



การนำกากซีเป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้
ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน

The Utilization of the Centrifuged Residue from Concentrated
Latex Industry as a Soil Conditioner

วราศรี เทกประสิทธิ์
Varasri Tekprasit

เลขบัญชี	0051.01 146 2543	ร.๒
Order Key	28814	
Bib Key	177588	
	10 (ค.ศ. 2543)	

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Science Thesis in Environmental Management
Prince of Songkla University

2543

ชื่อวิทยานิพนธ์ การนำกากขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมน้ำตาลขี้มาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็น
วัสดุบำรุงดิน

ผู้เขียน นางสาววราศรี เกกประสิทธิ์

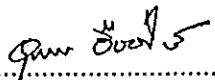
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

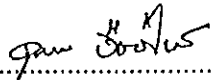
คณะกรรมการที่ปรึกษา


คณะกรรมการสอบ

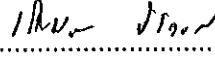
.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์)

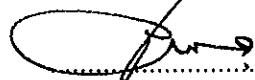
.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์)

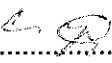
.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พิชนิไพบูลย์)

.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พิชนิไพบูลย์)

.....กรรมการ
(อาจารย์เจ็ดจรรย์ ศิริวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์เจ็ดจรรย์ ศิริวงศ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นงพร โตวิฒนะ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ บำรุงรักษ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การนำกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็น

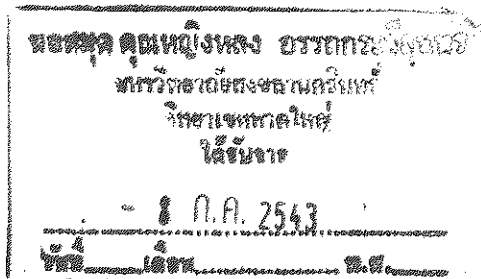
วัสดุบำรุงดิน

ผู้เขียน นางสาววราศรี เทกประสิทธิ์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ



การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดกากซีเมนต์ และคุณลักษณะของกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น รวมถึงการนำกากซีเมนต์มาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย การศึกษาดำเนินการโดยสำรวจโรงงานน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงานในจังหวัดสงขลา ผลการสำรวจ พบว่าการผลิตน้ำยางข้น จะทำให้เกิดปริมาณของเสียในรูปของกากซีเมนต์ โดยเฉลี่ย เท่ากับ 9.7 กก./น้ำหนักเปียก/ตันน้ำยางสด จากการสำรวจในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม 2541 และ 10.3 กก./น้ำหนักเปียก/ตันน้ำยางสด จากการสำรวจในช่วงเดือนธันวาคม 2541 ถึงเดือนมกราคม 2542 ในการจัดการกับกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นนั้น ทางโรงงานมักจะทิ้งกองไว้ หรือเอาไปถมที่ บางโรงงานก็ทิ้งรวมกับขยะ และบางโรงงานกำจัดโดยการเผาทิ้ง

จากการนำกากซีเมนต์มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี พบว่า กากซีเมนต์มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยการทำเป็นสารปรับสภาพดินหรือทำปุ๋ยได้ เพราะมีธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N, P, K, Mg และ Zn โดยจากการวิเคราะห์กากซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม 2541 พบว่า กากซีเมนต์มี N, P (ในรูปของ P_2O_5), K (ในรูปของ K_2O) Mg และ Zn เฉลี่ยเท่ากับ 2.06, 19.6, 1.8, 5.31 และ 1.01 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์กากซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนธันวาคม 2541 ถึงเดือนมกราคม 2542 เฉลี่ยเท่ากับ 2.14, 21.6, 2.1, 7.56 และ 0.51 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และพบว่ากากซีเมนต์มีสภาพไม่คงตัว สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ง่าย โดยเมื่อนำกากซีเมนต์แห้งมาสกัดกับ de-ionized water พบว่า กากซีเมนต์จะละลาย โดย K จะละลายออกมามากสุด อยู่ในช่วง 69 - 88 % และ N มีความสามารถในการละลายออกในช่วง 11 - 12 % สำหรับ P, Mg และ Zn นั้น มีความสามารถละลายออกได้ในช่วง 1 % หรือต่ำกว่า สำหรับค่า BOD_5 และ COD ของส่วนของเหลวที่สกัดได้ พบว่ามีค่าสัดส่วนของ BOD_5 ต่อ COD มากกว่า 0.5

แสดงให้เห็นว่า กากซีเมนต์เมื่อละลายน้ำแล้ว จะทำให้น้ำที่สกัดนั้นมีคุณสมบัติที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้

สำหรับการนำกากซีเมนต์มาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย โดยการทดสอบศักยภาพของกากซีเมนต์กับการปลูกหญ้า ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้หญ้านวลน้อยนั้น พบว่า กากซีเมนต์สามารถช่วยให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้แล้วกากซีเมนต์ยังมีคุณสมบัติช่วยในการปรับสภาพดิน และช่วยทำให้ดินมี pH เป็นกลาง

Thesis Title The Utilization of the Centrifuged Residue from Concentrated Latex
 Industry as a Soil Conditioner
Author Miss. Varasri Tekprasit
Major Program Environmental Management
Academic Year 1999

Abstract

This study reported generation rate of centrifuged residue of the concentrated latex industry, its characteristics and the utilization of centrifuged residue as a soil conditioner. Three concentrated latex industries were investigated in Songkhla province. The survey results shown that the concentrated latex industry generated solid waste in terms of centrifuged residue with the average value of 9.7 kg. wet wt./ton of raw latex in July to August 1998 and 10.3 kg. wet wt./ton of raw latex in December 1998 to January 1999. The centrifuged residue was always found to be dumped in the factory or to be used for landfill. However, some factories burned it or discarded it together with solid waste.

The centrifuged residue was analyzed for the physical and chemical characteristics. It was found that it contained many nutrient elements, such as N, P, K, Mg and Zn. Therefore, it was considered to use as soil conditioner. The average concentrations of N, P (as P_2O_5), K (as K_2O), Mg and Zn of centrifuged residue sampling in July to August 1998 were found to be 2.06, 19.6, 1.8, 5.31 and 1.01 % dry weight, respectively. The analytical results of centrifuged residue sampling in December 1998 to January 1999 shown to contain with N, P (as P_2O_5), K (as K_2O), Mg and Zn with the average concentrations of 2.14, 21.6, 2.1, 7.56 and 0.51 % dry weight, respectively.

The dried centrifuged residue was extracted with de-ionized water. The analytical results shown that the centrifuged residue was not stable. It could be leached and dissolved with water. After it was dissolved with water, the solubility of K was found to be about 69 - 88 %. Whereas the solubility of N, P, Mg and Zn were observed to be

11 - 12 %, 1 % and less than 1 %, respectively. The eluant from centrifuged residue extraction was analyzed for BOD₅ and COD. It was found that the proportion value of BOD₅ and COD was more than 0.5. This shown that the eluant of centrifuged residue extraction was biodegradable matter.

The potential of using centrifuged residue as soil conditioner was examined by testing with Manila grass. The experimental results showed that grass added with centrifuged residue grown better than adding with chemical fertilizer. In addition, the centrifuged residue could keep soil's pH to be neutral and enhance adjustment of soil condition.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือสนับสนุน ความร่วมมือร่วมใจ ให้
ข้อเสนอแนะ และกำลังใจจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ทำให้ผู้ศึกษาวิจัยตระหนักอยู่เสมอถึงความมี
พระคุณอันเป็นองค์ประกอบของความสำเร็จนี้ และใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ดร. สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เป็นผู้ให้แนวความคิด และข้อ
แนะนำ รวมทั้งความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ดร. อุดมผล พิชนไพบุลย์ และอาจารย์เจิดจรรย์ ศิริวงศ์
ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำและติดตามความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์อยู่เสมอ
รวมทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี รองศาสตราจารย์ ดร.นงพร ไตว์มณะ คณะกรรมการ
สอบ และคณาจารย์คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้คำสอนข้อเสนอแนะต่าง ๆ ตลอดถึงอาจารย์
ที่ให้ความรู้แก่ผู้ศึกษาวิจัยเพื่อใช้เป็นพื้นฐานที่นำพาผู้ศึกษาวิจัยจนศึกษามาถึงในระดับนี้

ขอขอบคุณ บริษัทเอ็กซ์เซลส์ รับเบอร์ จำกัด บริษัทหลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด
และบริษัทไชยาพรลาเท็กซ์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างกากชี้แบ่งและให้ข้อมูล
ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ รวมทั้งบุคลากรคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่าน
ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ด้วยดีเสมอมา และขอบคุณเพื่อน ๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 8 ที่คอย
ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจกันมาตลอด รวมทั้งรุ่นพี่รุ่นน้องในคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่าน

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการ
ศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ ด้วยการเล็งเห็นถึงการศึกษาของลูกเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง รวมทั้ง
ทั้งพี่ ๆ น้อง ๆ ที่ได้ให้กำลังใจ และการสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และการได้รับกำลังใจอย่างยิ่ง จาก
คุณสัมพันธ์ พรหมหอม และ เด็กหญิงณัฐนิชา พรหมหอม

ผู้ศึกษาระลึกถึงพระคุณของท่านเสมอ

วราศรี เถกประสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(13)
รายการตารางภาคผนวก	(16)
รายการภาพประกอบภาคผนวก	(18)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	14
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	14
ขอบเขตของการวิจัย	14
2 วิธีดำเนินการวิจัย	16
วัสดุ	16
อุปกรณ์	16
วิธีดำเนินการวิจัย	17
สถานที่ทำการวิจัย	24
3 ผลการวิจัย	25
การสำรวจโรงงานน้ำยางชั้น	25
ที่ตั้งของโรงงานและประเภทการผลิต	25
กระบวนการผลิตและการเกิดกากขี้แป้ง	25
ปริมาณการเกิดกากขี้แป้ง	30
ผลการเก็บตัวอย่างกากขี้แป้งจากโรงงานมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี	32
	(8)

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้เถ้า	32
น้ำสกัดจากกากขี้เถ้า	36
ผลการทดลองการนำกากขี้เถ้ามาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย	37
การเจริญเติบโตของต้นหญ้า	37
ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน	49
ธาตุไนโตรเจน	49
ธาตุฟอสฟอรัส (as total P ₂ O ₅)	56
ธาตุโพแทสเซียม (as K ₂ O)	63
ธาตุแมกนีเซียม	70
ธาตุสังกะสี	72
ค่า pH	73
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	75
ธาตุโซเดียม	76
4 บทวิจารณ์	77
การศึกษาปริมาณการเกิดและลักษณะของกากขี้เถ้า	77
ปริมาณการเกิดกากขี้เถ้า	77
ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้เถ้า	77
การศึกษาความสามารถในการละลายของกากขี้เถ้า	78
การนำกากขี้เถ้ามาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย	79
การเจริญเติบโตของต้นหญ้า	79
การใช้ธาตุอาหารและอัตราส่วนการใช้ธาตุอาหารต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น	80
การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากขี้เถ้ามาใช้ประโยชน์ใน	
การทำเป็นปุ๋ย	88
ค่าใช้จ่ายจากการใช้ประโยชน์กากขี้เถ้า	88
ค่าใช้จ่ายจากการใช้ปุ๋ยเคมี	91
การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและค่าตอบแทน	92

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	98
บทสรุป	98
ข้อเสนอแนะ	100
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม	100
บรรณานุกรม	101
ภาคผนวก ก	104
ภาคผนวก ข	122
ภาคผนวก ค	127
ภาคผนวก ง	151
ภาคผนวก จ	164
ประวัติผู้เขียน	169

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	2
2 แสดงส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ในเนื้อยางพารา	3
3 แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ	18
4 แสดงเงื่อนไขการทดลอง	20
5 แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของดิน	23
6 แสดงรายชื่อของโรงงานน้ำยางชั้นที่ดำเนินการศึกษา	24
7 แสดงที่ตั้งและประเภทการผลิตยางของโรงงานที่ศึกษา	25
8 แสดงผลการสำรวจโรงงานและการศึกษากระบวนการผลิตของตัวแทนโรงงาน น้ำยางชั้นภายในจังหวัดสงขลา (เดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม 2541)	26
9 แสดงปริมาณกากขี้แป้งที่เกิดจากการผลิตในโรงงานน้ำยางชั้น (เดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม 2541)	31
10 แสดงปริมาณกากขี้แป้งที่เกิดจากการผลิตในโรงงานน้ำยางชั้น (เดือนธันวาคม 2541 - เดือนมกราคม 2542)	31
11 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่าง กากขี้แป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นภายในจังหวัดสงขลา (เดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม 2541)	34
12 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่าง กากขี้แป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นภายในจังหวัดสงขลา (เดือนธันวาคม 2541 - เดือนมกราคม 2542)	35
13 แสดงผลการศึกษาการสกัดกากขี้แป้ง	36
14 แสดงสัดส่วนของธาตุแต่ละประเภทที่ถูกละลายได้	37
15 แสดงความสูงของต้นหญ้าก่อนปลูก และหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน โดยการประเมิน	44
16 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนใช้ปลูกพืช	50
17 แสดงอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละ ชุดการทดลอง	56

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
18 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P ₂ O ₅) ในดินแต่ละชุดการทดลอง ก่อนใช้ปลูกพืช	57
19 แสดงอัตราส่วนของการใช้ total P ₂ O ₅ ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง	63
20 แสดงความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K ₂ O) ในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนใช้ปลูกพืช	64
21 แสดงอัตราส่วนของการใช้ K ₂ O ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง	70
22 แสดงค่าความเข้มข้นของ Mg ในดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน	71
23 แสดงค่าความเข้มข้นของ Zn ในดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน	72
24 แสดงค่า pH ของดินก่อนปลูก และหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	74
25 แสดงค่าการนำไฟฟ้า ของดินก่อนปลูก และหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	75
26 แสดงค่าความเข้มข้นของ Na ในดินก่อนปลูก และหลังจากปลูกได้ 50 วัน	76
27 แสดงการใช้ธาตุอาหาร และอัตราส่วนการใช้ธาตุอาหารต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น หลังจากปลูกได้ 50 วัน	80
28 แสดงปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกได้ 50 วัน	83
29 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใส่กากขี้แ่งและปุ๋ยต่อผลผลิตหญ้า ในเทอมของน้ำหนักแห้งที่ได้	92
30 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใส่กากขี้แ่งและปุ๋ยต่อผลผลิตหญ้า ในเทอมของน้ำหนักสดที่ได้	93
31 แสดงผลตอบแทนที่ได้จากการปลูกหญ้า 1 ไร่ โดยใช้การใส่กากขี้แ่งและปุ๋ยเป็น สารที่ให้ธาตุอาหารพืช	94

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ผังแสดงการผลิตน้ำยางชั้นโดยวิธีการปั่น	7
2 แสดงภาพหน้าตัดตามความยาวของถังปั่นน้ำยางชั้น	8
3 แสดงภาพรวมการผลิตและการเกิดของเสียของโรงงานน้ำยางชั้น	10
4 แสดงแปลงทดลองที่ใช้ในการปลูกหญ้า	21
5 แสดงถังสำหรับพักน้ำยางก่อนนำไปปั่น	28
6 แสดงกากซี่แบ่งที่ได้จากการตกตะกอนจากถังพักน้ำยาง	28
7 แสดงชุดถังปั่นน้ำยางชั้น	28
8 แสดงกากซี่แบ่งที่ได้จากการปั่นน้ำยาง	29
9 แสดงการกองกากซี่แบ่งทิ้งไว้บริเวณข้างโรงงาน	29
10 แสดงการนำกากซี่แบ่งไปถมพื้นที่	29
11 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 หลังจากปลูกได้ 20 วัน	38
12 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 3 และ 4 หลังจากปลูกได้ 20 วัน	38
13 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 5 และ 6 หลังจากปลูกได้ 20 วัน	39
14 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 7 และ 8 หลังจากปลูกได้ 20 วัน	39
15 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 1 2 3 และ 4 หลังจากปลูกได้ 40 วัน	40
16 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 5 6 7 และ 8 หลังจากปลูกได้ 40 วัน	40
17 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 หลังจากปลูกได้ 50 วัน	41
18 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 3 และ 4 หลังจากปลูกได้ 50 วัน	41
19 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 5 และ 6 หลังจากปลูกได้ 50 วัน	42
20 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 7 และ 8 หลังจากปลูกได้ 50 วัน	42
21 แสดงค่าเฉลี่ยการเพิ่มน้ำหนักสดของหญ้าที่เวลา 20 40 และ 50 วัน	46
22 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มน้ำหนักสดของหญ้าต่อวันที่เวลา 20 40 และ 50 วัน	46
23 แสดงค่าเฉลี่ยการเพิ่มน้ำหนักแห้งของหญ้าที่เวลา 20 40 และ 50 วัน	47
24 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งของหญ้าต่อวันที่เวลา 20 40 และ 50 วัน	47

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25 แสดงค่าเฉลี่ยการเพิ่มของปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้ง ที่เวลา 20 40 และ 50 วัน	48
26 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้งต่อวัน ที่เวลา 20 40 และ 50 วัน	48
27 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดการทดลอง ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน	51
28 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน	51
29 แสดงสัดส่วนร้อยละของไนโตรเจนในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดการทดลองที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ สัดส่วนร้อยละของไนโตรเจน ที่เหลืออยู่	52
30 แสดงสัดส่วนร้อยละของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลองที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ สัดส่วนร้อยละของไนโตรเจน ที่เหลืออยู่	52
31 แสดงการ uptake N ของหญ้าในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก และ 30 วันหลังของการปลูก	54
32 แสดงอัตราการ uptake N ของหญ้าต่อวัน ในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรก ของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	54
33 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินชุดควบคุม ของแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 20 และ 50 วัน	58
34 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า ของแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 20 และ 50 วัน	58
35 แสดงสัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินชุดควบคุม ของแต่ละชุดการทดลองที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ สัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ที่เหลืออยู่	59

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
36 แสดงสัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า ของแต่ละชุดการทดลองที่ลดลงใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ที่เหลืออยู่	59
37 แสดงการ uptake P_2O_5 ของหญ้าในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก และ 30 วันหลังของการปลูก	61
38 แสดงอัตราการ uptake P_2O_5 ของหญ้าต่อวัน ในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	61
39 แสดงความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินชุดควบคุม ของแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 20 และ 50 วัน	65
40 แสดงความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า ของแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 20 และ 50 วัน	65
41 แสดงสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินชุดควบคุม ของแต่ละชุดการทดลองที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม (as K_2O) ที่เหลืออยู่	66
42 แสดงสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า ของแต่ละชุดการทดลองที่ลดลงใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม (as K_2O) ที่เหลืออยู่	66
43 แสดงการ uptake K_2O ของหญ้าในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก และ 30 วันหลังของการปลูก	68
44 แสดงอัตราการ uptake K_2O ของหญ้าต่อวัน ในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	68

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก	หน้า
1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างกากชี้แบ่ง จากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้นภายในจังหวัดสงขลา (เดือนกรกฎาคม – เดือนสิงหาคม 2541)	105
2 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างกากชี้แบ่ง จากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้นภายในจังหวัดสงขลา (เดือนธันวาคม 2541 – เดือนมกราคม 2542)	106
3 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักรีดที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนักสด ของหญ้า หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	107
4 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนักแห้ง ของหญ้า หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	108
5 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของ ปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้ง หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	109
6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักรีด ของหญ้า หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	110
7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักแห้ง ของหญ้า หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	110
8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของปริมาณ สารระเหยง่าย (VS) ของต้นหญ้าแห้ง หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	111
9 แสดงความเข้มข้นของ N ในดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละ ชุดการทดลอง หลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน	112
10 แสดงการลดลงของไนโตรเจน ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	113
11 แสดงสัดส่วนการ uptake N ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก และ N ที่เหลือ	113
12 แสดงอัตราการ uptake N ของหญ้าต่อวัน ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก การปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	114

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
13 แสดงอัตราส่วนการ uptake N/น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในแต่ละชุดการทดลอง ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	114
14 แสดงความเข้มข้นของ P_2O_5 ในดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง หลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน	115
15 แสดงการลดลงของ P_2O_5 ในแต่ละชุดการทดลองในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	116
16 แสดงสัดส่วนการ uptake P_2O_5 ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก และ P_2O_5 ที่เหลือ	116
17 แสดงอัตราการ uptake P_2O_5 ของหญ้าต่อวัน ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	117
18 แสดงอัตราส่วนการ uptake P_2O_5 /น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	117
19 แสดงความเข้มข้นของ K_2O ในดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลองหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน	118
20 แสดงการลดลงของ K_2O ในแต่ละชุดการทดลอง ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	119
21 แสดงสัดส่วนการ uptake K_2O ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก และ K_2O ที่เหลือ	119
22 แสดงอัตราการ uptake K_2O ของหญ้าต่อวัน ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	120
23 แสดงอัตราส่วนการ uptake K_2O /น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก	120
24 แสดงค่า %SC และ %VS ของดินก่อนปลูกหญ้าและหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน	121

รายการภาพประกอบผนวก

ภาพประกอบผนวก	หน้า
1 แสดงกากขี้แบ่งหลังจากนำมาอบแห้งและบดแล้ว	123
2 แสดงกากขี้แบ่งหลังจากนำมาเผา	123
3 แสดงการปลูกหญ้าโดยวิธีการแยกออกเป็นต้น	124
4 แสดงการเก็บเกี่ยวหญ้าหลังจากปลูกได้ 20 วัน	124
5 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าของชุดการทดลองที่ 2 (ใช้กากขี้แบ่งเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช) หลังจากปลูกได้ 40 วัน	125
6 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าของชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 6 7 และ 8 หลังจากปลูกได้ 50 วัน	125
7 แสดงต้นหญ้าหลังการเก็บเกี่ยวของชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม : ไม่ได้ใส่ธาตุอาหารใด ๆ) หลังจากปลูกได้ 50 วัน	126
8 แสดงต้นหญ้าหลังการเก็บเกี่ยวของชุดการทดลองที่ 2 (ใช้กากขี้แบ่งเป็นสารที่ให้ธาตุอาหาร) หลังจากปลูกได้ 50 วัน	126

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

น้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 25 - 45 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นส่วนใหญ่จะเป็นน้ำและมีสารของแข็งที่ไม่ใช่ยางประกอบอยู่ด้วย อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำยางสดเป็นวัตถุดิบและทำให้ได้น้ำยางที่มีความเข้มข้นเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ รวมถึงกำจัดสารต่าง ๆ บางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยางสดออกไปเพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางดีขึ้น เหมาะต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางต่อไป (วารสาร วิชาการ, 2536)

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นมีวิธีการผลิตที่ทำกันในเชิงการค้าหลายวิธี วิธีที่สำคัญวิธีหนึ่ง คือ การปั่น (centrifugation) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต สารเคมีที่เติมในน้ำยางสดก่อนการปั่นแยก ได้แก่ ammonia (ในรูปสารละลาย), tetramethyl thiuram disulfide (TMTD), zinc oxide (ZnO) และ diammonium phosphate (DAP) เพื่อรักษาสภาพน้ำยางและเพื่อทำให้แมกนีเซียม (Magnesium) ตกตะกอนก่อนการปั่น จากกระบวนการปั่น จะได้ของเสียในรูปของแข็งออกมา ของเสียในรูปของแข็งนี้ เรียกว่า "ตม" หรือ "กากขี้แป้ง"

กากขี้แป้ง ประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกฝุ่น ทราาย เปลือกไม้ และแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ได้จากการตกตะกอนในถังพักน้ำยางที่รวบรวมน้ำยางสดไว้และจากกระบวนการปั่นน้ำยางสด กากขี้แป้งมีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ วันชัย แก้วยอด (2540) รายงานว่า จากการศึกษาโรงงานยางจำนวน 9 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลา ในปี พ.ศ. 2538-2539 พบว่าการผลิตน้ำยางข้นจะเกิดของเสียชนิดนี้ขึ้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำยางข้น และเนื่องจากแต่ละโรงงานจะมีการนำน้ำยางสดเพื่อผลิตน้ำยางข้นโดยอยู่ในช่วงระหว่าง 39.91 - 157.56 ตันต่อวัน ฉะนั้นทำให้สามารถคำนวณได้ว่า จะมีของเสียในรูปกากขี้แป้งเกิดขึ้นในแต่ละโรงงานผลิตน้ำยางข้นระหว่าง 0.39 - 1.58 ตันต่อวัน ซึ่งในการกำจัดกากขี้แป้ง โรงงานมักจะดำเนินการโดยการทิ้งไป หรือใช้ในการถมพื้นที่ ถนนดิน ตลอดจนเผาทิ้ง

จากที่กล่าวข้างต้นผู้ศึกษาเห็นว่าเป็นการจัดการของเสียที่ยังไม่เหมาะสมและอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ และจากแนวความคิดที่เห็นว่ากากซีเมนต์เป็นของเสียที่มีองค์ประกอบที่น่าจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้เพราะกากซีเมนต์มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และจากการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะ ammonia และ DAP ก็อาจทำให้กากซีเมนต์ประกอบด้วยธาตุ ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส อยู่บ้าง อีกทั้งปริมาณกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นในแต่ละวันของแต่ละโรงงานก็มีปริมาณพอสมควร ผู้ศึกษาจึงมีความสนใจที่จะศึกษาหาแนวทางในการจัดการนำเอาของเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ใหม่ให้เหมาะสม โดยเน้นการศึกษาถึงการนำกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย

2. การตรวจเอกสาร

2.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มี pH ประมาณ 6.5 - 7.0 มีความหนืดไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ในน้ำยางดังแสดงในตาราง 1 และส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ในเนื้อยางดังแสดงในตาราง 2 ทั้งนี้อาจมีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ อายุต้นยาง การกรีด ฤดูกาล เป็นต้น

ตาราง 1 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36 (เป็นเนื้อยางแห้ง 33 %)
สารโปรตีน	1 - 1.5
สารประกอบพวกเรซิน	1 - 2.5
เถ้า	น้อยกว่า 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ประมาณ 60

ที่มา : Brydson, J.A. , 1978

ตาราง 2 แสดงส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ในเนื้อย่างพารา

ชนิดของสาร	ร้อยละ
เนื้อย่างไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำที่ติดในอนุภาค	10
สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

ที่มา : บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ, 2534

ปริมาณเนื้อย่างแห้งของน้ำย่างธรรมชาติในสภาพน้ำย่างสดไม่แน่นอน คือ ตั้งแต่ 25 - 45 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อย่างแห้งในน้ำย่างสดจะประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าบั่นน้ำย่างสดเป็นน้ำย่างข้นแล้ว ความแตกต่างนี้จะลดลงเหลือประมาณ 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและการปรับเครื่องบั่น (วารสารกรมฯ ไซยกุล, 2536)

2.2 การผลิตน้ำย่างข้น (ผลชิต บัวแก้ว, 2531)

การผลิตน้ำย่างข้น ช่วยให้เกิดการประหยัดที่ไม่ต้องทำการขนย้ายน้ำย่างสดจากสวนไปสู่งานที่ใช้ น้ำย่างเป็นวัตถุดิบในระยะทางไกล ๆ โดยการทำให้ น้ำย่างมีความเข้มข้นมากขึ้นถึงร้อยละ 60 ของเนื้อย่างแห้ง โดยผ่านกรรมวิธีแยกของเหลวออกบางส่วน ซึ่งนอกจากจะทำให้ประหยัดในการขนย้ายแล้วยังทำให้ผลผลิตน้ำย่างข้นที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอและดีกว่าน้ำย่างสด

2.2.1 การรักษาสภาพน้ำย่างสดที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำย่างข้น

น้ำย่างสดที่ได้จากสวนยาง ถ้าไม่ใส่สารเคมีป้องกันน้ำย่างจับตัว น้ำย่างจะเสียสภาพ คือ เกิดการจับตัวภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงหลังจากกรีดยาง ซึ่งการเสียสภาพดังกล่าวเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เนื่องจากปฏิกิริยาของบักเตรีกับสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ น้ำย่าง ดังนั้นการที่จะนำน้ำย่างสดไปผลิตเป็นน้ำย่างข้น จึงจำเป็นต้องมีการรักษาสภาพน้ำย่างให้คงสถานะเป็นน้ำย่าง ซึ่งสารเคมีที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด

แอมโมเนีย :

แอมโมเนียเป็นตัวการสำคัญที่กีดขวางการเจริญของแบคทีเรียที่ปะปนในน้ำยาง ปกติสภาพน้ำยางจะพิจารณาได้จาก การเพิ่มขึ้นของจำนวนกรดไขมันระเหย (VFA No., volatile fatty acid No.) ซึ่งจะเป็นค่าบ่งชี้สภาวะการเจริญของแบคทีเรียในน้ำยาง การเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียในน้ำยางขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ ปริมาณแอมโมเนียที่ใช้ ช่วงระยะเวลาและการสุขาภิบาลน้ำยางสดตั้งแต่เริ่มไหลออกจากต้น ปริมาณแอมโมเนียที่ใช้อย่างน้อยต้องพอเพียงรักษาน้ำยางไว้ได้ 1 วันขึ้นไป ในทางปฏิบัติมักใช้แอมโมเนีย 0.3 - 0.7 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยาง

แอมโมเนียร่วมกับสารช่วย :

การใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวรักษาน้ำยางสด ไม่สามารถป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยในระยะยาวได้ การใช้สารเคมีช่วยซึ่งเป็น secondary preservative เช่น ZnO, tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) เป็นต้น ร่วมกับแอมโมเนียจะป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยได้ดีกว่าการใช้แอมโมเนียตามลำพัง

ZnO มีความสามารถทำลายแบคทีเรียในน้ำยางได้ การใช้ ZnO 0.05 เปอร์เซ็นต์ กับแอมโมเนีย 0.3 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักยาง จะรักษาจำนวนกรดไขมันระเหยให้ได้คงที่นานถึง 2 อาทิตย์ และได้มีการทดลองพบว่าการใช้ ZnO ร่วมกับ TMTD ในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน เป็นสารช่วยแอมโมเนียรักษาน้ำยางจะช่วยส่งเสริมการรักษาน้ำยาง TMTD/ZnO ในอัตรา 0.025 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง ร่วมกับแอมโมเนีย 0.2 - 0.35 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง จะรักษาน้ำยางสดที่มี VFA No. ตั้งแต่แรกต่ำกว่า 0.02 ไว้ได้นานถึง 10 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2531)

2.2.2 การรวบรวมน้ำยางสด

น้ำยางสดเมื่อถึงโรงงานผลิตน้ำยางชั้นจะผ่านการกรองผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (Mesh) ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางสดไปทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หากน้ำยางสดนั้นมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่าร้อยละ 25 จะไม่นำไปผลิตน้ำยางชั้น เมื่อทราบปริมาณเนื้อยางแห้งว่าเหมาะสมแล้วจึงรีบผ่านแก๊สแอมโมเนียลงสู่ถังน้ำยาง หลังจากนั้นจะมีการตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางซึ่งปริมาณธาตุแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะแปรปรวน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง การใส่ปุ๋ย ตลอดจนฤดูกาล หากทดสอบพบว่าน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูง ก็ให้เติม DAP โดยปกติจะเติม DAP 1.0 - 1.5 กิโลกรัม/น้ำยางสด 1 ตัน (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่น ควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm on total solid เมื่อปั่นชั้นแล้วควรมีแมกนีเซียม

ไม่เกิน 20 ppm on total solid) แล้วปล่อยให้แห้งไว้ 1 คืน เพื่อให้ เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียม โดยที่ DAP จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมเกิดเป็น magnesium ammonium phosphate (ทั้งนี้ถ้าแมกนีเซียมในน้ำมีปริมาณมาก จะทำให้น้ำยางสูญเสียความคงตัวต่อเครื่องกล (ลด Mechanical Stability Time, MST) อันเนื่องมาจากการฟอร์ม magnesium higher fatty acid soaps ที่ไม่ละลายน้ำ) และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ลงสู่ก้นถัง ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำยางมาทดสอบหาจำนวนกรดไขมันระเหย (เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางได้รับการรักษาสภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางชั้นได้ น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอจะต้องมีจำนวนกรดไขมันระเหยไม่เกินกว่า 0.05 และน้ำยางที่จำนวนกรดไขมันระเหยสูงกว่านี้จะไม่ใช้ผลิตเป็นน้ำยางชั้น) และนำไปปั่นต่อไป

2.2.3 วิธีการผลิต

วิธีการผลิตน้ำยางชั้นสามารถทำได้โดยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

2.2.3.1 วิธีระเหยน้ำ น้ำยางชั้นที่ได้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกล ๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่สารเพิ่ม (filler) จำนวนมาก เช่น การผลิตกาว latex-cement

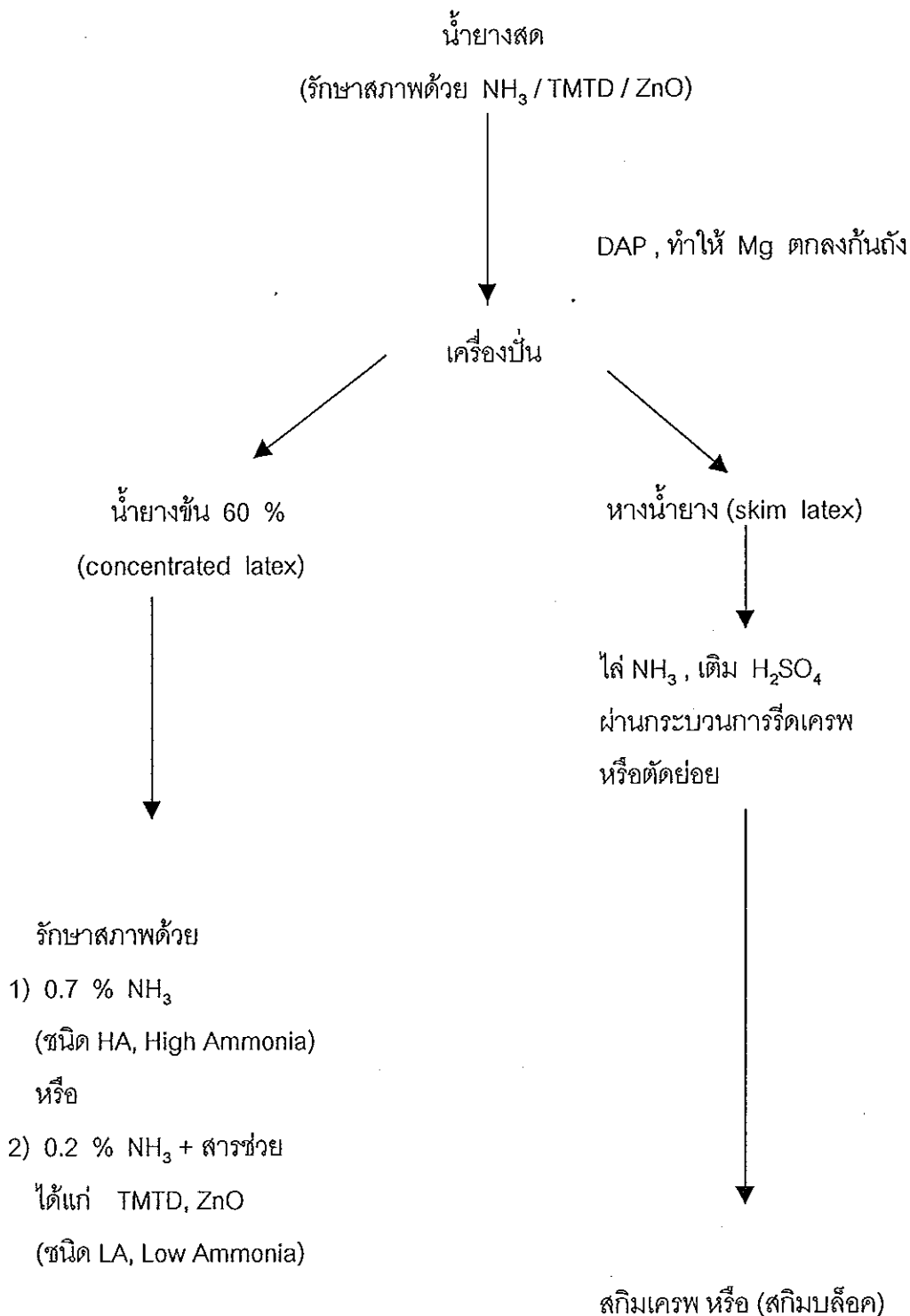
2.2.3.2 วิธีการทำให้เกิดครีม โดยเติม creaming agent ต่าง ๆ เช่น sodium alginate, locust bean gum, gum karaya, gum tragacanth เป็นต้น เพื่อทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยางให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และลอยสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่สามารถให้น้ำยางชั้นที่บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อย

2.2.3.3 วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า อนุภาคยางที่แขวนลอยในซีรัมต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บอกซิลิกอิออนที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะอาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากซีรัมได้ โดยจุ่มไฟฟ้าที่มีขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้ แล้วอนุภาคยางจะค่อย ๆ เคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวก และลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำกว่าความหนาแน่นของซีรัม วิธีนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่เป็นวิธีที่นิยมกัน

2.2.3.4 วิธีการปั่น เป็นวิธีที่มีการใช้กันโดยทั่วไปอย่างกว้างขวางมากที่สุดในการผลิตน้ำยางชั้น สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน ทำการผลิตน้ำยางชั้นโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว โดยมีกระบวนการผลิต ดังแสดงในภาพประกอบ 1

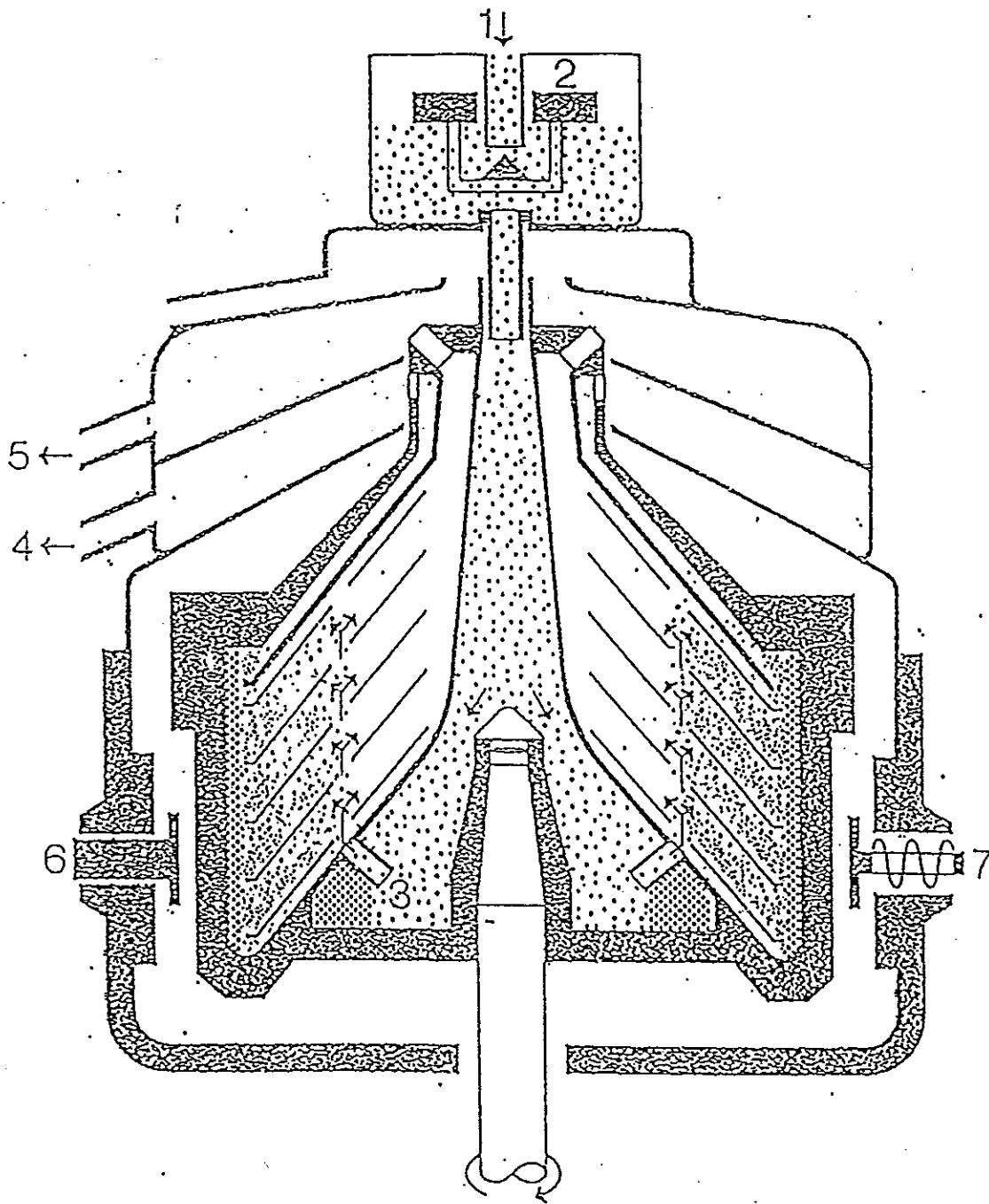
เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในซีรัม อนุภาคยางเหล่านี้มีการเคลื่อนไหวแบบ Brownian และเนื่องจากอนุภาคยางเบากว่าซีรัม อนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่วิถีวน้ำของน้ำยาง อัตราการเคลื่อนของอนุภาคยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก หากสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้ก็สามารถเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ ดังนั้นการปั่น (centrifugation) ซึ่งสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2,000 - 3,000 เท่าของแรงดึงดูดโลก จึงสามารถช่วยเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงถูกนำมาพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อผลิตน้ำยางข้น ดังภาพประกอบ 2 แสดงลักษณะหน้าตัดภายในของถังปั่นแบบ Alfa-Laval (รุ่น LRH 410) โดยน้ำยางจะไหลเข้าทาง (1) ซึ่งอยู่ส่วนบนสุดของตัวเครื่อง และระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่โดย (2) น้ำยางไหลโดยแรงโน้มถ่วงไปที่จุดกลางของถังปั่น และแรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดจานแยก (3) จากนั้นน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีน้ำหนัก คือ หางน้ำยาง (Skim) ไหลออกสู่ออกนอกของถังปั่นและไปตามทางด้านบนของถังผ่านสกรูปรับสูงที่เก็บแยกหางน้ำยาง (4) ส่วนชั้นของน้ำยาง ซึ่งเป็นส่วนที่มีเนื้อยางจะไหลเข้าสู่กลางถังปั่นไปยังด้านบนถึงเข้าสู่ที่เก็บ (5)

ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นนั้นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็ก ๆ สามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15 ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่แยกน้ำยางสดได้ 400 - 600 ลิตร/ชั่วโมง และปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างพวกตะกอน (sludge) ที่ติดอยู่ในเครื่อง



ภาพประกอบ 1 แสดงการผลิตน้ำยางข้น โดยวิธีการปั่น

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2536



ภาพประกอบ 2 แสดงภาพหน้าตัดตามความยาวของถังปั่นน้ำยางข้น

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 1. Feed | 5. Outlet for the concentrate |
| 2. Feed cup with float | 6. Mechanical brake |
| 3. Distribution tubes | 7. Magnetic brake |
| 4. Outlet for the skim | |

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2531

2.2.4 การเก็บน้ำยางข้น

การเก็บน้ำยางข้นไว้ในโรงงานเพื่อรอการถ่ายและการขนส่งต่อไปหรือรอการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อาจบรรจุในถังขนาดใหญ่ 9,000-14,000 ลิตร หรือถังขนาด 200 ลิตร น้ำยางข้นที่เก็บไว้โดยไม่ถูกกวนจะมีปัญหาเกิดคริมขึ้นบนผิวหน้า เนื่องจากอนุภาคยางลอยขึ้นอยู่ผิวหน้าทำให้น้ำยางส่วนนั้นข้นมากขึ้น จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวนน้ำยางภายในถัง ซึ่งประกอบด้วยใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/2 - 3/4$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางถัง การกวนจะใช้ความเร็วต่ำ ๆ เช่น 15 - 30 รอบต่อนาที ระยะเวลาและความถี่ของการกวนเพื่อให้น้ำยางคงเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ขึ้นกับอุณหภูมิการเก็บน้ำยาง ถ้าอุณหภูมิสูงน้ำยางจะเกิดคริมได้เร็วขึ้น

2.3 การเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้น

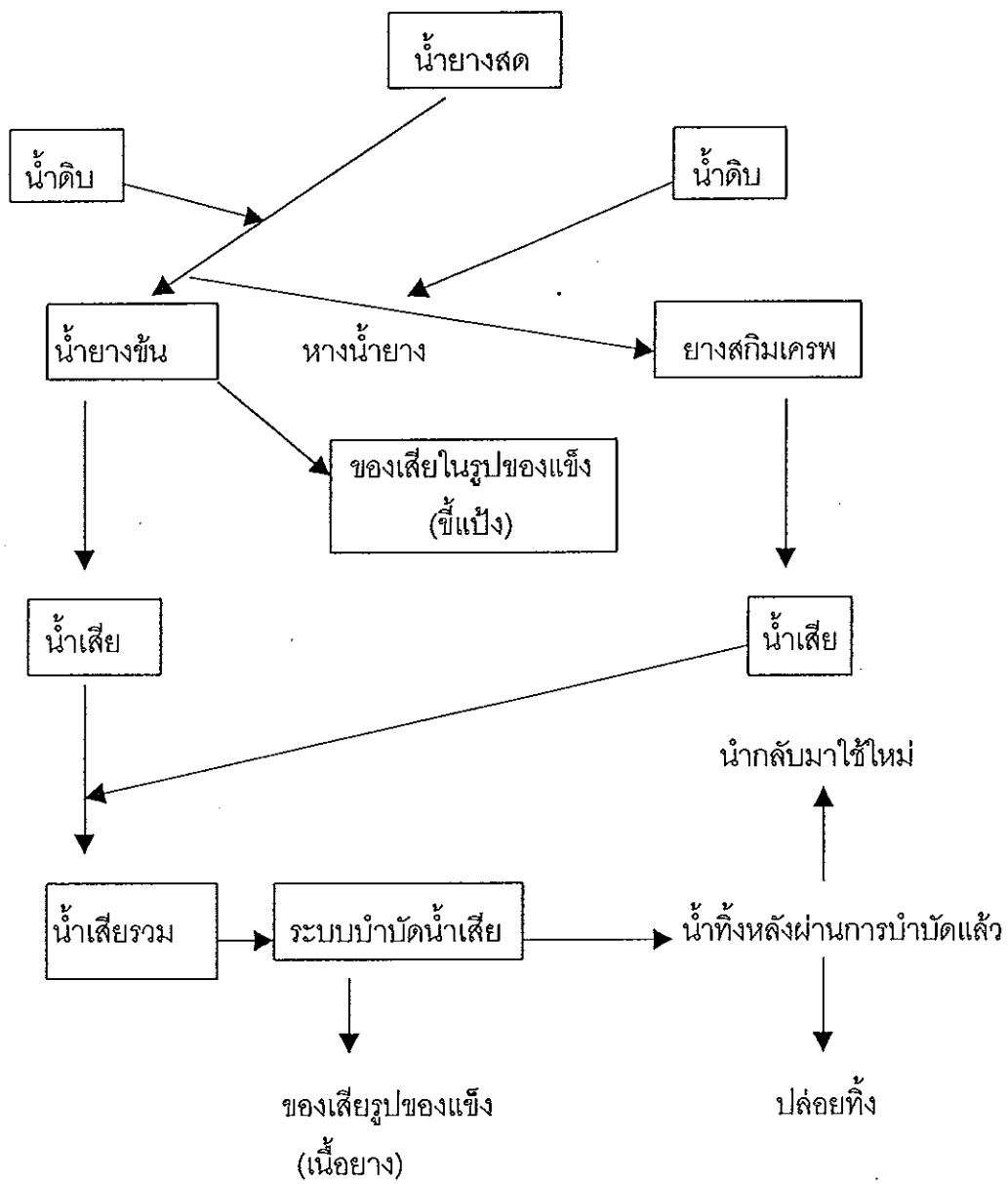
จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น นอกเหนือจากปริมาณผลผลิตยางพาราซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากการผลิตแล้ว ยังมีน้ำเสียและของเสียต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของของแข็งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตด้วย (ภาพประกอบ 3) อาจกล่าวได้ว่าในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะเกิดของเสีย ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.3.1 น้ำเสีย น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมี BOD₅ เฉลี่ย 2,390 มก./ล. มี SS เฉลี่ย 2,414 มก./ล. และมี pH เฉลี่ย 8.88 ขณะที่น้ำเสียจากการผลิตยางสก็มเครมีค่า BOD₅ เฉลี่ย 10,489 มก./ล. มี SS เฉลี่ย 728 มก./ล. และมี pH เฉลี่ย 4.47 (วันชัย แก้วยอด, 2540)

2.3.2 ของเสียของแข็งที่เป็นเนื้อยางตกค้างสะสมในบ่อดักยาง (rubber trap) และในบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งมักเป็นเนื้อยางที่รวมตัวกันมีความบริสุทธิ์ต่ำเนื่องจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกในน้ำเสียในปริมาณสูง

2.3.3 ของเสียของแข็งในรูปเนื้อยางที่ตกค้างในทางระบายน้ำ และภาชนะที่ใช้บรรจุยางต่าง ๆ ที่มีการกำจัดออกมาเป็นครั้งคราว

2.3.4 ของเสียของแข็ง ที่เรียกว่า "กากขี้แป้ง" ได้จากการตกตะกอนจากถังพักน้ำยาง และจากการปั่นน้ำยาง ประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่าง ๆ ส่วนใหญ่เป็นพวก ผุ่น ทราาย เปลือกไม้ และแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต



ภาพประกอบ 3 แสดงภาพรวมการผลิตและการเกิดของเสียของโรงงานน้ำยางข้น
ที่มา : ดัดแปลงจาก วันชัย แก้วยอด, 2540

2.4 การจัดการกากของเสียที่เป็นของแข็ง

การจัดการของเสียในรูปของแข็งจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น ในปัจจุบันทางโรงงานจะมีการรวบรวมของเสียที่เป็นเนื้อยางส่งขายเป็นยางคุณภาพต่ำ โดยทางโรงงานอาจจะเป็นผู้รวบรวมเองแล้วส่งขาย หรืออาจจะให้มีการเหมารื้อโดยที่ผู้เหมารื้อเป็นผู้รวบรวมเนื้อยางเอง สำหรับของเสียจำพวกขี้แป้ง ทางโรงงานมักจะนำไปถมถนนในโรงงานและส่วนที่เหลือก็เผาทิ้ง

2.5 พันธุ์หญ้าสนาม (turfgrasses)

หญ้าสนามมีมากมายหลายชนิด มีคุณสมบัติและพฤติกรรมการเจริญเติบโตแตกต่างกัน แบ่งตามสภาพภูมิอากาศ (climate) ที่สามารถขึ้นได้ดี เป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

1. หญ้าสนามเขตหนาว (cool season turfgrass)
2. หญ้าสนามเขตร้อน (warm season turfgrass)

หญ้าสนามเขตร้อน ได้แก่ หญ้าที่ชอบอุณหภูมิระหว่าง 25 - 35 องศาเซลเซียส มีขึ้นอยู่ในประเทศแถบที่มีอากาศร้อนและชื้นทั่วโลก และไม่เจริญเติบโตในเขตที่มีอากาศหนาว มีความทนทานต่อการเหยียบย่ำได้ดีกว่าหญ้าสนามเขตหนาวเพราะรากลึกกว่า นิยมขยายพันธุ์โดยใช้ส่วนของลำต้น (พจนี พรหมบุตร, 2532)

หญ้าสนามเขตร้อนที่นิยมปลูกมี 7 สกุล คือ หญ้าแพรก หญ้าญี่ปุ่น หญ้าเซนต์ออกัสติน หญ้าเซนต์ปีเตอร์ หญ้ามาเลเซีย หญ้าบาเฮีย และหญ้านวลจันทร์ (ลิน พันธุ์พินิจ, 2538)

หญ้าญี่ปุ่นหรือหญ้าชอยเซีย (Zoysia grasses) ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในประเทศแถบร้อน หญ้าตระกูลนี้มีอยู่เพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่นิยมใช้ปลูกทำสนาม คือ หญ้าญี่ปุ่น หญ้านวลน้อย และหญ้ามะหยี่ (Beard, 1973)

หญ้านวลน้อย (*Zoysia matrella* L. Merr) เรียกอีกชื่อว่า "Manilagrass" เหมาะสำหรับปลูกในเขตร้อนโดยเฉพาะลักษณะต่าง ๆ เหมือนหญ้าญี่ปุ่น ลำต้นสูงกว่า ใบสีเขียวปนน้ำเงิน ใบใหญ่ มีผิวสัมผัสที่หยากกว่าแต่ใบอ่อนนุ่มกว่าหญ้าญี่ปุ่น นิยมใช้ปลูกทำสนามนั่งเล่น สวนหย่อม สนามกีฬาต่าง ๆ สวนสาธารณะ มีคุณสมบัติที่ดี คือ สีสวย ทนแล้งและทนร่ม ทนต่อการเหยียบย่ำได้ดี ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนต่ำ ทนต่อดินเค็ม ดูแลรักษาง่ายกว่าหญ้าญี่ปุ่นชนิดอื่น นอกจากนี้หญ้านวลน้อยยังเป็นที่นิยมใช้และเป็นที่ต้องการของตลาด และมีราคาดี (ลิน พันธุ์พินิจ, 2538)

2.6 ปุ๋ย (fertilizer)

"ปุ๋ย" หมายถึง สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้น ใช้สำหรับให้ธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2527)

"ปุ๋ย" หมายความว่า สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช (ยงยุทธ โสภณสภา, 2528) .

2.6.1 ความต้องการธาตุอาหารของหญ้า

พืชสามารถสร้างอาหารสำหรับการเจริญเติบโตได้โดยการสังเคราะห์แสง อาหารที่พืชสร้างขึ้น ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้มาจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเจริญเติบโตและการสร้างอาหารของพืชนี้จำเป็นต้องได้ธาตุอาหารโดยการดูดซึมจากดิน (Jones, 1979) แร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของหญ้าที่สะสมอยู่ในดินมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ การใส่ปุ๋ยต่าง ๆ แก่หญ้า การสะสมธาตุอาหารจากบรรยากาศ และธาตุอาหารจากการเนาเปื่อยผุพังของอินทรีย์สารอื่น ๆ

2.6.2 ธาตุอาหารของหญ้า

ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของหญ้ามีทั้งหมด 13 ชนิด และจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. ธาตุอาหารหลัก ซึ่งหญ้าต้องการปริมาณมากที่สุด ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)
2. ธาตุอาหารรอง ซึ่งหญ้าต้องการปริมาณปานกลาง ได้แก่ กำมะถัน (S) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)
3. ธาตุอาหารที่ความต้องการน้อย ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โมลิบดีนัม (Mo) และคลอรีน (Cl)

สำหรับ ณ.ที่นี้จะกล่าวเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ มีหน้าที่ในการสร้างส่วนต่าง ๆ ของหญ้า ดังนี้

1. ธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุไนโตรเจน มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของหญ้ามากกว่าธาตุอื่น ๆ เพราะจะต้องนำไนโตรเจนไปบำรุงใบให้เขียวขจีอยู่ตลอดไป หญ้าที่ขาดธาตุ

ไนโตรเจนจะแสดงอาการเหลืองซีดซึ่งสังเกตเห็นง่าย แต่ถ้านำปุ๋ยที่มีไนโตรเจนมาใส่หญ้าก็จะเขียวสดในเวลาอันสั้น การบำรุงรักษาสนามหญ้าทั่วไปจะใช้ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนถึงร้อยละ 90 และไนโตรเจนเองก็เป็นองค์ประกอบสำคัญของใบหญ้าประมาณร้อยละ 40 - 50 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นทั้งส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ กรดอมิโน อไมด์ โปรตีน และวิตามิน เป็นต้น ถ้าหากหญ้าขาดไนโตรเจนจะมีใบเหลือง ซีด แคระแกร็น ไม่เจริญเติบโต

2. ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากธาตุหนึ่งเพราะเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดของพืช เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟไลปิด นิวคลีโอโปรตีน และที่สำคัญที่สุดคือ เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของ ATP (Jones, 1979) ธาตุฟอสฟอรัสมีความสำคัญและจำเป็นต่อหญ้าเช่นเดียวกับกับธาตุไนโตรเจน เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างอาหาร เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของเซลล์ ช่วยในการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของต้นอ่อน การสุกของเมล็ด ตลอดจนการเติบโตของรากหญ้า พืชที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสจะชะงักการเจริญเติบโต ใบมีขนาดเล็กลง การแผ่กระจายของรากน้อยลงผิดปกติ (Thompson and Troeh, 1978) ถ้าหากหญ้าขาดฟอสฟอรัสใบจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูหรือสีแดง จะเริ่มม้วนบอบบาง ปกติจะแสดงอาการขาดกับหญ้าต้นอ่อนมากกว่าหญ้าต้นแก่

3. โพแทสเซียม (K) ธาตุโพแทสเซียมทำหน้าที่ช่วยในการสร้างโปรตีน แบ่ง การดูดน้ำ สร้างเอนไซม์และเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้หญ้าสนามมีความต้านทานโรค เพิ่มความแข็งแรงให้หญ้าที่จะต้านทานการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังช่วยสร้างและเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลภายในต้นหญ้าด้วย หญ้าที่ขาดโพแทสเซียมขอบใบจะมีสีน้ำตาลเจริญเติบโตช้าใบจะเหี่ยวและห้อยลง

บรรดาธาตุอาหารหลักทั้งสาม หญ้าจะต้องการธาตุไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมา ก็คือธาตุโพแทสเซียม และตามด้วยธาตุฟอสฟอรัส

4. แมกนีเซียม (Mg) มีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ในคลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมอยู่ถึงร้อยละ 2.7 และยังทำหน้าที่เป็น phosphate carrier ในปฏิกิริยา phosphorylation โดยช่วยขนส่งฟอสฟอรัสจากดินไปสู่กระบวนการเมตาบอลิซึม (Jones, 1979) และหน้าที่สำคัญของแมกนีเซียมจะเป็นตัวประกอบเกี่ยวกับปฏิกิริยาของเอนไซม์ นอกจากนี้แมกนีเซียมยังช่วยในการสร้างเมล็ดหญ้าให้สมบูรณ์และมี

คุณภาพดี เมื่อหญ้าขาดธาตุแมกนีเซียม หญ้าจะมีอาการใบซีด ซึ่งเป็นผลจากการขาดคลอโรฟิลล์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และเนื่องจากแมกนีเซียมสามารถเคลื่อนที่ไปทั่วลำต้นหญ้าทั้งส่วนที่แก่แล้วและส่วนที่อ่อนกำลังเจริญเติบโต โดยแมกนีเซียมเคลื่อนจากใบแก่ไปสู่ใบอ่อนด้วย อาการขาดธาตุแมกนีเซียมที่แสดงให้เห็นชัดจึงมักจะเป็นใบแก่ (Russell, 1977)

3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี และปริมาณกากชี้แบ่งที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น
2. ศึกษาและประเมินศักยภาพของการนำกากชี้แบ่งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยทดสอบถึงความเป็นไปได้ของการนำกากชี้แบ่งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์โดยการทำเป็นปุ๋ยสำหรับใช้กับการปลูกหญ้า

4. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงปริมาณและลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากของเสียในรูปของกากชี้แบ่งจากโรงงานน้ำยางข้น
2. ได้แนวทางในการนำกากของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ใหม่ ซึ่งอาจเป็นแนวทางหนึ่งของการจัดการของเสียที่มีประสิทธิผลดีกว่า โดยอาจช่วยลดปัญหาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นได้ในระยะยาว

5. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและประเมินปริมาณและลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากชี้แบ่ง จากกระบวนการปั่นน้ำยางของโรงงานน้ำยางข้น การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากชี้แบ่งทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้

- pH
- Density
- Moisture Content
- Solid Content
- Volatile Solids
- Total Nitrogen (N)
- Phosphorus ในรูปของ P_2O_5
- Potassium ในรูปของ K_2O
- Magnesium (Mg)
- Zinc (Zn)

2. วิเคราะห์ศักยภาพของการนำกากชี้แบ่งมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย โดยพิจารณาถึงธาตุอาหารหลัก คือ N, P, K และธาตุอาหารรองคือ Mg ว่าเหมาะสมมากน้อยเพียงใด รวมถึงการปรับปรุงลักษณะของกากชี้แบ่งให้มีคุณภาพเพื่อใช้เป็นปุ๋ยได้

3. ทดสอบศักยภาพของการใช้ประโยชน์จากกากชี้แบ่งเพื่อการทำเป็นปุ๋ย โดยนำไปทดลองใช้กับการปลูกพืช โดยเลือกใช้น้ำสนามเป็นตัวทดสอบ แล้วประเมินศักยภาพการนำกากชี้แบ่งเพื่อการทำเป็นปุ๋ย โดยดูจากอัตราการเจริญเติบโตของต้นหญ้า และลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของต้นหญ้าที่เกิดขึ้น

4. ประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากชี้แบ่งมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ ได้แก่

1.1 กากซีเมนต์ จากโรงงานน้ำยางข้นในเขตจังหวัดสงขลา

1.2 หญ้าพันธุ์นวน้อย

1.3 ดิน

1.4 ปุ๋ยเคมี สูตร 15 - 15 - 15

สูตร 15 - 0 - 0

1.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ Total Nitrogen, Phosphorus ในรูปของ P_2O_5 , Potassium ในรูปของ K_2O , Mg, Zn , BOD, COD, (ดูภาคผนวก)

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

2.1.1 ขวดพลาสติก

2.1.2 ถังพลาสติก

2.1.3 กล่องโฟม

2.1.4 ซ้อนดัก

2.2 อุปกรณ์ในการปลูกหญ้า

2.2.1 กระบะไม้

2.2.2 พลั่ว

2.2.3 จอบ

2.2.4 ตาข่าย

2.2.5 ไม้ สำหรับทำเสาและโครงหลังคา

2.2.6 แผ่นพลาสติก

2.2.7 สายยาง

2.2.8 ถังน้ำ

2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ เป็นอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีอุปกรณ์ ต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.3.2 เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.3.3 เครื่องวัด พี เอช (pH meter)

2.3.4 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivitymeter)

2.3.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

2.3.6 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.3.7 ตู้อบ (Oven)

2.3.8 เตาเผา (Furnace)

2.3.9 เดสซิเคเตอร์ (Dessicator)

2.3.10 เครื่องเขย่าสารละลาย (Shaker)

2.3.11 ชุดกลั่นแอมโมเนีย

2.3.12 ถ้วยระเหย (Evaporating dish)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาปริมาณกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้น

ศึกษาปริมาณกากซีเมนต์ โดยการสำรวจโรงงานน้ำยางข้นเพื่อศึกษาถึงการใช้วัตถุดิบของโรงงานน้ำยางข้น การเกิดกากซีเมนต์ โดยสอบถาม สัมภาษณ์ ผู้ประกอบการ รวมทั้งดูขั้นตอนการผลิต และมีการประเมินปริมาณกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้น 3 โรงงานภายในจังหวัดสงขลา

3.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีเมนต์

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีเมนต์ ดำเนินการโดยการเก็บตัวอย่าง

กากซีเมนต์จากตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้น ประมาณ 3 โรงงาน ภายในจังหวัดสงขลา ซึ่ง การเก็บตัวอย่างได้คำนึงถึงฤดูกาลและกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เหมาะสม โดยดำเนินการเก็บตัวอย่าง 2 ช่วง คือ

- ช่วงเดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม 2541
- ช่วงเดือนธันวาคม 2541 - เดือนมกราคม 2542

ในแต่ละโรงงาน ทำการเก็บตัวอย่างจากจุดเกิดกากซีเมนต์ คือ ถังพักน้ำยางและถังปั่นน้ำยางโดยสุ่มเก็บจุดละ 3 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีตามวิธีของ Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC,1990) และ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1992) ทั้งนี้มีพารามิเตอร์ที่ศึกษา และวิธีวิเคราะห์ ดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. Moisture Content	Gravimetric Method
2. Solid Content	Gravimetric Method
3. Volatile Solid	Gravimetric Method
4. pH	pH meter
5. Density	Weight/Volume
6. Total Nitrogen (N)	Kjeldahl Method
7. Phosphorus ในรูปของ P_2O_5	Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method
8. Potassium ในรูปของ K_2O	Volumetric Sodium Tetraphenylboron Method I
9. Magnesium (Mg)	EDTA Titration Method
10. Zinc (Zn)	Atomic Absorption Spectrophotometer

หมายเหตุ : พารามิเตอร์ที่ 1 2 4 และ 5 ทำการวิเคราะห์ในรูปของตัวอย่างสด ส่วนพารามิเตอร์ที่ 3 7 8 9 และ 10 ทำการวิเคราะห์ในรูปของตัวอย่างแห้งซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ $70^{\circ}C$ สำหรับพารามิเตอร์ที่ 6 ทำการวิเคราะห์ทั้งในรูปของตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้ง

นอกจากนี้ยังนำกากซีเมนต์มาศึกษาปริมาณการละลายออกของธาตุต่าง ๆ โดยนำกากซีเมนต์มาสกัดกับน้ำ โดยผสมกากซีเมนต์ที่อบแห้งแล้วกับ de-ionized water ในอัตราส่วนเท่ากับ 0.5 g/80 ml 0.5 g/70 ml และ 0.5 g/60 ml จากนั้นนำไปสกัดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการปั่นด้วยความเร็ว 4,000 รอบ/นาที กรองด้วยกระดาษ GF/C แล้วจึงนำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา N, P, K, Mg, Zn, COD และ BOD (COD และ BOD วิเคราะห์ตามวิธีของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1992)) นอกจากนี้ในส่วนของตะกอนหรือในส่วนที่ละลายไม่หมด ได้นำไปวิเคราะห์หา N, P, K, Mg, Zn และ ปริมาณของแข็งระเหยได้

และนอกจากนี้ ได้นำกากซีเมนต์ไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบ โดยการวิเคราะห์หาชนิดของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในกากซีเมนต์ โดยการนำกากซีเมนต์แห้งไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ X-ray Fluorescence (XRF)

3.3 ศึกษาและวิเคราะห์ศักยภาพของการนำกากซีเมนต์มาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกากซีเมนต์มาศึกษา แล้วปรับปรุงลักษณะของกากซีเมนต์ให้มีคุณภาพเพื่อใช้เป็นปุ๋ยและมีความเหมาะสมที่หญ้าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยพิจารณาถึงธาตุอาหารหลัก คือ N, P และ K และทดสอบโดยการนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกหญ้าในแปลงทดลอง โดยเปรียบเทียบทั้งการใช้กากซีเมนต์ กากซีเมนต์ผสมปุ๋ยเคมีที่สัดส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีที่ใช้โดยทั่วไปในการปลูกหญ้า รวมถึงแปลงที่ไม่ได้ใส่อะไรเลย แล้วทำการประเมินการเจริญเติบโตของต้นหญ้าที่เติบโตในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ในการปลูกหญ้าเพื่อทดลองนั้นมีการควบคุมปัจจัยการเจริญเติบโตอื่น ๆ ให้มีลักษณะเหมือนกัน เช่น ดิน แสง อุณหภูมิ การรดน้ำ ฯลฯ แต่มีการเติมธาตุอาหารที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีการทดลองซึ่งได้ออกแบบโดยผู้ศึกษาภายใต้คำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา และได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านพืช ประกอบกับการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งทางด้านดิน การปลูกหญ้า และการใช้ปุ๋ย โดยมีรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

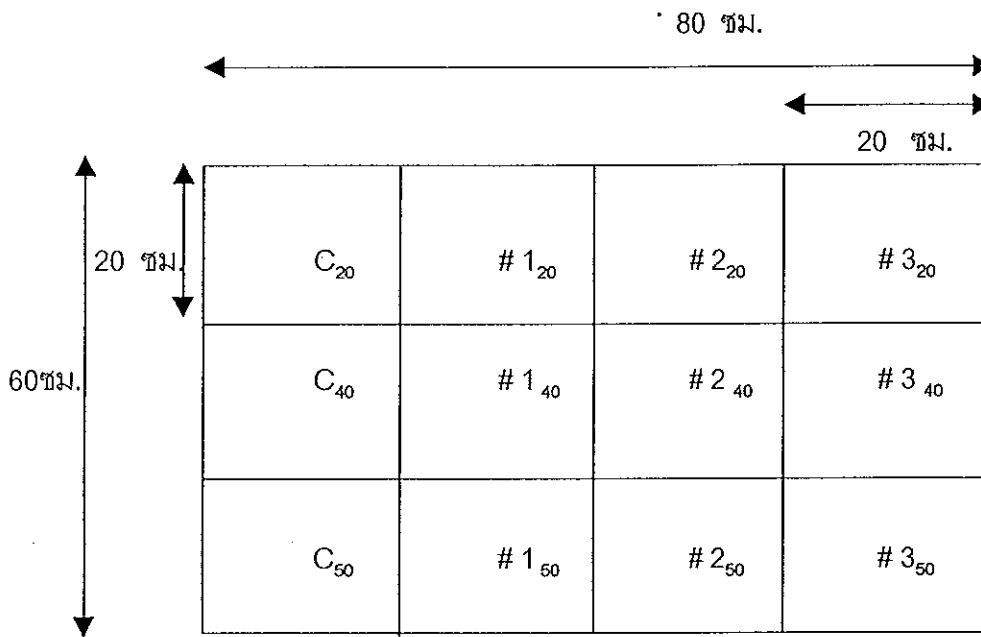
3.3.1 การทดลอง จะประกอบด้วยสิ่งทดลอง (Treatments) 8 Treatments ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงเงื่อนไขการทดลอง

ชุดการทดลอง	สารที่ให้ธาตุอาหารพืช	เงื่อนไขการทดลอง
1	ไม่ใส่ธาตุอาหาร (ชุด control)	- แต่ละชุดการทดลอง เติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืช โดย dose ที่ใช้
2	กากขี้เถ้า	คำนวณให้มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) เท่ากัน
3	กากขี้เถ้าปรับค่า N และ K ⁽¹⁾	- dose ที่ใช้ คำนวณโดยใช้เกณฑ์ดังนี้ คือ
4	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15	คำนวณเปรียบเทียบจากอัตราการใช้ปุ๋ย N สำหรับการปลูกหน่อกล้วย
5	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-0-0	นวลน้อย เท่ากับ 4 kgN/ 100 m ² หรือ 40 gN/m ² ทั้งนี้ใช้ฐานการ
6	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ยเคมี สูตร 15-0-0 อัตราส่วน 3 : 1 ⁽²⁾	คำนวณอยู่ในช่วงที่ สีน พันธุ์พินิจ (2538) ได้กำหนดไว้คือ อัตราการใช้ปุ๋ย N ในเนื้อที่ 100 m ² สำหรับ
7	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ยเคมี สูตร 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 1 ⁽³⁾	หน่อกล้วย นวลน้อย เท่ากับ 2 - 8 กก./ปี เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ใช้ในการปลูก
8	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ยเคมี สูตร 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 3 ⁽⁴⁾	หน่อกล้วยสำหรับการทดลองครั้งนี้ จะเท่ากับ 1.6 gN/0.04 m ²

หมายเหตุ : (1) นำกากขี้เถ้ามาปรับค่า N และ K ให้ได้ 15 % โดยการใช้ แอมโมเนียมซัลเฟต (NH₄)₂S₂O₄ และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เป็นตัวปรับ โดยการนำกากขี้เถ้าแห้งมาผสมกับแอมโมเนียมซัลเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 1.00:38.61:15.67 แล้วนำไปใส่ในพื้นที่ที่ใช้ปลูกหน่อกล้วยในอัตรา 1.6 gN/0.04 m² (2) (3) และ (4) นำกากขี้เถ้าแห้งมาผสมกับปุ๋ยเคมี 15-0-0 ในอัตราส่วน 3:1 1:1 และ 1:3 ตามลำดับ แล้วนำไปใส่ในพื้นที่ที่ใช้ปลูกหน่อกล้วยในอัตรา 1.6 gN/0.04 m²

แต่ละชุดการทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ โดยปลูกหญ้าในกระบะไม้ ขนาด กว้าง × ยาว เท่ากับ 60 × 80 ตารางเซนติเมตร ขนาดของแต่ละแปลงเท่ากับ 20 × 20 ตารางเซนติเมตร โดยจะมีแปลงชุดดินควบคุมซึ่งไม่ได้ปลูกหญ้า แต่จะมีการให้ธาตุอาหารพืชเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงแปลงทดลองที่ใช้ในการปลูกหญ้า

หมายเหตุ : C₂₀ C₄₀ และ C₅₀ หมายถึง ชุดดินควบคุมซึ่งไม่ได้ปลูกหญ้าแต่มีการให้ธาตุอาหารพืชเช่นเดียวกันกับการปลูกหญ้า โดยเก็บเกี่ยวที่ 20 40 และ 50 วัน ตามลำดับ
1₂₀ - # 3₂₀ # 1₄₀ - # 3₄₀ และ # 1₅₀ - # 3₅₀ หมายถึง ชุดการทดลองที่มีการปลูกหญ้าและให้ธาตุอาหารพืช โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และ เก็บเกี่ยวที่ 20 40 และ 50 วันตามลำดับ

3.3.2 การเตรียมดิน : ดินที่ใช้ มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) โดยมี particle size ดังนี้ คือ % sand เท่ากับ 74.33 % silt เท่ากับ 17.45 และ % clay เท่ากับ 8.22 ทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนการปลูก ทั้งนี้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินที่ใช้ก่อนการปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวด้วย ดังแสดงในตาราง 5

3.3.3 การปลูกหญ้า : ทำการปลูกหญ้าในแต่ละแปลง โดยใช้หญ้าสดน้ำหนักเท่า ๆ กัน ต่อหน่วยพื้นที่ที่ใช้ปลูก ทำการปลูกหญ้าโดยการฉีกหญ้าให้กระจายแล้วปลูกให้ได้ระยะห่างที่เหมาะสมกับพื้นที่ในแต่ละแปลง และหลังจากปลูกเสร็จแล้วก็รดน้ำให้ชุ่ม

3.3.4 การรดน้ำ : รดน้ำวันละ 2 ครั้ง ในตอนเช้าและในตอนเย็น โดยใช้น้ำครั้งละประมาณ 3.5 – 4.0 ลิตร/ตารางเมตร ซึ่งปริมาณน้ำที่รดนี้ จะไม่ทำให้มีน้ำไหลล้นแปลงทดลอง และทำให้น้ำซึมในลงไปยังชั้นดินที่ใช้ปลูกหญ้าเท่านั้น

3.3.5 การใส่ปุ๋ย : ใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก ตามที่ระบุไว้ในแต่ละชุดการทดลอง ดังตาราง 4 โดยหว่านปุ๋ยให้กระจายทั่วกระบะอย่างสม่ำเสมอ และใช้พลั่วคลุกเคล้าปุ๋ยจากผิวหน้าดินลงไปจนถึงความลึกประมาณ 3 – 4 เซนติเมตร (ดินในกระบะลึกประมาณ 11 - 12 เซนติเมตร) และรดน้ำ แล้วจึงปลูกหญ้า

3.3.6 การเก็บเกี่ยว : การเก็บเกี่ยวหญ้าและดินก่อนปลูกและหลังจากการปลูก ดำเนินการ ดังนี้

ครั้งที่	การเก็บเกี่ยวหญ้าและการเก็บดิน
1	ก่อนการปลูก
2	หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 วัน
3	หลังจากปลูกหญ้าได้ 40 วัน
4	หลังจากปลูกหญ้าได้ 50 วัน

ทั้งนี้ในการเก็บเกี่ยวหญ้าและดิน ทำโดยการเก็บหญ้าทั้งกระบะ และเก็บดินจากผิวหน้าดิน จนถึงระดับความลึกประมาณ 3 – 4 เซนติเมตร

3.3.7 การเก็บข้อมูลและการวัดผล : ทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต โดย

3.3.7.1 สังเกตลักษณะทางกายภาพก่อนปลูกและหลังการปลูก 20 40 และ 50 วัน โดยสังเกต

- ลักษณะใบ ลักษณะสี
- ความสูง ฯลฯ

3.3.7.2 นำน้ำที่จะใช้ปลูกในพื้นที่ 1 แปลง ก่อนการทดลอง และน้ำที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวที่เวลา 20 40 และ 50 วัน ของแต่ละชุดการทดลอง ไปหาน้ำหนักสด และรวมถึงวิเคราะห์หาน้ำหนักแห้ง โดยอบที่อุณหภูมิ 70-80 °C และวิเคราะห์หา Volatile Solids

3.3.7.3 เปรียบเทียบน้ำหนักหญ้าที่เจริญเติบโตในแต่ละแปลงทดลอง โดยใช้ข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงเวลา

3.3.7.4 นำดินก่อนการปลูกและหลังจากการเก็บเกี่ยว มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีตามวิธีของ Methods of Soil Analysis Part 2 (Page et al.,1982) และการวิเคราะห์ดินและพืช (สมศักดิ์ มณีพงศ์, 2537) ทั้งนี้มีพารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีวิเคราะห์ดังตาราง 5

ตาราง 5 แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. Moisture Content	Gravimetric Method
2. Volatile Solid	Gravimetric Method
3. pH	(1 : 5 water), pH meter
4. Electrical Conductivity (Ec)	(1 : 5 water), conductivity meter
5. Total Nitrogen (N)	Kjeldahl Method
6. Phosphorus ในรูปของ P ₂ O ₅	Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method
7. Potassium ในรูปของ K ₂ O	Volumetric Sodium Tetrphenylboron Method I
8. Magnesium (Mg)	EDTA Titration Method
9. Sodium (Na)	Atomic Absorption Spectrophotometric Method
10. Zinc (Zn)	Atomic Absorption Spectrophotometric Method

3.4 ประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากชี้แบ่งมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย

โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการปลูกหญ้า โดยพิจารณาเปรียบเทียบถึงค่าใช้จ่ายในการใช้กากชี้แบ่ง กากชี้แบ่งผสมสารเคมี การใช้ปุ๋ยเคมี แล้วเปรียบเทียบกับผลตอบแทนของผลผลิตจากการใช้ปุ๋ยต่างชนิดกัน

4. สถานที่ทำการวิจัย

4.1 โรงงานทำนํ้ายางชั้น 3 โรงงาน ในเขตจังหวัดสงขลา รายชื่อ ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 แสดงรายชื่อของโรงงานนํ้ายางชั้นที่ดำเนินการศึกษา

ลำดับที่	ชื่อโรงงาน	รหัสโรงงาน
1	บริษัท เอ็กซ์เซล รีบเบอร์ จำกัด	A
2	บริษัท อลองอุตสาหกรรมนํ้ายางชั้น จำกัด	B
3	บริษัท ไชยาพร ลาเท็กซ์ จำกัด	C

4.2 ห้องปฏิบัติการคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. การสำรวจโรงงานน้ำยางชั้น

1.1 ที่ตั้งของโรงงานและประเภทการผลิต

ในการศึกษาคั้งนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างจากโรงงานน้ำยางชั้น 3 โรงงาน ในเขตจังหวัดสงขลา ซึ่งได้แก่ โรงงานเอ็กซ์เซลรับเบอร์ จำกัด (A) ในอำเภอหาดใหญ่ โรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจำกัด (B) ในอำเภอจะนะ และ โรงงานไชยาพรลาเท็กซ์ จำกัด (C) ในกิ่งอำเภอบางกล่ำ

โรงงานยงที่ดำเนินการศึกษาและเก็บตัวอย่างนั้น มีการผลิตน้ำยางชั้นเป็นหลัก และมีการผลิตยางประเภทอื่นรวมอยู่ด้วย ดังข้อมูลแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 แสดงที่ตั้งและประเภทการผลิตยางของโรงงานที่ศึกษา

โรงงาน	ที่ตั้งของโรงงาน	ประเภทการผลิต
A	ม.11 ต. บ้านพรุ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา	น้ำยางชั้น ยางสกิมเครพ
B	75/1 ม. 8 ถ. สงขลา-ปัตตานี ต. บ้านนา อ. จะนะ จ. สงขลา	น้ำยางชั้น ยางสกิมเครพ ยางแท่ง STR5L
C	99/3-4 ม. 10 ถ. เจริญสายใหม่ ต. ท่าช้าง กิ่ง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา	น้ำยางชั้น ยางสกิมเครพ

1.2 กระบวนการผลิตและการเกิดกากขี้แป้ง

จากการสำรวจโรงงานน้ำยางชั้นเพื่อศึกษาถึงการใช้วัตถุดิบ การเกิดกากขี้แป้ง โดยการสอบถาม สัมภาษณ์ผู้ประกอบการ รวมทั้งดูขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้น ได้ผลการศึกษาดังแสดงรายละเอียดในตาราง 8 และภาพประกอบ 5 6 7 8 9 และ 10

ตาราง 8 แสดงผลการสำรวจโรงงานและการศึกษากระบวนการผลิตของตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้น
ภายในจังหวัดสงขลา (เดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม 2541)

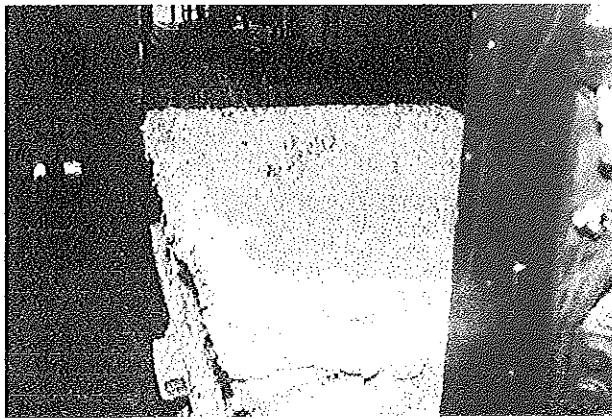
รายละเอียด	โรงงาน		
	A	B	C
1.ปริมาณน้ำยางสด (ตัน/วัน)	100	80	80
2.ผลผลิต			
2.1 น้ำยางชั้น (ตัน/วัน)	41-43	35.2	34.5
(% ของน้ำยางสด)	42	44	43
2.2 ยางสกิมเครพ/บล็อก (ตัน/วัน)	2.6	2.4	4
(% ของน้ำยางสด)	2.6	3	5
3. การใช้สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสด			
- Ammonia (% ต่อน้ำหนักน้ำยาง)	0.4	0.35	0.58
- TMTD/ZnO (% ต่อน้ำหนักน้ำยาง)	0.062	0.40	0.091
4.. สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน Mg			
- DAP (กก./ตันน้ำยางสด)	1	1-1.5	1.5
5. ถังป่น			
- จำนวนถังป่น (ชุด)	26	20	20
- ชนิดของถังป่น	Alfa 510,410	Alfa 510	West lake
- ปริมาตร (ลิตร)	400	400	400
- ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	7,600	7,200	7,200

ตาราง 8 (ต่อ)

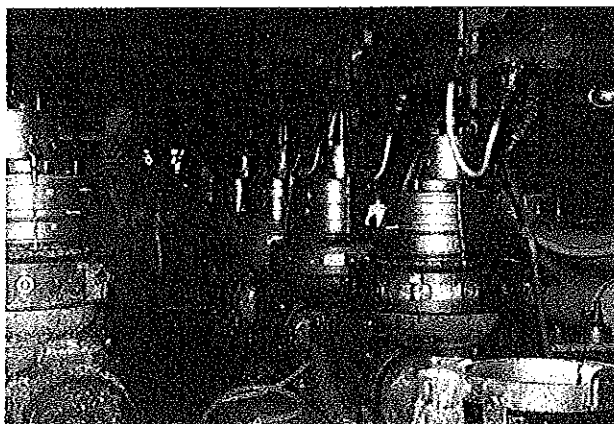
รายละเอียด	โรงงาน		
	A	B	C
6. ขอบเสียที่เกิดจากการผลิตน้ำยางข้น	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสีย - ขอบเสียของแข็ง - เนื้อยาง/เศษยาง - กากขี้แป้ง 	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสีย - ขอบเสียของแข็ง - เนื้อยาง/เศษยาง - กากขี้แป้ง 	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสีย - ขอบเสียของแข็ง - เนื้อยาง/เศษยาง - กากขี้แป้ง
7. การจัดการกากขี้แป้ง	กองทิ้งไว้ ถมที่	กองทิ้งไว้ ถมที่	กองทิ้งไว้ เผาทิ้ง



ภาพประกอบ 5 แสดงถึงสำหรับพักน้่ายางก่อนนำไปปั่น



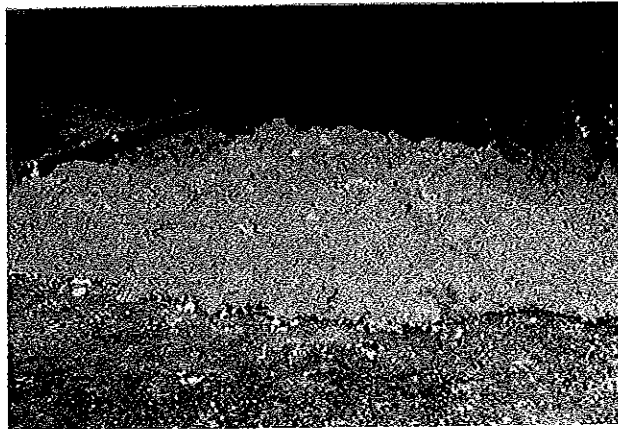
ภาพประกอบ 6 แสดงกากขี้แ่งที่ได้จากการตกตะกอนจากถังพักน้่ายาง



ภาพประกอบ 7 แสดงชุดถังปั่นน้่ายางขึ้น



ภาพประกอบ 8 แสดงกากซีเมนต์ที่ได้จากการปั่นน้ำยาง



ภาพประกอบ 9 แสดงการกองกากซีเมนต์ทิ้งไว้บริเวณข้างโรงงาน



ภาพประกอบ 10 แสดงการนำกากซีเมนต์ไปถมพื้นที่

จากการสำรวจโรงงานและการศึกษากระบวนการผลิตของตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นพบว่าปัญหาและอุปสรรคในการผลิตน้ำยางชั้นนั้นมีอยู่บ้างในช่วงฤดูฝนและช่วงยางผลัดใบเนื่องจากมีวัตุดิบน้อยลง และบางโรงงาน บางวันก็ไม่มีวัตุดิบเข้ามา และในฤดูฝนน้ำยางจะมีปริมาณ Mg สูง ซึ่งจะทำให้ให้น้ำยางชั้นที่ได้มีคุณภาพไม่ดี จึงต้องใช้ DAP ในปริมาณมากขึ้นเพื่อช่วยให้ Mg ในน้ำยางตกตะกอน

สำหรับการจัดการกับกากขี้แป้งซึ่งเป็นของเสียประเภทหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางชั้นนั้น ทางโรงงานมักจะทิ้งกองไว้ หรือเอาไปถมที่ บางโรงงานก็ทิ้งรวมกับขยะ และบางโรงงานกำจัดโดยการเผาทิ้ง

1.3 ปริมาณการเกิดกากขี้แป้ง

จากการศึกษาเพื่อสำรวจและประเมินปริมาณกากขี้แป้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางชั้นที่ศึกษารวม 2 ครั้ง พบข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10 พบว่า โรงงานทั้ง 3 โรงงานมีกากขี้แป้งเกิดจาก 2 จุดใหญ่ ๆ คือ จากถังพักน้ำยาง และจากกระบวนการปั่นน้ำยาง โดยที่จากการสำรวจครั้งที่ 1 ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม 2541 พบว่าปริมาณกากขี้แป้งจะเกิดมากที่สุดที่ถังพักน้ำยาง โดยเกิดขึ้นในช่วง 4.7 – 9.7 กก./ตันน้ำยางสด หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.5 ± 2.6 กก./ตันน้ำยางสด สำหรับในจุดถังปั่นน้ำยาง พบว่าเกิดขึ้นในช่วง 2.1 – 2.3 กก./ตันน้ำยางสด หรือ คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2 ± 0.1 กก./ตันน้ำยางสด ซึ่งอาจกล่าวโดยรวมได้ว่าการผลิตน้ำยางชั้นจะทำให้เกิดอัตราการเกิดของเสียในรูปของกากขี้แป้งโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 9.7 ± 2.5 กก./ตันน้ำยางสด หรือคิดเป็น 0.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งในแต่ละวันแต่ละโรงงานนำน้ำยางสดมาใช้ในการผลิตน้ำยางชั้นในช่วงระหว่าง 80 – 100 ตันต่อวัน ทำให้คำนวณได้ว่า จะมีของเสียในรูปของกากขี้แป้งเกิดขึ้นในแต่ละโรงงานผลิตน้ำยางชั้น 0.78 – 0.97 ตันต่อวัน

สำหรับการสำรวจครั้งที่ 2 ในช่วงเดือนธันวาคม 2541 ถึงเดือนมกราคม 2542 พบว่าปริมาณกากขี้แป้งจะเกิดมากที่สุดที่ถังพักน้ำยางเช่นกัน โดยเกิดขึ้นในช่วง 5.2 - 9.1 กก./ตันน้ำยางสด หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.4 ± 2.0 กก./ตันน้ำยางสด สำหรับในจุดถังปั่นน้ำยาง พบว่าเกิดขึ้นในช่วง 2.2 - 3.7 กก./ตันน้ำยางสด หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.9 ± 0.8 กก./ตันน้ำยางสด โดยรวมมีอัตราการเกิดกากขี้แป้งเฉลี่ยเท่ากับ 10.3 ± 1.6 กก./ตันน้ำยางสดหรือคิดเป็น 1.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคมเป็นช่วงที่มีฝนตก ทำให้ในแต่ละวันแต่ละโรงงานมีน้ำยางสดมาใช้ในการผลิตน้ำยางชั้นน้อยลง โดยมีน้ำยางสด ประมาณ 50-80 ตันต่อวันนั่นคือ จะมีของ

เสียในรูปของกากชี้แบ่งเกิดขึ้นในแต่ละโรงงานผลิตน้ำยางชั้นน้อยลง โดยมีกากชี้แบ่งประมาณ 0.52 - 0.82 ตันต่อวัน

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่ากากชี้แบ่งในแต่ละโรงงานมีปริมาณน้อยลงในการสำรวจครั้งหลังซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตามหากเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเกิดกากชี้แบ่งจากการสำรวจทั้งสองครั้ง จะเห็นได้ว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คือเกิดขึ้น 0.97 ± 0.25 และ 1.03 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยางสด และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของวันชัย แก้วยอด (2540) ซึ่งได้รายงานว่าการผลิตน้ำยางชั้นจะเกิดกากชี้แบ่งขึ้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยางสด จะพบว่า การศึกษาในครั้งนี้ มีอัตราการเกิดกากชี้แบ่งที่ใกล้เคียงกัน

ตาราง 9 แสดงปริมาณกากชี้แบ่งที่เกิดจากการผลิตในโรงงานน้ำยางชั้น
(เดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม 2541)

โรงงาน	ปริมาณกากชี้แบ่งจากถังพัก (กก./ตันน้ำยางสด)	ปริมาณกากชี้แบ่งจากถังปั่น (กก./ตันน้ำยางสด)
A	4.7	2.3
B	8.2	2.2
C	9.7	2.1

ตาราง 10 แสดงปริมาณกากชี้แบ่งที่เกิดจากการผลิตในโรงงานน้ำยางชั้น
(เดือนธันวาคม 2541 - เดือนมกราคม 2542)

โรงงาน	ปริมาณกากชี้แบ่งจากถังพัก (กก./ตันน้ำยางสด)	ปริมาณกากชี้แบ่งจากถังปั่น (กก./ตันน้ำยางสด)
A	5.2	3.7
B	9.1	2.9
C	7.8	2.2

2. ผลการเก็บตัวอย่างกากชี้แบ่งจากโรงงานมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี

2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากชี้แบ่ง

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างกากชี้แบ่ง จากการเก็บทั้ง 2 ครั้ง แสดงในตาราง 11 และ 12 การวิเคราะห์ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากการเก็บตัวอย่างครั้งแรก ดังแสดงผลในตาราง 11 พบว่า ตัวอย่างกากชี้แบ่งสดมีค่าความชื้น และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 64.4 ± 5.2 % และ 35.6 ± 5.2 % ตามลำดับ ค่า pH ของกากชี้แบ่งเฉลี่ยเท่ากับ 9.0 ± 0.1 และค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.0517 ± 0.02 ตัน/ลบม. สำหรับกากชี้แบ่งแห้ง พบว่า ประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญ ได้แก่ N P (ในรูปของ P_2O_5) K (ในรูปของ K_2O) Mg และ Zn โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 ± 0.33 19.6 ± 2.5 1.8 ± 0.4 5.31 ± 0.65 และ 1.01 ± 0.38 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 55.2 ± 3.8 % น้ำหนักแห้ง

สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ดังแสดงผลในตาราง 12 นั้น พบว่า ตัวอย่างกากชี้แบ่งสดมีค่าความชื้น และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 57.7 ± 2.7 และ 42.3 ± 2.7 % ตามลำดับ ค่า pH ของกากชี้แบ่ง เฉลี่ยเท่ากับ 8.63 ± 0.35 และค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.0477 ± 0.03 ตัน /ลบม. สำหรับกากชี้แบ่งแห้งประกอบไปด้วยธาตุ N P (ในรูปของ P_2O_5) K (ในรูปของ K_2O) Mg และ Zn โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.14 ± 0.59 21.6 ± 1.5 2.1 ± 0.5 7.56 ± 0.45 และ 0.51 ± 0.20 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 53.1 ± 5.4 % น้ำหนักแห้ง

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 ครั้ง สำหรับตัวอย่างกากชี้แบ่งสดและกากชี้แบ่งแห้งนั้น พบว่ามี N ต่างกัน เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในฐานน้ำหนักแห้งเดียวกัน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 นั้น ตัวอย่างกากชี้แบ่งสดมี N ระหว่าง 1.81 – 3.45 % น้ำหนักเปียก (ความชื้นระหว่าง 57 – 72 %) ซึ่งเมื่อคำนวณกลับเป็นน้ำหนักแห้ง พบว่าจะมี N ระหว่าง 6.29 – 8.76 % แต่เมื่อนำตัวอย่างกากชี้แบ่งที่อบแห้งแล้วนั้นมาวิเคราะห์ พบว่าประกอบด้วย N เพียง 1.57 – 2.40 % น้ำหนักแห้ง และในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ตัวอย่างกากชี้แบ่งสดมี N ระหว่าง 1.79 – 3.43 % น้ำหนักเปียก (ความชื้นระหว่าง 55 – 62 %) ซึ่งเมื่อคำนวณกลับเป็นน้ำหนักแห้ง พบว่าจะมี N ระหว่าง 4.08 – 7.98 % แต่เมื่อนำตัวอย่างกากชี้แบ่งอบแห้งแล้วนั้นมาวิเคราะห์ พบว่าประกอบด้วย N เพียง 1.60 – 3.20 % น้ำหนักแห้ง จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างกากชี้แบ่งสดจะมี N มากกว่าตัวอย่างกากชี้แบ่งแห้ง ทั้งนี้เพราะว่า ตัวอย่างกากชี้แบ่งสดมีค่า pH ค่อนข้างสูง เมื่อนำไปอบแห้งอาจมี N บางส่วนที่สูญหายไปในขณะที่ทำการอบแห้ง

และผลจากการนำกากซีเมนต์ไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบ โดยการวิเคราะห์ชนิดของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในกากซีเมนต์ โดยการใช้เครื่องมือ X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่า กากซีเมนต์ที่ได้จากถึงพักน้ำยางและถึงบ่มน้ำยางนั้น นอกจากจะประกอบไปด้วย N, P, K, Mg และ Zn แล้ว กากซีเมนต์ที่ได้จากถึงพักน้ำยาง ยังมีธาตุ Al, Si, Ti, และ Rb และกากซีเมนต์ที่ได้จากถึงบ่มน้ำยางนั้น มีธาตุ Al, Si, Mn, Fe, Ni, Cu และ Rb อีกด้วย ดังแสดงในตารางผนวก จ แต่จากการวิเคราะห์ด้วยการใช้เครื่องมือ X-Ray Fluorescence (XRF) ในครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเท่านั้น จึงยังไม่ทราบถึงความเข้มข้นของธาตุอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจาก N, P, K, Mg และ Zn และจะเห็นได้ว่าในบรรดาธาตุเหล่านั้น ยังมีธาตุที่เป็นโลหะหนักที่จะต้องให้ความสนใจ

ตาราง 11 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างกากชี้แบ่งจาก
ตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นภายในจังหวัดสงขลา (เดือนกรกฎาคม-สิงหาคม 2541)

พารามิเตอร์		กากชี้แบ่งจากดั่งพักน้ำยาง		กากชี้แบ่งจากดั่งปั่นน้ำยาง	
		range	average \pm SD.	range	average \pm SD.
ตัวอย่างสด	MC (%)	66.5-71.5	68.5 \pm 2.61	57.2-63.0	60.3 \pm 2.91
	SC (%)	28.5-33.4	31.5.5 \pm 2.61	37.0-42.8	39.7 \pm 2.91
	pH	8.67-9.13	8.94 \pm 0.19	9.03-9.11	9.07 \pm 0.04
	Density (ton/m ³)	1.0513-1.0800	1.0663 \pm 0.01	1.0133-1.0525	1.0370 \pm 0.02
	N (% wet wt.)	1.81-2.71	2.19 \pm 0.47	2.91-3.45	3.24 \pm 0.29
ตัวอย่างแห้ง	VS (% dry wt.)	48.4-54.5	52.4 \pm 3.47	57.1-58.5	57.9 \pm 0.74
	N (% dry wt.)	1.57-2.40	1.93 \pm 0.43	1.95-2.33	2.18 \pm 0.20
	P as P ₂ O ₅ (% dry wt.)	15.5-19.7	17.83 \pm 2.14	20.4-23.0	21.30 \pm 1.47
	K as K ₂ O (% dry wt.)	1.44-1.75	1.59 \pm 0.16	1.57-2.67	1.98 \pm 0.60
	Mg (% dry wt.)	4.76-6.08	5.59 \pm 0.73	4.46-5.52	5.03 \pm 0.53
	Zn (% dry wt.)	0.57-1.39	0.98 \pm 0.41	0.64-1.49	1.04 \pm 0.43

หมายเหตุ MC : ปริมาณความชื้น

SC : ปริมาณของแข็งทั้งหมด

VS : ปริมาณของแข็งระเหยได้

ตาราง 12 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างกากซีเมนต์จาก
ตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นภายในจังหวัดสงขลา (เดือนธันวาคม 2541-มกราคม 2542)

พารามิเตอร์		กากซีเมนต์จากถังพักน้ำยาง		กากซีเมนต์จากถังปั่นน้ำยาง	
		range	average \pm SD.	range	average \pm SD.
ตัวอย่างสด	MC (%)	55.6-62.0	58.93 \pm 3.21	54.6-57.9	56.50 \pm 1.71
	SC (%)	38.0-44.4	41.07 \pm 3.21	42.1-45.5	43.50 \pm 1.71
	pH	8.29-9.20	8.72 \pm 0.46	8.31-8.82	8.54 \pm 0.26
	Density (ton/m ³)	1.0239-1.0556	1.0355 \pm 0.02	1.0396-1.0966	1.0598 \pm 0.03
	N (% wet wt.)	1.79-2.52	2.04 \pm 0.42	2.45-3.43	2.87 \pm 0.50
ตัวอย่างแห้ง	VS (% dry wt.)	44.8-57.2	49.83 \pm 6.52	55.7-57.3	56.27 \pm 0.90
	N (% dry wt.)	1.60-2.33	1.88 \pm 0.40	1.82-3.20	2.41 \pm 0.71
	P as P ₂ O ₅ (% dry wt.)	19.7-23.6	21.17 \pm 2.12	21.4-22.6	22.07 \pm 0.61
	K as K ₂ O (% dry wt.)	1.31-2.33	1.99 \pm 0.59	1.76-2.50	2.24 \pm 0.41
	Mg (% dry wt.)	7.66-8.05	7.79 \pm 0.22	6.72-7.73	7.33 \pm 0.54
	Zn (% dry wt.)	0.24-0.59	0.43 \pm 0.18	0.36-0.81	0.59 \pm 0.22

หมายเหตุ MC : ปริมาณความชื้น

SC : ปริมาณของแข็งทั้งหมด

VS : ปริมาณของแข็งระเหยได้

2.2 น้ำสกัดจากกากซีเป้งแห้ง

เมื่อนำกากซีเป้งแห้งมาสกัด ซึ่งได้ผสมกากซีเป้งที่อบแห้งแล้วกับ de-ionized water ในอัตราส่วน 0.5 g/ 60 ml 0.5 g/ 70 ml และ 0.5 g/ 80 ml เพื่อศึกษาการละลายออกของธาตุต่าง ๆ นั้น พบว่ากากซีเป้งมีความสามารถในการละลายมากขึ้นเมื่อใช้ตัวทำละลายมากขึ้น และเมื่อนำส่วนที่ละลายได้และตะกอนที่เหลือไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ พบว่า ได้ผลดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 แสดงผลการศึกษาการสกัดกากซีเป้ง

อัตราการผลิตของการสกัด (g/ml)	ตะกอนที่เหลือ		ส่วนที่ละลายได้						
	SC (%)	VS (%dry wt.)	N (mg/l)	TP (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Zn (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)
0.5/60	28.4	52.1	21.2	7.6	25.4	2.92	0.59	254	373
0.5/70	26.8	51.9	18.7	7.3	19.2	2.43	0.56	203	328
0.5/80	26.6	51.7	17.1	7.2	14.8	1.94	0.52	202	325

และเมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายออกของธาตุแต่ละประเภทในส่วนของกากซีเป้งที่ละลายน้ำได้ พบว่าได้ผลดังแสดงในตาราง 14

จากผลการทดลองในตาราง 13 และตาราง 14 อาจกล่าวได้ว่า กากซีเป้งมีสภาพไม่คงตัว สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ง่าย และเมื่อละลายจะพบว่า K จะละลายออกมามากสุด อยู่ในช่วง 69 - 88 % และความสามารถในการละลายออกของ N อยู่ในช่วง 11 - 12 % สำหรับ P Mg และ Zn พบว่ามีความสามารถละลายออกได้ในช่วง 1 % หรือต่ำกว่าเท่านั้น สำหรับค่า BOD และ COD ของส่วนของเหลวที่สกัดได้ พบว่ามีค่าสัดส่วนของ BOD ต่อ COD มากกว่า 0.5 จึง

แสดงให้เห็นว่า กากซีเมนต์เมื่อละลายแล้วจะทำให้น้ำที่สกัดนั้นมีคุณสมบัติที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย

ตาราง 14 แสดงสัดส่วนของธาตุแต่ละประเภทที่ถูกละลายได้

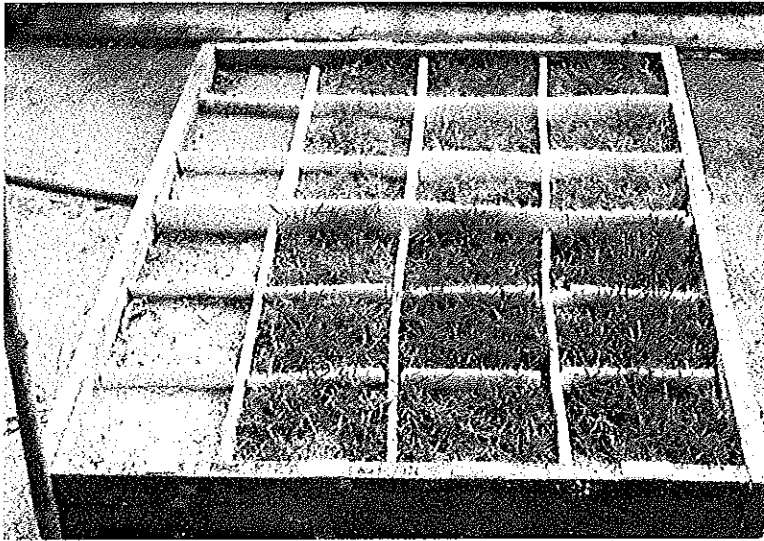
อัตราการผสม ของการสกัด (g/ml)	สัดส่วนของธาตุแต่ละประเภทที่ถูกละลายได้				
	N*	P*	K*	Mg*	Zn*
0.5/60	11.2	0.44	88.4	0.78	1.12
0.5/70	11.5	0.50	75.0	0.76	1.23
0.5/80	12.0	0.56	69.2	0.70	1.30

หมายเหตุ : * แสดงเป็น % ของสัดส่วนของธาตุแต่ละประเภทที่ถูกละลายได้ จากส่วนของธาตุนั้น ๆ ทั้งหมดที่อยู่ในกากซีเมนต์แห้ง โดยการคำนวณจากธาตุแต่ละประเภทที่ละลายได้ในตัวทำละลาย เมื่อเทียบกับธาตุนั้น ๆ ทั้งหมดที่มีอยู่ในกากซีเมนต์แห้งก่อนทำละลาย

3. ผลการทดลองการนำกากซีเมนต์มาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย

3.1 การเจริญเติบโตของต้นหญ้า

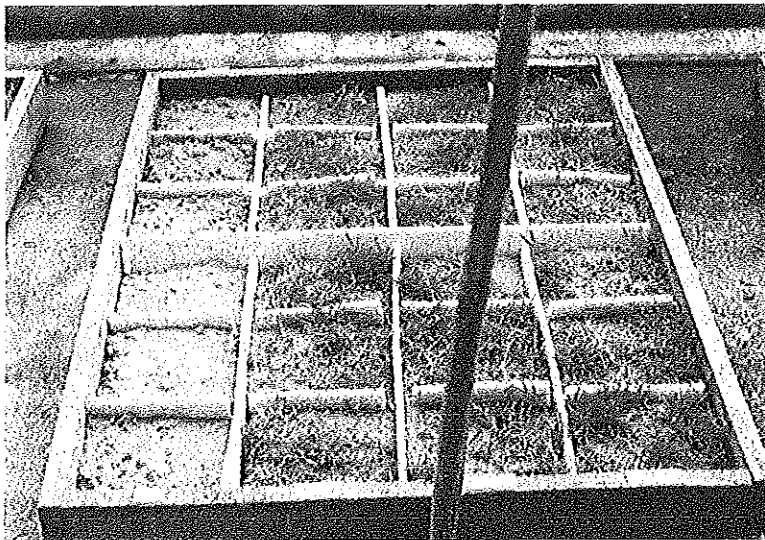
จากการนำตัวอย่างกากซีเมนต์ ซึ่งเก็บมาจากตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นที่ดำเนินการศึกษา มาทดสอบศักยภาพความเป็นปุ๋ย โดยนำมาใช้เป็นปุ๋ยในการทดลองปลูกหญ้าขนาดเล็กนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 20 40 และ 50 วัน พบการเจริญเติบโตของต้นหญ้า ดังแสดงในภาพประกอบ 11 ถึงภาพประกอบ 20



ชุดการทดลองที่ 1

ชุดการทดลองที่ 2

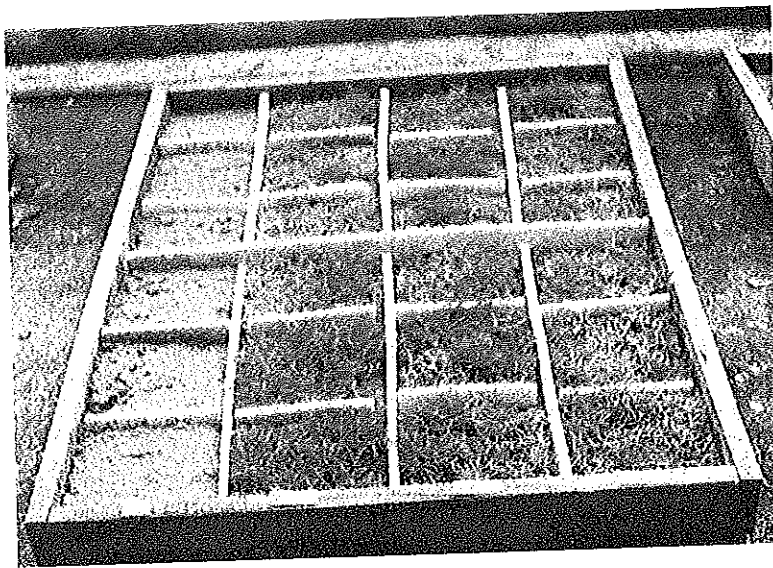
ภาพประกอบ 11 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 1 และ 2
หลังจากปลูกได้ 20 วัน



ชุดการทดลองที่ 3

ชุดการทดลองที่ 4

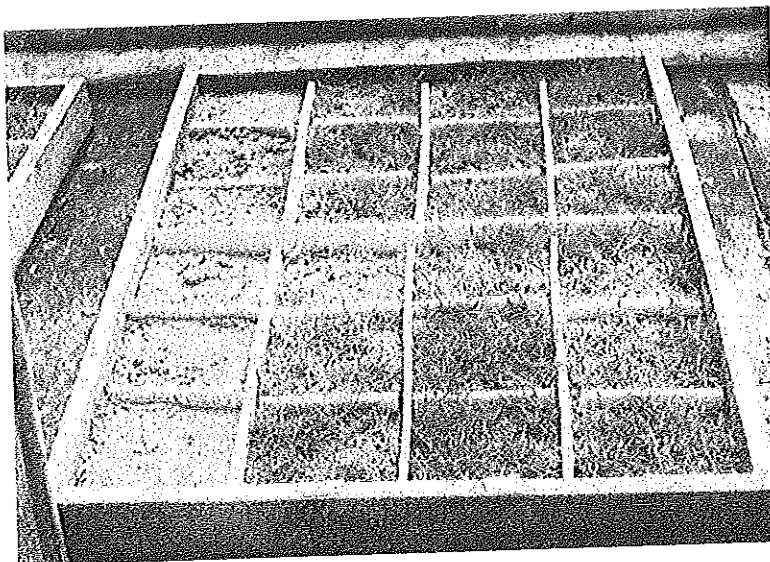
ภาพประกอบ 12 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 3 และ 4
หลังจากปลูกได้ 20 วัน



ชุดการทดลองที่ 5

ชุดการทดลองที่ 6

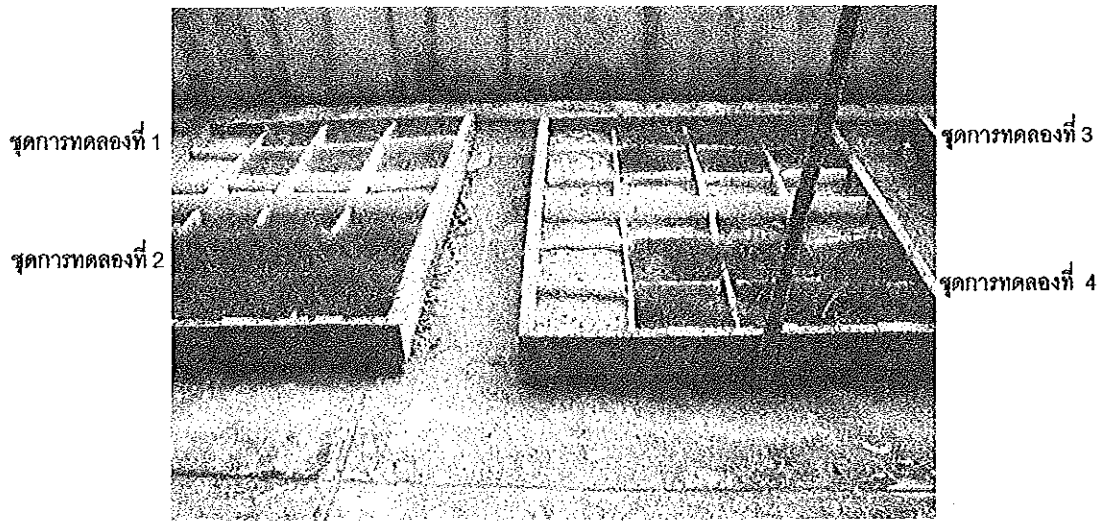
ภาพประกอบ 13 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 5 และ 6
หลังจากปลูกได้ 20 วัน



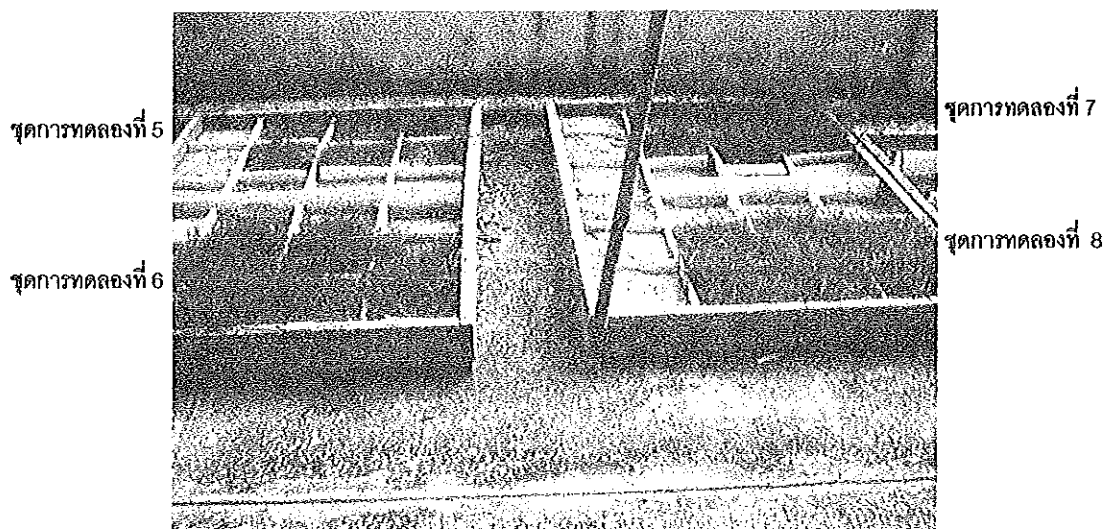
ชุดการทดลองที่ 7

ชุดการทดลองที่ 8

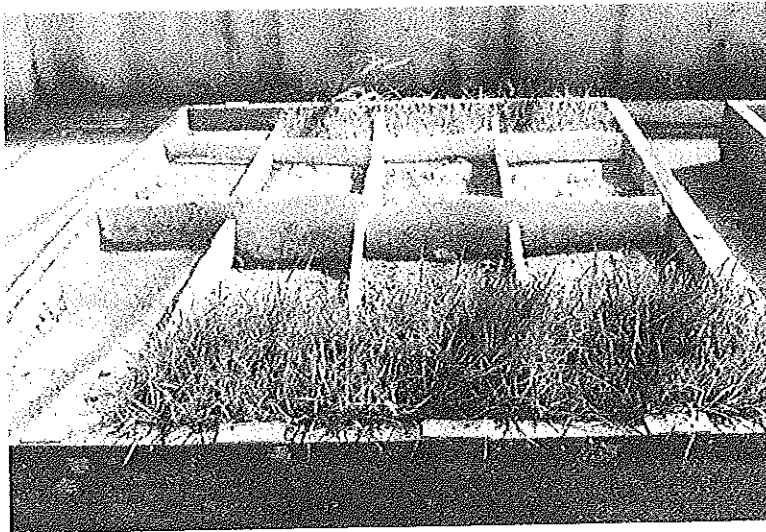
ภาพประกอบ 14 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 7 และ 8
หลังจากปลูกได้ 20 วัน



ภาพประกอบ 15 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 1 2 3 และ 4
หลังจากปลูกได้ 40 วัน



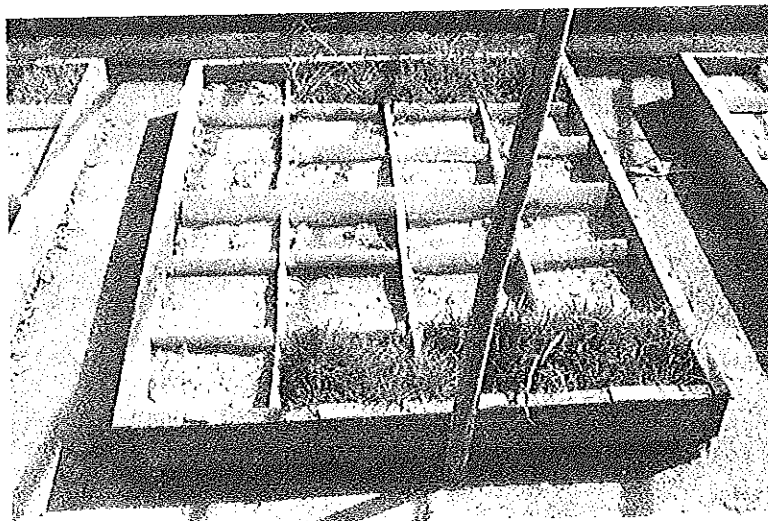
ภาพประกอบ 16 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 5 6 7 และ 8
หลังจากปลูกได้ 40 วัน



ชุดการทดลองที่ 1

ชุดการทดลองที่ 2

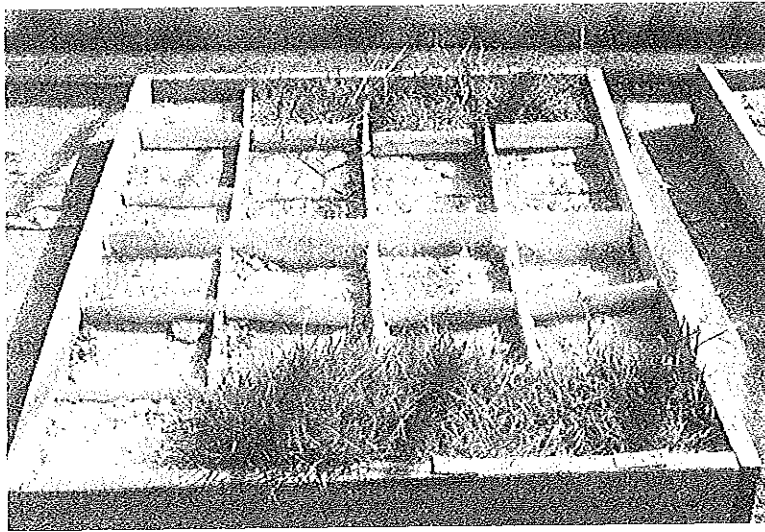
ภาพประกอบ 17 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 1 และ 2
หลังจากปลูกได้ 50 วัน



ชุดการทดลองที่ 3

ชุดการทดลองที่ 4

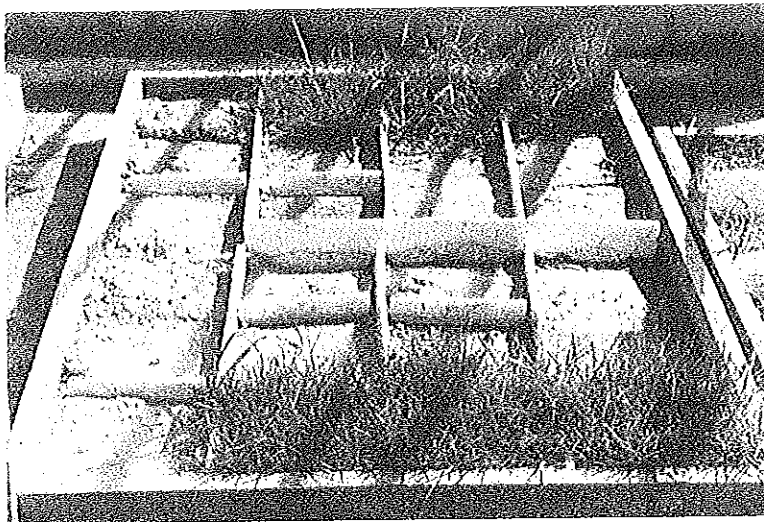
ภาพประกอบ 18 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 3 และ 4
หลังจากปลูกได้ 50 วัน



ชุดการทดลองที่ 5

ชุดการทดลองที่ 6

ภาพประกอบ 19 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 5 และ 6
หลังจากปลูกได้ 50 วัน



ชุดการทดลองที่ 7

ชุดการทดลองที่ 8

ภาพประกอบ 20 แสดงการเจริญเติบโตของต้นหญ้าชุดการทดลองที่ 7 และ 8
หลังจากปลูกได้ 50 วัน

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้า เมื่อเวลาครบ 20 40 และ 50 วัน ได้ทำการสุ่มวัด ส่วนสูง และทำการเก็บเกี่ยวหญ้าเพื่อนำไปศึกษาน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณของแข็ง ละเอียด (VS) ของต้นหญ้าแห้ง ซึ่งจากการศึกษาได้ผลดังนี้ คือ

3.1.1 ความสูง

เนื่องจากหญ้านวลน้อยมีลักษณะการเจริญเติบโต แบบแพร่กระจายแตกหน่อใน แนวราบด้วย ทำให้การวัดความสูงทำได้ไม่สะดวก จึงทำการประเมินความสูงแบบให้คะแนน ดัง แสดงในตาราง 15 ทั้งนี้สามารถใช้ภาพประกอบ 11 ถึง 20 ประกอบการสังเกตข้อมูลด้วย

เมื่อพิจารณาจากผลการประเมินความสูงดังแสดงในตาราง 15 และจากภาพที่ แสดงในภาพประกอบ 11 ถึง 20 จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลา 20 วันหลังจากปลูก ชุดการทดลองที่ 2 มีการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูงและการแพร่กระจายที่ดีกว่าชุดการทดลองชุดควบคุมและชุด การทดลองอื่น ๆ (พิจารณาภาพประกอบ 11 - 14) สำหรับที่เวลา 40 วัน และ 50 วันพบว่า การ เจริญเติบโตของต้นหญ้าเป็นไปในแนวทางเดียวกัน นั่นคือ ชุดการทดลองที่ 2 6 7 และ 8 มีการ เจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 4 3 5 และ 1 (พิจารณาภาพ ประกอบ 15 - 20)

ตาราง 15 แสดงความสูงของต้นเหู้าก่อนปลูก และหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน โดยการประเมิน

ชุดการทดลอง	ก่อนปลูก			20 หลังจากปลูก			40 วันหลังจากปลูก			50 วันหลังจากปลูก		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
T1	+	+	+	++	++	++	-	+++	+++	-	-	++++
T2	+	+	+	++++	++++	++++	-	+++++	+++++	-	-	+++++
T3	+	+	+	++	++	++	-	++++	++++	-	-	+++++
T4	+	+	+	+++	+++	+++	-	++++	++++	-	-	+++++
T5	+	+	+	+++	++	++	-	++++	++++	-	-	+++++
T6	+	+	+	+++	+++	+++	-	+++++	+++++	-	-	+++++
T7	+	+	+	+++	+++	+++	-	+++++	+++++	-	-	+++++
T8	+	+	+	++	+++	+++	-	+++++	+++++	-	-	+++++

หมายเหตุ : ข้อมูลความสูงที่แสดงในตาราง ได้จากการประเมินด้วยสายตา

: จำนวนเครื่องหมาย + แปรผันตามความสูง

: A หมายถึง ชุดเหู้าที่ปลูกแล้วเก็บหลังจาก 20 วันของการปลูก

: B หมายถึง ชุดเหู้าที่ปลูกแล้วเก็บหลังจาก 40 วันของการปลูก

: C หมายถึง ชุดเหู้าที่ปลูกแล้วเก็บหลังจาก 50 วันของการปลูก

3.1.2 น้ำหนัก

เมื่อนำหญ้าจากการเก็บเกี่ยวที่เวลา 20 40 และ 50 วัน มาวิเคราะห์หาน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้ง ได้ผลดังแสดงในตารางผนวก 3 4 และ 5 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง และในแต่ละช่วงเวลามาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่ม และอัตราเปอร์เซ็นต์การเพิ่มต่อวันของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้ง ได้ผลดังแสดงในภาพประกอบ 21 22 23 24 25 และ 26

3.1.2.1 น้ำหนักสด

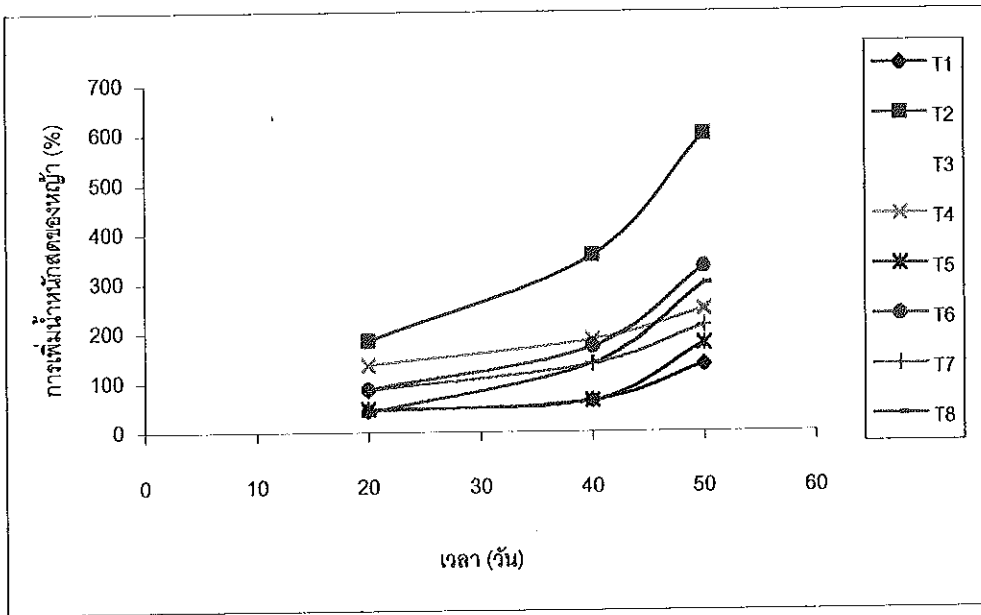
เมื่อเวลาผ่านไป 20 40 และ 50 วัน ในแต่ละชุดการทดลองมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนักสดและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของหญ้าที่เวลา 50 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มมีค่าสูงสุดใน ชุดการทดลอง ที่ 2 และลดลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 6 8 3 4 7 5 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 598 ± 28.9 331 ± 37.9 297 ± 35.8 248 ± 16.8 245 ± 9.7 213 ± 9.5 177 ± 24.1 และ 135 ± 21.5 % ตามลำดับ

3.1.2.2 น้ำหนักแห้ง

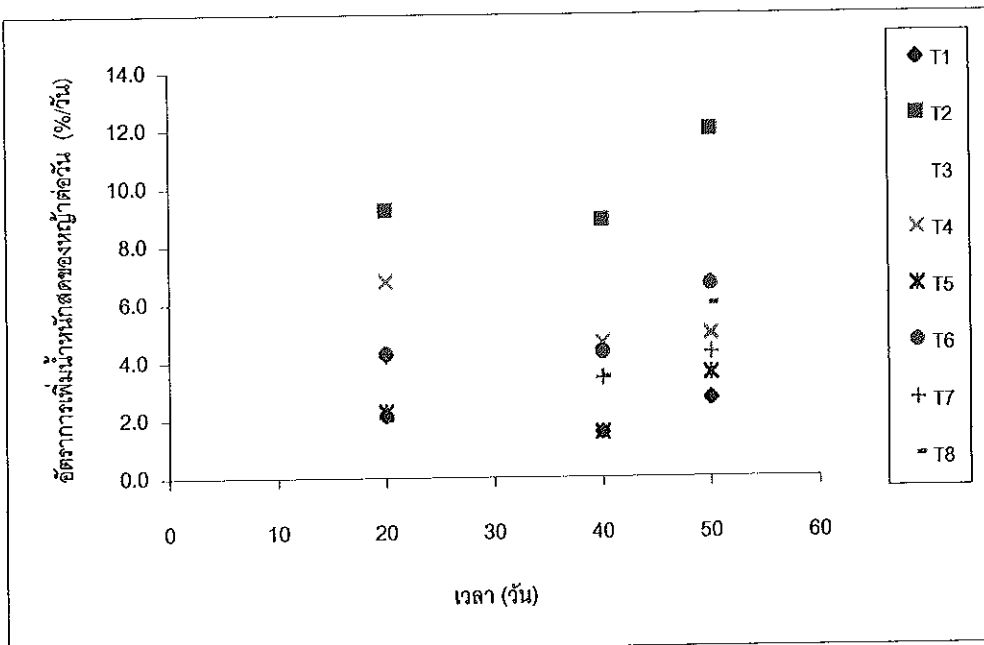
สำหรับน้ำหนักแห้งนั้น ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับน้ำหนักสด คือเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนักแห้งและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักแห้งของหญ้า ที่เวลา 50 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มมีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2 และลดลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 6 8 4 3 7 5 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 649 ± 49.4 405 ± 42.5 350 ± 34.5 311 ± 14.1 290 ± 22.7 261 ± 11.9 228 ± 30.6 และ 158 ± 25.9 % ตามลำดับ

3.1.2.3 ปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้ง

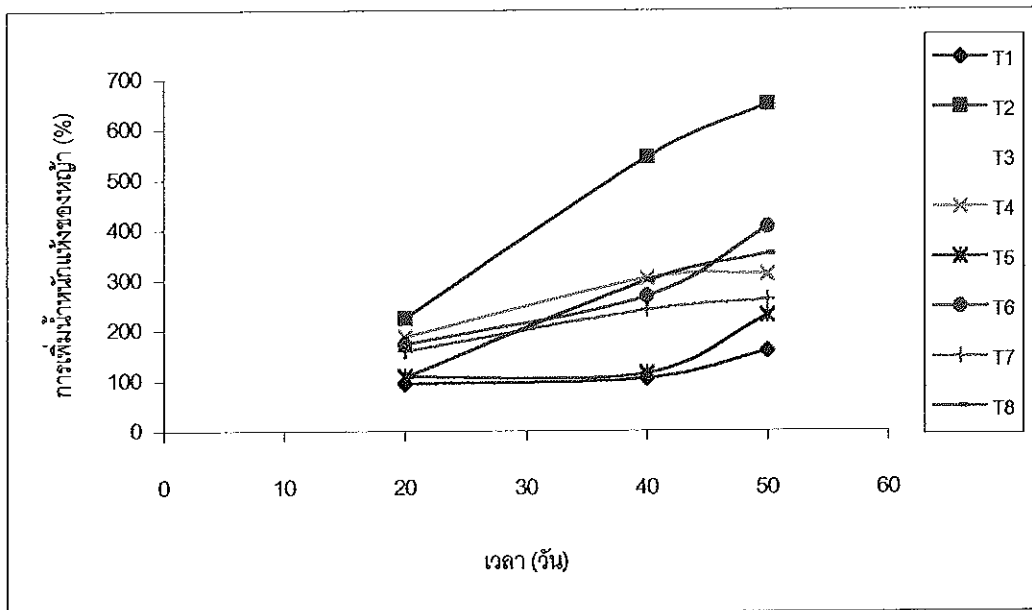
ปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้งในหญ้ามักมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นหญ้า และเมื่อพิจารณาที่เวลา 50 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักแห้ง คือมีค่าสูงสุดในชุดการทดลอง ที่ 2 และลดลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 6 8 4 3 7 5 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าเป็น 922 ± 32.6 534 ± 36.2 516 ± 34.1 422 ± 30.6 399 ± 15.1 371 ± 24.6 278 ± 31.4 และ 210 ± 22.4 % ตามลำดับ



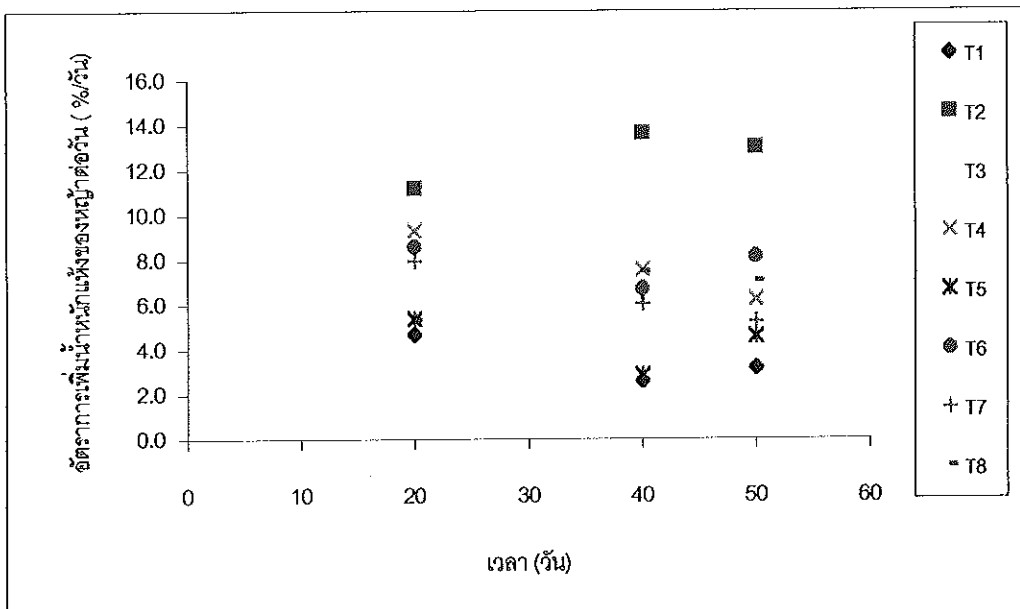
ภาพประกอบ 21 แสดงค่าเฉลี่ยการเพิ่มน้ำหนักสดของหญ้า ที่เวลา 20 40 และ 50 วัน



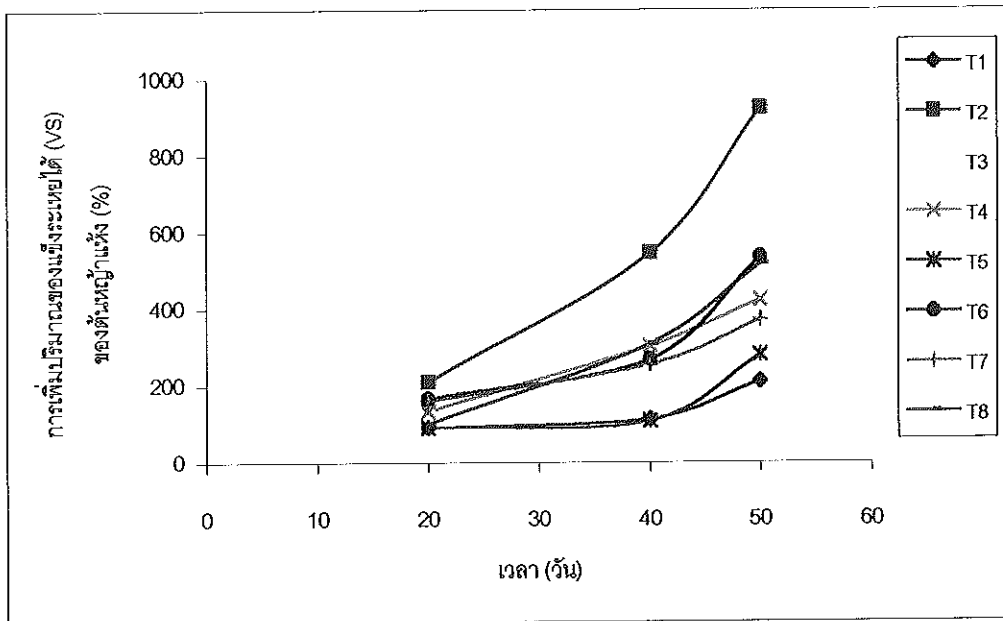
ภาพประกอบ 22 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มน้ำหนักสดของหญ้าต่อวัน ที่เวลา 20 40 และ 50 วัน



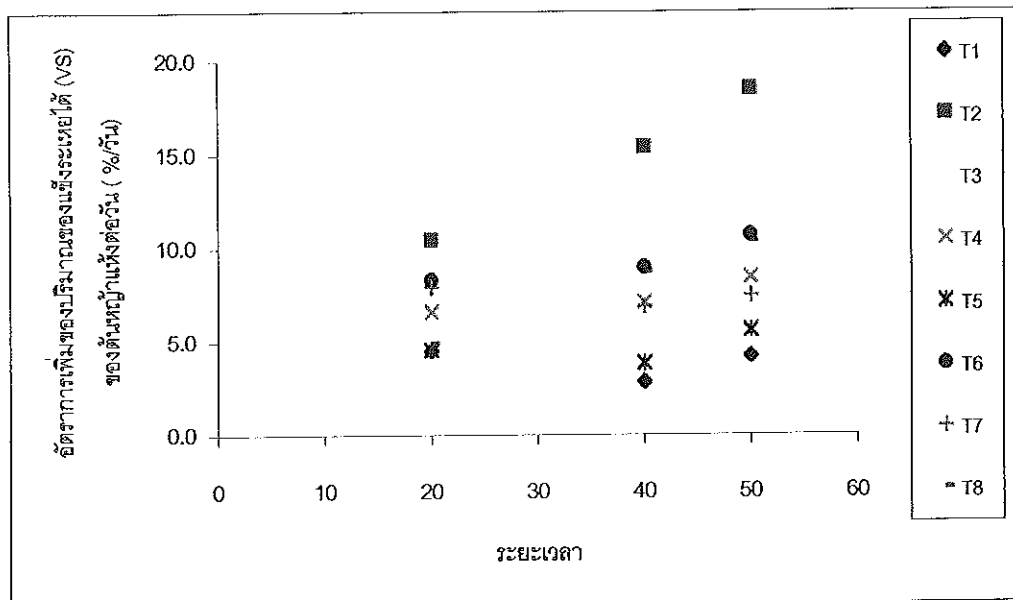
ภาพประกอบ 23 แสดงค่าเฉลี่ยการเพิ่มน้ำหนักแห้งของหญ้า ที่เวลา 20
40 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 24 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งของหญ้าต่อวัน ที่เวลา 20
40 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 25 แสดงค่าเฉลี่ยการเพิ่มของปริมาณของแฉะระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้ง ที่เวลา 20 40 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 26 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของปริมาณของแฉะระเหยได้ (VS) ของ ต้นหญ้าแห้งต่อวัน ที่เวลา 20 40 และ 50 วัน

3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน

ดินที่ใช้ปลูกหญ้าสำหรับการทดลองครั้งนี้ มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) โดยมี particle size ดังนี้

% sand เท่ากับ 74.33

% silt เท่ากับ 17.45

% clay เท่ากับ 8.22

และเมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังจากที่ปลูกหญ้าได้ 50 วัน พบว่า ลักษณะดินยังคงเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) โดยมี particle size ดังนี้

% sand เท่ากับ 74.21

% silt เท่ากับ 18.60

% clay เท่ากับ 7.18

และจากการนำดินที่ใช้ปลูกหญ้าทั้งก่อนและหลังการปลูก มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังระบุในตาราง 5 ได้ผลการทดลอง ดังนี้

3.2.1 ธาตุไนโตรเจน

3.2.1.1 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินก่อนปลูกพืช

จากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชลงในดินในแต่ละชุดการทดลอง ดังระบุในตาราง 4 โดยวิธีการคลุกเคล้าจากหน้าดินลงไปประมาณ 3 – 4 เซนติเมตร เมื่อนำดินมาวิเคราะห์ พบความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินดังแสดงผลในตาราง 16 โดยพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม ไม่ได้ใส่ธาตุอาหารใด ๆ มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน เท่ากับ 0.030 % น้ำหนักแห้ง สำหรับชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีการเติมธาตุไนโตรเจนด้วยอัตราเดียวกัน คือ 40 gN/m² พบว่ามีความเข้มข้นของไนโตรเจน ดังนี้ คือ ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเติมกากขี้เถ้าและชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเติมกากขี้เถ้าปรับค่า N และ K มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน เท่ากับ 0.124 % น้ำหนักแห้ง และ 0.120 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15 – 15 – 15 และชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15 – 0 – 0 มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน เท่ากับ 0.130 % น้ำหนักแห้ง และ 0.137 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 6 7 8 ซึ่งเติมกากขี้เถ้าผสมปุ๋ยเคมี 15 – 0 – 0 ด้วยอัตราส่วน 3:1 1:1 และ 1:3 มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนเท่ากับ 0.134 0.132 และ 0.131 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตาราง 16 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนใช้ปลูกพืช

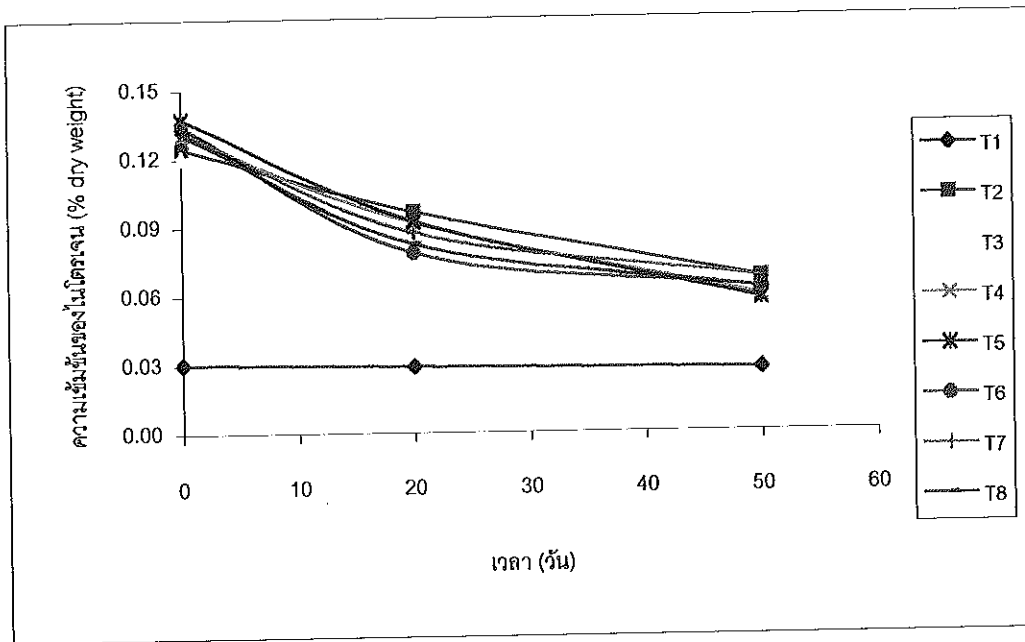
ตัวอย่างดิน	สารที่ให้ธาตุอาหารพืช	N (%dry weight)
T 1	ไม่ใส่ธาตุอาหาร (control)	0.030
T 2	กากขี้เถ้า	0.124
T 3	กากขี้เถ้าปรับค่า N และ K	0.120
T 4	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15	0.130
T 5	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-0-0	0.137
T 6	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 3 : 1 โดยน้ำหนัก	0.134
T 7	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก	0.132
T 8	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 3 โดยน้ำหนัก	0.131

หมายเหตุ : ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากผสมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชของแต่ละชุดการทดลอง

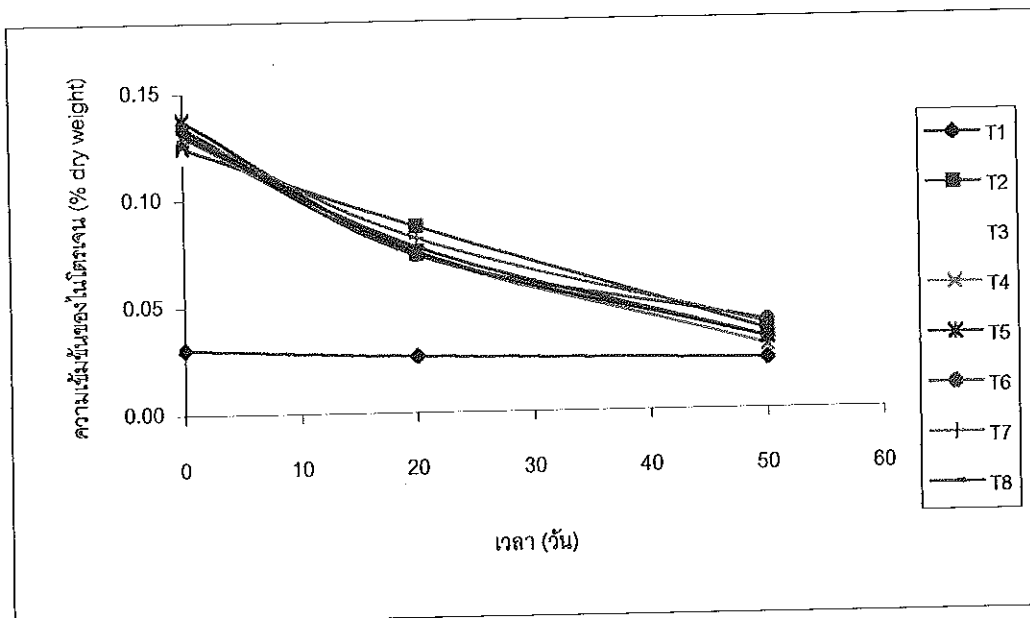
3.2.1.2. ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนหลังจากปลูกหญ้าได้ 20 และ 50 วัน

หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 และ 50 วันแล้วนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์พบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินชุดควบคุม และดินที่ใช้ปลูกหญ้า เป็นดังภาพประกอบ 27 และ 28 กล่าวคือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินมีค่าลดลง และเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของแต่ละชุดการทดลองในแต่ละช่วงเวลาจะได้ผลดังแสดงในภาพประกอบ 29 และ 30 โดยพบว่าการลดลงของไนโตรเจนในดินชุดควบคุมจะมีเปอร์เซ็นต์ลดลงน้อยกว่าการลดลงของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกหญ้า

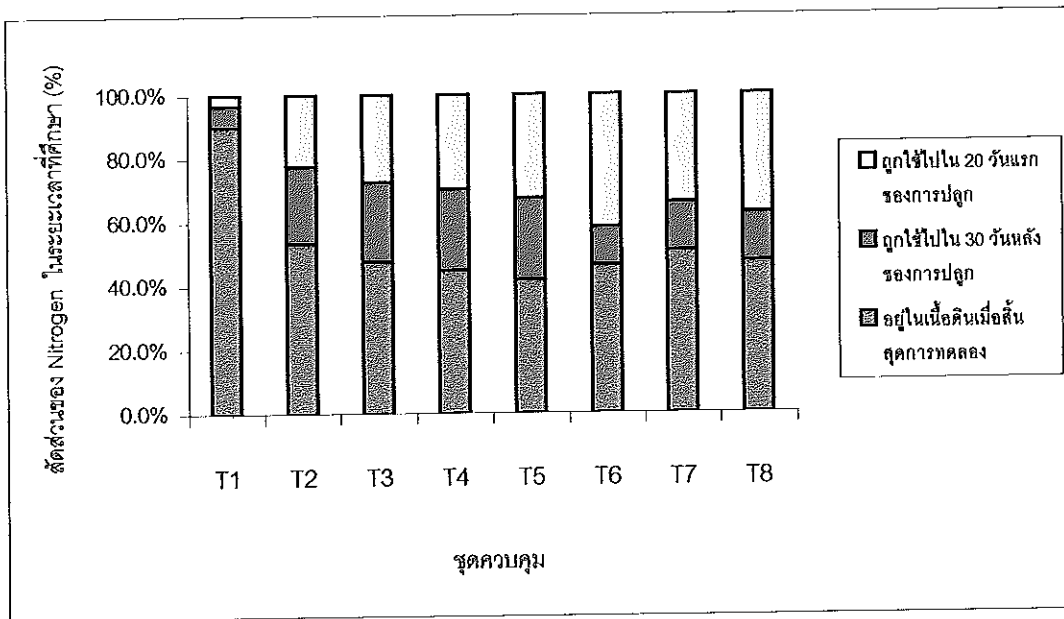
และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนโตรเจน ในช่วง 20 วันแรก มักจะมีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนโตรเจนในช่วง 30 วันหลัง (วันที่ 20 - วันที่ 50 ของการปลูกหญ้า) และเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนโตรเจนมีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ 4 และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 5 8 3 2 7 6 และ 1 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนโตรเจนเท่ากับ 77 76 75 73 71 70 69 และ 23 % ตามลำดับ



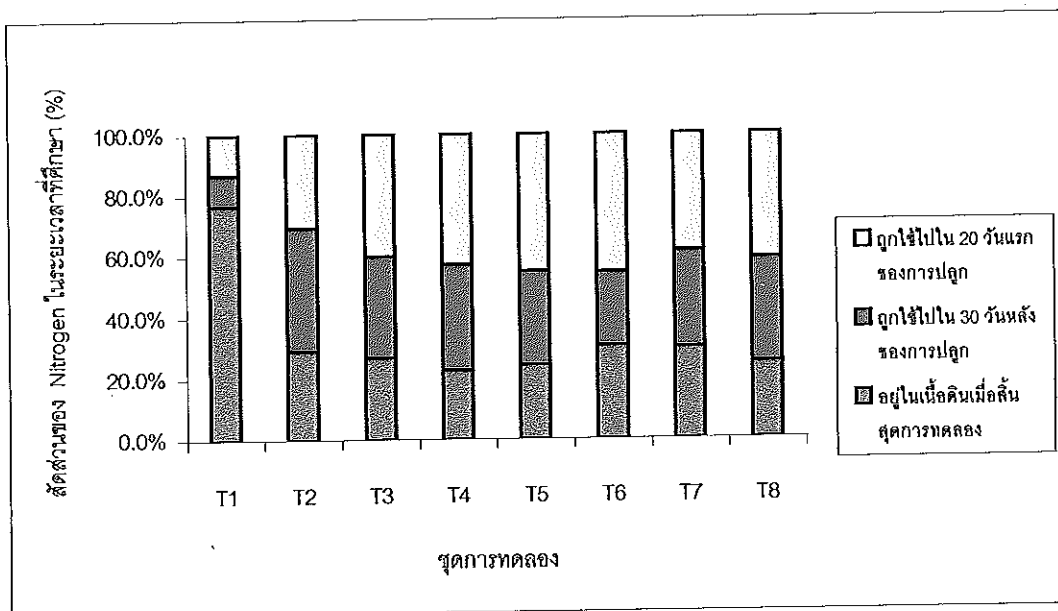
ภาพประกอบ 27 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 20 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 28 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 29 แสดงสัดส่วนร้อยละของไนโตรเจน ในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดการทดลอง ที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วน ร้อยละของไนโตรเจนที่เหลืออยู่



ภาพประกอบ 30 แสดงสัดส่วนร้อยละของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง ที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ สัดส่วนร้อยละของไนโตรเจนที่เหลืออยู่

3.2.1.3 การใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้า (N uptake)

จากผลการวิเคราะห์ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้า ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน แล้วนำมาคำนวณเป็นการใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้า (N uptake) โดยคำนวณจาก

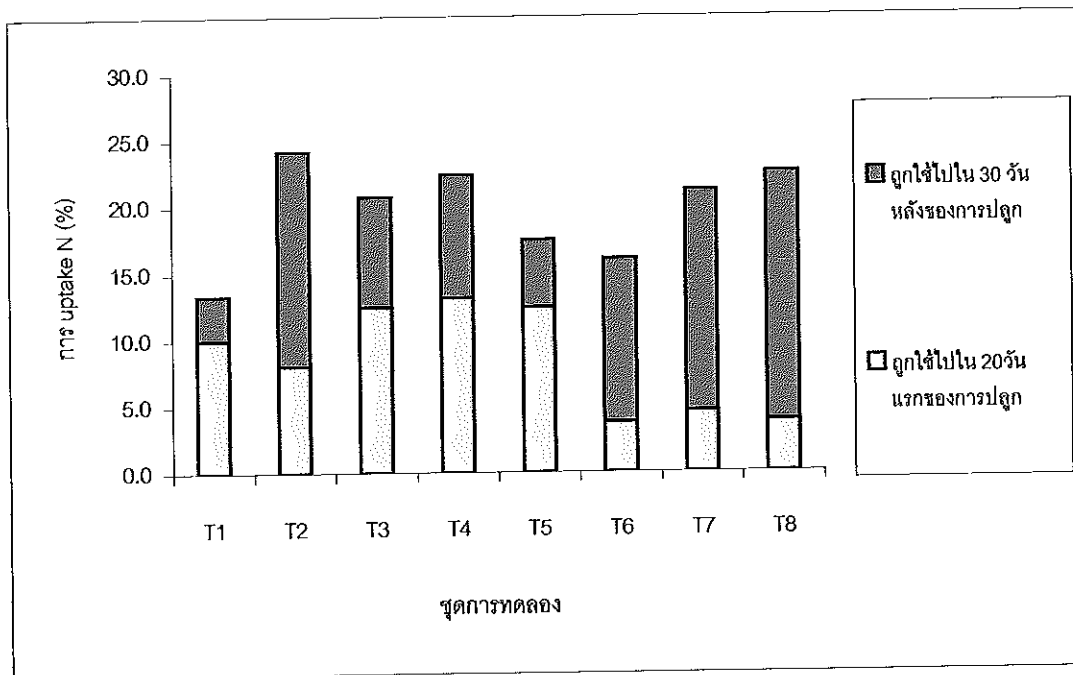
$$N \text{ uptake (\%)} = (\% \text{การลดลงของ N ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า} - \% \text{การลดลงของ N ในดินชุดควบคุม})$$

และคำนวณเป็น อัตราการใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้าต่อวัน (N uptake by plant per day) โดยคำนวณจาก

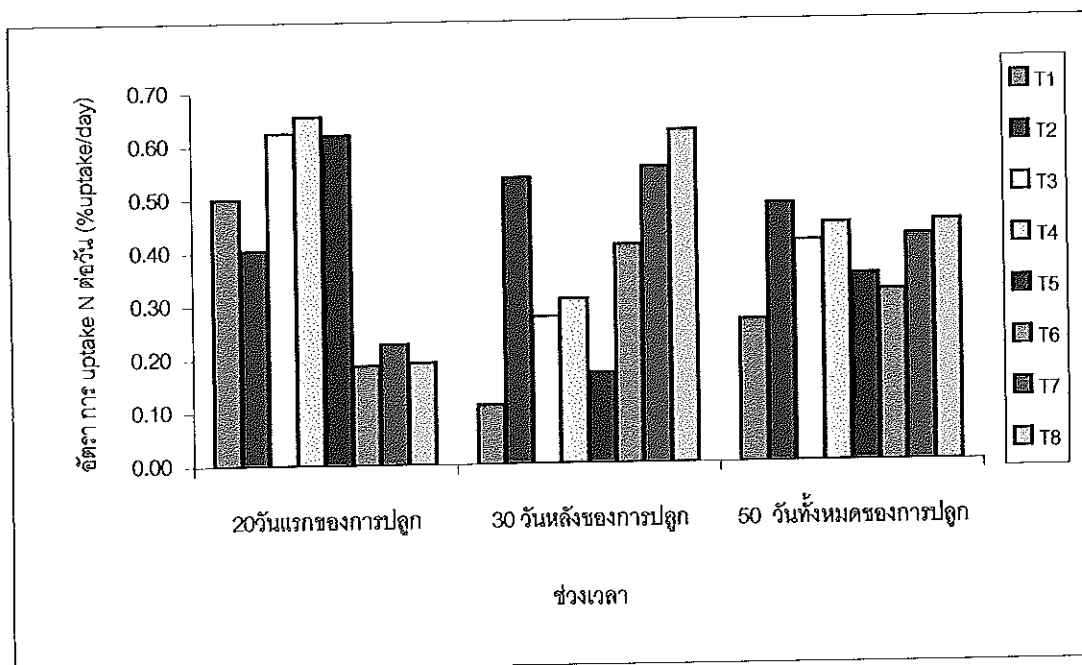
อัตราการใช้ธาตุ N ของต้นหญ้าต่อวัน (%N uptake/day)

$$= \frac{(\% \text{การลดลงของ N ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า}) - (\% \text{การลดลงของ N ในดินชุดควบคุม})}{\text{จำนวนวันที่ปลูก}}$$

จากการคำนวณ ได้ผลการใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้า (N uptake) และอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้าต่อวัน (N uptake by plant per day) ดังแสดงในภาพประกอบ 31 และ 32 ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีการใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้า (N uptake) สูงสุด และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 8 4 7 3 5 6 และ 1 โดยมีค่าการใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้า (N uptake) เท่ากับ 24.1 22.5 22.4 21.1 20.8 17.5 16.0 และ 13.3 % ตามลำดับ



ภาพประกอบ 31 แสดงการ uptake N ของหญ้าในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก และ 30 วันหลังของการปลูก



ภาพประกอบ 32 แสดงอัตราการ uptake N ของหญ้าต่อวัน ในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

3.2.1.4 อัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น

อัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น หมายถึง ปริมาณการใช้ธาตุไนโตรเจนในดินที่ทำให้หญ้ามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นโดยประเมินจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหญ้า 1 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณการใช้ธาตุไนโตรเจนในชุดดินที่ใช้ปลูกหญ้าในแต่ละชุดการทดลองนั้น ได้หักลบจากปริมาณไนโตรเจนในดินในชุดดินควบคุมของแต่ละชุดการทดลองนั้น ๆ แล้ว เพราะฉะนั้น อัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น คำนวณจาก

$$\frac{\text{ผลต่างของ N ในดินในช่วงเวลาที่ศึกษา ; (\%N dry wt.)}}{\text{ผลต่างของน้ำหนักแห้งของหญ้าในช่วงเวลาที่ศึกษา ; (kg dry wt.)}}$$

จากการคำนวณอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 20 วันแรก 30 วันหลัง และช่วง 50 วัน ได้ผลดังแสดงในตาราง 17 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงพบว่า บางชุดการทดลองมีอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วง 20 วันแรกสูงกว่าช่วง 30 วันหลัง แต่บางชุดการทดลองก็มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 20 วันแรก ต่ำกว่า 30 วันหลัง และเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ ชุดการทดลองที่ 7 รองลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 5 และรองลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งเท่ากัน รองไปเป็นชุดการทดลองที่ 8 6 2 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 2.8 2.3 1.9 1.9 1.6 1.1 1.0 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งไนโตรเจนต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของหญ้า ตามลำดับ

ตาราง 17 แสดงอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง

ช่วงเวลา	อัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (%N dry weight/kg dry weight)							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
20 วันแรก ของการปลูก	0.80	1.0	2.3	2.0	3.3	0.6	0.8	1.0
เฉลี่ย/วัน	0.04	0.05	0.12	0.10	0.17	0.03	0.04	0.05
30 วันหลัง ของการปลูก	0.2	1.0	1.4	1.8	1.2	1.5	4.7	2.1
เฉลี่ย/วัน	0.01	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05	0.16	0.07
50 วันทั้งหมด ของการปลูก	0.5	1.0	1.9	1.9	2.3	1.1	2.8	1.6
เฉลี่ย/วัน	0.01	0.02	0.04	0.04	0.05	0.02	0.06	0.03

3.2.2 ธาตุฟอสฟอรัส (as total P₂O₅)

3.2.2.1 ความเข้มข้นธาตุฟอสฟอรัส (as total P₂O₅) ของดินก่อนปลูกพืช

จากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชลงในดินแต่ละชุดการทดลอง ดังระบุในตาราง 4 พบความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P₂O₅) ในดินดังแสดงผลในตาราง 18 โดยที่ชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม ไม่ได้ใส่ธาตุอาหารใด ๆ มีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P₂O₅) เท่ากับ 0.038 % น้ำหนักแห้ง และชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 6 7 และ 8 มีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P₂O₅) เท่ากับ 2.216 0.065 0.243 0.038 0.363 0.174 และ 0.138 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตาราง 18 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนใช้
ปลูกพืช

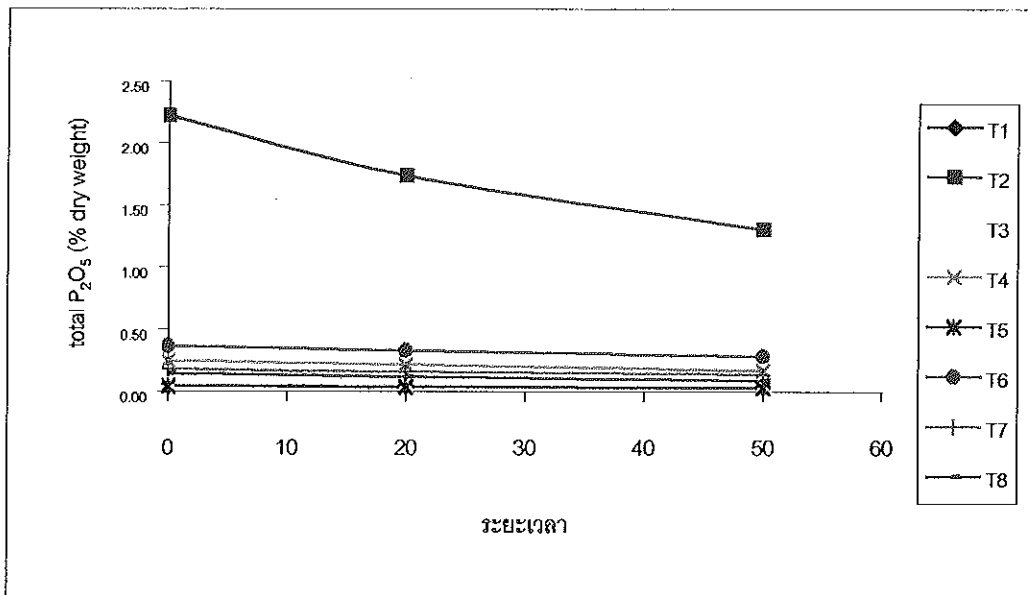
ตัวอย่างดิน	สารที่ให้ธาตุอาหารพืช	P_2O_5 (%dry weight)
T 1	ไม่ใส่ธาตุอาหาร (ตัว control)	0.038
T 2	กากขี้เถ้า	2.216
T 3	กากขี้เถ้าปรับค่า N และ K	0.065
T 4	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15	0.243
T 5	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-0-0	0.038
T 6	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 3 : 1 โดยน้ำหนัก	0.363
T 7	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก	0.174
T 8	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 3 โดยน้ำหนัก	0.138

หมายเหตุ : ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากผสมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชของแต่ละ
ชุดการทดลอง

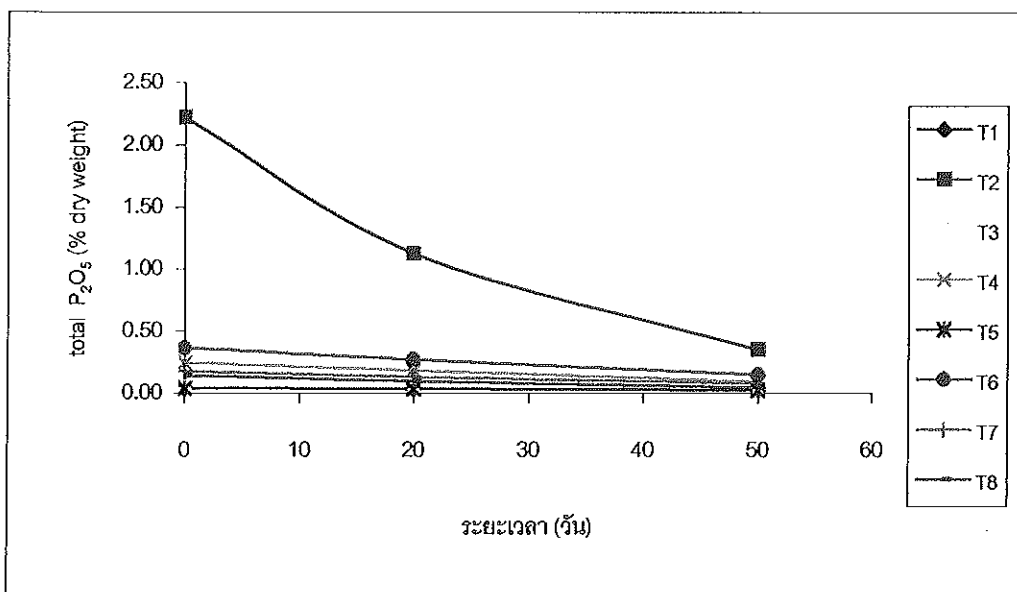
3.2.2.2 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดิน หลังจากปลูกหญ้าได้

20 และ 50 วัน

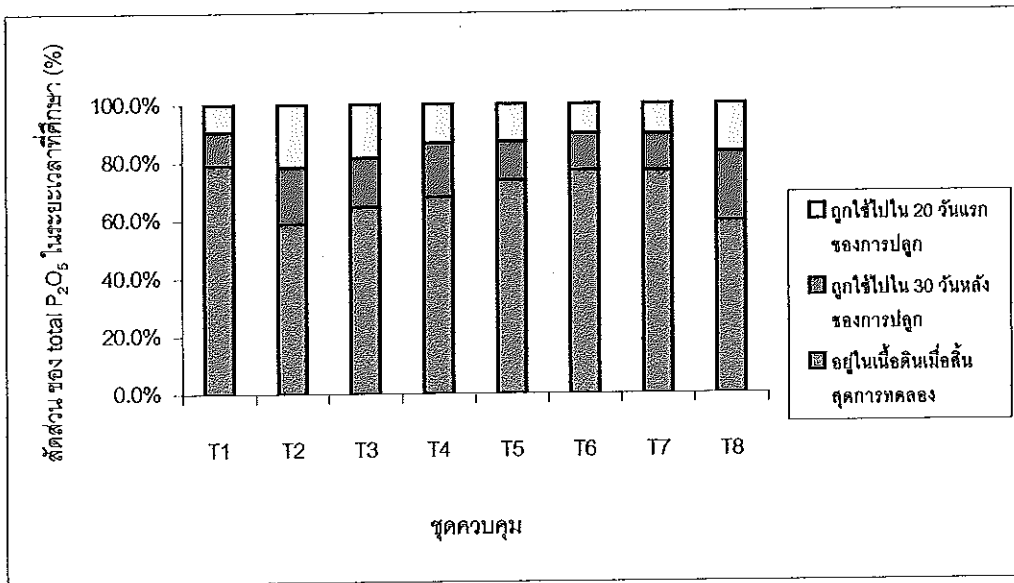
หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 และ 50 วัน แล้วนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์
พบความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดิน ดังแสดงในภาพประกอบ 33 และ 34 ซึ่งจะ
เห็นได้ว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินมีค่าลดลง และเมื่อคำนวณเป็น
เปอร์เซ็นต์การลดลงของแต่ละชุดการทดลองในแต่ละช่วงเวลา จะได้ผลดังแสดงในภาพประกอบ
35 และ 36 โดยในแต่ละชุดการทดลอง มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของฟอสฟอรัสในดินชุดควบคุม
น้อยกว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกหญ้า และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การ
ลดลงของฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกหญ้าที่เวลา 50 วัน พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของฟอสฟอรัสมี
ค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2 และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 8 4 3 6 7 5 และ 1
โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของฟอสฟอรัส เท่ากับ 84 71 65 61 60 56 50 และ 42 %
ตามลำดับ



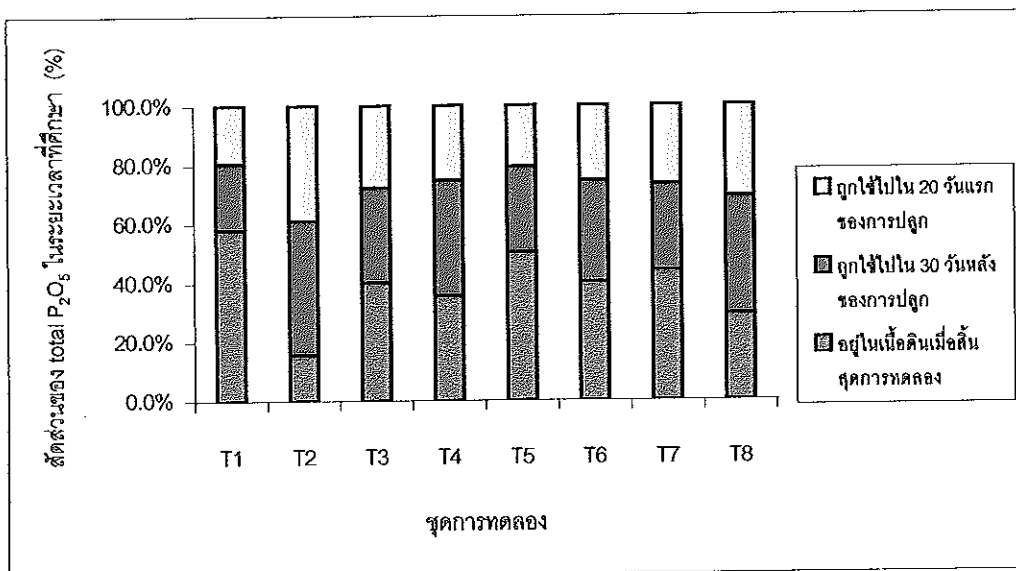
ภาพประกอบ 33 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดการทดลอง ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 34 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 20 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 35 แสดงสัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดทดลอง ที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ที่เหลืออยู่



ภาพประกอบ 36 แสดงสัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า ของแต่ละชุดทดลอง ที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วนร้อยละของฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ที่เหลืออยู่

3.2.2.3 การใช้ธาตุฟอสฟอรัสของต้นหญ้า (total P₂O₅ uptake)

จากผลการวิเคราะห์ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (as total P₂O₅) ในดิน ชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้า ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน แล้วนำมาคำนวณการใช้ธาตุฟอสฟอรัสของต้นหญ้า (total P₂O₅ uptake) โดยคำนวณจาก

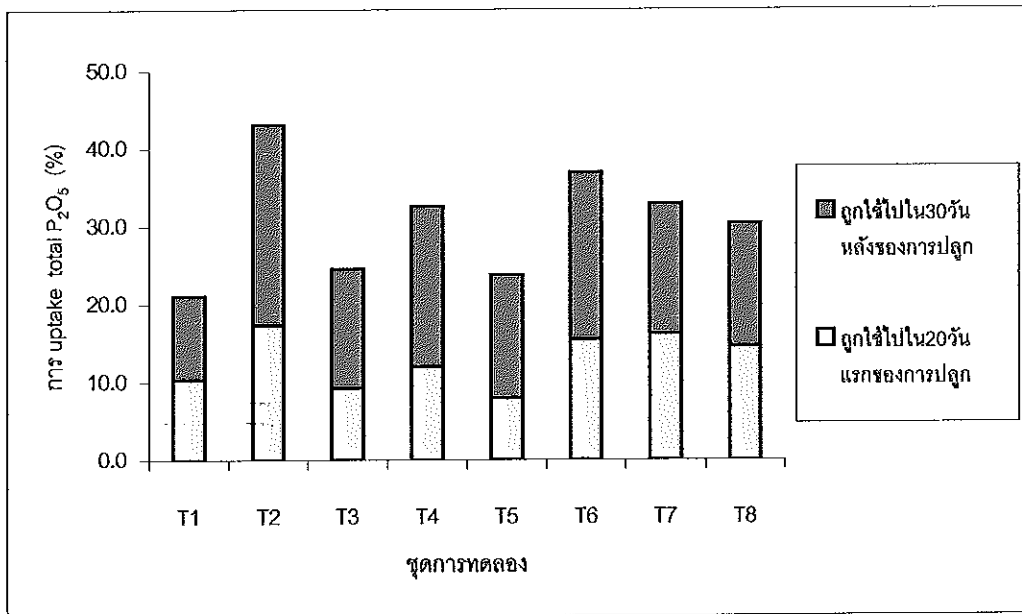
$$P_2O_5 \text{ uptake}(\%) = (\% \text{การลดลงของ } P_2O_5 \text{ ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า}) - (\% \text{การลดลงของ } P_2O_5 \text{ ในดินชุดควบคุม})$$

และคำนวณเป็นอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสของต้นหญ้าต่อวัน (P₂O₅ uptake by plant per day) โดยคำนวณจาก

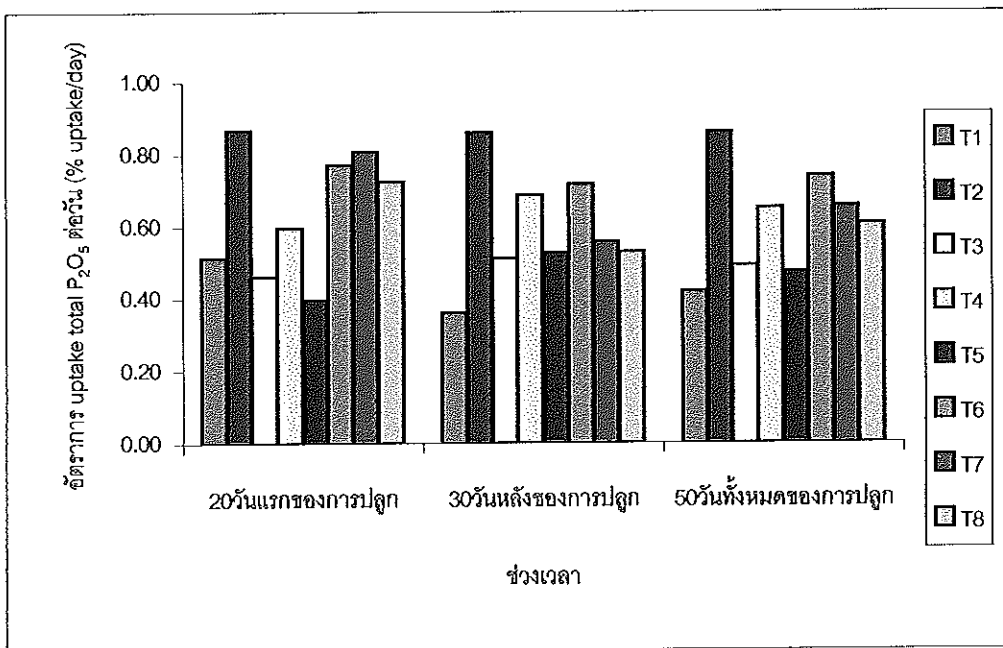
อัตราการใช้ธาตุ P₂O₅ ของต้นหญ้าต่อวัน (%P₂O₅ uptake/day)

$$= \frac{(\% \text{การลดลงของ } P_2O_5 \text{ ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า}) - (\% \text{การลดลงของ } P_2O_5 \text{ ในดินชุดควบคุม})}{\text{จำนวนวันที่ปลูก}}$$

จากการคำนวณ ได้ผลการใช้ธาตุฟอสฟอรัสของต้นหญ้า (total P₂O₅ uptake) และอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสของต้นหญ้าต่อวัน (total P₂O₅ uptake by plant per day) ดังแสดงในภาพประกอบ 37 และ 38 ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีการนำธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ (total P₂O₅ uptake) สูงสุด และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 6 7 4 8 3 5 และ 1 โดยมีค่าการนำธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ (total P₂O₅ uptake) เท่ากับ 43.1 36.9 32.8 32.5 30.3 24.6 23.7 และ 21.0 % ตามลำดับ



ภาพประกอบ 37 แสดงการ uptake P_2O_5 ของหญ้าในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก และ 30 วันหลังของการปลูก



ภาพประกอบ 38 แสดงอัตราการ uptake P_2O_5 ของหญ้าต่อวันในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

3.2.2.4 อัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น

อัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น หมายถึง ปริมาณการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินที่ทำให้หญ้ามามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นโดยประเมินจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหญ้า 1 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในชุดดินที่ใช้ปลูกหญ้าในแต่ละชุดการทดลองนั้น ได้หักลบจากปริมาณฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ในดินในชุดดินควบคุมของแต่ละชุดการทดลองนั้น ๆ แล้ว เพราะฉะนั้น อัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น คำนวณจาก

$$\frac{\text{ผลต่างของ total } P_2O_5 \text{ ในดินในช่วงเวลาที่ศึกษา ; } (\%P_2O_5 \text{ dry wt.})}{\text{ผลต่างของน้ำหนักแห้งของหญ้าในช่วงเวลาที่ศึกษา ; } (\text{kg dry wt.})}$$

จากการคำนวณอัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วง 20 วันแรก 30 วันหลัง และช่วง 50 วัน ได้ผลดังแสดงในตาราง 19 และเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ ชุดการทดลองที่ 2 และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 6 4 7 8 3 1 และ 5 โดยมีค่าอัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 33.1 7.1 5.5 5.0 2.9 1.2 1.1 0.8 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้งฟอสฟอรัส (as P_2O_5) ต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของหญ้า ตามลำดับ

ตาราง 19 แสดงอัตราส่วนของการใช้ total P₂O₅ ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง

ช่วงเวลา	อัตราส่วนของการใช้ total P ₂ O ₅ ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (%P ₂ O ₅ dry weight/kg dry weight)							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
20 วันแรก ของการปลูก	1.0	37.4	0.9	3.3	0.6	7.0	3.8	3.9
เฉลี่ย/วัน	0.05	1.87	0.05	0.17	0.03	0.35	0.19	0.20
30 วันหลัง ของการปลูก	1.2	28.7	1.4	7.7	1.0	7.1	6.2	1.9
เฉลี่ย/วัน	0.04	0.96	0.05	0.26	0.03	0.24	0.21	0.06
50 วันทั้งหมด ของการปลูก	1.1	33.1	1.2	5.5	0.8	7.1	5.0	2.9
เฉลี่ย/วัน	0.02	0.66	0.02	0.11	0.02	0.14	0.10	0.06

3.2.3 ธาตุโพแทสเซียม (as K₂O)

3.2.3.1 ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) ในดินก่อนปลูกพืช

จากการเดิมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชลงในดินแต่ละชุดการทดลอง ดังระบุในตาราง 4 พบความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) ในดินดังแสดงผลในตาราง 20 โดยที่ชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม ไม่ได้ใส่ธาตุอาหารใด ๆ มีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) เท่ากับ 0.908 % น้ำหนักแห้ง ชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งเดิมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชที่มี N เพียงอย่างเดียว มีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) เท่ากับ 0.968 % น้ำหนักแห้ง สำหรับชุดการทดลองที่ 2 3 4 6 7 และ 8 ซึ่งในสารที่ให้ธาตุอาหารพืชมีโพแทสเซียม (as K₂O) ประกอบอยู่ด้วย มีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) เท่ากับ 1.364 1.367 1.479 1.251 1.252 และ 1.136 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตาราง 20 แสดงความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนใช้ปลูกพืช

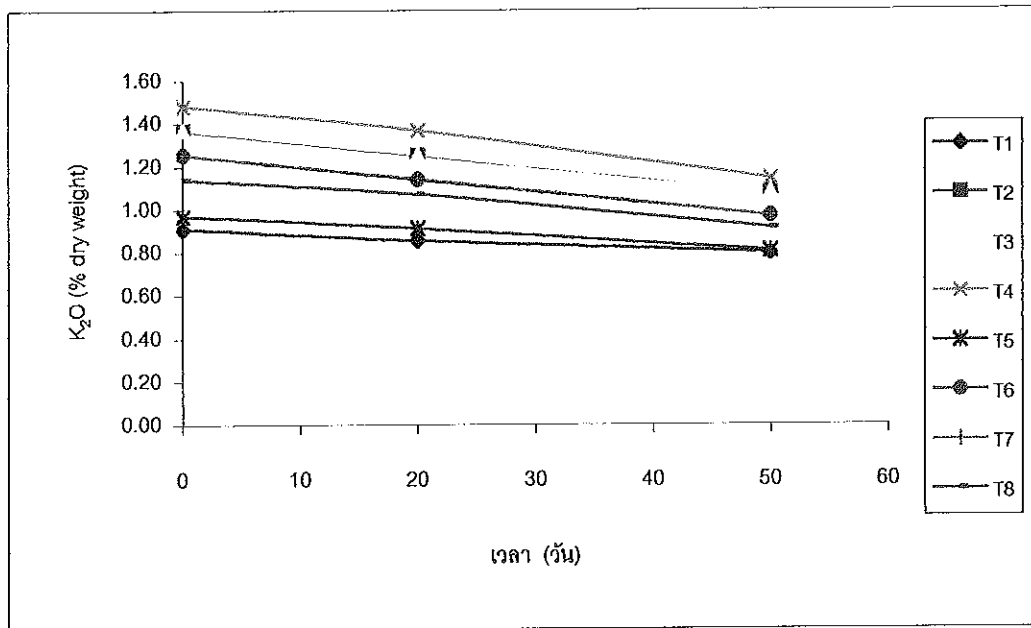
ตัวอย่างดิน	สารที่ให้ธาตุอาหารพืช	K_2O (%dry weight)
T 1	ไม่ใส่ธาตุอาหาร (ตัว control)	0.908
T 2	กากขี้เถ้า	1.364
T 3	กากขี้เถ้าปรับค่า N และ K	1.367
T 4	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15	1.479
T 5	ปุ๋ยเคมี สูตร 15-0-0	0.968
T 6	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 3 : 1 โดยน้ำหนัก	1.251
T 7	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก	1.252
T 8	กากขี้เถ้าผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตราส่วน 1 : 3 โดยน้ำหนัก	1.136

หมายเหตุ : ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากผสมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชของแต่ละชุดการทดลอง

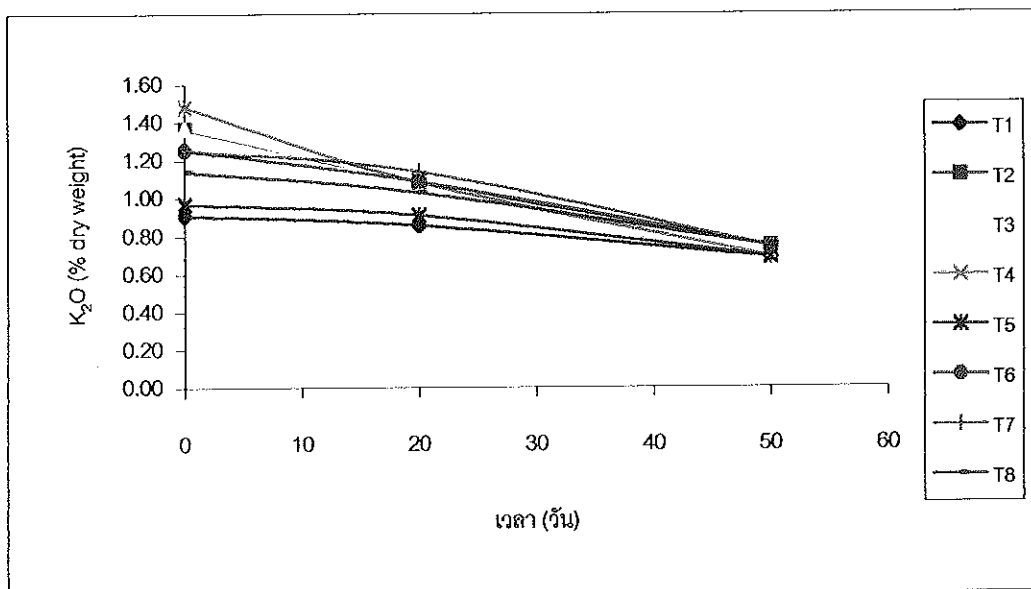
3.2.3.2 ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดิน หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 และ 50 วัน

หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 และ 50 วัน แล้วนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์พบความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดิน ดังแสดงในภาพประกอบ 39 และ 40 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K_2O) ของดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้ามักลดลงและเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของแต่ละชุดการทดลองในแต่ละช่วงเวลา จะได้ผลดังแสดงในภาพประกอบ 41 และ 42 โดยในแต่ละชุดการทดลอง มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินชุดควบคุม น้อยกว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า

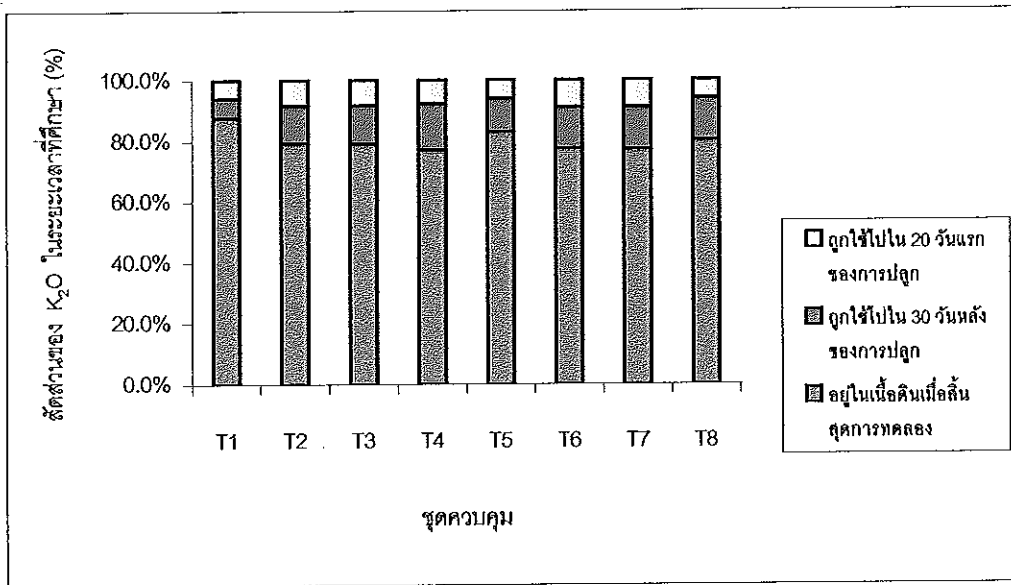
และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การลดลงของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า พบว่า เปอร์เซ็นต์การลดลงของโพแทสเซียม (as K_2O) มีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ 4 รองลงไปเป็น ชุดการทดลองที่ 3 2 และเท่ากันในชุดการทดลองที่ 6 และ 7 และถัดไปเป็นชุดการทดลองที่ 8 5 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของโพแทสเซียม (as K_2O) เท่ากับ 54 50 46 41 41 35 29 และ 25 % ตามลำดับ



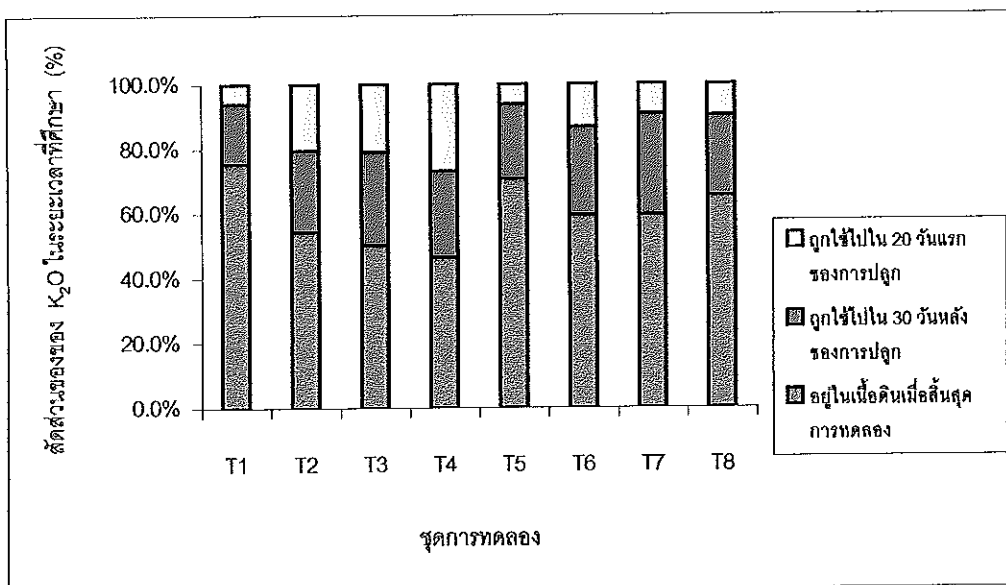
ภาพประกอบ 39 แสดงความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) ในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดการทดลอง ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 40 แสดงความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของ แต่ละชุดการทดลอง ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน



ภาพประกอบ 41 แสดงสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม ($as K_2O$) ในดินชุดควบคุมของแต่ละชุดการทดลอง ที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม ($as K_2O$) ที่เหลืออยู่



ภาพประกอบ 42 แสดงสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม ($as K_2O$) ในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง ที่ลดลง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และสัดส่วนร้อยละของโพแทสเซียม ($as K_2O$) ที่เหลืออยู่

3.2.3.3 การใช้ธาตุโพแทสเซียมของต้นหญ้า (K₂O uptake)

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K₂O) ในดินชุดควบคุม และดินที่ใช้ปลูกหญ้า ที่เวลา 0 20 และ 50 วัน แล้วนำมาคำนวณเป็นการใช้ธาตุโพแทสเซียมของต้นหญ้า (K₂O uptake) โดยคำนวณจาก

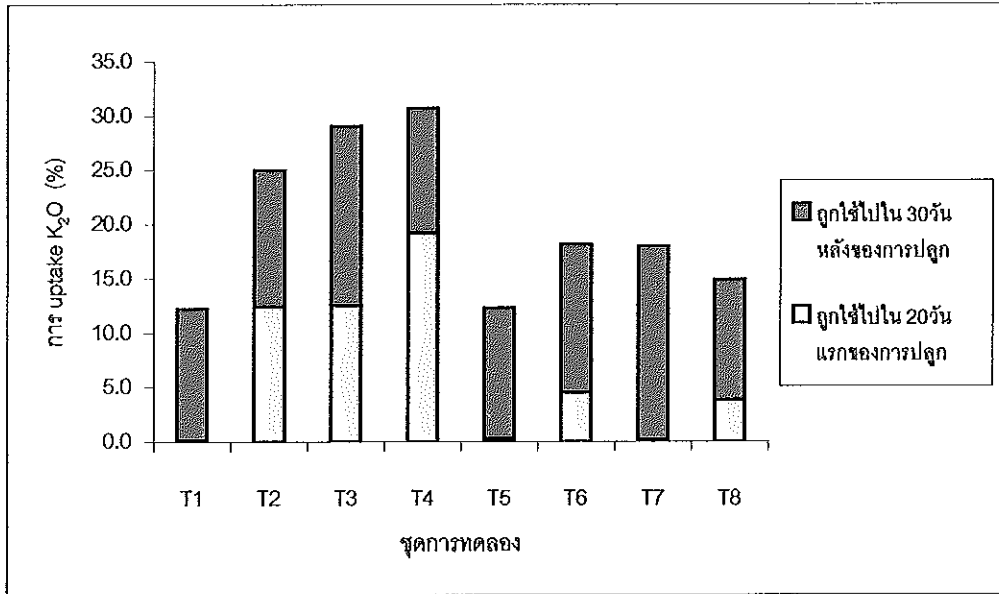
$$K_2O \text{ uptake (\%)} = (\% \text{การลดลงของ } K_2O \text{ ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า}) - (\% \text{การลดลงของ } K_2O \text{ ในดินชุดควบคุม})$$

และคำนวณเป็นอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมของต้นหญ้าต่อวัน (K₂O uptake by plant per day) โดยคำนวณจาก

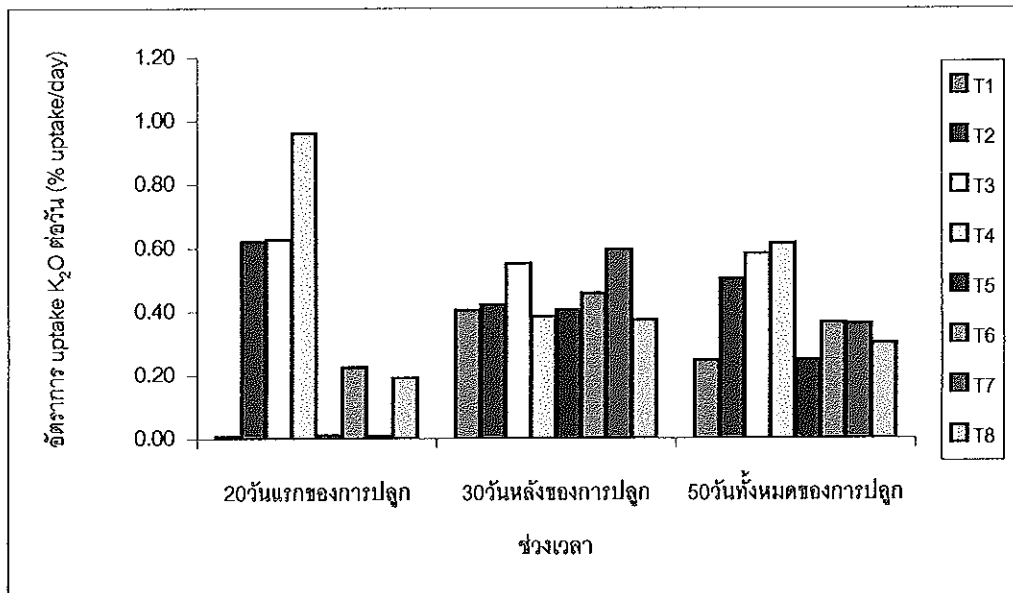
อัตราการใช้ธาตุ K₂O ของต้นหญ้าต่อวัน (% K₂O uptake/day)

$$= \frac{(\% \text{การลดลงของ } K_2O \text{ ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า}) - (\% \text{การลดลงของ } K_2O \text{ ในดินชุดควบคุม})}{\text{จำนวนวันที่ปลูก}}$$

จากการคำนวณ ได้ผลการใช้ธาตุโพแทสเซียมของต้นหญ้า (K₂O uptake) และอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมของต้นหญ้าต่อวัน (K₂O uptake by plant per day) ดังแสดงในภาพประกอบ 43 และ 44 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ 4 มีการนำธาตุโพแทสเซียมไปใช้ (K₂O uptake) สูงสุด และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 3 2 6 7 8 5 และ 1 โดยมีค่าการนำธาตุโพแทสเซียมไปใช้ (K₂O uptake) เท่ากับ 30.7 29.0 25.0 8.2 18.0 14.9 12.3 และ 12.2 % ตามลำดับ



ภาพประกอบ 43 แสดงการ uptake K_2O ของหญ้าในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก และ 30 วันหลังของการปลูก



ภาพประกอบ 44 แสดงอัตราการ uptake K_2O ของหญ้าต่อวัน ในแต่ละชุดการทดลอง ใน 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

3.2.3.4 อัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น

อัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น หมายถึง ปริมาณการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินที่ทำให้หญ้ามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นโดย ประเมินจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหญ้า 1 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ในชุดดินที่ใช้ปลูกหญ้าในแต่ละชุดการทดลองนั้น ได้หักลบจากปริมาณธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินในชุดดินควบคุมของแต่ละชุดการทดลองนั้น ๆ แล้ว เพราะฉะนั้น อัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น คำนวณจาก

ผลต่างของ K_2O ในดินในช่วงเวลาที่ศึกษา ; (% K_2O dry wt.)

ผลต่างของน้ำหนักแห้งของหญ้าในช่วงเวลาที่ศึกษา ; (kg dry wt.)

จากการคำนวณอัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วง 20 วันแรก 30 วันหลัง และช่วง 50 วัน ได้ผลดังแสดงในตาราง 21 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลง พบว่า บางชุดการทดลองมีอัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วง 20 วันแรกสูงกว่าช่วง 30 วันหลัง แต่บางชุดการทดลองก็มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วง 20 วันแรกต่ำกว่า 30 วันหลัง และเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ ชุดการทดลองที่ 4 รองลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 3 7 2 1 6 5 และ 8 ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 29.4 28.7 23.8 12.6 12.0 11.3 10.5 และ 9.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของหญ้า ตามลำดับ

ตาราง 21 แสดงอัตราส่วนของการใช้ K_2O ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง

ช่วงเวลา	อัตราส่วนของการใช้ K_2O ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (% K_2O dry weight/kg dry weight)							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
20 วันแรก ของการปลูก	0.3	16.5	26.6	32.6	0.4	7.0	0.3	8.4
เฉลี่ย/วัน	0.02	0.83	1.33	1.63	0.02	0.35	0.02	0.42
30 วันหลัง ของการปลูก	23.7	8.6	30.8	26.1	20.5	15.6	47.3	11.0
เฉลี่ย/วัน	0.79	0.29	1.03	0.87	0.68	0.52	1.58	0.37
50วันทั้งหมด ของการปลูก	12.0	12.6	28.7	29.4	10.5	11.3	23.8	9.7
เฉลี่ย/วัน	0.24	0.25	0.57	0.59	0.21	0.23	0.48	0.19

3.2.4 ธาตุแมกนีเซียม

จากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชลงในดิน ดังระบุในตาราง 4 พบความเข้มข้นของแมกนีเซียมในดินก่อนปลูกหญ้าและหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน ดังแสดงผลในตาราง 22 ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ดินก่อนปลูกหญ้าในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมไม่ได้ใส่ธาตุอาหารใด ๆ มีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียม เท่ากับ 0.136 % น้ำหนักแห้ง ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเติมกากขี้เถ้าและชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเติมกากขี้เถ้าปรับค่า N และ K มีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียม เท่ากับ 3.868 % น้ำหนักแห้ง และ 0.136 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-0-0 มีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมเท่ากับ 0.545 % น้ำหนักแห้ง และ 0.237 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 6 7 8 ซึ่งเติมกากขี้เถ้าผสมปุ๋ยเคมี 15-0-0 ด้วยอัตราส่วน 3:1 1:1 และ 1:3 มีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมเท่ากับ 2.734 0.547 และ 0.273 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

สำหรับตัวอย่างดินที่ใช้ปลูกหญ้าซึ่งเก็บหลังจากปลูกได้ 20 วันนั้น พบว่ามีความเข้มข้นของแมกนีเซียมในชุดการทดลองที่ 2 และ 6 เป็น 2.390 % น้ำหนักแห้ง และ 1.696 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และในตัวอย่างดินหลังจากปลูกได้ 50 วัน ตรวจพบแมกนีเซียมเฉพาะในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมลดลงเหลือ 0.136 % น้ำหนักแห้ง

ตาราง 22 แสดงค่าความเข้มข้นของ Mg ในดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน

ตัวอย่างดิน	Mg (% dry weight)		
	0 วัน	20 วัน	50 วัน
C 1	0.136	< 0.065	< 0.065
C 2	3.868	3.431	2.115
C 3	0.136	< 0.065	< 0.065
C 4	0.545	< 0.065	< 0.065
C 5	0.273	< 0.065	< 0.065
C 6	2.734	1.882	0.915
C 7	0.547	< 0.065	< 0.065
C 8	0.273	< 0.065	< 0.065
T 1	0.136	< 0.065	< 0.065
T 2	3.868	2.390	0.136
T 3	0.136	< 0.065	< 0.065
T 4	0.545	< 0.065	< 0.065
T 5	0.273	< 0.065	< 0.065
T 6	2.734	1.696	0.130
T 7	0.547	< 0.065	< 0.065
T 8	0.273	< 0.065	< 0.065

- หมายเหตุ : - ตัวอย่างดินชุด C1 - C 8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของแต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกพืช
- ตัวอย่างดินชุด T 1 - T 8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกพืชของ แต่ละชุดการทดลอง
- < 0.065 %dry weight เป็นค่าซึ่งได้จากค่าต่ำสุดของการตรวจวัดได้ (Detection limit)

3.2.5 ธาตุสังกะสี

จากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชลงในดิน ดังระบุในตาราง 4 พบความเข้มข้นของสังกะสีในดินก่อนปลูกหญ้า และหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน ดังแสดงผลในตาราง 23

ตาราง 23 แสดงค่าความเข้มข้นของ Zn ในดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน

ตัวอย่างดิน	Zn (mg/kg)		
	0 วัน	20 วัน	50 วัน
C 1	1.67	1.64	1.50
C 2	52.10	36.98	31.03
C 3	3.38	2.95	2.50
C 4	2.38	1.79	1.23
C 5	1.79	1.68	1.34
C 6	17.58	13.12	11.64
C 7	10.80	10.46	9.60
C 8	5.00	4.94	3.20
T 1	1.67	1.59	0.91
T 2	52.10	31.98	24.28
T 3	3.38	2.31	1.74
T 4	2.38	1.72	0.94
T 5	1.79	1.67	1.26
T 6	17.58	8.57	5.21
T 7	10.80	9.44	7.98
T 8	5.00	3.80	1.60

หมายเหตุ :- ตัวอย่างดินชุด C1 – C8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของแต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกพืช

- ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกพืชของแต่ละชุดการทดลอง

จากผลการทดลองในตาราง 23 พบว่า ดินก่อนปลูกหญ้าในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม ไม่ได้ใส่ธาตุอาหารใด ๆ มีค่าความเข้มข้นของสังกะสี เท่ากับ 1.67 mg/kg ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเติมกากขี้เียง และ ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเติมกากขี้เียงปรับค่า N และ K มีค่าความเข้มข้นของสังกะสี เท่ากับ 52.10 mg/kg และ 3.38 mg/kg ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 และชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 0 - 0 มีค่าความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ 2.38 mg/kg และ 1.79 mg/kg ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 6 7 8 ซึ่งเติมกากขี้เียงผสมปุ๋ยเคมี 15 - 0 - 0 ด้วยอัตราส่วน 3:1 1:1 และ 1:3 มีค่าความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ 17.58 10.80 และ 5.00 mg/kg ตามลำดับ

สำหรับตัวอย่างดินที่ใช้ปลูกหญ้าซึ่งเก็บหลังจากปลูกได้ 20 วันนั้น พบว่า มีความเข้มข้นของสังกะสีในชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 6 7 และ 8 เป็น 1.59 31.98 2.31 1.72 1.67 8.57 9.44 และ 3.80 mg/kg ตามลำดับ และลดลงเป็น 0.91 24.28 1.74 0.94 1.26 5.21 7.98 และ 1.60 mg/kg ตามลำดับที่เวลา 50 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสังกะสีที่เวลา 50 วันหลังจากการปลูกจะเห็นได้ว่า ในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งใช้กากขี้เียงเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืชยังคงมีสังกะสีตกค้างอยู่ในดินค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ

3.2.6 ค่า pH

จากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชลงในดิน ดังระบุในตาราง 4 พบค่า pH ของดินก่อนปลูกหญ้าและหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน ดังแสดงผลในตาราง 24 ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 40 และ 50 วัน ค่า pH ของดินในแต่ละชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลง คือ มีค่า pH ลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินที่ใช้ปลูกหญ้ามักแนวโน้มในการลดลงของค่า pH มากกว่าดินชุดควบคุม โดยค่า pH ของดินก่อนใช้ปลูกหญ้าซึ่งได้ผสมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชแล้ว ในชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 6 7 และ 8 มีค่า pH เท่ากับ 7.67 7.96 6.87 6.80 6.62 7.46 7.49 และ 7.16 ตามลำดับ และลดลงเป็น 6.10 6.69 4.98 5.85 4.91 5.92 5.46 และ 5.13 ตามลำดับหลังจากปลูกได้ 50 วัน

ตาราง 24 แสดงค่า pH ของดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน

ตัวอย่าง	ค่า pH			
	0 วัน	20 วัน	40 วัน	50 วัน
C 1	7.67	6.43	6.31	6.34
C 2	7.96	7.83	7.35	7.02
C 3	6.87	6.50	5.96	5.65
C 4	6.78	6.61	6.33	6.00
C 5	6.62	5.66	5.64	5.30
C 6	7.46	7.47	6.58	6.29
C 7	7.49	6.77	6.13	5.52
C 8	7.16	6.46	5.61	5.38
T 1	7.67	6.94	6.50	6.10
T 2	7.96	7.75	7.02	6.69
T 3	6.87	5.96	5.89	4.98
T 4	6.80	6.61	6.14	5.85
T 5	6.62	5.44	5.35	4.91
T 6	7.46	7.43	6.38	5.92
T 7	7.49	7.01	6.14	5.46
T 8	7.16	6.31	5.40	5.13

หมายเหตุ :- ตัวอย่างดินชุด C1 – C8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของแต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกพืช

- ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกพืชของแต่ละชุดการทดลอง

3.2.7 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC)

จากการวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินซึ่งได้เติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชดังระบุในตาราง 4 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินก่อนปลูกหญ้าและหลังจากปลูกหญ้าได้ 20 40 และ 50 วัน ได้ผลดังแสดงในตาราง 25

ตาราง 25 แสดงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินก่อนปลูกและหลังจากปลูก 20 40 และ 50 วัน

ตัวอย่าง	Electrical Conductivity (mS/cm)			
	0 วัน	20 วัน	40 วัน	50 วัน
C 1	0.062	0.058	0.039	0.032
C 2	0.757	0.564	0.531	0.386
C 3	2.550	1.220	0.707	0.266
C 4	2.170	1.044	0.980	0.264
C 5	3.340	2.510	0.366	0.287
C 6	1.336	1.074	0.728	0.434
C 7	1.330	1.001	1.050	0.246
C 8	2.240	1.494	1.190	0.289
T 1	0.062	0.046	0.038	0.028
T 2	0.757	0.531	0.481	0.310
T 3	2.550	0.875	0.386	0.238
T 4	2.170	0.371	0.483	0.158
T 5	3.340	0.722	0.332	0.145
T 6	1.336	1.040	0.695	0.362
T 7	1.330	0.872	0.571	0.245
T 8	2.240	1.231	0.615	0.279

หมายเหตุ :- ตัวอย่างดินชุด C1 - C8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของแต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกพืช

- ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกพืชของแต่ละชุดการทดลอง

จากตาราง 25 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกันกับ ค่า pH คือหลังจากปลูกหญ้าได้ 20 40 และ 50 วัน ค่าการนำไฟฟ้าของดินในแต่ละชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะเห็นได้ว่าดินที่ใช้ปลูกหญ้ามี่แนวโน้มในการลดลงของค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าดินชุดควบคุม โดยค่าการนำไฟฟ้าของดินก่อนใช้ปลูกหญ้าซึ่งได้ผลสมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชแล้ว ในชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 6 7 และ 8 เท่ากับ 0.062 0.757 2.550 2.170 3.340 1.336 1.330 และ 2.240 mS/cm ตามลำดับ และลดลงเป็น 0.028 0.310 0.238 0.158 0.145 0.362 0.245 และ 0.279 mS/cm ตามลำดับ หลังจากปลูกได้ 50 วัน

3.2.8 ธาตุโซเดียม (Na)

จากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชลงในดิน ดังระบุในตาราง 4 พบความเข้มข้นของโซเดียมในดิน ก่อนปลูกหญ้า และหลังจากปลูกหญ้าได้ 50 วัน ได้ผลดังแสดงในตาราง 26

ตาราง 26 แสดงค่าความเข้มข้นของ Na ในดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกได้ 50 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้นของ Na (mg/Kg)	
	0 วัน	50 วัน
T1	10.70	13.65
T2	11.57	18.70
T3	7.70	25.65
T4	53.67	25.01
T5	13.95	13.23
T6	12.83	10.69
T7	10.64	12.19
T8	10.56	11.37

หมายเหตุ : ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นชุดดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง

บทที่ 4

บทวิจารณ์

1. การศึกษาปริมาณการเกิดและลักษณะของกากซีเมนต์

1.1 ปริมาณการเกิดกากซีเมนต์

จากการศึกษาเพื่อสำรวจและประเมินปริมาณกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้นที่ดำเนินการศึกษา จะเห็นได้ว่า โรงงานมีกากซีเมนต์เกิดจาก 2 จุดใหญ่ ๆ คือ จากถังพักน้ำยางและจากถังปั่นน้ำยาง โดยพบว่า ปริมาณกากซีเมนต์จะเกิดในถังพักยางมากกว่าปริมาณกากซีเมนต์ในถังปั่นน้ำยาง และจากการที่แต่ละโรงงานมีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกัน จึงทำให้มีอัตราการเกิดกากซีเมนต์จากการผลิตน้ำยางข้นที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพบว่าอัตราการเกิดของเสียในรูปของกากซีเมนต์โดยรวมเฉลี่ย เท่ากับ 10.0 กก./ตันน้ำยางสด หรือคิดเป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเท่ากับการศึกษาของวันชัย (2540) ซึ่งได้รายงานว่าการผลิตน้ำยางข้นจะเกิดกากซีเมนต์ขึ้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยางสด

สำหรับการจัดการกับกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นนั้น ทางโรงงานมักจะทิ้งกองไว้ หรือเอาไปถมที่ หรือทิ้งรวมกับขยะ แต่บางโรงงานก็กำจัดโดยการเผาทิ้ง

1.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีเมนต์

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีเมนต์ที่ได้จากถังพักน้ำยางและถังปั่นน้ำยางจากการเก็บตัวอย่างทั้งสองครั้ง จะเห็นได้ว่า กากซีเมนต์ของแต่ละโรงงานมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกัน แต่กากซีเมนต์สดและกากซีเมนต์แห้งนั้น มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่างกัน โดยกากซีเมนต์ที่อบแห้งนั้นจะมีความเข้มข้นของไนโตรเจนน้อยกว่ากากซีเมนต์สด ทั้งนี้เพราะว่า ตัวอย่างกากซีเมนต์สดมีค่า pH ค่อนข้างสูง เมื่อนำไปอบแห้ง อาจมีไนโตรเจนบางส่วนที่สูญหายไปในขณะที่ทำการอบแห้ง จึงทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในกากซีเมนต์ที่อบแห้งลดลง ซึ่ง ค่า pH ของตัวอย่างกากซีเมนต์ที่อบแห้งลดลงเช่นกัน

สำหรับปริมาณ P_2O_5 และ Mg ในกากซีเมนต์นั้น จะเห็นได้ว่ามีความเข้มข้นสูงขึ้นในการเก็บตัวอย่างครั้งหลัง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนนั้น น้ำยางสดซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำยางข้นมีปริมาณแมกนีเซียมสูงขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2531) ดังนั้นในกระบวนการผลิต จึงต้องใช้ DAP (di-ammonium phosphate) มากขึ้น เพื่อให้มีปฏิกิริยา

การเกิด magnesium ammonium phosphate ซึ่งทำให้แมกนีเซียมตกตะกอนลงสู่ก้นถัง ขณะที่ใช้ขี้เถ้าคั้น ส่งผลให้กากขี้เถ้ามี P_2O_5 และ Mg มากขึ้น โดยเฉพาะกากขี้เถ้าที่ได้จากถังพักน้ำยาง

สำหรับการนำกากขี้เถ้าไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบ โดยการวิเคราะห์หาชนิดของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในกากขี้เถ้า โดยการใช้เครื่องมือ X-Ray Fluorescence (XRF) จะเห็นได้ว่า กากขี้เถ้าที่ได้จากถังพักน้ำยางและถังปั่นน้ำยางนั้น นอกจากจะประกอบไปด้วย N, P, K, Mg และ Zn แล้ว ยังมีธาตุ Ca, Al, Si, Ti, Rb Mn, Fe, Ni, และ Cu อีกด้วย ซึ่งบรรดาธาตุเหล่านี้บางธาตุก็เป็นธาตุอาหารรอง (secondary nutrient elements) ที่พืชต้องการ และบางธาตุก็เป็นจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารเสริม (micro nutrients) ที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ Mn, Fe และ Cu และบางธาตุก็เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นเฉพาะพืช เช่น Al ซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นของเฟิร์นบางชนิด และ Si ซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นของ *Equisetum sp.*, Diatoms (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541) แต่ก็ยังมีบางธาตุที่เป็นโลหะหนักที่จะต้องให้ความสนใจ ซึ่ง ได้แก่ Ti, Rb และ Ni

2. การศึกษาความสามารถในการละลายของกากขี้เถ้า

ในการศึกษาความสามารถในการละลายของกากขี้เถ้าแห้ง โดยการนำกากขี้เถ้าอบแห้งมาสกัดกับ de-ionized water ในอัตราส่วนต่าง ๆ กันนั้น จะเห็นได้ว่า กากขี้เถ้ามีสภาพไม่คงตัว มีความสามารถในการละลายมากขึ้นเมื่อใช้ตัวทำละลายซึ่งเป็นน้ำมากขึ้น และเมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายออกของธาตุแต่ละประเภทในส่วนของกากขี้เถ้าที่ละลายได้นั้นปรากฏว่า K ละลายออกมามากที่สุด และลดน้อยลงใน N P Mg และ Zn ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากขี้เถ้าเมื่อละลายน้ำ น้ำจะเป็นตัวชะธาตุโพแทสเซียมให้ละลายออกมาในปริมาณมากกว่าธาตุตัวอื่น

สำหรับค่า BOD_5 และ COD ของส่วนของเหลวที่สกัดจากกากขี้เถ้าแห้งนั้น ถ้าพิจารณาสัดส่วนของ BOD_5 ต่อ COD จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ BOD_5 ต่อ COD มีค่ามากกว่า 0.5 นั้นแสดงให้เห็นว่ากากขี้เถ้าเมื่อละลายแล้วจะทำให้ น้ำที่สกัดนั้นมีคุณสมบัติที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้

จากคุณสมบัติของกากขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่ศึกษาได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกากของเสียชนิดอื่น ๆ เช่น กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร (ชุมชนห้วยขวาง) พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียมี N P_2O_5 และ K_2O เท่ากับ 2.87 % 167 ppm และ 690 ppm ตามลำดับ (อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ, 2536) และผลการศึกษาก็ได้รายงานว่าสามารถนำกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

3. การนำกากซีเป้งมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย

3.1 การเจริญเติบโตของต้นหญ้า

การเจริญเติบโตของต้นหญ้าหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วันนั้น จะเห็นได้ว่า ต้นหญ้าในกระบะของชุดการทดลองที่ 2 มีการเจริญเติบโตโดยการแพร่กระจายและมีความสูงมากกว่าต้นหญ้าในกระบะของชุดการทดลองชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่น ๆ และหลังจากปลูกได้ 40 วัน และ 50 วัน ต้นหญ้าในกระบะของชุดการทดลองที่ 2 6 7 และ 8 มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน และลดน้อยลงในชุดการทดลองที่ 4 3 5 และ 1 ตามลำดับ สำหรับการประเมินการเจริญเติบโตของต้นหญ้าโดยการพิจารณาในแง่ของน้ำหนักนั้น เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้า ก็พบว่ามีความโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยเมื่อเวลาผ่านไป 20 40 และ 50 วัน ในแต่ละชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้งสูงขึ้น นั่นคือเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ปลูก โดยเมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้งมีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2 และลดลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 6 8 4 3 7 5 และ 1 ตามลำดับ

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า ในชุดการทดลองที่มีการเติมกากซีเป้งเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช ซึ่งได้แก่ ชุดการทดลองที่ 2 คือ เติมหากซีเป้งเพียงอย่างเดียว ชุดการทดลองที่ 6 ซึ่งเติมหากซีเป้ง : ปุ๋ยเคมีสูตร 15-0-0 สัดส่วน 3 : 1 ชุดการทดลองที่ 7 ซึ่งเติมหากซีเป้ง : ปุ๋ยเคมีสูตร 15-0-0 สัดส่วน 1 : 1 และชุดการทดลองที่ 8 ซึ่งเติมหากซีเป้ง : ปุ๋ยเคมีสูตร 15-0-0 สัดส่วน 1 : 3 นั้น ต้นหญ้ามีการเจริญเติบโตได้ดีทั้งความสูงและน้ำหนัก ซึ่งบางชุดการทดลองก็เจริญเติบโตได้ดีกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 เช่น ชุดการทดลองที่ 2 6 และ 8 และบางชุดการทดลองก็มีการเจริญเติบโตได้ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 เช่น ชุดการทดลองที่ 7 นั้นแสดงให้เห็นว่า กากซีเป้งมีแนวโน้มที่มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาทำเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืชหรือปุ๋ยได้ เพราะวากากซีเป้งนอกจากจะประกอบด้วยธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืชซึ่ง ได้แก่ N, P และ K แล้ว กากซีเป้งยังประกอบไปด้วยธาตุอาหารรอง ซึ่ง ได้แก่ Mg และ Ca นอกจากนั้นกากซีเป้งยังประกอบด้วยจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารเสริมบางตัวสำหรับพืชอีกด้วย ได้แก่ Zn, Fe, Mn, และ Cu,

3.2 การใช้ธาตุอาหารและอัตราส่วนการใช้ธาตุอาหารต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น

จากการทดสอบศักยภาพของกากที่แบ่งในการใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ยโดยทดสอบกับการปลูกหญ้านั้น ในแต่ละชุดการทดลอง มีการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชโดยมีธาตุไนโตรเจนในอัตราเดียวกัน แต่ธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมแตกต่างกันตามชนิดของสารที่ให้ธาตุอาหารพืชหรือปุ๋ยนั้น เมื่อพิจารณาธาตุอาหารหลักที่พืชนำไปใช้ คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยประเมินจากการใช้ธาตุอาหารและอัตราส่วนการใช้ธาตุอาหารต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตาราง 27

ตาราง 27 แสดงการใช้ธาตุอาหารของต้นหญ้า และอัตราส่วนการใช้ธาตุอาหารต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น หลังจากปลูกได้ 50 วัน

การใช้ธาตุอาหารของต้นหญ้า และอัตราส่วนการใช้ธาตุอาหาร ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น	ชุดการทดลอง							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
N uptake (%)	13.3	24.2	20.8	22.4	17.5	20.7	21.2	22.5
อัตราส่วนการใช้ N ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (% N dry wt.)/(kg dry wt.)	0.5	1.0	1.9	1.9	2.3	1.1	2.8	1.6
P ₂ O ₅ uptake (%)	21.0	43.1	24.6	32.5	23.7	36.9	32.8	30.3
อัตราส่วนการใช้ P ₂ O ₅ ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (% P ₂ O ₅ dry wt.)/(kg dry wt.)	1.1	33.1	1.2	5.5	0.8	7.1	5.0	2.9
K ₂ O uptake (%)	12.2	25.0	29.0	30.7	12.3	18.2	18.0	14.9
อัตราส่วนการใช้ K ₂ O ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (% K ₂ O dry wt.)/(kg dry wt.)	12.0	12.6	28.7	29.4	10.5	11.3	23.8	9.7

3.2.1 ธาตุไนโตรเจน

เมื่อพิจารณาการใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นหญ้า (N uptake) หลังจากปลูกได้ 50 วัน จะเห็นได้ว่า ต้นหญ้าในชุดการทดลองที่ 2 มีการใช้ธาตุไนโตรเจน (N uptake) สูงสุด และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 8 4 7 3 6 5 และ 1 ตามลำดับ และจากการคำนวณอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ ชุดการทดลองที่ 7 รองลงไปเป็น ชุดการทดลองที่ 5 และ 4 รองลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 3 และ 8 ซึ่งเท่ากัน รองไปเป็นชุดการทดลองที่ 6 2 และ 1 ตามลำดับ

3.2.2 ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5)

เมื่อพิจารณาการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (total P_2O_5 uptake) โดยรวมที่เวลา 50 วัน หลังจากการปลูก จะเห็นได้ว่า ค่าการนำธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ (total P_2O_5 uptake) ของต้นหญ้ามีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2 และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 6 7 4 8 3 5 และ 1 เมื่อคำนวณเป็นอัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 6 4 7 8 3 1 และ 5

3.2.3 ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O)

สำหรับการใช้ธาตุโพแทสเซียมของต้นหญ้า (K_2O uptake) นั้น เมื่อพิจารณาโดยรวมที่ 50 วัน จะเห็นได้ว่า ชุดการทดลองที่ 4 มีการนำธาตุโพแทสเซียมไปใช้ (K_2O uptake) สูงสุด และลดลงตามลำดับในชุดการทดลองที่ 3 2 6 7 8 5 และ 1 ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นอัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่า ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ ชุดการทดลองที่ 4 รองลงไปเป็นชุดการทดลองที่ 3 7 1 6 2 5 และ 8 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาโดยรวมถึงการใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และโพแทสเซียม (as K_2O) ของหญ้าและอัตราส่วนของการใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และโพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาว่าธาตุอาหารใดที่ต้นหญ้านำไปใช้มากที่สุด ก็จะทำให้เห็นว่าเกือบทุกชุดการทดลองที่ต้นหญ้ามียุทธการ P_2O_5 uptake (%) มาก

กว่าธาตุอื่น ยกเว้น ในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมี K_2O uptake (%) มากกว่า แต่เมื่อพิจารณาว่าธาตุอาหารใดที่ต้นหญ้านำไปใช้แล้วเจริญเติบโตมากที่สุดในการทดลองครั้งนี้ ก็จะได้เห็นว่า เกือบทุกชุดการทดลองมีอัตราส่วนการใช้โพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นมากกว่าธาตุชนิดอื่น ยกเว้นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนการใช้ฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นมากกว่า และเกือบทุกชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนการใช้โพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น มากกว่าอัตราส่วนการใช้ฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น และมากกว่า อัตราส่วนการใช้ไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นในชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งมีอัตราส่วนการใช้ไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น มากกว่าอัตราส่วนการใช้ฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น

จากการที่ได้ผลการทดลองเช่นนี้ เนื่องจากในดินที่ใช้สำหรับการทดลองปลูกหญ้าครั้งนี้มีปริมาณธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) สูงกว่าธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และไนโตรเจนอยู่แล้ว โดยความเข้มข้นของโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินในแต่ละชุดการทดลองนั้น มีค่าสูงสุดเกือบทุกชุดการทดลองเมื่อเทียบกับธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และธาตุไนโตรเจน (ดังข้อมูลแสดงในตาราง 28) เพราะฉะนั้นในการทดลองครั้งนี้ทำให้ต้นหญ้ามีโอกาสใช้ธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ได้สูงกว่าธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และธาตุไนโตรเจน จึงทำให้ต้นหญ้ามีอัตราส่วนการใช้โพแทสเซียม (as K_2O) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น มากกว่าธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และธาตุไนโตรเจน ยกเว้นในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งใช้กากขี้แบ่งเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงมาก จึงทำให้ชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนการใช้ฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นมากกว่าธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) และธาตุไนโตรเจน สำหรับธาตุไนโตรเจนนั้น มีความเข้มข้นต่ำสุดในดินเกือบทุกชุดการทดลอง ยกเว้นในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งใช้กากขี้แบ่งที่ได้ปรับค่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม (as K_2O) เป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช และชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งใช้ปุ๋ยเคมี 15-0-0 เป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช มีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในดินสูงกว่าธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) จึงทำให้มีอัตราส่วนการใช้ไนโตรเจนต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราส่วนการใช้ฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) ต่อน้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น

ตาราง 28 แสดงปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกหนุ่ยได้ 50 วัน

ชุดการทดลอง	N (% dry weight)		P ₂ O ₅ (% dry weight)		K ₂ O (% dry weight)	
	0 วัน	50 วัน	0 วัน	50 วัน	0 วัน	50 วัน
T1	0.026	0.023	0.038	0.022	0.908	0.684
T2	0.086	0.036	2.216	0.345	1.364	0.739
T3	0.072	0.032	0.065	0.026	1.367	0.684
T4	0.074	0.029	0.243	0.086	1.479	0.684
T5	0.075	0.033	0.038	0.019	0.968	0.684
T6	0.073	0.041	0.363	0.145	1.251	0.740
T7	0.081	0.039	0.174	0.076	1.252	0.741
T8	0.077	0.033	0.138	0.040	1.136	0.740

โดยปกติ บรรดาธาตุอาหารหลักทั้งสาม หนุ่ยจะต้องการธาตุไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาคือ ธาตุโพแทสเซียม และธาตุฟอสฟอรัส ตามลำดับ (ลิน พันธุ์พินิจ, 2538) จากการทดลองในครั้งนี้ ไม่ได้เติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชในอัตราที่เท่ากันทุกธาตุในทุกชุดการทดลอง มีเฉพาะธาตุไนโตรเจนเท่านั้นที่เติมในอัตราที่เท่ากันในทุกชุดการทดลอง และดินที่นำมาใช้สำหรับการทดลองปลูกหนุ่ยนั้น มีปริมาณธาตุโพแทสเซียม (as K₂O) สูงกว่าธาตุฟอสฟอรัส (as total P₂O₅) และไนโตรเจน เมื่อศึกษาถึงการใช้ธาตุอาหาร ผลที่ได้ปรากฏว่า เกือบทุกชุดการทดลองที่ต้นหนุ่ยมี P₂O₅ uptake (%) มากกว่าธาตุอื่น ยกเว้น ในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมี K₂O uptake (%) มากกว่า และเกือบทุกชุดการทดลองมีอัตราส่วนการใช้โพแทสเซียม (as K₂O) ต่อน้ำหนักหนุ่ยที่เพิ่มขึ้นมากกว่าธาตุชนิดอื่น ยกเว้นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนการใช้ฟอสฟอรัส (as total P₂O₅) ต่อน้ำหนักหนุ่ยที่เพิ่มขึ้นมากกว่า นั่นแสดงให้เห็นว่า จากการศึกษาในครั้งนี้ บอกได้เพียงว่าหนุ่ยใช้ธาตุอาหารตัวไหนไปมากกว่ากัน แต่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าหนุ่ยต้องการธาตุอาหารตัวไหนมากกว่ากัน ระหว่างธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยศึกษาถึงปริมาณและรูปแบบของธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินหนุ่ยก่อนปลูกและหลังจากสิ้นสุดการทดลอง

และจากผลการศึกษาลักษณะทางเคมีของดินก่อนปลูกและหลังจากปลูกหนุ่ยโดยการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จะเห็นได้ว่า ในชุดดินควบคุมซึ่ง

เป็นดินที่ใส่สารที่ให้ธาตุอาหารพืชเหมือนกันแต่ไม่ได้ปลูกหญ้าก็มีการลดลงของธาตุอาหารในดิน เช่นเดียวกัน ทั้งธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และโพแทสเซียม (as K_2O) แต่ลดลงน้อยกว่าในชุดดินที่ใช้ปลูกหญ้า ซึ่งการลดลงของธาตุอาหารในชุดดินควบคุมนั้น อาจเกิดจากการสูญเสียไปในรูปต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจนในดิน อาจจะถูกชะล้างไปจากดินได้เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการชะละลาย ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากธาตุเหล่านี้ละลายน้ำได้ ทำให้ทั้งธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส (as total P_2O_5) และธาตุโพแทสเซียม (as K_2O) ในดินชั้นบนมีโอกาสสูญเสียไปได้โดยการชะละลาย จากดินส่วนบน (ที่เก็บไปวิเคราะห์) ลงสู่ดินส่วนล่างของกระบะเมื่อมีการรดน้ำประจำ

3.2.4 ธาตุแมกนีเซียม

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมในดินที่ใช้ปลูกหญ้าทั้งก่อนและหลังจากการปลูก จะเห็นได้ว่าหลังจากปลูกได้ 50 วัน ในชุดการทดลองที่ 2 และ 6 ยังคงมีแมกนีเซียมตกค้างอยู่ในดิน ทั้งนี้เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 6 ใช้สารที่ให้ธาตุอาหารพืชซึ่งมีกากขี้แ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งในชุดการทดลองที่ 2 ใช้กากขี้แ่งเพียงอย่างเดียว ส่วนในชุดการทดลองที่ 6 ใช้กากขี้แ่ง : ปุ๋ยเคมี 15 - 0 - 0 สัดส่วน 3 : 1 จึงยังคงมีแมกนีเซียมตกค้างอยู่ในดินหลังจากปลูกหญ้า

ในกากขี้แ่งมีปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมค่อนข้างสูง เมื่อใช้เป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืชสำหรับการปลูกหญ้า แม้ว่าต้นหญ้าจะนำธาตุแมกนีเซียมไปใช้แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากธาตุแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรอง หญ้าต้องการในปริมาณที่ไม่มาก จึงนำไปใช้ไม่หมด และหลังสิ้นสุดการทดลองยังคงมีปริมาณแมกนีเซียมในดินค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ

3.2.5 ธาตุสังกะสี

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสังกะสีที่เวลา 50 วันหลังจากการปลูก จะเห็นได้ว่า ในชุดการทดลองที่ 2 นั้นยังคงมีสังกะสีตกค้างอยู่ในดินค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 ใช้กากขี้แ่งเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช ซึ่งในกากขี้แ่งจะมีสังกะสีอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง แม้ว่าสังกะสีจะเป็นธาตุอาหารที่หญ้าต้องการก็ตาม แต่หญ้ามีความต้องการธาตุสังกะสีในปริมาณน้อยเท่านั้น ทำให้สังกะสียังคงตกค้างอยู่ในดินค่อนข้างสูง จึงเป็นข้อควรระวังในการที่จะนำกากขี้แ่งไปใช้ เพราะหากมีการใช้พื้นที่หรือดินซ้ำในการปลูก อาจ

ทำให้เกิดการสะสมในดินสูงขึ้น เกิดปัญหาการปนเปื้อนในดิน และอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น การชะล้างจากดินซึ่งอาจทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ และเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำได้

ดังนั้นในการนำกากซีเมนต์มาใช้ประโยชน์ อาจจะต้องคำนึงถึงธาตุสังกะสีด้วย ซึ่งเป็นโลหะหนักและพืชต้องการในปริมาณน้อย ถ้าหากมีการนำมาใช้ซ้ำในพื้นที่เดียวกันหลาย ๆ ครั้งเป็นเวลาติดต่อกันนาน ๆ หากมีการตกค้างในดินและสะสมมากขึ้นก็จะเป็นปัญหาโดยตรงกับดินและอาจเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของพืช เพราะพืชแต่ละชนิดต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่ไม่เท่ากัน พืชบางชนิดอาจต้องการสังกะสีมาก และขึ้นกับชนิดของดิน เพราะดินต่างชนิดกันก็จะมีโครงสร้างและคุณสมบัติต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อพวกโลหะหนักเพราะพวกธาตุโลหะหนักจะมีลักษณะโดยทั่วไปดังนี้ คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์อยู่เสมอ ในรูปไฮดรอกไซด์จะมีการละลายต่ำ มีความสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้สูง ชอบทำปฏิกิริยากับพวกซัลไฟด์ เช่น สังกะสี การละลายได้ขึ้นอยู่กับสภาพกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และ redox potential ของดิน ในสภาพ pH 6.5 ขึ้นไปจะละลายให้พืชใช้น้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะที่มีวาเลนซ์สูง หรือในสภาพออกซิเดชัน (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541) ดังนั้นในการที่จะนำกากซีเมนต์ไปใช้ถ้าต้องการลดปัญหาเรื่องของปริมาณสังกะสีก็ควรใช้กับดินที่มี pH มากกว่า 6.5 ขึ้นไป หรือดินที่มีสภาพเป็นกลาง แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของชนิดของดิน และชนิดของพืช ที่จะปลูกด้วย

3.2.6 ค่า pH

หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 40 และ 50 วัน ค่า pH ของดินในแต่ละชุดการทดลองมีค่าลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ดินที่ใช้ปลูกหญ้ามักมีแนวโน้มในการลดลงของค่า pH มากกว่าดินชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อดินได้รับธาตุอาหารจากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชแล้ว ธาตุอาหารก็จะละลายลงในดิน และต้นหญ้าสามารถดูดซึมธาตุอาหารทั้งที่มีอยู่เดิมในดินและที่ได้จากการเติมลงไปใหม่มาใช้ได้ ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นพวกประจุบวกหรือแคตไอออน แต่ในชุดดินควบคุมนั้น เมื่อดินได้รับธาตุอาหารแล้วแต่ไม่มีต้นหญ้าที่จะนำธาตุอาหารไปใช้ อินทรีย์วัตถุในดินซึ่งมีประจุลบสูงก็จะดูดซับธาตุอาหารพวกแคตไอออนเอาไว้ได้บางส่วน จึงทำให้โอกาสในการลดลงของค่า pH ในดินชุดควบคุมมีน้อยกว่าการลดลงของ pH ในดินที่ใช้ปลูกหญ้า

และจากผลการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในดินที่ใช้ปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง หลังจากสิ้นสุดการทดลอง ได้แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยเคมีจะทำให้ดินมีระดับความเป็นกรดมากขึ้นหรือทำให้ดินมีค่า pH ลดลงมากกว่าการใช้กากขี้เถ้าหรือสารที่ให้ธาตุอาหารพืชซึ่งมีกากขี้เถ้าเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้ปุ๋ยเคมีนั้น ในปุ๋ยเคมีจะไม่มีอินทรีย์วัตถุประกอบอยู่ ต่างกับกากขี้เถ้าซึ่งจะมีอินทรีย์วัตถุอยู่ด้วย ทำให้ในดินที่เติมกากขี้เถ้าเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืชหรือสารที่ให้ธาตุอาหารพืชซึ่งมีกากขี้เถ้าเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยนั้น มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากขึ้น จึงมีโอกาสดูดซับพวกแคตไอออน ได้แก่ ธาตุ K, Mg และ Ca จากธาตุอาหารพืชที่เติมลงไปไว้ได้มากกว่า โอกาสที่ระดับ pH ในดินจะลดลง จึงมีน้อยกว่าดินที่ใช้ปลูกหญ้าในชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช

3.2.7 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC)

ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกันกับ ค่า pH คือ หลังจากปลูกหญ้าได้ 20 40 และ 50 วัน ค่าการนำไฟฟ้าของดินในแต่ละชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะเห็นได้ว่า ดินที่ใช้ปลูกหญ้ามี่แนวโน้มในการลดลงของค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าดินชุดควบคุม ทั้งนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกันกับการลดลงของค่า pH นั่นคือ เมื่อดินได้รับธาตุอาหารจากการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชแล้ว ธาตุอาหารซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นพวกแคตไอออนก็จะละลายลงในดิน และต้นหญ้าสามารถดูดซึมธาตุอาหารทั้งที่มีอยู่เดิมในดินและที่ได้จากการเติมลงไปใหม่มาใช้ได้ แต่ในชุดดินควบคุมนั้น เมื่อธาตุอาหารละลายแล้วแต่ไม่มีต้นหญ้าที่จะนำธาตุอาหารไปใช้ อินทรีย์วัตถุในดินซึ่งมีประจุลบสูงก็จะดูดซับธาตุอาหารพวกแคตไอออนเอาไว้ได้บางส่วน จึงทำให้โอกาสในการลดลงของค่าการนำไฟฟ้าของดิน ในดินชุดควบคุมนั้นมีน้อยกว่าการลดลงของค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ใช้ปลูกหญ้า

จากการนำกากขี้เถ้ามาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย จะเห็นได้ว่านอกจากการใช้กากขี้เถ้าจะทำให้ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของดินมีการลดลงน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีแล้ว การใช้กากขี้เถ้าเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืชยังมีส่วนช่วยในการปรับสภาพดิน โดยจะทำให้ดินอยู่ในสภาพที่เป็นกลางอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากกากขี้เถ้าเองนั้น มีค่า pH สูงอยู่แล้ว เมื่อละลายลงในดินและดินผ่านการดูดซึมธาตุอาหารโดยพืชแล้ว ระดับ pH ในดินจึงยังคงอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง และจากการที่ในกากขี้เถ้ามีอินทรีย์วัตถุอยู่ด้วยนั้น ทำให้ดินมีอินทรีย์วัตถุมากขึ้นและอาจส่งผลให้ดินมีสภาพร่วนซุย มีการซึมผ่านของน้ำ (infiltration) และการระบายอากาศได้ดีขึ้น

จากการศึกษาถึงการนำกากขี้เป้งมาให้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย โดยนำมาทดลองกับการปลูกหญ้าสนามซึ่งเป็นหญ้านวลน้อยนั้น ไม่ได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่มุ่งเน้นที่จะทดสอบศักยภาพของกากขี้เป้งในการใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย และดูถึงปริมาณการใช้สารอาหารที่เกิดขึ้นในระบบที่ศึกษาเท่านั้น และจากการทดลองครั้งนี้ ไม่ได้เติมสารที่ให้ธาตุอาหารที่เท่ากันทุก ๆ ธาตุในทุกชุดการทดลอง มีเฉพาะธาตุไนโตรเจนเท่านั้นที่เติมในอัตราเดียวกันในแต่ละชุดการทดลอง แต่ธาตุอื่น ๆ นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่มีอยู่ในสารที่ให้ธาตุอาหารพืชนั้น ๆ ที่ให้ในแต่ละชุดการทดลอง จึงไม่สามารถบอกได้ชัดเจนว่าจากการทดลองครั้งนี้ธาตุอาหารใดที่ทำให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และหญ้าต้องการธาตุอาหารตัวไหนมากกว่ากัน ทั้งนี้การเจริญเติบโตของหญ้าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง โดยเฉพาะปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารที่มีอยู่แล้วในดินและการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชหรือปุ๋ยเพิ่ม รวมทั้งปัจจัยร่วมอื่น ๆ ที่มีผลต่อการนำธาตุอาหารไปใช้ของต้นหญ้า เช่น pH ของดิน ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารแต่ละชนิดไปใช้ของหญ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน รวมทั้งสภาพแวดล้อมอื่น ๆ

แต่โดยปกติแล้วหญ้าต้องการธาตุไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาก็เป็นธาตุโพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งธาตุทั้งสามเป็นธาตุอาหารหลักที่ทำให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ดี ถ้าหากขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไป ก็จะทำให้ต้นหญ้ามีการเจริญเติบโตได้น้อยลง ดังเช่น ชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืช คือ ปุ๋ยเคมีสูตร 15-0-0 นั่นคือ มีธาตุอาหารหลักเฉพาะธาตุไนโตรเจนเท่านั้น ทำให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ไม่ดี แม้ว่าจะให้ธาตุไนโตรเจนในอัตราเดียวกับชุดการทดลองอื่นก็ตาม นั้นแสดงให้เห็นว่า แม้ว่าต้นหญ้าจะได้รับธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตแล้วก็ตาม แต่ถ้าไม่ได้รับธาตุอาหารอื่นอย่างพอเพียง โดยเฉพาะฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ก็จะไม่เจริญเติบโตได้ดีเท่าที่ควร สำหรับธาตุอาหารรอง เช่น แมกนีเซียม และธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย เช่น สังกะสี ก็มีบทบาทสำคัญในการช่วยในการเจริญเติบโตของหญ้า ดังเช่น ในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียม และสังกะสีอยู่ในกากขี้เป้งค่อนข้างสูงก็มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของต้นหญ้าด้วยเช่นกัน

4. การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากชี้แบ่งมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย

โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการปลูกหญ้า โดยพิจารณาเปรียบเทียบถึงค่าใช้จ่ายในการใช้กากชี้แบ่ง กากชี้แบ่งผสมสารเคมี การใช้ปุ๋ยเคมี ต่อหน่วยผลผลิตของหญ้าที่ปลูกได้ ทั้งนี้จะเน้นการประเมินและคำนวณในเบื้องต้น โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น

4.1 ค่าใช้จ่ายจากการใช้ประโยชน์กากชี้แบ่ง

ในการนำกากชี้แบ่งมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ยนั้น จะต้องทำให้กากชี้แบ่งแห้งก่อน โดยการระเหยเอาน้ำออก ซึ่งมีอยู่หลายวิธี คือ การอบแห้งโดยใช้ตู้อบ (oven) และการตากแห้ง (air dry)

การอบแห้งโดยใช้ตู้อบ (oven) ซึ่งต้องใช้พลังงานความร้อนในการอบแห้ง

ตามทฤษฎีพลังงานความร้อนสำหรับใช้อบแห้งวัสดุ ประกอบด้วย พลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนกับการพาความร้อนจากเครื่องอบแห้ง และพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง (กิตติวัฒน์ วงศ์พิศาล, 2537)

ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (Q_t) คำนวณจาก

$$Q_t = Q_\lambda + Q_2 + Q_m \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่

Q_t = พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง, กิโลจูล

Q_λ = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุ, กิโลจูล

Q_2 = พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อน, กิโลจูล

Q_m = พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง, กิโลจูล

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่า พลังงานความร้อนที่น้อยที่สุดของการอบแห้งที่จำเป็นคือ Q_λ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$Q_{\lambda} = \lambda (M_m - M_t) w \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดย

Q_{λ} = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุ, กิโลจูล

λ = ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

M_m = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

M_t = ความชื้นของวัสดุที่เวลา t, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

w = น้ำหนักแห้งของวัสดุ, กิโลกรัม

ฉะนั้นหากทำการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนที่น้อยที่สุดของการอบกากชี้แบ่งก็
จะสามารถคำนวณได้ดังนี้ คือ

จากการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%MC) และ เปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็ง (%SC) ของกาก

ชี้แบ่ง ได้ค่าเฉลี่ย % MC = 61.0 และ %SC = 39.0

พิจารณาจาก น้ำหนักชี้แบ่งสด 80 กก. ฉะนั้นจะมี น้ำหนักน้ำ = 48.8 กก.

น้ำหนักชี้แบ่ง = 31.2 กก.

แทนค่าในสูตร

$$Q_{\lambda} = \lambda (M_m - M_t) w$$

โดย

λ = 4.19 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

M_m = 48.8/31.2, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

M_t = 0/31.2, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

w = 31.2, กิโลกรัม

แทนค่าแล้วได้

$$= 4.19 ((48.8/31.2) - (0/31.2)) 31.2$$

$$= 204.5 \quad \text{กิโลจูล}$$

เพราะฉะนั้นในการนำกากชี้แบ่งสด 80 กิโลกรัม มาอบจนกระทั่งแห้ง ได้น้ำหนักกาก
ชี้แบ่งแห้ง 31.2 กิโลกรัม จะต้องใช้พลังงานความร้อนในการอบหรือระเหยน้ำออกจากกากชี้แบ่ง
เท่ากับ 204.5 กิโลจูล หรือสามารถคำนวณได้ว่าจกต้องใช้พลังงานอย่างน้อย 2.56 กิโลจูล/
กิโลกรัมน้ำหนักสดของกากชี้แบ่ง

อย่างไรก็ตาม หากทราบรายละเอียดของตู้อบ ซึ่งสามารถให้ข้อมูลในการประเมินค่า Q_2 และ Q_m ได้ ก็จะสามารถคำนวณหา Q_1 และนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานที่ใช้ในการอบกากชี้แบ่งได้

อนึ่ง ในทางปฏิบัติ การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ การอบกากชี้แบ่งได้ใช้ ตู้อบ Memmert type U 50 รุ่น UM 600 ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้า 2800 วัตต์ และได้อบที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 5 วัน จึงทำให้กากชี้แบ่งแห้งได้ (% MC = 0) ดังนั้นหากคิดถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อให้กากชี้แบ่งแห้ง สามารถคำนวณเป็นค่าใช้จ่าย ได้ดังนี้ คือ

$$\text{กำลังไฟฟ้าของตู้อบ} = 2.8 \text{ kW}$$

$$\text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง} = 5 \text{ วัน} = 120 \text{ ชั่วโมง}$$

เพราะฉะนั้น จึงต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เท่ากับ

$$= 2.8 \text{ kW} \times 120 \text{ h.}$$

$$= 336 \text{ kW-h}$$

อัตราค่าไฟฟ้า เท่ากับ 2.35 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง (คิดจากอัตราค่าไฟฟ้าพื้นฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : อัตราการใช้ไฟฟ้าคิดหน่วยละ 2.35 บาท ทั้งนี้รวมค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิตต่อหน่วยและภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว)

เพราะฉะนั้น คำนวณเป็นค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่าย

$$= 336 \times 2.35$$

$$= 790 \text{ บาท}$$

ดังนั้น เมื่อนำกากชี้แบ่งสด 80 กิโลกรัม มาอบให้แห้ง โดยใช้เวลาประมาณ 5 วัน จะต้องเสียค่าไฟฟ้า เท่ากับ 790 บาท จะได้กากชี้แบ่งแห้ง 31.2 กิโลกรัม

นั่นคือ ค่าใช้จ่ายในการอบกากชี้แบ่งให้แห้งโดยวิธีการใช้ตู้อบ เท่ากับ 790 บาท/31.2 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งของกากชี้แบ่ง เท่ากับ 25.30 บาท/กิโลกรัม น้ำหนักแห้งของกากชี้แบ่ง

จากการคำนวณจะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายในการนำกากชี้แบ่งสดมาอบให้แห้งนั้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง คิดเป็น 25.30 บาท/กิโลกรัม น้ำหนักแห้งของกากชี้แบ่ง แต่ทั้งนี้จากการอบครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องทดลองเท่านั้น ถ้าหากมีการทำในลักษณะเชิงพาณิชย์ มีการประยุกต์ใช้หรือเครื่องมือที่ใช้ออบ มีการจัดการเหมาะสม และทำในปริมาณที่มากขึ้นก็จะลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลงได้อีกมาก สำหรับทางเลือกอีกทางหนึ่งในการทำให้กากชี้แบ่งแห้ง คือ การใช้วิธีนำไปตากแห้ง (air dry)

การตากแห้ง (air dry) เป็นการใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะมาจาก ค่าใช้จ่ายในส่วนของแรงงานคน และอาจมีข้อจำกัดในเรื่องสภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศและพื้นที่ อย่างไรก็ตามหากคำนวณ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในส่วนของแรงงานคน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเพื่อให้กากชี้แบ่งแห้ง จะสามารถคำนวณได้ ดังนี้

เงื่อนไขในการคำนวณ

- ปริมาณกากชี้แบ่งสด 1000 กิโลกรัม (0.95 ลูกบาศก์เมตร)
- การทำกากชี้แบ่งให้แห้งโดยวิธี ตากแห้ง (air dry) ใช้เวลา ประมาณ 7 วัน จะได้กากชี้แบ่งแห้ง ประมาณ 390 กิโลกรัม
- ใช้แรงงานคน 2 คน
- ค่าแรงงาน คิดเป็นอัตราชั่วโมงละ 16.25 บาท/คน (อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ)
- ใช้เวลาในการตากและเก็บโดยเฉลี่ย ประมาณวันละ 2 ชั่วโมง

นั่นคือใช้เวลาทั้งหมด $= 7 \times 2 = 14$ ชั่วโมง

ฉะนั้นค่าใช้จ่ายคิดเป็นเงิน $= 2 \times 16.25 \times 14$
 $= 455$ บาท

เพราะฉะนั้น ในการตากแห้งกากชี้แบ่งสด 1000 กิโลกรัม แล้วได้กากชี้แบ่งแห้ง 390 กิโลกรัม โดยใช้แรงงานคน 2 คน ทำงานโดยเฉลี่ย วันละ 2 ชั่วโมง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 455 บาท และเมื่อคำนวณเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัม จะได้เท่ากับ 455 บาท/390 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งของกากชี้แบ่ง เท่ากับ 1.17 บาท/กิโลกรัม น้ำหนักแห้งของกากชี้แบ่ง

4.2 ค่าใช้จ่ายจากการใช้ปุ๋ยเคมี

สำหรับค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยเคมี มีรายละเอียด ดังนี้

ปุ๋ยเคมีสูตร 15-0-0

ราคาประมาณกระสอบละ 250 บาท โดย 1 กระสอบมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นคิดเป็น 5 บาท/กิโลกรัม

ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

ราคาประมาณกระสอบละ 450 บาท โดย 1 กระสอบมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นคิดเป็น 9 บาท/กิโลกรัม

4.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและค่าตอบแทน

ในการนำกากขี้เถ้าและปุ๋ยเคมีมาใช้ โดยมีอัตราการเติมธาตุไนโตรเจนเท่ากัน แล้วเปรียบเทียบเป็นต้นทุนและผลผลิตหญ้าที่ได้ต่อไร่ หลังจากปลูกได้ 50 วัน ทั้งน้ำหนัสดและน้ำหนักแห้ง แล้วเปรียบเทียบกัน จะได้ผลดังแสดงในตาราง 29 และ 30

ตาราง 29 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใส่กากขี้เถ้าและปุ๋ยต่อผลผลิตหญ้า
ในเทอมของน้ำหนักแห้งที่ได้

ชุดการทดลอง	ผลผลิตหญ้า* (กก.น.น.แห้ง/ไร่)	ปริมาณที่ใช้		ค่าใช้จ่าย		ค่าใช้จ่ายรวม/ ผลผลิต (บาท/กก.น.น.แห้ง)
		กากขี้เถ้า** (กก./ไร่)	ปุ๋ย (กก./ไร่)	กากขี้เถ้า (บาท)	ปุ๋ย (บาท)	
T1	316	-	-	-	-	-
T2	1,208	2,666.8	-	3,120	-	2.58
T3	548	7.7	419.1***	9	7,354	13.44
T4	608	-	426.8	-	3,841	6.32
T5	432	-	426.8	-	2,134	4.94
T6	760	802.8	267.6	939	1,338	3.00
T7	484	315.2	315.2	369	1,576	4.02
T8	664	106.1	318.3	124	1,591	2.58

หมายเหตุ : * : ผลผลิตหญ้า คิดจาก ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นหลังจากปลูกได้ 50 วัน โดยคิดจาก
น้ำหนักหญ้าแห้ง

** : คิดจากน้ำหนักแห้ง

***: ปริมาณปุ๋ยในส่วนนี้ หมายถึง แอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_4$
และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

ตาราง 30 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใส่กากขี้เถ้าและปุ๋ยต่อผลผลิตหญ้า
ในเทอมของน้ำหนักสดที่ได้

ชุดการทดลอง	ผลผลิตหญ้า (กก.นน.สด/ไร่)	ปริมาณที่ใช้		ค่าใช้จ่าย		ค่าใช้จ่ายรวม/ ผลผลิต (บาท/กก.นน.สด)
		กากขี้เถ้า*** (กก./ไร่)	ปุ๋ย (กก./ไร่)	กากขี้เถ้า (บาท)	ปุ๋ย (บาท)	
T1	720	-	-	-	-	-
T2	2,964	2,666.8	-	3,120	-	1.05
T3	1,252	7.72	419.1*	9	7,354	5.88
T4	1,280	-	426.8	-	3,841	3.00
T5	896	-	426.8	-	2,134	2.38
T6	1,656	802.8	267.6	939	1,338	1.38
T7	1,060	315.2	315.2	369	1,576	1.83
T8	1,508	106.1	318.3	124	1,591	1.14

หมายเหตุ : * : ผลผลิตหญ้า คิดจาก ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นหลังจากปลูกได้ 50 วัน โดยคิดจาก
น้ำหนักสดของหญ้า

** : คิดจากน้ำหนักแห้ง

***: ปริมาณปุ๋ยในส่วนนี้ หมายถึง แอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_4$
และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

จากตาราง 29 และ 30 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายซึ่งเป็นต้นทุนสำหรับการใช้สารเคมีซึ่งเป็น
ธาตุอาหาร เพื่อให้หญ้าเติบโตและมีผลผลิตมากขึ้นซึ่งคิดเป็นผลผลิตหญ้าที่ได้ ทั้งผลผลิตน้ำ
หนักสดและผลผลิตน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ 1 ไร่ พบว่า การใช้กากขี้เถ้าจะช่วยลดต้นทุนในการ
ผลิต และการใช้กากขี้เถ้าผสมกับปุ๋ยเคมี 15-0-0 ในอัตราส่วน 3:1 1:1 และ 1:3 ก็สามารถช่วย
ลดต้นทุนในการผลิตได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 15-0-0 หรือปุ๋ยเคมี 15-15-15 เพียงอย่างเดียวอีก
ด้วย และคุณภาพของต้นหญ้าที่ได้เมื่อสังเกตจากภาพประกอบ 11-20 จะเห็นได้ว่า การใช้กาก
ขี้เถ้าและกากขี้เถ้าผสมกับปุ๋ยเคมี จะทำให้ผลผลิตหญ้าที่ได้มีลักษณะที่สวยงามและสมบูรณ์
กว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาในครั้งนี้ หลังจากปลูกหญ้าได้ 40 วัน เก็บทุกชุดการทดลองที่หญ้าเจริญ

เติบโตครอบคลุมเต็มพื้นที่กระบะ ยกเว้นชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งหญ้าเจริญเติบโตครอบคลุมเต็มพื้นที่กระบะหลังจากปลูกได้ 50 วัน และเมื่อคำนวณผลตอบแทนที่ได้ในการปลูกหญ้า โดยคิดจากการขายผลผลิตที่ได้หลังจากปลูกได้ 40 วัน หักลบกับค่าใช้จ่ายในการใช้กากชี้แบ่งและปุ๋ยเคมีเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช โดยเติมให้มีอัตราธาตุไนโตรเจนเท่ากัน โดยคิดเปรียบเทียบจากการปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ เท่ากัน พบว่า การใช้ปุ๋ยและกากชี้แบ่งและจะให้ผลตอบแทน ดังแสดงในตาราง 31

ตาราง 31 แสดงผลตอบแทนที่ได้จากการปลูกหญ้า 1 ไร่ โดยใช้การใช้กากชี้แบ่งและปุ๋ยเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช

ชุดการทดลอง	ผลผลิตหญ้า ⁽¹⁾ (กก.น.น.สด/ไร่)	ปริมาณปุ๋ย/ กากชี้แบ่งที่ใช้ (กก.)	ราคาปุ๋ย/ กากชี้แบ่ง (บาท/กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ต้นทุน ⁽²⁾ พันธุ์หญ้า (บาท)	รายได้จากการขายหญ้า ⁽³⁾ (บาท)	ผล ⁽⁵⁾ ตอบแทน (บาท)
T1	794	-	-	-	-	-	-
T2	2,280	2,666.8	1.17	3,120	6,000	40,000	30,880
T3	1,278	426.8	17.25	7,362	6,000	40,000	26,638
T4	1,405	426.8	9.00	3,841	6,000	40,000	30,159
T5	807	426.8	5.00	2,134	6,000	30,000 ⁽⁴⁾	21,866
T6	1,368	1,070.4	2.13	2,277	6,000	40,000	31,723
T7	1,174	630.4	3.09	1,944	6,000	40,000	32,056
T8	1,198	424.4	4.04	1,715	6,000	40,000	32,285

หมายเหตุ : (1) : ผลผลิตหญ้า คิดจาก ผลผลิตหญ้าทั้งหมดหลังจากปลูกได้ 40 วัน โดยคิดจากน้ำหนักสดของหญ้า

(2) : พันธุ์หญ้าที่ใช้ปลูกใช้ประมาณ $\frac{1}{4}$ ของพื้นที่ทั้งหมด คิดเป็น 400 m^2 /ไร่ พันธุ์หญ้ารากประมาณ 15 บาท/ m^2 เพราะฉะนั้นต้นทุนพันธุ์หญ้า คิดเป็น 6,000 บาท/ไร่

(3) : รายได้จากการขายหญ้า คิดจาก 25 บาท/ m^2 คิดเป็น 40,000 บาท/ไร่

(4) : ชุดการทดลองที่ 5 หญ้าเจริญเติบโตครอบคลุมไม่เต็มพื้นที่ คิดเป็น $\frac{3}{4}$ ไร่

(5) : การคำนวณ ไม่ได้รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดจาก ค่าน้ำ ค่าแรง ค่าขนส่ง และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เกี่ยวข้อง

จากตาราง 31 จะเห็นได้ว่า จากการคำนวณผลตอบแทนในเบื้องต้น เมื่อหักลบค่าใช้จ่ายในการใช้กากซีเมนต์และปุ๋ย และค่าต้นทุนพันธุ์หญ้าแล้ว ผลตอบแทนในรูปของเงินในชุดการทดลองที่ 2 4 6 7 และ 8 ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก แต่ถ้าพิจารณาในส่วนของน้ำหนักหรือคุณภาพหญ้าที่ได้ ต้นหญ้าจากชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งใช้กากซีเมนต์ จะมีน้ำหนักหญ้ายาก่อนล้างสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด นั้นเป็นเพราะ ต้นหญ้ามี่ลักษณะใบที่สมบูรณ์ ครอบคลุมเต็มพื้นที่และมีความหนาแน่นมาก

อนึ่ง ที่กล่าวมาเป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายเพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติอาจมีค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นอีก เช่น ค่าแรงงาน ค่าขนส่ง ฯลฯ ซึ่งจากข้อมูลในข้างต้นจะเห็นว่า หากใช้กากซีเมนต์จำเป็นต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าปุ๋ย ซึ่งหากดำเนินการจริงอาจมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน จึงต้องนำมาคำนวณรวมด้วย

จากการศึกษาเกี่ยวกับกากซีเมนต์ซึ่งเป็นของเสียในรูปของของแข็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งในปัจจุบันกากซีเมนต์ได้กลายเป็นปัญหาที่สำคัญของโรงงานน้ำยางข้นในการที่จะกำจัด และจากการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและเก็บตัวอย่างกากซีเมนต์มาวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี ตลอดจนนำมาทดสอบศักยภาพในการใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย โดยทดสอบกับการปลูกหญ้าสนาม คือ หญ้าฉนวนน้อยนั้น จะเห็นได้ว่า กากซีเมนต์มีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร โดยการใช้เป็นสารปรับสภาพดินหรือทำเป็นปุ๋ยได้ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า กากซีเมนต์ช่วยให้ต้นหญ้ามี่มีการเจริญเติบโตได้ดี โดยที่ต้นหญ้าที่ได้รับสารที่ให้ธาตุอาหารจากกากซีเมนต์มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นหญ้าที่ได้รับสารที่ให้ธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีสูตร 15 -0 -0 และเจริญเติบโตได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15 -15 ซึ่งเติมโดยใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราเดียวกัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาลักษณะทางเคมีของกากซีเมนต์ที่วิเคราะห์ได้ จะเห็นได้ว่ากากซีเมนต์นอกจากจะประกอบไปด้วยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมแล้ว กากซีเมนต์ก็ยังมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ค่อนข้างสูงและมีธาตุสังกะสีอยู่ด้วย และลักษณะเด่นของกากซีเมนต์ คือ มีธาตุฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงมาก นั้นแสดงให้เห็นถึงอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำกากซีเมนต์ไปใช้ในรูปของพวกปุ๋ยฟอสฟอรัส ซึ่งอาจมีการนำไปพัฒนาคุณสมบัติเพิ่มเติม ดังเช่น ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต และแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น

ประโยชน์อีกประการหนึ่งในการนำกากขี้เถ้ามาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย คือ มีผลต่อระดับ pH ของดิน ช่วยทำให้ดินมีสภาพเป็นกลาง แตกต่างจากพวกปุ๋ยเคมี ซึ่งเมื่อใช้ไปแล้ว มักจะมีผลกระทบต่อระดับ pH ของดิน โดยมักจะทำให้ดินมีค่า pH ลดลงหรืออาจจะทำให้ดินเป็นกรด

แต่ในการที่จะนำกากขี้เถ้าไปใช้ประโยชน์จริงในการทำเป็นปุ๋ยนั้นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในหลาย ๆ ด้านอีกด้วย เช่น ถ้านำกากขี้เถ้าไปใช้กับพวกหญ้าสนาม หรือพวกไม้ดอกไม้ประดับ ก็อาจจะไม่มีผลกระทบอะไรมากนัก แต่ถ้านำไปใช้กับพืชที่เป็นอาหารสัตว์ เช่น หญ้ามอริซัส หญ้าขน หรือพวกข้าว ข้าวโพด หรือพืชที่เป็นอาหารของมนุษย์ เช่น พวกผักต่าง ๆ จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการตกค้างของสารเคมีในพืชด้วย และอีกประการหนึ่งที่สำคัญ คือ จะต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาการชะล้างและการตกค้างของโลหะหนักในดิน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำและมลพิษในดินได้ ทั้งนี้ในการนำกากขี้เถ้ามาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น เพราะว่ากากขี้เถ้า นอกจากจะมีสารที่เป็นธาตุอาหารที่สำคัญกับพืชแล้ว กากขี้เถ้ายังประกอบไปด้วยโลหะหนัก ได้แก่ Zn ซึ่งทราบความเข้มข้น และ Si, Ti, Rb, Mn, Fe, Ni และ Cu ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้วิเคราะห์หาความเข้มข้นของธาตุเหล่านี้ที่มีอยู่ในกากขี้เถ้า

สำหรับในการนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ยในเบื้องต้นนั้น กากขี้เถ้ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกหญ้า โดยเฉพาะหญ้าสนาม โดยการใช้กากขี้เถ้าเป็นปุ๋ยรองพื้น ซึ่งจะมีข้อดีกว่าการใช้ปุ๋ยอื่น ๆ เช่น การนำมาจากเศษวัสดุอื่นหรือการใช้ปุ๋ยคอก อาจจะมีพืชแทรกได้ ทำให้ต้องเสียเวลาในการกำจัดพืชแทรกหรือวัชพืช หรืออาจใช้เป็นปุ๋ยบำรุงตลอดปี รวมทั้งอาจนำมาใช้กับพวกไม้ดอกไม้ประดับได้ หรืออาจนำไปใช้ประยุกต์ใช้กับพวกปุ๋ยพืชสด เช่น พวกพืชตระกูลหญ้า พืชตระกูลถั่ว

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาในครั้งนี้ จะเห็นได้ว่ากากขี้เถ้ามีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้ แม้ว่าจะมีข้อจำกัดบางประการอยู่บ้างก็ตาม แต่ถ้านำไปใช้โดยมีแนวทางในการประยุกต์ใช้ที่เหมาะสม และมีการจัดการในการนำมาใช้ที่ดีเพียงพอ ก็นับว่าเป็นประโยชน์ที่สำคัญในการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมและนำของเสียนั้นมาใช้ประโยชน์ใหม่ให้เหมาะสม ทั้งนี้

ทางโรงงานน้ำยางข้นเองก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยการนำกากซีเมนต์มาตากให้แห้งแล้วนำไปใช้ประโยชน์ตามความเหมาะสมดังกล่าวมาแล้วข้างต้น หรืออาจจะเพิ่มรายได้โดยการปลูกหญ้าขาย โดยอาจปลูกหญ้าบริเวณรอบ ๆ โรงงานหรือบริเวณรอบบ่อบำบัดน้ำเสีย แล้วนำกากซีเมนต์มาใช้เป็นปุ๋ยรองพื้นหรือปุ๋ยบำรุง

สำหรับกากซีเมนต์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ยนั้น อาจจะนำมาปรับปรุงให้อยู่ในรูปแบบหรือลักษณะที่ใช้งานและขนส่งได้สะดวก เช่น ทำในรูปของการอัดเม็ด แทนที่จะทำเป็นผงหรือเป็นก้อน

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

จากการศึกษาการนำกากซีแ่งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ย โดยการสำรวจโรงงานเพื่อศึกษากระบวนการผลิต การเกิดกากซีแ่ง ปริมาณกากซีแ่ง รวมทั้งศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีแ่ง และนำกากซีแ่งมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย โดยทดสอบกับการปลูกหญ้าanolน้อยนั้น สรุปผลการศึกษาได้ ดังนี้

1. ปริมาณกากซีแ่งที่เกิดจากการผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้นจะทำให้เกิดอัตราการเกิดของเสียในรูปของกากซีแ่งโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 10.0 กก./ตันน้ำยางสด หรือคิดเป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ในการจัดการกับกากซีแ่งที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นนั้น ทางโรงงานมักจะทิ้งกองไว้ หรือเอาไปถมที่ หรือทิ้งร่วมกับขยะ แต่บางโรงงานก็กำจัดโดยการเผาทิ้ง

2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีแ่ง

จากการเก็บตัวอย่างกากซีแ่งในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม 2541 พบกากซีแ่งสดมีค่าความชื้น และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด เฉลี่ยเท่ากับ 64.4 % และ 35.6 % ตามลำดับ ค่า pH ของกากซีแ่งเฉลี่ย เท่ากับ 9.0 และ ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 1.0517 ตัน/ลูกบาศก์เมตร สำหรับกากซีแ่งแห้งประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญ ได้แก่ N P (as P_2O_5) K (as K_2O) Mg และ Zn โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 19.6 1.8 5.31 และ 1.01 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 55.2 % น้ำหนักแห้ง

และจากการเก็บตัวอย่างกากซีแ่งในเดือนธันวาคม 2541 ถึงเดือนมกราคม 2542 พบกากซีแ่งสดมีค่าความชื้น และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด เฉลี่ยเท่ากับ 57.7 % และ 42.3 % ตามลำดับ ค่า pH ของกากซีแ่ง เฉลี่ยเท่ากับ 8.63 และค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.0477 ตัน/ลบม. สำหรับกากซีแ่งแห้งประกอบไปด้วยธาตุ N P (as P_2O_5) K (as K_2O) Mg และ Zn โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.46 21.6 2.1 7.56 และ 0.51 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่า

ปริมาณของแข็งระเหยได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 53.1 % น้ำหนักแห้ง

กากซีแ่งของแต่ละโรงงานมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่กากซีแ่งสดและกากซีแ่งแห้งนั้นมีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่างกัน โดยกากซีแ่งสดจะมีความเข้มข้นของไนโตรเจนมากกว่ากากซีแ่งแห้ง ทั้งนี้เพราะว่า กากซีแ่งสดมีค่า pH ค่อนข้างสูง เมื่อนำไปอบแห้งอาจมีไนโตรเจนบางส่วนที่สูญหายไปในขณะที่ทำการอบแห้ง

สำหรับความเข้มข้นของ P_2O_5 และ Mg นั้น มีปริมาณสูงขึ้นในการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน เหตุเนื่องจากการเติมสาร DAP ลงไปเพื่อช่วยในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสดซึ่งจะมีปริมาณแมกนีเซียมสูงในช่วงฤดูฝน

3. การศึกษาความสามารถในการละลายของกากซีแ่ง

กากซีแ่งมีสภาพไม่คงตัว มีความสามารถในการละลายมากขึ้นเมื่อใช้ตัวทำละลายซึ่งเป็นน้ำมากขึ้น โดย K ละลายออกมามากสุด และลดน้อยลงใน N P Mg และ Zn และกากซีแ่งเมื่อละลายน้ำแล้วจะทำให้หน้าที่สกัดนั้นมีคุณสมบัติที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้

4. การนำกากซีแ่งมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย

กากซีแ่งสามารถช่วยให้ต้นหญ้ามีการเจริญเติบโตขึ้นทั้งจากการประเมินจากลักษณะทางกายภาพ เช่น การแพร่กระจายและความสูง รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของต้นหญ้า โดยที่ต้นหญ้าที่ได้รับสารที่ให้ธาตุอาหารพืชเป็นกากซีแ่งมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นหญ้าที่ไม่ได้รับการเติมสารที่ให้ธาตุอาหารพืชใด ๆ และต้นหญ้าที่ได้รับสารที่ให้ธาตุอาหารพืชเป็นกากซีแ่ง และกากซีแ่งผสมปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน เจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นหญ้าที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 15-0-0 เป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช และเจริญเติบโตได้ใกล้เคียงกับต้นหญ้าที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 เป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช

5. การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำกากซีแ่งมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ย

การใช้กากซีแ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตในการปลูกหญ้า และการใช้กากซีแ่งผสมกับปุ๋ยเคมี 15-0-0 ในอัตราส่วน 3:1 1:1 และ 1:3 ก็สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 15-0-0 หรือปุ๋ยเคมี 15-15-15 เพียงอย่างเดียว และคุณภาพของต้นหญ้าที่ได้จากการใช้กากซีแ่งและกากซีแ่งผสมกับปุ๋ยเคมี จะทำให้ผลผลิตหญ้าที่ได้มีลักษณะที่สวยงามและสมบูรณ์กว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอีกด้วย แต่การใช้กากซีแ่งต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าปุ๋ย ในทางปฏิบัติ อาจทำให้มีค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เกิดขึ้นอีก เช่น ค่าแรงงาน ค่าขนส่ง เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

กากซีเมนต์มีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร โดยการใช้เป็นสารปรับสภาพดินหรือทำเป็นปุ๋ยได้ ซึ่งในการที่จะนำกากซีเมนต์ไปใช้ประโยชน์ในการทำเป็นปุ๋ยอย่างแพร่หลายนั้น จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในหลาย ๆ ด้านด้วย ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับพืช สัตว์ มนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ในการนำกากซีเมนต์มาใช้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น โดยเฉพาะสิ่งที่เห็นได้ชัดประการหนึ่งก็คือ กากซีเมนต์นอกจากจะมีสารที่เป็นธาตุอาหารที่สำคัญกับพืชแล้ว ยังประกอบไปด้วยโลหะหนักอีกด้วย โดยเฉพาะสังกะสี จึงทำให้กากซีเมนต์มีข้อจำกัดบางประการในการใช้ แต่จากการศึกษาในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า กากซีเมนต์ช่วยให้ดินหญ้ามีการเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำกากซีเมนต์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยในเบื้องต้นอาจนำมาใช้กับพวกหญ้าสนาม ไม่ว่าจะใช้เป็นปุ๋ยรองพื้นหรือปุ๋ยบำรุง หรืออาจจะนำไปประยุกต์ใช้กับพวกปุ๋ยพืชสด แต่ทั้งนี้ต้องใช้ในปริมาณเหมาะสมและภายใต้และการจัดการที่ดีเพียงพอ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

- การศึกษาองค์ประกอบอื่น ๆ ของกากซีเมนต์เพิ่มเติม เช่น โลหะหนักตัวอื่น
- การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารเคมีหรือโลหะหนักที่สะสมในเนื้อเยื่อพืช จากการใช้กากซีเมนต์เป็นปุ๋ย
- การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารเคมีหรือโลหะหนัก จากน้ำที่ผ่านการชะล้างดินที่ผ่านการใช้กากซีเมนต์เป็นปุ๋ย
- การศึกษาเกี่ยวกับ plant treatment หรือ land treatment โดยใช้ดินและพืชช่วยในการบำบัดของเสียหรือโลหะหนักเพื่อบำบัดกากซีเมนต์
- การศึกษาเกี่ยวกับ waste recovery โดยเน้นถึงธาตุที่มีปริมาณความเข้มข้นอยู่ค่อนข้างสูงในกากซีเมนต์ เช่น ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม
- การศึกษาเกี่ยวกับ การลดปริมาณของเสีย และการลดการปนเปื้อน (de-contamination) เมื่อมีการใช้กากซีเมนต์

บรรณานุกรม

- กิตติวัฒน์ วงศ์พิศาล. 2537. "การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเครื่องอบแห้งแบบถาด (Cashew Kernel Drying in Tray Dryer)", วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (ลำเนา)
- คณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์. 2539. คู่มือปฏิบัติการวิชาปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย พรพรรณ นิธิอุทัย และ ปรีชา ป้องภัย. 2534. เทคโนโลยีน้ำยางข้น. ม.ป.ท. : ม.ป.พ.
- ผลชิต บัวแก้ว. 2531. การผลิตน้ำยางข้น. สงขลา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- พจน์ พรหมบุตร. 2532. การทำสนามหญ้า. บุรีรัมย์ : มูลนิธิวิทยาลัยเกษตรกรรม บุรีรัมย์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2527. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : ปุ๋ย. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ยงยุทธ โสภสกา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- ยงยุทธ โสภสกา และคณะ. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชาการเกษตร, กรม. สถาบันวิจัยยาง. 2531. การผลิตยางธรรมชาติ. กรุงเทพฯ.

- วันชัย แก้วยอด. 2540. "การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง : กรณีศึกษาใน
จังหวัดสงขลา (The Investigation of Rubber Wastewater Management
: A Case Study of Changwat Songkhla)", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2536. อุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ. เอกสารวิชาการ เรื่องยาง
สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สิน พันธุ์พินิจ. 2538. การจัดการสนามหญ้า. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : รวมสาส์น.
- สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2537. การวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์
คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2536. "การจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อนำ
ศักยภาพความเป็นปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร" เอกสารการประชุม
วิชาการระดับชาติสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ.2536
จัดโดยสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, หน้า 149 – 155.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official
Analytical Chemists. 15th ed. U.S.A. : AOAC, Inc.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. Standard Methods for the Examination of
Water and Wastewater. 18th ed. New York. : American Public Health
Association.
- Beard, J. B. 1973. Turfgrass : Science and Culture. Michigan : Prentice –
Hall, Inc.

Brydson, J.A. 1978. Rubber Chemistry. London : Applied Science
Publishs. Ltd.

Jones, U.S. 1979. Fertilizers and Soil Fertility. Reston Virginia : Reston
Publishing Company Inc.

Page, A.L.; Miller, R.H. and Keemay, D.R. 1982. Methods of Soil Analysis Part 2 ;
Chemical and Microbiological Properties. 2d ed. USA : American
Society of Agronomy & Soil Science Society of America Publisher.

Russell, R.S. 1977. Plant Root Systems ; Their Function and Interaction with the
Soil. New York : McGraw-Hill Inc.

Thompson, L.M. and Troeh, F.R. 1978. Soil and Soil Fertility. New York :
McGraw-Hill Inc.

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์กากขี้แบ่ง หญ้า และดิน

ตารางผนวก 1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างกากชี้แบ่งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นภายในจังหวัดสงขลา
(เดือนกรกฎาคม - สิงหาคม 2541)

ตัวอย่าง กากชี้แบ่ง	พารามิเตอร์												
	pH (wet)	pH (dry)	Density (g/ml)	TSC %	MC %	VS % (dry wt.)	TN % (wet wt.)	TN % (dry wt.)	P ₂ O ₅ % (dry wt.)	K ₂ O % (dry wt.)	Mg % (dry wt.)	Ca % (dry wt.)	Zn % (dry wt.)
A1	8.93	6.34	1.0513	33.4	66.6	54.3	2.71	2.40	19.7	1.75	6.08	0.22	0.973
A2	9.03	6.21	1.0453	39.4	60.6	58.2	3.45	2.33	20.4	2.67	5.52	0.15	1.486
B1	9.13	6.57	1.0800	32.5	67.5	48.4	2.04	1.82	15.5	1.58	4.76	0.18	1.388
B2	9.06	6.11	1.0525	42.8	57.2	58.5	3.36	2.27	20.5	1.57	4.46	0.19	0.636
C1	8.76	6.56	1.0677	28.5	71.5	54.5	1.81	1.57	18.3	1.44	5.94	0.15	0.569
C2	9.11	6.36	1.0133	37.0	63.0	57.1	2.91	1.95	23.0	1.69	5.10	0.23	0.992

หมายเหตุ : A1 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังพักของโรงงาน A
A2 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังปั่นของโรงงาน A
B1 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังพักของโรงงาน B
B2 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังปั่นของโรงงาน B
C1 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังพักของโรงงาน C
C2 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังปั่นของโรงงาน C

ตารางผนวก 2 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างกากชี้แบ่งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้นภายในจังหวัดสงขลา
(เดือนธันวาคม 2541 - มกราคม 2542)

ตัวอย่าง กากชี้แบ่ง	พารามิเตอร์												
	pH (wet)	pH (dry)	Density (g/ml)	TSC %	MC %	VS % (dry wt.)	TN % (wet wt.)	TN % (dry wt.)	P ₂ O ₅ % (dry wt.)	% K ₂ O % (dry wt.)	Mg % (dry wt.)	Ca % (dry wt.)	Zn % (dry wt.)
A1	8.67	6.53	1.0239	38.0	62.0	47.5	1.79	1.70	23.6	1.31	8.05	0.22	0.241
A2	8.82	6.25	1.0396	42.1	57.9	55.7	2.45	2.20	22.6	2.45	7.73	0.19	0.810
B1	9.20	6.68	1.0556	44.4	55.6	44.8	1.81	1.60	19.7	2.33	7.67	0.15	0.590
B2	8.49	6.32	1.0433	45.4	54.6	57.3	2.73	1.82	22.2	1.76	7.54	0.21	0.585
C1	8.29	6.47	1.0270	40.8	59.2	57.2	2.52	2.33	20.2	2.33	7.66	0.19	0.453
C2	8.31	6.48	1.0966	43.0	57.0	55.8	3.43	3.20	21.4	2.50	6.72	0.22	0.362

หมายเหตุ : A1 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังพักของโรงงาน A
A2 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังปั่นของโรงงาน A
B1 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังพักของโรงงาน B
B2 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังปั่นของโรงงาน B
C1 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังพักของโรงงาน C
C2 หมายถึง ตัวอย่างกากชี้แบ่งจากถังปั่นของโรงงาน C

ตารางผนวก 3 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสดของหญ้าหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม
	เริ่มต้น	20 วัน			เริ่มต้น	40 วัน			เริ่มต้น	50 วัน		
T 1	11.11	15.81	4.7	42.7	12.28	19.84	7.6	61.7	13.45	31.48	18.0	134.9
T 2	12.26	34.81	22.5	183.8	12.56	57.00	44.4	345.2	12.41	86.48	74.1	597.7
T 3	12.60	26.94	14.3	113.8	12.53	31.94	19.4	155.0	12.61	43.90	31.3	248.3
T 4	12.51	29.40	16.9	135.2	12.32	35.13	22.8	185.2	13.03	45.05	32.0	245.4
T 5	12.70	18.44	5.7	45.3	12.49	20.17	7.7	61.6	12.66	35.09	22.4	177.3
T 6	10.49	23.12	10.6	85.1	12.61	34.19	21.6	170.6	12.53	53.96	41.4	330.6
T 7	12.46	22.95	10.5	83.9	12.43	29.35	16.9	136.1	12.41	38.87	26.5	213.3
T 8	12.87	17.94	5.1	39.4	12.64	29.94	17.3	136.9	12.67	50.32	37.7	297.2

ตารางผนวก 4 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักแห้งของหญ้าหลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม
	เริ่มต้น	20 วัน			เริ่มต้น	40 วัน			เริ่มต้น	50 วัน		
T 1	4.17	8.04	3.87	93.3	4.61	9.35	4.74	103.3	5.05	12.96	7.91	157.6
T 2	4.60	14.86	10.26	222.9	4.71	30.31	25.60	543.5	4.66	34.84	30.19	649.1
T 3	4.73	11.15	6.42	135.9	4.70	16.92	12.22	259.9	4.73	18.47	13.74	290.5
T 4	4.69	13.40	8.71	185.6	4.62	18.58	13.96	301.8	4.89	20.11	15.22	310.6
T 5	4.77	9.87	5.10	107.1	4.69	9.99	5.31	113.5	4.75	15.57	10.82	227.8
T 6	4.69	12.71	8.02	171.0	4.73	17.43	12.70	266.9	4.70	23.74	19.03	404.7
T 7	4.68	12.09	7.42	158.4	4.67	15.87	11.20	240.2	4.65	16.79	12.13	260.7
T 8	4.83	9.95	5.12	106.1	4.74	18.84	14.09	297.3	4.76	21.41	16.65	350.2

ตารางผนวก 5 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS) ของต้นหญ้าแห้ง หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กรัม)	%เพิ่ม
	เริ่มต้น	20 วัน			เริ่มต้น	40 วัน			เริ่มต้น	50 วัน		
T 1	2.62	4.96	2.34	89.8	2.89	6.14	3.25	112.3	3.17	9.79	6.62	209.8
T 2	2.89	8.90	6.01	208.0	2.96	21.13	18.17	614.1	2.92	29.85	26.93	922.0
T 3	2.97	7.26	4.29	144.6	2.95	10.15	7.20	244.0	2.97	14.81	11.84	398.6
T 4	2.95	6.83	3.88	131.6	2.90	11.13	8.23	283.4	3.07	16.06	12.98	421.7
T 5	2.99	5.71	2.72	90.8	2.94	7.41	4.47	152.0	2.98	11.27	8.29	278.4
T 6	2.94	7.81	4.87	165.4	2.97	13.66	10.68	357.4	2.95	18.72	15.76	533.7
T 7	2.94	7.60	4.66	158.4	2.93	10.98	8.05	274.8	2.92	13.75	10.83	371.0
T 8	3.03	6.00	2.97	97.8	2.98	13.33	10.35	347.6	2.99	18.39	15.40	515.8

ตารางผนวก 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของ
น้ำน้กสดของหญ้า หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน

ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำน้กสดของหญ้า					
	หลังจากปลูกได้ 20 วัน		หลังจากปลูกได้ 40 วัน		หลังจากปลูกได้ 50 วัน	
	ค่าเฉลี่ย	SD.	ค่าเฉลี่ย	SD.	ค่าเฉลี่ย	SD.
T1	42.7	18.2	61.7	9.6	134.9	21.5
T2	183.8	2.9	354.2	14.9	597.7	28.9
T3	113.8	24.3	155.0	13.5	248.3	16.8
T4	135.2	16.5	185.2	22.6	245.4	9.7
T5	45.3	12.6	61.6	16.0	177.3	24.1
T6	85.1	26.7	170.6	25.8	330.6	37.9
T7	83.9	26.8	136.1	35.1	213.3	9.5
T8	39.4	6.9	136.9	13.5	297.2	35.8

ตารางผนวก 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของ
น้ำน้กแห้งของหญ้า หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน

ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำน้กแห้งของหญ้า					
	หลังจากปลูกได้ 20 วัน		หลังจากปลูกได้ 40 วัน		หลังจากปลูกได้ 50 วัน	
	ค่าเฉลี่ย	SD.	ค่าเฉลี่ย	SD.	ค่าเฉลี่ย	SD.
T1	93.3	17.9	103.3	19.3	157.6	25.9
T2	222.9	14.6	543.3	50.1	649.1	49.4
T3	135.9	38.3	259.9	38.9	290.5	22.7
T4	185.6	30.6	301.8	39.6	310.6	14.1
T5	107.1	22.2	113.5	22.8	227.8	30.6
T6	171.0	51.1	266.9	35.8	404.7	42.5
T7	158.4	28.8	240.2	35.4	260.7	11.9
T8	106.1	25.6	297.3	22.8	350.2	34.5

ตารางผนวก 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของปริมาณของสารระเหยง่าย (VS) ของต้นหญ้าแห้ง หลังจากปลูกได้ 20 40 และ 50 วัน

ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การเพิ่ม VS ของต้นหญ้าแห้ง					
	หลังจากปลูกได้ 20 วัน		หลังจากปลูกได้ 40 วัน		หลังจากปลูกได้ 50 วัน	
	ค่าเฉลี่ย	SD.	ค่าเฉลี่ย	SD.	ค่าเฉลี่ย	SD.
T1	89.8	12.6	112.3	24.0	209.8	22.4
T2	208.0	9.0	614.1	35.7	922.0	32.6
T3	144.6	33.0	244.0	35.9	398.6	15.1
T4	131.6	18.4	283.4	25.2	421.7	30.6
T5	90.8	26.5	152.0	23.4	278.4	31.4
T6	165.4	17.2	357.4	39.9	533.7	36.2
T7	158.4	29.3	274.8	36.9	371.0	24.6
T8	97.8	24.8	347.6	30.3	515.8	34.1

ตารางผนวก 9 แสดงความเข้มข้นของ N ในดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้า
ของแต่ละชุดการทดลอง หลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน

ตัวอย่างดิน	N (% dry weight)	
	หลังจากปลูก 20 วัน	หลังจากปลูก 50 วัน
C 1	0.029	0.027
C 2	0.096	0.066
C 3	0.087	0.057
C 4	0.091	0.058
C 5	0.092	0.057
C 6	0.078	0.062
C 7	0.087	0.067
C 8	0.082	0.062
T 1	0.026	0.023
T 2	0.086	0.036
T 3	0.072	0.032
T 4	0.074	0.029
T 5	0.075	0.033
T 6	0.073	0.041
T 7	0.081	0.039
T 8	0.077	0.033

หมายเหตุ : - ตัวอย่างดินชุด C1 – C8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของแต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกหญ้า
- ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางผนวก 10 แสดงการลดลงของไนโตรเจน ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก
30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	การลดลงของไนโตรเจน (%)					
	ดินชุดควบคุม			ดินที่ใช้ปลูกหญ้า		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	3.33	6.67	10.00	13.33	10.00	23.33
T2	22.58	24.19	46.77	30.65	40.32	70.97
T3	27.66	24.95	52.60	40.13	33.22	73.35
T4	29.79	25.46	55.25	42.90	34.72	77.62
T5	32.85	25.55	58.39	45.26	30.66	75.91
T6	41.79	11.94	53.73	45.52	24.23	69.75
T7	34.15	15.14	49.29	38.70	31.79	70.48
T8	37.34	15.28	52.62	41.16	33.99	75.15

ตารางผนวก 11 แสดงสัดส่วนการ uptake N ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วัน
หลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก และ N ที่เหลือ

ชุดการทดลอง	การ uptake ไนโตรเจน (%)			N ที่เหลือ (%)
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก	
T1	10.00	3.33	13.33	86.67
T2	8.06	16.13	24.19	75.81
T3	12.47	8.27	20.75	79.25
T4	13.12	9.26	22.38	77.62
T5	12.41	5.11	17.52	82.48
T6	3.73	12.29	16.02	83.98
T7	4.54	16.65	21.19	78.81
T8	3.82	18.71	22.53	77.47

ตารางผนวก 12 แสดงอัตราการ uptake N ของหญ้าต่อวัน ในช่วง 20 วันแรก
ของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	อัตราการ uptake N/วัน (%N uptake/day)		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	0.50	0.11	0.27
T2	0.40	0.54	0.48
T3	0.62	0.28	0.41
T4	0.66	0.31	0.45
T5	0.62	0.17	0.35
T6	0.24	0.53	0.41
T7	0.23	0.56	0.42
T8	0.19	0.62	0.45

ตารางผนวก 13 แสดงอัตราส่วนการ uptake N/น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในแต่ละชุดการทดลอง
ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วัน
ทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนการ uptake N/น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (%dry weight/kg)		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	0.8	0.2	0.5
T2	1.0	1.0	1.0
T3	2.3	1.4	1.9
T4	2.0	1.8	1.9
T5	3.3	1.2	2.3
T6	0.6	1.5	1.1
T7	0.8	4.7	2.8
T8	1.0	2.1	1.6

ตารางผนวก 14 แสดงความเข้มข้นของ P_2O_5 ในดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้า
ของแต่ละชุดการทดลองหลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน

ตัวอย่างดิน	P_2O_5 (% dry weight)	
	20 วัน	50 วัน
C 1	0.034	0.030
C 2	1.733	1.301
C 3	0.053	0.042
C 4	0.210	0.165
C 5	0.033	0.028
C 6	0.325	0.279
C 7	0.155	0.133
C 8	0.115	0.082
T 1	0.031	0.022
T 2	1.349	0.345
T 3	0.047	0.026
T 4	0.181	0.086
T 5	0.030	0.019
T 6	0.269	0.145
T 7	0.127	0.076
T 8	0.095	0.040

- หมายเหตุ : - ตัวอย่างดินชุด C1 - C8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของแต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกหญ้า
- ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางผนวก 15 แสดงการลดลงของ P_2O_5 ในแต่ละชุดการทดลอง ในช่วง 20 วันแรก
ของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	การลดลงของ total P_2O_5 (%)					
	ดินชุดควบคุม			ดินที่ใช้ปลูกหญ้า		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	9.47	11.58	21.05	19.74	22.37	42.11
T2	21.81	19.49	41.30	39.13	45.28	84.42
T3	18.69	16.87	35.57	27.90	32.22	60.11
T4	13.62	18.51	32.13	25.55	39.08	64.62
T5	13.16	13.16	26.32	21.05	28.95	50.00
T6	10.42	12.68	23.10	25.85	34.18	60.03
T7	10.71	12.67	23.39	26.84	29.38	56.22
T8	16.79	23.88	40.66	31.26	39.73	70.98

ตารางผนวก 16 แสดงสัดส่วนการ uptake P_2O_5 ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก
30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก และ P_2O_5 ที่เหลือ

ชุดการทดลอง	การ uptake P_2O_5 (%)			P_2O_5 ที่เหลือ (%)
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก	
T1	10.26	10.79	21.05	78.95
T2	17.33	25.79	43.12	56.88
T3	9.20	15.34	24.55	75.45
T4	11.93	20.57	32.50	67.50
T5	7.89	15.79	23.68	76.32
T6	15.44	21.50	36.93	63.07
T7	16.13	16.71	32.83	67.17
T8	14.47	15.85	30.32	69.68

ตารางผนวก 17 แสดงอัตราการ uptake P_2O_5 ของหญ้าต่อวัน ในช่วง 20 วันแรก
ของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	อัตราการ uptake P_2O_5 /วัน (% P_2O_5 uptake/day)		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	0.51	0.36	0.42
T2	0.87	0.86	0.86
T3	0.46	0.51	0.49
T4	0.60	0.69	0.65
T5	0.39	0.53	0.47
T6	0.77	0.72	0.74
T7	0.81	0.56	0.66
T8	0.72	0.53	0.61

ตารางผนวก 18 แสดงอัตราส่วนการ uptake P_2O_5 /น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 20 วันแรก
ของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนการ uptake P_2O_5 /น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (% dry weight/kg)		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	1.0	1.2	1.1
T2	37.4	28.7	33.1
T3	0.9	1.4	1.2
T4	3.3	7.7	5.5
T5	0.6	1.0	0.8
T6	7.0	7.1	7.1
T7	3.8	6.2	5.0
T8	3.9	1.9	2.9

ตารางผนวก 19 แสดงความเข้มข้นของ K_2O ในดินชุดควบคุมและดินที่ใช้ปลูกหญ้า
ของแต่ละชุดการทดลอง หลังจากปลูกได้ 20 และ 50 วัน

ตัวอย่างดิน	K_2O (% dry weight)	
	20 วัน	50 วัน
C 1	0.853	0.795
C 2	1.250	1.080
C 3	1.251	1.081
C 4	1.364	1.138
C 5	0.909	0.803
C 6	1.137	0.967
C 7	1.138	0.966
C 8	1.067	0.909
T 1	0.852	0.684
T 2	1.081	0.739
T 3	1.080	0.684
T 4	1.080	0.684
T 5	0.907	0.684
T 6	1.081	0.740
T 7	1.136	0.741
T 8	1.024	0.740

หมายเหตุ : - ตัวอย่างดินชุด C1 – C8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของแต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกหญ้า
- ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกหญ้าของแต่ละชุดการทดลอง

ตารางผนวก 20 แสดงการลดลงของ K_2O ในแต่ละชุดการทดลอง ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	การลดลงของ total K_2O (%)					
	ดินชุดควบคุม			ดินที่ใช้ปลูกหญ้า		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	6.06	6.39	12.44	6.17	18.52	24.69
T2	8.36	12.46	20.82	20.75	25.05	45.76
T3	8.49	12.46	20.94	20.99	28.97	49.96
T4	7.76	15.28	23.04	26.96	26.78	53.74
T5	6.10	10.95	17.05	6.30	23.04	29.34
T6	9.11	13.59	22.70	13.57	27.28	40.85
T7	9.11	13.74	22.84	9.27	31.53	40.80
T8	6.04	13.89	19.96	9.86	25.00	34.86

ตารางผนวก 21 แสดงสัดส่วนการ uptake K_2O ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก และ K_2O ที่เหลือ

ชุดการทดลอง	การ uptake K_2O (%)			K_2O ที่เหลือ (%)
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก	
T1	0.11	12.13	12.24	87.76
T2	12.39	12.58	24.97	75.03
T3	12.51	16.51	29.02	70.98
T4	19.21	11.50	30.70	69.30
T5	0.21	12.09	12.29	87.71
T6	4.46	13.69	18.15	81.85
T7	0.16	17.80	17.96	82.04
T8	3.79	11.12	14.90	85.10

ตารางผนวก 22 แสดงอัตราการ uptake K_2O ของหญ้าต่อวัน ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

ชุดการทดลอง	อัตราการ uptake K_2O /วัน (% K_2O uptake /day)		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	0.01	0.40	0.24
T2	0.62	0.42	0.50
T3	0.63	0.55	0.58
T4	0.96	0.38	0.61
T5	0.01	0.40	0.25
T6	0.22	0.46	0.36
T7	0.01	0.59	0.36
T8	0.19	0.37	0.30

ตารางผนวก 23 แสดงอัตราส่วนการ uptake K_2O /น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 20 วันแรกของการปลูก 30 วันหลังของการปลูก และ 50 วันทั้งหมดของการปลูก

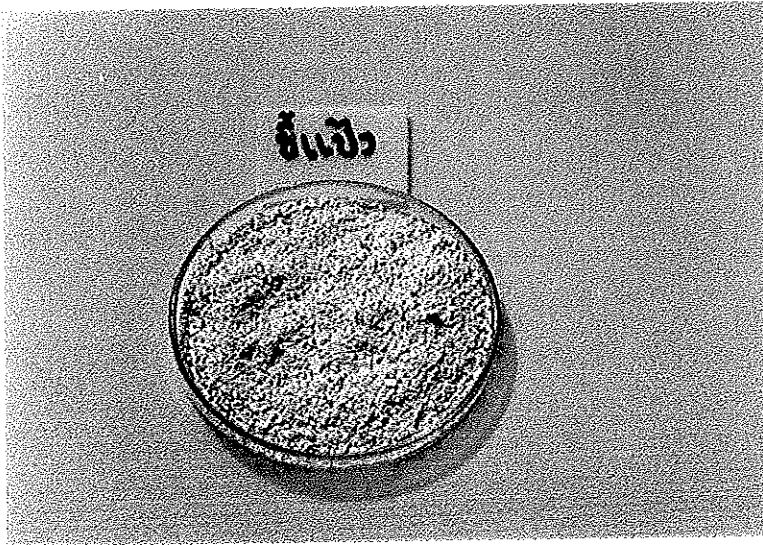
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนการ uptake K_2O /น้ำหนักหญ้าที่เพิ่มขึ้น (% dry weight/kg)		
	20 วันแรก ของการปลูก	30 วันหลัง ของการปลูก	50 วันทั้งหมด ของการปลูก
T1	0.3	23.7	12.0
T2	16.5	8.6	12.6
T3	26.6	30.8	28.7
T4	32.6	26.1	29.4
T5	0.4	20.5	10.5
T6	7.0	15.6	11.3
T7	0.3	47.3	23.8
T8	8.4	11.0	9.7

ตารางผนวก 24 แสดงค่า% SC และ% VS ของดินก่อนปลูกหญ้าและหลังจากปลูกได้
20 40 และ 50 วัน

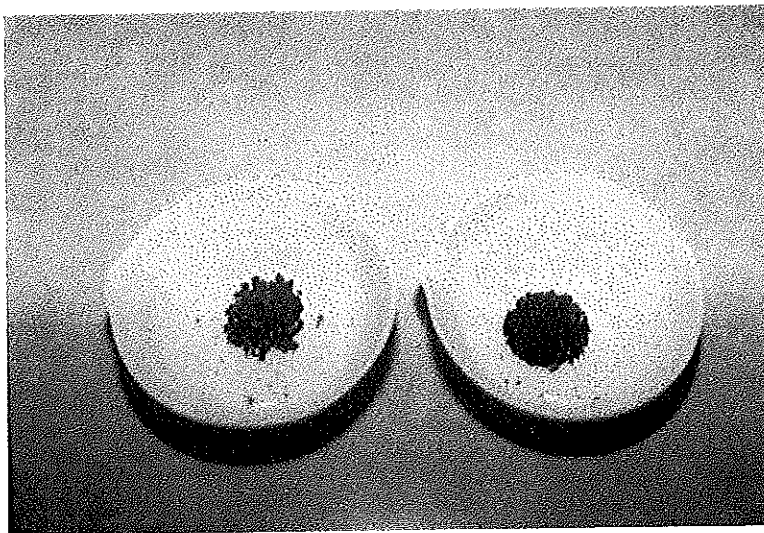
sample	start		20 วัน		40 วัน		50 วัน	
	% SC	% VS	% SC	% VS	% SC	% VS	% SC	% VS
C1	96.8	2.5	91.3	1.9	92.0	1.7	91.0	1.6
C2	90.9	5.1	89.6	4.0	91.3	2.9	89.3	1.9
C3	92.5	3.0	96.3	2.7	92.5	1.8	85.4	1.7
C4	90.1	3.9	97.9	2.1	92.3	2.0	94.1	1.5
C5	97.6	2.4	95.8	2.0	91.5	1.7	88.3	1.5
C6	95.0	2.6	95.3	2.2	90.6	2.0	89.6	1.9
C7	94.8	2.2	99.6	1.9	90.3	2.1	87.1	1.8
C8	94.8	2.4	94.4	1.7	91.6	2.0	91.1	1.6
T1	96.8	2.5	95.6	1.9	93.3	1.7	84.6	1.7
T2	90.9	5.1	88.5	4.1	93.4	3.3	88.8	1.7
T3	92.5	3.0	95.2	1.8	93.6	1.6	91.4	1.6
T4	90.1	3.9	96.6	1.8	93.1	1.7	87.0	1.7
T5	97.6	2.4	95.0	2.3	95.3	1.8	89.5	1.7
T6	95.0	2.6	93.5	2.9	95.0	1.9	86.5	1.8
T7	94.8	2.2	94.9	1.8	94.4	1.9	89.6	1.8
T8	94.8	2.4	93.5	2.4	94.9	1.8	91.3	1.7

หมายเหตุ ตัวอย่างดินชุด C1 - C8 เป็นดินชุดควบคุมจากแปลงทดลองของ
แต่ละชุดการทดลองซึ่งไม่ได้ปลูกหญ้า
ตัวอย่างดินชุด T1 - T8 เป็นดินที่เก็บหลังจากปลูกหญ้าของ แต่ละ
ชุดการทดลอง

ภาคผนวก ข
ภาพประกอบ



ภาพประกอบผนวก 1 แสดงกากชีเบียวหลังจากนำมาอบแห้งและบดแล้ว



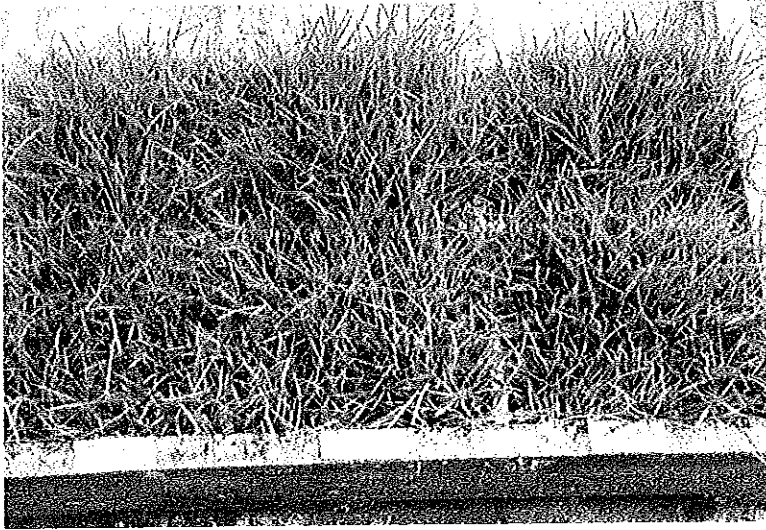
ภาพประกอบผนวก 2 แสดงกากชีเบียวหลังจากนำมาเผา



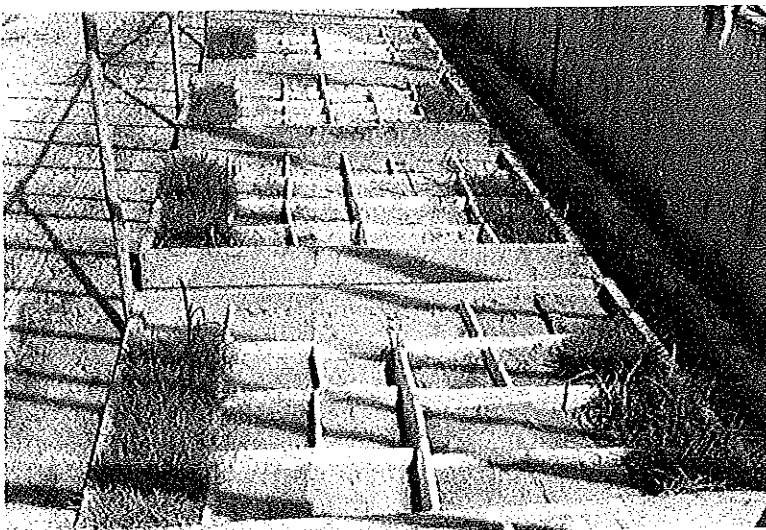
ภาพประกอบผนวก 3 แสดงการปลุกหญ้าโดยวิธีการแยกออกเป็นต้น



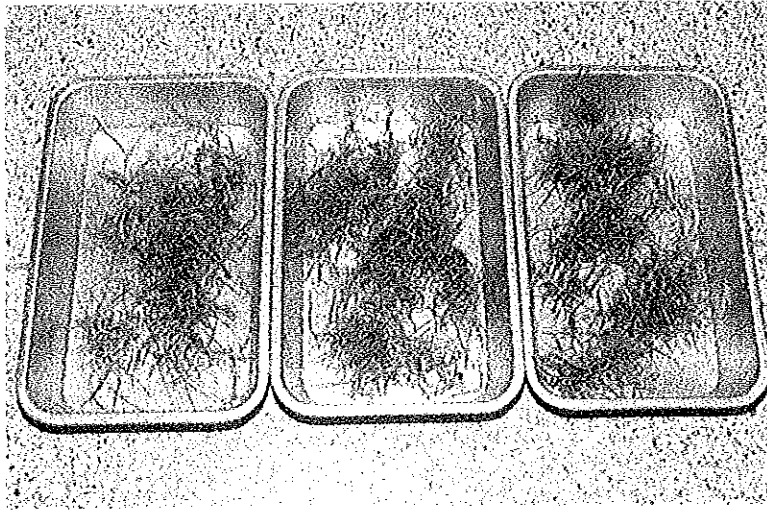
ภาพประกอบผนวก 4 แสดงการเก็บเกี่ยวหญ้าหลังจากปลูกได้ 20 วัน



ภาพประกอบผนวก 5 แสดงการเจริญเติบโตของต้นกล้าของชุดการทดลองที่ 2 (ใช้กากขี้เถ้าเป็นสารที่ให้ธาตุอาหารพืช) หลังจากปลูกได้ 40 วัน



ภาพประกอบผนวก 6 แสดงการเจริญเติบโตของต้นกล้าของชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 6 7 และ 8 หลังจากปลูกได้ 50 วัน



ภาพประกอบผนวก 7 แสดงต้นหญ้าหลังการเก็บเกี่ยวของชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม : ไม่ได้ใส่ธาตุอาหารใดๆ) หลังจากปลูกได้ 50 วัน



ภาพประกอบผนวก 8 แสดงต้นหญ้าหลังการเก็บเกี่ยวของชุดการทดลองที่ 2 (ใช้กากขี้เถ้าเป็นสารที่ให้ธาตุอาหาร) หลังจากปลูกได้ 50 วัน

ภาคผนวก ค
วิธีการวิเคราะห์กากขี้แป้งและดิน

วิธีการวิเคราะห์กากชี้แป้ง

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

(1 : 5 water)

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าประมาณ 30 นาที โดยเครื่องเขย่า (Shaker)
3. วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที
4. วัดค่า pH ของสารละลาย ด้วยเครื่อง pH meter

2. ความหนาแน่น (density)

(weight / volume)

วิธีทำ

1. เติมน้ำกลั่น (ทราบปริมาตร) ลงในปิ๊กเกอร์ และ mark ระดับน้ำเอาไว้
2. ชั่งตัวอย่างใส่ในปิ๊กเกอร์
3. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง (M)
4. ใช้หลอดหยด หรือปิเปต ดูดน้ำออกจนถึงขีดระดับที่ mark ไว้ แล้วนำมาวัดปริมาตร

(V) ที่ถูกมวลของตัวอย่างแทนที่

การคำนวณ

$$D = M / V$$

โดยที่

$$D = \text{ความหนาแน่น (กรัม / มิลลิลิตร)}$$

$$M = \text{มวลหรือน้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}$$

$$V = \text{ปริมาตร ของน้ำที่ถูกมวลแทนที่ (มิลลิลิตร)}$$

3. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content)
ความชื้น (moisture content) และ
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solid content)
 (gravimetric method)

วิธีทำ

1. อบถ้วยระเหย (evaporating dish) ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
2. นำถ้วยไปใส่ใน dessicator ที่งัไว้ให้เย็น (ประมาณ 15 - 30 นาที)
3. ชั่งน้ำหนักถ้วย (A)
4. ตักตัวอย่างใส่ลงในถ้วย
5. บันทึกน้ำหนักรวมของถ้วยและตัวอย่าง (B)
6. นำถ้วยไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
7. นำถ้วยไปใส่ใน dessicator ที่งัไว้ให้เย็น (ประมาณ 15 - 30 นาที)
8. ชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยและตัวอย่างหลังการอบ (C)
9. นำถ้วยไปเผา โดยใช้เตาเผา (furnace) ที่อุณหภูมิ 550 ± 50 °C เป็นเวลาประมาณ 20 นาที
10. นำถ้วยไปใส่ใน dessicator ที่งัไว้ให้เย็น (ประมาณ 30 นาที)
11. ชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยและตัวอย่างหลังการเผา (D)

การคำนวณ

$$\% \text{ TSC (ปริมาณของแข็งทั้งหมด)} = (Y \times 100) / X$$

$$\% \text{ MC (ความชื้น)} = ((X - Y) \times 100) / X$$

$$\% \text{ FS (ปริมาณของแข็งที่คงอยู่)} = (Z \times 100) / Y$$

$$\% \text{ VS (ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้)} = ((Y - Z) \times 100) / Y$$

โดยที่

$$X = \text{น้ำหนักของตัวอย่างสด} \quad (B-A) \quad \text{หน่วยเป็น กรัม}$$

$$Y = \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ} \quad (B-C) \quad \text{หน่วยเป็น กรัม}$$

$$Z = \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา} \quad (C-D) \quad \text{หน่วยเป็น กรัม}$$

4. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) (kjeldahl method)

เครื่องมือ

1. Digestion, ใช้ kjeldahl flask หนาพอสมควร ขนาด 500 - 800 มิลลิลิตร ใช้ น้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ต้มประมาณ 5 นาที
2. Distillation, ใช้ kjeldahl flask ขนาด 500 - 800 มิลลิลิตร และชุดกลั่น

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4 93-98%, N-free)
2. เมอร์คิวรีออกไซด์ (HgO reagent grade, N-free)
3. โพแทสเซียมซัลเฟต หรือ โซเดียมซัลเฟต (K_2SO_4 / anhydrous Na_2SO_4 , N-free)
4. กรดซาลิซิลิก (salicylic acid, N-free)
5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (sodium thiosulfate solution)
เตรียมโดยละลาย $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 80 กรัม ในน้ำ de-ionized แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % (sodium hydroxide solution 40 %)
เตรียมโดย ละลาย NaOH 400 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้เย็น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร โดยน้ำ de-ionized
7. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (mix indicator solution)
เตรียมโดยละลาย Methyl red indicator 0.066 กรัม และ bromocresol green 0.099 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ ปรับเป็นสีเขียวเข้ม (pH ประมาณ 4.2) ด้วย 0.1 N NaOH แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์
8. สารละลายกรดบอริกอินดิเคเตอร์ (boric acid - indicator solution)
เตรียมโดย ละลาย H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำ deionized ประมาณ 900 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบน hotplate จนละลายหมด แล้วเติม mix indicator จนได้สารละลายสีชมพู ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
9. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก (standard sulfuric acid solution) 0.05 N
เตรียมโดย pipette conc. H_2SO_4 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 1 ลิตร

ซึ่งมีน้ำ de-ionized อยู่ประมาณ 800 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.7 - 2.2 กรัม ใส่ใน digestion flask ขนาด 800 มิลลิลิตร
2. เติม H_2SO_4 40 มิลลิลิตร และ 2 กรัม salicylic acid
3. เขย่าประมาณ 30 นาที
4. เติม $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 5 กรัม
5. เขย่า และทิ้งไว้ 5 นาที
6. เติม glass bead แล้วทำการย่อยจนสารละลายไม่มีฟอง
7. ปิด heater เติม 0.7 กรัม HgO และ 15 กรัม $powd. K_2SO_4/anhyd. Na_2SO_4$
8. ทำการย่อยต่อจนกระทั่งสารละลายใส ปล่อยให้เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง
9. เติมน้ำประมาณ 200 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง
10. เติมสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 25 มิลลิลิตร
11. เขย่าให้สารละลายผสมกันดี จน Hg ตกตะกอน
12. เติม 40 % NaOH 50 ml หรือเติมมากพอเพื่อให้เป็นด่าง
13. ตวงสารละลายกรดบอริก อินดิเคเตอร์ 50 มิลลิลิตร ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
14. นำไปวางใต้ก้าน condenser โดยให้ก้าน condenser จุ่มลงในสารละลายเพื่อรองรับ แอมโมเนียที่ได้จากการกลั่น
15. ทำการกลั่น ให้ได้สารละลายใน erlenmeyer flask ประมาณ 200 มิลลิลิตร และสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว เอา erlenmeyer flask ออก
16. ไตเตรตสารละลายที่ได้กับสารละลายมาตรฐาน 0.05 N H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
17. บันทึกปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไตเตรต
18. ทำ Blank โดยใช้วิธีเช่นเดียวกับตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\%N = ((a - b) \times N) \times 1.4007 / \text{กรัม sample}$$

โดยที่

a = ปริมาตร ของกรดซัลฟูริก ที่ใช้ไตเตรตสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

b = ปริมาตร ของกรดซัลฟูริก ที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N = normality สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก

5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) (spectrophotometric molybdovanadophosphate method)

สารเคมี

1. กรดไนตริก (HNO_3)

2. สารละลายโมลิบโดวานาเดท (molybdovanadate solution)

เตรียมโดย ละลาย $\text{NH}_4 \text{ molybdate} \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$ 40 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร และละลาย NH_4VO_3 2 กรัม ในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย molybdate ลงในสารละลาย vanadate แล้วเติม 70% HClO_4 450 ml และปรับปริมาตรให้ได้ 2 ลิตร

3. สารละลายมาตรฐาน P_2O_5

เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 และ 1.0 mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ml}$ โดยใช้ KH_2PO_4 (52.15% P_2O_5) ซึ่งอบที่ 105°C 2 ชั่วโมง โดยละลาย KH_2PO_4 0.0767 0.0959 0.1151 0.1342 0.1534 0.1726 และ 0.1918 กรัม ตามลำดับ ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปต สารละลายมาตรฐาน 5 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ แต่ละความเข้มข้น ลงใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่ความเข้มข้น 2-5 mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{aliquot}$

0.4	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ml}$	ปิเปต solution 5 ml	=	2.0	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{aliquot}$
0.5	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ml}$	ปิเปต solution 5 ml	=	2.5	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{aliquot}$
0.6	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ml}$	ปิเปต solution 5 ml	=	3.0	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{aliquot}$
0.7	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ml}$	ปิเปต solution 5 ml	=	3.5	mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{aliquot}$

0.8	mg P ₂ O ₅ /ml	ปิเปต solution 5 ml	=	4.0	mg P ₂ O ₅ /aliquot
0.9	mg P ₂ O ₅ /ml	ปิเปต solution 5 ml	=	4.5	mg P ₂ O ₅ /aliquot
1.0	mg P ₂ O ₅ /ml	ปิเปต solution 5 ml	=	5.0	mg P ₂ O ₅ /aliquot

2. เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลาย molybdovanadate 20 มิลลิลิตร

4. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

5. วางไว้ 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 nm.

6. เขียนกราฟ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ กับ ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (mg P₂O₅/มิลลิลิตร) โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ใน kjeldahl flasks

2. เติม HNO₃ 20-30 มิลลิลิตร แล้วย่อยบน hot plate จนควันสีน้ำตาลหมด

3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. เติม 70-72% HClO₄ 10-20 มิลลิลิตร

5. ย่อยสารละลายที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ค่อย ๆ เพิ่มความร้อน จนกระทั่งสารละลายใส (จนแทบจะไม่มีควันขาวปรากฏใน flasks)

6. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

7. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

8. ต้มต่อประมาณ 2-3 นาที

9. ปิเปตสารละลายมา 5 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร

10. เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร

11. เติมสารละลาย molybdovanadate 20 มิลลิลิตร

12. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

13. วางไว้ 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 nm.

14. ทำ blank โดยใช้วิธีเช่นเดียวกับตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 = 100 \times (\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ from standard curve} / \text{mg sample in aliquote})$$

6. โปตัสเซียม (potassium) (volumetric sodium tetraphenylboron method I)

สารเคมี

1. สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde solution (HCHO)) 37%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide solution) 20%
เตรียมโดย ละลาย 20 g NaOH ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายโซเดียมเตรททระฟีนีลโบรอน (sodium tetraphenylboron (STPB) solution) 1.2%
เตรียมโดย ละลาย $\text{NaB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ 12 g ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร แล้วเติม $\text{Al}(\text{OH})_3$ 20 - 25 g กวนประมาณ 5 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง whatman No.42 เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร 20% NaOH แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร วางไว้ 48 ชั่วโมง แล้วทำการ standardize และปรับให้ 1 มิลลิลิตร = 1% K_2O เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
4. สารละลายเบนซัลโคนเนียมคลอไรด์ (benzalkonium chloride (BAC) solution) 0.625%
เตรียมโดยนำสารละลายเบนซัลโคนเนียมคลอไรด์ 17% มา 38 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ทำการ standardize
5. สารละลาย clayton yellow อินดิเคเตอร์ (titan yellow; colour Index No.19540) 0.04%
เตรียมโดยละลาย clayton yellow 40 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
6. สารละลายแอมโมเนียมออกซาลาเลท (ammonium oxalate solution) 4%
เตรียมโดยละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 4 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

การ standardize

1. สารละลายเบนซัลโคเนียมคลอไรด์

1. เติมสารละลายเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ 1 มิลลิลิตร ใน erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 20-25 มิลลิลิตร
3. เติม 20% NaOH 1 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 2.5 มิลลิลิตร
5. เติม 4% $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ solution 1.5 มิลลิลิตร
6. ไตเตรตด้วยสารละลายเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ โดยใช้สารละลาย clayton yellow เป็นอินดิเคเตอร์ (ใช้ 6 - 8 หยด) จุดยุติเป็นสีชมพูปรับสารละลายเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ ดังนั้น 2 มิลลิลิตร BAC solution = 1 มิลลิลิตร STPB solution

2. sodium tetraphenylboron (STPB) solution

1. ละลาย 2.5 g KH_2PO_4 ในน้ำกลั่น ใน volumetric flask 250 มิลลิลิตร
2. เติม 50 มิลลิลิตร 4% $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ solution
3. ถ่ายสารละลาย 15 มิลลิลิตร (51.92 mg K_2O , 43.10 mg K) ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร
4. เติม 20% NaOH 2 มิลลิลิตร
5. เติมสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 5 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมเตรททระฟีนีลโบรอน 43 มิลลิลิตร
6. ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
7. ทิ้งไว้ 5 - 10 นาที แล้วกรอง
8. นำสารละลาย 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านกระดาษกรองแล้ว ลงใน erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร
9. ไตเตรตด้วยสารละลายเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ โดยใช้สารละลาย clayton yellow เป็นอินดิเคเตอร์ (ใช้ 6 - 8 หยด) จุดยุติเป็นสีชมพู

การคำนวณ

$$F = 34.61 / (43 \text{ มิลลิลิตร} - \text{มิลลิลิตร BAC}) = \% \text{ K}_2\text{O} / \text{มิลลิลิตร STPB reagent}$$

- * F ใช้แทนปุ๋ยทั้งหมด ถ้า sample 2.5 g ถูก dilute เป็น 250 มิลลิลิตร และใช้สารละลาย 15 มิลลิลิตร ในการวิเคราะห์.
- * ถ้าผล เน้น $K > K_2O$ ให้ใช้ 28.73 แทน 34.61 ในการคำนวณค่า F

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 2.5 g (1.25 g ถ้า $K_2O > 50\%$) ใส่ใน volumetric flask 250 มิลลิลิตร
2. เติม 4% $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ solution 50 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่น 125 มิลลิลิตร และต้มประมาณ 30 นาที
4. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิ ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
5. กรองและทิ้งไว้จนกระทั่งใส
6. ถ่ายสารละลาย 15 มิลลิลิตร ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร
7. เติม 20% NaOH 2 มิลลิลิตร และสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 5 มิลลิลิตร
8. เติมสารละลายโซเดียมเตรทอะฟีนิลโบรอน 1 มิลลิลิตร สำหรับแต่ละ 1% K_2O เติม 8 มิลลิลิตร เพื่อให้แน่ใจว่าการตกตะกอนสมบูรณ์
9. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 - 10 นาที และกรอง
10. ถ่ายสารละลาย 50 มิลลิลิตร ที่กรองแล้วลงใน 125 มิลลิลิตร Erlenmeyer flask
11. ไตเตรตด้วยสารละลายเบนซิลโคเนียมคลอไรด์ โดยใช้ สารละลาย clayton yellow เป็นอินดิเคเตอร์ (ใช้ 6 - 8 หยด) จุดยุติเป็นสีชมพู

การคำนวณ

$$\% \text{ K}_2\text{O in sample} = (\text{มิลลิลิตร STPB added} - \text{มิลลิลิตร BAC}) \times F$$

เมื่อ $F = \% \text{ K}_2\text{O} / \text{มิลลิลิตร STPB reagent} (\times 2 \text{ ถ้าใช้ตัวอย่างแค่ } 1.25 \text{ g})$

7. แมกนีเซียม (magnesium)
(EDTA titration method)

สารเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 (buffer solution pH 10)
เตรียมโดย ละลาย NH_4Cl 67.5 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร และเติม NH_4OH 570 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
2. สารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ - โปตัสเซียมไซยาไนด์ (KOH-KCN solution)
เตรียมโดย ละลาย KOH 280 กรัม และ KCN 66 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
3. สารละลายโปตัสเซียมไซยาไนด์ (KCN solution) 2 %
เตรียมโดยละลาย KCN 2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายอิริโอโครมแบลคทีอินดิเคเตอร์ (eriochrome black T indicator solution)
เตรียมโดย ละลาย eriochrome black T indicator ($\text{HOC}_{10}\text{H}_6\text{N} : \text{NC}_{10}\text{H}_4(\text{OH})(\text{NO}_2)\text{SO}_3\text{Na}$) (Eastman kodak P 6361, or equiv.) 0.2 กรัม ใน 50 มิลลิลิตร MeOH ซึ่งประกอบด้วย $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 2 กรัม (เก็บได้นาน 1 เดือน)
5. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (magnesium standard solution) 0.25 และ 1.00 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
เตรียมโดย ละลาย Mg 0.25 กรัม และ Mg 1.00 กรัม ใน HCl 1+10 แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร โดยน้ำกลั่น
6. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (calcium standard solution) 1.00 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
เตรียมโดย ละลาย CaCO_3 (อบ 2 ชั่วโมง, 285 °C) 2.4973 กรัม ใน HCl 1+10 แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร โดยน้ำกลั่น
7. แคลเซอิน อินดิเคเตอร์ (calcein indicator)
เตรียมโดย บด Calcein indicator (2',7' - bis ((bis (carboxymethyl) amino) methyl) - fluorescein , sodium derivative , sodium salt) 1 กรัม ,charchoal 10 กรัม และ KCl 100 กรัม
8. สารละลายมาตรฐานไดไฮโดรเจนไดโซโดเนียมเอ็ดทีเอ (disodium dihydrogen EDTA

standard solution) 0.4 % และ 0.1 %

(1) 0.4 %

เตรียมโดยละลาย $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ 4 g ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร แล้ว standardize กับ สารละลายมาตรฐานแคลเซียมและแมกนีเซียม 1.00 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

(2) 0.1 %

เตรียมโดยละลาย $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ 1 g ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร แล้ว standardize กับ สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 0.25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

9. สารละลายไตรเอทานอลามีน (triethanolamine solution) 1 : 1

เตรียมโดย ผสม triethanolamine และน้ำกลั่น ในสัดส่วน 1 : 1

10. สารละลายโปตัสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (potassium ferrocyanide solution)

เตรียมโดย ละลาย $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ 4 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

11. สารละลายเฟอร์ริกแอมโมเนียมซัลเฟต (ferric ammonium sulfate solution)

เตรียมโดย ละลาย $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ 136 กรัม ในน้ำกลั่น ซึ่งประกอบด้วย 5 มิลลิลิตร H_2SO_4 แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร (กรอง ถ้าไม่ใส)

12. สารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide solution) 10 %

เตรียมโดย ละลาย KOH 10 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

13. สารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide solution) 30 %

เตรียมโดย ละลาย KOH 30 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

standardization

สารละลายมาตรฐาน Ca

1. เติม สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 10 มิลลิลิตร ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 300 มิลลิลิตร

2. เติม น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

3. เติม KOH - KCN solution 10 มิลลิลิตร

4. เติม calcein indicator 35 มิลลิกรัม ผสมให้เข้ากัน

5. ไตเตรต กับ 0.4 % disodium dihydrogen EDTA standard solution จนได้จุดยุติเป็น

สีชมพู

การคำนวณ

titer Ca soln = 10/มิลลิลิตร EDTA solution

สารละลายมาตรฐาน Mg

1. เติม Mg standard solution 0.25 mg/มิลลิลิตร และ 1.00 mg/มิลลิลิตร 10 มิลลิลิตร ลงใน 300 มิลลิลิตร erlenmeyer flask
 2. เติม น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
 3. เติม Buffer solution pH 10 5 มิลลิลิตร
 4. เติม 2% KCN solution 2 มิลลิลิตร
 5. เติม eriochrome black T indicator 10 หยด ผสมให้เข้ากัน
- ไตเตรตกับ 0.1 % และ 0.4 % disodium dihydrogen EDTA standard solution จนได้จุดยุติเป็นสีชมพู

การคำนวณ

titer Mg soln = 2.5 / มิลลิลิตร EDTA solution
(ในกรณี ที่ไตเตรตกับ 0.1 % disodium dihydrogen EDTA standard solution)

titer Mg soln = 10 / มิลลิลิตร EDTA solution
(ในกรณี ที่ไตเตรตกับ 0.4 % disodium dihydrogen EDTA standard solution)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติม HCl 5 มิลลิลิตร และ HNO₃ 10 มิลลิลิตร
3. ปิดด้วยกระจกนาฬิกาและต้มจนเกือบแห้ง (ประมาณ 30 นาที)
4. ปลดปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
5. เติม 70 - 72 % HClO₄ 5 มิลลิลิตร
6. ต้มต่อไปเรื่อย ๆ จน กระจกไม่มีฟอง แต่อย่าให้แห้ง

7. วางสารละลายที่เตรียมไว้ ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
8. ล้างกระจกนาฬิกาและด้านในของบีกเกอร์ ด้วยน้ำกลั่น ประมาณ 100 มิลลิลิตร
9. ใช้ pH meter ที่ electrode เป็น glass และ stirring ปรับ pH ให้ได้ 3 ด้วย 30% KOH และปรับให้ได้ 4 ด้วย 10 % KOH
 10. เติม $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2$, 5 มิลลิลิตร for sample < 7% P_2O_5
 , 10 มิลลิลิตร for sample < 7 - 15% P_2O_5
 , 15 มิลลิลิตร for sample < 16 - 30% P_2O_5
 11. ปรับ pH ให้ได้ 5.0 ด้วย KOH solution ดังเช่นวิธีข้างบน (ใช้ 30 %KOH, 10 % KOH หรือด้วย HCl 1+4 ถ้า pH > 5.0)
 12. ปลอ่ยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
 13. ถ่ายลงใน volumetric flask 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
 14. ปลอ่ยให้ตกตะกอน กรองด้วยกระดาษกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 cm (Whatman No. 1)
 15. ปิเปตสารละลายที่ประกอบด้วย Ca+Mg <15 มิลลิกรัม (25 มิลลิลิตร) ลงใน erlenmeyer flask 300 มิลลิลิตร 2 ชุด
 16. ปรับปริมาตรแต่ละชุดให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

การไตเตรต Ca+Mg

1. เติม pH 10 buffer solution 5 มิลลิลิตร
2. เติม KCN solution 2 มิลลิลิตร
3. เติม triethanolamine solution 2 หยด
4. เติม K_4FeCN_6 solution 5 หยด
5. ไตเตรต ทันทีด้วย disodium dihydrogen EDTA standard solution โดยใช้ eriochrome black T 8 หยด เป็น indicator จุดยุติสีเปลี่ยนจากแดง (อุ่น), ม่วง, น้ำเงินเข้ม เป็น น้ำเงินใส (จะเป็นสีเขียว ถ้า titrate เกินจุดยุติ)

การไตเตรต Ca

1. เติม KOH - KCN solution 10 มิลลิลิตร
2. เติม triethanolamine solution 2 หยด

3. เติม K_4FeCN_6 solution 5 หยด
4. เติม calcein indicator 15 ± 1 mg
5. ไตเตรต กับ 0.4 % disodium dihydrogen EDTA standard solution จนได้จุดยุติ

เป็นสีชมพู

การคำนวณ

$$(\text{titrn 1} - \text{titrn 2}) \times \text{Mg titer EDTA} \times 100/\text{mg sample in aliquot} = \% \text{ Mg}$$

$$\text{titrn 2} \times \text{Ca titer EDTA} \times 10/\text{mg sample in aliquot} = \% \text{ Ca}$$

โดยที่

$$\text{Ca titer EDTA} = \text{Vol. EDTA solution ที่ใช้ในการ Stdze. 1}$$

$$\text{Mg titer EDTA} = 0.6064 \times 1$$

$$\text{titrn 1} = \text{Vol. EDTA solution ที่ใช้ในการ titrate Ca+Mg}$$

$$\text{titrn 2} = \text{Vol. EDTA solution ที่ใช้ในการ titrate Ca}$$

8. สังกะสี (Zn)

(Atomic Absorbtion Method)

สารเคมี

1. conc. HCl

2. 2 N HCl

เตรียมโดย เจือจาง conc. HCl เข้มข้น 166.7 มิลลิลิตร ในน้ำ deionized ประมาณ 800 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายมาตรฐาน Zn

เตรียมที่ความเข้มข้น 0.10 0.20 0.30 และ 0.40 mg/l

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร
3. ต้มบน hot plate จนสารละลายเกือบแห้ง
4. เติม 2 N HCl 20 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด
5. ปิดเตา วางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ล้างตะกอนด้วยน้ำ de-ionized แล้วปรับปริมาตรสารละลายให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกัน
7. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อหาปริมาณ Zn ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
8. ทำ blank เช่นเดียวกับข้อ 2-7
9. เขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับ ค่าความเข้มข้นของ Zn โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง

การคำนวณ

$$\% \text{ Zn} = (X - b) \times 100 / \text{soil wt.} \times 10,000$$

โดยที่

X = ความเข้มข้นของ Zn ในสารละลายตัวอย่างเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/l)

b = ความเข้มข้นของ Zn ใน blank เทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/l)

9. ซีโอดี (chemical oxygen demand ;COD)
(open reflux method)

สารเคมี

1. mercury (II) sulfate (HgSO₄)
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H₂SO₄)
3. สารละลายโพตัสเซียมไดโครเมต

4. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต
5. สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์

วิธีทำ

1. ใส mercury (II) sulfate ประมาณ 0.4 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์ (COD flask)
2. เติมน้ำตัวอย่างลงไป 20.0 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
3. เติม glass bead ลงไปประมาณ 4 - 5 เม็ด
4. เติม 5.0 มิลลิลิตร conc. H₂SO₄ + Ag₂SO₄
5. เติม 0.25 N สารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร
6. ค่อย ๆ เติม conc. H₂SO₄ + Ag₂SO₄ 25 มิลลิลิตร
7. ผสมสารละลายในขวดให้เข้ากัน แล้วนำขวดรีฟลักซ์ไปต่อเข้ากับ condenser
8. ต้มให้เดือด (reflux) นาน 2 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
9. ล้าง condenser ด้วยน้ำกลั่น แล้วถอดขวดรีฟลักซ์ออก
10. เติมน้ำกลั่นลงไปในขวด ประมาณ 80 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
11. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
12. ไตเตรตกับ 0.1 N สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้ ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ (2 - 3 หยด) จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

การคำนวณ

$$\text{mg/L COD} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{ml sample}}$$

โดยที่

- COD = ค่า Chemical Oxygen Demand จากไดโครเมต
- a = ml. ของ FAS ที่ใช้ไตเตรต blank
- b = ml. ของ FAS ที่ใช้ไตเตรต sample
- N = Normality ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต

Standardization

1. เติมสารละลายมาตรฐานปอดัสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น
3. เติม conc. H_2SO_4 30 มิลลิลิตร
4. วางทิ้งไว้ให้เย็น
5. ไตเตรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 N โดยใช้สารละลาย ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

$$\text{Normality (FAS)} = \frac{\text{ml. } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{ml. FAS}}$$

10. บีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD)
(azide modification method)

สารเคมี

1. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer solution)
เตรียมโดยละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $Na_2HPO_4 \cdot 7 H_2O$ และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีค่า pH เท่ากับ 7
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate solution)
เตรียมโดย ละลาย $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride solution)
เตรียมโดยละลาย anhydrous $CaCl_2$ 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride solution)
เตรียมโดย ละลาย $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (manganese sulfate solution)

เตรียมโดย ละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ 480 กรัม ($\text{MnSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ 400 กรัม หรือ $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 364 กรัม) ในน้ำกลั่น กรอง แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายอัลคาไลไอโอไดด์-เอไซด์ (alkali-iodide azide)

เตรียมโดย ละลาย NaOH 500 กรัม หรือ KOH 700 กรัม และ NaI 135 กรัม หรือ KI 150 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เติม NaN_3 10 กรัม (ซึ่งเตรียมไว้ก่อน โดยละลายในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร) ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสี กับน้ำแข็งเมื่อทำให้เป็นกรดหรือทำให้เจือจาง

7. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

8. น้ำแข็งอินดิเคเตอร์

เตรียม โดย ละลาย soluble starch 5 กรัม ในน้ำเย็นเล็กน้อย เทลงในน้ำที่กำลังเดือด 1 ลิตร คนและตั้งไว้ค้างคืน รินเอาเฉพาะน้ำใส ๆ ข้างบน เก็บโดยการเติมกรดซาลิซิลิก (Salicylic acid) 1.25 กรัม ต่อน้ำแข็ง 1 ลิตร

9. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N (sodiumthiosulfate solution)

เตรียมโดยละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ 6.205 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติม NaOH 0.4 กรัม หรือ NaOH 6 N 1.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ทำการ standardize สารละลายนี้ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต

10. โปตัสเซียมไอโอไดด์

11. สารละลายกรดซัลฟูริก 1+9

เตรียมโดยละลาย กรดซัลฟูริก 1 ส่วน ต่อน้ำกลั่น 9 ส่วน

12. สารละลายโปตัสเซียมไบโอไอเดต 0.025 N (potassiumiodate solution)

เตรียมโดย ละลาย $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 812.4 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดแก้วมีฝาปิด

วิธีทำ

1. เตรียม Dilution water โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และสารละลายเฟอริกคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วเติมอากาศ (aerate) ประมาณ 20 - 30 นาที

2. ทำการเจือจางน้ำตัวอย่าง 2 ขวด ตามสัดส่วนที่ต้องการโดยใช้ dilution water

3. นำขวดหนึ่งมาหาค่า Dissolved Oxygenในวันแรก (DO_0)

4. อีกขวดหนึ่งนำไป incubator ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
5. เมื่อครบ 5 วันแล้ว นำตัวอย่างมาหาค่า DO ที่เหลืออยู่ในวันที่ 5 (DO_5)

การคำนวณ

$$BOD_5 = (DO_0 - DO_5) / \% \text{ dilution}$$

วิธีการหา DO

1. นำตัวอย่างมาเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตร และ สารละลายอัลคาไลน์ไฮโอไดด์ไฮไซค์ 1 มิลลิลิตร
2. ปิดจุก เขย่าขวดบีโอดีกลับไปมา ประมาณ 15 ครั้ง
3. บล่อยให้ตกตะกอนนอนกัน เมื่อเห็นน้ำใสข้างบนประมาณ 100 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนหายไป
4. นำมาไทเตรตเท่ากับ $200 * (300 / 300 - 2)$ เท่ากับ 201 มิลลิลิตร
5. ไทเตรตกับ 0.025 N สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี

การ Standardize สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 N

1. ชั่งสารละลายโปตัสเซียมไฮโอไดด์ (KI) 2 กรัม
2. เติมกรดซัลฟูริก 1 + 9 10 มิลลิลิตร
3. เติม 0.025 N สารละลายโปตัสเซียมไฮโอเดต 20 มิลลิลิตร
4. เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 200 มิลลิลิตร
5. ไทเตรตกับ 0.025 N สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี

วิธีการวิเคราะห์ดิน

1. การนำไฟฟ้า (electrical conductivity; Ec)
(1 : 5 water)

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าประมาณ 30 นาที โดยเครื่องเขย่า (shaker)
3. วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที
4. วัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ด้วยเครื่อง conductivity meter

2. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)
(kjeldahl method)

เครื่องมือ

1. Digestion, ใช้ kjeldahl flask หนาพอสมควร ขนาด 500 - 800 มิลลิลิตร ใช้ น้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ต้มประมาณ 5 นาที
2. Distillation, ใช้ 500 - 800 มิลลิลิตร kjeldahl flask

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4 88%, LR-grade)
2. สารเร่งผสม
เตรียมโดยผสม K_2SO_4 : $CuSO_4$: Se ในอัตราส่วน 100 : 10 : 1 โดยน้ำหนัก
3. อินดิเคเตอร์ผสม (mix indicator solution)
เตรียมโดยละลาย Methyl red indicator 0.066 กรัม และ bromocresol green 0.099 กรัม ใน 95 % เอทานอลประมาณ 80 ml ปรับเป็นสีเขียวเข้ม (pH ประมาณ 4.2) ด้วย 0.1 M NaOH แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย 95 % เอทานอล
4. สารละลายกรดบอริก อินดิเคเตอร์ (boric acid - indicator solution)

เตรียมโดย ละลาย H_3BO_3 60 กรัม ใน น้ำกลั่น ประมาณ 1800 มิลลิลิตร ใน erlenmeyer flask ขนาด 200 มิลลิลิตร คนด้วยเครื่องแม่เหล็กจนละลายหมด แล้วเติม mix indicator ลงไป 2.5 มิลลิลิตร จะได้สารละลายผสมสีแดงอมม่วง ปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร

5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % (w/v) (sodium hydroxide solution 40 %)

ใส่น้ำกลั่นประมาณ 900 มิลลิลิตร ลงในเบ็กเกอร์ขนาด 1 ลิตร แล้วนำไปวางในอ่างน้ำเย็นเพื่อช่วยระบายความร้อน เติม NaOH ลงไปที่ละชั้น พร้อมทั้งคนให้หมดก่อนจึงเติมเพิ่มลงไปจนครบ 400 กรัม ทิ้งไว้ให้เย็น จึงเติมน้ำกลั่นเพิ่มจนสารละลายที่ได้มีปริมาตรรวม 1 ลิตร

6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.025 M (standard sulfuric acid solution)

เตรียมโดย ปิเปต conc. H_2SO_4 มิลลิลิตร ใสใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำ de-ionized อยู่ประมาณ 800 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย น้ำ de-ionized

7. สารละลายกรดซัลฟิวริกในกรด H_2SO_4

ละลายกรดซัลฟิวริก ($C_6H_4OHCOOH$) 10 กรัม ในกรด H_2SO_4 เข้มข้น 300 มิลลิลิตร สารละลายนี้ใช้แทนกรด H_2SO_4 เข้มข้นในข้อ 1

8. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$): ใช้โดยไม่ต้องเตรียมเป็นสารละลาย

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การย่อยตัวอย่างดิน

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5 กรัม (ถ้าเป็นดินทรายจัด หรือดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำให้ใช้ 10 กรัม) ใสใน digestion flask ขนาด 800 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก ลงไป 25 มิลลิลิตร เขย่าให้ดินกับสารละลายผสมกัน ทิ้งไว้ 30 นาที หรือนานกว่านี้
3. เติม $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ลงไปประมาณ 3 เขย่า flask ให้สารละลายผสมกัน
4. นำไปให้ความร้อนในเตาย่อย โดยค่อย ๆ เพิ่มความร้อนขึ้นอย่างช้า ๆ พร้อมทั้งเขย่า flask จนมีควันสีขาวเกิดขึ้นจึงหยุดให้ความร้อน
5. ยก flask ออกจากเตา ทิ้งให้เย็น เติมสารละลายเร่งผสมลงไปประมาณ 3 กรัม แล้วเขย่าให้สารผสมกัน
6. ทำการย่อยต่อจนสารละลายใส แล้วย่อยต่อไปอีกประมาณ 2 ชั่วโมง
7. ปิดเตา ปลดปล่อยให้ flask เย็นลงเกือบเท่าอุณหภูมิห้อง เติมน้ำกลั่นลงไป ประมาณ 300 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้สารผสมเข้าด้วยกัน

ตอนที่ 2 การกลั่นและการไตเตรต

1. จัดเครื่องกลั่นให้พร้อมที่จะใช้งานได้ และเปิดน้ำหล่อคอนเดนเซอร์ให้มีความเร็วพอเหมาะ
2. เติมสารละลายกรดบอริก อินดิเคเตอร์ 25 มิลลิลิตร ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปวางใต้ก้าน condenser โดยให้ก้าน condenser จุ่มลงในสารละลาย
3. จัด Kjeldahl flask ซึ่งผ่านการย่อยแล้วบนเตากลั่นให้พร้อมที่จะกลั่น จากนั้นจึงเติม NaOH 40 % ลงไปประมาณ 75 มิลลิลิตร โดยเอียง flask เล็กน้อย แล้วรินสารละลายลงไปทางด้านข้าง
4. ปิดจุก flask พร้อมทั้งเขย่าให้สารละลายผสมเข้าด้วยกัน แล้วจึงเปิดเตากลั่นไล่แอมโมเนีย จนได้ปริมาตรของสารละลายใน erlenmeyer flask ประมาณ 75 มิลลิลิตร (สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว) เอา erlenmeyer flask ออก
5. ไตเตรตสารละลายที่ได้กับสารละลายมาตรฐาน $0.025 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
6. บันทึกปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไตเตรต
7. ทำ Blank โดยใช้วิธีเช่นเดียวกับตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\% \text{ Total N} = 2.801 \text{ CV/W}$$

- โดยที่
- C = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (M)
 - V = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 - W = น้ำหนักดิน (กรัม)

3. สังกะสี (Zn)

(Atomic Absorbion Method)

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานสังกะสี

เตรียมที่ความเข้มข้น 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mg/l

2. สารละลายสกัด DTPA

เตรียมโดย ละลาย DTPA (Diethylene triamine pentacetic acid) 0.005 M (1.9668 กรัม), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.005 M (0.7351 กรัม) และ TEA (Triethanolamine) 0.1 M (14.9 มิลลิลิตร) ในน้ำ de-ionized ประมาณ 800 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับ pH เป็น 7.30 ด้วย HCl เจือจาง จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีทำ

1. ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บีบอัด สารละลายสกัด DTPA ลงไป 25 มิลลิลิตร เขย่า 2 ชั่วโมง
3. กรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 5 ใส่ในขวดพลาสติกขนาด 30 มิลลิลิตร
4. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อหาปริมาณ Zn ด้วย AAS
5. ทำ blank เช่นเดียวกับข้อ 2 - 4
6. เขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของ Zn โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง

การคำนวณ

$$\text{Zn (mg/Kg soil)} = (X - b) \times 25 / \text{soil wt.}$$

โดยที่

X = ความเข้มข้นของ Zn ในสารละลายตัวอย่างเทียบจากกราฟ
มาตรฐาน (mg/l)

b = ความเข้มข้นของ Zn ใน blank เทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/l)

ภาคผนวก ง

1. คุณลักษณะกากขี้แป้งและอัตราการเกิดกากขี้แป้งของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น (Characteristics of Centrifuged Residue and Its Generation Rate of the Latex Concentrate Industry) การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5 จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ ว.ส.ท. ณ โรงแรม แอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน ชลบุรี 24 - 26 มีนาคม 2542
2. Use of Centrifuged Residue from the Latex Concentrate Industry as Fertilizer. R' 2000 ; Recovery • Recycling • Re-integration. 5th World Congress on Integrated Resources Management & EnviroTech 2000 Trade Show, Toronto, Canada.

คุณลักษณะกากขี้แป้งและอัตรา
การเกิดกากขี้แป้งของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

Characteristics of Centrifuged Residue and
Its Generation Rate of the Latex Concentrate Industry.

วราศรี เทกประสิทธิ์
นักศึกษาระดับปริญญาโท
คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ดร. สมทิพย์ คำนธีรวิชย์
อาจารย์
คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

Varasri Tekprasit
Graduate Student
Faculty of Environmental Management
Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla

Dr. Somtip Danteravanich
Lecturer
Faculty of Environmental Management
Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla

เจดจรรย์ ศิริวงศ์
อาจารย์
คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ดร. อุดมผล พิษนั้ไพบูลย์
อาจารย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

Cherdchan Siriwong
Lecturer
Faculty of Environmental Management
Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla

Dr. Udomphon Puetpaibul
Lecturer
Faculty of Engineering
Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของกากขี้แป้ง และอัตราการเกิดกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น การศึกษาคำเนินการโดยสำรวจโรงงานน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงานในจังหวัดสงขลา ผลการสำรวจพบว่า การผลิตน้ำยางข้นจะทำให้เกิดปริมาณของเสียในรูปของกากขี้แป้ง โดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.7 กก./ตันน้ำยางสด และจากการนำกากขี้แป้งมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี พบว่า กากขี้แป้งมีคุณสมบัติที่อาจสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยการทำเป็นสารปรับสภาพดินได้ เพราะมีธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N P และ K โดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 8.54 และ 1.48 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

Abstract

This study reported characteristics of centrifuged residue and its generation rate of the latex concentrate industry. Survey of three latex concentrate industries was conducted in Songkhla province. It was found that the latex concentrate industry generates solid waste in terms of centrifuged residue with the average value of 10.7 kg/ton of raw latex. The centrifuged residue was analyzed for the physical and chemical characteristics. The analytical results shown that centrifuged residue has a potential to use as soil conditioner or fertilizer. It is because of containing many nutrient elements. The average concentrations of N, P and K of centrifuged residue were found to be 2.28, 8.54 and 1.48 % dry weight, respectively.

บทนำ

น้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นส่วนใหญ่จะเป็นน้ำและมีสารของแข็งที่ไม่ใช่ยางประกอบอยู่ด้วย อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ น้ำยางสดเป็นวัตถุดิบและทำให้ได้น้ำยางที่มีความเข้มข้นเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ รวมถึงกำจัดสารต่างๆ บางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยางสดออกไปเพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางดีขึ้น เหมาะต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางต่อไป [เอกสารอ้างอิง 1]

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น มีวิธีการผลิตที่ทำกันในเชิงการค้าหลายวิธี วิธีที่สำคัญวิธีหนึ่ง คือ การปั่น (Centrifugation) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะสารเคมีที่เติมในน้ำยางสดก่อนการปั่นแยก ได้แก่ Ammonia (ในรูปสารละลาย), Tetramethyl Triuram Disulfide (TMTD), Zinc Oxide และ Diammonium Phosphate (DAP) เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง และเพื่อให้แมกนีเซียม (Magnesium) ตกตะกอนก่อนการปั่น จากกิจกรรมการปั่นจะได้ของเสียในรูปของแข็งออกมา ของเสียในรูปของแข็งนี้ เรียกว่า “คม” หรือ “กากขี้แป้ง” กากขี้แป้ง เกิดจากของแข็งที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำยางสด และจะถูกแยกออกในขณะที่ทำการปั่นน้ำยางสดรวมถึงจากการตกตะกอนในถังพักน้ำยางที่รวบรวมน้ำยางสดไว้ก่อนที่จะนำไปปั่น กากขี้แป้งมีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน

ในปัจจุบัน โรงงานมักจะกำจัดกากขี้แป้งโดยการทิ้งไป หรือใช้ในการถมพื้นที่ ถมถนน ตลอดจนเผาทิ้ง ซึ่งเป็นการจัดการของเสียที่ยังไม่เหมาะสมและอาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ จากแนวความคิดที่เห็นว่า

กากซีเป็งเป็นของเสียที่มีองค์ประกอบที่น่าจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะกากซีเป็งมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และจากการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิตโดยเฉพาะ Ammonia และ DAP ก็อาจทำให้กากซีเป็งประกอบด้วยธาตุ N และ P อยู่บ้าง อีกทั้งปริมาณกากซีเป็งที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางชั้นในแต่ละวันของแต่ละโรงงานก็มีปริมาณพอสมควร ผู้ศึกษาจึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงคุณลักษณะกากซีเป็งและอัตราการเกิดกากซีเป็งของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณานำเอาของเสียที่เกิดจากโรงงานน้ำยางชั้นไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วิธีการวิจัย

ก. การศึกษาปริมาณกากซีเป็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางชั้น

การศึกษาคำเนินการ โดยการสำรวจโรงงานน้ำยางชั้น เพื่อหาข้อมูลของปริมาณการใช้วัตถุดิบของโรงงานน้ำยางชั้น การประเมินปริมาณกากซีเป็งที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ดำเนินการโดยการสอบถาม สัมภาษณ์ ผู้ประกอบการ และผู้ดูแลระบบการผลิต และสำรวจปริมาณของเสียในภาคสนาม โดยศึกษาจากโรงงานน้ำยางชั้นจำนวน 3 โรงงาน ภายในจังหวัดสงขลา

ข. การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีเป็ง

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากซีเป็ง ดำเนินการโดยการเก็บตัวอย่างกากซีเป็ง จากโรงงานน้ำยางชั้น 3 โรงงาน ภายในจังหวัดสงขลา การเก็บตัวอย่างได้คำนึงถึงฤดูกาลและกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่เหมาะสม จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะทางกายภาพและเคมีตามวิธีของ Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists [เอกสารอ้างอิง 2] และ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [เอกสารอ้างอิง 3] ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ จำแนกเป็นตัวอย่างกากซีเป็งสด จะวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ทีเอช ความหนาแน่นและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด สำหรับตัวอย่างกากซีเป็งแห้ง (อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งและน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง) จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งระเหยได้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี

ค. การศึกษาปริมาณการละลายออกของธาตุต่างๆ ของกากซีเป็ง

การศึกษาคำเนินการ โดยนำกากซีเป็งมาสกัดกับน้ำ โดยจะผสมกากซีเป็งที่อบแห้งแล้วกับ de-ionized water ในอัตราส่วนเท่ากับ 0.5 g/80 ml 0.5 g/70 ml และ 0.5 g/60 ml โดยสกัดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการปั่นด้วยความเร็วสูง กรองด้วยกระดาษ GF/C แล้วจึงนำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา N P K Mg Zn COD และ BOD นอกจากนี้ในส่วนของตะกอนหรือในส่วนที่ละลายไม่หมด ได้นำไปวิเคราะห์หา N P K Mg Zn และ ปริมาณของแข็งระเหยได้

ผลและวิจารณ์ผล

ก. ปริมาณการเกิดกากขี้เป่ง

จากการศึกษาเพื่อสำรวจและประเมินปริมาณกากขี้เป่งที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางชั้นที่ศึกษา พบข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1 กล่าวคือ โรงงานทั้ง 3 โรงงานมีกากขี้เป่งเกิดจาก 2 จุดใหญ่ ๆ คือ จากถังพักน้ำยาง และจากกระบวนการปั่นน้ำยาง ปริมาณกากขี้เป่งจะเกิดมากที่สุดในถังพักน้ำยาง โดยเกิดขึ้นในช่วง 4.7 - 11.7 กก./ตันน้ำยางสดหรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.5 กก./ตันน้ำยางสด สำหรับในจุดถังปั่นน้ำยาง พบว่าเกิดขึ้นในช่วง 2.1 - 2.3 กก./ตันน้ำยางสด หรือ คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2 กก./ตันน้ำยางสด ซึ่งอาจกล่าวโดยรวมได้ว่าการผลิตน้ำยางชั้นจะทำให้เกิดของเสียในรูปของกากขี้เป่งโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 10.7 กก./ตันน้ำยางสดหรือคิดเป็น 1.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งในแต่ละวันแต่ละโรงงานนำน้ำยางสดมาใช้ในการผลิตน้ำยางชั้นในช่วงระหว่าง 80 - 100 ตันต่อวัน ทำให้คำนวณได้ว่า จะมีของเสียในรูปของกากขี้เป่งเกิดขึ้นในแต่ละโรงงานผลิตน้ำยางชั้น 0.86 - 1.07 ตันต่อวัน อย่างไรก็ตาม หากเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของวันชัย (2540) ซึ่งได้รายงานว่าการผลิตน้ำยางชั้นจะเกิดกากขี้เป่งขึ้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยางสด [เอกสารอ้างอิง 4] จะพบว่า การศึกษาในครั้งนี้ มีกากขี้เป่งเกิดขึ้นปริมาณใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 ปริมาณกากขี้เป่งที่เกิดจากการผลิตในโรงงานน้ำยางชั้น

โรงงาน	ปริมาณกากขี้เป่งที่เกิดขึ้น (กก./ตันน้ำยางสด)	
	จากถังพักน้ำยาง	จากถังปั่นน้ำยาง
A	4.7	2.3
B	9.1	2.2
C	11.7	2.1

ข. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้เป่ง

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้เป่ง แสดงในตารางที่ 2 พบว่า ตัวอย่างกากขี้เป่งสดมีค่าความชื้น และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด เฉลี่ยเท่ากับ 64.4 และ 35.7 % ตามลำดับ ค่า pH ของกากขี้เป่ง เฉลี่ยเท่ากับ 9.0 และค่าความหนาแน่น เฉลี่ยเท่ากับ 1.0517 ตัน/ลบม. สำหรับกากขี้เป่งแห้ง พบว่าประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญ ได้แก่ N P K Mg และ Zn โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 8.54 1.48 5.31 และ 1.01 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 55.2 % น้ำหนักแห้ง สำหรับกากขี้เป่งสดและแห้ง พบว่า มี N ต่างกันเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในฐานน้ำหนักแห้งเดียวกัน โดยพบว่า ตัวอย่างแห้งประกอบด้วย N ระหว่าง 1.82 - 2.91 % น้ำหนักแห้ง และตัวอย่างสดมี N ระหว่าง 1.81 - 3.45 % น้ำหนักเปียก (ความชื้นระหว่าง 57 - 70 %) จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างสดจะมี N มากกว่าตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้เพราะว่าค่า pH ของตัวอย่างสดมีค่า pH ค่อนข้างสูง เมื่อนำไปอบแห้งอาจมี N บางส่วนที่สูญหายไปในขณะที่ทำการอบแห้ง

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากชี้เป้งซึ่งเกิด ณ บริเวณถังพักน้ำยาง และจากกระบวนการปั่นน้ำยาง

จุดเก็บ กาก ชี้เป้ง	ตัวอย่างสด					ตัวอย่างแห้ง					
	MC %	SC %	pH	Density (ton/m ³)	N % (wet wt.)	VS % (dry wt.)	N % (dry wt.)	P % (dry wt.)	K % (dry wt.)	Mg % (dry wt.)	Zn % (dry wt.)
ถังพัก น้ำยาง	66.6	28.9	8.67	1.0513	1.81	48.4	1.82	6.76	1.20	4.76	0.57
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	71.5	33.4	9.13	1.0800	2.71	54.5	2.40	8.60	1.46	6.08	1.39
ถังปั่น น้ำยาง	57.2	37.0	9.03	1.0133	1.57	57.1	2.27	8.90	1.30	4.46	0.64
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	63.0	39.4	9.11	1.0525	3.45	58.5	2.91	10.04	2.22	5.52	1.49

หมายเหตุ MC : ปริมาณความชื้น
SC : ปริมาณของแข็งทั้งหมด
VS : ปริมาณของแข็งระเหยได้

ค. น้ำสกัดจากกากชี้เป้ง

เมื่อนำกากชี้เป้งมาสกัดกับ de-ionized water เพื่อศึกษาการละลายออกของธาตุต่าง ๆ พบว่าได้ผลดังแสดง
ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการศึกษาการสกัดกากชี้เป้ง

อัตราการผสม ของการสกัด (กรัม/มล.)	ตะกอนที่เหลือ		ส่วนที่ละลาย						
	SC (%)	VS (%dry wt.)	N*	P*	K*	Mg*	Zn*	BOD (mg/l)	COD (mg/l)
0.5/80	26.6	51.7	12.0	0.56	68.2	0.70	1.30	202	325
0.5/70	26.8	51.9	11.5	0.50	75.1	0.76	1.23	203	328
0.5/60	28.4	52.1	11.2	0.44	88.5	0.78	1.12	254	373

หมายเหตุ * แสดงเป็น % ของสัดส่วนของธาตุแต่ละประเภทที่ถูกละลายได้ เมื่อเทียบกับส่วนของ
ธาตุนั้น ๆ ทั้งหมดที่อยู่ในกากชี้เป้งแห้ง

ผลจากตารางที่ 3 อาจกล่าวได้ว่า กากขี้เป้งมีสภาพไม่คงตัว สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ง่าย และเมื่อละลายจะพบว่า K จะละลายออกมามากที่สุด คือ > 68 % และความสามารถละลายออกของ N พบว่ามีค่าประมาณ 10 % สำหรับ P Mg และ Zn พบว่ามีความสามารถละลายออกได้ในช่วง 1 % หรือต่ำกว่าเท่านั้น สำหรับค่า BOD และ COD ของส่วนของเหลวที่สกัดได้ พบว่า มีค่าสัดส่วนของ BOD ต่อ COD มากกว่า 0.5 จึงแสดงให้เห็นว่า กากขี้เป้งเมื่อละลายแล้วจะทำให้ น้ำที่สกัดนั้นมีคุณสมบัติที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย

จากคุณสมบัติของกากขี้เป้งที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ศึกษาได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกากของเสียชนิดอื่น ๆ เช่น กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร (ชุมชนห้วยขวาง) พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียมี N P_2O_5 และ K_2O เท่ากับ 2.87 %, 167 และ 690 ppm ตามลำดับ [เอกสารอ้างอิง 5] และผลการศึกษาก็ได้รายงานว่าสามารถนำกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ จึงทำให้ตั้งข้อสังเกตว่า กากขี้เป้งซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับกากตะกอนน้ำเสียก็น่าที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในทำนองเดียวกับกากตะกอนน้ำเสียได้ด้วยเช่นกัน

สรุป

จากการศึกษารังนี้ จะเห็นได้ว่ากากขี้เป้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีปริมาณพอสมควร โดยเกิดขึ้นประมาณ 1.07 เปอร์เซ็นต์ของน้ำยางสดที่นำมาผลิต และเมื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของกากขี้เป้ง พบว่าประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ ได้แก่ N P K และ Mg ในปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการจัดการกับของเสียในรูปของกากขี้เป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นก็คือ การนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยนำไปเป็นสารปรับสภาพดินหรือทำเป็นปุ๋ย อย่างไรก็ตามการวิจัยถึงคุณสมบัติผลของการนำไปใช้ประโยชน์ดังกล่าว จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนขึ้นถึงความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์จากกากขี้เป้ง รวมถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะกากขี้เป้งนอกจากประกอบไปด้วยธาตุอาหารแล้ว ยังมีสังกะสีซึ่งเป็นโลหะหนักประกอบอยู่ด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2532, การผลิตยางธรรมชาติ, สงขลา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา, สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร.
2. AOAC, 1990, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15th ed. U.S.A. : AOAC, Inc.
3. APHA, AWWA and WEF, 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed. New York. : American Public Health Association.
4. วันชัย แก้วยอด, 2540, “การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง : กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
5. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2536, การจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อนำศักยภาพความเป็นปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร, เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ปีพ.ศ. 2536, จัดโดยสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, หน้า 149 – 155

USE OF CENTRIFUGED RESIDUE FROM THE LATEX CONCENTRATE INDUSTRY AS FERTILIZER

Varasri Tekprasit*, Somtip Danteravanich*, Udomphon Puetpaiboon**
and Cherdchan Siriwong*

* Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University,
Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand

** Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand

Abstract

This study was conducted to evaluate a potential use of centrifuged residues produced as waste by latex concentrate factories in Songkhla province, Thailand. Results of physical and chemical analysis illustrated that centrifuged residue has a relatively high content of plant nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium, and an alkaline pH. It contains organic matter as about fifty percent of its dry weight. Small-scale experiments to compare the use of centrifuged residue as fertilizer with chemical fertilizers, and mixtures of centrifuged residue and chemical fertilizer were carried out by growing Manila grass (*Zoysia Mattrella* L. Merr.) on soil to which a loading of 40 gNm⁻² had been applied. Growth yields of grass and nutrient uptake in terms of nitrogen, phosphorus and potassium were determined for each set of experiments. It was found that centrifuged residue could be used successfully as fertilizer for growing grass and produced a higher grass yield than when chemical fertilizer was used. Soil pH was also observed to be improved in soil supplemented with centrifuged residue. The results suggested that utilization of this waste as fertilizer should be promoted.

Introduction

There are a substantial number of latex concentrate factories in Southern Thailand. Considerable volumes of waste are produced from such factories, and solid centrifuge residue wastes are produced daily as a result of the production process. Centrifuged residues are sludges taken from latex preparation tanks and latex centrifuges. They originate from precipitation between soluble magnesium in raw rubber latex and di-ammonium phosphate (DAP) which is added in the latex preparation process in order to remove the magnesium. After DAP is added to the rubber latex, magnesium ammonium phosphate is formed. This compound is separated from the latex by gravity in settling tanks and by centrifugation.

Centrifuged residue is a white sludge. Its generation rate is reported to be 1 % by weight of the raw rubber latex used in the production process. 0.86-1.58 metric tonnes of this waste are produced daily by the latex concentrate industry in Songkhla province (Kaewyod, 1997). One of the characteristics of the residue is that it contains many nutrient elements. The average concentrations of N, P and K in centrifuged residue have been determined as 2.28%, 8.54% and 1.48% dry weight, respectively. Magnesium and zinc are present in centrifuged residue with average dry weights of 5.31% and 1.01%. The average concentration of volatile organic compounds and moisture content of centrifuged residue were reported to be 55.2% of dry weight and 64.4% respectively (Tekprasit, *et al.*, 1999). At present, latex concentrate factories generally dispose of this waste by open burning or dumping.

However, the minerals and nutrients present in the centrifuged residue have a potential use as fertilizer. The prime objectives of this study were to investigate physical and chemical characteristics of centrifuged residue, and examine its potential for use as fertilizer in growing an experimental crop of turf grass.

Materials and methods

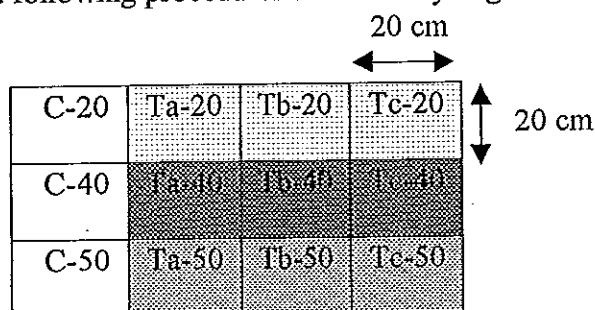
1) Experimental set-up

Seven sets of experimental units for the culture of turf grass were set up. Each set was divided into 12 ($0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$) plots as shown in Figure 1. Three plots were used as a control group where no turf grass was planted. The other nine plots were used for growing turf grass over various lengths of time. The turf grass utilized in this study was Manila grass (*Zoysia Mattrella* L. Merr.), a common grass used in golf courses and garden lawns in Thailand. In this study, sandy loam soil was used as a medium for growing the grass, consisting of 74.33% sand, 17.45% silt, and 8.22% clay.

Before grass was grown on the soil it was supplemented with a test material. Centrifuged residue; two types of chemical fertilizers with composition of 15:15:15 of N:P:K and 15:0:0 of N:P:K; and 3 mixtures with portions of 3:1, 1:1 and 1:3 of centrifuged residue and 15:0:0 of N:P:K chemical fertilizer were spread on six sets of soil plots. The remaining set was used as a control set with nothing added to the soil. The applied loading for each set was calculated to give a nitrogen loading of 40 g N per square meter of soil surface. After the soil plots were set up, a portion of Manila grass prepared with a wet weight of 10-13 g was planted in each plot, except for the three control plots in each set. The exact dry and wet weight of grass added to each plot was recorded. All plots were sprayed with the same volume of water every day and all experimental units were left outdoors to allow exposure to sunlight every day.

2) Grass harvesting and sample analysis

The experiment was observed for 50 days. Grass from three plots in each set was harvested after being allowed to grow for 20, 40 and 50 days. Growth yields of grass in terms of wet weight, dry weight and volatile solids content for each plot were determined after harvesting. Height of grass was examined periodically. On the first day, and then 20 days, and 50 days after grass was planted, an identical weight of soil was taken from each set (three plots excluding the control plot) and mixed together as a composite sample. These soil samples were analyzed for nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and zinc content. Soil pH and electrical conductivity were also determined. Soil analysis was performed following procedures described by Page *et al.* (1982).



Note: C = control plots without grass growing, Ta-Tc = test plots with grass growing
The numbers 20, 40, and 50 indicate the number of days before grass was harvested.

Figure 1. Schematic diagram of one set of experimental units

Results and discussion

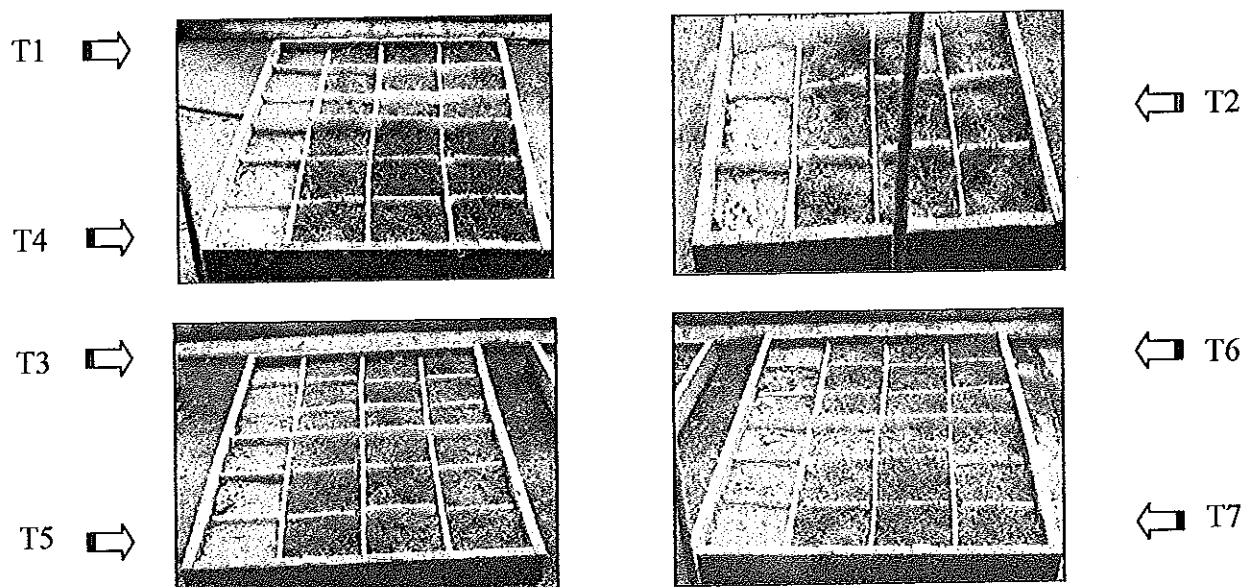
1) Growth yields of grass

At 0, 20, 40 and 50 days after grass planting, growth yields of grass were determined by measuring volatile solids content and wet and dry weights. Table 1 shown the results obtained from the seven experimental sets observed over 50 days. It was found that set T1 (a control set, without any added test material) gave the lowest growth yield of grass, whereas set T4 supplemented with centrifuged residue had the highest growth yield. Set T3, supplemented with chemical fertilizer (15:0:0 N:P:K) did not show much difference in yield compared with the control set (T1) while set T2 supplemented with standard chemical fertilizer (15:15:15 N:P:K) had a greater difference in growth yield when compared with the control set. However, the growth yield of set T2 was not much higher than the set to which only centrifuged residue had been applied (set T4). When centrifuged residue was mixed with chemical fertilizer (15:0:0 N:P:K) and applied to soil, it was observed that an improvement in the growth yield of grass was obtained. The more centrifuged residue added, the more growth yield was observed to increase (see T3-T7). The growth yield results corresponded to results of measurement of grass height (see Fig. 2). Grass was also observed to appear healthier in experiments where soil was mixed with centrifuged residue.

Table 1. Growth yields of Grass Observed over 50 Days.

Set Number	Treatments	Weight of grass planted (g)	Growth yield (%) (mean±SD)		
			20 days	40 days	50 days
T1	Control (without any added test material)	11.11 (4.17)	43 ^a ±18.2	62±9.6	135±21.5
			93 ^b ±17.9	103±19.3	158±28.9
			90 ^c ±12.6	112±24.0	210±22.4
T2	Chemical fertilizer (15:15:15 N:P:K)	12.51 (4.69)	135±16.5	185±22.6	245±9.7
			186±30.6	302±39.6	311±14.1
			132±18.4	283±25.2	422±30.6
T3	Chemical fertilizer (15:0:0 N:P:K)	12.70 (4.77)	45±12.6	62±16.0	177±24.1
			107±22.2	114±22.8	228±30.6
			91±26.5	152±23.4	278±31.4
T4	Centrifuged residue	12.26 (4.60)	184±2.9	345±14.9	598±28.9
			223±14.6	544±50.1	649±49.4
			208±9.0	614±35.7	922±32.6
T5	Mixture of centrifuged residue and chemical fertilizer with ratio of 3:1	10.49 (4.69)	85±26.7	171±25.8	331±37.9
			171±51.1	267±35.8	405±42.5
			165±17.2	357±39.9	534±36.2
T6	Mixture of centrifuged residue and chemical fertilizer with ratio of 1:1	12.46 (4.68)	84±26.8	136±35.1	213±9.5
			158±28.8	240±35.4	261±11.9
			158±29.3	275±36.9	371±24.6
T7	Mixture of centrifuged residue and chemical fertilizer with ratio of 1:3	12.87 (4.83)	39±6.9	137±13.5	297±35.8
			106±25.6	297±22.8	350±34.5
			99±24.8	348±30.3	516±34.1

Note: a = growth yield based on wet weight, b = growth yield based on dry weight, c = growth yield based on volatile solids content
Weight of grass planted shows wet weight, with dry weight in parentheses.



T1= a control sets without any added test material, T2= a set supplemented with chemical fertilizer (15:15:15 N:P:K)
 T3= a set supplemented with chemical fertilizer (15:0:0 of N:P:K), T4= a set supplemented with centrifuged residue
 T5= a set supplemented with 3:1 of centrifuged residue and chemical fertilizer (15:0:0 N:P:K)
 T6= a set supplemented with 1:1 of centrifuged residue and chemical fertilizer (15:0:0 N:P:K)
 T7= a set supplemented with 1:3 of centrifuged residue and chemical fertilizer (15:0:0 N:P:K)

Figure 2. Photographs of grass growing in each experimental set.

2) Soil chemical characteristics

Table 2 shows soil characteristics for each set of experiments (T1 to set T7). It was found that soil to which centrifuged residue had been added had a less acidic pH after 50 days. Sets treated with centrifuged residue were slightly neutral, (pH 5.13-6.69) while sets treated with chemical fertilizer had more acidic pH values (4.91-5.58). Tekprasit *et al.* (1999) reported that the centrifuged residue contained volatile solids in the range 48.4-58.5 % of total solids, and its natural pH was alkaline (pH 8.67-9.13). Therefore the difference in pH values between soil treated with centrifuged residue and chemical fertilizer suggests that the centrifuged residue has a high buffering capacity.

Table 2. Soil Chemical Characteristics

Treatment	pH		Zn (%)		Mg (%)		N (%)		P (%)		K (%)	
	1 st day	50 th day	1 st day	50 th day	1 st day	50 th day	1 st day	50 th day	1 st day	50 th day	1 st day	50 th day
T1	7.67	6.10	0.0002	0.0001	0.136	<0.065	0.030	0.023	0.038	0.022	0.908	0.684
T2	6.80	5.58	0.0002	0.0001	0.545	<0.065	0.130	0.029	0.243	0.086	1.479	0.684
T3	6.62	4.91	0.0002	0.0001	0.273	<0.065	0.137	0.033	0.038	0.019	0.968	0.684
T4	7.96	6.69	0.0052	0.0024	3.868	0.136	0.124	0.036	2.216	0.345	1.364	0.739
T5	7.46	5.92	0.0018	0.0005	2.734	0.130	0.104	0.041	0.363	0.145	1.251	0.740
T6	7.49	5.46	0.0011	0.0008	0.547	<0.065	0.132	0.039	0.174	0.076	1.252	0.741
T7	7.16	5.13	0.0005	0.0002	0.273	<0.065	0.131	0.033	0.138	0.40	1.136	0.740

Note: P and K are defined as P₂O₅ and K₂O respectively. Zn, Mg, N, P, and K are shown in terms of % dry weight

Regarding plant nutrient values, content of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium in soil from all 7 sets were observed to decline from the 1st day to the 50th day of the experiment (see Table 2). It was noted that soil to which centrifuged residue had been applied contained considerably more phosphorus, potassium, magnesium and zinc than other soil treatments at the beginning of experiment, although the nitrogen loading was adjusted to be the same as the other sets. This might be expected to result in more grass biomass production after 50 days of growth. However, after grass had been grown for 50 days, zinc and magnesium contents in soil treated with centrifuged residue were

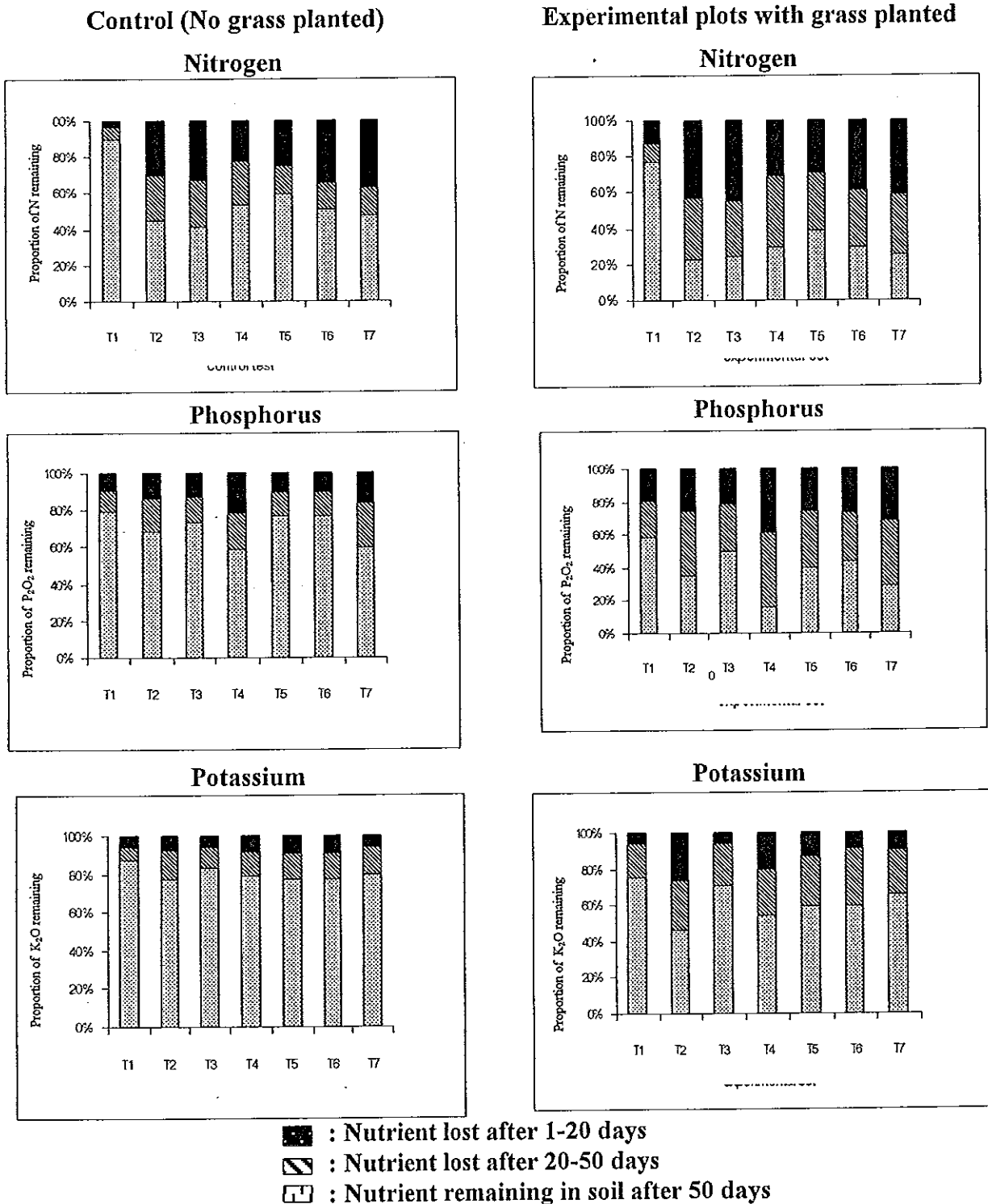


Figure 3. Proportions of nutrients lost and retained in tested soil

observed to be significantly higher than in soils to which chemical fertilizer had been added. This may be an adverse impact resulting from utilization of centrifuged residue as fertilizer and more study on the effect of magnesium and zinc on soil over long periods of grass growing following treatment with centrifuged residue is recommended.

3) Nutrient loss and up take by grass

The fates of nutrients recorded in each experimental set were determined. Figure 3 shown the proportion of nutrients lost and retained for nitrogen, phosphorus and potassium in the soils tested, both with and without grass growing. Results indicated that the proportion of nitrogen, phosphorus and potassium lost in soil where no grass was grown was less than in soil where grass was grown. The proportion nitrogen lost in soil without grass was observed to be greater than the proportion of phosphorus and potassium. Nutrient loss in soil without grass was probably caused by leaching caused by watering during the experiment and by reactions resulting from exposure to the air. Nutrient uptake by grass is the major factor causing nutrient loss in soil where grass was grown. For the experiments where grass was grown, it was found that the proportion of potassium lost was least when compared with nitrogen and phosphorus. This may result from differences in consumption capacity or need for each element by the grass, and the initial concentrations available in each test.

Conclusions

It was found that Manila grass responded very well to the application of centrifuged residue as fertilizer and gave the best yields in terms of dry and wet matter and volatile solids content for materials tested at a loading of 40 gN per square meter. Moreover soil supplementation with centrifuged residue promoted a more neutral soil pH compared with application of standard chemical fertilizers. These results suggest that centrifuged residue from latex factories has potential for utilization as a fertilizer. Although use of the material resulted in a higher grass growth yield, centrifuged residue contains high amounts of zinc and magnesium and the residues of both elements were found to accumulate in soil after use. Further investigation is necessary to examine the impact of long-term application of centrifuged residues during grass planting. However, assuring the risk of applying the material are low, the results of this study suggest that centrifuged residues from latex factories can be used as foundation fertilizer during the planting of grass in golf course and gardens.

References:

1. Tekprasit, V., Danteravanich, S., Siriwong, C. and Puetpaiboon, U. (1999) **Characteristics of centrifuged residue and its generation rate by the latex concentrate industry**, Proceedings of the 5th National Convention on Civil Engineering, organized by the Department of Civil Engineering, Mahanakorn University of Technology and The Engineering Institute of Thailand Under H.M. the King's Patronage in cooperation with Departments of Civil Engineering from Universities in Thailand, 24-26 March, 1999 at Ambassador City Jomtien Hotel. Volume 2, pp. Env-31 to Env-36.
2. Kaewyod, W. (1997) **The Investigation of Rubber Wastewater Management : A Case Study of Changwat Songkhla.**, Master of Science Thesis in Environmental Management, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
3. Page, A.L., Miller, R.H. and Keemay, D.R. (1982) **Methods of Soil Analysis, Part II.** 2nd edition, American Society of Agronomy & Soil Science Society of America Publisher, Wisconsin, U.S.A.

ภาคผนวก จ
ผลการนำกากซีเมนต์ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X - Ray Fluorescence (XRF)

Quantified peaks in c:\superq\data\00192_40.pks

Summary of results

Sample:	00192/41CA
Measured:	8/27/98 11:51
Quantified:	9/1/98 10:41
Sum:	27.9 %
RMS:	0.000
Used lines:	12
Quantifiable:	Mg Al Si P S K Ca Ti Mn Fe Zn Rb
Traces:	

Concentrations in sample 00192/41CA

Analyte	Type	Calibration status	Compound	Concentration (%)	Calculation method
	Binder	Not matched	CHO	200.	Fixed
Mg	Sample	Calibrated	MgO	8.974	Calculate
Al	Sample	Calibrated	Al ₂ O ₃	0.074	Calculate
Si	Sample	Calibrated	SiO ₂	0.369	Calculate
P	Sample	Calibrated	P ₂ O ₅	14.224	Calculate
S	Sample	Calibrated	SO ₃	0.182	Calculate
K	Sample	Calibrated	K ₂ O	2.09	Calculate
Ca	Sample	Calibrated	CaO	0.22	Calculate
Ti	Sample	Calibrated	TiO ₂	0.021	Calculate
Mn	Sample	Calibrated	MnO ₂	0.034	Calculate
Fe	Sample	Calibrated	Fe ₂ O ₃	0.3	Calculate
Zn	Sample	Calibrated	ZnO	1.335	Calculate
Rb	Sample	Calibrated	Rb	0.064	Calculate

Sample preparation

Sample type:	Powder (binder: CHO)
Initial weight:	1.00 g
Final weight:	3.00 g
Area ratio:	3.59
Additive/sample:	7.17
Film:	None
Normalise:	no
X-ray path:	Vacuum

Quantify parameters

Recipe:	c:\superq\data\lin.rcp
Spectrometer resp. file:	c:\superq\data\lin.sti
Use compound list:	c:\superq\example\semiq.cpl
Apply drift corr.:	No
Disall. elem. set:	None
Disall. lines set:	None
Error weighting:	Root
Max. Flow detector intensity:	2000 kcps
Max. Sealed detector intensity:	1000 kcps
Max. Scint detector intensity:	2000 kcps
Max. Duplex detector intensity:	3000 kcps

Disallowed elements

No elements disallowed

Quantified peaks in c:\superq\data\00192_40.pks

Disallowed lines

No lines disallowed

Scan data, quantify parameters and # used lines

Sc #	X-tal	Filter # material um	Collimator # / um	Detector	kV	At. shift	Sign. level	Disall. elem. set	Disall. lines set	Used lines
1	LiF220	None	1 / 150	Scint	60	3	20.0	None	None	0
2	LiF200	5 Brass 300	1 / 150	Scint	60	3	20.0	None	None	0
3	LiF220	2 Al 200	1 / 150	Scint	60	3	20.0	None	None	2
4	LiF220	None	1 / 150	Duplex	50	3	0.0	None	None	2
5	LiF200	None	1 / 150	Flow	40	3	0.0	None	None	3
6	Ge	None	1 / 150	Flow	30	3	0.0	None	None	2
7	PE	None	2 / 550	Flow	24	3	20.0	None	None	1
8	PE	None	2 / 550	Flow	24	3	0.0	None	None	1
9	PX1	None	2 / 550	Flow	24	3	0.0	None	None	1

Lines

Line	Used	Measured (kcps)	Calcul. (kcps)	Diff. (kcps)	Scan #	X-tal	Detect.	Filter # material um	kV	mA	Collim. # / um
OKA	No	0.112	0.000	0.112	9	PX1	Flow	None	24	100	2 / 550
MgKA	Yes	3.988	3.988	0.000	9	PX1	Flow	None	24	100	2 / 550
AlKA	Yes	0.131	0.131	0.000	8	PE	Flow	None	24	100	2 / 550
SiKA	Yes	0.665	0.665	0.000	7	PE	Flow	None	24	100	2 / 550
PKA	Yes	15.153	15.152	0.001	6	Ge	Flow	None	30	80	1 / 150
SKA	Yes	0.164	0.164	0.000	6	Ge	Flow	None	30	80	1 / 150
KKA	Yes	2.248	2.247	0.000	5	LiF200	Flow	None	40	50	1 / 150
CaKA	Yes	0.404	0.404	0.000	5	LiF200	Flow	None	40	50	1 / 150
TiKA	Yes	0.057	0.057	0.000	5	LiF200	Flow	None	40	50	1 / 150
MnKA	Yes	0.105	0.105	0.000	4	LiF220	Duplex	None	50	50	1 / 150
FeKA	Yes	1.537	1.537	0.000	4	LiF220	Duplex	None	50	50	1 / 150
ZnKA	Yes	19.428	19.427	0.001	3	LiF220	Scint	2 Al 200	60	40	1 / 150
RbKA	Yes	5.188	5.188	0.000	3	LiF220	Scint	2 Al 200	60	40	1 / 150

Quantified peaks in c:\superq\data\00192_41.pks

Summary of results

Sample:	00192/41CB
Measured:	8/27/98 12:46
Quantified:	9/1/98 10:48
Sum:	35.2 %
RMS:	0.000
Used lines:	13
Quantifiable:	Mg Al Si P S K Ca Mn Fe Ni Cu Zn Rb
Traces:	

Concentrations in sample 00192/41CB

Analyte	Type	Calibration status	Compound	Concentration (%)	Calculation method
	Binder	Not matched	CHO	200.	Fixed
Mg	Sample	Calibrated	MgO	12.871	Calculate
Al	Sample	Calibrated	Al ₂ O ₃	0.029	Calculate
Si	Sample	Calibrated	SiO ₂	0.089	Calculate
P	Sample	Calibrated	P ₂ O ₅	18.259	Calculate
S	Sample	Calibrated	SO ₃	0.091	Calculate
K	Sample	Calibrated	K ₂ O	2.516	Calculate
Ca	Sample	Calibrated	CaO	0.336	Calculate
Mn	Sample	Calibrated	MnO ₂	0.282	Calculate
Fe	Sample	Calibrated	Fe ₂ O ₃	0.07	Calculate
Ni	Sample	Calibrated	NiO	0.01	Calculate
Cu	Sample	Calibrated	CuO	0.	Calculate
Zn	Sample	Calibrated	ZnO	0.573	Calculate
Rb	Sample	Calibrated	Rb	0.052	Calculate

Sample preparation

Sample type:	Powder (binder: CHO)
Initial weight:	1.00 g
Final weight:	3.00 g
Area ratio:	2.84
Additive/sample:	5.69
Film:	None
Normalise:	no
X-ray path:	Vacuum

Quantify parameters

Recipe:	c:\superq\data\lin.rcp
Spectrometer resp. file:	c:\superq\data\lin.sti
Use compound list:	c:\superq\example\semig.cpl
Apply drift corr.:	No
Disall. elem. set:	None
Disall. lines set:	None
Error weighting:	Root
Max. Flow detector intensity:	2000 kcps
Max. Sealed detector intensity:	1000 kcps
Max. Scint detector intensity:	2000 kcps
Max. Duplex detector intensity:	3000 kcps

Disallowed elements

No elements disallowed

Quantified peaks in c:\superq\data\00192_41.pks

Disallowed lines

No lines disallowed

Scan data, quantify parameters and # used lines

Sc #	X-tal	Filter # material um	Collimator # / um	Detector	kV	At. shift	Sign. level	Disall. elem. set	Disall. lines set	Used lines
1	LiF220	None	1 / 150	Scint	60	3	20.0	None	None	0
2	LiF200	5 Brass 300	1 / 150	Scint	60	3	20.0	None	None	0
3	LiF220	2 Al 200	1 / 150	Scint	60	3	0.0	None	None	2
4	LiF220	None	1 / 150	Duplex	50	3	0.0	None	None	4
5	LiF200	None	1 / 150	Flow	40	3	20.0	None	None	2
6	Ge	None	1 / 150	Flow	30	3	0.0	None	None	2
7	PE	None	2 / 550	Flow	24	3	0.0	None	None	1
8	PE	None	2 / 550	Flow	24	3	0.0	None	None	1
9	PX1	None	2 / 550	Flow	24	3	0.0	None	None	1

Lines

Line	Used	Measured (kcps)	Calcul. (kcps)	Diff. (kcps)	Scan #	X-tal	Detect.	Filter # material um	kV	mA	Collim. # / um
OKA	No	0.071	0.000	0.071	9	PX1	Flow	None	24	100	2 / 550
MgKA	Yes	7.056	7.055	0.000	9	PX1	Flow	None	24	100	2 / 550
AlKA	Yes	0.062	0.062	0.000	8	PE	Flow	None	24	100	2 / 550
SiKA	Yes	0.192	0.192	0.000	7	PE	Flow	None	24	100	2 / 550
PKA	Yes	23.271	23.270	0.001	6	Ge	Flow	None	30	80	1 / 150
SKA	Yes	0.096	0.096	0.000	6	Ge	Flow	None	30	80	1 / 150
KKA	Yes	3.144	3.144	0.000	5	LiF200	Flow	None	40	50	1 / 150
CaKA	Yes	0.712	0.712	0.000	5	LiF200	Flow	None	40	50	1 / 150
MnKB	Yes	0.181	0.181	0.000	4	LiF220	Duplex	None	50	50	1 / 150
FeKA	Yes	0.409	0.409	0.000	4	LiF220	Duplex	None	50	50	1 / 150
NIKA	Yes	0.111	0.111	0.000	4	LiF220	Duplex	None	50	50	1 / 150
CuKA	Yes	0.005	0.005	0.000	4	LiF220	Duplex	None	50	50	1 / 150
ZnKA	Yes	9.726	9.725	0.000	3	LiF220	Scint	2 Al 200	60	40	1 / 150
RbKA	Yes	5.269	5.268	0.000	3	LiF220	Scint	2 Al 200	60	40	1 / 150

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาววราศรี เอกประสิทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด 5 กุมภาพันธ์ 2514
วุฒิการศึกษา
วุฒิ ชื่อสถาบัน ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วาริชศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2536
ทุนการศึกษาที่ได้รับระหว่างการศึกษา
- ทุนผู้ช่วยสอน ประจำปี พ.ศ. 2539
- ทุนสนับสนุนการวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์