

การพัฒนากากอุตสาหกรรม

เป็นวัสดุปรับปรุงดิน กรณีศึกษา : ขี้เถ้า

Industrial Waste Developing for Soil Improvement Material

Case Study : Waste Bentonite

นางละเอียด สินธุเสน

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญรูป	ค
สารบัญตารางผนวก	ง
บทคัดย่อ	1
บทนำ	3
วัตถุประสงค์	6
ขอบเขตการศึกษาวิจัย	6
เอกสาร และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	13
ผลการศึกษาวิจัย	35
สรุป	44
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	63

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ชนิดและจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก 1 ไร่	11
ตารางที่ 2 การกระจายของจุลินทรีย์ในแต่ละชั้นดิน	11
ตารางที่ 3 ค่า neutralizing value ของปุ๋ยต่างๆเทียบกับปุ๋ยแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์	29
ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณแร่องค์ประกอบของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดและจีแป็ง โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD)	41
ตารางที่ 5 ชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด และจีแป็ง โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)	42
ตารางที่ 6 สมบัติทางเคมีของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด จีแป็ง และผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา	43

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1	4
เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด ก่อนใช้ฟอกสี น้ำมันพืช(รูปซ้าย) และจีแบ่งหลังใช้ฟอกสีน้ำมันพืช (รูปขวา)	
รูปที่ 2	26
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH มาตรฐานของสารละลายวูดรัฟฟ์ที่เปลี่ยนแปลง กับมิลลิกรัมสมมูลย์ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน	
รูปที่ 3	27
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงกับจำนวนกรัมของปูน แคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์	
รูปที่ 4	33
สาธิตการพัฒนารูปแบบให้ นักวิชาการสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น	
รูปที่ 5	41
กราฟแสดงชนิดแร่ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	
รูปที่ 6	47
แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตผักคะน้าด้วย“สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด.10”	
รูปที่ 7	48
แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตผักกาดหัวด้วย“สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด.10”	
รูปที่ 8	48
แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตแตงกวาด้วย“สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10”	
รูปที่ 9	49
แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังด้วย “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10”	
รูปที่ 10	49
แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วย“สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10”	
รูปที่ 11	50
แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตน้อยหน่าด้วย “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10”	

สารบัญตารางผนวก

	หน้า
ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในดินธรรมชาติ และดินจากการเกษตร	64
ตารางผนวกที่ 2 เกณฑ์การแบ่งระดับปฏิกิริยาของดิน	64
ตารางผนวกที่ 3 เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	65
ตารางผนวกที่ 4 เกณฑ์การแบ่งระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน	65
ตารางผนวกที่ 5 เกณฑ์การแบ่งระดับร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบส (%BS)	66
ตารางผนวกที่ 6 เกณฑ์การแบ่งระดับธาตุอาหารพืชในดิน	66
ตารางผนวกที่ 7 เกณฑ์การแบ่งระดับความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารพืชในดิน	67

การพัฒนากากอุตสาหกรรมเป็นวัสดุปรับปรุงดิน กรณีศึกษา : จี๋เป้ง

Industrial Waste Developing for Soil Improvement Material

Case Study : Waste Bentonite

ละเอียด สินธุเสน

บทคัดย่อ

แคลเซียมเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันพืชป่าล้มทำให้เกิดกากอุตสาหกรรม “จี๋เป้ง” จากผลการตรวจสอบพบว่า เป็นแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ซัลเฟอร์ และสังกะสี เมื่อนำมาเป็นสารตั้งต้นของการพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยการบำบัดทางเคมีปรับค่าปฏิกิริยาที่เป็นกรดรุนแรง pH 3.4 ด้วยปูน โคลโลไมด์ และพัฒนาโดยชีววิธี จากเชื้อจุลินทรีย์ “สารเร่งซูเปอร์ พด. 1” ย่อยสลายไขมัน น้ำมัน โดยใช้จี๋เป้งหนึ่งส่วนพัฒนาเป็น “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อม โทรม พด. 10” ในสัดส่วนของจี๋เป้ง:แกลบดิบ:จี๋เถ้าแกลบ:มูลวัว เป็น 1:1:1:3 โดยปริมาตร ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปฏิกิริยาเป็นกลาง pH 6.6 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงมาก มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกชนิดต่าง และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยธาตุเบสสูงมากเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่ามาตรฐาน จี๋เป้งจึงเป็นกากอุตสาหกรรมที่ควรได้รับการพัฒนาเพื่อประโยชน์ต่อภาคเกษตรกรรมต่อไป อีกทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปนเปื้อนปริมาณธาตุโลหะหนักน้อยมากซึ่งสามารถฟื้นฟูพื้นที่ดินทรายและดินเสื่อม โทรมของประเทศไทยได้มากถึง 12,769,833 ไร่

Abstract

The activated Calcium-bentonite for refining vegetable oils, especially palm oils that produce "Waste bentonite". The result of analysis reveal that the waste bentonite are montmorillonite mineral and its components are oxide of Si Al K P Ca Mg Mn S and Zn. This waste bentonite are used as initial substance for soil improving material by neutralizing its strongly acidity pH 3.4 with dolomite and demolish fat and oil by biological process of microorganism in "Supper LDD I" for developing to "The Sandy Soil Improving Material LDD10", in ratio of waste bentonite:rice husk:rice husk ash:manure equal to 1:1:1:3 by volume. This product has neutral reaction pH 6.6 and has highly content of organic matter, available P K Ca Mg Mn Cu Zn and Fe include high CEC and base saturation percentage. Hence, for agricultural purpose, the developing of the waste bentonite which are below in heavy metal contamination can improve the quality of sandy soil and degraded soil which occupy 12,769,833 rai of Thailand.

บทนำ

ปัจจุบันน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในโลก โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 5.95 ต่อปี (พ.ศ. 2549-2554) คิดเป็นร้อยละ 36.93 ของการผลิตน้ำมันพืชทั้งหมดของโลก ประเทศที่มีการผลิตน้ำมันปาล์มมากที่สุดในโลก คือ ประเทศอินโดนีเซีย มีปริมาณการผลิต 25.40 ล้านตัน รองลงมา คือประเทศมาเลเซีย มีปริมาณการผลิต 18.70 ล้านตัน หรือคิดรวมกันเป็นร้อยละ 87.21 ของปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มของโลก ประเทศไทยแม้มีปริมาณการผลิตมากเป็นอันดับ 3 ของโลกถึง 1.45 ล้านตันหรือคิดเป็นร้อยละ 2.87 ของปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มของโลก แต่ปริมาณการบริโภคน้ำมันปาล์มภายในประเทศ ปี พ.ศ. 2554 ก็มากเป็นอันดับ 9 ของโลก กล่าวคือ 1.135 ล้านตัน ประกอบกับความต้องการเพื่อนำน้ำมันปาล์มผลิตไบโอดีเซลจึงเป็นแรงผลักดันให้แนวโน้มการบริโภคเพิ่มขึ้นอัตราเฉลี่ยร้อยละ 48.26 ต่อปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556) ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มแม้ได้น้ำมันปาล์มดิบทั้งส่วนที่เป็นของเหลวสีส้มแดง (Crude palm oil olein) และส่วนที่เป็นไขสีเหลืองส้ม (Crude palm oil stearin) แต่ก็ยังไม่สามารถใช้บริโภคได้โดยตรงต้องผ่านกระบวนการการกลั่นบริสุทธิ์จึงจะได้น้ำมันปาล์มที่มีคุณสมบัติเพื่อการบริโภค(กรมวิชาการเกษตร, 2554) ซึ่งขั้นตอนที่มีความจำเป็นและสำคัญยิ่ง คือ การเติมเบนทอไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดให้ทำหน้าที่เป็นตัวกรอง คูดซ์บกลั่น สิ่งปนเปื้อนที่มี รวมถึงการฟอกสี จึงจะได้น้ำมันปาล์มที่มีสีใสคงที่เพื่อบริโภค ส่วนเบนทอไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซึ่งเดิมมีลักษณะเป็นผงแป้งสีขาวนวล(รูปที่ 1 ซ้าย) มีน้ำหนักเบาจะเปลี่ยนสภาพเป็นผงแป้งสีเขียวดำคล้ำ มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากคูดซ์น้ำมันไว้ และไม่คูดซ์น้ำ (รูปที่ 1 ขวา) มีกลิ่นเหม็น ซึ่งหลังสิ้นสุดกระบวนการจะถูกกองทิ้งสะสมไว้กลางแจ้ง จึงเป็นที่มาของกากอุตสาหกรรม “จีแป้ง” ที่กล่าวถึง



เบนทอไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด
ก่อนใช้ฟอกสีน้ำมันพืช

ซีแปง
หลังใช้ฟอกสีน้ำมันพืช

รูปที่ 1 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเบนทอไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด ก่อนใช้ฟอกสีน้ำมันพืช (รูปซ้าย) และซีแปง หลังใช้ฟอกสีน้ำมันพืช (รูปขวา)

โดยที่ผ่านมามากอุตสาหกรรมน้ำมันพืชยังไม่มียุทธศาสตร์กำจัดซีแปงอย่างถาวร นอกจากกองทิ้งสะสมไว้กลางแจ้ง และรดน้ำให้เปียกชุ่ม เพื่อป้องกันไม่ให้ถึงจุดวาบไฟของน้ำมันที่ดูดซับไว้ที่จะทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้ และสภาพกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมันได้สร้างมลภาวะทางอากาศให้กับสภาพแวดล้อมรอบด้าน รวมถึงคราบน้ำมันที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำข้างเคียงเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนี้ดินและแหล่งน้ำได้เปลี่ยนสภาพเป็นกรดจัดกระทบต่อระบบการเกษตร สภาพปัญหาดังกล่าวนี้ Adel Y. Girgis(2005) รายงานว่าพบในประเทศอียิปต์เช่นกัน ขณะที่ Foletto et al.(2002) รายงานว่า การผลิตน้ำมันพืชมากกว่า 60 ล้านตันทำให้มีซีแปงมากกว่าหนึ่งล้านตันที่มีสภาพเป็นกรด และดูดซับน้ำมันไว้ร้อยละ 30-40 ในทำนองเดียวกัน สุจินต์ (ม.ป.ป.) ก็ได้รายงานไว้ว่า ประเทศไทยนำเข้าเบนทอไนด์(ดินฟอกสี)มากมายทั้งในรูปแบบเบนทอไนด์ธรรมชาติ และที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งจุดเจาะน้ำมัน การหล่อโลหะ เซรามิก ฟอกหนัง เครื่องสำอาง ยาฆ่าแมลง ทำกระดาษ อุตสาหกรรมสี รวมถึงอุตสาหกรรมน้ำมันพืชซึ่งทำให้เกิดซีแปงปริมาณมาก โดยเฉพาะการผลิตน้ำมันพืชจากปาล์มจะมีซีแปงมากกว่าน้ำมันพืชอื่นๆ เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีสิ่งปนเปื้อนที่ต้องกำจัดมากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ โดยของเหลือทิ้งที่เป็นกากผลปาล์ม ทะลายปาล์ม

กะลาปาล์มเป็นที่รู้จักและนำไปทำปุ๋ยหมัก แต่จี้แ่งยังไม่เป็นที่รู้จัก จึงไม่มีการศึกษานำไปพัฒนา แต่อย่างใด ซึ่งการผลิตน้ำมันพืชมีมากเท่าใดก็จะมีจี้แ่งมากตามมาด้วย โดยมีลักษณะเป็นกรด รุนแรง(pH 3.4) ไม่ดูดซับน้ำ แต่ดูดซับน้ำมันและสารอินทรีย์ไว้มาก มีกลิ่นหืนของน้ำมันและไขมัน ซึ่งจี้แ่งก็คือ แคลเซียมเบนทอไนต์ หรือแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีสมบัติมีประจุลบ ที่ผิว และความจุอุ้มน้ำสูงแต่ถูกนำมากระตุ้นด้วยกรดเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันพืช การที่นำจี้แ่งมาพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อประโยชน์ทางภาคการเกษตรโดยปรับสภาพความเป็นกรด และลักษณะที่ไม่ดูดซับน้ำให้หมดไปได้ นอกจากจะได้วัสดุปรับปรุงดินแล้ว ยังสามารถกำจัดขยะมลพิษให้หมดไป และนำไปสู่กระบวนการผลิตแบบไร้ของเสีย((Zero waste) ก่อให้เกิดมูลค่าจากขยะเปลี่ยนเป็นทุนทรัพยากรทางดินอย่างยั่งยืน สามารถพัฒนาดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ได้ตามนโยบายของกรมพัฒนาที่ดินต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการพัฒนาแปรรูปชี้แข็ง ซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมจากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชปาล์ม โดยวิธีพัฒนาทางเคมี และพัฒนาโดยชีววิธี ในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

ขอบเขตการศึกษาวิจัย

นำกากอุตสาหกรรมเฉพาะชี้แข็งจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืชปาล์ม ของบริษัท มรกต อินคัสตรีส์ จำกัด(มหาชน) ซึ่งผลิตน้ำมันพืชปาล์มมรกต จังหวัดสมุทรปราการ มาพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

เอกสาร และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ดินฟอกสีเป็นสารที่มีความจำเป็นและสำคัญยิ่งในลำดับขั้นตอนแรกๆของกระบวนการผลิตน้ำมันพืชตามที่ Mag(1990) และ Michenl et al.(1992) รายงานซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Brimberg(1982); Young(1987); Kalam and Joshi(1988) และ Topallar(1998) ที่ต่างก็รายงานเช่นเดียวกันว่า ดินฟอกสีถูกนำมาใช้ทุกครั้งที่มีการผลิตน้ำมันพืช เพื่อฟอกสีของน้ำมันปาล์มดิบ จากสีแดงส้มของสารแคโรทีน(Carotenoids)ที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันปาล์มให้เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน หรือดูดซับรงควัตถุ(Pigment) และสารตกค้างอื่นๆ รวมถึงสารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ในรูปละลายน้ำ และที่ไม่ละลายน้ำ คลอโรฟิลล์ สบู่ที่ละลายอยู่ในน้ำมันที่มีสถานะเป็นกลาง (Alexanian,1939; Guillaumin and Pertiniost,1968; Mokoya and Jones,1993) ซึ่ง Waldmann and Eggers(1991) พบว่า แร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์(Montmorillonite)เป็นสารตั้งต้นที่ดีที่สุดที่จะกระตุ้นด้วยกรด เพื่อใช้เป็นดินฟอกสี โดยที่ Segers(1992) พบว่า ดินฟอกสีโดยทั่วไปโครงสร้างภายในของผลึกจะมีองค์ประกอบเชิงซ้อนของซิลิกาและอลูมินัม โดยที่ Kaufmann(1968) และ Hoffmann(1989) ต่างก็มีความเห็นสอดคล้องกันว่า ดินฟอกสีสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มดินเหนียวที่มีประสิทธิภาพโดยธรรมชาติ และกลุ่มที่ได้โดยวิธีการอื่นๆ จากการศึกษาของ Taylor and Jenkins (1986) ก็พบว่า การกระตุ้นเบนทอไนต์ด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) หรือกรดเกลือ(HCl) ต่างก็ทำให้การฟอกสีดีขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ เกศินี (2537); สุขเมธา(2538); ศิริพร(2541); Kheok and Lim(1982); Morgan et al.(1985); Srasra et al.(1989) ; Waldmann and Eggers(1991) และ Gonzalez-Pradaz et al.(1993) ต่างก็ระบุว่า การแลกเปลี่ยนประจุภายในโครงสร้างของโมเลกุลของแร่เบนทอไนต์ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวก แคลเซียม และแมกนีเซียมที่อยู่ภายในช่องว่างของโมเลกุล กับประจุบวกไฮโดรเจนของกรด นอกจากนี้กรดยังไล่ที่ประจุบวกของอลูมินัม เหล็ก และแมกนีเซียมภายในช่องว่างของเบนทอไนต์

ให้ออกไปด้วย จึงทำให้เกิดช่องว่างภายในระหว่างโมเลกุลของเบนทอไนต์ และประจุบวกไฮโดรเจนจากกรดเข้าไปเกิดพันธะทางเคมีภายในโมเลกุลทำให้ช่องว่างภายในโมเลกุลมีประจุ active มากกว่าเดิม สามารถที่จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารสีที่ต้องการกรองกับแร่เบนทอไนต์ หรือ มีคุณสมบัติในการกรองสีดีขึ้น ดังสมการ



ซึ่งงานวิจัยของ Wesselink et al.(1996) ก็พบว่า ปฏิกริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอินทรีย์สารกับอลูมิเนียมประจุบวก (Al^{+3}) จะมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า pH มีค่าต่ำกว่า 5.0 ขณะที่ Chenu and Stotzky(2002) พบว่า ระยะเวลาของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างคาร์บอนที่มีอยู่ในอินทรีย์วัตถุกับอนุภาคแร่ดินเหนียวจะขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียวนั้น ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเหนียวและลักษณะของผิวหน้าผลึกทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธะคาร์บอนใน Carboxylate group ซึ่งมีปริมาณมากในอินทรีย์วัตถุจะทำให้เกิดแรงยึดเกาะที่แข็งแกร่งกับผิวหน้าของผลึกแร่ดินเหนียว ส่วนการเกิด Organo-clay complexes ที่ pH 4.5 Buondonno et al. (1989) พบว่า มีผลทำให้การสะท้อนของรังสีเอกซ์บนผิวหน้าผลึกลดลง ความคมชัดของพีค(Peak)ลดลงด้วย(Broad peak) Tisdall and Oades (1982) ระบุว่า การยึดเกาะกันระหว่าง Trivalent metal cations (Al และ Fe) จากแผ่นโครงสร้างอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ของแร่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ล้อมรอบด้วยกรดอินทรีย์ ได้แก่ Citric , Tannic หรือ Humic acid จะทำให้เกิดเม็ดดินที่เสถียรระหว่างแร่ดินเหนียวกับโมเลกุลของอินทรีย์วัตถุ Adel Y. Girgis (2005) ได้รายงานไว้ว่า รอบปี ค.ศ. 2001-2002 อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันและไขมันเป็นอาหารบริโภคของประเทศอียิปต์ประมาณการว่า 650,000 ตันจะต้องนำเข้าดินฟอสฟอรัสถึง 6,500-13,000 ตันจากประเทศจีน เยอรมัน และอินโดนีเซีย แม้ในกระบวนการการกลั่นจะใช้ดินฟอสฟอรัสเพียงร้อยละ 1-2 ของน้ำหนักน้ำมันดิบก็ตาม แต่ชี้แจงได้ก่อนมลพิษสิ่งแวดล้อม

มากมาย แม้ก่อนหน้านี้อ Aderson (1996) ได้เสนอแนะการนำขี้เป่งไปใช้ในอุตสาหกรรมยางแอสฟัลท์ อุตสาหกรรมสิ่งยัดเหนียวซีเมนต์ และถนนแล้วก็ตาม ในขณะที่ RMRDC(1990,1991) และ Aribisala(1993) ก็รายงานว่า พบแหล่งแร่เบนท์ไนด์ที่สามารถสำรองใช้ในเชิงพาณิชย์มากถึง 700 ล้านตันทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไนจีเรีย ได้แก่ รัฐ Borno Yola Adamawa และ Taraba แม้ James (2005) จะรายงานต่อมาว่าเป็นแคลเซียมเบนท์ไนด์ที่มีคุณภาพต่ำก็ตาม ขณะที่ Kalam and Joshi (1988) รายงานผลสำรวจ พบว่า การจดสิทธิบัตรวิธีเพิ่มประสิทธิภาพของเบนท์ไนด์เป็นดินฟอกสีมีเพิ่มมากขึ้น สุจินต์ (ม.ป.ป.) ระบุว่า ประเทศไทยนำเบนท์ไนด์มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมากมาย ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ เพราะพบแร่ชนิดนี้น้อยมากในประเทศไทย จากแนวโน้มความต้องการผลิตไบโอดีเซลมีเพิ่มขึ้นจึงเป็นแรงผลักดันให้ขี้เป่งมีเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จึงจำเป็นต้องหาแนวทางจัดการขี้เป่งดังกล่าว ซึ่งอาจกระทำโดยนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่(Reuse หรือ Recycle หรือ Recovery)หรือการบำบัด(Treatment)หรือการกำจัด(Disposal) (สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม,2556) แต่ Adel Y. Girgis, 2005 ก็รายงานว่า ขี้เป่งที่นำกลับมาใช้ใหม่ แม้มีประสิทธิภาพฟอกสีได้ดีใกล้เคียงกับแร่เบนท์ไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดที่นำเข้ามาจากต่างประเทศก็ตาม แต่ก็มีข้อจำกัดจำนวนครั้งที่สามารถใช้ฟอกสี และยังขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชนั้นๆด้วย การศึกษาพัฒนาครั้งนี้มุ่งเน้นวิธีบำบัดขี้เป่งทางเคมีและชีววิธี โดยวิธีทางเคมีเป็นการบำบัดค่าปฏิกิริยาให้เป็นกลางหรือกรดอ่อนด้วยวัสดุที่เป็นด่าง คือ ปูนโดโลไมต์ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมี $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ มีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์(CaO) ร้อยละ 30.4 แมกนีเซียมออกไซด์(MgO) ร้อยละ 21.7 และคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) ร้อยละ 47.9 หรือ สัดส่วนของ $\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3$ ประมาณ 1:1 ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ปานกลาง (Harvey and Warren, 1989) โดยที่ Fidalski and Auler(1997) และ Fidalski et al.(1999) ต่างก็รายงานว่า ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม เป็นธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญสูงสุดในการเพิ่มผลผลิตส้มเพื่อการส่งออก

ของประเทศบราซิล และผลผลิตส้มจะแปรผันตามลักษณะการขาดธาตุแคลเซียม แมกนีเซียมที่แสดงอาการออกที่ใบ เมื่อแก้ไขอาการขาดธาตุดังกล่าวด้วยปูนโดโลไมต์ ก็พบว่า ปริมาณธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม ที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลผลิตที่ได้รับ ขณะเดียวกัน Verlengia and Gargantini (1992) พบว่า การใส่โดโลไมต์ ทำให้ค่าปฏิกิริยาของดินเพิ่มขึ้น การขจัดน้ำมันที่ขี้เป้งดูดซับไว้มากโดย ชิววิธี นำเชื้อจุลินทรีย์จาก “สารเร่งซูเปอร์ พด.1” มาบำบัดด้วยมีลักษณะเด่นคือ เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือเซลลูโลส (Cellulolytic Microorganisms หรือ Cellulolytic Decomposers) และย่อยสลายเศษซากพืชที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นส่วนประกอบ โดยมีออกซิเจนเป็นตัวเร่งกิจกรรม (ฉวีวรรณ และคณะ, 2550) ซึ่ง Michigan Premier Resource For Grower Education (2013) ระบุว่าอิทธิพลที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มประชากรจุลินทรีย์ในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความชื้น อุณหภูมิ อินทรีย์วัตถุ ค่าปฏิกิริยาของดิน ออกซิเจนในดิน ฯลฯ สอดคล้องตามที่บัญญัติ (2522) รายงานว่าจุลินทรีย์ในดินโดยทั่วไปจะแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน แร่ธาตุ สารอินทรีย์ในดิน และความชื้นของดิน โดยระบุว่าดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก 1 กรัมสามารถพบ ชนิดและประชากรจุลินทรีย์ในดินมีชนิดและปริมาณต่างกัน(ตารางที่ 1) นอกจากนี้ วิทยา(2526) พบว่า การกระจายของจุลินทรีย์แต่ละชนิดในแต่ละหน้าตัดดิน(Soil profile)ก็มีปริมาณแตกต่างกัน(ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ชนิดและจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก 1 กรัม

ชนิดของจุลินทรีย์	จำนวนประชากรจุลินทรีย์ (เซลล์)
แบคทีเรีย	15,000,000
แอกติโนมัยซีต	700,000
เชื้อรา	400,000
สาหร่าย	50,000
โปรโตซัว	30,000

ที่มา : บัญญัติ(2522)

ตารางที่ 2 การกระจายของจุลินทรีย์ในแต่ละชั้นดิน

ชั้นดิน	ความลึก (เซนติเมตร)	จำนวนจุลินทรีย์ต่อดินแห้ง 1 กรัม X 10 ³				
		แบคทีเรีย		แอกติโนมัยซีต	เชื้อรา	สาหร่าย
		Aerobic	Anerobic			
A1	3-8	7,800	1,950	2,080	119	25
A2	20-25	1,800	379	245	50	5
A2-B1	35-40	472	98	49	14	0.5
B1	65-75	10	1	5	6	0.1
B2	135-145	1	0.04	-	3	-

ที่มา : วิทยา(2526)

ส่วนการใช้มูลสัตว์แห้ง(มูลโค)ในการพัฒนาปุ๋ยเป็้ง นอกจากจะเป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนแล้ว ยังประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลสที่จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องรวดเร็ว โดยปัจจัยด้านกายภาพได้แก่ เนื้อดิน ขนาดช่องว่าง โครงสร้างของดินก็มีความสำคัญยิ่งต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Scow, 2013) สอดคล้องตามรายงานของสรินทร์(2555) ว่า แกลบดิบ ขี้เถ้า แกลบใช้ผสมกับดินและปุ๋ยหมักทำให้ดินร่วน ช่วยดูดซับความชื้นไว้ในดิน ซึ่งผลการศึกษาของ

Soda et al.(2006) พบว่า การใช้ซีพีแ่งจากน้ำมันปาล์ม แกลบดิบ ซีพีแ่งแกลบ และมูลไก่ ในสัดส่วน 1:1:1:3 โดยปริมาตร เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินทราย สามารถทำให้ค่าปฏิกิริยาของดิน ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ ปริมาณดินเหนียว และความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารของดินเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของดินลดลง ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินเพิ่มขึ้นด้วย

วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

1 เครื่องมือ อุปกรณ์

- 1.1 เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 30020
 - 1.2 เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 1480
 - 1.3 เครื่อง pH-meter ยี่ห้อ Beckman
 - 1.4 เครื่อง Flame Photometer ยี่ห้อ Corning รุ่น 410
 - 1.5 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น 2380
 - 1.6 เครื่อง Inductively Couple Plasma (ICP) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Optima 2100 DV
 - 1.7 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Lambda 35
 - 1.8 เครื่องชั่ง ยี่ห้อ Mettler รุ่น Scout Pro มีความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง และ เครื่องชั่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น AC 210S มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 - 1.9 เครื่องเขย่า ยี่ห้อ New Brunswick รุ่น Innova 2300
 - 1.10 Water bath ยี่ห้อ Memmert
 - 1.11 เครื่องเหวี่ยงตะกอน ยี่ห้อ Labofuge รุ่น 300
 - 1.12 เครื่องบด Spectromill ยี่ห้อ Retsh รุ่น MÜSLE MS
 - 1.13 เครื่องอัด Spex hydraulic press รุ่น 7703s25
 - 1.14 เครื่องสกัดไขมัน ยี่ห้อ FOSS TECATER รุ่น Soxtec 2050
 - 1.15 ชุดสกัดระบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Centurion รุ่น 24-03
 - 1.16 เครื่องแก้วชนิดต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- ### 2 วัสดุ สารเคมีชนิดรีเอเจนท์เกรด และวิธีเตรียม
- 2.1 น้ำมันจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม 1 ส่วนโดยปริมาตร
 - 2.2 แกลบดิบ 1 ส่วนโดยปริมาตร
 - 2.3 เถ้าแกลบ 1 ส่วนโดยปริมาตร
 - 2.4 มูลสัตว์แห้ง(มูลโค) 3 ส่วน โดยปริมาตร

- 2.5 น้ำหนักปูนโดโลไมต์ตามค่าวิเคราะห์ความต้องการปูนของจีแปงในห้องปฏิบัติการ
- 2.6 เชื้อจุลินทรีย์ “สารเร่งซูปเปอร์ พด.1” จำนวน 1 ชอง
- 2.7 น้ำสะอาด
- 2.8 โซเดียมไดไทโอไนต์ (Sodium dithionite, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)
- 2.9 กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 95-98 ความถ่วงจำเพาะ 1.84
- 2.10 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เข้มข้นร้อยละ 37 ความหนาแน่น 1.19
- 2.11 กรดไนตริก (Nitric acid, HNO_3) เข้มข้น
- 2.12 กรดเปอร์คลอริก (Perchloric acid, HClO_4) เข้มข้น
- 2.13 Petroleum ether
- 2.11 แอมโมเนียม โมลิบเดต (Ammonium molybdate, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)
- 2.12 Diethylene triaminepenta acetic acid (DTPA)
- 2.13 Ammonium acetate (NH_4OAc)
- 2.14 Ammonium chloride (NH_4Cl)
- 2.15 สารละลายโซเดียมซิเตรต (Sodium citrate, $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}$) ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ โดยละลายโซเดียมซิเตรต 77.418 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
- 2.16 สารละลายโซเดียมไบคาร์เนต (Sodium bicarbonate, NaHCO_3) ความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล โดยละลายโซเดียมไบคาร์เนต 84.007 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
- 2.17 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 49.0308 กรัมผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
- 2.18 สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate, $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล โดยละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 196.07 กรัม และเติม 25 มิลลิลิตรของกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 95-98 ความถ่วงจำเพาะ 1.84 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

2.19 สารละลาย 0.025 โมลลาร์ 1,10 Phenanthroline ferrous sulfate โดยละลาย เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.7 กรัมในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร และ 1.48 กรัม ของออร์โทฟีแนนโทรีน (1,10 Phenanthroline, $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2$) ในแอลกอฮอล์ 5 มิลลิลิตร เทสารละลายทั้งสองผสมกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.20 สารละลายสีกัด Bray II (เตรียมได้จากแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium fluoride, NH_4F) ความเข้มข้น 0.03 นอร์มอล, กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล) (Bray and Kurtz, 1945) โดยละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 1.1111 กรัม และปิเปตกรดไฮโดรคลอริก 0.83 มิลลิลิตรเจือจางในน้ำกลั่น ผสมสารละลายทั้งสองรวมกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ ปริมาตร 1 ลิตร

2.21 สารละลายบัฟเฟอร์ของวูดรUFF (เตรียมได้จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium, NaOH) ความเข้มข้น 0.03 นอร์มอล, แคลเซียมอะซิเตต (calcium acetate, $\text{Ca}(\text{OAc})_2$ ความเข้มข้น 0.50 นอร์มอล , พาราไนโตรฟินอล (4 Nitrophenol, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$) ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล) (Woodruff, 1947) โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.2 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เพื่อใช้ละลายแคลเซียมอะซิเตต 40.0 กรัม (แคลเซียมอะซิเตตจะละลายง่าย ไม่ฟุ้งกระจาย และไม่ใช่อนุภาคแขวนลอย) และละลาย พาราไนโตรฟินอล 8.0 กรัมด้วยน้ำกลั่นต้มที่มีอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียสโดยประมาณ 100 มิลลิลิตร เทสารละลายทั้งหมดใส่ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาดปริมาตร 1 ลิตร เติมน้ำกลั่น ให้มีปริมาตร 900 มิลลิลิตรโดยประมาณ เขย่าให้เป็นสารละลายเดียวกัน ทิ้งให้เย็น ปรับค่าปฏิกิริยา ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้ให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง หรือ กรดอะซิติกเจือจางจนได้สารละลายบัฟเฟอร์เป็นกลาง ($\text{pH}=7.00$) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ ปริมาตร 1 ลิตร

3 การทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ตรวจสอบทางแร่ เคมี และธาตุโลหะหนักของซีเมนต์และเบนทอนไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด(ยังไม่ได้ใช้ฟอสฟอรัส)

3.1.1 ตรวจสอบชนิด และปริมาณแร่ประกอบโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์(X-ray Diffraction : XRD)(Jackson, 1965a; Whittig, 1965)

ซีเมนต์ใส่หลอดเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge tube) ขนาด 100 มิลลิลิตรหลอดละ 10 กรัมจำนวน 2 หลอด ตวง 50 มิลลิลิตรของ Petroleum ether ใส่หลอดเหวี่ยงตะกอน แต่ละหลอด คนด้วยแท่งแก้วแล้วนำไปอุ่นบน Water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คนด้วยแท่งแก้วบ่อยๆ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อละลายส่วนของน้ำมันและไขมันออกจากซีเมนต์ แล้วนำไปเหวี่ยงตะกอน เก็บตะกอนซีเมนต์ไว้ กระทำซ้ำอีก 1-2 ครั้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำซีเมนต์ที่สกัดน้ำมันและไขมันแล้ว 1 หลอดไปกำจัดเหล็กออกไซด์อิสระด้วยวิธี Dithionite-Citrate-Bicarbonate (Mehra and Jackson, 1960) และซังเบนทอนไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด 10 กรัมใส่หลอดเหวี่ยงตะกอน อีก 1 หลอด เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรใส่หลอดเหวี่ยงตะกอนทั้ง 3 หลอดในสัดส่วน 1:1 คนด้วย Polishman rubber จนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมดมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน(Paste) จากนั้นป้ายลงบนสไลด์แก้วด้วย Spatula ให้ผิวหน้าเรียบบางสม่ำเสมอมากที่สุด ทิ้งไว้ให้แห้ง นำเข้าเครื่องวิเคราะห์โดยเทคนิค X-Ray Diffraction ซึ่งมีโคบอลต์เป็น Radiator และเหล็กเป็น Filter ตั้ง Tube potential ที่ 25 กิโลวัตต์ กระแสไฟฟ้า 17 แอมแปร์ ความเร็วในการเอียงของสไลด์ (2 θ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 องศาต่อ 1 นาที เริ่มตั้งแต่ค่า 2 θ เท่ากับ 4 องศา จนกระทั่งถึง 40 องศา (อัญชลี, 2534) นำพีค (Peak)ของแร่ต่าง ๆ ที่ปรากฏไปคำนวณหาค่า Diffraction spacing ของแต่ละพีคก็จะทราบชนิดของแร่ดินเหนียนั้นๆโดยใช้ Bragg equation และเปรียบเทียบกับแร่มาตรฐาน(Whittig, 1965)

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$$

- n คือ Order of reflection ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1
- λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ สำหรับ Co K α มีค่าเท่ากับ 1.78890 Å
- d คือ Diffraction spacing ของแร่
- θ คือ มุมที่เกิดการเลี้ยวเบน

3.1.2 ตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบ โดยเทคนิค X-ray Fluorescence :

XRF(Angela,1982)

นำซีเมนต์และเบนทอนไนต์ที่ถูกระดมด้วยกรดตัวอย่างละ 10 กรัมไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น(Desiccator) นำแต่ละตัวอย่างไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด Spectromill ชั่ง 5 กรัมของแต่ละตัวอย่างใส่ด้วยอลูมิเนียมพร้อมปาดผิวหน้าให้เรียบ นำไปเข้าเครื่องอัด Spex hydraulic press อัดดินด้วยแรงดัน 10 ตันต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 วินาที จะได้ตัวอย่างขึ้นรูปเป็นเม็ด (Pellet) นำแต่ละ Pellet ที่ได้ใส่ช่องรับตัวอย่างของเครื่อง X-ray เปิดเครื่อง X-ray ปรับแก๊สอาร์กอนตามคู่มือประจำเครื่อง ใช้คำสั่งผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์เปิดเครื่อง X-ray และวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ของธาตุต่างๆแต่ละธาตุ โดยมีหน่วยของความเข้มของรังสีเอกซ์เป็น Kilo count per second (Kcps) ที่ความยาวคลื่นของแต่ละธาตุ คำนวณปริมาณของธาตุ จากสูตร

$$C = D + ER$$

- C คือ ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ มีหน่วยเป็นร้อยละ หรือมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- R คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์ มีหน่วยเป็น Kcps
- E, D คือ ค่า Slope และ Intercept ตามลำดับ

3.1.3 ตรวจสอบสมบัติทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

3.1.3.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง(Peech, 1965)

ชั่งจี๊แป้ง 10 กรัมใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิเปิดน้ำกลั่นใส่ 10 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วให้เปียกทั่วถึง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ปรับเทียบมาตรฐานของเครื่อง pH-meter ด้วยสารละลายมาตรฐาน pH 4.00 และ 7.00 วัด pH ของสารละลายจี๊แป้ง บันทึกค่า pH ของสารละลายของจี๊แป้ง

3.1.3.2 วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black, 1947)

ชั่งจี๊แป้งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง 0.0200 กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปิดสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 10 มิลลิลิตรใส่จี๊แป้ง เขย่าด้วยมือเบาๆให้จี๊แป้งเปียกทั่วถึง เติมกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 95-98 จำนวน 25 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน(Oxidation-reduction) เขย่าเบาๆ (ขั้นตอนนี้จะต้องปฏิบัติการในตู้ดูดควัน)ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ 30 นาที ค่อยๆ ฉีดล้างข้างขวดด้วยน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 75-100 มิลลิลิตร โดยประมาณ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ดิเตรทปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 นอร์มอล มี 1,10 Phenanthroline ferrous sulfate 0.025 โมลลาร์เป็นตัวชี้จุดยุติของปฏิกิริยาซึ่งจะได้ตะกอนสีส้มแดง คำนวณร้อยละของอินทรีย์วัตถุ จากสูตร

$$\% \text{ OM} = \frac{N(B-S)}{B} \times (0.6717/DS) \times 10$$

เมื่อ N คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

B คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ดิเตรทกับ Blank(วิธีการเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีตัวอย่าง)

S คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ดิเตรทกับสารละลายตัวอย่าง

DS คือ น้ำหนักจี๊แป้งที่ผ่านการอบไล่ความชื้นที่ 105 องศาเซลเซียส

3.1.3.3 วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Bray and Kurtz, 1945)

ชั่งน้ำแบ่ง 1.0 กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตรสกัดด้วย สารละลายสกัด Bray II 10 มิลลิลิตร(สัดส่วน 1:10) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 1 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้เจือจางด้วย Bray II และพัฒนาให้เกิดสีด้วยสารละลายแอมโมเนียม โมลิบเดต (Ammonium molybdate)ใน Volumetric flask ขนาดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้พัฒนาสี 30 นาที อ่านปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร คำนวณค่า ฟอสฟอรัส จากสูตร

$$\text{ฟอสฟอรัส} = 10 \times (C \times B) / A \quad \text{หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม}$$

เมื่อ 10 คือ สัดส่วนการสกัด

C คือ ปริมาตรสุดท้ายที่ทำให้เกิดการพัฒนาศี

B คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่วัดได้ – Blank หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

A คือ ปริมาตรของสารละลายสกัดที่เป็ดมาพัฒนาศี

3.1.3.4 วิเคราะห์ปริมาณธาตุโพแทสเซียม(K) แคลเซียม(Ca)และแมกนีเซียม(Mg) ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Jackson, 1958)

ชั่งน้ำแบ่ง 2.5 กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตรสกัดด้วย สารละลายสกัด 1 นอร์มอล NH_4OAc pH 7.00 25 มิลลิลิตร(สัดส่วน 1:10)โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า(Shaker)นาน 30 นาที กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้วิเคราะห์ปริมาณ โพแทสเซียม ด้วย เครื่อง Flame Photometer ที่ความยาวคลื่น 383 นาโนเมตร และวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม และ แมกนีเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ที่ความยาวคลื่น 422 และ 285 นาโนเมตร ตามลำดับคำนวณค่าโพแทสเซียม(K) แคลเซียม(Ca) และแมกนีเซียม(Mg) จากสูตร

$K, Ca, Mg = 10x(AxB)$ หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อ 10 คือ สัดส่วนการสกัด

A คือ จำนวนเท่าของการเจือจาง

B คือ ค่า K, Ca, Mg ที่วัดได้ -Blank หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

3.1.3.5 วิเคราะห์ปริมาณจุลธาตุสังกะสี(Zn) ทองแดง(Cu) เหล็ก(Fe) และแมงกานีส(Mn)ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Lindsay and Norvell, 1978)

ชั่งน้ำแข็ง 10 กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตรเปิด 20 มิลลิลิตรของสารละลาย DTPA(Diethylene triaminepenta acetic acid) 0.005 โมลาร์ pH 7.3 สัดส่วน 1:2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า(Shaker)เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้วิเคราะห์ปริมาณจุลธาตุสังกะสี ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS) ที่ความยาวคลื่น 213.9, 324.8, 248.3 และ 279.5 นาโนเมตร ตามลำดับ

คำนวณปริมาณจุลธาตุสังกะสี(Zn) ทองแดง(Cu) เหล็ก(Fe) และแมงกานีส(Mn) จากสูตร

$Zn,Cu,Fe, Mn = 2x(AxB)$ หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อ 2 คือ สัดส่วนการสกัด

A คือ จำนวนเท่าของการเจือจาง

B คือ ค่า Zn, Cu, Fe และ Mn ที่วัดได้ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

3.1.3.6 วิเคราะห์ประจุบวกค้างทั้งหมดที่แลกเปลี่ยนที่ได้ หรือ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกค้าง(Cation Exchange Capacity : CEC)(Chapman, 1965)

ชั่งซีพีแ่ง 5.0 กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาดปริมาตร 125 มิลลิลิตร แช่ซีพีแ่งค้างคืนด้วยสารละลาย NH_4OAc ความเข้มข้น 1 นอร์มอล pH 7.00 จำนวน 50 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกของซีพีแ่งกับสารละลาย NH_4OAc อย่างสมบูรณ์ กรองด้วย Büchner funnel โดยมีเครื่องปั๊มระบบสูญญากาศเป็นตัวดูดผ่าน Filtering flask เก็บสารละลายที่กรองได้ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุประจุบวกโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนที่ได้ ล้างซีพีแ่งบน Büchner funnel ด้วยสารละลาย 1 นอร์มอล pH 7.00 ของสารละลาย NH_4OAc และ NH_4Cl และ 0.5 นอร์มอล NH_4Cl จำนวน 5 ครั้งๆละ 10-15 มิลลิลิตรต่อสารละลายแต่ละตัว ตามลำดับ และล้างต่อด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 จนหมดประจุลบคลอไรด์ ทดสอบด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท(0.05 N AgNO_3) จากนั้นเปลี่ยน Filtering flask ใหม่ ค่อยๆเติม Acidify NaCl ความเข้มข้นร้อยละ 10 ใส่ซีพีแ่งบน Büchner funnel ให้ท่วมซีพีแ่งครั้งละเล็กน้อย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่แอมโมเนียมพื้นผิวโครงสร้างของซีพีแ่งด้วยประจุบวกโซเดียมจนกว่าจะได้สารละลายใน Filtering flask ไม่น้อยกว่า 200-250 มิลลิลิตร จึงเทสารละลายที่กรองได้ใส่ขวด Kjeldahl นำไปกลั่นไล่ที่แอมโมเนียมในสารละลายเกลือ โดยมีสารละลายบอริกเข้มข้นร้อยละ 3 จำนวน 50 มิลลิลิตรรองรับสารละลายที่กลั่นได้ ตีเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน(HCl) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล คำนวณประจุบวกค้างทั้งหมดที่แลกเปลี่ยนที่ได้ หรือความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity : CEC) ของซีพีแ่ง จากสูตร

$$CEC = N \times (S-B) \times (100/DS) \text{ เซนติโมลต่อกิโลกรัม}$$

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

S, B คือ จำนวนมิลลิลิตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ติเตรทกับสารละลายที่กลั่นได้ และ Blank

DS คือ น้ำหนักของซีแพ้ง

3.1.3.7 วิเคราะห์ธาตุประจุบวกค้างทั้งหมดโซเดียม(Na) โพแทสเซียม(K) แคลเซียม(Ca) และแมกนีเซียม(Mg)ที่แลกเปลี่ยนที่ได้ (Jackson,1958)

นำสารละลายซึ่งที่กรองผ่าน Büchner funnel วิเคราะห์ธาตุประจุบวกโซเดียม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนที่ได้ด้วยเครื่อง Flame Photometer ที่ความยาวคลื่น 295 383 นาโนเมตรและแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS) ที่ความยาวคลื่น 422 และ 285 นาโนเมตร ตามลำดับ คำนวณปริมาณธาตุประจุบวก จากสูตร

$$Na, K, Ca, Mg = 2 \times (Na/23.1, K/39.1, Ca/20.04, Mg/12.1) \times df \text{ เซนติโมลต่อกิโลกรัม}$$

Na/23.1, K/39.1, Ca/20.04, Mg/12.1 } คือ ค่าที่วัดได้ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

df คือ จำนวนเท่าที่เจือจาง

3.1.3.8 คำนวณร้อยละความอิ่มตัวด้วยธาตุเบส(Base saturation percentage:%BS)(Chapman, 1965) จากสูตร

$$\% BS = \frac{\text{ผลรวมของธาตุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนที่ได้} \times 100}{CEC}$$

3.1.3.9 การวิเคราะห์ไขมัน (Crude fat หรือ Ether extract, EE) (Mertens,1992)

ชั่งจีบแห้งที่บดละเอียด 1.0 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ลงใน Cellulose thimble นำเข้าเครื่องสกัดไขมัน โดยมี Petroleum ether ซึ่งเป็นสารละลายอินทรีย์ 50 มิลลิลิตรใส่ในถ้วยที่บันทึกน้ำหนักแล้วเป็นตัวทำละลาย ทำการต้มและสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วระเหยตัวทำละลาย Petroleum ether ตามคู่มือประจำเครื่อง นำถ้วยที่มีสารสกัดของไขมันไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งและบันทึกน้ำหนัก คำนวณร้อยละของน้ำมันและไขมัน จากสูตร

$$\% \text{ ไขมัน} = (W3 - W2) / W1 \times 100$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักจีบแห้ง

W2 คือ น้ำหนักถ้วย

W3 คือ น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักน้ำมันและไขมัน

3.1.3.10 ตรวจสอบปริมาณธาตุโลหะหนักสารหนู(As) แคดเมียม(Cd) โคบอลต์(Cr)

และ ตะกั่ว(Pb)โดยเทคนิค Inductively Couple Plasma (ICP) (Amacher, 1996; Hesse,1971)

ย่อยสลายจีบแห้ง 1 กรัมด้วย 10 มิลลิลิตรของกรดผสมเข้มข้นของกรดไนตริก และกรดเปอร์คลอริก($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$)สัดส่วน 1:2 ที่อุณหภูมิ 200 ± 5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้สารละลายใส กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรล้างด้วยน้ำกลั่นจนหมดกรด โดยมีอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นตัวทดสอบ ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เป็นสารละลายเดียวกัน นำไปเข้าเครื่องวัดโลหะหนักทั้งหมดด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma : ICP คำนวณปริมาณโลหะหนัก จากสูตร

As,Cd,Cr,Pb = (As,Cd,Cr,Pb) x df x (aliquot/S) หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อ As,Cd, Cr, Pb คือ ค่าวิเคราะห์แต่ละธาตุที่อ่านได้ หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

df คือ จำนวนเท่าของการเจือจาง

aliquot คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายใน volumetric flask

S คือ น้ำหนักตัวอย่าง

4 วิธีพัฒนาชี้แจงทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

4.1 การพัฒนาชี้แจงวิธีทางเคมีในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีการวิเคราะห์ความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์แล้วปรับค่าปฏิกิริยาที่เป็นกรดรุนแรงให้เป็นกลาง มี 4 วิธี คือ

4.1.1 วิธีการ Serial titration (Shainberg and Dawson, 1967; Pierre and Worley, 1928; Dunn, 1943)

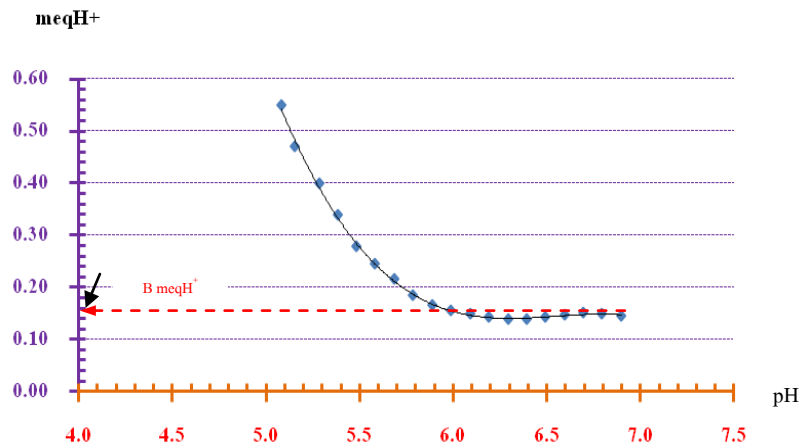
4.1.2 วิธีการ Modified titration (Jones, 1913 ; Bradfield and Allison, 1933; Brown, 1943)

4.1.3 วิธีการ Incubation (Ross et al., 1964 ; Rios et al., 1968)

4.1.4 วิธีการบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งได้แก่ สารละลายบัฟเฟอร์ของวูดรuff (Woodruff, 1947) สารละลายบัฟเฟอร์ SMP-SB (Shoemaker et al., 1961) และสารละลายบัฟเฟอร์ของ Adams-Evans (Adams and Evans, 1962)

ในส่วนของการพัฒนาชี้แจงด้วยวิธีวิเคราะห์ความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ได้ใช้วิธีการบัฟเฟอร์ของวูดรuff ซึ่งเป็นวิธีการที่ประจวบกับไฮโดรเจนชนิดที่แลกเปลี่ยนที่ได้สามารถจะถูกไล่ที่ออกมาได้อย่างรวดเร็วภายใน 30 นาที โดยสารละลายบัฟเฟอร์ของวูดรuff ประกอบด้วยส่วนสำคัญของพาราไนโตรฟินอล (p-Nitrophenol) และแคลเซียมอะซิเตต (Calcium acetate) ที่สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH หรือ Buffering capacity หรือการเพิ่มขึ้นของไอออนไฮดรอกไซด์ โดยมี Titration curve of buffer เป็นเส้นตรงในช่วง pH 6.00 ถึง pH 7.00 ทำให้

สามารถยกระดับ pH ที่ต่ำกว่า pH 6.00 ได้มาก โดยใส่สารละลายบัฟเฟอร์(Buffer) ที่เป็นด่างในสัดส่วนที่
แบ่งปริมาณแน่นอนและมากเกินไป คนให้ขี้แบ่งเป็ยกทั่วถึง ทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยา 30 นาที วัดค่า
pH นำค่า pH ที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่า pH ของกราฟมาตรฐานที่ได้จากการติเตรตสารละลาย
บัฟเฟอร์กับกรดมาตรฐานไฮโดรคลอริกเจือจาง เมื่อติเตรตสารละลายบัฟเฟอร์ของวูคร์ฟที่ pH
เริ่มต้น 7.00 จำนวน 20 มิลลิลิตรกับทุกๆ 0.5 มิลลิลิตรของ 0.1 นอร์มอลสารละลายกรดไฮโดร
คลอริกมาตรฐานเจือจาง แล้ววัดค่า pH ทุกๆครั้งที่หยดกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เขียนกราฟแสดง
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปกับมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน
จะได้กราฟรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH มาตรฐานของสารละลายวูคร์ฟฟ์ที่เปลี่ยนแปลงกับมิลลิกรัมสมมูลย์ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

4.2 วิธีคำนวณค่าความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนต

ชั่งซีเป้ง 10 กรัมใส่บีกเกอร์ ปิเปิดน้ำกลั่นใส่ 10 มิลลิตร(สัดส่วน 1:1) คนให้เปียกทั่วถึงทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่า pH ของซีเป้ง ปิเปิดสารละลายบัฟเฟอร์วูคร์ฟฟ์ 20 มิลลิตรใส่บีกเกอร์เดิม คนให้เป็นสารละลายของผสมเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่า pH ใหม่ เพื่อนำไปคำนวณค่าความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตได้ดังนี้ จากกราฟรูปที่ 2

4.2.1 จำนวนจากสูตรสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่เปลี่ยนไปกับ มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรด

จากกราฟรูปที่ 2 Titration curve of buffer เป็นเส้นตรงช่วง pH 6.00 - 7.00 มีผลต่างของค่า pH หรือ $\Delta \text{pH} = 1.00$ หน่วย และ B = มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรด (จำนวนมิลลิลิตรของกรดคูณ Normality ของกรด) จากกราฟ

ค่า pH เปลี่ยนไป 1.00 หน่วยต้องใช้กรด = B มิลลิกรัมสมมูลย์ H^+

ถ้า pH สารละลายบัฟเฟอร์เปลี่ยนไป ΔpH หน่วยใช้กรด = $B \times \Delta \text{pH} / 1.00$ มิลลิกรัมสมมูลย์ H^+

ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับปูนแคลเซียมคาร์บอเนต = $\frac{B \times \Delta \text{pH} \times 50}{1.00 \times 1,000}$ กรัมต่อซีเป้ง 10 กรัม

นั่นคือ สูตรสมการคำนวณค่าความต้องการปูนคาร์บอเนตบริสุทธิ์(LR)โดยการแทนค่าได้ดังนี้

$$LR = BX\Delta pH \times 50 \times A \quad \text{กรัม CaCO}_3 \text{ ต่อซีเมนต์ 1 กิโลกรัม}$$

เมื่อ LR คือ ค่าความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตของซีเมนต์ 1 กิโลกรัม

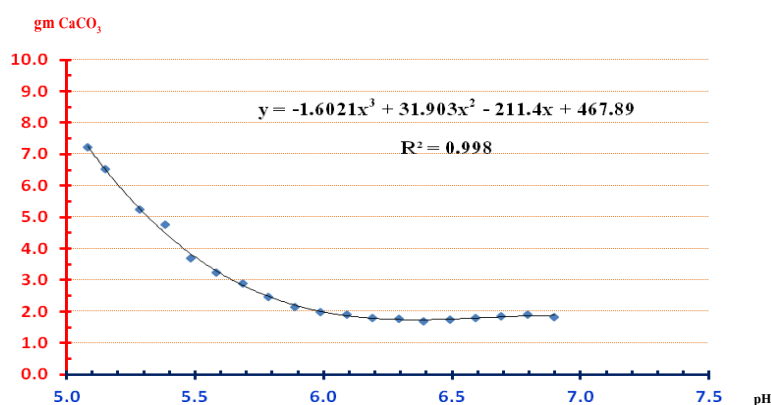
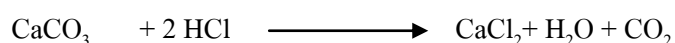
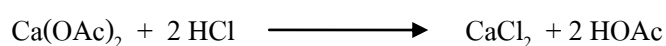
B คือ มิลลิกรัมสมมูลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

A คือ น้ำหนักของซีเมนต์ หน่วยเป็นกรัม

ΔpH คือ pHของสารละลายบัฟเฟอร์เริ่มต้น(7.00)-pHที่วัดได้หลังใส่สารละลายบัฟเฟอร์ในซีเมนต์

4.2.2 อ่านค่าความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์จากกราฟโดยตรง เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์เป็นค่า pH ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนกรัมสมมูลของแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์

จากปฏิกิริยาสมดุลทางเคมี พบว่า 1 โมลของแคลเซียมคาร์บอเนต และ 1 โมลของแคลเซียมอะซิเตตต่างก็ทำปฏิกิริยาสมดุลกับ 2 โมลของกรดไฮโดรคลอริก ทำให้สามารถเขียนกราฟรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตโดยตรง



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงกับจำนวนกรัมของปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์

4.2.3 อ่านค่าความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตโดยแทนค่าสมการเส้นโค้ง

จากกราฟรูปที่ 3 เมื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ทางสถิติวิเคราะห์ของการถดถอยของตัวแปรค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป(ตัวแปรตาม)กับมิลลิกรัมสมมูลของแคลเซียมคาร์บอเนต(ตัวแปรอิสระ)ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์รูปแบบโพลิโนเมียล(Polynomial form) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.998 แสดงว่าเส้นถดถอยที่ได้สามารถพยากรณ์ค่าความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตได้ ดังนี้

$$Y = -1.6021 X^3 + 31.903X^2 - 211.4 X + 467.89 \quad \text{เมื่อ } R^2 = 0.998$$

Y คือ ความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์(มิลลิกรัม)ต่อซีเมนต์ 10 กรัม

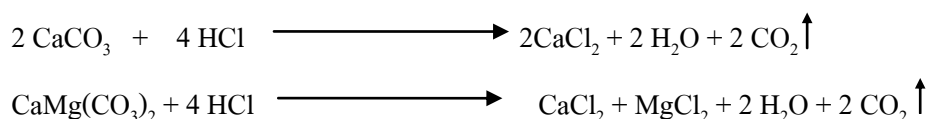
X คือ ค่าปฏิกิริยา(pH)ที่ต้องการยกระดับ

เมื่อแทนค่าสมการเส้นโค้งจะได้ปริมาณความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ pH นั้นๆ

4.3 การประเมินความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ในรูปของโดโลไมต์

4.3.1 ประเมินจากค่า Neutralizing value

เนื่องจากปูนที่ใช้ในการแก้ความเป็นกรดมีอยู่หลายชนิดจึงมีความจำเป็นต้องมีวิธีเปรียบเทียบหรือประเมินความเท่าเทียมกันเกี่ยวกับอำนาจการทำให้เป็นกลางของปูนให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยใช้หินปูนที่บริสุทธิ์เป็นเกณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากปูนที่ใช้ทางการเกษตร (Agricultural lime) ส่วนใหญ่เป็น Limestone หรือ CaCO_3 ดังนั้นการกำหนดอำนาจการทำให้เป็นกลาง (Neutralizing value) ของ CaCO_3 ที่บริสุทธิ์ให้เป็นร้อยละ 100 แล้วเทียบอำนาจการทำให้เป็นกลางของปูนในรูปอื่นๆที่น้ำหนักเท่ากันจะสามารถทำให้เป็นกลางได้ร้อยละเท่าใดของ CaCO_3 ที่บริสุทธิ์ ซึ่ง Neutralizing value ของปูนต่างๆไปหมายถึง CaCO_3 equivalent การคำนวณค่า Neutralizing value ของปูนโดโลไมต์ สามารถทำได้ดังนี้(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)



จากสมการจะเห็นว่า 1 โมลของโดไลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) และ 2 โมลของแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ต่างก็ทำปฏิกิริยาสมมูลย์กับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานเท่ากัน นั่นคือ แคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ 200 กรัมทำปฏิกิริยาสมมูลย์กับโดไลไมต์ 184.3 กรัม หรือแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ 100 กรัมทำปฏิกิริยาสมมูลย์กับโดไลไมต์ 92.15 กรัม ดังนั้นโดไลไมต์ 100 กรัมจะทำปฏิกิริยาสมมูลย์เท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ เท่ากับ 108.5 กรัม หรือร้อยละ 109 ของแคลเซียมคาร์บอเนต(CaCO_3) นั่นคือ Neutralizing value ของปูนโดไลไมต์ 100 กรัมสามารถทำปฏิกิริยาเป็นกลางได้เท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนตหนัก 109 กรัม หรือร้อยละ 109 ของ CaCO_3 (ตารางที่ 4) สำหรับปูนอื่นๆก็สามารถคำนวณ Neutralizing value ได้โดยวิธีเดียวกัน

ตารางที่ 3 ค่า Neutralizing value ของปูนต่างๆเทียบกับปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์

ปูน	Neutralizing value (%)
CaO	179
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	136
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	109
CaCO_3	100
CaSiO_3	68

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา(2548)

4.3.2 ประเมินจากการวิเคราะห์ค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate equivalent : CCE) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบ Wet method โดยให้วัสดุปูนที่อบแห้งทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐาน 0.5 นอร์มอลของกรดไฮโดรคลอริกที่มีปริมาตรจำนวนแน่นอนที่มีปริมาณมากเกินพอ จากนั้นติเตรทย้อนกลับ(Back titration)ปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่เหลือด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.25 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้ว คำนวณค่า CCE ในรูปร้อยละของแคลเซียมคาร์บอเนต (สะอึ่ง, 2546) ดังนี้

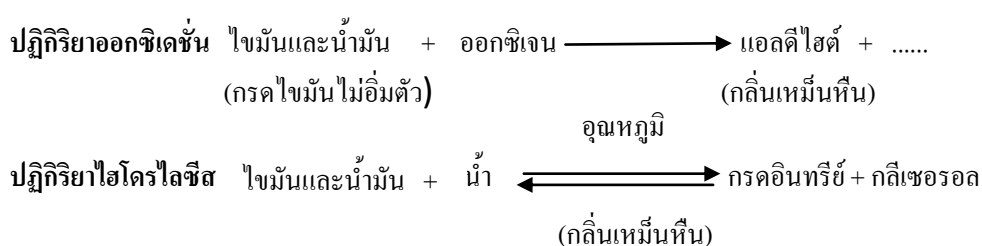
$$\% \text{ CCE} = 100 \times \{ (\text{NV}/1000) \text{ ของกรด HCl} - (\text{NV}/1000) \text{ ของ NaOH} \} / \text{ น้ำหนักแก้วสุญญากาศ}$$

N คือ ความเข้มข้นของกรด หรือ ด่าง

V คือ ปริมาตรของกรด หรือ ด่าง

5 วิธีพัฒนาจีแป้งโดยชีววิธี

จีแป้งซึ่งกองทิ้งสะสมไว้กลางแจ้งนอกจากจะมีสภาพเป็นกรดรุนแรง (pH 3.4) แล้วยังมีกลิ่นหืนจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังนี้



การพัฒนาจีแป้งซึ่งสะสมน้ำมันที่ดูจับไว้ และมีกลิ่นเหม็นหืนโดยเชื้อจุลินทรีย์ 3 กลุ่มในสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ประกอบด้วยเชื้อราย่อยสลายเซลลูโลส 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scytalidium thermophilum*, *Chaetomium thermophilum*, *Corynascus verrucosus* และ *Scopulariopsis breviacaulis* แอคติโนมัยซีสย่อยสลายเซลลูโลส 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Streptomyces champavatii* และ *Streptomyces* sp. แบคทีเรียย่อยไขมัน *Bacillus subtilis* 2 สายพันธุ์ (ฉวีวรรณ และคณะ, 2550) โดยที่ Makoi-Joachim and Ndakidemi (2008) ระบุว่า อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณน้ำ ออกซิเจน รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีของอินทรีย์วัตถุ ชนิดของเศษซากพืช ล้วนเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเซลลูโลส ส่วนการย่อยสลายไขมัน (Alef and Nannipieri, 1995) กล่าวว่า จุลินทรีย์สามารถลดไขมันหรือน้ำมันที่เคลือบอยู่ที่ผิววัสดุ โดยขบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ตรงพันธะเอสเทอร์ให้แตกตัวเป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอลในสภาวะที่มีอากาศ โดยมีเอนไซม์ไลเปส (Lipase enzyme หรือ

Triacylglycerol acylhydrolase) ที่ปลดปล่อยจากจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งกิจกรรมเมื่อย่อยสลายสมบูรณ์จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ทั้งนี้การผลิตเอนไซม์ไลเปสขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอาหารและสภาพแวดล้อม โดยมีแหล่งคาร์บอนที่สำคัญ และจำเป็นต่อการกระตุ้นการผลิตเอนไซม์ไลเปส คือ น้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์ รวมถึงน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก ไขมันไก่ และไตรกลีเซอไรด์อื่น ๆ และแหล่งไนโตรเจน กากถั่วเหลือง ยูเรีย เปปโติน ทรีปโติน เนื้อสัตว์ เป็นต้น ปัจจัยด้านอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญ และการเกิดกิจกรรมของเซลล์โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ให้เกิดในอัตราเร็วขึ้นแต่ก็ไม่ควรที่จะสูงเกินไป อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เชื้อ *Bacillus* sp. สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสมีอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงอุณหภูมิปานกลางระหว่าง 20-45 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส สำหรับปัจจัยทางด้าน pH ที่เหมาะสมก็มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะ *Bacillus* sp. จะเจริญได้ในช่วง pH ที่กว้างตั้งแต่ 5.8-9 นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าแคลเซียมมีผลต่อการผลิตเอนไซม์ไลเปสของจุลินทรีย์ด้วย เนื่องจากแคลเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่เกิดขึ้นระหว่างกิจกรรมการย่อยสลายเกิดเป็นตะกอนเกลือแคลเซียมทำให้ความเป็นกรดลดลงมีผลให้กิจกรรมไลเปสเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (สุรอรอด, 2545)

ดังนั้นปริมาณน้ำมันและไขมันที่สะสมในชี้แป็งมากถึงร้อยละ 20-30 จึงเป็นแหล่งอาหารที่ดีที่มีอยู่ในตัวชี้แป็งเอง และสอดคล้องกับความประสงค์ของการพัฒนาชี้แป็งโดยวิธีที่ต้องการขจัดน้ำมันและไขมันให้หมดไป การเพิ่มมูลโคเพื่อเป็นแหล่งสำรองคาร์บอนแก่จุลินทรีย์ นอกเหนือจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในชี้แป็งจะทำให้การผลิตเอนไซม์ไลเปสเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ขณะที่การพัฒนาชี้แป็งโดยวิธีทางเคมี แคลเซียมจากปูนโดโลไมต์นอกจากลดความเป็นกรดของชี้แป็งแล้วยังสนับสนุนการผลิตเอนไซม์ไลเปสให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องด้วย

ขั้นตอนการนำขี้เป้งผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ วัสดุปรับปรุงดิน

- 1 เทเชื้อจุลินทรีย์ “สารเร่งซูเปอร์ พด. 1” ใส่งบรรจน้ำสะอาดจำนวน 200 ลิตร โดยประมาณ คนทิ้งไว้ 30 นาทีโดยประมาณ เพื่อกระตุ้นให้จุลินทรีย์ออกจากสภาพที่เป็นสปอร์ และพร้อมที่จะเกิดกิจกรรมการย่อยสลาย
- 2 ผสมคลุกเคล้าขี้เป้ง 1 ส่วน แกลบดิบ 1 ส่วน ขี้เถ้าแกลบ 1 ส่วน มูลสัตว์(มูลโค) 3 ส่วน โดยปริมาตร และปูนโดโลไมต์ตามค่าวิเคราะห์ ให้ผสมคลุกเคล้ากันให้มากที่สุด นิดน้ำสะอาด และรดสารเร่งจุลินทรีย์ทั้ง 200 ลิตรขณะคลุกเคล้า ให้วัสดุผสมมีความชื้นที่ร้อยละ 60 ซึ่งสังเกตได้เมื่อกำวัสดุด้วยมือแล้วบีบเบาๆจะมีน้ำไหลออกระหว่างนิ้วมือ
- 3 ตั้งกองหมักทิ้งไว้กลางแจ้ง กลับกองหมักทุกๆ 10 วันต่อครั้ง พร้อมนิตน้ำสะอาดรักษาความชื้นไว้ที่ร้อยละ 60 เพื่อลดความร้อนในกองหมัก และเพิ่มออกซิเจนแก่จุลินทรีย์
- 4 การย่อยสลายสมบูรณ์เมื่อครบ 40-45 วัน โดยประมาณจะได้วัสดุสีน้ำตาลหรือสีดำเข้ม เนื้อนุ่มมือ ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน แต่จะมีกลิ่นคล้ายดินธรรมชาติ อุณหภูมิในกองหมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อม สามารถพบวัชพืชงอกบนกองหมัก (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 สาธิตการพัฒนาขี้แ่งให้นักวิชาการสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนา(สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10)

1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนา ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร ใส่ขวดพลาสติกสะอาด

2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

2.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง(Peech, 1965)

2.2 วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black, 1947)

2.3 วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Bray and Kurtz, 1945)

2.4 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียม(K) แคลเซียม(Ca) และแมกนีเซียม(Mg) (Jackson, 1958)

2.5 วิเคราะห์ปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สังกะสี(Zn) ทองแดง(Cu) เหล็ก(Fe) และแมงกานีส(Mn) (Lindsay and Norvell, 1978)

2.6 วิเคราะห์ประจุบวกต่างทั้งหมดที่แลกเปลี่ยนที่ได้ หรือ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่าง(Cation Exchange Capacity : CEC)(Chapman, 1965)

2.7 วิเคราะห์ธาตุประจุบวกต่างทั้งหมดที่แลกเปลี่ยนที่ได้ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Jackson,1958)

2.8 กำหนดร้อยละของความอิ่มตัวด้วยธาตุประจุบวกต่างที่แลกเปลี่ยนที่ได้(Chapman, 1965) จากสูตร
$$\% BS = \frac{\text{ผลรวมของธาตุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนที่ได้} \times 100}{CEC}$$

CEC

2.9 ตรวจสอบปริมาณธาตุโลหะหนักสารหนู(As) แคดเมียม(Cd) โครเมียม(Cr) และตะกั่ว(Pb)โดยเทคนิค Inductively Couple Plasma (ICP) (Amacher, 1996; Hesse,1971)

2.10 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน และไขมัน (Crude fat หรือ Ether extract, EE) (Mertens,1992)

ผลการศึกษาวิจัย

1. ผลการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบสมบัติทางแร่ของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ และซีแอ่ง โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์(ตารางที่ 4, รูปที่ 5)

พบว่า ทั้งก่อนใช้ในกระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันพืช เบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด(รูปที่ 5ก) และซีแอ่งที่จะนำมาพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน(รูปที่ 5ข) และซีแอ่งที่นำไปกำจัดปริมาณเหล็กออกไซด์อิสระที่ดูดซับออก เนื่องจากเหล็กออกไซด์อิสระที่ดูดซับมีผลรบกวนต่อการสะท้อนกลับ(Diffract)ของรังสีเอกซ์บนผิวหน้าผลึกของแร่ดินเหนียวได้ (รูปที่ 5ค) ต่างก็มีสมบัติเป็นแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์(Montmorillonite)เป็นแร่หลัก มีตำแหน่งพิก(Peak) เกิดที่เดียวกันหมดเช่นกัน โดยมีค่า Diffraction spacing ที่ 1.4651 นาโนเมตร และมีแร่ดินเหนียวชนิดเคโอลิไนต์(Kaolinite)เล็กน้อย ผลวิเคราะห์ไม่พบแร่ชนิดอื่นๆ แต่มีค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่แสดงถึง Degree of crystallinity ลดลงในซีแอ่งหลังใช้ฟอกสีน้ำมันพืชแล้ว ซึ่งแสดงว่า ซีแอ่งดังกล่าวที่จะนำมาพัฒนาเป็นแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของพิก (Peak characteristic) ที่เกิดการเลี้ยวเบน(Diffract)ของรังสีเอกซ์บนระนาบผิวหน้าผลึกของแรมมอนต์มอริลโลไนต์ ที่ 1.4651 นาโนเมตร และ 0.714 นาโนเมตรของแร่เคโอลิไนต์ พบว่า การสะท้อนรังสีเอกซ์ของซีแอ่งที่นำไปกำจัดเหล็กออกไซด์อิสระที่ดูดซับออกมีค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่มากกว่า หรือความสมบูรณ์ของผลึกดีกว่าเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด และซีแอ่ง ทั้งนี้เนื่องจากเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดเมื่อใช้กรองสารอินทรีย์ต่างๆ สารอินทรีย์เหล่านั้นทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน Organo mineral complex ที่ผิวระนาบของผลึกซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chenu and Stotzky(2002) กล่าวถึงการยึดเกาะ(Bonding) ระหว่างธาตุประจุบวกของ Al^{+3} หรือ Fe^{+3} ของแรมมอนต์มอริลโลไนต์ กับกลุ่มอนุภาค Carboxylic group ที่มีอยู่ในอินทรีย์สารทำให้เกิดการรบกวน

รังสีเอกซ์ที่สะท้อน ดังนั้นค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่แสดงถึง Degree of crystallinity ในรูปที่ 5 ข จึงมีค่าน้อยกว่ารูปที่ 5 ก และรูปที่ 5 ค สอดคล้องดังรายงานของ Buondonno et al., (1989) นั่นเอง

2. ผลการตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด โดยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ (ตารางที่ 5)

พบว่า เบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดประกอบด้วยซิลิกา(SiO_2) อลูมินา(Al_2O_3) และ ออกไซด์ของเหล็ก(Fe_2O_3) โซเดียม(Na_2O) แมกนีเซียม(MgO) โพแทสเซียม(K_2O) แคลเซียม(CaO) ร้อยละ 37.50 5.30 1.89 0.13 0.24 1.16 0.11 ตามลำดับ และปริมาณออกไซด์ของซัลเฟอร์(SO_3) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) แมงกานีส (MnO) ทองแดง(CuO) สังกะสี (ZnO) 222 78 84 10 33 มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนซีเป้งหลังใช้ฟอกสีน้ำมันพืชแล้วพบว่า ปริมาณซิลิกา อลูมินา ออกไซด์ ของโพแทสเซียมมีค่าลดลง เหลือเพียงร้อยละ 21.47 4.45 0.52 ตามลำดับ ส่วนออกไซด์ของ เหล็ก โซเดียม แมกนีเซียม แคลเซียมมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 2.07 0.14 0.92 1.54 ตามลำดับ และปริมาณออกไซด์ของซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส แมงกานีส สังกะสี มีค่าเพิ่มขึ้นอย่าง ชัดเจนโดยมีค่า 5,757 20,744 134 และ 49 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ ยกเว้น ปริมาณ ออกไซด์ของทองแดงมีค่าลดลงเล็กน้อยเป็น 7 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การ เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนของอะตอมภายใน โครงสร้างของโมเลกุลของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย กรดทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ Organo mineral complex ได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ ซัลเฟอร์ และ ฟอสฟอรัส ต่างก็เป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ของน้ำมันปาล์มดิบ (Kheok and Lim, 1982., Morgan et al., 1985., Srasra et al., 1989., Waldmann and Eggers, 1991. และ Gonzalez-Pradaz et al., 1993.)

3. ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมี(ตารางที่ 6)

3.1 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด

พบว่า ก่อนใช้ฟอกสีน้ำมันพืชมีค่าปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก(ตารางผนวกที่ 2) มีค่า pH ที่ 2.3 ความเป็นประโยชน์ของธาตุต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อพืช พบว่า มีอินทรีย์วัตถุต่ำมากร้อยละ 0.12 (ตารางผนวกที่ 3) ส่วนธาตุอาหารหลัก ฟอสฟอรัส ธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียม และจุลธาตุแมงกานีส ทองแดง สังกะสี และเหล็ก มีปริมาณสูงมาก(ตารางผนวกที่ 6,7) คือ 54.7 5,323 1,933 และ 49 2.79 3.75 694 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ยกเว้น โพแทสเซียมมีปริมาณต่ำ(ตารางผนวกที่ 6) คือ 49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเนื่องจากธาตุประจุบวกที่ดูดซับที่พื้นผิวเบนทอไนต์เป็นชนิดแลกเปลี่ยนได้ง่าย จึงมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกชนิดที่เป็นค่า(Cation Exchange Capacity : CEC) สูงมาก(ตารางผนวกที่ 4)ถึง 54.24 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อวิเคราะห์เฉพาะธาตุประจุบวกชนิดที่เป็นค่าที่เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนซึ่งเป็นธาตุที่มีปริมาณมากบนพื้นผิวโลก(สุพจน์, 2526) พบว่า มีปริมาณธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม 23.08 2.14 2.74 และ 0.13 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าร้อยละความอิ่มของธาตุเบสปานกลาง(ตารางผนวกที่ 5) ร้อยละ 52 (%BS=52)

3.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของซีแปปิ้ง

พบว่า หลังใช้ฟอกสีน้ำมันพืชแล้ว ค่าปฏิกิริยาคงเป็นกรดจัดมาก แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3.4 การบำบัดด้วยวิธีทางเคมีเพื่อปรับค่าปฏิกิริยาให้เป็นกลาง จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่า ซีแปปิ้ง 1 กิโลกรัมใช้ปูนแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ลดลงเหลือ 8.12 กรัมหรือใช้ปูนโดโลไมต์ 7.40 กรัม สำหรับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช พบว่า อินทรีย์วัตถุที่ดูดซับไว้มีปริมาณสูงมากถึงร้อยละ 62.03 ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะทางกายภาพ พบว่า ซีแปปิ้งที่กำจัดทิ้งมีลักษณะสีเขียวคล้ำถึงสีดำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Srasra et al., 1989. ในทำนองเดียวกัน

ทั้งปริมาณธาตุอาหารหลัก ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียม และจุลธาตุ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ก็มีปริมาณสูงมากเช่นกัน 3,192 84 4,157 2,830 106 2.37 3.67 และ 1,507 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สันนิษฐานให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแร่ดินเหนียวว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งต่อพืชในการเป็นแหล่งสำรองธาตุอาหารพืชในดิน ส่วนความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกชนิดที่เป็นด่าง(Cation Exchange Capacity:CEC) ลดลงเหลือ 41.87 เซนติโมลต่อกิโลกรัมซึ่ง Srasra et al.,1989.,Waldmann and Eggers, 1991. ต่างก็สันนิษฐานให้เห็นว่า เกิดจากการที่เม็ดสีแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ในน้ำมันซึ่งมีโครงสร้างเป็น โซ่ยาวถูกดูดซับที่รูพรุนอย่างแข็งแรงและเกิดอันตรกิริยาโดยตรง(Direct interaction) กับพื้นผิวเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดที่มีประจุหรืออาจเกิดปฏิกิริยาเหนี่ยวนำที่พื้นผิว (Surface induced) สูงมาก ในทำนองเดียวกันปริมาณธาตุประจุบวกชนิดที่เป็นด่างที่เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนก็มีเพิ่มขึ้นโดยมีปริมาณธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม 14.72 6.49 2.11 และ 2.93 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับร้อยละความอิ่มตัวด้วยธาตุเบสเพิ่มขึ้นปานกลางเป็นร้อยละ 62 (%BS=62)

4. ผลการตรวจสอบปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด และชี้แจงโดยเทคนิค Inductively Couple Plasma : ICP (ตารางที่ 6)

พบว่า เบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด ก่อนใช้ฟอสฟอรัสน้ำมันพืช มีสารหนู(As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม(Cr) และ ตะกั่ว(Pb)ในปริมาณ 0.106 1.60 16.40 และ 4.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนชี้แจงหลังใช้ฟอสฟอรัสน้ำมันพืชมีปริมาณแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว เป็น 0.20 31.40 2.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่วิเคราะห์ไม่พบสารหนู ซึ่งจากการตรวจสอบสารตั้งต้นถึงความเป็นมาแล้ว พบว่า ต่างก็มีปริมาณ โลหะหนักน้อยมากเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน (ตารางผนวกที่ 1)

5. ผลการตรวจสอบปริมาณน้ำมัน และไขมันเบนทอไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด และจีแป้ง

(ตารางที่ 6)

จากการวิเคราะห์ พบว่า เบนทอไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศไม่พบปนเปื้อนน้ำมันและไขมัน ส่วนจีแป้งซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมและผ่านการใช้งานแล้ว พบว่ามีปริมาณน้ำมันและไขมันดูดซับไว้ในตัวจีแป้งมากถึงร้อยละ 22.21

6. ผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพัฒนาเป็น “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อม

โทรม พด. 10” (ตารางที่ 6) โดยวิธีทางเคมี

พบว่า มีค่าปฏิกิริยาเป็นกลาง ที่ pH 6.6 มีอินทรีย์วัตถุสูงมากถึงร้อยละ 16.16 ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชทั้งธาตุอาหารหลัก ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียม และจุลธาตุ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ก็สูงมากในปริมาณ 2,410 4,422 7,774 1,568 197 5.30 58.08 และ 96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกชนิดที่เป็นค่า (Cation Exchange Capacity : CEC) ลดลงเหลือ 41.28 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แต่อยู่ในเกณฑ์สูงมากเช่นกัน มีธาตุประจุบวกชนิดที่เป็นค่าที่เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนได้ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 41.87 12.97 2.20 และ 11.37 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และร้อยละความอิ่มตัวด้วยธาตุเบสสูงมากถึงร้อยละ 100 และผลการตรวจสอบปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดของสารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10 โดยเทคนิค Inductively Couple Plasma พบว่า มีสารหนู 0.271 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมวิเคราะห์ไม่พบ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) และ ตะกั่ว (Pb) จึงมีความเหมาะสมยิ่งที่จะใช้แร่ดินเหนียวที่เป็นกากอุตสาหกรรมมาพัฒนาต่อยอดเป็นแหล่งดินเหนียว เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินทรายและดินเสื่อมโทรมต่อไปได้

7. ผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพัฒนาเป็น “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10” (ตารางที่ 6) โดยชีวีวิธี

การพัฒนาจี้แ่งโดยชีวีวิธี นำเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่งซูปเปอร์ พด.1 มาบำบัดน้ำมันและไขมันที่สะสมอยู่ในจี้แ่ง พบว่า จุลินทรีย์ในสารเร่งซูปเปอร์ พด.1 มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันในจี้แ่ง ซึ่งเดิมมีน้ำมันและไขมันสะสมอยู่ถึงร้อยละ 22.21 แต่จากการวิเคราะห์ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10” ที่ย่อยสลายสมบูรณ์ไม่พบการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมัน

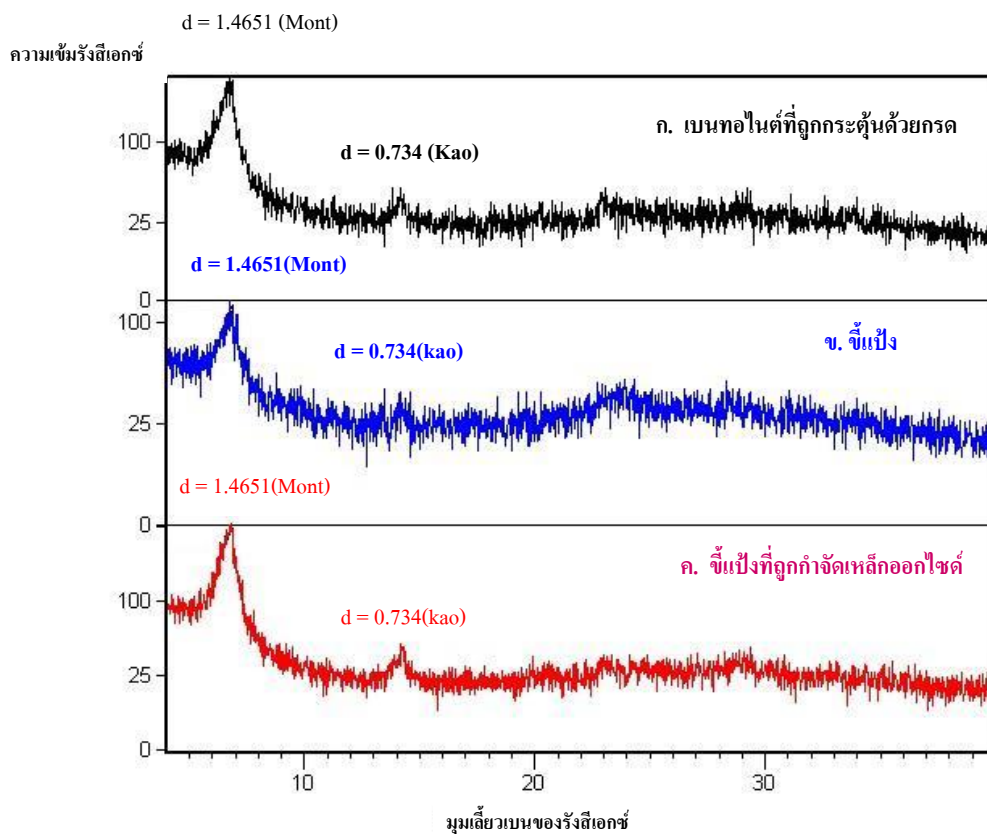
ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณแร่องค์ประกอบของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด และจี้เป็ง โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction : XRD)

รายการวิเคราะห์	Kao	Mont	Ver	Chl	Int 7&10A ⁰	Int 10&14A ⁰	Qtz	Fel	Geo	Gibb
แร่เบนทอไนต์ที่ถูก กระตุ้นด้วยกรด	tr	xxxx	-	-	-	-	-	-	-	-
จี้เป็ง	tr	xxxx	-	-	-	-	-	-	-	-

Kao = Kaolinite Mont = Montmorillonite Ver = Vermiculite Chl = Chlorite Int = interstratified

Qtz = Quartz Fel = Feldspar Geo = Goethite Gibb = Gibbsite

Tr = < 5 % x = 5-20 % xx = 20-40 % xxx = 40-60 % xxxx = > 60%



รูปที่ 5 กราฟแสดงชนิดแร่ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

- (ก.) เบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด
- (ข.) จี้เป็ง
- (ค.) จี้เป็งที่ถูกกำจัดเหล็กออกไซด์แล้ว

ตารางที่ 5 ชนิด และปริมาณธาตุองค์ประกอบของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด และ
 จี๊แป็ง โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

รายการวิเคราะห์	เบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด(ก่อนใช้)	จี๊แป็ง (หลังใช้)
ซิลิกา (SiO ₂) %	37.50	21.47
อลูมินา (Al ₂ O ₃) %	5.30	4.45
เหล็กออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) %	1.89	2.07
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O) %	0.13	0.14
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) %	0.24	0.92
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O) %	1.16	0.52
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) %	0.11	1.54
ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO ₃) ppm	222	5,757
Phosphorus (ppm)	78	20,744
Manganese (ppm)	84	134
Copper (ppm)	10	7
Zinc(ppm)	33	49

ตารางที่ 6 สมบัติทางเคมีของเบนทอไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด จีแป็ง และผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา

รายการวิเคราะห์	เบนทอไนต์ที่ถูก กระตุ้นด้วยกรด	จีแป็ง	ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา
pH(H ₂ O 1:1)	2.3	3.4	6.6
Lime requirment(dolomite gm/Kg)	-	7.40	0
% Organic Matter	0.12	62.03	16.16
Avail. P (mg/Kg)	54.7	3,192	2,410
Avail. K (mg/Kg)	49	84	4,422
Extra. Ca (mg/Kg)	5,323	4,157	7,774
Extra. Mg (mg/Kg)	1,933	2,830	1,568
Mn (mg/Kg)	49	106	197
Cu(mg/Kg)	2.79	2.37	5.30
Zn(mg/Kg)	3.75	3.67	58.08
Fe (mg/Kg)	694	1,507	96
CEC(cmol/Kg)	54.24	41.87	41.28
Exch.Ca(cmol/Kg)	23.08	14.72	41.87
Exch.Mg (cmol/Kg)	2.14	6.49	12.97
Exch.Na (cmol/Kg)	2.74	2.11	2.2
Exch.K (cmol/Kg)	0.13	2.93	11.37
% Base saturation (%BS)	52	62	100
As (mg/Kg)	0.106	nd	0.271
Cd (mg/Kg)	1.60	0.20	nd
Cr (mg/Kg)	16.40	31.40	nd
Pb(mg/Kg)	4.30	2.00	nd
% น้ำมันและไขมัน (Crude fat , EE)	nd	22.21	nd

nd = non detectable

สรุป

การพัฒนาซีเป็งจากกากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชปาล์มที่นำเข้าแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดจากต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นตัวกรองสารอินทรีย์ รังควัตถุ ฟอกสี ฯลฯ เป็นกากอุตสาหกรรมของสารประกอบเชิงซ้อน Organo-mineral complex ที่ดูดซับอินทรีย์สารต่างๆ ไว้โดยแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดมีสูงมากถึงร้อยละ 62.03 และมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชถึง 3,192 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Tisdall and Oades (1982) รายงานว่า การดูดซับอินทรีย์สารเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรงได้เม็ดดินที่เสถียรยากแก่การสลายตัว การนำกลับมาพัฒนาใช้ประโยชน์ใหม่ เพื่อเป็นแหล่งแร่ดินเหนียวที่ได้จากกากอุตสาหกรรม โดยกำหนดเป็นสารตั้งต้นของการพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน เมื่อผ่านการบำบัดทางเคมีโดยปรับค่าปฏิกิริยาด้วยปูนโดโลไมต์ตามค่าวิเคราะห์ปริมาณความต้องการปูนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ของวูดร็พฟ์ จากค่าปฏิกิริยาที่กรดรุนแรง (pH 3.4) ให้มีค่าปฏิกิริยาเป็นกลาง (pH 6.6) และนำนวัตกรรมเทคโนโลยีชีวภาพโดยชีววิธีนำเชื้อจุลินทรีย์จาก “สารเร่งซูปเปอร์ พด. 1” มาย่อยสลายไขมัน น้ำมัน เพื่อบำบัดลักษณะที่ไม่ดูค้ำของซีเป็งให้หมดไปร่วมกับการใช้มูลโค เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนของจุลินทรีย์ และเพิ่มสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วยเกลบดิบ และเถ้าเกลบในสัดส่วนผสมของซีเป็ง : เกลบดิบ : ซีเถ้า เกลบ : มูลวัว เป็น 1 : 1 : 1 : 3 โดยปริมาตร จะได้ “สารปรับปรุงดินทราย และดินเสื่อมโทรม พด. 10” โดยใช้ซีเป็งหนึ่งส่วนต่อสัดส่วนผสมจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพ โดยมีสมบัติทางเคมีดังนี้ มีค่าปฏิกิริยาเป็นกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ที่จะสลายให้ธาตุไนโตรเจนลดลงจากร้อยละ 62.03 เป็น 16.16 และปริมาณธาตุอาหารหลักฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลงจาก 3,192 เป็น 2,410 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามที่ Tisdall and Oades (1982) รายงานไว้ แต่ปริมาณธาตุอาหารที่ลดลงยังอยู่ในเกณฑ์ประเมินที่สูงมากเมื่อเทียบตามเกณฑ์การแบ่ง

ระดับธาตุอาหาร ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเปลี่ยนแปลงจาก 3,192 และ 84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 2,410 และ 4,422 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียมเปลี่ยนแปลงจาก 4,157 และ 2,830 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเป็น 7,774 และ 1,568 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณจุลธาตุมีมากเกินไปทั้ง แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และ เหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจาก 106 2.37 3.67 และ 1,507 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเป็น 197 5.30 58.08 และ 96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกชนิดต่างสูงมาก 41.28 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณธาตุประจุบวกชนิดต่างที่สามารถจะเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนที่ได้ทั้ง แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม 41.87 12.97 2.20 และ 11.37 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าความอิ่มตัวด้วยธาตุประจุบวกชนิดต่างถึงร้อยละ 100 ส่วนการพัฒนาจีแป้งโดยชีววิธีนำเชื้อจุลินทรีย์จากสารเร่งซูเปอร์ พด .1 มาย่อยสลายน้ำมันและไขมันซึ่งมีมากถึงร้อยละ 22.21 แล้วไม่พบน้ำมันและไขมันปนเปื้อนอยู่อีก

จีแป้งจึงเป็นกากอุตสาหกรรมที่ควรได้รับการพัฒนาเพื่อประโยชน์ต่อภาคเกษตรกรรมต่อไป การเพิ่มจีแป้งกลายเป็นการเพิ่มธาตุโพแทสเซียมแก่ผลิตภัณฑ์ “สารปรับปรุงดินทราย และดินเสื่อมโทรม พด. 10” ให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงเช่นกัน อีกทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปนเปื้อนปริมาณธาตุโลหะหนักน้อยมาก โดยสารหนู หรือ อาร์ซีนิกเพียง 0.271 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถปนเปื้อนได้จากมูลสัตว์ที่นำมาเป็นส่วนผสมนั่นเอง และไม่พบ แคดเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยยิ่งต่อการเพิ่มศักยภาพการผลิตอาหารสู่ครัวโลก

ประโยชน์ที่ได้รับ

1 ด้านเกษตรกรรม

ทำให้ได้คู่มือนวัตกรรมต้นแบบในการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรเป็นวัสดุปรับปรุงที่สามารถเพิ่มศักยภาพทางการเกษตรของดินทราย และดินเสื่อมโทรมของประเทศไทยที่มีพื้นที่มากกว่า 12 ล้านไร่ ให้มีความอุดมสมบูรณ์ของ อินทรีย์วัตถุ โปแตสเซียม และฟอสฟอรัส ตลอดจนธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และจุลธาตุ ทองแดง สังกะสี เหล็ก แมงกานีส ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากเพียงพอ อีกทั้งเพิ่มแหล่ง สารรองกักเก็บธาตุอาหารพืชในดิน และความชื้น ไม่ให้สูญเสียไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากการชะล้าง สามารถพัฒนาศักยภาพของดินให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น

2 ด้านสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยนำเข้าเบนทอไนด์จากต่างประเทศมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมากมาย ด้วยวิกฤตการณ์การปรับเปลี่ยนเป็นพืชพลังงาน เสมือนเป็นแรงผลักดันให้มีจีแป็งจากการถล่ม น้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาพัฒนาจีแป็งที่ได้ก่อกมลพิษด้านสิ่งแวดล้อมมากมายและยังไม่เคยมีการวิจัยศึกษามาก่อนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยเพื่อพัฒนา การนำกลับมาใช้ ประโยชน์ใหม่(Reuse/Recycle/Recovery) แม้จะมีประสิทธิภาพฟอกสีได้ดีใกล้เคียงกับเบนทอไนด์ ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดที่นำเข้าจากต่างประเทศ แต่ก็มีข้อจำกัดจำนวนครั้งที่ใช้ฟอกสี และขึ้นอยู่กับ ชนิดของน้ำมันพืชนั้นๆด้วย และการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการบำบัดทางเคมีและชีววิธี ทำให้ สามารถพัฒนาได้ผลิตภัณฑ์ “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10” ที่สามารถช่วย กำจัดมลภาวะ หรือขยะมลพิษให้หมดไปได้อย่างยั่งยืนแล้ว ยังนำไปสู่ต้นแบบของการผลิตแบบไร้ ของเสีย (Zero waste) ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชได้สำเร็จด้วย

3 ด้านการเผยแพร่ผลงานด้านวิชาการ

3.1 สถิติเผยแพร่กระบวนการพัฒนาจีเอ็มเอ็ม แก่นักวิชาการของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนี้

3.1.1 สถานีพัฒนาที่ดินนครปฐม ตำบลทุ่งขวาง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
ดำเนินการช่วงปีงบประมาณ 2548

3.1.2 สถานีพัฒนาที่ดินสระบุรี ตำบลพุกสร้าง อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี
ดำเนินการช่วงปีงบประมาณ 2549 - 2553

3.1.3 สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ดำเนินการช่วงปีงบประมาณ 2554

3.1.4 สถิติต่อยอดการพัฒนาจากอุตสาหกรรมจีเอ็มเอ็มในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ณ.
ศูนย์วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ดำเนินการ
ช่วงปีงบประมาณ 2554 – ปัจจุบัน

3.2 สถิติเผยแพร่การจัดทำแปลงทดลองวิจัยแก่นักวิชาการของกรมพัฒนาที่ดิน

3.2.1 แปลงสาธิตทดลองวิจัยเพื่อการเพิ่มผลผลิตพืชผัก(คะน้า แดงกวา ผักกาดหัว) ใน
พื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอพนมสารคาม จังหวัด
ฉะเชิงเทราในปีงบประมาณ 2549 (รูปที่ 6, รูปที่ 7 และรูปที่ 8)



รูปที่ 6 แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตผักคะน้าด้วย “สารปรับปรุงดินทรายเป็นดินเสื่อมโทรม พด. 10”



รูปที่ 7 แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตผักกาดหัวด้วย “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10”



รูปที่ 8 แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตแตงกวาด้วย “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10”

3.2.2 แปลงสาธิตทดลองวิจัยแก่ นักวิชาการ และเกษตรกรในพื้นที่เกษตรกรโดยให้นักวิชาการและเกษตรกรมีส่วนร่วมในการจัดเตรียมแปลงทดลอง และร่วมเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อติดตามศึกษาการเพิ่มผลผลิตพืชไร่ : มันสำปะหลัง โดยจัดทำแปลงทดลองที่บ้านหนองบัว ตำบลบ้านฝาง อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น(รูปที่ 9) และแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่บ้านภูเหล็ก ตำบลภูเหล็ก อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น(รูปที่ 10) ในปีงบประมาณ 2549 – 2551 ทำการปลูกพืชไร่ : มันสำปะหลังและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ครั้งต่อปี จำนวน 2 ครั้ง



รูปที่ 9 แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังด้วย “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด.10”



รูปที่ 10 แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วย “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10”

3.2.3 แปลงสาธิตทดลองวิจัยแก่ นักวิชาการ และเกษตรกรในพื้นที่เกษตรกรโดยให้นักวิชาการและเกษตรกรมีส่วนร่วมในการจัดเตรียมแปลงทดลอง และร่วมติดตามศึกษา การเจริญเติบโตของพืชไม้ผล(น้อยหน่า) โดยจัดทำแปลงทดลองที่ บ้านหนองไข่น้ำ ตำบล.หนองไข่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา (รูปที่ 11) ปีงบประมาณ 2549 - 2551



รูปที่ 11 แปลงวิจัยการเพิ่มผลผลิตน้อยหน้าด้วย “สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรมพด. 10”

4 ทำให้เกิดมุมมองเชิงลึกของกระบวนการผลิตทั้งระบบที่ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นกากอุตสาหกรรมได้ และสามารถนำมาพัฒนาให้เป็นประโยชน์ เช่น จี้แปรงจากกากอุตสาหกรรมน้ำมันพืชปาล์มซึ่งอยู่ในขั้นตอนการกลั่นน้ำมันปาล์ม นอกเหนือจากของทิ้งซึ่งพบเห็นทั่วไป ดังเช่น เปลือกไม้ผล กากผลปาล์ม ทะลาย เส้นใย กะลาฯลฯ ที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1 การจัดหาจีแป็งจากทางเลือกอื่น และการประยุกต์ใช้วัสดุอื่นๆ

จากการพัฒนาจีแป็งเป็น “ สารปรับปรุงดินทรายและดินเสื่อมโทรม พด. 10 ” ต่อเนื่องถึงปัจจุบัน จนเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย และเป็นความสำเร็จอย่างยั่งยืนในเรื่องการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมจากขยะมลพิษ อีกทั้งได้นำมาพัฒนาต่อยอดเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงของกรมพัฒนาที่ดินต่อมา จากการเผยแพร่ดังกล่าว ทำให้ความต้องการจีแป็งมีมากเพื่อผลิตเป็นการค้า โดยเปลี่ยนขยะเป็นสารตั้งต้นของการผลิตที่มีมูลค่า ดังนั้นจึงควรจะศึกษานำจีแป็งจากอุตสาหกรรมอื่นๆที่ใช้เบนทอไนต์ในกระบวนการผลิตนั้นๆ มาศึกษาวิเคราะห์ในทำนองเดียวกัน เพื่อใช้แทนจีแป็งจากการผลิตน้ำมันพืชปาล์ม รวมถึงการประยุกต์ใช้วัสดุอื่น ๆ จากวัสดุที่หาง่ายในพื้นที่แทนได้เช่นกัน อาทิ ใช้ขังข้าวโพด ชี้อ้อย ฟางข้าว ชานอ้อย, Filter Cake ฯลฯ แทนแกลบดิบ เพื่อให้สมบัติกายภาพไม่แน่นทึบ หรือ มูลสัตว์ เช่น มูลวัวบางพื้นที่หายาก ก็สามารถเลือกใช้มูลไก่ไข่ แทน เป็นต้น

2 การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์

การศึกษาค้นคว้าพัฒนาจีแป็งโดยการนำกลับมาใช้เป็นสารตั้งต้นของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้ แม้จะไม่สามารถสะท้อนต้นทุนที่แท้จริงได้ เนื่องจากการผลิตนั้นได้รับความอนุเคราะห์ทั้งจีแป็งและการบริการนำส่งจีแป็งไปยังสถานที่ที่ผลิตโดยไม่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งใดๆ ส่วนโดโลไมต์ก็ได้รับความอนุเคราะห์จากเจ้าของสถานที่ผลิต แต่การผลิตในโอกาสต่อไปควรจะได้ศึกษาต้นทุนที่แท้จริงได้ตามต้นทุนที่ผันแปรตามสถานการณ์และสถานที่ผลิตนั้น

3 การจัดหาสถานที่ดำเนินการ

ควรเป็นสถานที่โล่งแจ้งห่างไกลชุมชน เนื่องจากกลิ่นเหม็นหื่นของจีแป็ง มูลสัตว์แห้ง และตลอดช่วงการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในช่วงแรกๆ จะมีกลิ่นรบกวนมาก

4 การตรวจสอบประสิทธิภาพของโดไลไมต์ และเชื้อจุลินทรีย์

การพัฒนาจีแป็งโดยการบำบัดความเป็นกรดรุนแรงของจีแป็งด้วยโดไลไมต์ ดังนั้นควรตรวจสอบประสิทธิภาพของโดไลไมต์ เนื่องจากโดไลไมต์แต่ละแหล่งมีการปนเปื้อนแตกต่างกัน ทำให้อำนาจของการทำให้เป็นกลางต่างกันด้วย รวมถึงการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ “สารเร่งซูเปอร์ พด. 1” ซึ่งในเบื้องต้นถ้าของบรรจุผลิตภัณฑ์สารเร่งมีลักษณะพองโตก็ไม่แนะนำให้ใช้ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2554. การแปรรูปปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมส่งเสริมการเกษตร.2556. สถานการณ์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม.(On line) www.sdoae.doae.go.th, 27 มีนาคม 2556.
- เกศินี เหมวิเชียร. 2537. การใช้ดินเบนทอไนต์ฟอกสีน้ำมันพืช. ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์ พิมพ์ธิดา เรื่องไพศาล และจันจิรา แสงสีเหลือง. 2550. ศึกษาการแยกและคัดเลือกรูทไมโครเบียเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ซูเปอร์พด.1. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- บรรเจิด พลังกูร. 2523. ทรัพยากรที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- บัญญัติ สุขศรีงาม. 2522. จุลชีววิทยา เล่ม 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- วิทยา มะเสนา. 2526. จุลชีววิทยาทางดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศิริพร กิรติจำเริญ. 2541. การฟอกสีน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ดินเบนทอไนต์. ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรินทร์ ลีมนานาท. 2555. ประโยชน์จากเกลบของเหลือใช้ทางการเกษตร.(On line)

www.material.chula.ac.th, 16 กุมภาพันธ์ 2555.

สะอึ้ง จักขุศิลา. 2546. เทคนิคการวิเคราะห์หาค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต. วารสารดินและปุ๋ย ปีที่ 25 ฉบับที่ 4. น. 160-164.

สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม.2556.การจัดการกากอุตสาหกรรม. (On line)www2.diw.go.th, 2 เมษายน 2556.

สุจินต์ พรราวพันธุ์. ม.ป.ป. การศึกษาวิจัยวิธีการวิเคราะห์เพื่อวินิจฉัยดินเบนทอไนต์. กรม วิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สุพจน์ โดตระกูล. 2526. หลักการของปฐพีเคมีวิเคราะห์. ภาควิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุเมธา ปุณณบุตร. 2538. การทดลองใช้ดินเบนทอไนต์ฟอกสีน้ำมันถั่วเหลือง. ภาควิชาเคมี, คณะ วิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรอรรด ศุภจตุรัส. 2545. การศึกษาการใช้จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ไลเปสเพื่อใช้บำบัดไขมันใน ระบบบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัญชลี สุทธิประการ. 2534. แร่ในดิน เล่ม 1 และ 2. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adams, P. and C. E. Evans. 1962. A rapid method for measuring lime requirement of Red-Yellow Podzolic soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26: 355-357.

Adel Y, Girgis. 2005. Reuse of discarded deactivated bleaching earths in the bleaching of oils. J. Amer. Oil Chem. Soc. 56: 34-45.

- Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press Inc. San Diego. 576 p.
- Alexanian, C.L. 1939. Chemical activation of natural clays presumably having a decolourizing action. *Rev. Petrolifere*, No. 841: 761-763.
- Amacher, M C. 1996. Method of soil analysis : nickel, cadmium and lead. Pp. 739-745. In. D. L.Sparks, ed. *Method of Soil Analysis : Part 3 Chemical Methods*. SSSA, Inc., USA.
- Anderson, D. 1996. A primer on oils processing technology *In* Hui Y. (ed.). *Bailey 's industrial oil and fat products*. 4: 27-31. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Angela, A . J. X-ray fluorescence spectrometry. *In* A. L. Page (ed.). 1982. *Method of Soil Analysis*. Amer. Soc. Of Agron. Monograph No. 9, Part II 2nd ed., p 85-121.
- Aribisala, A.O. 1993. Raw material revolution and import on industrialization in Nig. Mednet Ltd, Lagos.
- Bradfield, R. and W. H. Allison, 1933. Criteria of base saturation in soil. *Trans Second Conn. Inter. Soc. Soil Sci. A.*: 63-79.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Brimberg, U. 1982. Kinetics of bleaching of vegetable oils. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 59: 74-78.
- Brown, D. A., 1943. A rapid method for determining exchangeable hydrogen and total exchangeable bases of soils. *Soil Sci.* 56: 353-357.

- Buondonno, A., D. Felleca and A. Violante. 1989. Properties of organo-mineral complexes formed by different addition sequences of hydroxy-Al, montmorillonite and tannic acid. *Clay's Clay Miner.* 37: 235-242.
- Chapman, H.D. 1965. Cation Exchange Capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy, No. 9.* Amer. Soc. of Agro. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Chenu, C. and G.Stotzky. 2002. Interactions between microorganisms and soil particles : An Overview. *In* PM Huang, J-M Bollag , N Senesi(eds.). *Interactions between Soil Particles and Microorganisms.* John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Dunn, L. E. 1943. Lime requirement determination of soils by means of titration curve. *Soil Sci.* 56:341-351.
- Epstein, E. 2003. *Land application of sewage sludge and biosolids.* Lewis Publishers, USA.
- Fidalski, J. and P.A.M. Auler. 1997. Levantamento Nutricional de pomares de laranja no noroeste do Parana. *Arg. Biol. Tecnol.* 40: 443-451.
- Fidalski, J., M. A. Pavan, P. A. M. Auler and A. P. Jaocmino. 1999. Produção de frutos de laranja pêra e teores de nutrientes nas folhas e no solo, em latossolo vermelho-escuro do noroeste do Paraná. *R. bras. Ci. Solo.* 23:273-279.
- Foletto, E. L., C.C.A. Alves, L.R. Sganzerla and L.M. Porto. 2002. Regeneration and utilization of spent bleaching clay. *Latin American Research Journal.* 32: 205-208.

- Gonzalez-Pradas, E., M. Villafraca-Scachez and A. Gallego-Campo. 1993. Influence of the Physico-Chemistry properties of an acid-activated bentonite in the bleaching of olive oil. *Chem. Tech. Biotechnol.* 57: 213-216.
- Guillaumin, R. and J.F. Pertiniost. 1968. Ion exchange on decolourizing earths : Their effect on the characteristics of triglycerides. *Rev. Fr. Corps. Gras.* 15: 587-596.
- Harvey, E. Doner and C. Lynn. Warren. 1989. Carbonate, Halide, Sulfate, and Sulfide Minerals, pp. 279-330. *In* David E. Kissel, (ed.). *Minerals in Soil Environments.* Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Hesse, P. R. 1971. *Textbook of Soil Chemical Analysis.* William Clowes and Sons Limited, London.
- Hoffmann, G. 1989. The chemistry and technology of edible oils and fats and their high fat products. pp. 164-167. Academic press Inc, London.
- Jackson, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis.* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. N. J. p. 219-221.
- _____. 1965. Clay transformation in soil genesis during the Quaternary. *Soil Sci.* 99:15-22.
- James, O. O. 2005. Beneficiation and bleaching studies of Yola montmorillonite clay. *M.Sc thesis*, Dept. of Chemistry, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria .

- Jones, C. H. 1913. Method of determining the lime requirement of soils. Abs. in Chem. Abs. 9: 1961.
- Kalam, A. and J. Joshi. 1988. Regeneration of spent earth in aqueous medium. J. Amer. Oil Chem. Soc. 65: 1917-1921.
- Kaufmann, H. 1986. Modern technology of fats and fats products. Aschendorffsche Verlagsbuch handlung, Münster. 5: 733.
- Kheok, S.C. and E.E. Lim. 1982. Mechanism of palm oil bleaching by montmorillonite clay activated at various acid concentration. JAOCS. 59. (3): 129-131.
- Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
- Mag, T. 1990. Bleaching theory and practice. p.107. In David R. (ed.). Edible Fats and Oils Processing, Amer. Oil Chem. Soc., Champaign, U.S.A.
- Makoi-Joachim, H.J.R., and P.A. Ndakidemi. 2008. Selected soil enzyme: Examples of their potential roles in the ecosystem. African J. Biotech. 7(3): 181-191.
- Mehra, O. P. and M. L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate, pp. 317-327. In: Proc. 7th Nall. Conf. On Clays and Clay Minerals. Permagon Press, New York.
- Mertens, D. R. 1992. Critical conditions in determining detergent fiber. Proceedings of NFTA Forage Analysis Workshop. Denver, CO. p C1-C8.

- Micheal, H., J. Philip and H. Mike. 1992. Adsorptive bleaching of soybean oil with non-montmorillonite Zambian clays. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 69: 379-383.
- Michigan Premier Resource for Grower Education. 2013. Factors affecting distribution, activity and population of soil microorganisms. (On line) www.michiganmedicalmarijuanagrowers.net, April 5, 2013.
- Mokoya, R. and W. Jone. 1993. Acid Activation of Clays and Effect on Adsorption Properties. pp. 242-252. *In* A. Dyer, M.J. Hudson and P.A. Millers (eds.). *Ion Exchange Processes: Advances and Applications*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Morgan, D.A., D.B. Shaw, M.J. Sidebottom, T.C. Soon and R.S. Taylor. 1985. The Function of bleaching earths in the processing of palm, palm kernel and coconut oil. *JAOCS*. 62(2): 292-298.
- Peech, M. 1965. Soil pH by glass electrode pH meter. pp. 914-925. *In* C.A. Black (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy, No. 9*. Amer. Soc. of Agro. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Pierre, W. H. and S. L. Worley, 1928. The buffer method and the determination of exchangeable hydrogen for estimating the amounts of lime required to bring soils to define pH values. *Soil Sci.* 26: 363-375.

- Rios, V., J.A. Martini and R. Tejeira. 1968. Effect of liming on acidity and content of extractable aluminium and iron panama soils. Turialba. 18: 139-146. (Abstr. In soil and Fertilizer. 1969:32)
- RMRDC Raw Material Research and Development Council. 1991. Raw Materials Sourcing for Manufacturing in Nigeria. 3rd edition, Abuja.
- Ross, G. J., K. Lawton and B. G. Ellis. 1964. Lime requirement related to physical and chemical properties of nine Michigan soils. Soil Sci. Amer. Proc. 28: 209-212.
- Scow, Kate. 2013. Soil environment and physical factors controlling microbial activity. (On line) www.sciencedaily.com, April 5, 2013
- Segers, J. 1992. Pretreatment of edible oils for physical refining. J. Amer. Oil Chem. Soc. 69: 262-264.
- Shainberg, I. and J. E. Dawson. 1967. Titration of H-clay Suspensions with salt solutions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31:619-626.
- Shoemaker, H. E., E. O. Mclean and P. F. Pratt. 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 274-277.
- Soda, W., A.D. Noble, S. Suzuki, R. Simmons, L. Sindhuse and S. Bhuthondharaj. 2006. Co-composting of acid waste bentonites and their effects on soil properties and crop biomass. Published in J. Environ. Qual. 35: 2293-2301.

- Srasra, E., F. Bergaya, H. Van damme and N. K. Ariguib. 1989. Surface properties of an activated bentonite - decolourisation of rape-seed oils. *Appl. Clay Sci.* 4: 411-421.
- Taylor, D.R. and D.B. Jenkins. 1986. Acid activated clay. *Society of Mining Engineers.* 86(365): 14-26.
- Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33: 41-163.
- Topallar, H. 1998. Bleaching kinetics of sunflower oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 75: 531-533.
- Verlengia, F. and H. Gargantini. 1992. Estudo sobre a eficiência de diferentes fracoes granulometricas de calcario no solo, *Bragantia.* 31: 119-128.
- Viets, F.G. and W.L. Lindsay. 1973. Testing soil for zinc, copper, manganese and iron. In: *Soil Testing and Plant Analysis (Ed.): Walsh LM and Beaton J. Soil Science of Animal Production.*
- Waldmann, C. and R. Eggers. 1991. De-oiling contaminated bleaching clay by high-pressure extraction. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 68: 922-930.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1947. An examination of degtareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-35.

- Wesselink, L.G., N. Van Breemen, J. Mulder and P.H. Janssen. 1996. A simple model of soil organic matter complication to predict the solubility of aluminum in acid forest soils. *Eur. J. Soil Sci.* 47:373-384.
- Whittig, L. D. 1965. X-ray diffraction technique for minerals identification and mineralogical composition, pp. 671-698. In C. A. black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part I. Agronomy No. 9.* American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Woodruff, C. M. , 1947. Determination of the exchangeable hydrogen and lime requirement of the soil by means of the glass electrode and buffer solution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12: 141-142.
- Young, F. 1987. Refining and Fractionation of Palm Oil. pp. 47-51. *In* F. Gunston (ed.). *Palm Oil.* The Society of Chemical Industry Publication, John Wiley and Sons, Inc., New York.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในดินธรรมชาติ และดินจากการเกษตร

ชนิดของ โลหะหนัก	ค่าในดินธรรมชาติ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ค่าในดินจากการเกษตร (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
สารหนู(As)	5-13	ไม่มีข้อมูล
แคดเมียม(Cd)	0.01-7	<0.0010-2.0
โครเมียม(Cr)	23-15,000	ไม่มีข้อมูล
ทองแดง(Cu)	1-300	<0.6-495
ตะกั่ว(Pb)	2.6-25	<<1.0-0.135
ปรอท(Hg)	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
นิกเกิล(Ni)	3-300	0.7-269
ซีลีเนียม(Se)	0.0001-3.4	ไม่มีข้อมูล
สังกะสี(Zn)	10-2,000	<3.0-264

ที่มา : Epstein (2003)

ตารางผนวกที่ 2. เกณฑ์การแบ่งระดับปฏิกิริยาของดิน

ระดับปฏิกิริยาของดิน	ค่า pH
กรดจัดมาก	< 4.5
กรดจัด	4.5 - 5.0
กรดแก่	5.1 - 5.5
กรดปานกลาง	5.6 - 6.0
กรดเล็กน้อย	6.0 - 6.5
กลาง	6.6 - 7.3
ด่างอ่อน	7.4 - 7.8
ด่างปานกลาง	7.9 - 8.4
ด่างแก่	8.5 - 9.0
ด่างแก่มาก	> 9.0

ที่มา : บรรเจิด (2523)

ตารางผนวกที่ 3 เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

ระดับ	อินทรีย์วัตถุ (%)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5 – 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 – 1.5
ปานกลาง	1.5 – 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 – 3.5
สูง	3.5 – 4.5
สูงมาก	> 4.5

ที่มา : บรรเจิด (2523)

ตารางผนวกที่ 4 เกณฑ์การแบ่งระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

ระดับ	CEC cmol / kg
ต่ำมาก	<3
ต่ำ	3-5
ค่อนข้างต่ำ	5-10
ปานกลาง	10-15
ค่อนข้างสูง	15-20
สูง	20-30
สูงมาก	>30

ที่มา : บรรเจิด (2523)

ตารางผนวกที่ 5 เกณฑ์การแบ่งระดับร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบส(%BS)

ระดับ	% BS
ต่ำ	<35
ปานกลาง	35-75
สูง	>75

ที่มา : บรรเจิด (2523)

ตารางผนวกที่ 6 เกณฑ์การแบ่งระดับธาตุอาหารพืชในดิน

ระดับ	P	K	Ca	Mg
mg/kg				
ต่ำมาก	< 3	< 30	<400	<36
ต่ำ	3-6	30-60	400-1000	36-120
ค่อนข้างต่ำ	6-10			
ปานกลาง	10-15	60-90	1000-2000	120-360
ค่อนข้างสูง	15-25			
สูง	25-45	90-120	2000-4000	360-960
สูงมาก	> 4.5	> 120	>4000	>960

ที่มา : บรรเจิด (2523)

ตารางผนวกที่ 7 เกณฑ์การแบ่งระดับความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารพืชในดิน

จุลธาตุอาหารพืช	ระดับตามความต้องการของพืช (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
	มีไม่พอ	มีพอเหมาะ	มีเกินพอ
แมงกานีส(Mn)	<1.0	1.0	>1.0
ทองแดง(Cu)	<0.2	0.2	>0.2
สังกะสี(Zn)	<0.5	0.5-1.0	>1.0
เหล็ก(Fe)	<2.5	2.5-4.5	>4.5

ที่มา : Viet and Lindsay (1973)