

การประเมินสมบัติตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากลิโอนาร์ไดต์

Property Assessment Complying with the Organic Fertilizer Standard of Department of Agriculture and Plant Nutrient Release of Leonardite - based Organic Fertilizers

แสงดาว แลนรอต (เขาแก้ว)^{1,2*} จุฬาลักษณ์ จงสุพรรณพงศ์² และ จริยา อามาศย์มนตรี²
Saengdao Landrot (Khaokaew)^{1,2*}, Chulaluck Chongsuphanpong² and Chariya Armartmontree²

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: agrsdk2@yahoo.com

(Received: 15 February 2021; Accepted: 26 April 2021)

Abstract: This research aimed to study property following the organic fertilizer standard of Department of Agriculture (std. DOA) of six leonardite - based organic fertilizers (SuperLeo) obtained by mixing 40 - 45 % by weight of leonardite and 55 - 60 % other additives i.e. rice husk biochar (25 - 35 %) or peanut shell biochar (25 - 35 %) + rice bran (25 %) or soybean meal (20 %) + dolomite (0 - 10 %). The release kinetics of extractable (Water - ext.) N, P and K by deionized (DI), acid or alkaline water were determined at various desorption time periods (DT) to be used as a preliminary information to assess the environmental impact. Results showed that all fertilizer formulas had organic matter contents ranged from 28 to 46 %, higher than the std. DOA value (20 %). The properties of all fertilizers met the std. DOA, except pH and germination index values in some formulas. The release patterns of Water - ext. N, P and K were different from each other. The release of Water - ext. N was slow, and the relative release (RR) was < 0.5 % at every DT. The release of Water - ext. P was initially slow and increased with increasing DT. The RR varied from 0.2 to 70 %. The Water - ext. K released rapidly and trended to decrease with increasing DT. The RR ranged from 43 to 80 %. The amount of Water-ext. N, P and K were highest when extracted by DI water while alkaline water could extract the lowest amount of Water - ext. P. Based on the fertilizer's properties and the Water - ext. N , P and K release patterns, the SuperLeo fertilizers could be considered as an environmentally friendly fertilizer.

Keywords: Leonardite, organic fertilizer, alkaline soil, biochar, plant nutrient release

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติตามข้อกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (std. DOA) ของปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์ไดต์ (SuperLeo) 6 สูตร ที่ได้จากการผสมลีโอนาร์ไดต์ 40 - 45 % โดยน้ำหนัก กับวัสดุตัวเติมอื่น 55 - 60 % (ไบโอชาร์แกลบ (25 - 35 %) หรือ ไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสง (25 - 35 %) + รำละเอียด (25 %) หรือ กากถั่วเหลือง (20 %) + โดโลไมต์ (0 - 10 %)) และศึกษาการปลดปล่อย N, P และ K ที่สกัดได้ด้วยน้ำ (Water-ext.) ปราศจากไอออน (DI) น้ำกรด หรือน้ำด่าง ที่ระยะเวลาการสกัด (DT) ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษา พบว่า ปุ๋ยทุกสูตรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง อยู่ในช่วง 28-46% สูงกว่าค่า std. DOA (20%) และมีสมบัติทุกประการผ่าน std. DOA ยกเว้นค่าพีเอชและการย่อยสลายสมบูรณ์ในบางสูตร รูปแบบการปลดปล่อย Water-ext. ของ N, P และ K ของปุ๋ยแตกต่างกัน การปลดปล่อย Water-ext. N มีค่าต่ำ ค่าการปลดปล่อยสัมพัทธ์ (RR) < 0.5% ที่ทุก DT Water-ext. P ปลดปล่อยช้าและเพิ่มขึ้นตาม DT ค่า RR อยู่ในช่วง 0.2-70% การปลดปล่อย Water-K เกิดขึ้นเร็วและมีแนวโน้มลดลงตาม DT ที่เพิ่มขึ้น ค่า RR อยู่ในช่วง 43-80% น้ำ DI สามารถสกัด Water-ext. N P K ได้สูงที่สุด ในขณะที่น้ำด่างสกัด Water-ext. P ได้ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาจากสมบัติของปุ๋ยและรูปแบบการปลดปล่อย Water-ext. N, P และ K ปุ๋ย SuperLeo สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นปุ๋ยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ลีโอนาร์ไดต์ ปุ๋ยอินทรีย์ ดินด่าง ไบโอชาร์ การปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

คำนำ

การเกษตรถือเป็นรากฐานสำคัญของชีวิตมนุษย์เนื่องจากเป็นแหล่งที่มาของปัจจัยสี่ การเกษตรมีหลายรูปแบบและมีแนวปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น เกษตรแผนใหม่หรือเกษตรเคมี เกษตรปลอดภัย เกษตรปลอดสารพิษ และเกษตรอินทรีย์ ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจกับ “เกษตรอินทรีย์หรือเกษตรวิถีธรรมชาติ” มากขึ้น โดยมูลค่าทางการตลาดเพิ่มจาก 15.1 พันล้านยูโร ในปี ค.ศ. 2000 มาเป็น 96.7 พันล้านยูโรในปี ค.ศ. 2018 และจำนวนผู้ผลิตเพิ่มจาก 200,000 ราย ในปี ค.ศ. 1999 มาเป็น 2.8 ล้านราย ในปี ค.ศ. 2018 (IFOAM, 2019) แม้ความหมายและแนวทางปฏิบัติสากลของเกษตรอินทรีย์นั้นยังไม่มีกำหนดชัดเจนแต่โดยภาพรวมคือ การเกษตรที่อยู่บนพื้นฐานสมดุลของธรรมชาติ เพื่อคงไว้ซึ่งความหลากหลายทางชีวภาพ ไม่พึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์ใด ๆ ไม่อนุญาตให้ใช้สารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี วัสดุปรับปรุงดินสังเคราะห์ ฮอริโมน สารเร่งการเจริญเติบโต ยาปฏิชีวนะ พืชและสัตว์ที่ดัดแปลงพันธุกรรม (EC, 2008; EGTOP, 2018; IFOAM, 2019) เนื่องจากระบบเกษตรอินทรีย์ไม่อนุญาตให้ใช้ปุ๋ยเคมี ดังนั้นการหาแหล่งที่มาของธาตุอาหารจากวัสดุธรรมชาติและปุ๋ยอินทรีย์ทางเลือกต่าง ๆ จากวัสดุที่มี

ในประเทศถือเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ประเทศไทยก้าวสู่การเป็นผู้ประกอบการผลิตเกษตรอินทรีย์ของโลกได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตามแม้การใช้ปุ๋ยเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตพืช ปุ๋ยบางธาตุ เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้เร็วและปริมาณมากในระยะเวลาดสั้น ๆ มีโอกาสส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำใต้ดินและผิวดิน (Terlingen *et al.*, 2014) ดังนั้นปัจจุบันปุ๋ยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (environmentally friendly fertilizer) จึงเป็นที่ต้องการของภาคการเกษตร ซึ่งปุ๋ยดังกล่าวควรมีสมบัติที่ดี เช่น ปลดปล่อยธาตุอาหารช้า เพื่อลดการปลดปล่อยธาตุบางตัวที่เกินความต้องการของพืชสู่สิ่งแวดล้อม ช่วยปรับพีเอชดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม กักเก็บความชื้น และเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน (Chen *et al.*, 2018)

ลีโอนาร์ไดต์ (leonardite) เป็นวัสดุธรรมชาติที่เกิดจากการออกซิเดชันของลิกไนต์ (Kalaitzidis *et al.*, 2003; Olivella *et al.*, 2011) ลีโอนาร์ไดต์ที่เป็นผลพลอยได้โดยตรงจากการทำเหมืองแร่ (unprocessed leonardite) มีการอนุญาตให้ใช้ในระบบเกษตรอินทรีย์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 (EC, 2008; EGTOP, 2018) เนื่องจากลีโอนาร์ไดต์เป็นวัสดุธรรมชาติที่มีอินทรีย์วัตถุสูง มีสารฮิวมิก รวมทั้งมีธาตุอาหารพืชหลายธาตุเป็นองค์ประกอบ (Hoffman *et al.*, 1993; Kalaitzidis *et al.*, 2003; Olivella *et al.*, 2011;

Pertuit *et al.*, 2001; Tothirakul *et al.*, 2009) จึงมีการนำลีโอนาร์โดต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรทั้งในรูปแบบของลีโอนาร์โดต์และสารสกัดชีวมิติ เพื่อช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด เช่น ดอกอาร์นิกา *Arnica montana* L. (Sugier *et al.*, 2013) อะกินเรมีโด (Akinremi *et al.*, 2000) มะเขือเทศ (Pertuit *et al.*, 2001) ถั่ว (Ece *et al.*, 2007) และมันฝรั่ง (Sanli *et al.*, 2013) อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางประการของดินได้ เช่น เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Ece *et al.*, 2007; Supsuan *et al.*, 2018) ความพรุนของดิน (Kolodziej *et al.*, 2013) กำมะถันและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (Supsuan *et al.*, 2018) ในประเทศไทยลีโอนาร์โดต์แหล่งใหญ่อยู่ที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง (ประมาณ 1 - 2 ล้านตัน) และพบกระจายอยู่จังหวัดอื่นบ้างที่พบถ่านหินลิกไนต์ (Ratanaprommanee *et al.*, 2017; Tothirakul *et al.*, 2009) ลีโอนาร์โดต์จากเหมืองแม่เมาะมีสมบัติที่ติดต่อการเกษตรหลายประการ (Landrot *et al.*, 2014; Pochadom *et al.*, 2013) แต่ลีโอนาร์โดต์เป็นกรดจัดและมีไนโตรเจนต่ำ การใช้ในระยะยาวกับดินทั่วไปที่ไม่ใช่ดินต่างอาจทำให้ดินเป็นกรดได้ ดังนั้นเพื่อเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ลีโอนาร์โดต์ให้แก่เกษตรกร วิชาเกษตรกรรม และผู้สนใจ รวมทั้งป้องกันผลกระทบเชิงลบใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อดินและสิ่งแวดล้อมอื่นในระยะยาว จึงทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร โดยใช้ลีโอนาร์โดต์จากเหมืองแม่เมาะมาทดลองผสมกับวัสดุตัวเติมต่าง ๆ ที่มีธาตุไนโตรเจนสูง ได้แก่ กากถั่วเหลืองแห้ง และรำละเอียด วัสดุที่เป็นต่างที่เกษตรกรสามารถ

หาซื้อหรือผลิตเองได้ เช่น ใบโอชาร์กลบ และโดโลไมต์ (Landrot (Khaokaew) *et al.* (2020)) และวัสดุอินทรีย์ที่พบมากและสามารถผลิตได้ในพื้นที่จังหวัดลำปางและจังหวัดใกล้เคียง ได้แก่ ใบโอชาร์เปลือกถั่วลิสง รวมทั้งศึกษารูปแบบการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการละลายของธาตุอาหารพืชบางตัวจากปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์โดต์โดยใช้น้ำที่มีพีเอชต่างกันที่สามารถพบได้จริงในพื้นที่การเกษตร

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมลีโอนาร์โดต์ การคัดเลือกชนิด และสัดส่วนวัสดุตัวเติม การผสมปุ๋ย และการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ

ใช้ตัวอย่างลีโอนาร์โดต์ (Leo) จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นวัสดุหลักในการผสมปุ๋ย การกำหนดปริมาณ Leo ในสูตรการผสม และรายละเอียดหลักการคัดเลือกวัสดุตัวเติมได้แก่ ใบโอชาร์กลบ (rice husk biochar: RHB) กากถั่วเหลืองแห้งโปรตีนสูงไม่ต่ำกว่า 43 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (soybean meal: SBM) และรำข้าวละเอียดแห้ง (rice bran: RB) ใบโอชาร์เปลือกถั่วลิสง (peanut shell biochar: PNSB) และโดโลไมต์ (Dolo) ใช้ข้อมูลและปรับจาก Landrot (Khaokaew) *et al.* (2020) ทำการบดตัวอย่าง Leo และวัสดุตัวเติมต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้ใช้ในการผสมปุ๋ยและการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ทำการผสมปุ๋ยจำนวน 6 สูตร ตามสัดส่วนการผสมแสดงใน Table 1 โดยผสม

Table 1. Formulation of leonardite - based organic fertilizers

Fertilizer formula	Leo	RHB	PNSB	SBM	RB	Dolo
1 SuperLeo 1	45 %	35 %	0	20 %	0	0
2 SuperLeo 2	45 %	25 %	0	20 %	0	10 %
3 SuperLeo 3	40 %	25 %	0	0	25 %	10 %
4 SuperLeo 4	45 %	0	35 %	20 %	0	0
5 SuperLeo 5	40 %	0	25 %	0	25 %	10 %
6 SuperLeo 6	40 %	0	35 %	0	25 %	0

2 แบบ คือ 1) ผสมแห้ง (ไม่เติมน้ำ) สำหรับ SuperLeo 1, 4 และ 6 และ 2) ผสมเปียก สำหรับสูตรที่เติมโดไลไมต์ ได้แก่ SuperLeo 2, 3 และ 5 โดยเติมน้ำปราศจากไอออน (deionized water: DI) ลงไปในปุ๋ยผสม เพื่อให้ปุ๋ยผสม มีความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการผสมสูตร ละ 3 ซ้ำ

หลังจากตัวอย่างปุ๋ยแห้งสุ่มตัวอย่างปุ๋ยทั้ง 6 สูตร Leo วัดสุดตัวเดิมต่าง ๆ ไปวิเคราะห์สมบัติ ได้แก่ พีเอช (pH) การนำไฟฟ้า (EC) ไนโตรเจนทั้งหมด (total-N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total-P₂O₅) โพแทสเซียมทั้งหมด (total-K₂O) การวิเคราะห์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (germination index: GI) อินทรีย์วัตถุ (OM) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ธาตุอันตราย (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn และ As) ตามเงื่อนไขและวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อขึ้นทะเบียนของกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2005, 2008, 2012, 2014)) สรุปโดยย่อดังนี้ ค่า pH และ EC ใช้อัตราส่วนของปุ๋ยหรือวัสดุต่อ DI เท่ากับ 1 : 2 และ 1 : 10 แล้ววัดด้วย pH meter และ electrical conductivity meter สำหรับค่า pH และ EC ตามลำดับ ปริมาณ OM โดยวิธีของ Walkley and Black total-N โดยวิธี Kjeldahl method total-P₂O₅ และ total-K₂O ทั้งหมด โดยการย่อยด้วยกรดผสม HClO₄ : HNO₃ (อัตรา 1 : 1) วิเคราะห์ปริมาณ As, Cd, Cr, Cu และ Pb โดยการย่อยด้วยกรดผสม HNO₃ : H₂O₂ (อัตรา 5 : 1) ส่วนค่า GI ของปุ๋ยใช้วิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด ใช้ตัวอย่างปุ๋ยและน้ำกลั่นในอัตราส่วนปุ๋ย : น้ำ เท่ากับ 1 : 10 เหย้าที่ความเร็ว 180 ครั้งต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง

กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองแล้วนำสารละลายที่ได้ไปทดสอบอัตราการออกของเมล็ดผักในจานเพาะ โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ที่ห้องปฏิบัติการกลางแห่งประเทศไทย ยกเว้นค่าความชื้น ขนาดของปุ๋ย ปริมาณหิน กรวด pH และ EC ทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การศึกษานี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ห้ข้อมูลทางสถิติระหว่างสูตรปุ๋ย เนื่องจากการวางสูตรปุ๋ยไม่ได้ต้องการเปรียบเทียบระหว่างสูตร แต่ต้องการนำค่าวิเคราะห์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2555)

การปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ
โพแทสเซียม ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำที่มีพีเอชต่างๆ
จากปุ๋ยอินทรีย์

ทำการศึกษากการปลดปล่อยธาตุ N, P และ K ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ (Water ext.) ในตัวอย่างปุ๋ย 3 ตัวอย่าง ที่คัดเลือกมาจากการทดลองแรก โดยใช้ น้ำที่มี pH ต่างกัน คือ น้ำ DI (pH=7.31) น้ำกรด (acid water, pH=2.98) และน้ำด่าง (alkaline water, pH=8.09) น้ำกรดและน้ำด่างนั้นใช้น้ำจากแหล่งธรรมชาติ ในพื้นที่การเกษตรจริง โดยน้ำกรดเก็บตัวอย่างน้ำมาจากพื้นที่ดินกรดจัดอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ส่วนน้ำด่างนั้นเป็นน้ำบาดาลที่เก็บมาจากอำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี ทำการสกัดโดยใช้สัดส่วนปุ๋ยต่อน้ำเท่ากับ 1 : 10 ระยะเวลาการสกัด 3 เวลา คือ 30, 60 และ 120 นาที ด้วยวิธี batch technique (Figure 1) เวลาที่คัดเลือกมาทดลองนี้ปรับมาจากเวลาที่รายงานใน Kleinman *et al.*

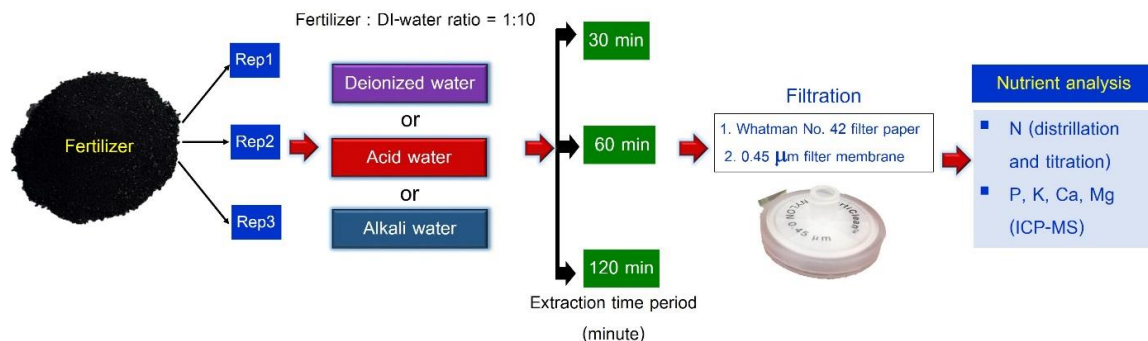


Figure 1. Water extractable release kinetics of N, P and K in leonardite-based fertilizers using a batch technique

(2005); Sharpley and Moyer (2000) และ Zhang *et al.* (2011) เมื่อสกัดแล้วนำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีการกลั่นและไตเตรต (Kjeldahl, 1883) และวิเคราะห์หาปริมาณ P และ K ด้วยเครื่อง ICP-MS

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของลีโอนาร์โด วัสดุตัวเติม และปุ๋ยสูตรต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร

ผลการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2005, 2014) ของลีโอนาร์โด วัสดุตัวเติม และปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 6 สูตร รวมทั้งค่ามาตรฐานแสดงใน Table 2 โดยจากผลการศึกษา พบว่า ลีโอนาร์โดจากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ก่อนการผสมกับวัสดุตัวเติมมีสมบัติไม่ผ่านข้อกำหนดปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร วัสดุตัวเติมเกือบทุกชนิด ได้แก่ กากถั่วเหลือง รำละเอียด เปลือกถั่วลิสง และไบโอชาร์กลบ มีสมบัติไม่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เช่นกัน โดยสมบัติที่ทำให้ลีโอนาร์โดและวัสดุตัวเติมดังกล่าวไม่ผ่านข้อกำหนดนั้นแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุ สามารถสรุปแยกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ 1) กลุ่มที่ไม่ผ่านเพราะค่า GI ต่ำกว่าข้อกำหนดปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (std. DOA) ได้แก่ ลีโอนาร์โด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด โดยค่า GI เป็นสมบัติที่สำคัญในการบ่งบอกถึงคุณภาพของวัสดุปลูกและปุ๋ย เนื่องจากเป็นสมบัติหนึ่งที่ทำให้ทราบว่าปุ๋ยนั้นมีผลต่อการงอกของพืชมากน้อยเพียงไร (Barbi *et al.*, 2020) 2) กลุ่มที่ไม่ผ่านเพราะผลรวมของธาตุอาหาร N, P หรือ K ต่ำกว่า 2 % ได้แก่ ลีโอนาร์โด 3) กลุ่มที่ไม่ผ่านเพราะมีค่า C/N ratio หรือ ปริมาณ OM ต่ำกว่า std. DOA ได้แก่ รำละเอียด ลีโอนาร์โด เปลือกถั่วลิสงบด และไบโอชาร์กลบ ตามลำดับ สำหรับวัสดุตัวเติมที่มีสมบัติทุกประการผ่านข้อกำหนดปุ๋ยอินทรีย์ std. DOA ได้แก่ ไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสง ดังนั้นจากผลการศึกษาทำให้ทราบว่า เปลือกถั่วลิสงแห้งหากนำมาเผาเป็นไบโอชาร์

แล้วมีสมบัติเป็นปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานได้ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมทั้ง 6 สูตร มีปริมาณ OM สูงกว่า 25 % สูงกว่ามาตรฐาน std. DOA จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้เพื่อเพิ่ม OM ให้กับดินของประเทศไทยได้ จัดว่ามีสมบัติที่ดีเข้าหลักปุ๋ยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Chen *et al.*, 2018; Terlingen *et al.*, 2014) ซึ่งมากกว่า 60 % ของดินที่ใช้ทำการเกษตรของประเทศไทยมีอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 1.5 % (Land Development Department, 2002) ปุ๋ยอินทรีย์เกือบทุกสูตรที่ทำการผสมมีสมบัติทุกประการผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตรยกเว้นค่าพีเอชในสูตรที่ 1 และ 6 และค่า GI ในสูตรที่ 2 และ 4 (Table 2) ซึ่งการที่ค่า GI ในสูตรที่ 2 และ 4 ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ นั้นเป็นผลมาจากชนิดและสัดส่วนของวัสดุตัวเติม โดยสูตรที่ 2 และ 4 มีการใช้กากถั่วเหลืองและไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสงผสม (Table 1) กากถั่วเหลืองใช้เป็นตัวเพิ่มไนโตรเจนให้ปุ๋ยที่ผสมนั้นมีค่า GI ต่ำกว่ารำละเอียด และไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสงที่ใช้ผสมในสูตรที่ 4 มีค่า GI ต่ำไบโอชาร์กลบ (Table 2) โดยในการผสมปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์โดค่า GI ถือเป็นสมบัติหลักสมบัติหนึ่งที่ทำให้ปุ๋ยไม่ผ่านมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (Landrot (Khaokaew) *et al.*, 2020) โดยจากผลวิเคราะห์สมบัติวัสดุตัวเติมทำให้ทราบว่าวัสดุตัวเติมที่สามารถช่วยเพิ่มค่า GI ให้ปุ๋ยที่ผสมได้ คือ เปลือกถั่วลิสง ไบโอชาร์กลบ และไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสง ซึ่งวัสดุตัวเติมทั้งสามชนิดนี้มีค่า GI สูงกว่า 85 % สำหรับปุ๋ย SuperLeo 1 และ 6 นั้น เห็นได้ว่าสมบัติทุกประการผ่าน std. DOA ยกเว้นค่าพีเอช ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากคณะผู้วิจัยต้องการผสมให้เหมาะกับดินต่างจัดหรือบริเวณที่มีน้ำเป็นต่างจัด เช่น น้ำบาดาลบางแห่งของประเทศไทย โดยหากผู้สนใจต้องการปรับพีเอชให้ผ่าน std. DOA อาจทำได้โดยการลดสัดส่วนของลีโอนาร์โดลง 10 % แล้วใช้ไบโอชาร์กลบ หรือไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสงแทนส่วนที่ลดไปในสูตร SuperLeo 1 หรือ SuperLeo 6 ตามลำดับ นอกจากนี้หากในอนาคตเกษตรกรกลุ่มวิสาหกิจชุมชน หรือผู้สนใจทำปุ๋ยอินทรีย์จากลีโอนาร์โดเพื่อใช้เองแต่อาจต้องการเลือกวัสดุตัวเติมอื่นนอกเหนือจากที่มีรายงานจากการศึกษานี้ โดยอาจเป็นวัสดุที่หาหรือเตรียมได้ง่ายกว่า หรือราคาต่ำกว่า

Table 2. Properties of eight organic fertilizers and raw materials used to make leonardite - based organic fertilizers as well as value of DOA standard for each fertilizer parameter. The sign ND means not detected and the sign hyphen (-) means not analyzed

Parameter	Standard value by				Leonardite - based organic fertilizer formula (SuperLeo)									
	DOA	Leo	Dolo	SBM	RB	PNS	PNSB	RHB	1	2	3	4	5	6
1 Total - N (%)	> 1	Or all	ND	7.6	2.1	1.3	1.9	0.9	2.1	2.0	1.1	2.2	1.1	1.5
2 Total - P ₂ O ₅ (%)	>0.5	combin	ND	1.1	4.0	0.29	0.70	0.9	0.29	0.29	0.7	0.29	0.7	1.0
3 Total K ₂ O (%)	> 0.5	ed ≥ 2	ND	2.5	1.5	0.56	0.90	0.71	0.71	0.64	0.57	0.59	0.54	0.7
4 OM (%)	20	34.9	ND	72.6	89.9	57.7	30	5.5	36.9	28.5	36.2	41.1	36.0	46.6
5 C / N ratio	< 20 : 1	68 : 1	-	6 : 1	25 : 1	26	17.5	3.6	10.19	8.27	19.04	10.94	18.98	18.02
6 GI (%)	> 80	0	61.6	22.9	34.4	98.6	89.4	97.7	91.3	56.7	97.7	58.8	100	89.6
7 pH	5.5 - 8.5	2.6	8.3	6.3	6.2	6.07	7.53	7.63	5.36	6.93	5.67	5.10	5.93	5.0
8 EC (dS / m)	< 10	4.5	0.1	5.6	2.3	5.27	5.27	0.80	3.79	5.69	2.09	5.64	4.98	4.38
9 Na (%)	< 1	0.15	-	-	-	0.52	0.17	< 0.01	< 1 %					
10 Sieving size (mm)	< 12.5 x 12.5	-	-	-	-	-	-	-	All fertilizer sizes were less than 2 mm.					
11 Gravel size > 5 mm	< 2 %	None												
12 Moisture content %	< 30	All materials were air-dried												
13 As (mg / kg)	< 50	32.57	-	-	-	-	1.48	0.81	< 20					
14 Cd (mg / kg)	< 5	0.18	-	-	-	-	0.06	0.25	< 20					
15 Cr (mg / kg)	< 300	15.98	-	-	-	-	-	-	Below maximum value allowed by DOA based on materials used to make fertilizer					
16 Cu (mg / kg)	< 500	41.68	-	-	-	-	-	-						
17 Pb (mg / kg)	< 500	8.31	-	-	-	-	-	-						
18 Hg (mg / kg)	< 2	0.18	-	-	-	-	-	-						

ก็สามารถทำได้ แต่จำเป็นต้องคำนึงถึง 5 ประเด็นหลัก คือ 1) วัสดุตัวเติมควรมีธาตุ N, P และ K เป็นองค์ประกอบบ้าง โดยเฉพาะไนโตรเจน เพื่อให้เมื่อผสมมาแล้วมีโอกาสได้ผลรวมของธาตุ N, P และ K เกิน 2 % และค่า C/N ratio ของปุ๋ยที่ผสมออกมาไม่เกิน 20 : 1 ตามค่ากำหนด std. DOA 2) วัสดุตัวเติมควรมีค่า GI สูง เนื่องจากค่า GI ของลิโอรได์ต่ำมาก 3) วัสดุตัวเติมควรมีสมบัติเป็นด่าง เนื่องจากลิโอรได์เป็นกรดจัดมาก ซึ่งลิโอรได์อาจมีประโยชน์ในการใช้เพื่อปรับลดพีเอชของดินต่างจัดแทนกำมะถันผง แต่ถ้าใช้กับดินทั่วไปที่มีพีเอชไม่สูงมากระยะยาวอาจทำให้พีเอชดินลดลงได้ 4) วัสดุตัวเติมต้องมีธาตุไม่พึงประสงค์ เช่น Cd, Hg, Pb, Cr และ As ไม่เกินค่ากำหนด std. DOA และ 5) ไม่ควรใช้ลิโอรได์เกิน 50 % โดยน้ำหนักของวัสดุผสมทั้งหมด โดยสูตรการผสมทั้ง 6 สูตรในการศึกษานี้ใช้ช่วยเป็นแนวทางในการผสมให้กับเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชนได้ ซึ่งค่าตัวเลขสมบัติของปุ๋ยที่ผสมเองใหม่อาจแตกต่างไปจากนี้ได้บ้างตามสมบัติของวัสดุตัวเติมที่ใช้ โดยเฉพาะหากค่าวิเคราะห์ของวัสดุที่ใช้แตกต่างมากจากค่าสมบัติวัสดุที่รายงานใน Table 2

จากผลการศึกษา ดังแสดงใน Table 2 ทำการคัดเลือกปุ๋ยสามสูตร คือ SuperLeo 1, 5 และ 6 ไปทำการศึกษากการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชที่ระยะการสกัดต่างๆ เนื่องจากเป็นสูตรที่มีสมบัติผ่านเงื่อนไขปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งสำหรับสูตร SuperLeo 1 และ 6 นั้น แม้ปุ๋ยจะมีค่า

พีเอชต่ำกว่า 5.5 แต่สมบัติอื่นๆ ทุกประการของปุ๋ยผ่านตามเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน ซึ่งปุ๋ยทั้งสองสูตรนี้ที่มีศักยภาพสำหรับนำไปใช้กับดินที่มีพีเอชสูง ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

การปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำที่มีพีเอชต่างๆ จากปุ๋ยอินทรีย์

ผลการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยธาตุ N, P และ K โดยการสกัดด้วยน้ำ DI, acid water และ alkaline water ที่ระยะเวลาการสกัด 30, 60 และ 120 นาที ของปุ๋ยอินทรีย์ 3 สูตร คือ SuperLeo 1, 5 และ 6 (Figure 2) แสดงใน Figure 3 และร้อยละการปลดปล่อยสัมพัทธ์ส่วนที่ละลายน้ำได้ (ปริมาณที่สกัดได้เปรียบเทียบกับปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุนั้น ๆ ในปุ๋ยแต่ละสูตร) แสดงใน Table 3 โดยจากผลการศึกษา พบว่า รูปแบบการปลดปล่อย Water-ext. N, P และ K แตกต่างกัน โดยการปลดปล่อย Water-ext. N มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกระยะเวลาการสกัด และมีค่าใกล้เคียงกันในทั้ง 3 น้ำสกัด โดยปริมาณที่สกัดได้ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Figure 3) ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสัมพัทธ์แล้ว ปุ๋ยทุกสูตรมีค่า Water-ext. N < 0.5 % ต่ำกว่าค่าจากปุ๋ยมูลไก่ (Zhang *et al.*, 2011) เมื่อพิจารณาจากสูตรการผสมปุ๋ยทั้งสามสูตร (Table 1) สมบัติของลิโอรได์และวัสดุตัวเติม (Table 2) เห็นได้ว่าปริมาณ N ในปุ๋ย SuperLeo 1 โดยหลักมาจากกากถั่วเหลือง (และไบโอชาร์เคลบ)



Figure 2. Physical appearances of SuperLeo 1, 5 and 6

Table 3. Water extractable N, P and K relative release percentage of leonardite - organic based fertilizers

Extraction time (min)		SuperLeo 1				SuperLeo 5				SuperLeo 6			
		Total (mg.kg ⁻¹)	Relative release			Total (mg.kg ⁻¹)	Relative release			Total (mg.kg ⁻¹)	Relative release		
			(%)				(%)				(%)		
			DI	Acid	Alkaline		DI	Acid	Alkaline		DI	Acid	Alkaline
N	30		0.12	0.07	0.05		0.38	0.22	0.36		0.33	0.29	0.30
	60	2.1	0.08	0.06	0.05	1.1	0.44	0.35	0.39	1.5	0.33	0.28	0.31
	120		0.08	0.07	0.06		0.41	0.39	0.45		0.33	0.31	0.32
P	30		3.85	4.17	2.93		1.38	1.73	1.39		1.03	1.19	0.82
	60	0.29	1.97	1.82	0.45	0.7	0.49	0.75	0.21	1.0	0.30	0.29	0.22
	120		70.3	58.2	24.3		24.3	24.1	9.88		17.9	15.6	6.12
K	30		60.7	57.7	60.6		72.6	75.9	79.7		61.6	58.5	61.4
	60	0.71	44.0	43.4	47.5	0.54	57.9	57.0	62.5	0.7	44.6	44.0	48.2
	120		54.9	51.7	53.3		70.4	68.0	70.1		55.7	52.4	54.1

ส่วน SuperLeo 5 และ 6 นั้นมาจากรำละเอียด (และไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสง) (Table 2) ซึ่งไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองและรำละเอียดนั้นอยู่ในรูป crude protein (Amissah *et al.*, 2003; Ibanez *et al.*, 2020; Patil *et al.*, 2016) สามารถเป็นประโยชน์กับพืชหลังผ่านกระบวนการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ ซึ่งไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์โดยผ่านกระบวนการนี้จัดเป็นปุ๋ยละลายช้า (Terlingen *et al.*, 2014) การปลดปล่อยไนโตรเจนจาก crude protein เช่นในรำข้าว สามารถปลดปล่อยได้นานกว่า 30 วัน และพืชบางชนิด เช่น ข้าว ข้าวฟ่าง และข้าวโพด สามารถดูดกินอินทรีย์ N ในรูปของกรดอะมิโนบางชนิดจากสารประกอบโปรตีนนี้ได้โดยตรง (Okamoto and Okada, 2004) แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนที่มีในปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์ไดต์เป็นรูปที่ละลายน้ำได้น้อยและช้า มีศักยภาพที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยละลายช้า ซึ่งปุ๋ยที่ละลายได้อย่างช้า ๆ นั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยและลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม ถือเป็นสมบัติหนึ่งที่สำคัญของปุ๋ยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Chen *et al.*, 2018; Gau *et al.*, 2020)

รูปแบบการปลดปล่อย Water-ext. P ในปุ๋ยทุกสูตรและทุกชนิดของน้ำที่ใช้สกัดเหมือนกันคือ การปลดปล่อยช้าในช่วง 60 นาทีแรก (< 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ < 2 % ของปริมาณ total P₂O₅) และ

สูงสุดที่ระยะเวลาการสกัด 120 นาที (< 2,100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในปุ๋ยทุกสูตรปริมาณ Water-ext. P ที่สกัดได้จากน้ำทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกัน เรียงลำดับดังนี้ DI > acid water > alkaline water (Figure 3) ปุ๋ย SuperLeo 1 มีค่า Water-ext. P สัมพัทธ์ในช่วง 0.4-70 % สูงกว่าปุ๋ย SuperLeo 5 และ 6 ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.2-24 % (Table 3) เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการสกัดเท่ากัน (60 นาที) ปริมาณ Water-ext. P ทั้งหมดที่สกัดได้จากปุ๋ย SuperLeo 1, 5 และ 6 มีค่า < 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่ำกว่าปุ๋ยอินทรีย์อื่นหลายชนิด เช่น Sharpley and Moyer (2000) รายงานว่ามูลสัตว์สามารถพบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ตั้งแต่ 2,600-40,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แตกต่างกันไปตามชนิดสัตว์และอาหารที่สัตว์ได้รับและค่า Water-ext. P ที่เวลาสกัด 60 นาที มีค่าเท่ากับ 1,630-8,520 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Kleinman *et al.* (2005) สำนักรวปุ๋ยมูลสัตว์ 140 แห่ง พบว่า ปริมาณ Water-ext. P ที่ระยะเวลาการสกัด 60 นาทีของปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 200-16,780 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (4-94 % ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด) นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Liang *et al.* (2014) ที่พบว่า Water-ext. P ที่ระยะเวลาการสกัด 60 นาทีในปุ๋ยมูลโคเท่ากับ 762 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้น

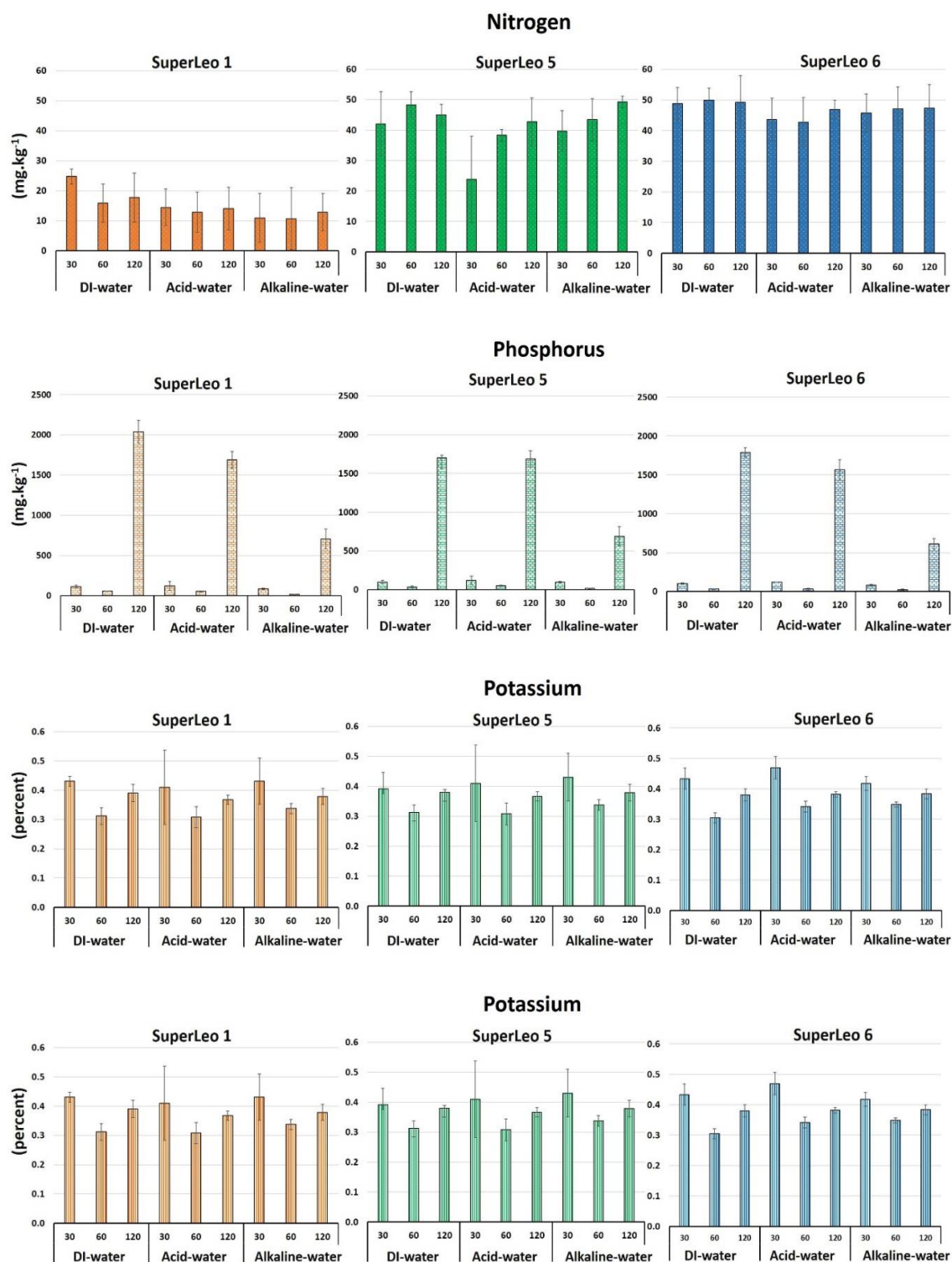


Figure 3. Water extractable release kinetics of nitrogen, phosphorus and potassium in SuperLeo 1, 5 and 6 (Data corresponds to means $\pm$ SD values, N = 3)

เมื่อเปรียบเทียบค่า Water-ext. P ของปุ๋ยมูลสัตว์กับค่าในปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์ไต์ทั้งสามสูตรโอกาส P จากปุ๋ยจะละลายกับน้ำออกมาจนเกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมถึงว่าน้อยมากและน้อยกว่าปุ๋ยมูลสัตว์

การปลดปล่อย Water-K ในปุ๋ยทุกสูตรมีรูปแบบเดียวกันคือเกิดขึ้นเร็วและใกล้เคียงกันทุกระยะเวลาการสกัด (Figure 3, Table 3) แสดงให้เห็นว่า K ที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์ไต์ปลดปล่อยเร็ว พืชสามารถดูดกิน K ในส่วนนี้ได้ง่ายซึ่งธาตุ K นั้นไม่มีรายงานผลกระทบเชิงลบกับระบบนิเวศน์เหมือนกรณีของธาตุ N และ P อีกทั้งยังเป็นธาตุประจวบที่มีโอกาสดูดจับโดยสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ในดินได้ดีกว่ากรณีของธาตุประจวบเช่น N และ P

สรุปและข้อเสนอแนะ

ปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์ไต์ 6 สูตร ที่ได้จากการผสมลีโอนาร์ไต์ 40-45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับวัสดุตัวเดิมอื่น 55-60 % (ไบโอชาร์แกลบ (25-35 %) หรือ ไบโอชาร์เปลือกถั่วลิสง (25-35 %) + รำละเอียด (25 %) หรือ กากถั่วเหลือง (20 %) + โดโลไมต์ (0-10 %)) มีสมบัติทุกประการผ่านข้อกำหนดปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรยกเว้นบางสูตรมีค่าพีเอชหรือการย่อยสลายสมบูรณ์ต่ำกว่าค่าที่กำหนดสำหรับปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ปุ๋ยทุกสูตรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า 25 % ซึ่งสูงกว่าค่ากำหนดสำหรับปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร รูปแบบการปลดปล่อย N และ P ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำที่มีพีเอชเป็นกลาง กรดจัด และด่างจัดมีโอกาสเกิดผลกระทบเชิงลบกับสิ่งแวดล้อมต่ำมาก โดยทั้ง N และ P ในปุ๋ยจัดได้ว่าละลายช้า ปุ๋ยลีโอนาร์ไต์ที่ได้จากการศึกษานี้จึงถือว่ามีศักยภาพสูงที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ทางเลือกที่ช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชอย่างช้าๆ รวมทั้งเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน อย่างปลอดภัยกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ผู้สนใจสามารถใช้ข้อมูลสมบัติของปุ๋ยและวัสดุตัวเดิมต่าง ๆ ที่รายงานในการศึกษานี้เป็นแนวในการปรับปรุงปุ๋ยและสัดส่วนการผสมที่สอดคล้องกับวัสดุที่มีในพื้นที่ของตนหรือมีธาตุอาหาร

เฉพาะเจาะจงกับชนิดพืชที่ปลูกได้ แต่การเลือกวัสดุผสมควรพิจารณา 5 ประเด็นที่ได้เสนอไว้ในผลการศึกษานี้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เหมือนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และ รองศาสตราจารย์ ดร. ชิตี ศรีรัตนทิพย์ ในการช่วยหาแหล่งซื้อเปลือกถั่วลิสงจากกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดลำปาง

เอกสารอ้างอิง

- Akinremi, O.O., H.H. Janzen, R.L. Lemke and F.J. Larney. 2000. Response of canola, wheat and green beans to leonardite additions. *Canadian Journal of Soil Science* 80(3): 437-443.
- Amissah, J.G.N., W.O. Ellis, I. Oduro and J.T. Manful. 2003. Nutrient composition of bran from new rice varieties under study in Ghana. *Food Control* 14(1): 21-24.
- Barbi, S., F. Barbieri, F. Andreola, I. Lancellotti, L. Barbieri and M. Montorsi. 2020. Preliminary study on sustainable NPK slow-release fertilizers based on byproducts and leftovers: A design-of-experiment approach. *ACS Omega* 5(42): 27154-27163.
- Chen, J., S. Lu, Z. Zhang, X. Zhao, X. Li, P. Ning and M. Liu. 2018. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment* 613-614: 829-839.
- Department of Agriculture. 2005. Announcement of the Department of Agriculture subject: Organic fertilizer standard, 2005. (Online). Available: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th>

- /DATA/PDF/2548/00172707.PDF (January 30, 2021). (in Thai)
- Department of Agriculture. 2008. Organic fertilizer analysis method guide. (Online). Available: <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00061.pdf> (January 30, 2021). (in Thai)
- Department of Agriculture. 2012. Announcement of the Department of Agriculture request for registration issue of registration certificate request to amend the registration list and the amendment of the organic fertilizer registration list B.E. 2012. (Online). Available: file:///C:/Users/Administrator/Downloads/Law_1_818_TH.pdf (January 29, 2021). (in Thai)
- Department of Agriculture. 2014. Announcement of the Department of Agriculture subject to specifying the organic fertilizer criteria. (Online). Available: <https://www.doa.go.th/ard/wpcontent/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf> (January 22, 2021). (in Thai)
- EC. 2008. Commission regulation (EC) No 889/2008. (Online). Available: <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2008R0889:20100701:EN:PDF> (September 2, 2020)
- Ece, A., K. Saltali, N. Eryigit and F. Uysal. 2007. The effect of leonardite applications on climbing bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield and the some soil properties. *Journal of Agronomy* 6(3): 480-483.
- EGTOP. 2018. Final report on fertilizers (III). (Online). Available: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/final-report-egtop-fertilizers-iii_en.pdf (January 29, 2021)
- Guo, Y., M. Zhang, Z. Liu, C. Zhao, H. Lu, L. Zheng and Y.C. Li. 2020. Applying and optimizing water-soluble, slow-release nitrogen fertilizers for water-saving agriculture. *ACS Omega* 5(20): 11342-11351.
- Hoffman, G.L., D.J. Nikols, S. Stuhec and R.A. Wilson. 1993. Evaluation of leonardite (humalite) resources of Alberta. Open File Report 1993-18. Alberta Research Council, Alberta, 45 p.
- Ibanez, M.A., C. de Blas, L. Camara and G.G. Mateos. 2020. Chemical composition, protein quality and nutritive value of commercial soybean meals produced from beans from different countries: A meta-analytical study. *Animal Feed Science and Technology* 267: 114531, doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114531
- IFOAM. 2019. Consolidated annual report of IFOAM - Organics international & its action group. (Online). Available: [https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-12/AnnualReport 2019.pdf](https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-12/AnnualReport%202019.pdf) (February 2, 2021).
- Kalaitzidis, S., S. Papazisimou, A. Giannouli, A. Bouzinos and K. Christanis. 2003. Preliminary comparative analyses of two Greek leonardites. *Fuel* 82(7): 859-861.
- Kjeldahl, J. 1883. A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie* 22: 366-382.
- Kleinman, P.J.A., A.M. Wolf, A.N. Sharpley, D.B. Beegle and L.S. Saporito. 2005. Survey of water-extractable phosphorus in livestock manures. *Soil Science Society of America Journal* 69(3): 701-708.
- Kolodziej, B., D. Sugier and E. Bielinska. 2013. The effect of leonardite application and various plantation modalities on yielding and quality of roseroot (*Rhodiola rosea* L.) and soil

- enzymatic activity. *Journal of Geochemical Exploration* 129: 64-69.
- Land Development Department. 2002. Handbook of government officials on soil improvement with organic matter, Soil and Water Conservation Division, Land Development Department, Bangkok. 197 p.
- Landrot, G., K. Jutamanee, P. Sooksamiti and S. Khaokaew. 2014. Capacity of humic acids extracted at the large scale from Mae-Moh leonardite to be used as soil amendments based on their chemical properties, p. 2960. *In: Proceedings of the 20th World Congress of Soil Science*. Jeju International Convention Center, Jeju, South Korea.
- Landrot (Khaokaew), S., C. Armartmontree, C. Khongkaew and K. Jutamanee. 2020. Leonardite-based organic fertilizer production complying with the organic fertilizer standard of the Department of Agriculture. *King Mongkut's Agricultural Journal* 38(1):93-103. (in Thai)
- Liang, Y., X. Cao, L. Zhao, X. Xu and W. Harris. 2014. Phosphorus release from dairy manure, the manure-derived biochar, and their amended soil: effects of phosphorus nature and soil property. *Journal of Environmental Quality* 43(4): 1504-1509.
- Olivella, M.A., M. Sole, R. Gorchs, C. Lao and F.X.C. de las Heras. 2011. Geochemical characterization of a spanish leonardite coal. *Archives of Mining Sciences* 56(4): 789-804.
- Okamoto, M. and K. Okada. 2004. Differential responses of growth and nitrogen uptake to organic nitrogen in four gramineous crops. *Journal of Experimental Botany* 55(402): 1577-1585.
- Patil, S. S., A. Kar and D. Mohapatra. 2016. Stabilization of rice bran using microwave: Process optimization and storage studies. *Food and Bioproducts Processing* 99: 204-211.
- Pertuit, A.J., J.B. Dudley and J.E. Toler. 2001. Leonardite and fertilizer levels influence tomato seedling growth. *HortScience* 36(5): 913-915.
- Pochadom, S., S. Khaokaew, P. Sooksamiti, K. Jutamanee and G. Landrot. 2013. Chemical characterizations of leonardite from Mae Moh mine for agricultural applications. pp. 243-249. *In: Proceedings of the 51st Kasetsart University Annual Conference*, Bangkok. (in Thai)
- Ratanaprommanee, C., K. Chinachanta, F. Chaiwan and A. Shutsrirung. 2017. Chemical characterization of leonardite and its potential use as soil conditioner and plant growth enhancement. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* 22(4), Article ID: APST-22-04-01.
- Sanli, A., T. Karadogan and M. Tonguc. 2013. Effects of leonardite applications on yield and some quality parameters of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Turkish Journal of Field Crops* 18(1): 20-26.
- Sharpley, A. and B. Moyer. 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality* 29(6): 1462-1469.
- Sugier, D., B. Kolodziej and E. Bielinska. 2013. The effect of leonardite application on *Arnica montana* L. yielding and chosen chemical properties and enzymatic activity of the soil. *Journal of Geochemical Exploration* 129: 76-81.

- Supsuan, P., S. Seubkrasair, S. Boonmee and S. Yampracha. 2018. Effects of leonardite and cow manure on growth and yield of marigold (*Tagetes erecta* L.) and change of soil properties after harvesting. Thai Journal of Soils and Fertilizers 40(2): 6-18. (in Thai)
- Terlingen, J.G.A., M. Hojjatie and F. Carney. 2014. Review of analytical methods for slow- and controlled-release fertilizers. (Online). Available: https://www.researchgate.net/publication/269708640_Review_of_Analytical_Methods_for_Slow-_and_Controlled-_Release_Fertilizers (January 29, 2021).
- Tothirakul, V., P. Sooksamiti and J. Tokamontham. 2009. Research Paper: Preparation of humate salt compounds from coal-mixed soil from Mae Moh lignite mine, Lampang province. (Online). Available: <http://www.dpim.go.th/articles/article?catid=128&articleid=701> (January 29, 2021). (in Thai)
- Zhang, M., Z. He, A. Zhao, H. Zhang, D.M. Endale and H.H. Schomberg. 2011. Water-extractable soil organic carbon and nitrogen affected by tillage and manure application. Soil Science 176(6): 307-312.
-