบทบาทของตัวเองในการทำหน้าที่ช่วยรากดูดซับธาตุอาหารลง ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าที่ได้จากกรรมวิธี M ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับหลายงานทดลองที่รายงานไว้ว่า เมื่อพืชอยู่ร่วมกับราไมคอร์ไรซ่าและดินปลูกมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืชในปริมาณที่สมดุลกับความสามารถดูดซับธาตุอาหารของราก รากไม่มีความจำเป็นต้องพึ่งพาการช่วยเหลือจากราไมคอร์ไรซ่า (Fitter, 1991; Johnson *et al*., 1997; Lu *et al*., 2018) ในขณะที่การใช้อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่ากับต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลแรกที่มีอายุน้อย 3-4 เดือน ซึ่งมีระบบรากไม่สมบูรณ์และความสามารถดูดซับธาตุอาหารของรากไม่สมดุลกับปริมาณธาตุอาหารในดินปลูก พบว่า ราไมคอร์ไรซ่าจะทำหน้าที่ช่วยดูดซับธาตุอาหารส่งต่อให้กับรากและช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ดี (Sundram, 2010; Galindo-Castaneda and Romero, 2013) ส่วนกรรมวิธี P แม้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต แต่ไม่มีอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าช่วยรากในการดูดซับธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นนั้นให้ใช้ได้ทันเวลา ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม และน้อยกว่ากรรมวิธีที่มีการใส่อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าร่วมด้วย (กรรมวิธี MP) อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับกรรมวิธี A ปริมาณธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นซึ่งได้มาจากการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงแห้ง (ศิริลักษณ์ และคณะ 2564) และกรรมวิธี AP ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ได้มาจากการ

Table 2 Chemical and physical properties of initial soil

Sample	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)	Texture
Soil mix	5.69	0.247	1.22	75	458	1,234	264	clay

ปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงแห้งและการทำงานของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต แต่ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมและน้อยกว่ากรรมวิธี AM ที่มีการใส่อาบัสคูลาไมคอร์ไรซ่าร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญ

กรรมวิธี MP มีน้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นกล้าสูงกว่ากรรมวิธี M และ P รวมทั้งกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 404, 337 และ 468 ก. คิดเป็น 25.7, 19.54 และ 23.87 % ตามลำดับ (Table 3) แสดงให้เห็นว่า กรรมวิธี MP มีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ช่วยย่อยสลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ง่าย (Illmer *et al*., 1995) ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นนี้เกินความสามารถของรากที่จะดูดไปใช้ได้ทันเวลา เส้นใยอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าจึงช่วยรากดูดซับธาตุอาหารในส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งต่อให้กับราก (Smith *et al*., 2011; Cavagnaro *et al*., 2015) และทำให้ต้นกล้าได้รับปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับรายงานในมะเขือเทศ พบว่า ฟอสฟอรัส 75 % ที่มะเขือเทศใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโต เป็นฟอสฟอรัสที่ส่งผ่านมายังรากโดยราอาบัสคูลาร์ไมโคไรซ่า (Smith *et al*., 2003) นอกจากนี้ ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในกรรมวิธี M และ MP ของการทดลองครั้งนี้ไม่มีผลยับยั้งการทำงานของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า

กรรมวิธี AM ซึ่งมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับแหนแดงและอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า พบว่าแหนแดงและอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าช่วยส่งเสริมการทำงานซึ่งกันและกัน ทำให้ต้นกล้าที่ได้มีน้ำหนักสดทั้งต้น น้ำหนักแห้งทั้งต้น น้ำหนักใบแห้ง และน้ำหนักรากแห้งสูงที่สุด 2,820, 805, 276 และ 82.98 ก. ตามลำดับ โดยเฉพาะน้ำหนักแห้งทั้งต้นสูงกว่าการใช้อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าอย่างเดียวในกรรมวิธี M 274 ก. คิดเป็น 51.52 % และสูงกว่าการใช้แหนแดงอย่างเดียวในกรรมวิธี A 180 ก. คิดเป็น 28.75 % (Table 3) นอกจากนี้ ต้นกล้าในกรรมวิธี AM ยังมีจำนวนทางใบและจำนวนใบย่อย/ทางใบมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ส่งผลให้ต้นกล้ามีพื้นที่ใบสูงที่สุดเท่ากับ 0.83 ตร.ม. แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม 0.23 ตร.ม. คิดเป็น 39.60 % (Table 3)

3. ปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

ปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต ผลการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีมีปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบไม่แตกต่างกัน ยกเว้นกรรมวิธี AM ที่มีปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบสูงสุดและสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ โดยกรรมวิธี AM มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ในใบสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม 2.07, 0.13, 1.09, 0.30 และ 0.47 ก. คิดเป็น 34.21, 35.13, 42.08, และ 46.88 % ตามลำดับ (Table 4) ทั้งนี้ ต้นกล้าในกรรมวิธี AM ได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีและจากการย่อยสลายแหนแดงแห้ง ซึ่งนอกจากจะย่อยสลายให้ธาตุอาหารไนโตรเจนเป็นหลักแล้ว ยังสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารที่สำคัญได้หลายชนิด ได้แก่ ฟอสฟอรัส และ

โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม (Van Hove, 1989: ศิริลักษณ์ และคณะ 2564) โดยต้นกล้าปาล์มน้ำมันนำธาตุอาหารเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ได้ดีที่สุดเมื่อมีอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าร่วมด้วย ต้นกล้าจึงได้รับธาตุอาหารทั้งทางตรงผ่านการดูดซับของรากและทางอ้อมผ่านเส้นใยของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า ส่งผลให้ต้นกล้าเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ ยังพบว่าต้นกล้าในกรรมวิธี AM มีการเจริญเติบโตสูงกว่าต้นกล้าที่ได้จากกรรมวิธี MP อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากแหนแดงแห้งเมื่อย่อยสลายแล้วจะปลดปล่อยธาตุอาหารที่สำคัญได้หลายชนิด ในขณะที่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตย่อยสลายได้เฉพาะฟอสฟอรัส

กรรมวิธี AMP ซึ่งมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะฟอสฟอรัสได้จากปุ๋ยเคมีและเพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายแหนแดงแห้งและกิจกรรมของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต แต่ต้นกล้าปาล์มน้ำมันในกรรมวิธีนี้มีการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบไม่แตกต่างจากกรรมวิธี M, P, A, AP, MP และกรรมวิธีควบคุม รวมทั้งมีการเจริญเติบโตโดยเฉพาะน้ำหนักแห้งทั้งต้นของต้นกล้าในกรรมวิธี AMP น้อยกว่าต้นกล้าในกรรมวิธี AM อย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 202 กรัม คิดเป็น 25% (Table 3) ทั้งนี้ในกรรมวิธี AMP เมื่อใส่ทั้งปุ๋ยเคมี แหนแดงแห้ง และจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกัน ประกอบกับดินปลูกเริ่มต้นมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง (Table 1) ทำให้ฟอสฟอรัสในดินในกรรมวิธี AMP มีปริมาณสูง จนมีผลต่อการทำงานของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า ซึ่งงานทดลองในข้าวของ Kobae *et al.* (2016) ได้พิสูจน์ให้เห็นว่า การให้ฟอสฟอรัสในปริมาณมากมีผลต่อการสร้างสารที่พืชใช้ในการสื่อสารกับไมคอร์ไรซ่า (symbiotic signaling) และมีผลยับยั้งการสร้างอาบัสคูล ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างราไมคอร์ไรซ่าและรากพืช ทำให้การทำงานของอาบัสคูลาไมคอร์ไรซ่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบของต้นกล้าที่ได้จากกรรมวิธี AMP มีน้อยกว่ากรรมวิธี AM อย่างมีนัยสำคัญและไม่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 4)

อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้เป็นการทดลองครั้งแรกกับต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลหลักและใช้ปุ๋ยเคมี 100 % ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ดังนั้น เพื่อให้มีข้อมูลสมบูรณ์ จึงควรศึกษาเปรียบเทียบการเจริญของต้นกล้าเมื่อมีการลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีลง รวมทั้งศึกษาการเจริญเติบโต และระยะเวลาการให้ผลผลิตครั้งแรกของต้นปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอนุบาลโดยใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพในสภาพแปลงปลูก

4. ต้นทุนการผลิตต้นกล้าจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่า จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และแหนแดงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับอนุเคราะห์จากกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กรมวิชาการเกษตร ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่าของกรมวิชาการเกษตร มีการผลิตขนาดถุงละ 500 ก. จำหน่ายในราคา 60 บาท อัตราการใช้ในต้นกล้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 10 ก./ต้น คิดเป็นต้นทุน 1.2 บาท/ต้น ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตของกรมวิชาการเกษตร มีการผลิตขนาดถุงละ 500 ก. จำหน่ายในราคา 45 บาท อัตราการใช้ในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 10 ก./ต้น คิดเป็นต้นทุน 1.1 บาท/ต้น ส่วนแหนแดงแห้งหรือแหนแดงสด ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยาก เลี้ยงง่าย และโตไว สามารถผลิตได้ด้วยตนเองตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร ม.ป.ป.) และควรผลิตด้วยตนเองเพื่อลดต้นทุน ดังนั้น จึงมีเพียงต้นทุนเป็นค่าวัสดุและค่าแรงงานเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.5 บาท/ต้น ซึ่งกรรมวิธี AM ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้ดีที่สุด มีต้นทุนค่าปุ๋ยชีวภาพ 1.7 บาท/ต้น และกรรมวิธี MP ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้ารองลงมา มีต้นทุนค่าปุ๋ยชีวภาพ 2.3 บาท/ต้น (Table 5)

Table 3 Growth of oil palm seedling at nineteen months old under chemical fertilizer and biofertilizer application in main nursery

Treatment*	Total fresh weight (g)	Total dry weight (g)	Leaf dry weight (g)	Root dry weight (g)	Frond number	Leaet number/frond	Leaf area (m^2)
Control	1,76 c	539 cd	189 bc	68.62 bc	10.05 abc	19.05 c	0.60 b
M	1,83 c	531 d	175 c	64.47 c	8.73 d	20.75 ab	0.60 b
P	1,90 c	558 cd	193 bc	70.09 bc	10.13 abc	20.20 abc	0.60 b
A	2,25 b	625 bc	218 b	75.13 abc	10.40 ab	19.79 bc	0.64 b
MP	2,23 b	667 b	209 bc	77.35 ab	9.38 d	20.99 ab	0.67 b
AM	2,82 a	805 a	276 a	82.98 a	10.78 a	21.29 a	0.83 a
AP	1,93 c	625 bc	206 bc	81.70 ab	9.58 bc	20.46 ab	0.63 b
AMP	2,04 bc	603 bcd	215 b	71.51 abc	9.80 bc	20.20 abc	0.59 b
C.V. (%)	31.82	30.93	29.52	27.91	18.43	12.62	29.59

Means in the same column, follow by a common letter are not signicantly different at the 5% level by DMRT.

*,Control = Chemical fertilizer, M = Chemical fertilizer + Arbuscular mycorrhiza , P = Chemical fertilizer + Phosphate solubilizing fungi , A = Chemical fertilizer +Azolla ,MP = Chemical fertilizer + Arbuscular mycorrhiza + Phosphate solubilizing fungi, AM = Chemical fertilizer + Azolla +Arbuscular mycorrhiza, AP = Chemical fertilizer +Azolla + Phosphate solubilizing fungi, AMP = Chemical fertilizer +Azolla+ Arbuscular mycorrhiza + Phosphate solubilizing fungi

Table 4 Nutrient content in leaves of oil palm seeding at nineteen months old under chemical fertilizer and biofertilizer application in main nursery

Treatment	Nutrient content (g)				
	Nitrogen	Phosphorus	Potassium	Calcium	Magnesium
C	6.05 bc	0.37 bc	2.59 bc	0.64 c	1.33 c
M	5.26 c	0.32 c	2.32 c	0.65 c	1.31 c
P	6.16 bc	0.37 bc	2.55 bc	0.67 bc	1.40 bc
A	6.84 b	0.43 b	2.97 b	0.76 bc	1.60 ab
MP	6.23 bc	0.37 b	2.85 b	0.73 bc	1.32 c
AM	8.12 a	0.50 a	3.68 a	0.94 a	1.80 a
AP	6.50 b	0.40 b	2.63 bc	0.70 bc	1.44 bc
AMP	6.43 b	0.38 b	2.89 b	0.77 b	1.39 bc
C.V. (%)	30.27	29.61	31.08	29.99	30.04

Means in the same column, follow by a common letter are not signicantly different at 5% level by DMRT.

*Control = Chemical fertilizer, M= Chemical fertilizer + Arbuscular mycorrhiza , P = Chemical fertilizer + Phosphate solubilizing fungi , A = Chemical fertilizer +Azolla ,MP = Chemical fertilizer + Arbuscular mycorrhiza + Phosphate solubilizing fungi, AM = Chemical fertilizer + Azolla + Arbuscular mycorrhiza, AP = Chemical fertilizer + Azolla + Phosphate solubilizing fungi, AMP = Chemical fertilizer +Azolla + Arbuscular mycorrhiza + Phosphate solubilizing fungi

Table 5 Cost of applied biofertilizer to oil palm seedling in main nursery

Treatment	Cost (baht/seedling)			
	Arbuscular mycorrhiza	Phosphate solubilizing fungi	Azolla	Total
Control	-	-	-	-
M	1.2	-	-	1.2
P	-	1.1	-	1.1
A	-	-	0.5	0.5
MP	1.2	1.1	-	2.3
AM	1.2	-	0.5	1.7
AP	-	1.1	0.5	1.6
AMP	1.2	1.1	0.5	2.8

*,Control = Chemical fertilizer, M = Chemical fertilizer +Arbuscular mycorrhiza , P = Chemical fertilizer + Phosphate solubilizing fungi , A = Chemical fertilizer +Azolla ,MP = Chemical fertilizer + Arbuscular mycorrhiza + Phosphate solubilizing fungi, AM = Chemical fertilizer + Azolla + Arbuscular mycorrhiza, AP = Chemical fertilizer +Azolla + Phosphate solubilizing fungi, AMP = Chemical fertilizer + Azolla + Arbuscular mycorrhiza + Phosphate solubilizing fungi

สรุปผลการทดลอง

การทดลองใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพในต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำของกรมวิชาการเกษตรร่วมกับแหนแดงแห้ง 120 ก./ต้น และอาบัสคูลาร์ไมคอไรซ่า 100 ก./ต้น ช่วยให้ต้นกล้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุด รองลงมา คือ การใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำของกรมวิชาการเกษตรร่วมกับอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า และจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต 100 ก./ต้น โดยมีต้นทุนปุ๋ยชีวภาพต้นละ 1.7 บาท และ 2.3 บาท ตามลำดับ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร.(ม.ป.ป).*แหนแดง* (แผ่นพับ). กองวิจัยปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน. กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต พัชรินทร์ นามวงษ์ ประไพ ทองระอา นิศารัตน์ ทวีนุต กานดา ฉัตรไชยศิริ. 2564. การปลดปล่อยธาตุอาหารและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีในดินที่ใส่แหนแดง. *ว.วิชาการเกษตร* :38 139-149.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. ปาล์มน้ำมัน: เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2562. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/leups/prcaidata/les/oilpalm%2062.pdf. สืบค้น: 12 พฤษภาคม 2564.

Agbagba, G., S. Asuming-Brempong and I.Y.D. Lawson. 2018. Dried *Azolla pinnat*a as a supplementary nitrogen source for lowland rice production in a Calcic Natraquert. *J. Soil Sci. Environ. Manage.* 9: 35-39.

Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.

Cavagnaro, T.R., S.F. Bender, H.R. Asghari and M.G.A. van der Heijden. 2015. The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. *Trends in Plant Science* 20: 283-290.

Corley, R.H.V. and C.J. Breure. 1981. *Measurements in oil palm experiments*. Internal report. Unilever Plantation Group. London. 33 p.

Fitter, A.H. 1991. Costs and benefits of mycorrhizas: Implications for functioning under natural conditions. *Cell. Mol. Life Sci*. 47: 350-355.

Galindo-Castaneda, T and H.M. Romero. 2013. Mycorrhization in oil palm (*Elaeis guineesis* and *E. oleifera* x *E. guineesis*) in the pre-nursery stage. *Agronomia Colombiana* 31: 95-102.

Illmer, P., A. Barbato and F. Schinner, 1995. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$–solubilizing microorganisms. *Soil Biol Biochem*. 27: 265-270.

Ingle, K.P. and D.A. Padole. 2017. Phosphate solubilizing microbes: an overview. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 1: 844-852.

Johnson, N.C., J.H. Graham and F.A. Smith. 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism parasitism continuum. *New Phytol*. 135: 575-585.

Kobae, Y., Y. Ohmori, C. Saito, K. Yano, R. Ohtomo and T. Fujiwara. 2016. Phosphate treatment strongly inhibits new arbuscule development but not the maintenance of arbuscule in mycorrhizal rice root. *Plant Physiol.* 171: 566-579.

Lu, L.H., Y.N. Zou, Wu Q.S. 2018. Relationship between arbuscular mycorrhizas and plant growth: improvement or depression page:451-464. *In*: Giri B., Prsad R., Varma A. (eds) Root Biology. Soil Biology 52

McGonigle, T.P., K. Yano and T. Shinhama. 2003. Mycorrhizal phosphorus enhancement of plants in undisturbed soil differs from phosphorus uptake stimulation arbuscular mycorrhizae over non-mycorrhizal controls. *Biol. Fert. Soils* 37: 286-273.

Saber, W.I.A., K. M. Ghanem and M.S. El-Hersh. 2009. Rock phosphate solubilization by two isolates of *Aspergillus niger* and *Penicillium* sp. and their promotion to mung bean plants. Research *J. Microbiol.* 4: 235-250.

Satter, M.A, M.M. Hanafi, T.M.M. Mohzmed and H. Azizah, 2006. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphate rock on uptake of major nutrients by

Acacia mangium seedlings on degraded soil. *Biol. Fert. Soils* 42: 345-349.

Smith, S.E., I. Jakobsen, M. Gronlund and F.A. Smith. 2011. Role of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implication for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiol.* 156: 1050-1057.

Smith, S.E., F.A. Smith and I. Jakobsen. 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant Physiol.* 133: 16-20.

Sundram, S. 2010. Growth effects by arbuscular mycorriza fungi on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings. *J. Oil Palm Res.* 22: 796-802.

Van Hove, C. 1989. *Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa.* FAO, Rome, Italy. 53 p.

Walkley, A. and I. A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Sci.Amer. Proc.* 63:257.

Walpola, B.C. and Yoon, M.H. 2012. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Afr. J. Microbiol. Res.* 6: 6600-6605.

Watanabe, I and C. Ramirez. 1990. Phosphorus and nitrogen contents of Azolla grown in the Philippines. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36: 319-331.

Yadav, R.K., G. Abraham, Y.V. Singh and P.K. Singh. 2014. Advancements in the utilization of *Azolla-Anabaena* system in relation to sustainable agricultural practices. *Proc India Natn Sci Acad* 2: 301-316.

Yao, Y., M. Zhang, Y. Tian, M. Zhao, K. Zeng, B. Zhang, M. Zhao and B. Yin. 2018. Azolla biofertilizer for improving low nitrogen use efficiency in an intensive rice cropping system. *Field Crops Res.* 216: 158-164.