บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาศักยภาพด้านธาตุอาหารสำหรับพืช สมบัติทางกายภาพและเคมี ของกากอินทรีย์อุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แปรรูปสัตว์น้ำ และน้ำมันปาล์ม เพื่อประเมินระดับความเข้มข้นและความแปรปรวนของปริมาณธาตุอาหารสำหรับพืชที่มีอยู่ในกากอินทรีย์ และทำการเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนาม โดยประเมินศักยภาพการใช้วัสดุปลูกกับหญ้าสนามพันธุ์นวลน้อย (*Agrostis matrella* L.) ญี่ปุ่น (*Zoysia japonica*) และมาเลเซีย (*Axnopus compuuressus* P.) พร้อมทั้งศึกษาปริมาณด้านธาตุอาหารพืช สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูกที่เตรียมขึ้น และทำการประเมินความคุ้มทุน เพื่อให้เกษตรกรหรือผู้สนใจได้รับข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการวางแผนในการนำกากอินทรีย์ไปใช้ จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากอินทรีย์อุตสาหกรรม

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากอินทรีย์แต่ละประเภทคือ กากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น กากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำ กากดีแคนเตอร์ หรือ เค้กจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ สถานะและสีของกากอินทรีย์ ค่าปริมาณความชื้น ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ปริมาณเถ้า สภาพความเป็นกรด เบส และค่าการนำไฟฟ้า โดยทำการศึกษาในช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2549 โดยมีรายละเอียดของตัวอย่างกากอินทรีย์แต่ละประเภทดังนี้

กากขี้แป้ง เก็บตัวอย่างจากโรงงานน้ำยางข้น 3 โรงงาน ในเขตพื้นที่ต่างกัน ได้แก่ โรงงานในเขตจังหวัดปัตตานี เป็นโรงงานประเภทการผลิตน้ำยางข้น และยางแผ่น โรงงานในเขตจังหวัดสงขลา เป็นโรงงานประเภทการผลิตน้ำยางข้น สกิมบล็อก ยางแท่ง STR 5L และ STR 20 ส่วนในเขตจังหวัดพัทลุง เป็นโรงงานประเภทการผลิตน้ำยางข้น และยางแท่ง STR 10, 20 วัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานน้ำยางข้นในเขตจังหวัดปัตตานี สงขลา และพัทลุง มีปริมาณ 50, 40 และ 16 ถึง 20 ตันต่อวัน ตามลำดับ จากการศึกษา กากขี้แป้งเกิดจาก 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ถังพักน้ำยาง และจากกระบวนการปั่นน้ำยาง แต่ในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บตัวอย่าง ในส่วนของหัวปั่นเหวี่ยงน้ำยางข้น เก็บภายในระยะเวลา 24 ถึง 48 ชั่วโมง เก็บส่วนที่เป็นตะกอนค้างอยู่ที่หัวปั่นเหวี่ยง ปริมาณที่เก็บได้คิดเป็นร้อยละ 1.00 ของน้ำยางสด 1000 กิโลกรัม

กากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ เก็บตัวอย่างจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน คือ ในเขตจังหวัดปัตตานี กากตะกอนเกิดจากระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge system) ในเขตจังหวัดสงขลา กากตะกอนเกิดจากระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบตะกอนเร่งเช่นเดียวกับจังหวัดปัตตานี และในเขตจังหวัดสุราษฎร์ธานี กากตะกอนเกิดจากระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบตะกอนเร่ง (แบบไร้อากาศ) จากการเก็บกากตะกอนที่อยู่ในบ่อเก็บกากตะกอนของโรงงาน กากตะกอนส่วนใหญ่ทางโรงงานกำจัดโดยนำไปฝังกลบ และตะกอนที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.10 ของวัตถุดิบ 1000 กิโลกรัม วัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำในเขตจังหวัดปัตตานี สงขลา และสุราษฎร์ธานี มีปริมาณ 20, 200 และ 20 ตันต่อวัน ตามลำดับ

กากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก เก็บตัวอย่างจากโรงงานน้ำมันปาล์มจำนวน 3 โรงงาน คือ ในเขตจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี และตรัง กากดีแคนเตอร์จากทั้ง 3 โรงงานเกิดจากกระบวนการหีบร้อน องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากดีแคนเตอร์เป็นดินที่ติดมากับทะลายปาล์มร่วมกับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่ได้จากการสกัดน้ำมันส่วนเปลือกปาล์มด้วยเครื่องแยกน้ำมัน(Decanter) สลัดจ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า กากดีแคนเตอร์หรือเค้ก จากการศึกษา กากดีแคนเตอร์ส่วนใหญ่ทางโรงงานกำจัดโดยนำไปฝังกลบ และนำไปทำเป็นปุ๋ยในสวนปาล์ม การเกิดกากดีแคนเตอร์ร่วมกับกะลาปาล์มและเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 50 ของวัตถุดิบ และคิดเป็นกากดีแคนเตอร์ อยู่ในช่วงร้อยละ 2 ถึง 4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของแต่ละโรงงานและวัตถุดิบ

4.1.1 สมบัติทางกายภาพของกากอินทรีย์อุตสาหกรรม

กากตะกอนอินทรีย์แต่ละประเภทอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นกากของแข็ง โดยกากขี้แป้งมีสถานะเป็นของแข็งสีขาวถึงเทา ที่จับตัวเป็นก้อนเนื้อละเอียดจะมีลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดเล็กละเอียดปนกันอยู่มีความร่วนซุยเมื่อจับ สำหรับกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำลักษณะคล้ายกับดินทั่วไปสถานะเป็นของแข็ง ตะกอนมีสีดำ ส่วนกากดีแคนเตอร์มีลักษณะที่คล้ายกับดินมีอนุภาคละเอียด มีสีน้ำตาลเข้ม ดังตาราง ที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของกากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แปรรูปสัตว์น้ำ และปาล์มน้ำมัน

ประเภทกากอินทรีย์	โรงงานที่ 1	โรงงานที่ 2	โรงงานที่ 3
กากขี้แป้ง	ปัตตานี	สงขลา	พัทลุง
กากแปรรูปสัตว์น้ำ	ปัตตานี	สงขลา	สุราษฎร์ธานี
กากดีแคนเตอร์หรือเค้ก	สุราษฎร์ธานี	กระบี่	ตรัง

4.1.1.1 ปริมาณความชื้น

จากการศึกษาปริมาณความชื้นของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 62.19 - 64.23 เฉลี่ย 62.99 ± 1.08 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียกในขณะที่ปริมาณความชื้นของกากตะกอนอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 73.33 - 78.87 เฉลี่ย 76.31 ± 2.79 กรัมต่อกรัมน้ำ หนักเปียก สำหรับปริมาณความชื้นของกากดีแคนเตอร์จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันจำนวน 3 โรงงาน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 78.23 - 81.13 เฉลี่ย 79.79 ± 1.46 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกากอินทรีย์ทั้ง 3 ประเภท พบว่าค่าปริมาณความชื้นมีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.1.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในช่วง 35.73 - 36.82 เฉลี่ย 36.11 ± 0.60 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก กากตะกอนจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในช่วง 6.58 - 37.80 ค่าเฉลี่ย 21.46 ±15.66 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนกากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในช่วง 18.86 - 21.11 เฉลี่ย 20.00 ± 1.13 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก จะเห็นได้ว่ากากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่ากากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีปริมาณของแข็งอยู่ที่ระดับเดียวกัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดในกากขี้แป้งที่มีปริมาณสูงอาจเนื่องจาก ในกระบวนการผลิตน้ำยางขั้นมีขั้นตอนการเติมแอมโมเนียมไอโดรเจนฟอสเฟตร้อยละ 0.10 ถึง 0.15 เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่ปะปนอยู่ในน้ำยาง รวมทั้งจากกระบวนการผลิตมีการเติมสังกะสีออกไซด์ร้อยละ 0.03 ต่อน้ำหนักยาง (วราศรี, 2542) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีอยู่ในกากขี้แป้งส่วนใหญ่จึงเป็นองค์ประกอบของ ฟอสเฟต แมกนีเซียมและสังกะสี

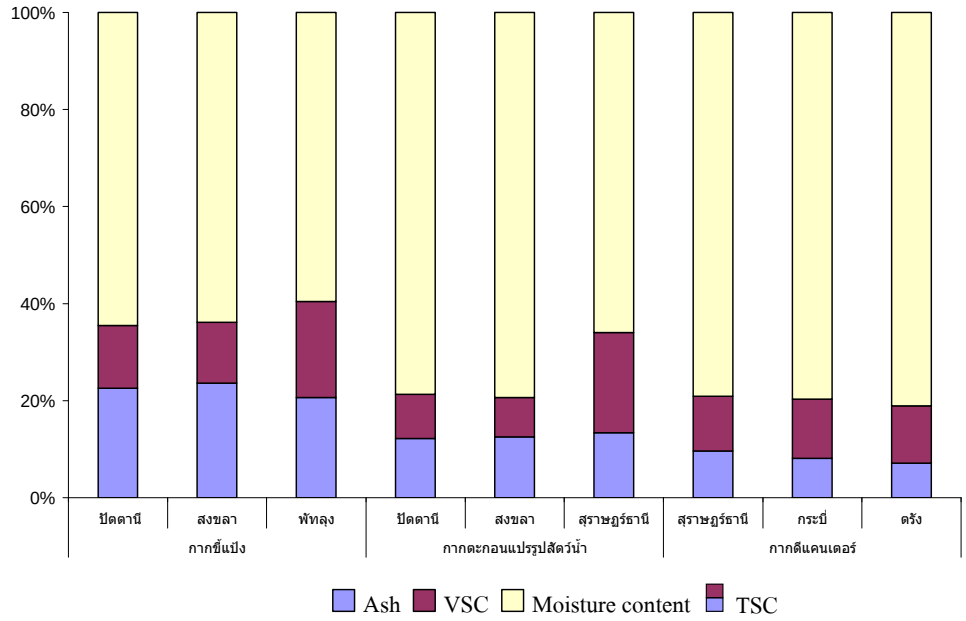
4.1.1.3 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

ค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ของกากขี้แป้งสดจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ในช่วง 12.24 - 20.83 เฉลี่ย 15.32 ± 4.78 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก กากตะกอนจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน มีค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ในช่วง 7.84 - 22.95 เฉลี่ย 13.31 ± 8.37 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และกากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำนวน 3 โรงงาน มีค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ในช่วง 11.40 - 11.98 เฉลี่ย 11.73 ± 0.30 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกากอินทรีย์ทั้ง 3 ประเภท พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้มีค่าใกล้เคียงกัน จากข้อมูลปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ บอกถึงสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในกากตะกอนซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียและให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อหญ้าได้

4.1.1.4 ปริมาณเถ้า

จากการศึกษาหาปริมาณเถ้า ของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน พบมีค่าปริมาณเถ้า ในช่วง 21.72 - 22.98 เฉลี่ย 22.37 ± 0.63 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก กากตะกอนจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน มีค่าปริมาณเถ้าในช่วง 12.12 -14.85 เฉลี่ย 13.08 ± 1.54 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก สำหรับกากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำนวน 3 โรงงาน มีค่าปริมาณเถ้าในช่วง 7.12 - 9.71 เฉลี่ย 8.25 ± 1.33 กรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก จะเห็นได้ว่ากากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีปริมาณเถ้าทั้งหมดสูงกว่าอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มซึ่งมีปริมาณเถ้าอยู่ที่ระดับเดียวกัน ค่าปริมาณเถ้าเป็นค่าที่แสดงถึงธาตุอาหารพืชที่เป็นพวกสารอนินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ในกากขี้แป้ง พบปริมาณเถ้ามากกว่ากากอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจาก กระบวนการผลิตมีขั้นตอนตกตะกอนแมกนีเซียมและขั้นเติมสังกะสีออกไซด์เพื่อรักษาสภาพและป้องกันแบคทีเรียในน้ำยาง ส่งผลให้มีแมกนีเซียม และสังกะสีเป็นองค์ประกอบอยู่ในกากขี้แป้ง ในการทดสอบหาปริมาณเถ้า ทำโดยเผาตัวอย่างหลังอบที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส แมกนีเซียมและสังกะสีที่เป็นองค์ประกอบในกากขี้แป้งจะถูกเปลี่ยนอยู่ในรูปของแมกนีเซียมออกไซด์และสังกะสีออกไซด์ (จำเป็น, 2547)

จากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ และปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ในกากอินทรีย์แต่ละประเภทมีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณเถ้า พบมีค่าสูงในกากขี้แป้ง ซึ่งมากกว่ากากแปรรูปสัตว์น้ำและกากดีแคนเตอร์หนึ่งเท่า สมบัติทางกายภาพของกากอินทรีย์อุตสาหกรรมต่าง ๆ แสดงรวมในภาพประกอบที่ 4.1



ภาพประกอบที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของกากอินทรีย์อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ

4.1.2 สมบัติทางเคมีของกากอินทรีย์อุตสาหกรรม

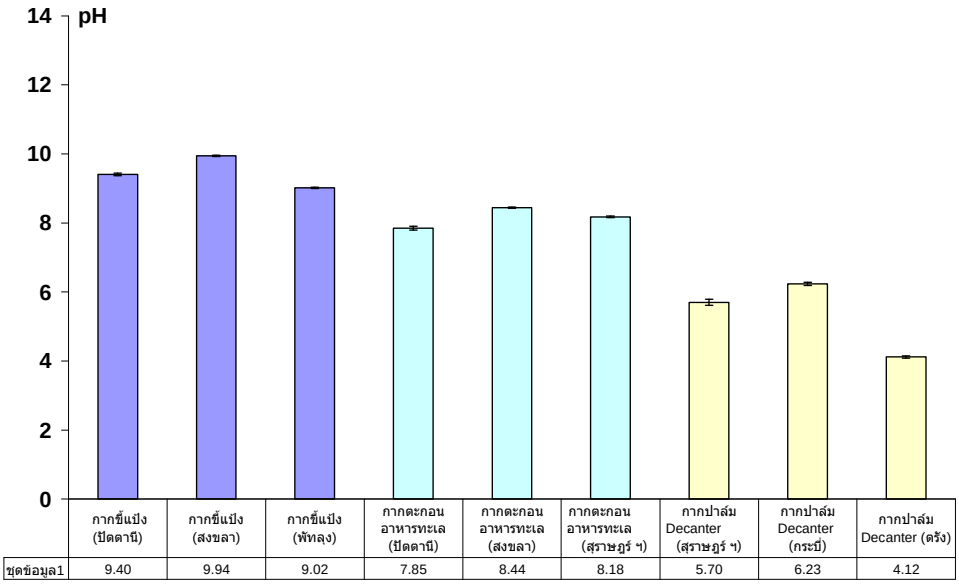
4.1.2.1 ความเป็นกรด เบส

ค่าความเป็นกรด เบส ของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจากต่างพื้นที่การผลิต โดยวัดค่าความเป็นกรด เบส ของกากขี้แป้งที่เก็บหลังการปั่นเหวี่ยงภายใน 48 ชั่วโมง และนำมาละลายน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 พบว่า กากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน มีค่าความเป็นกรด เบส อยู่ในช่วงเบส คือ 9.02 - 9.94 เฉลี่ย 9.45 ± 0.47 ทั้งนี้น่าจะเนื่องมาจากการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยางก่อนนำมาปั่นเหวี่ยงเพื่อเตรียมเป็นน้ำยางข้น และจากการศึกษาค่าความเป็นกรด เบส ของกากขี้แป้งโดยเสาวนีย์และคณะ (2547) พบ ค่าความเป็นกรด เบส อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง คือ 7.38 - 7.74 ซึ่งอาจทำการตรวจวัดตะกอนที่เก็บหลังการปั่นเหวี่ยงมากกว่า 48 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด เบส จึงลดลงสู่ช่วงที่เป็นกลางเนื่องจากการสูญหายไปของแอมโมเนีย

ค่าความเป็นกรด เบส ของกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน พบว่า ค่ากรด เบส มีค่าเป็นกลางถึงเบสเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 7.85 - 8.44 เฉลี่ย 8.15 ± 0.30 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เกรียงศักดิ์ (2542) มีค่ากรด เบส ในช่วง 6.5 - 8.0 เช่นเดียวกับ อนุสรณ์ (2546) พบมีค่า กรด เบส ในช่วง 7.02 - 7.82 และจากการศึกษากากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์ของ Chang และคณะ (2002) พบมีค่ากรด เบส เท่ากับ 6.86 ซึ่งข้อมูลที่ได้มีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน

ส่วนค่าความเป็นกรด เบส ของกากดีแคนเตอร์จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำนวน 3 โรงงาน พบมีค่าอยู่ในช่วงกรดถึงกรดอ่อน คือ 4.12 - 6.23 เฉลี่ย 5.35 ± 1.10 จากการศึกษาของ Prasertsan และคณะ (1997) ค่ากรด เบส มีค่าอยู่ในช่วง 4.50 - 5.00 ซึ่งรายงานอยู่ในช่วงเดียวกันกับข้อมูลที่ได้

จากการเปรียบเทียบกากอินทรีย์ทั้ง 3 ประเภท พบว่า กากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีความเป็นเบส ในขณะที่กากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นกลางถึงเบสอ่อน ๆ ส่วนกากดีแคนเตอร์จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีค่าอยู่ในช่วงของกรด (ภาพประกอบที่ 4.2)

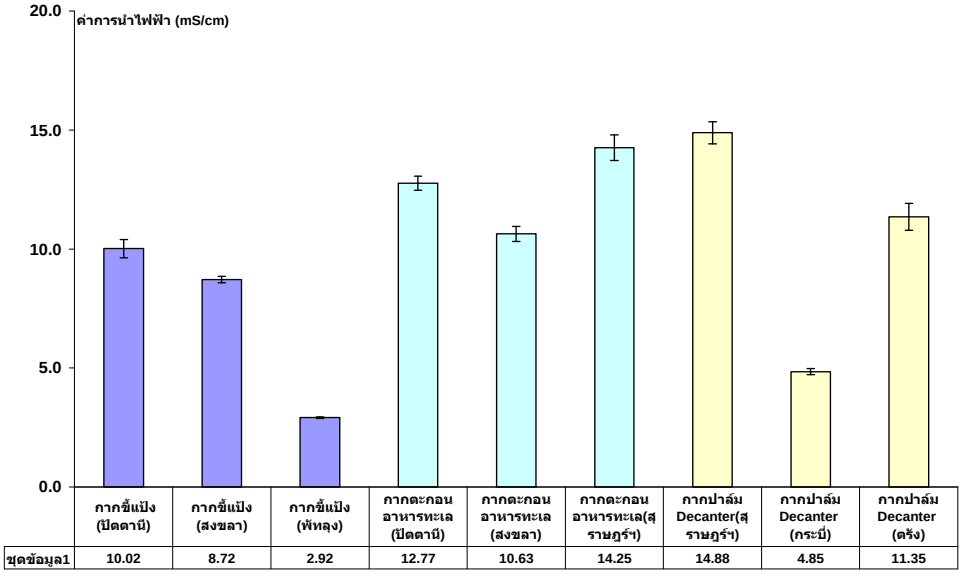


ภาพประกอบที่ 4.2 ความเป็นกรด เบส ของกากขี้แป้ง กากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ และกากดีแคนเตอร์

4.1.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของกากอินทรีย์ หลังละลายด้วยน้ำที่อัตราส่วน 1 ต่อ 5 พบว่า กากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2.92 - 10.02 เฉลี่ย 7.22 ± 3.78 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร กากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าการนำการไฟฟ้าในช่วง 10.63 - 14.25 เฉลี่ย 12.55 ± 1.81 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และกากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำนวน 3 โรงงาน มีค่าการนำการไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4.85 - 14.88 เฉลี่ย 10.36 ± 5.08 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (ภาพประกอบ

ที่ 4.3) จากข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของกากอินทรีย์อุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท มีค่าอยู่ในช่วงค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชซึ่ง Benoit (1992) กล่าวว่า ค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับพืชปลูกส่วนใหญ่น่าจะอยู่ในช่วง 1.50 ถึง 3.00 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร กากอินทรีย์อุตสาหกรรมที่ศึกษามีค่ามากกว่า Benoit (1992) อาจเนื่องจาก ในกากอินทรีย์ที่ทำการศึกษามีปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปของไอออนต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่มากและเกินพอสำหรับสำหรับความต้องการของพืชส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นส่วนดีที่สามารถนำไปเตรียมวัสดุปลูกสำหรับปลูกหญ้าได้ โดยปรับเปลี่ยนให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับพืชที่ต้องการปลูก สำหรับในการศึกษานี้ใช้หญ้าสนาม จากข้อมูลกากอินทรีย์อุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภทมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.22 ถึง 12.55 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Harivandi (1999) ที่ทำการศึกษา พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 6.00 ถึง 10.00 มิลลิซีเมนต่อเมตรต่อเซนติเมตร สามารถที่ปลูกหญ้าสนามพันธุ์นวลน้อยได้



ภาพประกอบที่ 4.3 ค่าการนำการไฟฟ้าของกากขี้แป้ง กากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ และกากดีแคนเตอร์

4.2 ปริมาณธาตุอาหารสำหรับพืชในกากอินทรีย์อุตสาหกรรม

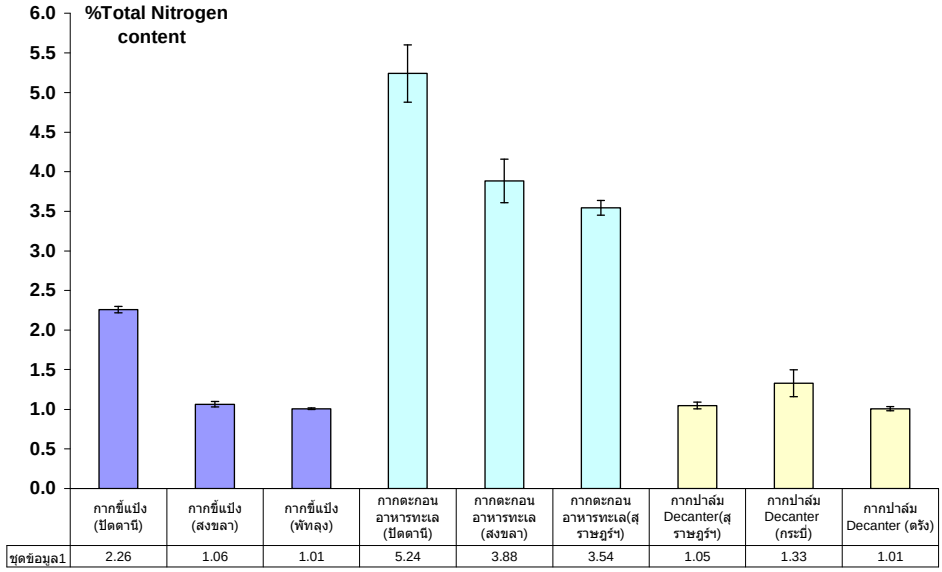
4.2.1 ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total kjeldahl nitrogen, TKN) ของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดในช่วง 1.01 - 2.26 เฉลี่ย 1.44 ± 0.71 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และจากการศึกษาของ Sathyaseelan (2006) พบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกากขี้แป้งร้อยละ 6.50 ในขณะที่วราศรี (2542) ทำการศึกษากากขี้แป้ง พบ ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 2.06 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง เสาวนีย์ และคณะ (2547) พบ ค่าธาตุไนโตรเจนในกากขี้แป้งร้อยละ 3.31 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และวลัยพร(2547) พบปริมาณไนโตรเจนในกากขี้แป้ง 28,160.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นร้อยละมีค่าประมาณ 2.81กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่ามีปริมาณร้อยละของไนโตรเจนที่พบในกากขี้แป้งอยู่ในระดับเดียวกัน

สำหรับการวิเคราะห์กากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน พบว่าปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 3.54 - 5.24 เฉลี่ย 4.22 ± 0.90 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในขณะที่ อุดมศักดิ์ (2540) พบปริมาณไนโตรเจน เท่ากับร้อยละ 5.64 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในกากตะกอนโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยระบบไร้อากาศ และ ผลการวิเคราะห์กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง มีค่าไนโตรเจน ร้อยละ 8.50 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (สุธี, 2544) ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของอุดมศักดิ์

การวิเคราะห์ปริมาณกากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน จำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดในช่วง 1.01 - 1.33 เฉลี่ย 1.13 ± 0.18 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง จากการศึกษาของ Kolade และคณะ (2006) พบว่า มีปริมาณร้อยละไนโตรเจนเท่ากับ 2.88 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าร้อยละไนโตรเจนที่พบมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบของกากอินทรีย์ทั้ง 3 ประเภท พบว่าปริมาณร้อยละไนโตรเจนจะพบมากในกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำมากกว่ากากขี้แป้งและกากดีแคนเตอร์ 2 - 3 เท่า (ภาพประกอบที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าปริมาณร้อยละไนโตรเจนของกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำอยู่ในรูปที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนและองค์ประกอบอื่นๆ มากกว่าอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งในขณะเดียวกันก็พบว่ากากขี้แป้งที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีปริมาณร้อยละไนโตรเจนที่อยู่รูปของแอมโมเนียเป็นส่วนใหญ่ (วลัยพร, 2547) เมื่อทิ้งกากขี้แป้งไว้เป็นระยะเวลานานๆ หรือได้รับความร้อนทำให้เกิดการสูญหายของปริมาณไนโตรเจนสู่อากาศ จึงทำให้กากขี้แป้งมีปริมาณของไนโตรเจนน้อยกว่ากากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ



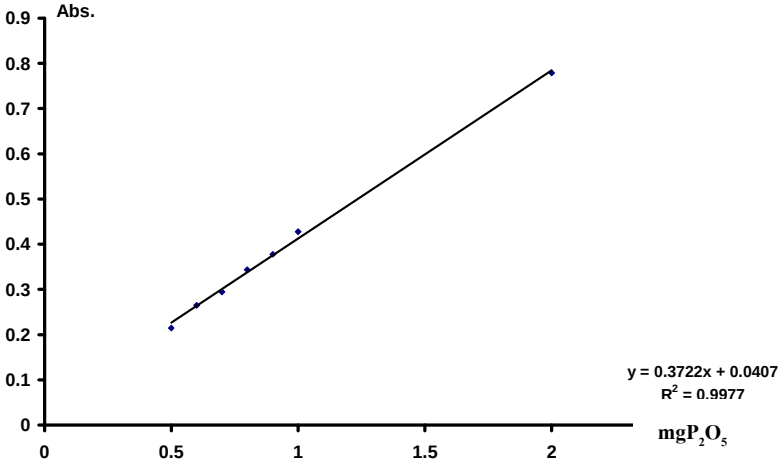
ภาพประกอบที่ 4.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของกากขี้แป้ง กากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ และ กากดีแคนเตอร์

4.2.2 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5

จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โดยใช้กราฟมาตรฐานของฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในช่วง 0.50 ถึง 2.00 มิลลิกรัม (ภาพประกอบที่ 4.5) ค่าร้อยละของการคืนกลับของสารจากในการวิเคราะห์โดยวิธีดังกล่าวมีค่าร้อยละการคืนกลับของสาร อยู่ในช่วงร้อยละ 91.50 - 101.00 ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในกากตะกอนอินทรีย์อุตสาหกรรมนั้น นำตัวอย่างไปอบ และบดจนละเอียดแล้วทำให้เป็นสารละลายโดยการย่อยด้วยกรดไนทริกผสมกับเพอร์คลอริก หลังจากย่อยกากอินทรีย์จนใสแล้ว ฟอสฟอรัสซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นรูปออร์โธฟอสเฟต จากนั้นปรับปริมาตรให้เหมาะสมและทำให้เกิดสีโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมของโมลิบเดต และวานาเดตในสภาพกรด เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเทอร์

จากการวิเคราะห์กากอินทรีย์ทั้ง 3 ประเภท พบกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำนวน 3 โรงงาน มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 อยู่ในช่วง 26.31- 46.79 เฉลี่ย 33.48 ± 11.53 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับการศึกษาของ Sathyaseelan (2006) ซึ่งพบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำได้และละลายในสารละลายซิเตรต ร้อยละ 35.98, 13.00 และ 36.00 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่วราศรี (2542) ทำการศึกษาในกากขี้แป้ง พบ ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 เฉลี่ยร้อยละ 19.60 - 21.60 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง รวมทั้งจากการศึกษาของเสาวนีย์ และคณะ (2547) พบ ค่าปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ใน

กากขี้แป้งร้อยละ 14.69 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อพิจารณาข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ที่ทำศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Sathyaseelan (2006) และวราศรี (2542)

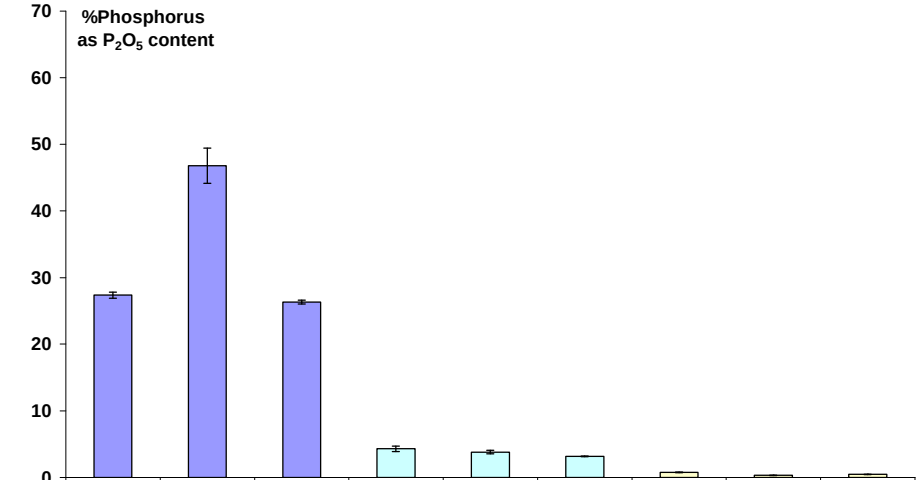


ภาพประกอบที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ของกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในช่วง 3.16 - 4.27 เฉลี่ย 3.74 ± 0.56 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าในระดับเดียวกับในการศึกษาของ อุดมศักดิ์ (2540) ที่พบปริมาณฟอสฟอรัส ร้อยละ 2.52 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำที่บำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และจากการศึกษาของสุธี (2544) ที่ทำการวิเคราะห์กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง มีค่าฟอสฟอรัส ร้อยละ 1.94 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ของกากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 อยู่ในช่วง 0.30 - 0.74 เฉลี่ย 0.50 ± 0.22 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Koladeและคณะ (2006) พบปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสในกากดีแคนเตอร์เท่ากับ 0.60 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (ภาพประกอบที่ 4.6) พบว่า ปริมาณร้อยละของฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 มีมากในกากขี้แป้งโดยมีค่ามากกว่า กากตะกอนแปรรูปและกากดีแคนเตอร์ 10 ถึง 11 เท่า อาจเนื่องมาจากในกระบวนการอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอตเฟต เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำยางโดยกำจัดแมกนีเซียมที่มีอยู่เดิมออกไป ซึ่งปริมาณตะกอนของกากขี้แป้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นส่วนใหญ่จึงเป็นตะกอนของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอตเฟต ใน

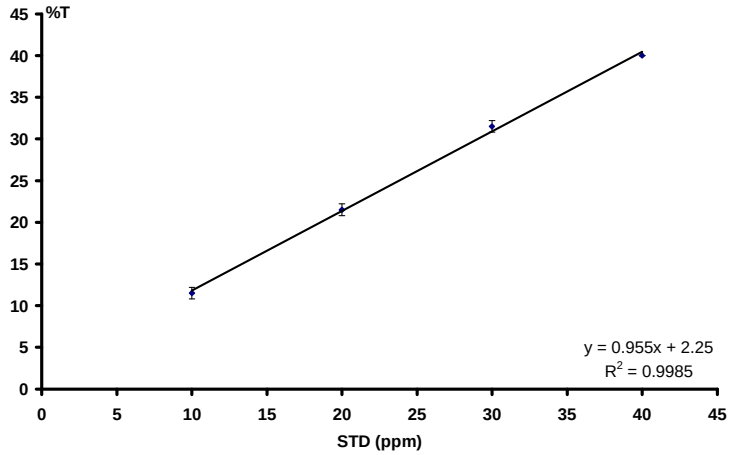
กระบวนการผลิตน้ำยางข้นหากมีปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสูงก็จะเติมไดแอมโมเนียไฮโดรเจนฟอตเฟตปริมาณ 1.0 ถึง 1.5 กิโลกรัมต่อน้ำยางสด 1 ตัน (วราศรี, 2542)



ภาพประกอบที่ 4.6 ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5ของกากอินทรีย์อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ

4.2.3 ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมในรูป K_2O

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O โดยใช้กราฟมาตรฐานของโพแทสเซียมในรูป K_2O ในช่วงความเข้มข้น 10 ถึง 40 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพประกอบที่ 4.7) ค่าการคืนกลับมาของสาร อยู่ในช่วงร้อยละ 81.81 และ 109.09 พบว่า มีปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O ของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงาน มีปริมาณร้อยละโพแทสเซียมในรูป K_2O ในช่วง 0.55 - 0.72 เฉลี่ย 0.63 ± 0.08 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งจากข้อมูลการทดลองมีปริมาณอยู่ในระดับเดียวกับ การศึกษาของวราศรี (2542) และการศึกษาของเสาวนีย์ และคณะ (2547) พบ ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในรูป K_2O ในกากขี้แป้ง มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.80 และ1.01 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

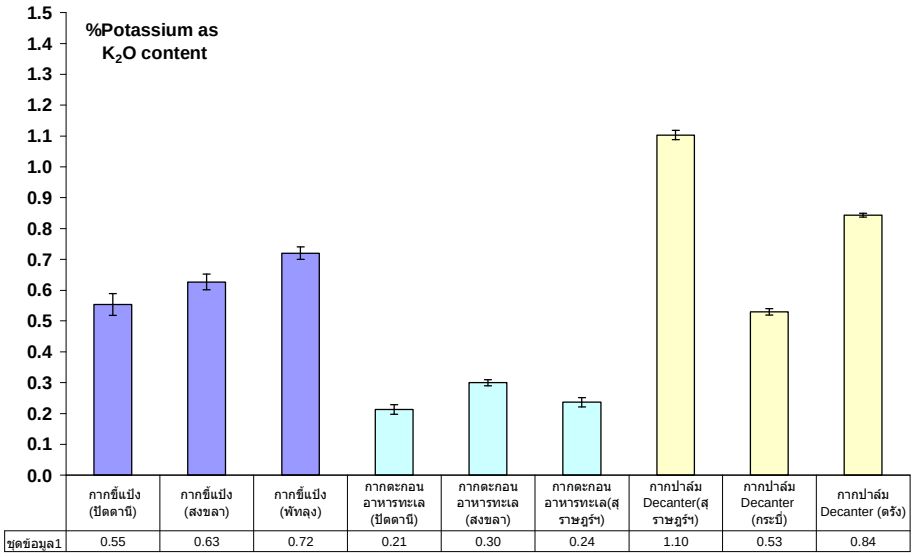


ภาพประกอบที่ 4.7 กราฟมาตรฐานของโพแทสเซียมในรูป K_2O

สำหรับกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงานพบว่ามีปริมาณร้อยละโพแทสเซียมในรูป K_2O ในช่วง 0.21 - 0.30 เฉลี่ย 0.25 ± 0.04 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และจากข้อมูลการศึกษาของอุดมศักดิ์ (2540) พบปริมาณโพแทสเซียม ร้อยละ 0.78 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในกากตะกอนโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยระบบไร้อากาศ ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน

ส่วนกากดีแคนเตอร์ หรือ เค้ก จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน จำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีปริมาณร้อยละโพแทสเซียมในรูป K_2O ในช่วง 0.53 - 1.10 เฉลี่ย 0.83 ± 0.29 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในขณะที่จากการศึกษาของ Kolade และคณะ (2006) พบปริมาณโพแทสเซียม ร้อยละ 0.19 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

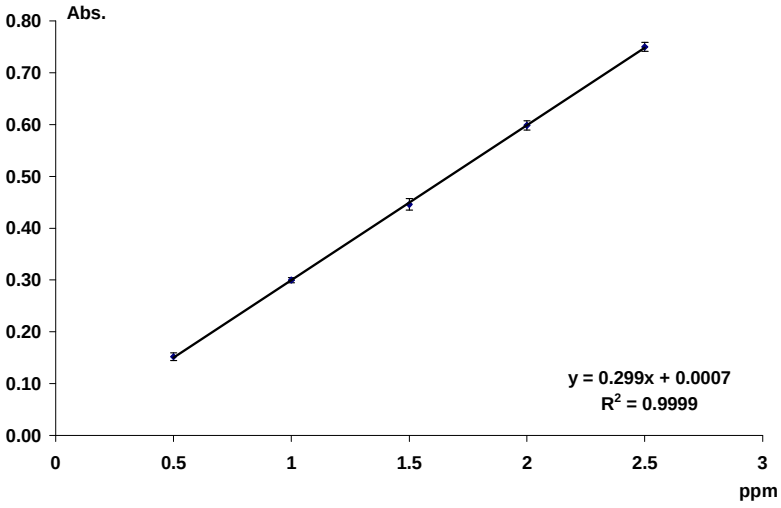
จากข้อมูลข้างต้น พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O ของกากขี้แป้งและกากดีแคนเตอร์มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และสูงกว่ากากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำประมาณ 3 - 4 เท่า (ภาพประกอบที่ 4.8)



ภาพประกอบที่ 4.8 ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O ของกากอินทรีย์อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ

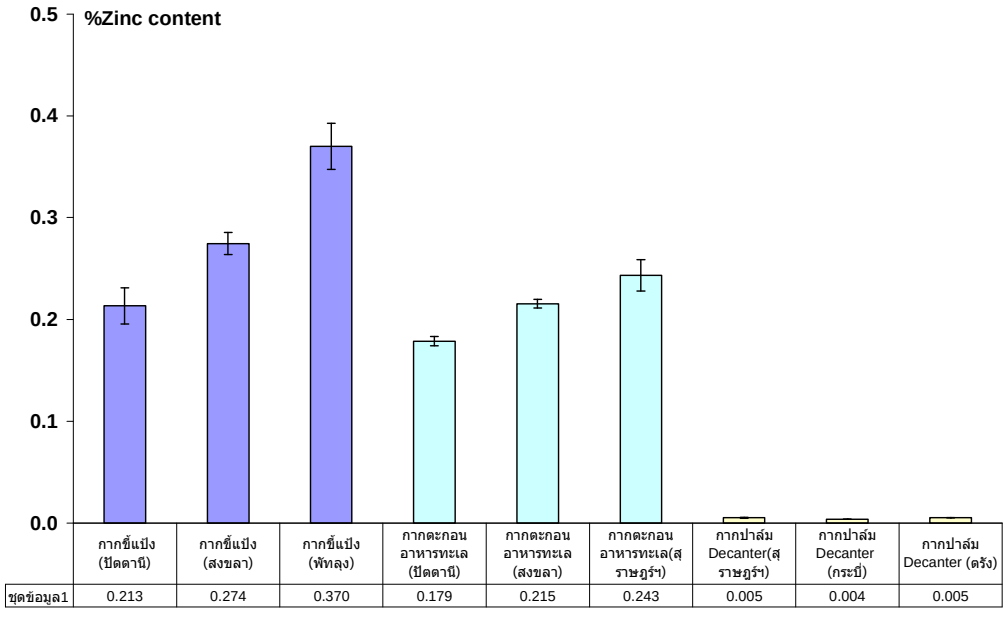
4.2.4 ปริมาณธาตุอาหารอาหารสังกะสี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี ทำการศึกษาวัดค่าโดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้นของสังกะสีช่วงความเข้มข้น 0.50 ถึง 2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพประกอบที่ 4.9) ค่าการคืนกลับมาของสารอยู่ในช่วงร้อยละ 102.01 และ 113.64



ภาพประกอบที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์สังกะสี

การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในตัวอย่าง พบทั้งกากขี้แป้งและกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำมีปริมาณสังกะสีสูงกว่ากากดีแคนเตอร์กว่า 10 เท่า โดยพบปริมาณร้อยละสังกะสีในกากขี้แป้งอยู่ในช่วงร้อยละ 0.21 - 0.37 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง กากตะกอนจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.18 - 0.27 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และกากดีแคนเตอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 - 0.01 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (ภาพประกอบที่ 4.10) การที่พบกากขี้แป้งมีปริมาณสังกะสีสูงกว่ากากดีแคนเตอร์ อาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีการเติมสารซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เพื่อทำลายแบคทีเรียในน้ำยางโดยใช้ประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง (กรมวิชาการเกษตร, 2531) และกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำมีปริมาณสังกะสีรองลงมาอาจมีที่มาจากกากที่ได้จากขั้นตอนชำแหละแกะล้างเครื่องใน ปลา หรือ ปลาหมึก ซึ่งมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบอยู่ในตับ เลือด หรือ ส่วนอื่น ๆ ของสัตว์น้ำ หากกากขี้แป้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 65 มีความเข้มข้นของสังกะสีร้อยละ 0.40 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งหากนำไปผสมในวัสดุปลูกที่ร้อยละ 20 วัสดุปลูกที่ได้จะมีความเข้มข้นของสังกะสีที่ร้อยละ0.03 หรือ 300 ส่วนในล้านส่วนซึ่งยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่ USEPA กำหนดไว้ที่ 7500 ส่วนในล้านส่วนสำหรับ sewage sludge ที่จะสามารถนำไปใช้ในทางเกษตรกรรม (USEPA, 1993 in Brady and Weil, 2002) และจากการศึกษาข้อมูลของ วราศรี (2542) ทำการศึกษาปริมาณธาตุสังกะสีในกากขี้แป้ง พบมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.01 กรัมต่อกรัม ต่อน้ำหนักแห้ง เสาวนีย์ และคณะ (2547) รายงานค่าธาตุสังกะสีทั้งหมดในกากขี้แป้ง ร้อยละ 0.63 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง



ภาพประกอบที่ 4.10 ปริมาณร้อยละของธาตุสังกะสีของกากอินทรีย์

4.3 การเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนามและการทดสอบประสิทธิภาพ

การเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนามและการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นเป็นการประเมินความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนอินทรีย์ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้เพื่อการปลูกพืช การทดสอบทำโดยผสมอัตราส่วนกากตะกอนต่าง ๆ ตามปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ข้างต้น โดยผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตามปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในแต่ละประเภทกากตะกอนอินทรีย์ การทดสอบประสิทธิภาพ ทำการทดสอบเริ่มในระดับสเกลเล็กขนาด 5 ถึง 10 กิโลกรัม สำหรับการศึกษาในระดับตะกร้า และขยายไปเป็นระดับแปลงทดลอง เพื่อประเมินความสามารถในการนำไปใช้จริง ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.3.1 การเตรียมวัสดุปลูกเบื้องต้นและการทดสอบประสิทธิภาพในการปลูกหญ้า ขั้นที่หนึ่ง

วัสดุปลูกหญ้าสนามจากกากอินทรีย์อุตสาหกรรม ศึกษาการเตรียมเพื่อประเมินการเลือกใช้ชนิดพันธุ์หญ้าซึ่งใช้ หญ้าสนาม 3 ชนิด คือ หญ้าญี่ปุ่น นวลน้อย และมาเลเซียโดยเน้นลักษณะทางกายภาพของวัสดุปลูกที่ต้องเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด และธาตุอาหารที่ได้คำนวณจากสัดส่วนการผสมเป็นวัสดุปลูก พบว่า หญ้านวลน้อยมีการเจริญเติบโตและให้ผลการทดสอบที่ดี คือ พบอัตราการรอดของหญ้านวลน้อยร้อยเปอร์เซ็นต์ และใบหญ้ามีสีเขียว ส่วนหญ้ามาเลเซียมีอัตราการรอดน้อยกว่าร้อยละ 50 เช่นเดียวกับหญ้าญี่ปุ่น (ตารางที่ 4.2) ซึ่งจากข้อมูลรายงานว่า หญ้านวลน้อยมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับหญ้าญี่ปุ่น แต่มีขนาดของใบที่ใหญ่กว่า เจริญเติบโตได้เร็วกว่า ใบไม่แข็งกระด้าง สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกสภาพ ขึ้นง่ายและเจริญเติบโตรวดเร็วพอสมควร ทนต่อการเหยียบย่ำได้ดี ดูแลรักษาง่าย ส่วนหญ้าญี่ปุ่น เจริญเติบโตช้า เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะเบียดกันจนแน่น ชอบขึ้นในที่ที่มีแสงสว่างมาก ๆ ทนต่อการเหยียบย้ำได้ดี แต่ถ้าทรุดโทรมแล้วจะฟื้นตัวได้ช้า ส่วนหญ้ามาเลเซีย เจริญเติบโตเร็ว ชอบแสงแดดที่รำไร ต้องให้น้ำบ่อย เพราะ มีรากสั้นและที่สำคัญคือ ไม่สามารถทนต่อการเหยียบย่ำบ่อย ๆ ได้ เพราะลำต้นและใบค่อนข้างจะอวบน้ำ ถ้าแดดจัดและขาดน้ำ ข้อปล้องและขอบใบจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลอมแดง มีระบบรากที่สั้น ไม่ชอบให้มีน้ำท่วมขัง สามารถขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกสภาพ ยกเว้นดินเค็ม (เกษตรพลิกฟื้นชาติ, 2549) โดยจากราย หญ้านวลน้อยเป็นหญ้าสนามที่นิยมปลูกกันมากในทวีปเอเชียและความนิยมเพิ่มขึ้นในสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น ๆ (Toyama และคณะ, 2003) ในส่วนของวัสดุที่เตรียมขึ้นโดยเตรียมให้มีอัตราส่วนของธาตุอาหารต่าง ๆ ใกล้เคียงกับการแนะนำของ Brann และคณะ (2006) ที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โพแทสเซียมในรูป K_2O ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 ต่อ 1 ตามลำดับ จากการทดลองเตรียมวัตถุปลูก อัตราส่วนไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โพแทสเซียมในรูป K_2O ในอัตราส่วน 1.40 ต่อ 5.80 ต่อ 2.50 ตามลำดับ ให้อัตราการรอดของต้นหญ้ามากกว่าร้อยละ

50 ในหญ้าพันธุ์นวลน้อย ส่วนลักษณะสีใบของหญ้านวลน้อยและญี่ปุ่นมีสีเขียวในขณะที่หญ้ามาเลเซียใบไหม้และมีน้ำตาลบางส่วน ซึ่งอัตราส่วนธาตุอาหารดังกล่าวพบว่า สามารถปลูกหญ้าสนามพันธุ์นวลน้อยและพันธุ์ญี่ปุ่นได้ แต่ในการทดสอบในขั้นที่สองและขั้นอื่น ๆ เลือกใช้หญ้านวลน้อย เนื่องจาก ให้ผลการทดสอบดีที่สุด อีกทั้งยังเป็นหญ้าที่มีการนิยมปลูกสูง (Toyama และคณะ, 2003)

ตารางที่ 4.2 ผลการเตรียมและทดสอบประสิทธิภาพวัสดุปลูกหญ้าสนาม ขั้นที่หนึ่ง

ชนิดหญ้า	อัตราส่วนของกากอินทรีย์ (น้ำหนักเปียก) LS: FPS: PD: Additives*	ปริมาณร้อยละธาตุอาหารในวัสดุผสม TKN: P_2O_5: K_2O	อัตราการรอดของหญ้า (ร้อยละ)	ลักษณะแสดงอาการของหญ้าสนาม
ญี่ปุ่น	65: 15: 15: 5	1.4: 5.8: 2.5	<50	เขียว
นวลน้อย	65: 15: 15: 5	1.4: 5.8: 2.5	100	เขียว
มาเลเซีย	65: 15: 15: 5	1.4: 5.8: 2.5	<50	ใบไหม้มีสีน้ำตาล

หมายเหตุ ; LS = Latex sludge, FPS = Fish processing sludge, PD = Palm Decanter,
Additives* = Palm Fiber

ในการทดลองขั้นที่หนึ่งมีการใช้ปริมาณของกากอินทรีย์ ประเภทกากขี้แป้งร้อยละ 65 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใช้กากขี้แป้งจำนวนมากกว่ากากอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ดังนั้นในขั้นที่สองจึงทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของกากอินทรีย์ให้มีอัตราส่วนในระดับเดียวกัน

4.3.2 การเตรียมวัสดุปลูกเบื้องต้นและการทดสอบประสิทธิภาพในการปลูกหญ้า ขั้นที่สอง

จากการศึกษาในหัวข้อ 4.3.1 พบว่า หญ้านวลน้อยสามารถปลูกได้ดีในวัสดุปลูกที่เตรียมขึ้น และให้ผลที่ดีกว่าหญ้าญี่ปุ่นและหญ้ามาเลเซีย ดังนั้นในการทดลองในหัวข้อ 4.3.2 ถึง 4.3.4 จึงเลือกใช้หญ้านวลน้อยในการทดสอบประสิทธิภาพ และเพื่อให้มีการนำกากตะกอนอินทรีย์ไปใช้มากที่สุดจะได้ลดปัญหาการถมที่และการใช้พื้นที่การเก็บตะกอนในโรงงาน จึงได้ศึกษาวัสดุปลูกที่เตรียมจากกากแต่ละชนิด ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 25 และ 30 เพื่อให้หลังปลูกสามารถมีธาตุอาหารต่อไปอีกระยะหนึ่งโดยไม่ต้องเติมปุ๋ย

ผลจากศึกษาการเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนามโดยใช้อัตราส่วนของกากขี้แป้งต่อกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำต่อเส้นใยปาล์มเป็นวัสดุตัวเติมที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยเลือกใช้ชนิดพันธุ์หญ้านวลน้อย พบว่า ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 ต่อ 20 ต่อ 60 ให้ผลการทดสอบที่ดี คือ พบอัตราการรอด

ของหญ้านวลน้อยร้อยเปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราส่วนการใช้กากขี้แป้งและกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำมากกว่าร้อยละ 25 พบว่า หญ้าไม่สามารถเจริญเติบโตได้และทำให้หญ้าตาย (ตารางที่ 4.3)

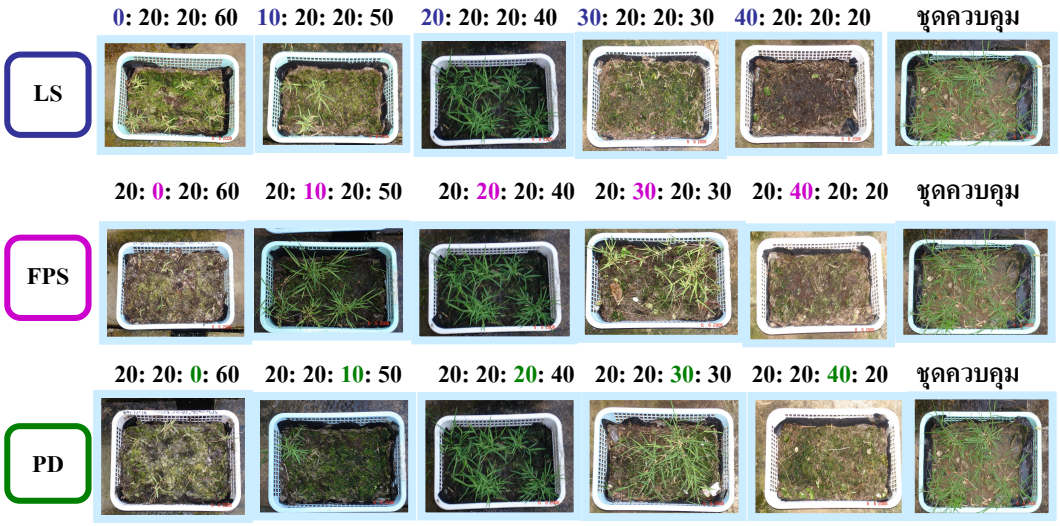
ตารางที่ 4.3 ผลการเตรียมและทดสอบประสิทธิภาพวัสดุปลูกหญ้าสนาม ขั้นที่สอง

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนของกากอินทรีย์ (น้ำหนักเปียก) LS: FPS: PF*	ปริมาณร้อยละธาตุอาหารในวัสดุผสม TKN: P_2O_5: K_2O	อัตราการรอดของหญ้า (ร้อยละ)	ลักษณะแสดงอาการของหญ้าสนาม
นวลน้อย	33: 33: 33	0.8: 2.9: 1.2	0	ใบไหม้และตาย
นวลน้อย	25: 25: 50	0.6: 2.3: 0.9	<50	เขียว
นวลน้อย	20: 20 : 60	0.5: 1.8: 0.7	100	เขียว

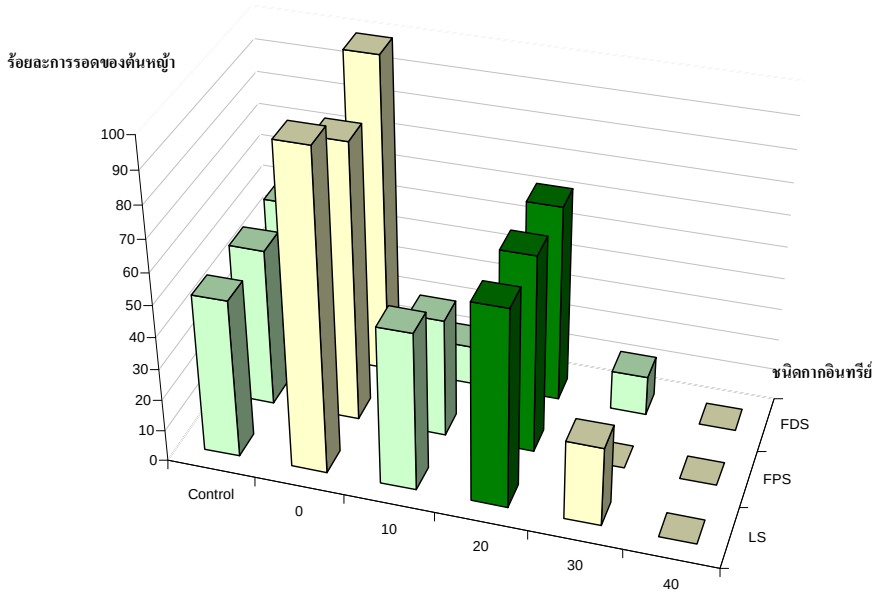
หมายเหตุ ; LS = Latex sludge, FPS = Fish processing sludge, PF* = Palm fiber

4.3.3 การเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนามและการทดสอบประสิทธิภาพในการปลูกหญ้าขั้นที่สาม

ผลของปริมาณกากอินทรีย์แต่ละชนิดต่อการปลูกหญ้านวลน้อยในระดับห้องทดลอง (ขนาดกว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร) โดยศึกษาอัตราส่วนผสมของกากอินทรีย์แต่ละชนิด คือ กากขี้แป้ง กากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ และกากดีแคนเตอร์ โดยใช้สัดส่วนของกากอินทรีย์แต่ละชนิดที่อัตราส่วน ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ โดยยังคงใช้เส้นใยปาล์มและได้ทำการเพิ่มเศษกระดาษสำนักงานเป็นวัสดุตัวเติม ทั้งนี้เนื่องจากมีเส้นใยปาล์มไม่เพียงพอ ซึ่งเหตุการณ์นี้อาจเกิดขึ้นได้กับเกษตรกรซึ่งอยู่ห่างจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม สำหรับเศษกระดาษสำนักงานเป็นวัสดุที่โรงเรียนในทุกชุมชนมีอยู่เสมอ การใช้เส้นใยปาล์มและเศษกระดาษสำนักงานเป็นวัสดุตัวเติม เนื่องจาก เพื่อเพิ่มความโปร่งและลักษณะที่ดีให้กับวัสดุปลูก โดยใช้เส้นใยปาล์มคงที่ที่ร้อยละ 20 ในทุกสูตร ในขณะที่ปริมาณเศษกระดาษสำนักงานแปรผกผันกับกากอินทรีย์แต่ละชนิด โดยปริมาณรวมของเศษกระดาษและกากอินทรีย์ที่ศึกษารวมกันได้เท่ากับร้อยละ 80 ในทุกสูตร และมีชุดควบคุมเป็นดินที่ไม่เติมปุ๋ย จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมให้ผลการทดลองที่ดี คือ อัตราส่วนที่ใช้กากตะกอนอินทรีย์แต่ละประเภทในอัตราส่วนร้อยละ 20 และสารตัวเติมร้อยละ 40 ผลการทดสอบประสิทธิภาพให้ร้อยละอัตราการรอดของต้นหญ้ามากกว่าร้อยละ 50 ลักษณะใบมีสีเขียวมีการแผ่กระจายเต็มพื้นที่ทดลองใช้เวลาประมาณ 40 - 45 วัน (ภาพประกอบที่ 4.11 และภาพประกอบที่ 4.12)



ภาพประกอบที่ 4.11 ลักษณะของต้นหญ้านวลน้อยที่ปลูกในวัสดุปลูกที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.12 ร้อยละอัตราการรอดและความเข้มของสีของต้นหญ้าในชุดการทดลองที่อัตราส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการปลูกด้วยหน้าดิน หลังปลูก 45 วัน

4.3.4 การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าสนามระดับแปลงทดลอง

การศึกษาการเจริญเติบโตในระดับแปลงทดลอง โดยเพิ่มขนาดพื้นที่การทดลองให้มีพื้นที่เท่ากับพื้นที่ของหญ้าที่ขายในท้องตลาดและเพื่อประเมินปริมาณการใช้กากอินทรีย์แต่ละประเภทในการเตรียมวัสดุปลูกระดับแปลงเพื่อเป็นแนวทางการนำไปใช้ที่เหมาะสม

4.3.4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าสนามระดับแปลงทดลอง ชุดที่หนึ่ง

จากข้อมูลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ การใช้กากขี้แป้ง กากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำ และกากดีแคนเตอร์ ในอัตราส่วนแต่ละประเภทร้อยละ 20 และวัสดุตัวเติม ร้อยละ 40 ธาตุอาหารที่ได้ ร้อยละไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 0.50, 1.79 และ 1.14 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทำการขยายผลในระดับแปลงทดลองชุดที่หนึ่ง ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ลึก 12 เซนติเมตร ซึ่งผลการทดสอบเปรียบเทียบกับการปลูกด้วยหน้าดิน พบว่า ลักษณะการเจริญเติบโตมีการแตกกอและเจริญของไหลดีกว่าการปลูกกับหน้าดิน โดยเจริญเต็มพื้นที่การทดลองใช้ระยะเวลาประมาณ 45 วัน (ภาพประกอบที่ 4.13)

วัสดุปลูกจากกากตะกอนอินทรีย์

หน้าดิน

ภาพประกอบที่ 4.13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปลูกหญ้าด้วยวัสดุปลูกกับหน้าดิน ระยะเวลา 45 วัน

นอกจากนี้ยังพบข้อดี ที่น่าสนใจมากของการใช้วัสดุปลูกในการปลูกหญ้าคือไม่มีปัญหาเรื่องการเจริญเติบโตร่วมของวัชพืชอันเนื่องมาจากการปะปนของเมล็ดวัชพืชอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการเหมือนในกรณีการปลูกหญ้าด้วยหน้าดิน

สำหรับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของต้นหญ้าเต็มพื้นที่ จากปกติถ้าปลูกขายโดยใช้ปุ๋ยเป็นธาตุอาหารใช้เวลาประมาณ 1 เดือน แต่จากการทดลองปลูกใช้ระยะเวลาประมาณ 45 วัน ซึ่งผลที่ได้จากระยะเวลาไม่แตกต่างกันมาก แต่ช่วยลดต้นทุนในเรื่อง

สารเคมี คือ ปุ๋ยเคมี และยาป้องกันวัชพืช ซึ่งสามารถใช้วัสดุที่มีธาตุอาหารจากกากตะกอนอินทรีย์ทดแทนได้ ในกรณีที่ต้องการทำระดับสเกลใหญ่ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับผสมกากตะกอนอินทรีย์ขนาดปริมาณมาก ในการทดลองนี้เลือกใช้โม่ผสมปูนซีเมนต์ ขนาด 0.5 คิว หรือ 0.5 ลูกบาศก์เมตร สามารถใช้ได้กับการผสมวัสดุปลูกรวมครั้งละ 20 กิโลกรัม โดยใช้เวลาต่อครั้งประมาณ 20 นาที

4.3.4.2 การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าสนามระดับแปลงทดลอง ชุดที่สอง

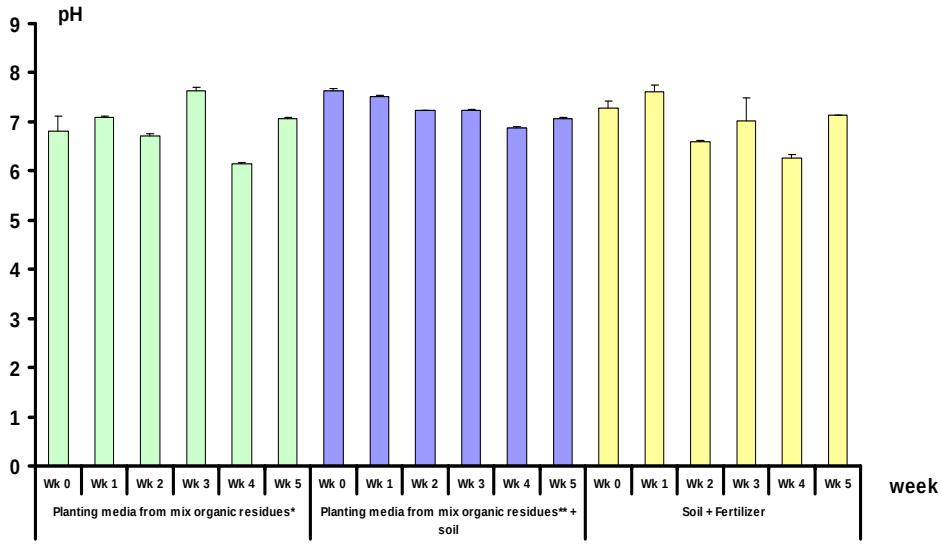
จากการทดลองในชุดที่หนึ่ง ได้ทำการทดลองซ้ำ โดยเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนามระดับแปลงทดลองชุดที่สอง ซึ่งเพิ่มขนาดของพื้นที่การศึกษา โดยเตรียมวัสดุปลูกอัตราส่วนผสมของกากอินทรีย์แต่ละชนิด คือ กากขี้แป้ง กากตะกอนอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ และกากดีแคนเตอร์ ที่อัตราส่วนแต่ละประเภทร้อยละ 20 ร่วมกับวัสดุตัวเติมที่เป็นกากเส้นใยปาล์มและเศษกระดาษสำนักงานอย่างละร้อยละ 20 เช่นเดียวกับการทดลองในชุดที่หนึ่ง และเพิ่มการใช้หน้าดินเป็นวัสดุตัวเติมร้อยละ 40 อีกหนึ่งสูตรในการทดลอง ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับการปลูกในหน้าดินเติมปุ๋ย โดยเก็บผลการทดลองในช่วงระยะเวลา 5 สัปดาห์ ทำการทดลองทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและธาตุอาหาร รวมทั้งทดสอบประสิทธิภาพการปลูกหญ้า

4.3.4.3 ผลการศึกษาทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปลูก

4.3.4.3.1 ค่าความเป็นกรด เบส ของวัสดุปลูก

จากการที่ค่าความเป็นกรด เบสของกากอินทรีย์แต่ละประเภทที่นำมาใช้ก่อนการผสม มีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน คือกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น มีค่าความเป็นกรด เบส อยู่ในช่วงเบส คือ อยู่ ในช่วง 9.02 - 9.94 ค่าความเป็นกรด เบส ของกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจำนวน 3 โรงงาน มีค่าเป็นกลางถึงเบสเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 7.85 - 8.44 ในขณะที่ค่าความเป็นกรด เบส ของกากดีแคนเตอร์จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีค่าอยู่ในช่วงกรดเล็กน้อยถึงกลางคือ 4.12 - 6.23 ทำให้เกิดเป็นข้อดี คือทำให้วัสดุปลูกที่ผสมจากกากอินทรีย์ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 ต่อ 20 ต่อ 20 โดยมีวัสดุตัวเติมเป็นเส้นใยปาล์มและกระดาษที่ร้อยละ 40 มีค่าความเป็นกรด เบสอยู่ในช่วงกลาง คือ มีค่าในช่วง 6.14 -7.66 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.05 ± 0.102. (ภาพประกอบที่ 4.14) จากการศึกษาการปลูกหญ้านวลน้อยของ Clemson University Extension Service (2002) พบว่า ค่ากรด เบสที่

เหมาะสมสำหรับการปลูกหญ้านวลน้อยที่ดีที่สุด คือ 6.50 ซึ่งสามารถปลูกได้ในช่วงกรด เบส ระหว่าง 6.00 ถึง 7.00 และจากการศึกษาของ Roberts และคณะ (1995) การปลูกหญ้าสนามในวัสดุผสม ที่มีค่ากรด เบสในช่วง 5.18 - 8.05 พบว่าค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนในช่วง ค่ากรด เบส ดังกล่าว ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้นของต้นหญ้า การศึกษาของ University of Maryland (2001) พบว่า ดินที่มีค่ากรด เบส ประมาณ 5.50 ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของไนเตรต ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ส่วนฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่น ๆ อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ เมื่อดินมีค่ากรด เบส ในช่วง 6.00 ถึง 7.00 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ University of Minnesota (1998) พบว่า ค่ากรด เบส ในช่วง 6.00 ถึง 7.00 ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด และค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในไซโทพลาซึมและคลอโรพลาสต์มีค่าสูงเมื่อค่ากรด เบสมีค่าอยู่ในช่วง 7.00 ถึง 8.00 (A&L Canada Laboratories Inc, 2006) ซึ่งค่ากรด เบส ที่ได้จากการทดลองอยู่ในระดับเดียวกับช่วงดังกล่าวจึงปลูกหญ้านวลน้อยได้

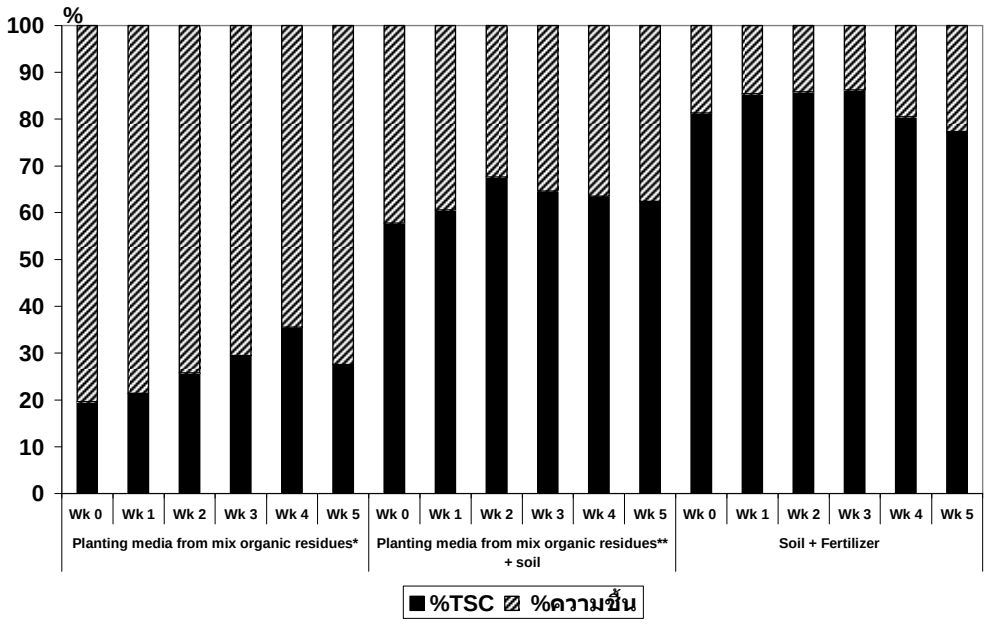


ภาพประกอบที่ 4.14 ค่าความเป็นกรด ของวัสดุปลูก ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม

4.3.4.3.2 ค่าปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในวัสดุปลูก

การทดสอบค่าปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของวัสดุปลูก พบว่ามีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 64.42 - 80.38 และมีค่าความชื้นมากกว่าวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติมหนึ่งเท่า และมากเป็นสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าดินเติมปุ๋ย ซึ่งมีค่าเช่นเดียวกันกับปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 19.62 - 29.47

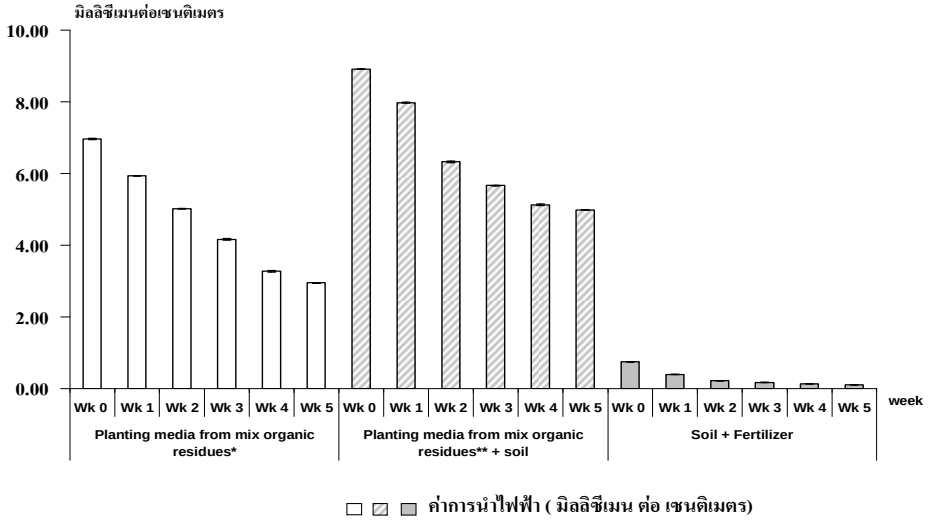
(ภาพประกอบที่ 4.15) จากการศึกษาของ Ruckauf และคณะ (2004) พบว่าดินที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 72.00 มีการนำเอาไนโตรเจนไปใช้ได้ดีกว่าดินที่แห้ง จากข้อมูลที่ทำการศึกษาพบว่า ค่าความชื้นของวัสดุปลูกมีค่าอยู่ในช่วงที่พืชสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้ดี เช่นเดียวกับ การศึกษาของ Hey และคณะ (2002) พบว่า เมื่อค่าความชื้นในดินเพิ่มขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสในพืชก็มีเพิ่มขึ้น เช่นกัน และจากการศึกษาของ Zeng และ Brown (2000) พบว่า โพแทสเซียมไอออนกระจายตัวได้ดีในรากเมื่อดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ Bastug และ Buyuktas (2003) พบว่า สีของใบหญ้าที่มีคุณภาพดีที่สุดมาจากการทดลองให้ความชื้นร้อยละ 75.00 โดยที่น้ำหนักรากและลำต้นมีค่าเพิ่มขึ้นในการใช้ความชื้นที่ ร้อยละ 75.00 และ 88.00 เช่นกัน และมากกว่าการให้ความชื้นร้อยละ 50.00 และ 100.00 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ค่าความชื้นของวัสดุปลูกอยู่ในช่วงที่หญ้าสามารถนำธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไปใช้ได้ดีกว่าวัสดุปลูกร่วมกับหน้าดินและหน้าดินเติมปุ๋ย ซึ่งลักษณะสีใบหญ้าก็ให้ผลเช่นเดียวกับ Bastug และ Buyuktas (2003)



ภาพประกอบที่ 4.15 ปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของวัสดุปลูก ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม

4.3.4.3.3 ค่าการนำไฟฟ้าในวัสดุปลูก

จากการทดสอบค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุปลูก พบว่า มีค่า อยู่ในช่วง 0.59 - 1.39 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร จากภาพประกอบที่ 4.16จะเห็นได้ว่ามีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติมมีค่าสูงกว่าหนึ่งเท่า คือ อยู่ในช่วง 0.99 - 1.78 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และมากกว่าหน้าดินเติมปุ๋ย ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.02 - 0.15 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ถึง 50 เท่า จากการศึกษาของ Benoit (1992) ค่าการนำไฟฟ้าในวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับพืชปลูกส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1.50 ถึง 3.00 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร หากค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่านี้อาจเป็นอันตรายต่อพืช แก้ไขโดยเจือจางสารละลายน้ำหรือใช้น้ำชะล้างวัสดุปลูกเพื่อให้ค่าการนำไฟฟ้าต่ำลง (Rhoades, 1982) หรืออาจลดปริมาณการใช้กากอินทรีย์ในวัสดุปลูกลง ซึ่งจากการทดสอบค่าการนำไฟฟ้าในวัสดุปลูกมีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว จึงสามารถปลูกหญ้าได้ และจากการศึกษาของ Hanlon และคณะ (2005) พบว่า ถ้าหากดินที่ใช้ปลูกหญ้ามีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 6.90 มิลลิซีเมนต่อเมตร มีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้นของต้นหญ้าเบอร์มิวด้าและหญ้านวลน้อย และจากการศึกษาของ Harivandi (1999) พบว่า มีค่าการนำไฟฟ้าในดินที่ผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้นของต้นหญ้านวลน้อยอยู่ในช่วง 6.00 ถึง 10.00 มิลลิซีเมนต่อเมตรต่อเซนติเมตร ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของธาตุในดิน บอกถึงค่าของไอออนบวกของ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม รวมทั้งบอกถึงไอออนลบ ของ คลอไรด์ซัลเฟต และคาร์บอเนต (Kravchenko และคณะ, 2005; Rhoades, 1972)



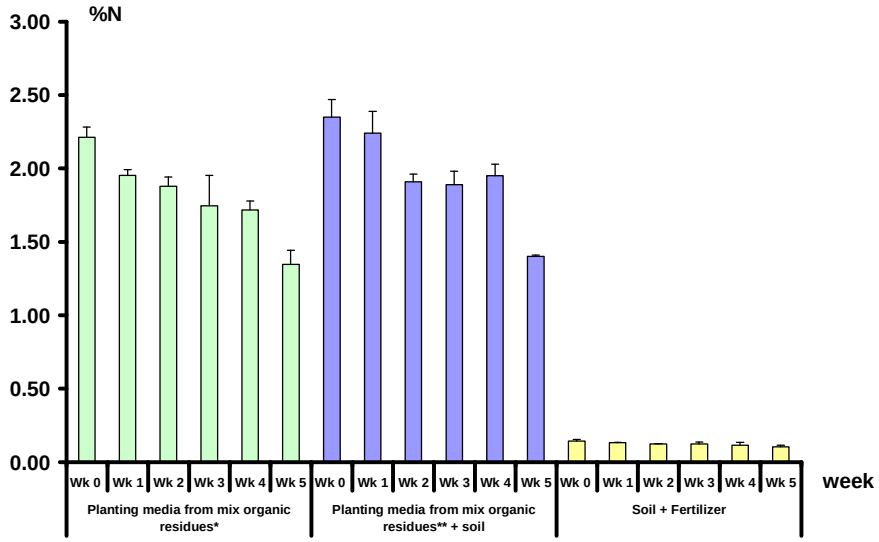
ภาพประกอบที่ 4.16 ค่าการนำการไฟฟ้าของวัสดุปลูกหญ้าชนิดต่าง ๆ ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม

4.3.4.3.4 ปริมาณธาตุอาหารสำหรับพืชในวัสดุปลูก

1) ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปลูก

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุปลูก พบว่า มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดในช่วง 1.35 - 2.21 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ใกล้เคียงกับวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.40 - 2.35 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และมากกว่าหน้าดินเติมปุ๋ยถึง 10 ถึง 20 เท่า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.10 - 0.14 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (ภาพประกอบที่ 4.17) จากการแนะนำการใช้ปุ๋ยของ Brann และคณะ (2006) ได้เสนอให้ใส่ปุ๋ยสำหรับหญ้านวลน้อยในลักษณะเดียวกันกับหญ้าเบอร์มิวด้า คือ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 70 ปอนด์ ต่อพื้นที่ 1000 ตารางฟุต หรือหากเปรียบเทียบในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเมตร ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 0.01 กิโลกรัม แต่ในการทดลอง มีพื้นที่ 0.36 ตารางเมตร ควรใช้ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 3.40 กรัม โดยใส่ปุ๋ยสูตร ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ต่อโพแทสเซียม K_2O สูตร 15 ต่อ 15 ต่อ 15 ปริมาณ 22.70 กรัม ต่อพื้นที่ 0.36 ตารางเมตร ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าที่พบในวัสดุปลูกมีปริมาณของไนโตรเจนที่ได้อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับการแนะนำของ Brann และคณะ ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่จึงสามารถที่จะปลูกหญ้าได้ จากภาพประกอบที่ 4.17 จะเห็นว่าแนวโน้มการลดลงของธาตุอาหารไนโตรเจนในวัสดุปลูกมีมากกว่าวัสดุปลูกร่วมกับดินและหน้าดินเติมปุ๋ย เนื่องมาจาก ในวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติมมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าวัสดุปลูกการนำเอาไนโตรเจนไปใช้จึงมี

น้อยกว่า และจากการตรวจวัดสภาพความเป็นกรด เบส ในวัสดุปลูกร่วมกับหน้าดิน พบว่า มีค่ากรด เบส มากกว่า 7.50 เมื่อเริ่มปลูกจึงทำให้มีการสูญหายไปของไนโตรเจนบางส่วนในรูปของแก๊สแอมโมเนีย จากการศึกษาของ Ruckauf และคณะ (2004) พบว่า ดินที่เปียก คือ มีความชื้นที่ร้อยละ 72.00 พืชจะมีการนำเอาไนโตรเจนไปใช้ได้ดีกว่าในดินที่แห้งที่มีความชื้นเพียง ร้อยละ 23.00 จากข้อมูลค่าความชื้นที่ตรวจวัดได้ในวัสดุปลูกมีค่าอยู่ในระดับเดียวกับดินเปียก หญ้าจึงสามารถนำธาตุไนโตรเจนไปใช้ได้ดีกว่าวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นวัสดุตัวเติมที่มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 72.00 และหน้าดินเติมปุ๋ย ซึ่งมีค่าความชื้นอยู่ในระดับเดียวกับดินแห้ง และจากการศึกษาของ Barbarick (2006) พบว่าในดินที่มีค่ากรดเบส มากกว่า 7.50 ปริมาณไนโตรเจนจะสูญหายไปในอากาศโดยเปลี่ยนจากรูปแอมโมเนียมเป็นแก๊สแอมโมเนีย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในวัสดุปลูกกับวัสดุที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติม พบว่า ค่าร้อยละไนโตรเจนมีค่ามากในวัสดุปลูก เนื่องจาก มีค่ากรด เบส น้อยกว่า 7.50 จึงมีการเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สแอมโมเนียได้น้อยมาก และมีปริมาณของความชื้นอยู่ในช่วงที่นำไนโตรเจนไปใช้ได้ดี

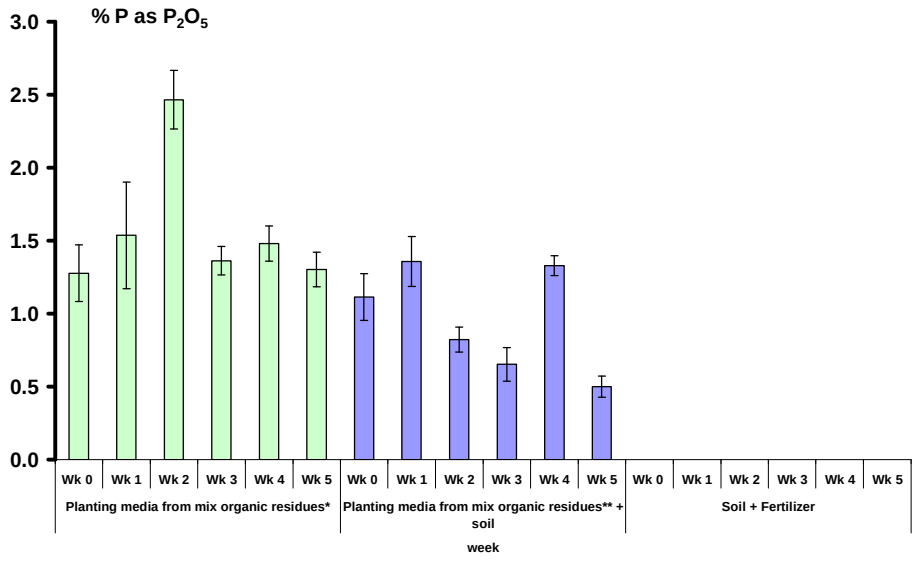


ภาพประกอบที่ 4.17 ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปลูกหญ้าชนิดต่าง ๆ ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม

2) ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในวัสดุปลูก

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ของวัสดุปลูก พบว่า มีค่าร้อยละฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในช่วง 1.28 - 2.47 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าใกล้เคียงกับวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.50 -2.74 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

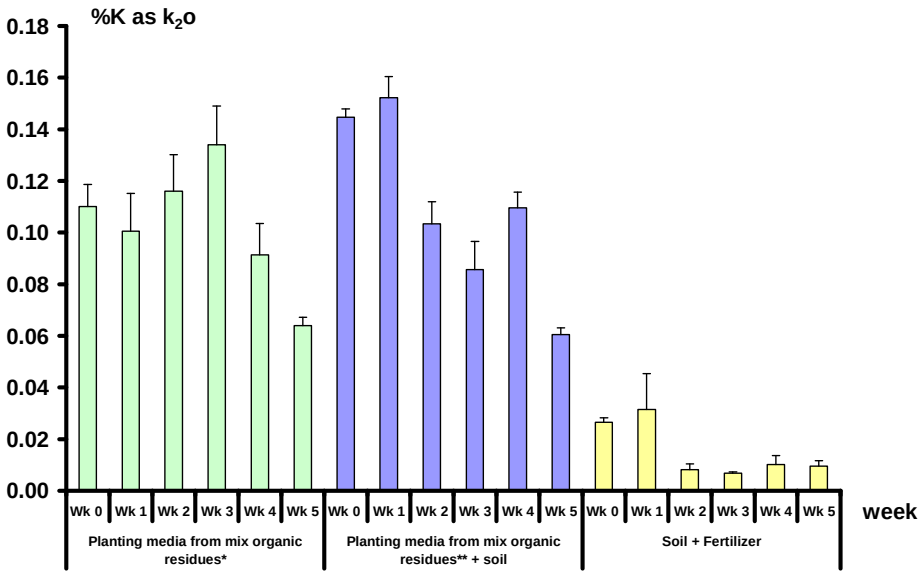
และมีมากกว่าหน้าดินเติมปุ๋ย ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดค่าได้ด้วยวิธีตามข้อ 3.3.1.2.2 จากข้อมูล Mohanty และคณะ(2006) ศึกษาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ฟอสฟอรัสจากกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำทิ้งแหล่งชุมชนอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากกว่าปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีทางการค้า จากข้อมูลการวิเคราะห์ พบว่า ในวัสดุปลูกทั้ง 2 สูตร คือ วัสดุปลูก และวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติม มีร้อยละฟอสฟอรัสสูงกว่าหน้าดินเติมปุ๋ยเคมีซึ่งมีร้อยละฟอสฟอรัสน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีตามข้อ 3.3.1.2.2 ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ พบว่ามีค่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohanty และคณะ(2006) โดยปกติพืชสามารถดูดฟอสฟอรัสได้ในรูปของอนุมูลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) และโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) ส่วนอนุมูล ออร์โทฟอสเฟต(PO_4^{3-}) นั้นพืชไม่สามารถดูดได้ และมักจะตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น แมกนีเซียมฟอสเฟต จากข้อมูลในข้อ 4.2.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณของฟอสฟอรัสในวัสดุปลูกส่วนใหญ่มาจากกากขี้แป้ง ซึ่งกากขี้แป้งส่วนใหญ่เป็นตะกอนที่อยู่ในรูปของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอตเฟต ดังนั้น การใช้ประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ยังมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อยในระยะเวลา 3 สัปดาห์และมีการนำไปใช้ประโยชน์เมื่อ 3 สัปดาห์หลังปลูก (ภาพประกอบที่ 4.18) โดยแบคทีเรียย่อยสลายสารประกอบต่าง ๆ ให้มีโมเลกุลเล็กลงและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อหญ้า จึงนำไปใช้ได้



ภาพประกอบที่ 4.18 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส (ในรูป P_2O_5) ในวัสดุปลูกหญ้าชนิดต่าง ๆ ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม

3) ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมในรูป K_2O ในวัสดุปลูก

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O ของวัสดุปลูก พบว่า มีค่าร้อยละโพแทสเซียมในรูป K_2O ในช่วง 0.06 - 0.13 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าใกล้เคียงกับวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นสารตัวเติม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.06 - 0.15 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีมากกว่าหน้าดินเติมปุ๋ย 3 ถึง 6 เท่า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.01 - 0.03 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (ภาพประกอบที่ 4.19) จากข้อมูลของ ศรีสม (2544) รายงานว่า โดยทั่วไปแล้วปริมาณโพแทสเซียมส่วนใหญ่ที่พบในพืชมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.20 - 3.50 แต่สำหรับการปลูกหญ้า ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.06 - 0.13 ก็น่าจะพอเพียงสำหรับการปลูกหญ้า เนื่องจากข้อมูลประสิทธิภาพของวัสดุปลูกให้ผลผลิตของหญ้าที่ได้คุณภาพดีกว่าปลูกในหน้าดินเติมปุ๋ยและวัสดุปลูกร่วมกับหน้าดิน และจากการแนะนำการใช้ปุ๋ยของ Brann และคณะ (2006) ได้เสนอให้ใส่ปุ๋ยหญ้านวลน้อยในลักษณะเดียวกันกับหญ้าเบอร์มิวด้า คือ ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในรูป K_2O 70 - 90 ปอนด์ ต่อพื้นที่ 1000 ตารางฟุต หรือหากเปรียบเทียบในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเมตร ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียม 0.01 กิโลกรัม แต่ในการทดลอง มีพื้นที่ 0.36 ตารางเมตร ควรใช้ ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียม 3.40 กรัม โดยใส่ปุ๋ย สูตรที่มีไนโตรเจนร้อยละ 15 ต่อ ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ร้อยละ 15 ต่อโพแทสเซียม K_2O ร้อยละ 15 ปริมาณ 22.70 กรัม ต่อพื้นที่ 0.36 ตารางเมตร ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าที่พบในวัสดุปลูกมีปริมาณของโพแทสเซียมที่ได้อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับการแนะนำของ Brann และคณะ (2006) ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่จึงสามารถที่จะปลูกหญ้าได้

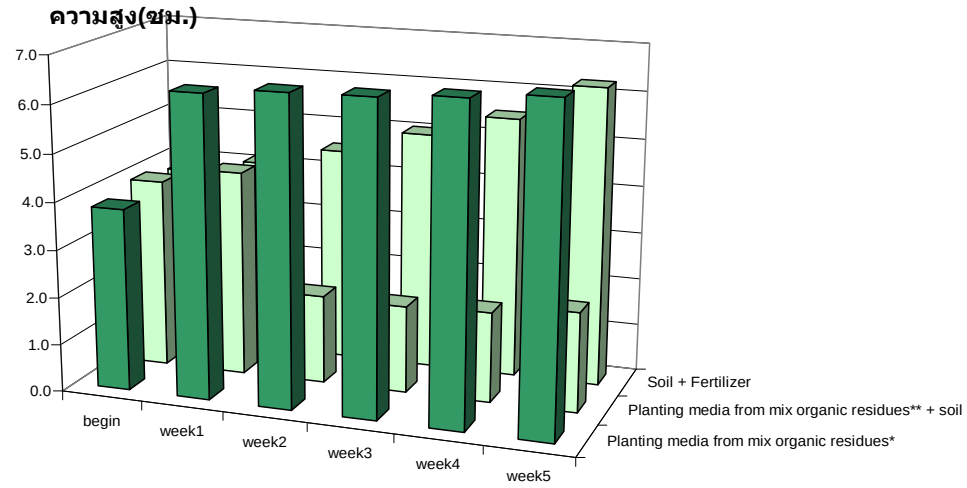


ภาพประกอบที่ 4.19 ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมในรูป K_2O ในวัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม

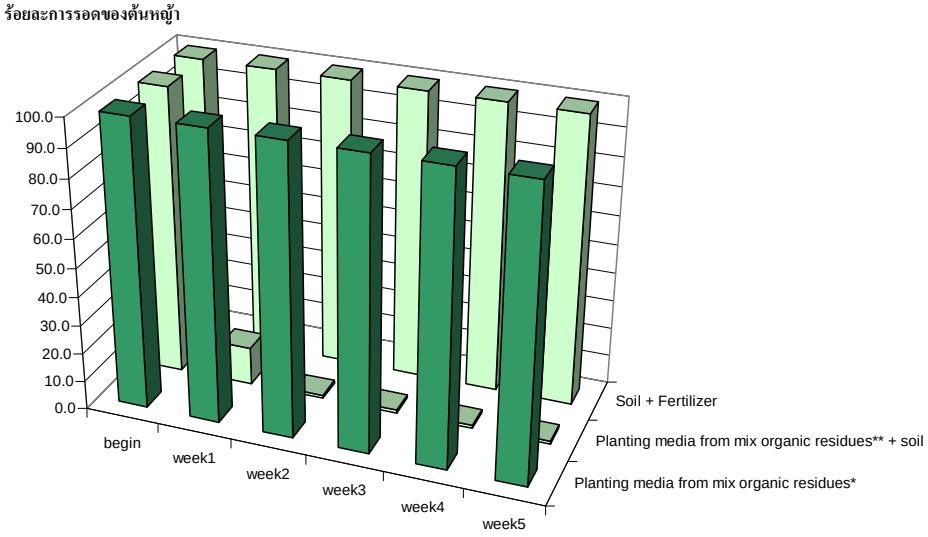
4.3.4.3 ผลการศึกษาความสูงและอัตราการรอดของต้นหญ้าในวัสดุปลูก

จากการทดสอบความสูงของต้นหญ้า เมื่อเริ่มต้น ถึง 5 สัปดาห์ พบว่า มีค่าความสูงในช่วง 3.00 - 7.40 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.07 ± 1.19 (ภาพประกอบที่ 4.20) จากรูปหญ้าสนามที่ปลูกในวัสดุปลูกที่ใช้เส้นใยปาล์มร่วมกับเศษกระดาษสำนักงานเป็นวัสดุตัวเติมมีอัตราการรอดร้อยเปอร์เซ็นต์เช่นเดียวกับหน้าดินเติมปุ๋ยซึ่งแตกต่างกับวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นวัสดุตัวเดิมมีอัตราการรอดคิดเป็นร้อยละ 1.10 (ภาพประกอบที่ 4.21) ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาด้านต่างๆ พบว่า วัสดุปลูกร่วมกับหน้าดินมีปริมาณความชื้นน้อยการนำธาตุอาหารจึงมีน้อยตามการรายงานของ Ruckauf และคณะ (2004) แต่ปริมาณธาตุอาหารที่พบมีปริมาณมากกว่าหน้าดินเติมปุ๋ยคิดเป็น 2 ถึง 3 เท่า รวมทั้งจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุปลูกร่วมกับหน้าดินมีความหนาแน่นมากกว่าวัสดุปลูกที่ใช้ร่วมกับเส้นใยปาล์มและเศษกระดาษสำนักงานในสัดส่วนที่เท่ากัน จึงมีการไหลเวียนของมวลสารได้น้อยและเกิดการสะสมของธาตุอาหารในพืชจึงทำให้หญ้าตายได้ จากการทดลองถ้าต้องการนำวัสดุปลูกไปใช้ร่วมกับดินก็ควรปรับเปลี่ยนสัดส่วนของกากอินทรีย์แต่ละประเภทให้ลดลง

อย่างไรก็ตามลักษณะทางกายภาพของวัสดุปลูกที่ใช้เศษกระดาษสำนักงานร่วมกับเส้นใยปาล์ม มีความโปร่งมากกว่าหรือมีความหนาแน่นน้อยกว่าวัสดุปลูกที่ใช้ร่วมกับดิน จึงน่าจะมีการไหลเวียนของมวลสารได้ดีกว่าวัสดุปลูกที่ใช้ร่วมกับดิน



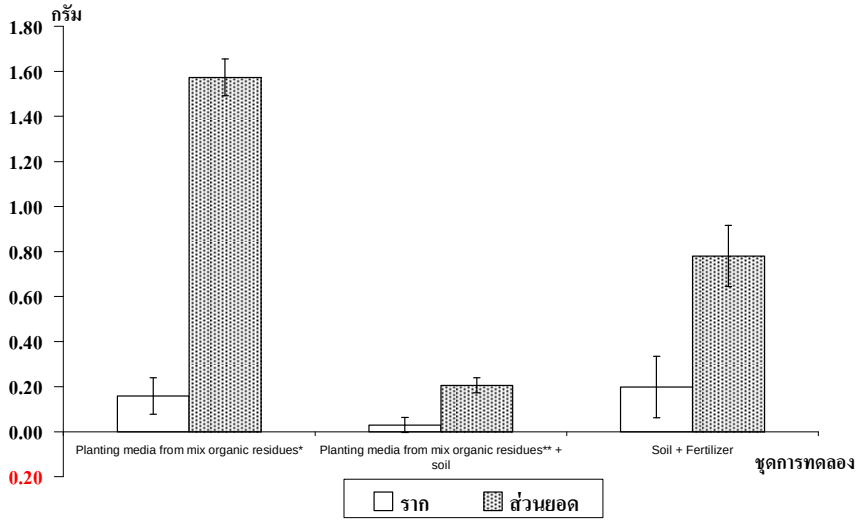
ภาพประกอบที่ 4.20 ความสูงของต้นหญ้า ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม



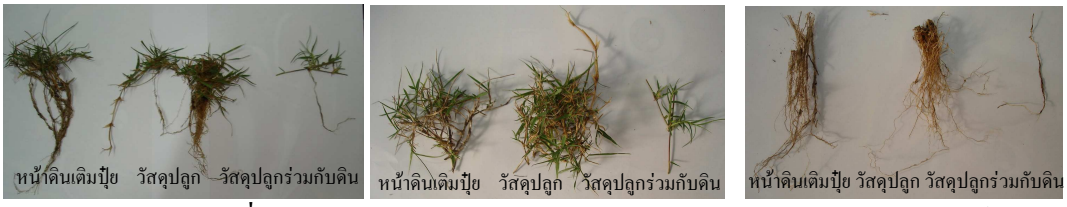
ภาพประกอบที่ 4.21 อัตราการรอดของต้นหญ้า ในเวลา 5 สัปดาห์หลังผสม

4.3.4.4 ผลการศึกษาน้ำหนักส่วนยอดและรากของต้นหญ้า

จากการทดสอบศักยภาพวัสดุปลูกที่เตรียมจากกากอินทรีย์อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ โดยทดสอบกับการปลูกหญ้านวลน้อยในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อทดสอบน้ำหนักส่วนยอดและรากของต้นหญ้า หลังปลูก 5 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยรากหญ้าที่ปลูกในดินเติมปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ±0.13 กรัม อยู่ในระดับเดียวกับวัสดุปลูกซึ่งมีค่า 0.15±0.08 กรัม และมากกว่า 5 เท่าเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นวัสดุตัวเติมเท่ากับ 0.03 กรัม (ภาพประกอบที่ 4.22) และเมื่อพิจารณาน้ำหนักส่วนยอด หญ้าที่ปลูกในวัสดุปลูกมีค่าน้ำหนัก 1.57 ±0.08 กรัม มากกว่าในหน้าดินเติมปุ๋ยและวัสดุปลูกที่ใช้หน้าดินเป็นวัสดุตัวเติม ที่มีค่าเท่ากับ 0.78 ±0.10 และ 0.21 ±0.10 กรัม (ภาพประกอบที่ 4.22) จากการทดสอบศักยภาพหญ้าที่ปลูกในหน้าดินเติมปุ๋ยมีวัชพืชขึ้นมาก ทำให้ธาตุอาหารที่มีสำหรับต้นหญ้านำธาตุอาหารไปใช้ได้น้อย เนื่องจาก การระบายอากาศและการเก็บความชื้นของวัสดุปลูก เมื่อมีการระบายอากาศไม่ดี และมีระดับความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 37. 24 ซึ่งไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกที่มีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับร้อยละ 73.47 ทำให้รากพืชและส่วนยอดเจริญได้ไม่ดีและมีร้อยละการรอดของต้นหญ้าเพียงร้อยละ 1.10 (ภาพประกอบที่ 4.23) ซึ่งจากการศึกษาของ Brown และPokomy (1975) พบว่า ปริมาณน้ำในวัสดุปลูกที่ดูดยึดไว้ได้ วัสดุปลูกที่เหมาะสมควรมีน้ำร้อยละ 30 ถึง 50 ซึ่งวัสดุปลูกร่วมกับหน้าดินมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงแต่การระบายน้ำและอากาศอาจไม่ดีจึงทำให้มีอัตราการรอดต่ำ



ภาพประกอบที่ 4.22 น้ำหนักส่วนยอดและรากของต้นหญ้าหลังปลูก 5 สัปดาห์



ภาพประกอบที่ 4.23 ลักษณะส่วนยอดและราก ของต้นหญ้า หลังปลูก 5 สัปดาห์

4.4 ประเมินต้นทุนการผลิต และความคุ้มค่าของผลการตอบแทน

การนำกากอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ในการเตรียมวัสดุปลูก จะต้องเก็บกากอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ซึ่งกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ เป็นกากอินทรีย์เหลือใช้ที่โรงงานไม่ต้องการและหาวิธีกำจัด ส่วนกากดีแคนเตอร์และเส้นใยปาล์ม มีการนำไปใช้งานมากขึ้น ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ กำหนดราคาขายกากดีแคนเตอร์อยู่ที่ 2 ถึง 3 บาทต่อกิโลกรัม และเส้นใยปาล์ม 1 ถึง 1.5 บาท ต่อกิโลกรัม จึงมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในส่วนของต้นทุน ดังนั้น จึงแนะนำให้ลดอัตราการใช้กากอินทรีย์แต่ละประเภทเหลือร้อยละ10 ต่อ 10 ต่อ 10 ต่อวัสดุตัวเติมร้อยละ 70 ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในวัสดุปลูก พบว่า มีร้อยละธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โพแทสเซียม K_2O มากกว่าหน้าดินเติมปุ๋ย 10 ถึง 20 เท่า การลดอัตราส่วนของการใช้กากอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ จะช่วยเพิ่มรายรับ เป็น 2670 บาท โดยที่ต้นทุนคงเดิมที่ 1300 บาท ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน สามารถคำนวณได้ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินทุนการผลิต และความคุ้มค่าของผลการตอบแทน

ประเภทค่าใช้จ่าย		อัตราการคิดค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (บาท)
รายจ่าย			
	ค่าวัสดุ	กากอินทรีย์จาก 1 โรงงาน ปริมาณ 500 กิโลกรัม ในการเก็บ 1 วันต่อ 1 โรงงาน	
		กากขี้แป้ง	0
		กากอุตสาหกรรมแปรรูป	0
		กากดีแคนเตอร์	0
		เส้นใยปาล์ม	0
	ค่าแรงงาน	ใช้แรงงานคน 1 คน ค่าแรงคิดเป็นวันละ 200 บาท ต่อคนต่อวัน 3 โรงงาน คิด 2 วัน	400
	ค่าขนส่ง	คิดระยะห่างจากโรงงานที่โรงงานละ 50 กิโลเมตร ไปกลับ 100 กม 3 โรงงาน	900
	ต้นทุนรวม**		1,300
รายรับ	ใช้อัตราส่วนของ	**คิดราคาขาย 1 ตรม. 30 บาท**	
	LS: FPS: PD: Additive*	กาก 3 โรงงาน โรงงานละ 500 กิโลกรัม	
	(20: 20: 20: 40)	หรือโรงงานละ 11.11กิโลกรัมต่อตารางเมตร	
		เตรียมวัสดุปลูกได้ 45 ตารางเมตร	1350
	ใช้อัตราส่วนของ		
	LS: FPS: PD: Additive*	**โรงงานละ 5.60 กิโลกรัมต่อตารางเมตร**	
	(10: 10: 10: 70)	**เตรียมวัสดุปลูกได้ 89 ตารางเมตร**	**2670**

หมายเหตุ; LS = Latex sludge, FPS = Fish processing sludge, PD = Palm Decanter, Additives* = Palm Fiber with waste office paper, ต้นทุนรวม** = ต้นทุนในกรณีไม่คิดค่าใช้จ่ายกากอินทรีย์