

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากลีโอนาร์ไดต์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร

Leonardite-based Organic Fertilizer Production Complying

with the Organic Fertilizer Standard of the Department of Agriculture

แสงดาว แลนรอต (खाकाव)^{1*}, จริยา อามาศย์มนตรี¹, ชัยภัทร คงแก้ว¹ และคนพล จุฑามณี¹
 Saengdao Landrot (Khaokaew)^{1*}, Chariya Armartmontree¹, Chaipat Khongkaew¹ and Kanapol Jutamane¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของลีโอนาร์ไดต์และปุ๋ยอินทรีย์ 8 สูตร ที่ได้จากลีโอนาร์ไดต์ผสมกับ ถ่านแกลบไบโอชาร์ กากถั่วเหลือง (โปรตีน 43 เปอร์เซ็นต์) รำละเอียด โดโลไมต์ น้ำปราศจากไอออน และกากน้ำตาล ตามข้อกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ผลการทดลองพบว่าปุ๋ยทุกสูตรมีค่าอินทรีย์วัตถุสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ต่ำกว่า 25:1 สมบัติทุกประการของปุ๋ยทุกสูตรผ่านเงื่อนไขของกรมวิชาการเกษตร ยกเว้นค่าพีเอช ค่า C/N ratio และค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ สูตรผสมที่ดีที่สุดที่ทำให้ปุ๋ยมีสมบัติทุกประการผ่านมาตรฐาน กำหนดของกรมวิชาการเกษตรคือ สูตรที่ได้จากการผสม 45, 35 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ลีโอนาร์ไดต์ แกลบไบโอชาร์ และกากถั่วเหลือง ตามลำดับ การลดแกลบไบโอชาร์ลง 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วแทนด้วยโดโลไมต์ในสูตรนี้ ทำให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ ของปุ๋ยลดลงจาก 96 เปอร์เซ็นต์ เป็น 66-70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปุ๋ยสูตรที่ใช้รำละเอียดแทนการใช้กากถั่วเหลืองสมบัติปุ๋ยผสมที่ได้ ใกล้เคียงกับการใช้กากถั่วเหลืองแต่มีค่าพีเอชต่ำกว่า ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ และค่า C/N ratio สูงกว่าปุ๋ยสูตรที่ได้จากการ ผสมกับกากถั่วเหลือง การผสมกากน้ำตาลลงไปในสูตรการผสมส่งผลให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยลดลง

คำสำคัญ: ลีโอนาร์ไดต์ ปุ๋ยอินทรีย์ แกลบไบโอชาร์ กากถั่วเหลือง กากน้ำตาล

Abstract

This research aimed to determine the properties of leonardite and eight leonardite-based organic fertilizers obtained by mixing leonardite with various additives including rice husk biochar, soybean meal (43 percent protein), rice bran, diatomite, deionized water and molasses and to analyze these mixtures according to the organic fertilizer standard of the Department of Agriculture. The results showed that all fertilizer formulas had organic matter contents higher than 40 percent and a C/N ratio of less than 25:1. The properties of the fertilizers were generally in accord with the organic fertilizer standard; however, some were outside the standard for pH, C/N ratio, and germination index values. The best mixture had the composition of 45:35:20 leonardite, rice husk biochar and soybean meal, respectively. All the properties of this mixture complied with the organic fertilizer standard of the Department of Agriculture. Substituting 10 percent of the rice husk biochar content in this mixture with dolomite reduced its germination index value from 96 to 66-70 percent. Using rice bran instead of soybean meal in the fertilizer formulation provided similar results, but the resultant fertilizer had a lower pH, and a higher germination index and C/N value. Adding molasses to the fertilizer formula resulted in a dramatic decrease of the fertilizer's germination index value.

Keywords: leonardite, organic fertilizer, rice husk biochar, soybean meal, molasses

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author, Email: agrsdk@ku.ac.th or agrsdk@yahoo.co.th

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญกับการทำเกษตรอินทรีย์มากขึ้น จึงทำให้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นที่ต้องการของเกษตรกร แม้เกษตรกรจำนวนหนึ่งจะสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในแบบชาวบ้านใช้เองได้ แต่เกษตรกรอีกจำนวนหนึ่งก็ต้องพึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่มีในท้องตลาด ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์จำนวนมากที่มีขายโดยทั่วไปไม่มีการแสดงผลการวิเคราะห์หรือแสดงค่าวิเคราะห์สมบัติใด ๆ เกษตรกรหรือผู้ซื้อทั่วไปจึงไม่สามารถมั่นใจได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ซื้อมานั้นมีสมบัติอย่างไรและได้มาตรฐานตามที่หน่วยงานราชการกำหนดหรือไม่ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาตรฐานในท้องตลาดนั้นหายาก (หทัยชนก นันทพานิช และภาสกร นันทพานิช, 2555) ดังนั้นหากประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่การเป็นประเทศผู้นำในการผลิตอาหารจากระบบเกษตรอินทรีย์ สังคมควรมีข้อมูลและทางเลือกในการหาปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาตรฐานจำหน่ายในท้องตลาด หรือมีข้อมูลแนวทางผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาตรฐานที่เกษตรกรสามารถผลิตหรือผสมใช้เองได้ โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่มีในพื้นที่หรือวัสดุพลอยได้จากกิจการต่าง ๆ ที่หาได้ง่าย ปลอดภัย และราคาไม่แพง

ลีโอนาร์โดต์ (leonardite) เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยการออกซิเดชันของถ่านหินลิกไนต์ (Kalaitzidi et al., 2003; Olivella et al., 2011) และเป็นวัสดุพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า คำว่า “ลีโอนาร์โดต์” ตั้งขึ้นตามชื่อนักธรณีวิทยาผู้ค้นพบและศึกษาลีโอนาร์โดต์คนแรกคือ Dr. Arthur Gray Leonard ที่ค้นพบลีโอนาร์โดต์จากแหล่งถ่านหินในรัฐดาโกตาเหนือ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Odzoba et al., 2001) ลีโอนาร์โดต์มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในรูปสารฮิวมิกสูง (Hoffman et al., 1993; Tan, 2003; Simandl et al., 2001) ทำการศึกษาสมบัติของลีโอนาร์โดต์ที่ได้จากบริเวณเหมือง Red Lake ในบริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา พบว่าลีโอนาร์โดต์ประกอบด้วยกรดฮิวมิกประมาณ 5.8-75 เปอร์เซ็นต์ ลีโอนาร์โดต์สามารถพบอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีแหล่งถ่านหินลิกไนต์ โดยแหล่งลีโอนาร์โดต์ขนาดใหญ่ตั้งอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศแคนาดา และประเทศกรีซ (Hoffman et al., 1993; Simandl et al., 2001) สำหรับประเทศไทย ลีโอนาร์โดต์แหล่งใหญ่ตั้งอยู่ที่ภาคเหนือในอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ขนาดใหญ่ มีลีโอนาร์โดต์อยู่ประมาณ 1 ล้านตัน นอกจากนี้พบลีโอนาร์โดต์กระจายอยู่จังหวัดอื่น ๆ ที่พบถ่านหินลิกไนต์ เช่น ลำพูน พะเยา และกระบี่ (วิวัฒน์ ไตรภักดิ์ และคณะ, 2552)

สำหรับทางด้านการเกษตรลีโอนาร์โดต์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากลีโอนาร์โดต์สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชหลายชนิด อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติของดินหลายประการ เช่น ช่วยเพิ่มธาตุอาหารใน *Arnica montana* L. (Sugier et al., 2013) เพิ่มผลผลิตคาโนลา (Akinremi et al., 2000) เพิ่มความสูง น้ำหนักสดของต้น และรากต้นมะเขือเทศ (Pertuit et al., 2001) เพิ่มผลผลิตข้าว และปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน (Yolcu et al., 2011) เพิ่มผลผลิตและคุณภาพของ *Rhodiola rosea* L. รวมทั้งทำให้ดินมีความพรุน และส่งผลให้รากพืชมีการเจริญเติบโตที่ดี และช่วยส่งเสริมให้มีเอ็นไซม์ dehydrogenase, acid phosphatase, urease และ protease โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปลูกในดินทราย (Kolodziej et al., 2013) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของมันฝรั่ง (Sanli et al., 2013) ลีโอนาร์โดต์ที่พบในประเทศไทยมีสมบัติที่ดีต่อการเกษตรหลายประการ Pochadom et al. (2013) ทำการศึกษาสมบัติของลีโอนาร์โดต์จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งสุ่มมาจากลีโอนาร์โดต์ที่มีทั้งหมดของเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยผลการศึกษพบว่า ค่าพีเอช และการนำไฟฟ้า ของลีโอนาร์โดต์ที่วัดโดยการใช้น้ำในสัดส่วนลีโอนาร์โดต์ต่อสารสกัด 1 ต่อ 5 มีค่าเท่าในช่วง 3.3-4.9 และ 3.8-4.6 เดซิซีเมนต/เมตร (dS/m) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ทั้งหมด เท่ากับ 0.59, 0.10 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) มีค่า 2.3, 0.39 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารเสริม ได้แก่ แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และนิเกิล (Ni) เท่ากับ 11, 92, 64, 40 และ 29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มก./กก.) ตามลำดับ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity: CEC) เท่ากับ 57 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (cmol kg⁻¹) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter: OM) สูงถึง 24 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในช่วง 23-26 ปริมาณธาตุอันตรายที่เป็นองค์ประกอบในลีโอนาร์โดต์จากเหมืองแม่เมาะ คือ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) และอาร์เซนิก (As) อยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด นอกจากนี้ ธรรรศ สมจันทร และอรรธรณ ฉัตรสิริรุ่ง (2557) รายงานว่า ลีโอนาร์โดต์จากเหมืองแม่เมาะ มีกรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบสูงถึง 57.96 เปอร์เซ็นต์ โดยจากรายงานของ ภาสินี สืบสวน และคณะ (2560) ที่ศึกษาผลของการใช้ลีโอนาร์โดต์กับดาวเรืองพบว่าให้ผลดีเช่นเดียวกับการใช้มูลโคแต่ต้องใช้ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้การใช้ลีโอนาร์โดต์ยังมีผลทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ส่วนที่สกัดได้ในดินสูงขึ้นด้วย แต่การใช้ลีโอนาร์โดต์โดยตรงมีผลทำให้พีเอชของดินลดลง เนื่องจากลีโอนาร์โดต์มีพีเอชต่ำมาก ชาญยุทธ รัตนพรหมณี และคณะ (2560) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับลีโอนาร์โดต์สามารถเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ได้ประมาณสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ดังนั้นจากสมบัติของลีโอนาร์โดต์ ถือว่าเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิต

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาตรฐานตามกรมวิชาการเกษตรได้หากมีการเลือกวัสดุผสมที่เหมาะสม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองผสมลีโอนาร์ไดต์กับวัสดุต่าง ๆ ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในช่วงกำหนดของเกษตรอินทรีย์และวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมแล้วตามมาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548, 2551, และ 2557; ทัศนกิจกรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช, 2554) เพื่อให้ทราบความเป็นไปได้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาตรฐานโดยใช้ลีโอนาร์ไดต์เป็นวัสดุผสมหลัก ซึ่งข้อมูลเชิงวิชาการดังกล่าวจะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ หรือผู้ที่สนใจนำลีโอนาร์ไดต์จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ไปใช้ในการเกษตร

วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์และคัดเลือกวัสดุผสมอื่น ๆ

ทำการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์ (Leo) จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นวัสดุหลักในการผสมปุ๋ยนำตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์ที่ได้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เมื่อตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์แห้งทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปใช้ในการทดลองและการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ยกรมวิชาการเกษตร ทำการคัดเลือกวัสดุอื่นจากสมบัติเด่นของวัสดุนั้น ๆ ที่คาดว่าจะมีส่วนส่งเสริมให้สมบัติของปุ๋ยลีโอนาร์ไดต์ให้มีสมบัติผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมวิชาการเกษตรได้ โดยอาศัยการศึกษาสมบัติเบื้องต้นจากเอกสารทางวิชาการในรูปแบบต่าง ๆ จนได้เลือกวัสดุมาผสม 4 ชนิด (Figure 1) คือ 1) แกลบไบโอชาร์ (rice husk biochar: RHB) ที่ได้จากการเผาแกลบดิบด้วยเตาเผาแนวตั้งแบบชาวบ้าน เนื่องจากมีสมบัติเป็นด่าง มีค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณธาตุอินทรีย์ต่ำ และเกษตรกรสามารถผลิตได้เอง (อัจริยา ควรสงวน, 2559) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยจำนวนมากแสดงถึงข้อดีของการใช้ไบโอชาร์ในการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของดิน (Liang et al., 2006; Laird et al., 2010; Sohi, 2012; Wang et al., 2013; Sun and Lu, 2014) 2) กากถั่วเหลืองแห้ง (soybean meal: SBM) และรำข้าวละเอียดแห้ง (rice bran: RB) เนื่องจากวัสดุอินทรีย์ทั้งสองเป็นด่าง มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง มีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 20 จึงเป็นวัสดุที่น่าจะสามารถช่วยทำให้ปริมาณธาตุอาหาร และ ค่า C/N ratio ของปุ๋ยผสมมีโอกาสผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปและเป็นวัสดุที่แนะนำให้ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสูตรต่าง ๆ ของกรมพัฒนาที่ดิน 3) โดโลไมต์ (dolomite: Dolo) เนื่องจากเป็นวัสดุที่เป็นด่างน่าจะช่วยปรับค่าพีเอชของปุ๋ยที่ผสมให้พีเอชที่เหมาะสม เนื่องจากลีโอนาร์ไดต์มีพีเอชต่ำมาก และ 4) กากน้ำตาล (molasses: Molas) เนื่องจากมีปริมาณโพแทสเซียมสูงและเกษตรกรสามารถหาซื้อได้ทั่วไป

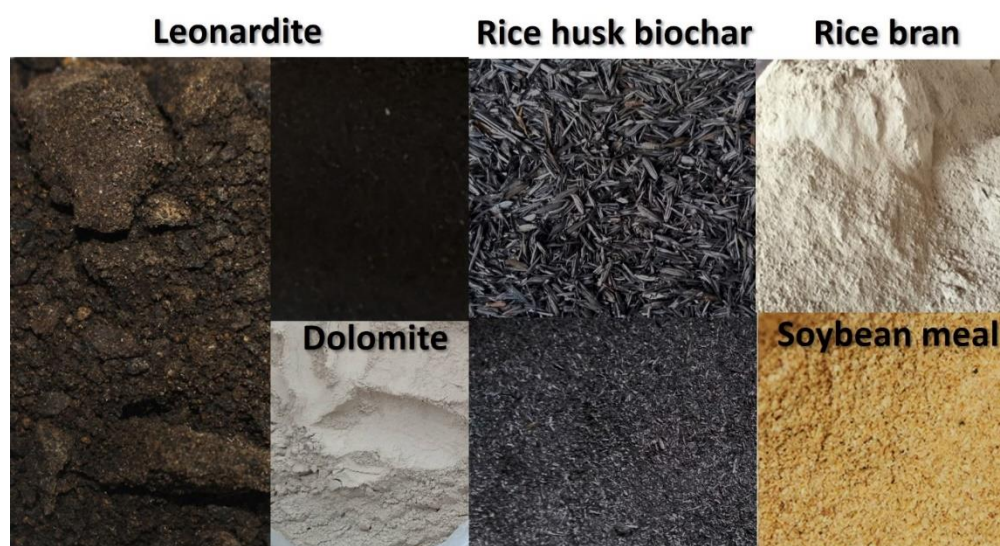


Figure 1 Materials used to produce leonardite-based organic fertilizers.

การคัดเลือกสัดส่วนวัสดุในการผสมปุ๋ย การกำหนดสูตรปุ๋ย และการผสมปุ๋ย

ในการคัดเลือกสัดส่วนการผสมของวัสดุแต่ละประเภท โดยการทดลองนี้แบ่งปุ๋ยเป็น 8 สูตร ตามเงื่อนไขการผสม ได้แก่ สัดส่วนวัสดุ การรดน้ำเปล่า หรือรดกากน้ำตาล (Table 1 และ Figure 2) ใช้หลักการพิจารณาดังนี้ 1) สำหรับวัสดุผสมหลัก คือลีโอนาร์ไดต์ พิจารณาจากค่าวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณธาตุอาหารหลัก และปริมาณอาร์เซนิกที่รายงานโดย Pochadom et al. (2013) โดยสำหรับอาร์เซนิกนั้นแม้ค่าที่รายงาน (40 มก./กก.) ต่ำกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ยของกรมวิชาการเกษตรปี พ.ศ. 2550 ซึ่งกำหนดไว้ที่ 50 มก./กก. (กรมวิชาการเกษตร, 2548 และ 2551; กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช, 2554; นริลักษณ์ ชูวรเวช, 2548) แต่นักวิจัยต้องการให้ค่านี้ต่ำกว่าค่าที่กรมวิชาการกำหนด อย่างน้อย 20 มก./กก. จึงกำหนดการใช้ลีโอนาร์ไดต์สำหรับงานทดลองในครั้งนี้ที่ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก 2) แกลบไบโอชาร์ ใช้เป็นตัวเติมให้ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้ค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของลีโอนาร์ไดต์ กากถั่วเหลืองหรือรำข้าว และโดโลไมต์ โดยใช้ 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสูตรปุ๋ยที่ 1-6 และ 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสูตรปุ๋ยที่ 7-8 3) ปริมาณกากถั่วเหลืองและรำข้าว ใช้การคำนวณในเบื้องต้นจากค่าวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่มีในรายงานกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อให้มีโอกาสได้ค่าปริมาณ Total-N, Total-K₂O และ Total-P₂O₅ เมื่อรวมกับลีโอนาร์ไดต์ 45 เปอร์เซ็นต์ แล้วเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานกำหนดของกรมวิชาการเกษตร โดยจะเลือกใช้เพียงกากถั่วเหลือง ในสูตรปุ๋ยที่ 1-3 และ 7 และรำข้าวในสูตรปุ๋ยที่ 4-6 ซึ่งในงานทดลองนี้ใช้กากถั่วเหลืองหรือรำข้าว 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก 4) โดโลไมต์ ใช้อัตรา 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสูตรปุ๋ยที่ 1-6 ใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสูตรปุ๋ยที่ 7 และ 8 และ 5) กากน้ำตาล ใช้เฉพาะสูตรปุ๋ยที่ 2 และ 5 อัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากเป็นของเหลวจึงไม่นับรวมใน 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสูตรปุ๋ย สำหรับสูตรที่มีการใส่ กากน้ำตาลจะใช้กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร สำหรับปุ๋ยผสม 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยนำกากน้ำตาลมาผสม กับน้ำกลั่นอีก 55 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เพื่อให้ได้รวม 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสูตรที่ใส่น้ำจะใช้น้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว 60 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้ความชื้นที่ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรต่อปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งความชื้นที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นค่าที่ใช้ในการบ่มปุ๋ยหมัก (ณรรต สมจันทร์ และอรรณณ ฉัตรสีรุ่ง, 2557) โดยสูตรปุ๋ยที่มีการเติมน้ำหรือน้ำผสมกากน้ำตาล จะทำการผสมโดยกวนให้เข้ากันประมาณ 5 นาที แล้วผึ่งตัวอย่างปุ๋ยให้แห้งในที่ร่มทันที โดยไม่ทำการหมักปุ๋ยข้ามคืน โดยการผลิตปุ๋ยแต่ละสูตรทำสองซ้ำที่น้ำหนักปุ๋ย 500 กรัม

Table 1 Fertilizer formula, type and amount of material used for each leonardite-based organic fertilizer formula.

Fertilizer	Percentage used for each formula						
Formula	Leonardite	Rice husk biochar	Soybean meal	Dolomite	Rice bran	Molasses	DI-Water
1	45%	25%	20%	10%	-	-	-
2	45%	25%	20%	10%	-	5%	55%
3	45%	25%	20%	10%	-	-	60%
4	45%	25%	-	10%	20%	-	-
5	45%	25%	-	10%	20%	5%	55%
6	45%	25%	-	10%	20%	-	60%
7	45%	35%	20%	-	-	-	-
8	45%	35%	-	-	20%	-	-

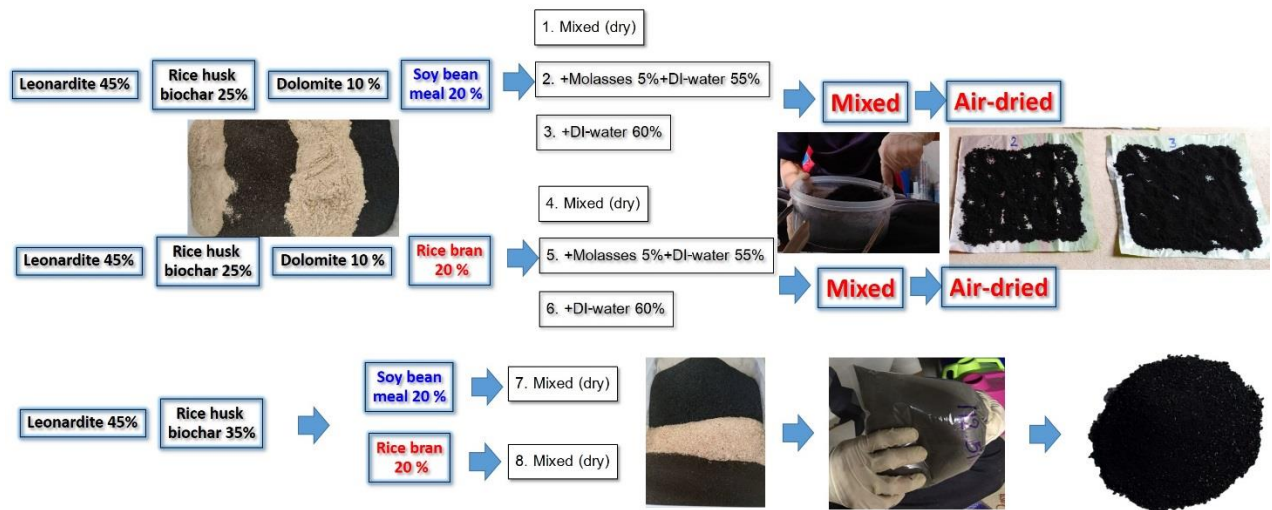


Figure 2 Procedures to make eight leonardite based-organic fertilizers.

การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุหลัก วัสดุผสม ปุ๋ยสูตรต่าง ๆ การแปลงผล และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ใช้ตามวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อขึ้นทะเบียนของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548 และ 2551; นริสลักษณ์ ชูรวเวช, 2548; กัญจนกรวลย์ ฤทธิเรืองเดช, 2554) ตัวอย่างวัสดุผสมหลักคือ ลิโณนาร์ไดต์ ทำการวิเคราะห์ค่า pH และ EC โดยใช้อัตราส่วนของปุ๋ยหรือวัสดุต่อน้ำปราศจากไอออน (deionized water: DI) เท่ากับ 1 : 2 และ 1 : 10 แล้ววัดด้วย pH meter และ EC มิเตอร์ สำหรับค่า pH และ EC ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์อย่างละ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธีของ Walkley and Black ในโตรเจนทั้งหมด (Total-N) โดยวิธี Kjeldahl method วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 (Total- P_2O_5) และโพแทสเซียมในรูป K_2O (Total- K_2O) ทั้งหมด โดยการสกัดด้วยกรดผสม $HClO_4$: HNO_3 (อัตรา 1 : 1) วิเคราะห์ปริมาณ Cd Cr Cu และ Pb โดยการสกัดด้วยกรดผสม ผสม HCl : HNO_3 (อัตรา 3 : 1) ปริมาณ As ด้วยกรดผสม H_2SO_4 : $HClO_4$: HNO_3 อัตรา (0.4 : 1 : 4) และ Hg ด้วย H_2SO_4 : HNO_3 (อัตรา 1.5-2.5 : 1) ส่วนการวิเคราะห์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (germination index: GI) ของปุ๋ยใช้วิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด ใช้ตัวอย่างปุ๋ยด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนปุ๋ย : น้ำ เท่ากับ 1 : 10 เขย่าด้วยความเร็ว 180 ครั้งต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองแล้วนำสารละลายที่ได้ไปทดสอบอัตราการงอกของเมล็ดผักในจานเพาะ โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกลางแห่งประเทศไทย ตัวอย่างแกลบไบโอชาร์ทำการวิเคราะห์ Total-N, Total- P_2O_5 , Total- K_2O , GI, OM, C/N ratio และ Na ตัวอย่างกากถั่วเหลืองและรำข้าว Total-N, Total- P_2O_5 , Total- K_2O , GI, OM และ C/N ratio กากน้ำตาล วิเคราะห์ค่า GI และ Total- K_2O ตัวอย่างโดโลไมต์วิเคราะห์ค่า GI และ Total- P_2O_5 ตัวอย่างปุ๋ยทั้ง 8 สูตร ทำการวิเคราะห์ Total-N, Total- P_2O_5 , Total- K_2O , GI, OM และ C/N ratio แต่บางสูตรที่มีส่วนผสมเหมือนกันแตกต่างกันเฉพาะการผสมน้ำหรือ กากน้ำตาลทำการวิเคราะห์เฉพาะค่า GI และ Total- K_2O เท่านั้น เนื่องจากค่าอื่น ๆ ใกล้เคียงกับสูตรที่ผสมแบบแห้งไม่เติมน้ำ (dried-mix) โดยค่าทั้งหมดดังกล่าวส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกลางแห่งประเทศไทย สำหรับค่าอื่น ๆ ได้แก่ ความชื้น ขนาดของปุ๋ย ปริมาณหิน กรวด พีเอช การนำไฟฟ้า และตัวเลขการวิเคราะห์อื่น ๆ ที่นำเสนอทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิตินั้น เนื่องจากวัตถุประสงค์ การวิจัยต้องการหาสูตรปุ๋ยที่มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ดังนั้นตัวเลขที่ได้จากการวิเคราะห์ จะนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดสำหรับปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ยอินทรีย์ฉบับล่าสุดของกรมวิชาการเกษตร และประเมินว่าสูตรใดให้ค่าวิเคราะห์ผ่านเกณฑ์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดหรือไม่ จึงไม่ทำการวิเคราะห์ตารางแสดงความแปรปรวนของข้อมูล ประกอบกับการวางสูตรปุ๋ยไม่ได้ต้องการเปรียบเทียบระหว่างสูตรและการวิเคราะห์ว่าแตกต่างทางสถิติ หรือไม่ ไม่ได้ให้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการอธิบายผลในการเลือกสูตรปุ๋ย เพราะต้องการเปรียบเทียบค่ากับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามกรมวิชาการเกษตรกำหนดเท่านั้น

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของลีโอนาร์โดและวัสดุผสม

ผลการศึกษสมบัติต่าง ๆ ของลีโอนาร์โดและวัสดุที่ใช้ในการผสมเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548, 2551 และ 2557; ทัศนวิมลกุลย์ ฤทธิ์เรืองเดช, 2554) แสดงใน Table 2 โดยพบว่า ลีโอนาร์โดมีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ 34.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีและสูงกว่าค่าที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดสำหรับปุ๋ยอินทรีย์ ลีโอนาร์โดมีค่าการนำไฟฟ้า 4.5 dS/m ปริมาณธาตุ Na, As, Cd, Cr, Cu, Pb และค่า Hg ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ปริมาณธาตุอาหารหลักรวมทั้งสามธาตุหลักต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ฟิโอสเท่ากับ 2.6 ค่า GI ต่ำกว่าศูนย์ และมีค่า C/N ratio สูงถึง 68 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร โดยผลการศึกษาของค่าวิเคราะห์หาค่าคล่องกับรายงานของ Pochadom et al. (2013) ยกเว้นสัดส่วน C/N ratio และปริมาณธาตุอาหารหลักซึ่งแตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากวิธีการวิเคราะห์ เนื่องจากการศึกษานี้ใช้วิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานกรมวิชาการเกษตร แต่การศึกษาดังกล่าวจะใช้การวิเคราะห์โดยวิธีสำหรับดิน แต่ค่า C/N ratio ที่ได้นั้นสอดคล้องกับค่าวิเคราะห์ลีโอนาร์โดจากนิวแม็กซ์โก (Pertuit et al., 2001) สำหรับตัวอย่างกากถั่วเหลืองและรำละเอียดพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักสอดคล้องกับรายงานของกรมพัฒนาที่ดินที่แนะนำให้แนะนำสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง โดยเฉพาะกากถั่วเหลืองแห้งนั้นมีธาตุไนโตรเจนสูงมาก จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งเพิ่มไนโตรเจนให้กับปุ๋ยลีโอนาร์โด ส่วนถ่านแกลบใบโศขนั้นมีค่า GI สูงถึง 93 เปอร์เซ็นต์ มี C/N ratio ต่ำ ซึ่งใบโศขรมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น คงตัว มีความพรุน และมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง (Lehmann et al., 2003) เป็นค่า (Wang et al., 2013) เพิ่มค่า CEC และการดูดซับธาตุอาหารในดิน (Laird et al., 2010; Sun and Lu., 2014) และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (Liang et al., 2006) จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้ผสมกับลีโอนาร์โด ส่วนกากน้ำตาลนั้นพบว่ามีความฟิโอส และ GI ต่ำ และค่าการนำไฟฟ้าสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัสดุผสมกับลีโอนาร์โด

สมบัติของปุ๋ยผสมสูตรต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร

ผลการวิเคราะห์สมบัติตัวอย่างปุ๋ยทั้ง 8 สูตร พบว่าปุ๋ยทุกสูตรมีค่า EC ต่ำกว่า 5 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันสูงกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุ Na, As, Cd, Cr, Cu, Pb และค่า Hg ความชื้น ขนาดของปุ๋ย ปริมาณหิน กรวด และสารปนเปื้อนทางกายภาพอื่น ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร แต่สำหรับค่าวิเคราะห์ที่ทำให้ปุ๋ยบางสูตรมีสมบัติไม่ผ่านตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรคือ ค่าฟิโอส, GI และค่า C/N ratio โดยเมื่อพิจารณาจากค่าทั้งสามพบว่า มีเพียงปุ๋ยสูตรที่ 7 เท่านั้น ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (Table 2 และ Figure 3) ซึ่งหากแยกพิจารณาสูตรที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (สูตรที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 8) เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่หนึ่งสูตรที่ผสมด้วยกากถั่วเหลือง (สูตรที่ 1, 2 และ 3) ค่าที่ทำให้ปุ๋ยไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมีเพียงค่า GI ในขณะที่กลุ่มที่สองสูตรคือ กลุ่มที่ผสมด้วยรำละเอียด (4, 5, 6 และ 8) พบว่าค่าหลักที่ทำให้ปุ๋ยไม่ผ่านเกณฑ์ คือ ค่าฟิโอส และค่า C/N ratio (สูตรที่ 4, 6 และ 8) ยกเว้นสูตรที่ 5 ซึ่งไม่ผ่านทั้งค่าฟิโอส GI และ C/N ratio แต่ค่า GI ของปุ๋ยสูตรที่ 5 นี้ สูงกว่าสูตรที่ 2 (ลีโอนาร์โดผสมกากน้ำตาลและกากถั่วเหลือง) มากแม้ผสมกากน้ำตาลเท่ากัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่รำละเอียดมีขนาดละเอียดมากกว่ากากถั่วเหลืองจึงมีพื้นที่ผิวในการจับไออนที่มาจากกากน้ำตาลได้มากกว่า ส่งผลให้ปุ๋ยสูตรที่ 5 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าสูตรที่ 2 ส่วนการที่ปุ๋ยที่ผสมด้วยรำละเอียดอัตรา 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า C/N ratio สูงกว่า 20 : 1 นั้น เป็นผลจากการที่ปุ๋ยมีค่า Total-N ต่ำกว่าสูตรที่ใช้กากถั่วเหลือง อย่างไรก็ตาม แม้ค่า C/N ratio ของปุ๋ยบางสูตรจะสูงกว่าที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด แต่ปุ๋ยทุกสูตรมีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 25 : 1 โดยเฉพาะในสูตรที่ 5 และ 6 ที่สัดส่วน C/N เพียง 21 : 1 เท่านั้น ซึ่งสัดส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนช่วง 20-30 : 1 ถือเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายที่ดี (Priya et al., 2017) นอกจากนี้ในขนาดคอกอาจมีการปรับปริมาณรำละเอียดเพิ่มขึ้นเป็น 25-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจทำให้ค่าไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและทำให้ค่า C/N ต่ำกว่า 20 : 1 ได้ สำหรับค่าฟิโอสของปุ๋ยทุกสูตรนั้นใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานกำหนดของกรมวิชาการเกษตร อีกทั้งจากการทดลองเพิ่มเติมสูตรที่มีฟิโอสต่ำกว่า 5.5 ที่มีการเติมโดโลไมต์ พบว่าค่าฟิโอสจะเพิ่มขึ้น (6-7) หากหมักไว้ที่ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน นอกจากนี้ปุ๋ยที่ฟิโอสต่ำกว่า 5.5 นี้ เป็นปุ๋ยที่น่าจะเหมาะสมกับการใช้ที่ดินที่มีฟิโอสสูง เช่น ดินเหนียวหรือดินตลิ่งจัด หรือบริเวณที่ใช้น้ำบาดาลที่มีฟิโอสสูง ดังนั้นหากผู้ผลิตไม่มีจุดประสงค์นำไปขึ้นทะเบียนแต่เป็นการผลิตเพื่อใช้เองรายย่อยก็ยังคงสามารถใช้สัดส่วนการผสมของสูตรอื่น ๆ ได้เกือบทุกสูตรจากการศึกษานี้ยกเว้นสูตรที่ 2 และ 5 ซึ่งมีค่า GI ต่ำมาก ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์โดจากการศึกษานี้ถือเป็นทางเลือกในการผสมปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาตรฐานที่ไม่ยุ่งยากสำหรับเกษตรกรที่สนใจและอยู่ใกล้แหล่งลีโอนาร์โด โดยปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์โดที่มีจุดเด่นคือมีปริมาณ OM สูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรด้วย ซึ่งโดยทั่วไปปุ๋ยที่มีค่า OM สูงผ่านตามมาตรฐานกรมวิชาการเกษตรในท้องตลาดนั้นหาได้ยาก (หทัยชนก นันทพานิช และภาสกร นันทพานิช, 2555) โดยจากการสำรวจตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จำนวน

22 ตัวอย่างที่จำหน่ายในเขตภาคกลาง จาก 19 โรงงานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทย พบว่ามีเพียง 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แต่หากนำทั้งสมบัติทางกายภาพและเคมีมาพิจารณาร่วมกันพบว่าไม่มีปุ๋ยตัวใดเลยที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติปุ๋ยปี พ.ศ. 2550 ซึ่งชนิดของวัสดุอินทรีย์ที่นำมาผสมปุ๋ยมีความสำคัญต่อคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์มากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตปุ๋ย (กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช, 2554) ดังนั้นลีโอนาร์ไดต์จึงถือเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เป็นอย่างยิ่ง นอกจากลีโอนาร์ไดต์เป็นวัสดุธรรมชาติที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงและมีสมบัติดังรายงานใน Table 2 แล้ว ลีโอนาร์ไดต์ยังมีสารฮิวมิก (Landrot et al., 2014) และมีธาตุอาหารพืชประกอบหลายธาตุจากการวิเคราะห์พบว่าลีโอนาร์ไดต์มีธาตุกำมะถัน (5.0-6.7 เปอร์เซ็นต์) แคลเซียม (1.5-2.7 เปอร์เซ็นต์) แมกนีเซียม (0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์) เหล็ก (3.2-6.5 เปอร์เซ็นต์) แมงกานีส (72-141 มก./กก.) และสังกะสี (27-59 มก./กก.) ซึ่งกำมะถันนั้นถือเป็นธาตุที่สำคัญต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืชและพืชต้องการปริมาณมากเช่นเดียวกับไนโตรเจน (Abdallah et al., 2010) และเป็นธาตุที่สำคัญในการออกตาดอกของพืช (Hinnawy, 1956) แม้จะยังไม่มีผลของการทดลองปุ๋ยกับพืชอย่างเป็นทางการ แต่จากสมบัติของวัสดุผสมหลักคือลีโอนาร์ไดต์และแกลบไบโอชาร์ รวมทั้งการทดลองใช้แบบไม่เป็นทางการในเบื้องต้นพบว่าปุ๋ยที่ผสมช่วยให้การเจริญเติบโตของไม้ดอกและการติดลูกของมะนาวดีขึ้น โดยเฉพาะจำนวนดอกพบว่าเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Sugier et al. (2013) ที่พบว่าการใช้ลีโอนาร์ไดต์ช่วยเพิ่มตาดอก ใน *Arnica montana* L.



Figure 3 Physical appearances of leonardite-based organic fertilizers of formulas 3, 4 and 7.

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 DOA		Leo	RHB	SBM	RB	Dolo	Molas	Leonardite-based fertilizer formula							
										1	2	3	4	5	6	7	8
1	Total-N (%)	>1	Or all	0.3	0.3	7.6	2.1	-	-	2.7	2.4	2.6	1.3	1.2	1.2	2.6	1.2
2	Total-P ₂ O ₅ (%)	>0.5	com	ND	ND	1.1	4.0	ND	-	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	<0.5
3	Total K ₂ O (%)	>0.5	bined	ND	0.72	2.5	1.5	-	2.7	0.48	0.81	0.71	0.68	0.65	0.60	0.55	0.73
			≥2%														
4	OM (%)	20		34.9	11	72.6	89.9	-	-	42.6	42.6	42.6	44.2	44.2	44.2	44.5	49.5
5	C/N ratio	<20:1		68:1	21:1	6:1	25:1	-	-	9:1	10:1	10:1	20:1	21:1	21:1	10:1	24:1
6	GI (%)	>80		ND	93	22.9	34.4	61.6	7.6	69.8	26.7	66.3	85.8	52.2	96.8	96.2	81.9
7	pH	5.5-8.5		2.6	7.3	6.3	6.2	8.3	4.0	5.8	6.4	6.5	5.2	5.7	5.4	5.6	5.1
8	EC (dS/m)	<10		4.5	0.2	5.6	2.3	0.1	8.0	3.8	4.2	3.8	2.7	3.6	3.4	4.0	2.6
9	Na (%)	<1		0.15	0.07	-	-	-	-	<1% Based on materials used to make fertilizer							
10	Sieving size (mm)	<12.5x12.5		All fertilizer sizes were less than 2 mm.													
11	Gravel size >5 mm (%)	<2		None													
12	Moisture content (%)	<30		<30% All fertilizers were air-dried													
13	As (mg/kg)	<50		32.57	0.46	-	-	ND	-	<20							
14	Cd (mg/kg)	<5		0.18	0.75	-	-	ND	-								
15	Cr (mg/kg)	<300		15.98	12.0	-	-	ND	-								
16	Cu (mg/kg)	<500		41.68	6.4	-	-	ND	-	Below maximum value allowed by DOA based on materials							
17	Pb (mg/kg)	<500		8.31	11.7	-	-	ND	-	used to make fertilizer							
18	Hg (mg/kg)	< 2		0.18	ND	-	-	ND	-								

สรุปผลการศึกษา

ลีโอนาร์โดเป็นวัสดุธรรมชาติที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์หลายประการ เช่น มีปริมาณ OM สูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ มีธาตุอาหารพืชหลายธาตุ มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 5 dS/m มีปริมาณธาตุอินทรีย์ต่าง ๆ ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด แต่ลีโอนาร์โดเพียงอย่างเดียว นั้น ยังไม่สามารถผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีสมบัติทุกประการผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรได้ โดยเฉพาะค่าพีเอช, C/N ratio และ GI ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่เหมาะสมมาผสมร่วมกับลีโอนาร์โด เพื่อช่วยให้สมบัติของปุ๋ยผสมลีโอนาร์โดที่มีสมบัติทุกประการผ่านมาตรฐาน โดยในการศึกษานี้พบว่าการใช้กากถั่วเหลืองแห้งเกรดคุณภาพ (โปรตีน 43 เปอร์เซ็นต์) เป็นวัสดุผสมสามารถช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้กับปุ๋ย เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า C/N ratio ให้กับปุ๋ยได้ ทำให้ปุ๋ยมีค่า C/N ratio ไม่เกิน 20 : 1 ส่วนรำละเอียดนั้น มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสสูงกว่ากากถั่วเหลืองมาก แต่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่ากากถั่วเหลืองมาก การนำมาผสมในอัตราเท่ากับกากถั่วเหลืองแม้จะทำให้ผลรวมของปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของปุ๋ยเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานกำหนด แต่ค่า C/N ratio ที่ได้ยังสูงกว่า 20 : 1 ดังนั้นหากจะทำให้ค่า C/N ratio ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรจำเป็นต้องใช้รำละเอียดในปริมาณที่สูงกว่ากากถั่วเหลือง สำหรับแกลบไบโอชาร์นั้นมีสมบัติที่ดีหลายประการและที่เด่นคือมีค่าพีเอชสูง และมีค่า GI สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จึงมีส่วนช่วยให้ค่าดังกล่าวของปุ๋ยลีโอนาร์โดที่ผสมออกมาผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ ส่วนกากน้ำตาลนั้นเป็นวัสดุที่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ผสมกับลีโอนาร์โดเพราะทำให้ค่า GI ของปุ๋ยลดลง โดยสรุปปุ๋ยที่ผสมได้ทุกสูตรมีสมบัติเกือบทุกประการผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร แต่สามสมบัติหลักที่ทำให้ปุ๋ยบางสูตรไม่ผ่านมาตรฐานคือ ค่าพีเอช, C/N ratio และ GI สำหรับในการศึกษานี้ปุ๋ยผสมที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรทุกสมบัติคือ สูตรที่ 7 ซึ่งได้จากการผสมลีโอนาร์โด 45 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากถั่วเหลืองแห้งเกรดคุณภาพ (โปรตีน 43 เปอร์เซ็นต์) 20 เปอร์เซ็นต์ และแกลบไบโอชาร์ 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสัดส่วนและวัสดุที่ใช้ในการผสมดังกล่าวทั้งหมดเป็นสิ่งที่เกษตรกรสามารถทำและสามารถหาได้ไม่ยากหากมีลีโอนาร์โดสำหรับกากถั่วเหลืองนั้นแม้มีการใช้ในด้านปศุสัตว์ด้วย แต่การผสมใช้เพียง 20 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าแนวทางการผสมปุ๋ยอินทรีย์ลีโอนาร์โดที่นำเสนอในการศึกษานี้เป็นทางเลือกในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงที่ได้มาตรฐาน โดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการหมักที่เกษตรกรสามารถผสมใช้ได้เอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากกับเกษตรกรหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนโดยเฉพาะที่อยู่ใกล้จังหวัดลำปางซึ่งเป็นแหล่งลีโอนาร์โดที่สำคัญของประเทศไทย อย่างไรก็ตามก่อนนำสูตรปุ๋ยไปใช้ในการผลิตขนาดใหญ่หรือทำในระดับการค้าควรมีการทดลองผสมปุ๋ยในระดับที่ใหญ่ขึ้นก่อน รวมทั้งการนำปุ๋ยไปทดลองใช้กับพืชต่าง ๆ และอาจมีการทดลองปรับสูตรเพิ่มเติม เช่น ปรับปริมาณรำละเอียดในสูตรปุ๋ย หรือหาวัสดุผสมอื่นที่มีสมบัติใกล้เคียงกับแกลบไบโอชาร์ที่มีหรือสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น เพื่อให้เกิดความหลากหลายและสะดวกในการผลิตปุ๋ยและนำไปใช้สำหรับแต่ละพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุนสนับสนุนจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เหมือนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. *ประกาศกรมวิชาการเกษตร: เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เล่ม 125 ตอนพิเศษ 67 ง: 13-49*.
- กรมวิชาการเกษตร. 2557. กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (2555, 29 มีนาคม). *ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 129 ตอนพิเศษ 59 ง*.
- กาญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช. 2554. การประเมินลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ที่จำหน่ายในเขตภาคกลางและผลของกระบวนการบ่มเม็ดต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชาญยุทธ รัตนพรหมณี, กิวิพร จินะจินดา และอรรณณ ฉัตรสิริรุ่ง. 2560. ผลของลีโอนาร์โดต่อการปรับปรุงคุณภาพดินและผลผลิตข้าว. *วารสารเกษตร 33 (2): 215-224*.

- ณรรต สมจันทร์ และอรรณณ ด้ตรสีรุ่ง. 2557. การปรับปรุงคุณภาพลิโณนาร์ไต์สำหรับเป็นวัสดุปรับปรุงดิน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร* 37 (1): 33-43.
- นริศกษณ์ ขวรวะ. 2548. *เอกสารวิชาการเรื่อง ความรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ภาสินี สืบสวน, ศรัณย์ สืบกระแสร, ศตวรรษ บุญมี และสุกัญญา แย้มประชา. 2560. ผลของการใช้ลิโณนาร์ไต์และปุ๋ยมูลโคต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตของดอกดาวเรือง และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังปลูก ใน *รายงานการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5. ขับเคลื่อนนวัตกรรมด้านดินและปุ๋ย ก้าวสู่...เกษตร 4.0*. น. 52-61. โรงแรมเซ็นทารา บาย เซ็นทารา ศูนย์ราชการและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ แจ้งวัฒนะ, กรุงเทพฯ.
- วิวัฒน์ ไตรภัก, พงษ์พร สุขสมิต และจินดารัตน์ โตกมลธรรม. 2552. *การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองลิกไนต์ แม่เมาะ จังหวัดลำปาง*. กรุงเทพฯ: สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม.
- หทัยชนก นันทพานิช และภาสกร นันทพานิช. 2555. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- อัจฉิมา ควรสวณ. 2559. ผลของการใช้วัสดุปลูกและถ่านแกลบไบโอชาร์ต่อผลผลิตข้าว การเปลี่ยนแปลง ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส อะลูมิเนียม และจุลินทรีย์ในดินนากรดจัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Abdallah, M., Dubousset, L., Meuriot, F., Etienne, P., Avice, J. C., and Ourry, A. 2010. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. *Journal of Experimental Botany* 61 (10): 2635-2646.
- Akinremi, O. O., Janzen, H. H., Lemke, R. L., and Larney, F. J. 2000. Response of canola, wheat and green beans to leonardite additions. *Canadian Journal of Soil Science* 80 (3): 437-443.
- Hinnawy, E. I. E. 1956. Some aspect of mineral nutrition and flowering. pp. 51. <http://edepot.wur.nl/290950>.
- Hoffman, G. L., Nikols, D. J., Stuhec, S., and Wilson, R. A. 1993. Evaluation of leonardite (humalite) resources of Alberta. *Alberta Research Council Open file report*, pp. 45.
- Kalaitzidis, S., Papazisimou, S., Giannouli, A., Bouzinos, A., and Christanis, K. 2003. Preliminary comparative analyses of two Greek leonardites. *Fuel* 82: 859-861.
- Kolodziej, B., Sugier, D., and Bielinska, E. 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.
- Laird, D., Flemming, P., Wang, B., Horton, R., and Karlen, D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a mid-western agricultural soil. *Geoderma* 158 (3-4): 436-442.
- Landrot, G., Jutamanee, K., Sooksamiti, P., and Khaokaew, S. 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. In *Proceeding of the 20th World Congress of Soil Science*. pp. 424. Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Jeju, South Korea.
- Lehmann, J., da Silva, Jr. J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendment. *Plant and Soil* 249: 343-357.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., et al. 2006. Black carbon increase cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70 (5): 1719-1730.
- Ozdoba, D. M., Blyth, J. C., Engler, R. F., Dinel, H., and Schnitzer, M. 2001. Leonardite and humified organic matter. In *Humic Substances: Structures, Models and Functions (Special Publication)*. Ghabbour, E. A. and Davies, G., eds. pp. 388. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Olivella, M. A, Sole, M., Gorchs, R., Lao, C., and Heras, F. X. C. D. 2011. Geochemical characterization of a spanish leonardite coal. *Archives of Mining Sciences* 56 (4): 789-804.
- Pertuit, A. J., Jerry, J. B., Dudley, Jr., and Toler, J. E. 2001. Leonardite and fertilizer levels influence tomato seedling growth. *Horticultural Science* 5: 913-915.
- Pochadom, S., Khaokaew, S., Sooksamiti, P., Jutamanee, K., and Landrot, G. 2013. Chemical Characterizations of Leonardite from Mae Moh Mine for Agricultural Applications. In *The 51st Kasetsart University Annual Conference*. pp. 243-249. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Priya, V., Lokesh, M., Kesavan, D., Komathi, G., and Naveena, S. 2017. Evaluating the perfect carbon: nitrogen (C:N) ratio for decomposing compost. *International Research Journal of Engineering and Technology* 4 (9): 1144-1147.
- Sanli, A., Karadogan, T., and Tonguc, M. 2013. Effect of leonardite applications on yield and some quality parameters of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Turkish Journal of Field Crops* 18: 20-26.
- Simandl, G. J., Simandl, J., and Aylen, P. B. 2001. Leonardite-type materialat red lake diatomite deposit, Kamloops area, BC. In *Geological Fieldwork 2000: A Summary of Field Activities and Research*. pp. 371-378. Ministry of Energy and Mines.
- Sohi, S. P. 2012. Carbon storage with benefit. *Science* 338: 1034-1035.

- Sugier, D., Kolodziej, B., and Bielinska, E. 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.
- Sun, F., and Lu, S. 2014. Biochars improve aggregate stability, water retention and porespace properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177: 26-33.
- Tan, K. H. 2003. *Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and Controversies*. Florida: CRC Press.
- Wang, Y., Hu, Y., Zhao, X., Wang, S., and Xing, G. 2013. Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence times. *Energy Fuel* 27: 5890-5899.
- Yolcu, H., Seker, H., Gullap, M. K., Lithourgidis, A., and Gunes, A. 2011. Application of cattle manure, zeolite and leonardite improves hay yield and quality of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) under semiarid conditions. *Australian Journal of Crop Science* 5: 926-931.

วันรับบทความ (Received date) : 25 ก.พ. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 16 มี.ค. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 18 มิ.ย. 62