

ผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นวัสดุเพาะชำร่วมกับหน้าดินและซีเมนต์
ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของกล้าไม้กระถินเทพา
Acacia mangium Willd. ประดู่ป่า *Pterocarpus macrocarpus* Kurz.
และมะค่าโมง *Azelia xylocarpa* Craib.



นาย ธวิโรจน์ ต้นนุกิจ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

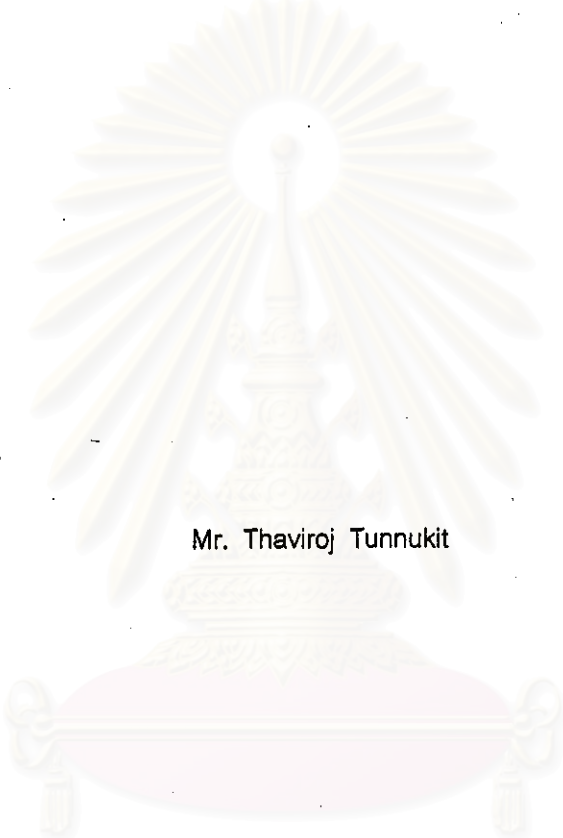
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974 - 333 - 989 - 2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SEWAGE SLUDGE AS NURSERY MATERIAL
MIXED WITH TOP SOIL AND CHAFF - ASH
ON GROWTH AND HEAVY METAL ACCUMULATION IN SEEDLINGS
OF Acacia mangium Willd. Pterocarpus macrocarpus Kurz.
AND Azelia xylocarpa Craib.



Mr. Thaviroj Tunukit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-Department of Environmental Science

Graduate school

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974 - 333 - 989 - 2


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นวัสดุเพาะชำร่วมกับหน้าดินและ
ซีเมนต์แก่กล้า ต่อกาการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของกล้าไม้กระถินเทพา
Acacia mangium Willd. ประดู่ป่า *Pterocarpus macrocarpus* Kurz.
และ มะค่าโมง *Azelia xylocarpa* Craib.


โดย นาย ธวิโรจน์ ตันนุกิจ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ

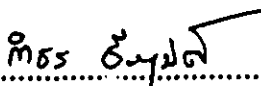
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

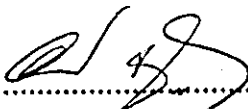
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์พน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ วัฒนผลไพบูลย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ก้าวร ชีรคุปต์)


..... กรรมการ
(นางสาว อนิพันธ์ จารุไชยกุล)

อิริโรจน์ ต้นนุกิจ : ผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นวัสดุเพาะชำร่วมกับหน้าดินและซีเฝ้ากลบ ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของกล้าไม้กระถินเทพา *Acacia mangium* Willd. ประดู่ป่า *Pterocarpus macrocarpus* Kurz. และมะค่าโมง *Azella xylocarpa* Craib. (EFFECT OF SEWAGE SLUDGE AS NURESERY MATERIAL MIXED WITH TOP SOIL AND CHAFF-ASH ON GROWTH AND HEAVY METAL ACCUMULATION IN SEEDLINGS OF *Acacia mangium* Willd. *Pterocarpus macrocarpus* Kurz. AND *Azella xylocarpa* Craib.) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. อรวรรณ ศิริสัมพันธ์วิริยะ, 170 หน้า. ISBN 974 - 333 - 989 - 2

การเพาะชำกล้าไม้ มักใช้วัสดุเพาะชำที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นร่วมกับดิน ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นหน้าดิน ปัจจุบัน การนำหน้าดินมาใช้เป็นวัสดุเพาะชำ จะกระทำได้อย่างขึ้น การสร้างทางเลือกและให้ความสนใจต่อวัสดุเพาะชำชนิดอื่น ทดแทนหรือลดปริมาณหน้าดินลงจึงเป็นความจำเป็น กากตะกอนน้ำเสียชุมชน นับเป็นอินทรีย์สารชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเสมอในทุกกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และมีความจำเป็นที่จะต้องวางแผนจัดการกากตะกอนให้เหมาะสม ทางเลือกหนึ่งของการจัดการ โดยนำเอาลักษณะสมบัติของกากตะกอน ที่สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับพืชและกำหนดขีดจำกัดการใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักให้เกิดความมั่นใจต่อความปลอดภัย น่าจะได้รับการพิจารณาในการทดแทนหน้าดินและหรือวัสดุเพาะชำกล้าไม้ ดังนั้น การศึกษาผลการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชน จากระบบบ่อฝัง เป็นวัสดุเพาะชำร่วมกับหน้าดินและซีเฝ้ากลบ ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของกล้าไม้กระถินเทพา *Acacia mangium* Willd. ประดู่ป่า *Pterocarpus macrocarpus* Kurz. และมะค่าโมง *Azella xylocarpa* Craib. จึงมีเป้าหมายที่จะนำเสนอทางเลือกในการจัดการกากตะกอนให้กับเทศบาลต่างจังหวัด ซึ่งมีระบบบำบัดแบบบ่อฝัง โดยการศึกษาวิจัยแบบทดลองที่เรือนเพาะชำสำนักงาเป่าไม้จังหวัดตาก ด้วยแผนการทดลองแบบ 3 Factors In Randomized Block Design. ทำ 3 ซ้ำ ประกอบด้วย พันธุ์ไม้ 3 ชนิด คือ กระถินเทพา, ประดู่ป่า และมะค่าโมง, วิธีการเพาะชำ 2 วิธี คือ วิธีการที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย และมี 6 ดำรับทดลอง ของอัตราเติมกากตะกอนที่ 30, 50, 70 และ 90 เมตริกตัน / เฮกตาร์ กับสัดส่วนของหน้าดิน : ซีเฝ้ากลบ = 1 : 1

ผลการศึกษา พบว่า กากตะกอนน้ำเสียชุมชน สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารของกล้าไม้ได้ โดยไม่มีข้อจำกัดในการย่อยสลาย(คาร์บอน : ไนโตรเจน = 19 : 1) อัตราเติมกากตะกอนอัตรา 30 - 90 เมตริกตัน / เฮกตาร์ ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก(ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม)และปริมาณโลหะหนัก(แคดเมียม, ทองแดง, แมงกานีส, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสี) ในวัสดุเพาะชำ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการเติม โดยที่ปริมาณโลหะหนัก ก็ยังอยู่ในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อกล้าไม้และพื้นที่ดิน ซึ่งนำกล้าไม้ไปปลูก ส่วนวิธีการเพาะชำ ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการเจริญเติบโต, การสะสมโลหะหนัก และปริมาณโลหะหนักในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้ทั้ง 3 ชนิด ยกเว้น กล้าไม้ประดู่ป่า ที่วิธีการเพาะชำผ่านกระบะทราย ส่งผลให้การเจริญเติบโตดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญด้านความสูง พื้นที่ใบ มวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพส่วนราก และมวลชีวภาพรวม สำหรับอัตราเติมกากตะกอนที่เหมาะสมของกล้าไม้กระถินเทพา, ประดู่ป่า และมะค่าโมง เมื่อยึดเกณฑ์ความสามารถในการเจริญเติบโต, ปริมาณโลหะหนักในกล้าไม้ ปริมาณโลหะหนักในวัสดุเพาะชำ และการทดแทนปริมาณหน้าดิน คือ อัตรา 90 เมตริกตัน / เฮกตาร์ ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย ทั้งนี้ ปริมาณการใช้กากตะกอนที่เหมาะสมในการทดแทนหน้าดินหรือปุ๋ยในการเพาะชำกล้าไม้ คือ 3.9 - 11.9 กรัม / วัสดุเพาะชำ 265 กรัม

คณาจารย์สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ภาคสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
ปีการศึกษา 2542.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4072270023 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : SEWAGE SLUDGE/GROWTH/HEAVY METAL ACCUMULATION/SEEDLING

Thaviroj Tunnukit : EFFECT OF SEWAGE SLUDGE AS NURSERY MATERIAL MIXED WITH TOP SOIL AND CHAFF-ASH ON GROWTH AND HEAVY METAL ACCUMULATION IN SEEDLINGS OF Acacia mangium Willd. Pterocarpus macrocarpus Kurz. AND Azolla xylocarpa Craib.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. ORAWAN SIRIRATPIRIYA, D. Sc., 170 PP. ISBN 974-333-989-2

Seedling-nursery usually use nursery material and top soil which cannot provide any longer. The new alternative of nursery material for substitute or reduce the top soil is, therefore, necessary. Sewage sludge as by product of waste water treatment system is properly an organic material that need to manage. In an alternative of the management was the utilization of nutrient source from sewage sludge for seedling-nursery by limiting heavy metals concentration at save dose is contemplative option. An alternative in the management of sewage sludge from the oxidation pond is the goal for the study on effect of sewage sludge mixed with top soil and chaff-ash on growth and heavy metal accumulation in seedlings of Acacia mangium Willd. Pterocarpus macrocarpus Kurz. and Azolla xylocarpa Craib. This experimental research was carried out at the nursery of Tak provincial forest office. The experimental design was 3 factors in randomized block with 3 replications. The 3 factors were three seedlings(Acacia mangium Willd. Pterocarpus macrocarpus Kurz. and Azolla xylocarpa Craib.), two methods of nursery seedling(pass and not pass the sand box) and six treatments of sewage sludge application rate (30, 50, 70 and 90 metrictons / hectare) with the ratio of top soil and chaff-ash = 1 : 1.

The results showed that sewage sludge can be the source of nutrients for seedling-nursery without decomposition problem(C : N = 19 : 1). Sewage sludge application rate 30 - 90 metrictons / hectare enabled macronutrient(nitrogen, phosphorus and potassium) and heavy metals(cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) increased with the increasing sludge application rate in the the nursery material. At the rate up to 90 metrictons sewage sludge / hectare, there had no possibly harmful effect of heavy metals on seedlings and forest plantation area with this seedlings. Nuresery seedling method did not indicate significant difference of the three seedling in growth and heavy metal accumulation in both seedling and nursery material, except Pterocarpus macrocarpus Kurz. in the method of pass sand box was significant better effected in height, leaf area, shoot biomass, root biomass and total biomass. Suitable application rate based on growth, heavy metal accumulation in seedling and nursery material, and the substitute one volume top soil was 90 metrictons / hectare in the method of not-pass and pass sand box. Hence, the suitable quantity of the sludge for substitute one volume top soil or fertilizer was 3.9 - 11.9 grams/ 265 grams nursery material.

มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความสามารถ ความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลายๆ ท่าน ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณมูลนิธิชิน โสภณพานิข และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนในการศึกษาวิจัย, รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, คุณอภิรักษ์ จารุไชยกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร สีระคุปต์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา สั่งสอนและให้คำแนะนำทุกอย่าง รวมทั้งกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ทุก ๆ ท่านที่ให้คำแนะนำและชี้แนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณพี่ ๆ วนศาสตร์ ประจำสำนักงานป่าไม้จังหวัดและสำนักงานป่าไม้เขต จังหวัดตาก และเจ้าหน้าที่เรือนเพาะชำ โดยเฉพาะพี่สมพงษ์ ทนบันกับป่ากระบี่ อินทร์แจ่ม, เจ้าหน้าที่ของเทศบาลเมืองตาก ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาคตะกอน, เพื่อน ๆ พี่น้องสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม รวมทั้งคุณ ศุภสุข ประดับสุข ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมเอกสารประกอบการนำเสนอวิทยานิพนธ์ คุณ ณัฐพร กะการดี และคุณ สุติมา ทองศรีพงษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณ คณิงนิจ สุทธิชาติ และครอบครัวมุลงาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ที่พัก และให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่, คุณลุงสุธน - คุณป้าทัศนีย์ แสนสุข, คุณลุงรังสรร - คุณป้าเกษมสุข โชว์ศรี, คุณน้ำสุภาพ แสนสุข น้องพรหมวง - ศิษฏาตันนุกิจ ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนทุก ๆ อย่างจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฎ

บทที่

1 บทนำ.....	1
2 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย.....	31
4 ผลการทดลอง.....	49
5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	127
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	160
รายการอ้างอิง.....	163
ประวัติผู้เขียน.....	170

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ลักษณะสมบัติทางเคมีของวัสดุเพาะชำชนิดต่าง ๆ 6
2	ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอน 8
3	ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์บางชนิด 9
4	อัตราการใช้ปุ๋ยเคมีของกล้าไม้บางชนิด 11
5	อัตราการใช้กากตะกอนและผลต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด 25
6	ความสัมพันธ์ของการสะสมโลหะหนักในพืช 27
7	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ppm) ที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร 30
8	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างก่อนการทดลอง 37
9	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและปริมาณโลหะหนัก ในกล้าไม้ 48
10	ลักษณะสมบัติทางเคมีของดิน กากตะกอน และขี้เถ้าแกลบ 50
11	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ppm) ที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร 53
12	ประเมินปริมาณโลหะหนัก (กิโลกรัม / เฮกแตร์) ในกากตะกอนของวัสดุเพาะชำ ซึ่งใช้เพาะ- ชำกล้าไม้กระถินเทพา, ประดู่ป่า และมะค่าโมง ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะ ทราย ณ อัตราเติมกากตะกอน 30, 50, 70 และ 90 เมตริกตัน / เฮกแตร์ 53
13	ขีดจำกัดของกากตะกอนในการนำไปใช้ทางการเกษตร 54
14	ลักษณะสมบัติทางเคมีของวัสดุเพาะชำ เมื่อเริ่มการทดลอง 56
15	F - Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะ ทราย 60
16	ลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วย วิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย 61
17	ลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วย วิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย 62
18	F - Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะ ทราย 67
19	ลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วย

	วิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	68
20	ลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	69
21	F - Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย	74
22	ลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	75
23	ลักษณะสมบัติทางเคมี ในวัสดุเพาะชำ ของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	76
24	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งเพาะชำกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	81
25	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งเพาะชำกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	82
26	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งเพาะชำกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	83
27	F - value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโลหะหนัก ของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	84
28	ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	85
29	ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	86
30	F - value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโลหะหนัก ของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	89
31	ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	90
32	ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	91
33	F - value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโลหะหนัก ของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	94
34	ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วย	

	วิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	95
35	ปริมาณโลหะหนัก (ppm) ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	96
36	F – Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ในวัสดุเพาะชำ ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย	100
37	ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	101
38	ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	102
39	F – Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ในวัสดุเพาะชำ ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	105
40	ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	106
41	ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	107
42	F – Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ในวัสดุเพาะชำ ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	108
43	ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	110
44	ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	111
45	F – Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของปริมาณโลหะหนัก ในกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ในวัสดุเพาะชำ ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	113
46	ปริมาณโลหะหนักในกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย.....	114
47	ปริมาณโลหะหนักในกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย.....	115
48	F – Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของปริมาณโลหะหนัก ในกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ในวัสดุเพาะชำ ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย.....	118
49	ปริมาณโลหะหนักในกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย	119
50	ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย	120

51 F-Value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของปริมาณโลหะหนัก ในกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ในวัสดุเพาะชำ ซึ่งปลูกด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย..... 122

52 ปริมาณโลหะหนักในกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระบะทราย 123

53 ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ของวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระบะทราย 124

54 เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้กระถินเทพา ของการศึกษาค้างนี้กับยุภา รามอินทร์(2535)..... 135

55 เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้ประดู่ป่า ของการศึกษาค้างนี้กับบัณฑิต คบหม่อ นันต์ สอนง่าย และณัฐยศ ชัยชนะทรัพย์(2538) ; สุคนธ์ สิมศิริ, บุญชูบ บุญทวี และ ทินกร วุฒิจารณ์(2530)..... 136

56 เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้มะค่าโมง ของการศึกษาค้างนี้กับสุคนธ์ สิมศิริ บุญชูบ บุญทวี และทินกร วุฒิจารณ์(2530)..... 137

57 ปริมาณโลหะหนัก(ppm)ชนิดต่าง ๆ ในพืช ที่ระดับปกติ และระดับที่ก่อให้เกิดความเป็น พิษต่อพืช..... 143

58 ประเมินอัตราเติม(กิโลกรัม / เฮกเตอร์)ของแคดเมียม, ทองแดง, แมงกานีส, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสี ของวัสดุเพาะชำที่เติมกากตะกอน ณ อัตราเติม 30, 50, 70 และ 90 เมตริกตัน / เฮกเตอร์ ในพื้นที่ดิน ซึ่งได้นำกล้าไม้กระถินเทพา, ประดู่ป่า และมะค่าโมง อายุ 4 เดือน ไปปลูกในระยะ 4 เมตร x 4 เมตร..... 152

59 ประเมินปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ไนเตรท, แอมโมเนียม, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้(มิลลิกรัม / ฤงเพาะชำ) ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้ทั้ง 3 ชนิด เมื่อเริ่มต้นการทดลอง..... 153

60 ระดับความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนัก(ไมโครกรัม / ลบ.ม.)ที่ยอมรับได้ เมื่อถูกปลด ปลดออกมาในเวลาปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง สำหรับผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับโลหะหนัก.... 159

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	ลักษณะเรือนยอด ของกระถินเทพา (<i>Acacia mangium</i> Willd.) 15
2	ลักษณะเปลือก ของกระถินเทพา (<i>Acacia mangium</i> Willd.) 16
3	ลักษณะใบ ดอก และผล ของกระถินเทพา (<i>Acacia mangium</i> Willd.) 16
4	ลักษณะเรือนยอด ของประดู่ป่า (<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.) 18
5	ลักษณะเปลือก ของประดู่ป่า (<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.) 19
6	ลักษณะใบ ดอก และผล ของประดู่ป่า (<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.) 19
7	ลักษณะเรือนยอด ของมะค่าโมง (<i>Azelia xylocarpa</i> Craib.) 21
8	ลักษณะเปลือก ของมะค่าโมง (<i>Azelia xylocarpa</i> Craib.) 22
9	ลักษณะใบ ดอก และผล ของมะค่าโมง (<i>Azelia xylocarpa</i> Craib.) 22
10	ซีढ़้าแกลลป 32
11	กากตะกอนสด 32
12	กากตะกอนแห้ง 33
13	เศษขยะ หิน กรวด ที่ป่นมาในกากตะกอน 33
14	บ่อพักน้ำมถึบรพต อ.เมือง จ. ตาก (สถานที่เก็บกากตะกอนที่ศึกษาวิจัย) 36
15	เรือนเพาะชำ สำนักงานป่าไม้จังหวัดตาก (สถานที่ศึกษาวิจัย) 36
16	เมล็ดกระถินเทพา (<i>Acacia mangium</i> Willd.) ที่ไม่ได้ผ่านการคัดเมล็ดและที่ผ่านการคัดเมล็ด 40
17	เมล็ดกระถินเทพา (<i>Acacia mangium</i> Willd.) ที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำร้อนและที่ผ่านการแช่น้ำร้อน 40
18	เมล็ดประดู่ป่า (<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.) ที่ไม่ได้ผ่านการคัดเมล็ดและที่ผ่านการคัดเมล็ด 41
19	เมล็ดประดู่ป่า (<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.) ที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำและที่ผ่านการแช่น้ำ 41
20	เมล็ดมะค่าโมง (<i>Azelia xylocarpa</i> Craib.) ที่ไม่ได้ผ่านการคัดเมล็ดและที่ผ่านการคัดเมล็ด 42
21	เมล็ดมะค่าโมง (<i>Azelia xylocarpa</i> Craib.) ที่ไม่ได้ผ่านการตัดส่วนหัวออก เมล็ดที่ตัดส่วนหัวออก และที่ผ่านการแช่น้ำ 42
22	กล้าไม้กระถินเทพา อายุ 7 - 10 วัน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระทราย 43

23	กล้าไม้กระถินเทพา อายุ 7 – 10 วัน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระทราย.....	43
24	กล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 7 – 10 วัน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระทราย.....	44
25	กล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 7 – 10 วัน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระทราย.....	44
26	กล้าไม้มะค่าโมง อายุ 7 – 10 วัน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านกระทราย.....	45
27	กล้าไม้มะค่าโมง อายุ 7 – 10 วัน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ผ่านกระทราย.....	45
28	เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกในวัสดุเพาะชำ ดำรับทดลองควบคุม, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอน 70 เมตริกตัน / เฮกแตร์ ด้วยวิธีการเพาะชำที่ ไม่ผ่านและผ่านกระทราย.....	128
29	ลักษณะรากของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวัสดุเพาะชำดำรับทดลอง ควบคุม, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอน 70 เมตริกตัน / เฮกแตร์ ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและ ผ่านกระทราย.....	129
30	เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกในวัสดุเพาะชำ ดำรับทดลองควบคุม, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอน 50 เมตริกตัน / เฮกแตร์ ด้วยวิธีการเพาะชำที่ ไม่ผ่านและผ่านกระทราย.....	130
31	ลักษณะรากของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวัสดุเพาะชำดำรับทดลอง ควบคุม, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอน 50 เมตริกตัน / เฮกแตร์ ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและ ผ่านกระทราย.....	131
32	เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งปลูกในวัสดุเพาะชำ ดำรับทดลองควบคุม, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอน 90 เมตริกตัน / เฮกแตร์ ด้วยวิธีการเพาะชำที่ ไม่ผ่านและผ่านกระทราย.....	132
33	ลักษณะรากของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวัสดุเพาะชำดำรับทดลอง ควบคุม, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอน 90 เมตริกตัน / เฮกแตร์ ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและ ผ่านกระทราย.....	133
34	ปริมาณ(ppm)ของทองแดง, แมงกานีส, นิกเกิล และสังกะสี ในกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระทราย.....	139
35	ปริมาณ(ppm)ของทองแดง, แมงกานีส, นิกเกิล และสังกะสีในกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระทราย.....	140
36	ปริมาณ(ppm)ของทองแดง, แมงกานีส, นิกเกิล และสังกะสี ในกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระทราย.....	141
37	ปริมาณ(ppm)ของแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระทราย.....	145

- 38 ปริมาณ(ppm)ของทองแดง แมงกานีส และสังกะสีในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย..... 146
- 39 ปริมาณ(ppm)ของแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย..... 147
- 40 ปริมาณ(ppm)ของทองแดง แมงกานีส และสังกะสีในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย..... 148
- 41 ปริมาณ(ppm)ของแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย..... 149
- 42 ปริมาณ(ppm)ของทองแดง แมงกานีส และสังกะสีในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ซึ่งเพาะชำด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย..... 150
- 43 ปริมาณสัมพัทธ์ของปริมาณไนเตรท, แอมโมเนียม, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้กระถินเทพา อายุ 4 เดือน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย เมื่อกำหนดให้การเติมปุ๋ยเคมีในวัสดุเพาะชำ = 100 155
- 44 ปริมาณสัมพัทธ์ของปริมาณไนเตรท, แอมโมเนียม, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้ประดู่ป่า อายุ 4 เดือน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย เมื่อกำหนดให้การเติมปุ๋ยเคมีในวัสดุเพาะชำ = 100 156
- 45 ปริมาณสัมพัทธ์ของปริมาณไนเตรท, แอมโมเนียม, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในวัสดุเพาะชำของกล้าไม้มะค่าโมง อายุ 4 เดือน ด้วยวิธีการเพาะชำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบะทราย เมื่อกำหนดให้การเติมปุ๋ยเคมีในวัสดุเพาะชำ = 100 157

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย