

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุปลูกจากกากขานอ้อยและกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย

สุปราณี อบเทียน¹ สิริณารี เงินเจริญ^{1*} ประทีป อุปแก้ว²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาวัสดุปลูกจากกากขานอ้อยของการผลิตน้ำตาล (sugarcane bagasse; SB) กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกระดาษkraft (biosludge from kraft paper; BK) และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไฟฟ้า (biosludge from power plant; BP) โดยวิเคราะห์จากคุณสมบัติของวัสดุปลูกและเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของต้นพริกชี้หนู (*Capsicum frutescens* Linn.) ซึ่งนำมาปลูกในวัสดุปลูกที่ประกอบด้วย SB:BK:BP 6 อัตราส่วน ได้แก่ 50:50:00 50:40:10 50:30:20 50:20:30 50:10:40 และ 50:00:50 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 เดือน ผลการศึกษาพบว่าวัสดุปลูกจาก SB:BK:BP ในอัตราส่วนเท่ากับ 50:10:40 มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับพัฒนาเป็นวัสดุปลูก กล่าวคือ วัสดุปลูกดังกล่าวมีสีเทา มีความหนาแน่นและความพรุนเท่ากับ 0.02 ± 0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ $30.76 \pm 1.74\%$ ตามลำดับ ช่องว่างขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับช่องว่างขนาดเล็ก pH เท่ากับ 7.51 หรือเป็นด่างเล็กน้อย ตรวจพบอินทรีย์วัตถุ 1.6-2.54% หรืออยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนี้วัสดุปลูกจาก SB:BK:BP ในอัตราส่วนเท่ากับ 50:10:40 ยังให้ผลการเจริญเติบโตของต้นพริกชี้หนูสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกอัตราส่วนอื่นๆ จากผลวิเคราะห์ซึ่งพบว่าอัตราการอยู่รอดของพริกชี้หนูที่ปลูกในวัสดุปลูกดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 100% ความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นพริกชี้หนูเท่ากับ 15.07 ± 3.23 เซนติเมตร 0.40 ± 0.05 กรัม และ 0.06 ± 0.01 กรัมตามลำดับ ($P < 0.05$)

คำสำคัญ : ขานอ้อย ตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย วัสดุปลูก

¹ คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว e-mail: sirinaree.th@gmail.com

² คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว e-mail: prateep_o@buu.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก e-mail: sirinaree.th@gmail.com

Feasibility Study Of Growing Material Production From Sugarcane Bagasse And Wastewater Sludge

Supranee Option¹ Sirinaree Ngencharoen^{1*} Prateep Oupkaew²

Abstract

The objectives of this research were to study the feasibility of growing material that developed from bagasse of sugar production (sugarcane bagasse; SB), wastewater sludge of kraft paper production (biosludge from kraft paper; BK) and wastewater sludge of electricity production (biosludge from power plant; BP). Samples were analyzed by properties of mentioned material including the growth of bird chili (*Capsicum frutescens* Linn.) which were planted in growing material that composed of SB:BK:BP, varied 6 proportions as 50:50:00, 50:40:10, 50:30:20, 50:20:30, 50:10:40 and 50:00:50 by volume for 2 months. The results were showed that growing materials consisted of SB:BK:BP as 50:10:40 was the most favorable to develop for the cultivation. It was found that the mentioned growing material was gray. The density equaled to 0.02 ± 0.01 g/cm³ conversely, the porosity was equaled $30.76 \pm 1.74\%$. The volume of high pore has resembled small pore space, pH of growing material as 7.51 or slightly base and the medium organic matter which were found as 1.6-2.54%. Furthermore, survival rate, height, and weight of bird chilies planted in every growing media proportion were measured. Also found that all of the values from SB:BK:BP which equals 50:10:40 was the highest yield as its survival rate value of bird chili equaled to 100% and the height was equals 15.07 ± 3.23 cms. Referred to that proportion, the fresh weight and dry weight of bird chili growth equaled to 0.40 ± 0.05 g and 0.06 ± 0.01 g, respectively ($P < 0.05$).

Keywords : Sugarcane bagasse, Sewage sludge, Growing material

¹ Faculty of Science and Social Science, Burapha University, Sakaeo Campus, Sakaeo Province
e-mail: sirinaree.th@gmail.com

² Faculty of Agricultural Technology, Burapha University, Sakaeo Campus, Sakaeo Province
e-mail: prateep_o@buu.ac.th

*Corresponding author, e-mail: sirinaree.th@gmail.com

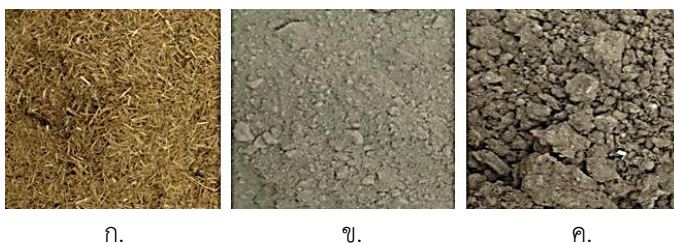
บทนำ

จังหวัดสระแก้วเป็นจังหวัดที่มีเกษตรกรปลูกอ้อยมากที่สุดในภาคตะวันออก โดยมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยสูงถึง 358,939 ไร่ ได้ผลผลิตเฉลี่ย 11.18 ตันต่อไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2557) ภาครัฐจึงส่งเสริมให้มีการจัดตั้งอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลขนาดใหญ่ในพื้นที่เพื่อดำเนินการผลิต จำหน่ายในประเทศทั้งยังส่งออกน้ำตาลเพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศ นับเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่สำคัญ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมย่อมก่อให้เกิดกากอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลที่มีกากอุตสาหกรรม ได้แก่ กากขานอ้อยปริมาณสูงมาก ข้อมูลวิทยุภูมิจบว่ากระบวนการผลิตน้ำตาลซึ่งใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบ 10 ตัน จะได้ขานอ้อยเป็นผลพลอยได้มีปริมาณสูงถึง 3 ตัน (Wirawan et al., 2011) อีกนัยหนึ่งคือ อัตราส่วนโดยมวลระหว่างกากขานอ้อยต่อต้นอ้อยประมาณ 30% (Bilba and Arsène, 2008) แม้จะใช้หลัก 3Rs เพื่อลดปริมาณกากขานอ้อย เช่น การนำกากขานอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554) ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อการผลิตอิฐ (Kazmi et al., 2016) วัสดุคอมโพสิต (Huang and Wang, 2017; Tian and Zhang, 2016) ผลิตภัณฑ์กระดาษ (Mulyantara et al., 2017; Petroudy et al., 2017) เส้นใยชีววัสดุ (Lam et al., 2017) และผสมกับวัสดุอื่นเพื่อใช้ปรับปรุงดิน (Dang et al., 2016) ซึ่งได้ผลดี แต่ก็ยังจำเป็นต้องแสวงหาแนวทางหรือสร้างทางเลือกเพื่อการใช้ประโยชน์กากขานอ้อยเพิ่มเติมต่อไป

คณะผู้วิจัยเห็นความสำคัญดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากขานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล (sugarcane bagasse; SB) ในจังหวัดสระแก้วมาใช้ประโยชน์โดยเลือกดำเนินการพัฒนากากขานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปลูก (growing material; growing media; growing medium; growing substrate) หรือ วัสดุที่ทำหน้าที่เสมือนดินที่ประกอบด้วยวัสดุชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกัน (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013) แต่ไม่ควรเกิน 3 ชนิด (วิทยา สุริยาภณานนท์ อ้างถึงใน ประภาพรณ กระจำรังษิต, 2557) เนื่องจากวัสดุปลูกมีข้อดีหลายประการ อาทิ ใช้เพาะปลูกพืชในบริเวณพื้นที่ที่ดินไม่ดี หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก ประหยัดเวลา แรงงาน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการเตรียมดิน และการกำจัดวัชพืช อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่เกิดจากดิน ทำให้สามารถปลูกพืชในพื้นที่เดียวกันได้ตลอดปี ถึงแม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกัน (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2552) วัสดุปลูกจึงเป็นทางเลือกเพื่อการเพาะปลูกพืชที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามด้วยคุณสมบัติทางกายภาพของกากขานอ้อยที่ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส 50% เฮมิเซลลูโลส 25% และลิกนิน 25% (Xu et al., 2010) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-34 ไมโครเมตร ยาว 0.8-2.8 มิลลิเมตร มีของแข็งที่ละลายน้ำได้เล็กน้อยเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Yadav et al., 2015) และมีความหนาแน่นต่ำ (Oladele, 2014). เพราะเส้นใยไม่ยึดเกาะกันไม่ว่าจะเปียกหรือแห้ง กากขานอ้อยเพียงชนิดเดียวจึงไม่เพียงพอสำหรับการนำไปเป็นวัสดุปลูก ต้องใช้กากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ มาพัฒนาร่วมด้วยจึงจะเป็นวัสดุปลูกที่เหมาะสม สอดคล้องกับการสำรวจข้อมูลซึ่งระบุว่า วัสดุปลูกเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งไม่สามารถตอบสนองความต้องการของพืชได้อย่างเพียงพอ จึงมักนำเอาเครื่องปลูกที่มีคุณสมบัติที่ดีด้านต่างๆ มารวมกัน การจะทำให้ต้นไม้ที่ปลูกมีการเจริญเติบโตได้นั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าเครื่องปลูกที่ต้องการนั้นใช้สำหรับปลูกพืชชนิดใด ซึ่งควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับพืช (เศรษฐมนตร์ กาญจนกุล, 2551) สำหรับการคัดสรรวัสดุชนิดอื่นๆ เพื่อใช้พัฒนาร่วมกับกากขานอ้อยนี้พิจารณาเลือกใช้กากอุตสาหกรรมที่ตรงตามข้อกำหนด ดังนี้ แหล่งของกากอุตสาหกรรมอยู่ในภาคตะวันออก ปริมาณมากและมีอย่างต่อเนื่อง วิธีการเก็บรักษาง่ายและเก็บไว้ได้นาน ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายเพื่อการจัดซื้อกากอุตสาหกรรม

จากข้อกำหนดดังกล่าวจึงได้เลือกกากอุตสาหกรรมเพื่อนำมาพัฒนาเป็นวัสดุปลูกร่วมกับกากขานอ้อย 2 ประเภท คือ กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคราฟท์ (biosludge from Kraft paper; BK) จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคราฟท์สำหรับผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกในจังหวัดปราจีนบุรี กำลังการผลิตกระดาษคราฟท์สำหรับบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกประมาณ 300,000 ตันต่อปี (ไทยเคนเปเปอร์, 2555) และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า (biosludge from power plant; BP) ที่ใช้ถ่านหินบิทูมินัส (bituminous coal) เป็นวัตถุดิบ จากโรงงานผลิตไฟฟ้าในจังหวัดระยองซึ่งมีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับ 1,434 เมกะวัตต์ (บีแอลซีพี เพาเวอร์, 2560) ข้อมูลกำลังการผลิตนี้สัมพันธ์กับปริมาณกากอุตสาหกรรม กล่าวคือ ปริมาณกากอุตสาหกรรมแปรผันตามกำลังการผลิต อีกทั้งสามารถประเมินปริมาณกากอุตสาหกรรมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยพิจารณาจากแนวโน้มของกำลังการผลิตในอุตสาหกรรมได้ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม อ้างถึงใน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.) จึงสามารถใช้บ่งชี้ได้ว่ากากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคราฟท์และการผลิตไฟฟ้านั้นมีปริมาณสูงมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเพราะอุตสาหกรรมทั้ง 2 ประเภทดังกล่าวมีแผนดำเนินการจะขยายกำลังการผลิตต่อไป นอกจากนี้กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวยังไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม สามารถนำมาฝังให้แห้งและเก็บไว้ใช้ได้โดยคุณสมบัติทางกายภาพไม่เปลี่ยนแปลงทั้งยังไม่มีต้นทุนจัดซื้ออีกด้วย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเลือกกากอุตสาหกรรม 3 ชนิด เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุปลูกร่วมกัน ได้แก่ กากขานอ้อย กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคราฟท์ และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า ลักษณะของกากอุตสาหกรรมดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของกากอุตสาหกรรม

- ก. กากขานอ้อย ข. กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า
ค. กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคราฟท์

อย่างไรก็ตามจากการสำรวจข้อมูลเอกสารที่ระบุว่า วัสดุปลูกที่ดีควรมีสัดส่วนของน้ำ อากาศ และธาตุอาหารที่เหมาะสม (Handreck and Black, 2005) ผนวกกับองค์ประกอบของดินในอุดมคติที่ประกอบด้วยน้ำ 25% อากาศ 25% อินทรีย์วัตถุ 45% และอินทรีย์วัตถุ 5% (อรรถ สมร่าง และคณะ, 2548) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของกากอุตสาหกรรมที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นวัสดุปลูกแล้วจึงกำหนดให้กากขานอ้อยเป็นเสมือนองค์ประกอบที่สร้างช่องว่างสำหรับน้ำและอากาศในดินซึ่งเทียบสัดส่วนแล้วเท่ากับ 50% ของดินในอุดมคติ และกำหนดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบจากอัตราส่วนของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันให้แตกต่างกันออกไปเป็น 6 อัตราส่วนเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบจาก

คุณสมบัติของวัสดุปลูกและผลการเจริญเติบโตของพืชในแปลงทดลองหรือวิธีการทดสอบทางชีวภาพ (biological test) โดยในส่วนการวิเคราะห์ผลการเจริญเติบโตของพืชนี้ดำเนินการขึ้นจากการอ้างอิงข้อมูลที่ว่า ธาตุอาหารเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ ความชื้น ชนิดและปริมาณของก๊าซในบรรยากาศ รวมถึงโรคแมลงและสมบัติต่างๆ ของดิน (ทองศักดิ์ ประไพ, ม.ป.ป.) จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้พืชทดสอบคุณสมบัติที่เหมาะสมของวัสดุปลูก ในส่วนของงานวิจัยนี้เลือกใช้พริกชี้หนู (*Capsicum frutescens* Linn.) เนื่องจากเป็นพืชชนิดหนึ่งที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชได้ (ฐิติพร เต็มสังข์, 2554) อีกทั้งพริกชี้หนูยังเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต (ศัสยมน นิสิตพัตรพงศ์ และคณะ, 2557) กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ หากวัสดุปลูกมี N และ K มาก จะส่งผลให้ต้นพริกชี้หนูเจริญเติบโตได้ดี จึงเหมาะสมต่อการนำไปประเมินความเหมาะสมของวัสดุปลูกอย่างยิ่ง

พริกชี้หนูยังเป็นพริกสายพันธุ์ที่นิยมปลูกกันในประเทศไทย กล่าวคือ เกษตรกรผู้ปลูกพริกจะปลูกพริกชี้หนูประมาณ 60% ของการปลูกพริกทั้งหมด (Milerue et al., 2016) เนื่องจากคนไทยนิยมให้พริกชี้หนูเพื่อเพิ่มสีสันและเติมแต่งรสชาติอาหารพบว่าในแต่ละวันคนไทยจะบริโภคพริกชี้หนูประมาณ 5 กรัมต่อคน (Nathakaranakule et al., 2006) นอกจากนี้พริกยังมีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมแปรรูป และที่สำคัญพริกเป็นพืชส่งออกสำคัญนำเงินเข้าประเทศได้ปีละหลายล้านบาทอีกด้วย (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาวัสดุปลูกจากกากขานอ้อย และตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมวัสดุปลูก

นำกากอุตสาหกรรม 3 ชนิด ได้แก่ กากขานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล (SB) กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคราฟท์ (BK) และอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า (BP) ดังภาพที่ 1 มาผึ่งให้แห้งในที่ร่มซึ่งมีอากาศถ่ายเท แล้วนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนระหว่าง SB:BK:BP เท่ากับ 50:50:00 50:40:10 50:30:20 50:20:30 50:10:40 และ 50:00:50 จากนั้นบรรจุวัสดุปลูกในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 4.5 นิ้ว ปริมาณเท่ากันโดยใส่วัสดุปลูกให้ห่างจากขอบบนของกระถางประมาณ 2 เซนติเมตร

2. เพาะกล้าและย้ายปลูกต้นพริก

แช่เมล็ดพริกในน้ำ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะในถาดเพาะที่ใส่ดินปลูกโดยฝังเมล็ดพริกลึกลงไป 0.5 เซนติเมตรทุกเมล็ด รดน้ำ 10 มิลลิลิตรทุกวัน เมื่อต้นกล้าอายุได้ 15 วันจึงย้ายไปปลูกในกระถางที่บรรจุวัสดุปลูกที่เตรียมไว้ในข้อ 1. กำหนดแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) มี 7 ทรีทเมนต์ ประกอบด้วยทรีทเมนต์วัสดุปลูกแต่ละอัตราส่วน และทรีทเมนต์ควบคุมซึ่งเป็นดินร่วน แต่ละทรีทเมนต์มี 6 ซ้ำ (กระถาง) แต่ละกระถางละมี 1 ต้น หลังปลูกตั้งกระถางบนจานรองกระถาง ไว้ในโรงเรือนที่มีหลังคา กันฝนภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน รดน้ำให้ต้นพริก 300 มิลลิลิตรต่อวันซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ผ่านการทดสอบแล้วว่าไม่ทำให้หน้าดินจากจานรองกระถาง

3. วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุปลูก

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูก ดังนี้

3.1 สีของวัสดุปลูก เทียบสีของวัสดุปลูกด้วย munsell soil color book (2012)

3.2 ค่าความหนาแน่นรวม บรรจุวัสดุปลูกในกระป๋องอะลูมิเนียมให้เต็ม ปาดให้วัสดุปลูกเรียบ เสมขอบกระป๋องแล้วปิดฝา นำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (°C) 15 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักอีกครั้งแล้วคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม จากสูตร (ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{ปริมาตรกระป๋องโลหะ}}$$

3.3 ความพรุน (%) นำวัสดุปลูกใส่ลงในภาตหลุมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร มีระบายน้ำเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดออกมาให้มีขนาดเท่ากัน ปิดระบายน้ำด้วยเทปใสแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นเทน้ำที่ทราบปริมาตรลงไปจนวัสดุปลูกอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณค่าความพรุน จากสมการ (ชิดชนก โชติกปฐิพัทธ์, 2557)

$$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเทน้ำ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเทน้ำ}) \times 100}{\text{ปริมาตรของภาตหลุม}}$$

3.4 ช่องว่างขนาดใหญ่ (%) ปลอ่ยให้น้ำระบายออกมาจากภาชนะในข้อ 3.3 จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณ % ช่องว่างขนาดใหญ่ (ธารทิพย์ สุธรรม, 2553)

$$\text{ช่องว่างขนาดใหญ่ (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเทน้ำ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังระบายน้ำออก}) \times 100}{\text{ปริมาตรของภาตหลุม}}$$

3.5 ช่องว่างขนาดเล็ก (%) ปริมาณน้ำที่ไม่ได้ระบายออกจะแสดงถึงปริมาณของช่องว่าง ขนาดเล็กที่เก็บน้ำไว้ได้ คำนวณ %ช่องว่างขนาดเล็ก (ธารทิพย์ สุธรรม, 2553)

$$\text{ช่องว่างขนาดเล็ก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังระบายน้ำออก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเทน้ำ}) \times 100}{\text{ปริมาตรของภาตหลุม}}$$

3.6 วิเคราะห์ความเป็นปุ๋ย ได้แก่ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ยูเรีย-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ด้วยชุดตรวจสอบปุ๋ย มก.5

3.7 วิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในวัสดุปลูก ด้วยชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในดิน

3.8 วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ด้วยชุดตรวจสอบ กรด-ด่างในดิน

4. วิเคราะห์ผลการเจริญเติบโตของต้นพริกในวัสดุปลูก

บันทึกการเจริญเติบโตของต้นพริกหลังการย้ายปลูกทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (สวสดี พิมพสุวรรณ, 2555) โดยเก็บบันทึกข้อมูลในด้านต่างๆ ดังนี้

4.1 ความสูง วัดความสูงระหว่างการเจริญเติบโตด้วยไม้บรรทัดจากโคนถึงยอดต้นพริก และวัดความสูงเมื่อเสร็จสิ้นการปลูกจากรากถึงยอดของต้นพริก

4.2 ผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักพริกสดทั้งต้นโดยการเก็บผลผลิตแล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง และน้ำหนักแห้งต่อต้นโดยการเก็บผลผลิตที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง

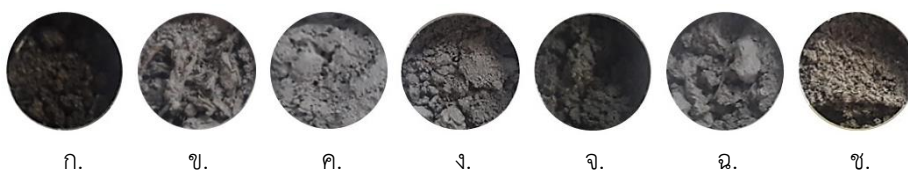
5. การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย นำผลที่ได้จากข้อ 3.-4. มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ อภิปรายและสรุปผล

6. สถานที่และระยะเวลาการทดลอง เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงเรียนมหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. คุณสมบัติทางกายภาพ

การเทียบสีของวัสดุปลูกด้วย munsell soil color book (2012) พบว่าดินปลูกมีสีใกล้เคียงกับสี black (5Y 2.5/2) ส่วนวัสดุปลูกในอัตราส่วนระหว่าง SB:BK:BP ที่แตกต่างกันจะพบว่าวัสดุปลูกในอัตราส่วน 50:40:10 50:30:20 50:10:40 และ 50:50:00 มีสีใกล้เคียงกับสี black (5Y 2.5/1) gray (5Y 6/1) light gray (5Y 7/1) และ pale yellow (5Y 7/3) ตามลำดับ ส่วนวัสดุปลูกในอัตราส่วน 50:20:30 และ 50:00:50 มีสีใกล้เคียงกับสี gray (5Y 5/1) ดังภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสีของวัสดุปลูกส่วนใหญ่มีโทนสีเทา ยกเว้นวัสดุปลูกอัตราส่วน 50:50:00 จะมีสีโทนเหลือง สีปรากฏ (Apparent color) ของวัสดุปลูกไม่อาจบ่งชี้ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปลูกได้ แต่สีดังกล่าวสัมพันธ์กับวัตถุดิบของโรงงานอุตสาหกรรม กล่าวคือ ตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินจะมีโทนสีเทา ส่วนตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตกระดาษที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบจะมีโทนสีน้ำตาลแกมเหลือง



ภาพที่ 2 สีของดินและวัสดุปลูก

ก. ดินปลูก ข. SB:BK:BP เท่ากับ 50:20:30 ค. SB:BK:BP เท่ากับ 50:10:40 ง. SB:BK:BP เท่ากับ 50:00:50
จ. SB:BK:BP เท่ากับ 50:40:10 ฉ. SB:BK:BP เท่ากับ 50:30:20 ข. SB:BK:BP เท่ากับ 50:50:00

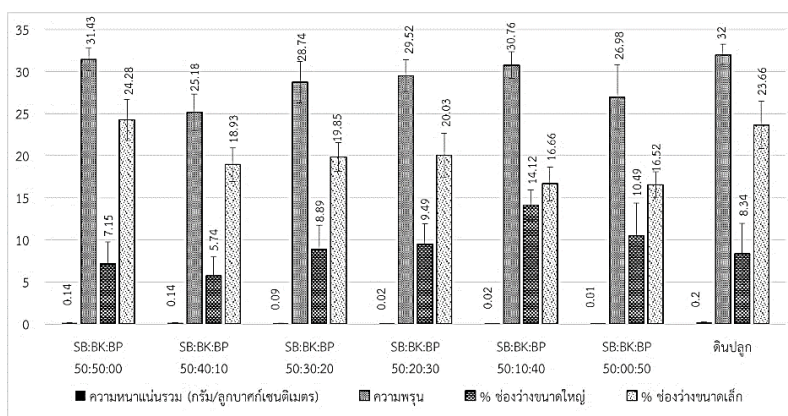
ผลวิเคราะห์ช่องว่างขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ความหนาแน่นตลอดจนความพรุนของวัสดุปลูกแต่ละอัตราส่วน ดังภาพที่ 3 บ่งชี้ว่าวัสดุปลูกแต่ละอัตราส่วนให้ผลของค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กล่าวคือ ช่องว่างขนาดใหญ่ของวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง SB:BK:BP เท่ากับ 50:10:40 50:00:50

และ 50:20:30 มีจำนวนมากกว่าดินปลูก การเพิ่มปริมาณกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมกระดาษ คราฟท์เป็นวัสดุปลูกอัตราส่วน 50:30:20 จะส่งผลให้ช่องว่างขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับดินปลูก ส่วนวัสดุปลูกอัตราส่วนอื่นๆ นั้นมีช่องว่างขนาดใหญ่น้อยกว่าดินปลูกทั้งสิ้น

ช่องว่างขนาดใหญ่ยังสัมพันธ์กับช่องว่างขนาดเล็ก จากผลวิเคราะห์วัสดุปลูกแต่ละอัตราส่วน พบว่าวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง SB:BK:BP เท่ากับ 50:40:10 เท่านั้นที่ช่องว่างขนาดใหญ่และเล็กมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกันเล็กน้อย (r 0.08) อัตราส่วนนอกเหนือจากนี้ต่างมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน (r -0.24 ถึง -0.87) ซึ่งเมื่อประมวลผลการวิเคราะห์จากวัสดุปลูกทุกอัตราส่วน พบว่าในวัสดุปลูกนั้น ช่องว่างขนาดเล็กจะมีค่าผกผันกับช่องว่างขนาดใหญ่ (r -0.55) เป็นแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างขนาดใหญ่และเล็กในดินปลูก (r -0.95)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างช่องว่างขนาดใหญ่และขนาดเล็กที่ข้อมูลจากงานวิจัยระบุว่าควรใกล้เคียงกันจึงจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีที่สุด (บุญแสน เตียนบุญธรรม, 2548) พบว่าวัสดุปลูกเพียงอัตราส่วนเดียว คือ SB:BK:BP เท่ากับ 50:10:40 เท่านั้นที่มีแนวโน้มดังกล่าว

เมื่อวิเคราะห์ความพรุนและความหนาแน่น พบว่าเมื่อความพรุนเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะลดลง (r -0.13) และความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกสัมพันธ์กับปริมาณกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระดาษ เมื่อเพิ่มปริมาณของกากตะกอนดังกล่าว ความหนาแน่นรวมจะลดลงและมีค่าแตกต่างจากดินปลูกมากขึ้น



ภาพที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก

2. คุณสมบัติทางเคมี

สำหรับผลคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกนั้น ให้ผลดังตารางที่ 1 ซึ่งระบุค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่า pH เป็น 10 ระดับ พบว่ากากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภทมีค่า pH แตกต่างกันโดยกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระดาษมีค่า pH สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกากอุตสาหกรรมอีก 2 ประเภท เนื่องจากกระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์นั้นมีบางขั้นตอนที่ต้องใช้สารเคมีที่มี pH สูงหรือเป็นด่างเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระดาษคราฟท์ให้ดีขึ้น วัสดุปลูกที่ใช้กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระดาษคราฟท์มากจึงมีแนวโน้มว่าค่า pH จะสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 1 Descriptive terms commonly associated with certain ranges in soil pH

Ranges in soil pH	Descriptive terms of soil
> 9.1	very strongly alkaline
8.5-9.0	strongly alkaline
7.9-8.4	moderately alkaline
7.4-7.8	slightly alkaline
6.6-7.3	neutral
6.1-6.5	slightly acid
5.6-6.0	moderately acid
5.1-5.5	strongly acid
pH 4.5-5.0	Very strongly acid
< 4.5	Extremely acid

ที่มา: State University of New York College of Environmental Science and Forestry, 2017

วัสดุปลูกที่ดีควรมีธาตุอาหารหลักชนิดที่สำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) เทียบเท่ากับดินจึงจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ข้อมูลจากการสำรวจเอกสารระบุควมมีธาตุอาหารดังกล่าว ได้แก่ N 1-6%, P 0.2-0.5% และ K 1.5-4% (Mills and Jones อ้างถึงใน Werner, 2010) และอินทรีย์วัตถุประมาณ 3-6% (Cornell University, 2008) ซึ่งมีที่มาจากวัสดุที่นำมาใช้หรือการเสริมธาตุอาหารภายหลังก็ได้ งานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ค่าดังกล่าวด้วย แสดงผลว่าวัสดุปลูกทุกอัตราส่วนมีแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+) ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^-) ยูเรีย-ไนโตรเจน และโพแทสเซียม (P_2O_5) อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก แต่มีฟอสฟอรัส (K_2O) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงซึ่งสัมพันธ์กับกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคราฟท์ กล่าวคือ วัสดุปลูกที่มีกากตะกอนดังกล่าวเป็นองค์ประกอบจะเป็นผลให้ระดับโพแทสเซียมในวัสดุปลูกสูง

สำหรับอินทรีย์วัตถุนั้น แม้ข้อมูลจากเอกสารวิชาการระบุว่าดินที่มีอินทรีย์สารมากมักเป็นดินที่มีสีเข้ม เนื่องจากสารเคมีที่เคลือบอยู่ที่อนุภาคของดิน ปริมาณความชื้นและปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, ม.ป.ป.) แต่ข้อเท็จจริงดังกล่าวไม่สอดคล้องกับสีของกากอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กล่าวคือ กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษไฟฟ้าซึ่งมีอินทรีย์วัตถุมากกว่ากากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ มิได้มีสีดำหรือน้ำตาลเข้มแต่มีสีเทา ซึ่งเมื่อนำไปผสมเป็นวัสดุปลูกก็ส่งผลให้อินทรีย์วัตถุในวัสดุปลูกเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของกากอุตสาหกรรมและวัสดุปลูก

ประเภทของวัสดุ		คุณสมบัติทางเคมี						อินทรีย์วัตถุ
		pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Urea	P ₂ O ₅	K ₂ O	
วัสดุปลูก	50:50:00	7.85 (ด่างอ่อน)	ต่ำมาก	ต่ำมาก	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	1.1-1.59% (ต่ำ)
	50:40:10	7.83 (ด่างอ่อน)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	1.1-1.59% (ต่ำ)
	50:30:20	7.41 (ด่างอ่อน)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	1.1-1.59% (ต่ำ)
	SB:BK:BP 50:20:30	7.41 (ด่างอ่อน)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	1.6-2.54% (ปานกลาง)
	50:10:40	7.51 (ด่างอ่อน)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	1.6-2.54% (ปานกลาง)
ดินปลูก	50:00:50	7.50 (ด่างอ่อน)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	2.55-3.49% (ปานกลาง)
		7.11 (กลาง)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	2.55-3.49% (ปานกลาง)
	SB	6.50 (กรดอ่อน)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	1.1-1.59% (ต่ำ)
	BK	8.11 (ด่าง)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	สูง	0.6-1.09% (ต่ำ)
	BP	7.07 (กลาง)	ต่ำมาก	ต่ำ	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	2.55-3.49% (ปานกลาง)

นอกจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีข้างต้น งานวิจัยได้ทดสอบความเหมาะสมของวัสดุปลูกด้วยการประเมินผลการเจริญเติบโตของต้นพริก ได้แก่ % การรอดชีวิต ความสูงของต้นพริก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นพริก ให้ผลดังตารางที่ 3 พบว่าต้นพริกที่ปลูกในดินปลูกมีอัตราการรอดชีวิต 83.33% หรือรอดชีวิต 5 ต้นจากการปลูกซ้ำ 6 ต้น เนื่องจากเกิดโรคน้ำค้ำและใบร่วงเนื่องจากในช่วงเดือนเมษายนมีพายุฤดูร้อน ทำให้ฝนตกหนัก ความชื้นในบรรยากาศชื้นแฉะอย่างรวดเร็วเป็นสูงมากทำให้ต้นพริก 1 ต้นมีอาการดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลเอกสารว่า ราน้ำค้ำจะระบาดและทำความเสียหายให้กับพืชได้ดีในขณะที่มีความชื้นสูงถึงจุดอิ่มตัว เช่น ในช่วงที่มีฝนตกบ่อย เมฆหมอกน้ำค้ำแรง (ไทยเกษตรศาสตร์, 2556) สำหรับในกลุ่มของวัสดุปลูกพบว่าพริกที่ปลูกในวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง SB:BK:BP เท่ากับ 50:10:40 ให้ผลดีที่สุด คือ พริกอดชีวิตทุกต้นเทียบเท่ากับ 100% ของจำนวนต้นที่ปลูกทั้งหมด

ตารางที่ 3 ผลการเจริญเติบโตของต้นพริกในวัสดุปลูก

ประเภทของวัสดุ		ผลการเจริญเติบโตของต้นพริก				
		จำนวนต้นที่รอดชีวิตจาก 6 ซ้ำ (ต้น)	อัตราการรอดชีวิต (%)	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
วัสดุปลูก	50:50:00	0	00.00	0	0	0
	50:40:10	0	00.00	0	0	0
	50:30:20	1	16.67	13.90	0.14	0.02
	SB:BK:BP 50:20:30	5	83.33	3.58±0.27 ^a	0.29±0.06 ^{ab}	0.04±0.01 ^{ab}
	50:10:40	6	100.00	15.07±3.23 ^c	0.40±0.05 ^b	0.06±0.01 ^b
ดินปลูก	50:00:50	5	83.33	7.32±0.81 ^b	0.10±0.02 ^a	0.02±0.00 ^a
		5	83.33	25.46±2.39 ^d	2.09±0.35 ^c	0.20±0.04 ^c
F-Test				*	*	*

หมายเหตุ : 1/ ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบกับวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT), *: แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หลังปลูกต้นพริกเป็นระยะเวลา 3 เดือนแล้วเปรียบเทียบผลผลิตต้นพริกทั้งต้น พบว่าดินปลูกให้ผลที่ดีกว่า วัสดุปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ผลผลิตต้นพริกที่ปลูกในวัสดุปลูก ข้อมูลบ่งชี้ว่าวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง SB:BK:BP เท่ากับ 50:50:00 50:40:10 และ 50:30:20 มีอัตราการรอดชีวิตของต้นพริกต่ำมากหรือไม่เกินกึ่งหนึ่งของจำนวนต้นพริกจึงไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นวัสดุปลูก เมื่อวิเคราะห์ความต่างระหว่างกลุ่มของวัสดุปลูกที่มีต้นพริกที่มีอัตราการรอดชีวิตเกิน 50% พบว่าวัสดุปลูกอัตราส่วน 50:10:40 ให้ผลการปลูกดีที่สุด โดยมีลักษณะของต้นพริกแสดงได้ดังภาพที่ 4 ซึ่งเป็นภาพของต้นพริกในวัสดุปลูกเฉพาะอัตราส่วนที่พริกรอดชีวิตและพริกที่ปลูกในดินร่วน



ภาพที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของต้นพริกในวัสดุปลูก

ก. SB:BK:BP เท่ากับ 50:00:50 ข. SB:BK:BP เท่ากับ 50:30:20 ค. SB:BK:BP เท่ากับ 50:20:30
ง. SB:BK:BP เท่ากับ 50:10:40 จ. ดินปลูก

สรุป

กากอุตสาหกรรม ได้แก่ กากขานอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาล (SB) กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ (BK) และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า (BP) สามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุปลูกเพื่อการปลูกพืชได้ เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง SB:BK:BP เท่ากับ 50:10:40 เนื่องจากวัสดุปลูกอัตราส่วนนี้ มีความหนาแน่นต่ำ ความพรุนสูง มีสัดส่วนของช่องว่างขนาดใหญ่ และขนาดเล็กใกล้เคียงกันมากที่สุด มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง และมีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

1. ทดสอบปลูกพืชชนิดอื่นเพื่อศึกษาการประเมินการเจริญเติบโตของพืชในวัสดุปลูกเพิ่มเติม
2. ใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีที่สามารถวิเคราะห์ผลด้วยความละเอียดสูงเพื่อให้สามารถรายงานผลความเป็นปุ๋ยเป็นข้อมูลตัวเลขได้ หากต้องปรับปรุงความเป็นปุ๋ยเพื่อเพิ่มคุณภาพของวัสดุปลูกให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ จักได้ดำเนินการได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำ
3. ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูกจากกากอุตสาหกรรมด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทไทยเคนเปเปอร์ จำกัด และบริษัทบีแอลซีพี เพาเวอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งขอขอบคุณบริษัทน้ำตาลและอ้อยตะวันออก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากชานอ้อย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (ม.ป.ป.). โครงการจัดทำฐานข้อมูลเอกลักษณ์ของกากอุตสาหกรรม (Waste Fingerprint), 11 เมษายน 2560. <http://eis.diw.go.th/wasteFP/aboutUs.aspx>
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2554). คู่มือ 3Rs กับการจัดการของเสียภายในโรงงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (ม.ป.ป.). ทางเลือกอาชีพด้านพืช, 12 เมษายน 2560. <http://esc.agritech.doae.go.th/ebooks/download-pdf/Plant%20career%20choice.pdf>
- รุติพร เต็มสังข์. (2554). ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าพริกและมะเขือเทศ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ชิดชนก โชติกปฏิพัทธ์. (2557). การใช้แทนแดงเป็นวัสดุเพาะเมล็ดและวัสดุปลูกดาวเรือง (รายงานผลการวิจัย). นครปฐม: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ไทยเคนเปเปอร์. (2555). ภาพรวมของบริษัท: Overview, 11 เมษายน 2560. http://www.thaicane.com/test/index.php?option=com_content&task=view&id=162&Itemid=&lang=thai
- ทงศักดิ์ ประระไทย. (ม.ป.ป.). ความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารพืชกับดิน, 12 เมษายน 2560. http://r07.1dd.go.th/Web/15_KM/S2.pdf
- ไทยเกษตรศาสตร์. (2556). โรคของพริก, 12 เมษายน 2560. <http://www.thaikasetsart.com..E0%B8%81/>
- ธารทิพย์ สุธรรม. (2553). ผลของวัสดุปลูกจากเปลือกมะพร้าวขนาดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและออกดอกของแพงพวย. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- บีแอลซีพี เพาเวอร์. (2560). บีแอลซีพี เพาเวอร์: เกี่ยวกับเรา, 11 เมษายน 2560. <http://www2.blcp.co.th/th/aboutus/>
- บุญแสน เตียนกุลธรรม. (2548). ปฐพีวิทยา, 9 เมษายน 2560. <http://elearning.nsruc.ac.th>
- ประภาพรณ กระจ่างลิขิต. (2557). การศึกษาอิทธิพลของวัสดุปลูกและระดับความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของแพงพวยเลื่อย. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ปิยะนุช ม่วงทอง. (2557). อิทธิพลของวัสดุปลูกโซลัน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์, 11 เมษายน 2560. <http://repository.rmutr.ac.th/bitstream/handle/123456789/64/Fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- มุกดา สุขสวัสดิ์. (2547). วัสดุปลูกไม้ดอกไม้ประดับ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์บ้านและสวน.

- ศัสยมน นิเทศพัตรพงศ์ อำไพ ประเสริฐสุข และนันทนา โพธิ์สุข. (2557). ปฏิสัมพันธ์ของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกชี้ใหญ่ในจังหวัดกาญจนบุรี, 12 เมษายน 2560. <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2422>
- เศรษฐมนันต์ กาญจนกุล. (2551). ร้อยพรรณพฤกษา รอบรู้เรื่องเครื่องปลูก. กรุงเทพมหานคร: เศรษฐศิลป์.
- สวัสดิ์ พิมพ์สุวรรณ. (2555). ผลของวัสดุปลูกชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกบหอยแครง (*Dinoaeamuscipula*), 12 เมษายน 2560. <http://www.agr.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2014/05/thesis/55/dinoaeamuscipula.pdf>
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2557). รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2556/57. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย.
- สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน. (ม.ป.ป.). ความรู้เรื่องดินสำหรับเยาวชน, 10 เมษายน 2560. <http://oss101.ddd.go.th>
- อรรถ สมร่าง ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์ พงศ์ธร เพียรพิทักษ์ และบุศรินทร์ แสงวลาภ. (2548). ดินเพื่อประชาชน. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. (2552). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน, 12 เมษายน 2560. <http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=supat&month=22-02-2009&group=1&gblog=4>
- Bilba, K. and Arsène, M. (2008). Silane treatment of bagasse fibre for reinforcement of cementitious composites. *Composites part a: Applied science and manufacturing*, 39(9), 1488-1495.
- Cornell University. (2008). Soil organic matter, April 9th, 2017. <http://franklin.cce.cornell.edu/resources/soil-organic-matter-fact-sheet>
- Dang, L.C., Fatahi, B. and Khabbaz, H. (2016). Behaviour of expansive soils stabilized with hydrated lime and bagasse fibres. *Procedia engineering*, 143(2016), 658-665.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for mediterranean climate areas, April 10th, 2017. https://www.researchgate.net/publication/255700709_Growing_Media
- Oladele, I.O. (2014). Effect of bagasse fibre reinforcement on the mechanical properties of polyester composites. *The journal of the association of professional engineers of trinidad and tobago*, 42(1), 525-549.
- Handreck, K. and Black, N. (2005). Growing media for ornamental plants and turf. Australia: University of New South Wales Press.
- Huang, G. and Wang, P. (2017). Effects of preparation conditions on properties of rigid polyurethane foam composites based on liquefied bagasse and jute fibre. Polymer testing, In Press, Accepted manuscript (Available online April 6th, 2017).
- Lam, N.T., Chollakup, R., Smitthipong, W., Nimchua, T. and Sukyai, P. (2017). Utilizing cellulose from sugarcane bagasse mixed with poly (vinyl alcohol) for tissue engineering scaffold fabrication. *Industrial crops and products*, 100(2017), 183-197.

- Milerue, N., Chunwongse, J., Struss, S. and Wasee, S. (2016). Variation of small erect-fruited chili in Thailand. *Agriculture and natural resources*, 50(2016), 43-47.
- Mulyantara, L.T., Harsono, H., Maryana, R., Jin, G., Das, A.K. and Ohi, H. (2017). Properties of thermomechanical pulps derived from sugarcane bagasse and oil palm empty fruit bunches. *Industrial crops and products*, 98 (2017), 139-145.
- Nathakaranakule, S., Rakwichian, W. Dandamrongrak, R., and Thepa, S. (2006). Equilibrium moisture content of thai red chillies. *International journal of renewable energy*, 1(2), 23-29.
- State university of new york college of environmental science and forestry. (2017). Soil pH: What it means, April 11, 2017. <http://www.esf.edu/pubprog/brochure/soilph/.htm>
- Tian, H. and Zhang, Y.X. (2016). The influence of bagasse fibre and fly ash on the long-term properties of green cementitious composites. *Construction and building materials*, 111 (2016), 237-250.
- Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J. and Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and building materials*, 120(1 sep 2016), 29-41.
- Petroudy, S.R.D., Garmaroody, E.R. and Rudi, H. (2017). Oriented cellulose nanopaper (OCNP) based on bagasse cellulose nanofibrils. *Carbohydrate polymer*, 157(2017), 1883-1891.
- Wirawan, R., Sapuan, S.M., Yunus, R. and Abdan, K. (2011). Properties of sugarcane bagasse/poly(vinyl chloride) composites after various treatments. *Journal of composite materials*, 45(16), 1667-1674.
- Werner, L.P. (2010). Tree nutrition and fertilization: Practical considerations, April 9th, 2017. <http://www.isa-arbor.com/myAccount/myEducation/resources/CEU-June10.pdf>
- Xu, Y., Wu, Q., Lei, Y. and Yao, F. (2010). Creep behaviour of bagasse fibre reinforced polymer composites. *Bioresource technology*, 101(9), 3280-3286.
- Yadav, S., Gupta, G., Bhatnagar, R. (2015). A review on composition and properties of bagasse fibers. *International Journal of scientific and engineering research*, 6(5), 143-148.