การเปลี่ยนแปลงสภาพของไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน โมโนบิวทิลทิน ในน้ำและดินตะกอน

มนทกานต์ วิสุทธิแพทย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
เมษายน 2548

ISBN 974-502-294-2

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ มนทกานต์ วิสุทธิแพทย์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย)

.....กรรมการ
(ดร.วรเทพ มุธุวรรณ)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย)

.....กรรมการ
(ดร.วรเทพ มุธุวรรณ)

.....กรรมการ
(ดร.ศุภวัตร กาญจน์อติเรกลาภ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดารัตน์ สวนจิตร)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)
วันที่ 12 เดือน เมษายน พ.ศ. 2548

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย ดร.วรเทพ มุธุวรรณ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ศุภวัตร กาญจน์อติเรกลาภ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดารัตน์ สวนจิตร เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำสั่งสอน และสนับสนุนทุนการศึกษาด้วยดีตลอดมาโดยไม่ขาดตกบกพร่อง ขอขอบคุณบุญมา กรายไทยสงค์ ที่เป็นกำลังใจและคุณเพ็ญนภา ศรีสวัสดิ์ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทั้งแรงกายและแรงใจเพื่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ พี่ ๆ จากบริษัท Perkin Elmers ที่ได้เสียสละเวลาให้ความรู้และฝึกสอนการใช้เครื่องมือแกสโครมาโตรกราฟฟี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย, โครงการบัณฑิตศึกษา, ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่เสียสละเวลาในการจัดหาและอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์และเครื่องมือด้วยความราบรื่น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากงบประมาณแผ่นดินปี 2545 และโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ทบวงมหาวิทยาลัย

มนทกานต์ วิสุทธิแพทย์

44910794: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพ/ ไตรบิวทิลทิน/ ไดบิวทิลทิน/ โมโนบิวทิลทิน

มนทกานต์ วิสุทธิแพทย์: การเปลี่ยนแปลงสภาพของไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน โมโนบิวทิลทินในน้ำและดินตะกอน (FATE OF TRIBUTYLTIN, DIBUTYLTIN AND MONOBUTYLTIN IN WATER AND SEDIMENTS) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, Ph.D., วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, Ph.D., วรเทพ มุธุวรรณ, Ph.D. 186 หน้า.
ปี พ.ศ. 2547. ISBN 974–502–294–2

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพของไตรบิวทิลทิน (TBT) ไดบิวทิลทิน (DBT) และโมโนบิวทิลทิน (MBT) ในน้ำและดินตะกอน นำมาใส่ในตู้ทดลองขนาด 30x30x60 เซนติเมตร และเติมสาร TBT DBT หรือ MBT ที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นนำน้ำทะเลและดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างมาวิเคราะห์หาปริมาณสาร TBT, DBT และ MBT ในระยะเวลาทดลอง 77 วัน

ผลการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำในตู้ทดลองและตู้ควบคุมในด้านปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ, ความเป็นกรด-ด่าง, ความเค็ม, อุณหภูมิ, แอมโมเนีย, ไนไทรต์ และไนเทรต มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของกรมควบคุมมลพิษ ส่วนในตู้ทดลองที่เติมสาร TBT DBT หรือ MBT ทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น คือ 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารพิษดังกล่าวในน้ำทะเลอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 0.08 วัน (2 ชั่วโมง) หลังจากเติมสาร และในตู้ทดลองที่มีการเติมสารในปริมาณที่สูงกว่าคือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ยังคงพบปริมาณสารพิษที่เติมหลงเหลืออยู่ในน้ำทะเลมีแนวโน้มสูงกว่าตู้ทดลองที่มีการเติมสารในปริมาณที่ต่ำกว่าคือ 5 ไมโครกรัมต่อลิตร ในระยะเวลาทดลอง 77 วัน ยกเว้นสาร DBT ซึ่งถูกย่อยสลายไปจนตรวจไม่พบทั้ง 2 ความเข้มข้นในวันสุดท้ายของการทดลอง สารทั้ง 3 ชนิดมีการสะสมอยู่ในดินตะกอนทั้งชั้นบนและชั้นล่างตั้งแต่ 0.08 วันเช่นกัน โดยที่มีการสะสมของสารในดินตะกอนชั้นบนมากกว่าดินตะกอนชั้นล่าง แต่ในวันที่ 2 ของการทดลองเป็นต้นไปพบปริมาณสารในดินตะกอนชั้นล่างเพิ่มมากขึ้น จนสิ้นสุดการทดลองซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกันทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น สารทั้ง 3 ชนิดจะสะสมในดินตะกอนมากกว่าในน้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มการสะสมในดินตะกอนชั้นล่างมากกว่าชั้นบนในระยะเวลาทดลอง 77 วัน โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

44910794: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE;
M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
KEYWORDS: FATE/ TRIBUTYLTIN/ DIBUTYLTIN/ MONOBUTYLTIN

MONTHAKAN WISUTTIPHAET: FATE OF TRIBUTYLTIN, DIBUTYLTIN AND MONOBUTYLTIN IN WATER AND SEDIMENTS. THESIS ADVISORS: SUBUNTITH NIMRAT, Ph.D., VERAPONG VUTHIPHANDCHAI, Ph.D., VORATHEP MUTHUVAN, Ph.D. 186 P. 2004. ISBN 974-502-294-2

The objective of this study was to evaluate the fate of tributyltin (TBT), dibutyltin (DBT), and monobutyltin (MBT) in water and sediments collected from the coastal area in Chonburi. The experiment was studied under controlled laboratory conditions by using the glass tank with the size of 30x30x60 cm. TBT, DBT or MBT (final concentration 5 or 10 μg/L) was spiked in the experimental tanks and was later detected as TBT, DBT and MBT in water and sediments after incubation for 77 days.

The obtained results showed that the water quality (dissolved oxygen, pH, salinity, temperature, ammonia, nitrate, and nitrite) was not affected by the addition of TBT, DBT and MBT at the concentration of 5 and 10 μg/L, compared to the criteria of Pollution Control Department. TBT, DBT and MBT were degraded in water within 0.08 days (2 hours) in all tanks as spiked with both 5 and 10 μg/L but the primary added substrate and its metabolites were still detected in marine water at the end of the experiment (77 days). Higher concentration of added TBT, DBT and MBT (10 μg/L) in water resulted in higher accumulation of TBT and its derivatives in the water samples, except DBT. The accumulation of TBT, DBT and MBT in sediments both aerobic and anaerobic was found within 0.08 days similarly in water. The accumulated level of TBT, DBT and MBT in the sediments were statistically significant ($p < 0.05$) higher than those in the water for both concentrations. However, the pollutants were finally degraded into very low concentrations and were still detected for primary substrate and metabolites in anaerobic sediments more than in aerobic sediments until the end of the experiment. There was no significant difference in the accumulated level among them.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

สมมติฐานของการวิจัย..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 2

ขอบเขตของการวิจัย..... 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

สารประกอบดีบุกอินทรีย์ (Organatins)..... 4

การใช้ประโยชน์จากสารประกอบดีบุกอินทรีย์..... 4

การปนเปื้อนของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม..... 5

การปนเปื้อนของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในแหล่งน้ำ..... 7

สารประกอบไตรบิวทิลทิน..... 8

สารประกอบไตรบิวทิลทิน (TBT) ในดินตะกอน..... 10

สารประกอบไตรบิวทิลทินในน้ำทะเล..... 11

ผลของสารประกอบไตรบิวทิลทินต่อสิ่งมีชีวิต..... 12

การเกิดพิษเฉียบพลันของสารประกอบไตรบิวทิลทิน..... 14

การเกิดพิษเรื้อรังของสารประกอบไตรบิวทิลทิน..... 15

Imposex..... 17

ความผิดปกติของเปลือกหอย..... 20

การย่อยสลายไตรบิวทิลทิน..... 21

การย่อยสลายทางชีวภาพ..... 22

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	26
	เครื่องมือและอุปกรณ์	26
	สารเคมี	27
	อาหารเลี้ยงเชื้อ	29
	วิธีทดลอง	29
	สถานที่ดำเนินการทดลอง	35
	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	35
	สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์	35
4	ผลการวิจัย	38
	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ	38
	ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพของไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินในน้ำทะเล	43
	ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพของไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินในดินตะกอนชั้นบนที่มีออกซิเจน	58
	ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพของไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินในดินตะกอนชั้นล่างที่ไม่มีออกซิเจน	71
	Fate ของไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	95
	ผลการศึกษาในชุดควบคุม Bioball	113
	ผลการศึกษาในชุดควบคุมไม่มี Bioball	115
	ผลการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน โมโนบิวทิลทิน และการจำแนกสกุลจุลินทรีย์	117
5	สรุปและอภิปรายผล	122
	สรุปผลการทดลอง	122
	อภิปรายผล	124
	ข้อเสนอแนะ	133
บรรณานุกรม		134

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	140
ภาคผนวก ก	141
ภาคผนวก ข	146
ภาคผนวก ค	150
ภาคผนวก ง	165
ประวัติย่อของผู้วิจัย	186

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แหล่งของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม	6
2	คุณสมบัติของสารประกอบไตรบิวทิลทิน (TBT), ไดบิวทิลทิน (DBT) และโมโนบิว ทิลทิน (MBT)	9
3	สารประกอบ TBT ในดินตะกอนจากประเทศต่าง ๆ	10
4	ปริมาณ TBT ในชั้นน้ำจากรายงานการสำรวจจากสถานที่ต่าง ๆ	12
5	การเกิดพิษเฉียบพลันของสารประกอบไตรบิวทิลทินต่อสัตว์ทะเล	14
6	การเกิดพิษเรื้อรังของสารประกอบไตรบิวทิลทินต่อสัตว์ทะเล	16
7	การเกิด Penis ใน *Lepsiella vinosa* ที่ความเข้มข้นของ TBT ต่าง ๆ กัน	17
8	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น TBT และสารตัวกลาง DBT, MBT ในน้ำทะเลของตู้ทดลองที่เติม TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	45
9	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น TBT และสารตัวกลาง DBT, MBT ในน้ำทะเลของตู้ทดลองที่เติม TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	47
10	เปรียบเทียบปริมาณของ TBT ในน้ำทะเลของตู้ทดลองที่เติม TBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	49
11	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น DBT และสารตัวกลาง MBT ในน้ำทะเลของตู้ทดลองที่เติม DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	51
12	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น DBT และสารตัวกลาง MBT ในน้ำทะเลของตู้ทดลองที่เติม DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	53
13	เปรียบเทียบปริมาณของ DBT ในน้ำทะเลของตู้ทดลองที่เติม DBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	55
14	เปรียบเทียบปริมาณของ MBT ในน้ำทะเลของตู้ทดลองที่เติม MBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	58
15	เปรียบเทียบปริมาณของ TBT ในดินตะกอนชั้นบนของตู้ทดลองที่เติม TBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	62
16	เปรียบเทียบปริมาณของ DBT ในดินตะกอนชั้นบนของตู้ทดลองที่เติม DBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	66

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
17	เปรียบเทียบปริมาณของ MBT ในดินตะกอนชั้นบนของตู้ทดลองที่เติม MBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	70
18	เปรียบเทียบปริมาณของ TBT ในดินตะกอนชั้นล่างของตู้ทดลองที่เติม TBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	75
19	เปรียบเทียบปริมาณของ DBT ในดินตะกอนชั้นล่างของตู้ทดลองที่เติม DBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	79
20	เปรียบเทียบปริมาณของ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างของตู้ทดลองที่เติม MBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	83
21	เปรียบเทียบปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	85
22	เปรียบเทียบปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	87
23	เปรียบเทียบปริมาณ DBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	89
24	เปรียบเทียบปริมาณ DBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	91
25	เปรียบเทียบปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	93
26	เปรียบเทียบปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	95
27	ปริมาณ TBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	97
28	แสดงอัตราส่วนของ TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรและสารตัวกลางในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในวันที่ 0.08 และวันที่ 77 ของการทดลอง	98
29	ปริมาณ TBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	แสดงอัตราส่วนของ TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและสารตัวกลางในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในวันที่ 0.08 และวันที่ 77 ของการทดลอง	101
31	ปริมาณ DBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	103
32	แสดงอัตราส่วนของ DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรและสารตัวกลางในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในวันที่ 0.08 และวันที่ 77 ของการทดลอง	104
33	ปริมาณ DBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	106
34	แสดงอัตราส่วนของ DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและสารตัวกลางในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในวันที่ 0.08 และวันที่ 77 ของการทดลอง	107
35	ปริมาณ MBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	109
36	แสดงอัตราส่วนของ MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรและสารตัวกลางในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในวันที่ 0.08 และวันที่ 77 ของการทดลอง	110
37	ปริมาณ MBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่เติม MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	112
38	แสดงอัตราส่วนของ MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและสารตัวกลางในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในวันที่ 0.08 และวันที่ 77 ของการทดลอง	113
39	แสดงลักษณะและคุณสมบัติทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ 3 สายพันธุ์ที่จำแนกได้จากจุลินทรีย์ผสม	121
40	มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง	125
41	แสดงอัตราส่วนของ TBT DBT และ MBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	130
42	การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05–10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	151
43	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05-10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร	152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
44	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.20-80.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	153
45	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.20-80.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และ % Transmission ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร	154
46	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.001-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	156
47	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.001-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร	157
48	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานไตรบิวทิลทินคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อลิตร	159
49	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานไดบิวทิลทินไดคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อลิตร	160
50	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานบิวทิลทินคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อลิตร	161
51	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานไตรบิวทิลทินคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อกรัม	162
52	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานไดบิวทิลทินไดคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อกรัม	163
53	แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานไตรบิวทิลทินคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อกรัม	164
54	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในทุกชุดการทดลอง	166
55	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นกรด-ด่างในทุกชุดการทดลอง	166
56	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิในทุกชุดการทดลอง	166
57	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเค็มในทุกชุดการทดลอง	166
58	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแอมโมเนียในทุกชุดการทดลอง	167
59	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนไทรต์ในทุกชุดการทดลอง	167
60	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนเทรตในทุกชุดการทดลอง	167

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
61	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตามระยะเวลาทดลอง	167
62	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นกรด-ด่างตามระยะเวลาทดลอง	168
63	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิตามระยะเวลาทดลอง	168
64	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเค็มตามระยะเวลาทดลอง	168
65	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแอมโมเนียตามระยะเวลาทดลอง	168
66	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนไทรต์ตามระยะเวลาทดลอง	169
67	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนเทรตตามระยะเวลาทดลอง	169
68	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล	169
69	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล	170
70	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล	170
71	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล	171
72	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ TBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล	171
73	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ DBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล	172
74	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ MBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล	172
75	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน	173
76	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน	173
77	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน	174
78	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน	174

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

79 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ TBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นบน 175

80 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ DBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นบน 175

81 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ MBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นบน 176

82 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นล่าง 176

83 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นล่าง 177

84 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นล่าง 177

85 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสภาพ DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นล่าง 178

86 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ TBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นล่าง 178

87 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ DBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนชั้นล่าง 179

88 การวิเคราะห์ทางสถิติของ MBT 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นล่าง 179

89 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน และชั้นล่าง 180

90 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน และชั้นล่าง 180

91 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน และชั้นล่าง 181

92 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบน และชั้นล่าง 181

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
93	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	182
94	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	182
95	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเลดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	183
96	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเลดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	183
97	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเลดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	184
98	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเลดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	184
99	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเลดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	185
100	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในน้ำทะเลดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่าง	185

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แหล่งที่มาและปริมาณการแพร่กระจายของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม	7
2	แหล่งที่มาและการแพร่กระจายของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในแหล่งน้ำ	8
3	โครงสร้างของ TBT	9
4	การเกิด Imposex 4 ลำดับขั้นของหอย *Hydrobia ulvae* หมายเลข 5 เป็นโครงสร้างปกติของหอยเพศเมีย a: เกิด Penis Primordium (pp) ก่อน Vas Deferens (vs) b: เกิด Vas Deferens ก่อน Penis Primordium	18
5	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงการเกิด Imposex ของหอย *Hydrobia ulvae* ในลำดับขั้นต่าง ๆ กัน (a-f) b และ d เป็นภาพตัดขวางของ Penis Primordium	19
6	การเปลี่ยนรูปของเปลือกที่หนาขึ้นใน Pacific Oysters *Crassostrea gigas* ที่พบในประเทศนิวซีแลนด์	20
7	เปลือกหอยนางรม *C. gigas* ที่ได้รับผลกระทบจาก TBT จากประเทศอังกฤษ	21
8	เครื่องมือเก็บดินตะกอนจากตู้ทดลอง	35
9	แสดงการใส่ดินตะกอนในตู้ทดลอง	36
10	แสดงการใส่ดินตะกอนและน้ำทะเลในตู้ทดลอง	36
11	แสดงระบบการหมุนเวียนของน้ำในตู้ทดลองโดยใช้ Bioball	37
12	แสดงตู้ทดลองที่ใส่สารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทิน และชุดควบคุม	37
13	ผลการตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในตู้ทดลอง	38
14	ผลการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในตู้ทดลอง	39
15	ผลการตรวจวัดอุณหภูมิในตู้ทดลอง	40
16	ผลการตรวจวัดความเค็มในตู้ทดลอง	40
17	ผลการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียในตู้ทดลอง	41
18	ผลการตรวจวัดปริมาณไนไทรต์ในตู้ทดลอง	42
19	ผลการตรวจวัดปริมาณไนเทรตในตู้ทดลอง	42
20	แสดงปริมาณของ TBT DBT และ MBT ในน้ำทะเลที่เติม TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

21 แสดงปริมาณของ TBT DBT และ MBT ในน้ำทะเลที่เติม TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 46

22 แสดงปริมาณของ TBT ในน้ำทะเลในตู้ทดลองที่เติม TBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 48

23 แสดงปริมาณของ DBT และ MBT ในน้ำทะเลที่เติม DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 50

24 แสดงปริมาณของ DBT และ MBT ในน้ำทะเลที่เติม DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 52

25 แสดงปริมาณของ DBT ในน้ำทะเลในตู้ทดลองที่เติม DBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 54

26 แสดงปริมาณของ MBT ในน้ำทะเลที่เติม MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 56

27 แสดงปริมาณของ MBT ในน้ำทะเลที่เติม MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 56

28 แสดงปริมาณของ MBT ในน้ำทะเลในตู้ทดลองที่เติม MBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 57

29 แสดงปริมาณ TBT DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นบนที่มีการเติม TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 59

30 แสดงปริมาณ TBT DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นบนที่มีการเติม TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 60

31 แสดงปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นบนในตู้ทดลองที่มีการเติม TBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 61

32 แสดงปริมาณ DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นบนที่มีการเติม DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 63

33 แสดงปริมาณ DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นบนที่มีการเติม DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 64

34 แสดงปริมาณ DBT ในดินตะกอนชั้นบนในตู้ทดลองที่มีการเติม DBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 65

35 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นบนที่มีการเติม MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 67

36 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นบนที่มีการเติม MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

37 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นบนในตู้ทดลองที่มีการเติม MBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 69

38 แสดงปริมาณ TBT DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างที่มีการเติม TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 72

39 แสดงปริมาณ TBT DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างที่มีการเติม TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 73

40 แสดงปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม TBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 74

41 แสดงปริมาณ DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างที่มีการเติม DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 76

42 แสดงปริมาณ DBT และ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างที่มีการเติม DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 77

43 แสดงปริมาณ DBT ในดินตะกอนชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม DBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 78

44 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างที่มีการเติม MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 80

45 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างที่มีการเติม MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 81

46 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม MBT 5 หรือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 82

47 แสดงปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม TBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 84

48 แสดงปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม TBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 86

49 แสดงปริมาณ DBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม DBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 88

50 แสดงปริมาณ DBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม DBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

51 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม MBT 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 92

52 แสดงปริมาณ MBT ในดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม MBT 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 94

53 แสดงปริมาณ TBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม TBT จำนวน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 96

54 แสดงปริมาณ TBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม TBT จำนวน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 99

55 แสดงปริมาณ DBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม DBT จำนวน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 102

56 แสดงปริมาณ DBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม DBT จำนวน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 105

57 แสดงปริมาณ MBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม MBT จำนวน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 108

58 แสดงปริมาณ MBT ในน้ำทะเล ดินตะกอนชั้นบนและชั้นล่างในตู้ทดลองที่มีการเติม MBT จำนวน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 111

59 แสดงปริมาณ TBT ในชุดควบคุม Bioball 114

60 แสดงปริมาณ DBT ในชุดควบคุม Bioball 114

61 แสดงปริมาณ MBT ในชุดควบคุม Bioball 115

62 แสดงปริมาณ TBT ในน้ำทะเลของชุดควบคุมไม่มี Bioball 116

63 แสดงปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นบนของชุดควบคุมไม่มี Bioball 116

64 แสดงปริมาณ TBT ในดินตะกอนชั้นล่างของชุดควบคุมไม่มี Bioball 117

65 แสดงการเจริญของจุลินทรีย์ผสมในขวดซีรั่มที่เติม TBT 2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร 118

66 แสดงการเจริญของจุลินทรีย์ผสมในขวดซีรั่มที่เติม DBT 2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร 119

67 แสดงการเจริญของจุลินทรีย์ผสมในขวดซีรั่มที่เติม MBT 2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร 120

68 แสดงกราฟมาตรฐานของแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05-10 มิลลิกรัมต่อลิตร 152

69 แสดงกราฟมาตรฐานของไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 155

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

70 แสดงกราฟมาตรฐานของไนเทรตที่ความเข้มข้น 1.00-10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 155

71 แสดงกราฟมาตรฐานของไนเทรตที่ความเข้มข้น 10.00-80.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 156

72 แสดงกราฟมาตรฐานของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.001-0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 158

73 แสดงกราฟมาตรฐานของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.05-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 158

74 แสดงกราฟมาตรฐานของ TBT ในน้ำทะเลที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร..... 159

75 แสดงกราฟมาตรฐานของ DBT ในน้ำทะเลที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร..... 160

76 แสดงกราฟมาตรฐานของ MBT ในน้ำทะเลที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร..... 161

77 แสดงกราฟมาตรฐานของ TBT ในดินตะกอนที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อกรัม..... 162

78 แสดงกราฟมาตรฐานของ DBT ในดินตะกอนที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อกรัม..... 163

79 แสดงกราฟมาตรฐานของ MBT ในดินตะกอนที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อกรัม..... 164