การเกิด Imposex และการเปลี่ยนสภาพของสารโมโนบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และไตรบิวทิลทินในหอยหวาน

กณิกนันต์ ศรีสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
เมษายน 2549

ISBN 974-502-732-4

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ กณิกนันต์ ศรีสวัสดิ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.คเชนทร เฉลิมวัฒน์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.คเชนทร เฉลิมวัฒน์)

.....กรรมการ

(ดร.ศุภวัตร กาญจน์อติเรกลาภ)

.....กรรมการ

(ดร.วรเทพ มุธุวรรณ)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)

วันที่ 21 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2549

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย รองศาสตราจารย์ ดร.คเชนทร เฉลิมวัฒน์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ศุภวัตร กาญจน์อติเรกลาภ และดร.วรเทพ มุธุวรรณ เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำสั่งสอน และสนับสนุนทุนการศึกษาด้วยดีตลอดมาโดยไม่ขาดตกบกพร่อง ขอขอบคุณคุณมนฑกานต์ วิสุทธิแพทย์ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทั้งแรงกายและแรงใจเพื่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ พี่ ๆ จากบริษัท Perkin Elmers ที่ได้เสียสละเวลาให้ความรู้และฝึกสอนการใช้เครื่องมือแกสโครมาโตรกราฟฟี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย, โครงการบัณฑิตศึกษา, ภาควิชาวารีชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่เสียสละเวลาในการจัดหาและอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์และเครื่องมือด้วยความราบรื่น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากงบประมาณแผ่นดินปี 2545 และโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ทบวงมหาวิทยาลัย

กณิกนันต์ ศรีสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

45911952: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: การพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในหอยเพศเมีย/ ไตรบิวทิลทิน/ ไดบิวทิลทิน/ โมโนบิวทิลทิน/ หอยหวาน

กณิกนันต์ ศรีสวัสดิ์: การเกิด Imposex และการเปลี่ยนสภาพของสารโมโนบิวทิลทิน ไดบิวทิลทินและไตรบิวทิลทินในหอยหวาน (IMPOSEX AND FATE OF MONOBUTYLTIN, DIBUTYLTIN AND TRIBUTYLTIN IN SPOTTED BABYLON (*BABYLONIA AREOLATA*)) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, Ph.D., วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, Ph.D., คเชนทร เฉลิมวัฒน์, Ph.D. 188 หน้า. ปี พ.ศ. 2549. ISBN 974-502-732-4

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเกิด Imposex และการเปลี่ยนสภาพของสารโมโนบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และไตรบิวทิลทินในหอยหวาน โดยนำมาเลี้ยงในตู้ทดลองขนาด 30x30x60 เซนติเมตร และเติมสารโมโนบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และไตรบิวทิลทินที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นนำหอยหวานมาวิเคราะห์หาปริมาณสารโมโนบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และไตรบิวทิลทิน พร้อมทั้งสังเกตอัตราการตาย อัตราการเจริญเติบโต และการเกิด Imposex ในหอยหวานเป็นระยะเวลา 120 วัน

ผลการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำในชุดการทดลองและชุดควบคุมในด้านปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ, ความเป็นกรด-ด่าง, ความเค็ม, อุณหภูมิ, แอมโมเนีย, ไนไทรต์ และไนเทรต มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของกรมควบคุมมลพิษ ส่วนในชุดการทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน หรือไตรบิวทิลทินทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น คือ 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารพิษดังกล่าวในหอยหวานอย่างช้า ๆ ภายในระยะเวลา 14 วันหลังจากเติมสาร และในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทินในปริมาณที่สูงกว่าคือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ยังคงพบปริมาณสารพิษที่เติมหลงเหลืออยู่ในหอยหวานสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทินในปริมาณที่ต่ำกว่าคือ 5 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p > 0.05$) ส่วนสารไดบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทินทั้ง 2 ความเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายที่ใกล้เคียงกัน สารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทินที่สะสมในหอยหวานในการทดลองครั้งนี้ส่งผลกระทบต่อหอยหวานที่ได้รับสารโดยส่งผลต่อระบบการทำงานต่าง ๆ ภายในตัวหอยหวานและแสดงออกทางอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักและสามารถเหนี่ยวนำให้หอยหวานเพศเมียแสดงลักษณะเพศผู้ได้ แต่สารโมโนบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และไตรบิวทิลทินทั้ง 2 ความเข้มข้นไม่ส่งผลกระทบถึงอัตราการตายของหอยหวาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

45911952: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE: M. Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: IMPOSEX/ TRIBUTYLTIN/ DIBUTYLTIN/ MONOBUTYLTIN/ *BABYLONIA AREOLATA*

KANIKNUN SRISAWAT: IMPOSEX AND FATE OF MONOBUTYLTIN, DIBUTYLTIN AND TRIBUTYLTIN IN SPOTTED BABYLON (*BABYLONIA AREOLATA*)). THESIS ADVISOR: SUBUNTITH NIMRAT, Ph.D., VERAPONG VUTHIPHANDCHAI, Ph.D., KASHANE CHALERMWAT, Ph.D. 188 P. 2006 ISBN 974-502-732-4

The objective of the present study was to evaluate imposex and fate of tributyltin (TBT), dibutyltin (DBT), and monobutyltin (MBT) in Babylonia areolata. The experiment was studied using the glass tank of 30x30x60 cm. TBT, DBT or MBT (final concentration 5 or 10 μg/L) was spiked to the experimental tanks and later detected for TBT, DBT and MBT in *Babylonia areolata*. Mortality rate, growth rate and imposex for 120 days of *Babylonia areolata* were observed.

The obtained results showed that 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 Babylonia areolata within 14 days in all tanks spiked with both 5 and 10 μg/L but the primary added substrate and its metabolites were still detected in *Babylonia areolata* until the end of the experiment (120 days). Higher concentration of added TBT (10 μg/L) resulted in higher accumulation of spiked TBT in *Babylonia areolata* compared to those spiked with 5 μg/L but not significantly different ($p > 0.05$). Biodegradation of DBT and MBT showed the similar phenomenon in *Babylonia areolata*. The results concluded that TBT, DBT and MBT affected on *Babylonia areolata* through growth rate (weight reduction) and occurrence of imposex but not effect on the mortality rate of *Babylonia areolata*.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

สารประกอบดีบุกอินทรีย์ 4

การใช้ประโยชน์จากสารประกอบดีบุกอินทรีย์ 4

การปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์สู่สิ่งแวดล้อม 5

การปนเปื้อนของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในแหล่งน้ำ 7

สารประกอบไตรบิวทิลทิน 8

สารประกอบไตรบิวทิลทิน (TBT) ในดินตะกอน 10

สารประกอบไตรบิวทิลทินในน้ำทะเล 11

ผลของสารประกอบไตรบิวทิลทินต่อสิ่งมีชีวิต 12

การเกิดพิษเฉียบพลันของสารประกอบไตรบิวทิลทิน 13

การเกิดพิษเรื้อรังของสารประกอบไตรบิวทิลทิน 15

หอยหวาน 17

ลักษณะโดยทั่วไป 17

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การแพร่กระจาย	18
	การสืบพันธุ์	18
	Imposex	21
	ความผิดปกติของเปลือกหอย	24
	การย่อยสลายไตรบิวทิลทิน	25
	กระบวนการ Adsorption และ Desorption	25
	การย่อยสลายทางชีวภาพ	27
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
3	วิธีการดำเนินการวิจัย	31
	เครื่องมือและอุปกรณ์	31
	สารเคมี	32
	วิธีการดำเนินงานวิจัย	33
	สถานที่ดำเนินการวิจัย	39
	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	40
	สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์	40
4	ผลการวิจัย	41
	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ	41
	ผลการศึกษาการเปลี่ยนสภาพของสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินในหอยหวาน	50
	ผลการศึกษาอัตราการตายของหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน	67
	ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน	72
	ผลการศึกษาการเกิด Imposex ในหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน	99

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ผลการศึกษาระดับการเกิด Imposex (State of Imposex) ในหอยหวาน ในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน	115
5	สรุปและอภิปรายผล	123
	สรุปผลการทดลอง	123
	อภิปรายผลการทดลอง	126
	ข้อเสนอแนะ	139
บรรณานุกรม		141
ภาคผนวก		151
	ภาคผนวก ก สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	152
	ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลายมาตรฐานและกราฟมาตรฐาน	155
	ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	168
ประวัติย่อของผู้วิจัย		189

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แหล่งของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม	6
2	คุณสมบัติของสารประกอบไตรบิวทิลทิน (TBT), ไดบิวทิลทิน (DBT) และโมโนบิวทิลทิน (MBT)	9
3	สารประกอบ TBT ในดินตะกอนประเทศต่าง 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	21
8	ระดับการเกิด Imposex	35
9	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น (สารไตรบิวทิลทิน) และสารตัวกลาง (สารไดบิวทิลทินและสารโมโนบิวทิลทิน) ในหอยหวานของชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	52
10	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น (สารไตรบิวทิลทิน) และสารตัวกลาง (สารไดบิวทิลทินและสารโมโนบิวทิลทิน) ในหอยหวานของชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	55
11	การเปรียบเทียบปริมาณของสารไตรบิวทิลทินในหอยหวานของชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	57
12	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น (ไดบิวทิลทิน) และสารตัวกลางในหอยหวานของชุดการทดลองที่เติมไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	59
13	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตั้งต้น (สารไดบิวทิลทิน) และสารตัวกลางในหอยหวานของชุดการทดลองที่เติมไดบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	61
14	การเปรียบเทียบปริมาณของสารไดบิวทิลทินในหอยหวานของชุดการทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	63
15	การเปรียบเทียบปริมาณของสารโมโนบิวทิลทินในหอยหวานของชุดการทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	65

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	อัตราการตายของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน ความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดทดลองที่ไม่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน	71
17	อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน โมโนบิวทิลทินที่ความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	73
18	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยวัดจากความยาวในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	76
19	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยวัดจากความยาวในชุดการทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	78
20	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยวัดจากความยาวในชุดการทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	80
21	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยวัดจากความยาวในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	83
22	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยวัดจากความยาวในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	86
23	อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน โมโนบิวทิลทิน ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	87
24	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยการชั่งน้ำหนักในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	90
25	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยการชั่งน้ำหนักในชุดการทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	92
26	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยการชั่งน้ำหนักในชุดการทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	94

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
27	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยการชั่งน้ำหนักในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	96
28	การเจริญเติบโตของหอยหวานโดยการชั่งน้ำหนักในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม	98
29	การเกิด Imposex ในแต่ละชุดการทดลอง	100
30	ความยาวของ Pseudopenis ในหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	102
31	ความยาวของ Pseudopenis ในหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	105
32	ความยาวของ Pseudopenis ในหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	108
33	ความยาวของ Pseudopenis ในหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	111
34	ความยาวของ Pseudopenis ในหอยหวานในชุดการทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	114
35	การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05–10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	155
36	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05-10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร	156
37	การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.20-80.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	157
38	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.20-80.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และ % Transmission ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร	158
39	การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.001-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	160

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

40 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.001-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร 161

41 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไตรบิวทิลทินคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อลิตร 163

42 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไดบิวทิลทินไดคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อลิตร 164

43 การเตรียมสารละลายมาตรฐานบิวทิลทินคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50-10.00 ไมโครกรัมต่อลิตร 165

44 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในทุกชุดการทดลอง 168

45 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นกรด-ด่างในทุกชุดการทดลอง 168

46 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิในทุกชุดการทดลอง 168

47 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเค็มในทุกชุดการทดลอง 168

48 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแอมโมเนียในทุกชุดการทดลอง 169

49 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนไทรต์ในทุกชุดการทดลอง 169

50 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนเทรตในทุกชุดการทดลอง 169

51 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตามระยะเวลาทดลอง 169

52 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นกรด-ด่างตามระยะเวลาทดลอง 170

53 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิตามระยะเวลาทดลอง 170

54 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเค็มตามระยะเวลาทดลอง 170

55 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแอมโมเนียตามระยะเวลาทดลอง 170

56 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนไทรต์ตามระยะเวลาทดลอง 171

57 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของไนเทรตตามระยะเวลาทดลอง 171

58 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารไตรบิวทิลทินและสารตัวกลางในชุดการทดลองไตรบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในหอยหวาน 171

59 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารไตรบิวทิลทินและสารตัวกลางในชุดการทดลองไตรบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในหอยหวาน 172

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
60	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารไดบิวทิลทินและสารตัวกลางในชุดการทดลองไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตรในหอยหวาน	172
61	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารไดบิวทิลทินและสารตัวกลางในชุดการทดลองไดบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในหอยหวาน	173
62	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในหอยหวาน	173
63	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในหอยหวาน	174
64	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตรในหอยหวาน	174
65	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการตายของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	175
66	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการตายของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	175
67	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการตายของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	176
68	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการตายของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	176
69	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการตายของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	177
70	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	177
71	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	178
72	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	178

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
73	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	179
74	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	179
75	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	180
76	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	180
77	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	181
78	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	181
79	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	182
80	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	182
81	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	183
82	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	183
83	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	184

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

84 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดทดลองที่เติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 184

85 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระดับการเกิด Imposex ในหอยหวานในชุดการทดลองไตรบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 185

86 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระดับการเกิด Imposex ในหอยหวานในชุดการทดลองไตรบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 185

87 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระดับการเกิด Imposex ในหอยหวานในชุดการทดลอง ไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 186

88 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระดับการเกิด Imposex ในหอยหวานในชุดการทดลอง ไดบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 186

89 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระดับการเกิด Imposex ในหอยหวานในชุดการทดลอง โมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 187

90 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระดับการเกิด Imposex ในหอยหวานในชุดการทดลอง โมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 187

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แหล่งที่มาและปริมาณการแพร่กระจายของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม	7
2	แหล่งที่มาและการแพร่กระจายของสารประกอบดีบุกอินทรีย์ในแหลงน้ำ	8
3	โครงสร้างของ TBT	9
4	หอยหวาน	17
5	ลักษณะภายนอกที่ใช้แสดงลักษณะหอยเพศผู้	18
6	ไดอะแกรมแสดงระบบสืบพันธุ์ของหอยหวานเพศเมีย	19
7	ไดอะแกรมแสดงระบบสืบพันธุ์ของหอยหวานเพศผู้	20
8	การเกิด Imposex 6 ลำดับขั้นของหอย *Nucella lapillus*	22
9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงการเกิด Imposex ของหอย *Hydrobia ulvae* ในลำดับขั้นต่างๆ กัน (a-f) b และ d เป็นภาพตัดขวางของ Penis Primordium	23
10	การเปลี่ยนรูปของเปลือกที่หนาขึ้นใน Pacific oysters *Crassostrea gigas* ที่พบในประเทศนิวซีแลนด์	24
11	การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารไตรบิวทิลทินในสิ่งแวดล้อม	25
12	การเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในชุดที่มีสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และ โมโนบิวทิลทินจำนวน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	43
13	การเปรียบเทียบอุณหภูมิในชุดที่มีสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินจำนวน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	44
14	การเปรียบเทียบความเป็นกรด-ด่างในชุดที่มีสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินจำนวน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	45
15	การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียในชุดที่มีสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินจำนวน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	46
16	การเปรียบเทียบปริมาณของไนไทรต์ในชุดที่มีสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินจำนวน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	47
17	การเปรียบเทียบปริมาณไนเทรตในชุดที่มีสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินจำนวน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	48

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	การเปรียบเทียบความเต็มในชุดที่มีสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทิน จำนวน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	49
19	ปริมาณของสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินในหอยหวาน ในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	51
20	ปริมาณของสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินในหอยหวาน ในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	54
21	ปริมาณการสะสมของสารไตรบิวทิลทินในหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติม สารไตรบิวทิลทิน 5 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	56
22	ปริมาณของสารไดบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทินในหอยหวานในชุดการทดลอง ที่มีการเติมสารไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร	58
23	ปริมาณของสารไดบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทินในหอยหวานในชุดการทดลอง ที่มีการเติมสารไดบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	60
24	ปริมาณของสารไดบิวทิลทินในหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติม สารไดบิวทิลทิน 5 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	62
25	ปริมาณของสารโมโนบิวทิลทินในหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติม สารโมโนบิวทิลทิน 5 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	64
26	อัตราการตายของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	66
27	อัตราการตายของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	67
28	อัตราการตายของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	68
29	อัตราการตายของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	69
30	อัตราการตายของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม	70

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

31 ความยาวของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10ไมโครกรัมต่อลิตร 75

32 ความยาวของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 77

33 ความยาวของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 79

34 ความยาวของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม 82

35 ความยาวของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม 85

36 น้ำหนักของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 89

37 น้ำหนักของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 91

38 น้ำหนักของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 93

39 น้ำหนักของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม 95

40 น้ำหนักของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตรและชุดควบคุม 97

41 อัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสาร ไตรบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 101

42 อัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสาร ไดบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 104

43 อัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสาร โมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 107

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

44 อัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 110

45 อัตราการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 113

46 ระดับการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 116

47 ระดับการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไตรบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 117

48 ระดับการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 118

49 ระดับการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารไดบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 120

50 ระดับการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 121

51 ระดับการเกิด Imposex ของหอยหวานในชุดการทดลองที่มีการเติมสารโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 122

52 กราฟมาตรฐานของแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05-10 มิลลิกรัมต่อลิตร 156

53 กราฟมาตรฐานของไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 159

54 กราฟมาตรฐานของไนเทรตที่ความเข้มข้น 1.00-10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 159

55 กราฟมาตรฐานของไนเทรตที่ความเข้มข้น 10.00-80.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 159

56 กราฟมาตรฐานของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.001-0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร 162

57 กราฟมาตรฐานของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.05-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 162

58 กราฟมาตรฐานของสารไตรบิวทิลทินในหอยหวานที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร 164

59 กราฟมาตรฐานของสารไดบิวทิลทินในหอยหวานที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร 165

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

60 กราฟมาตรฐานของสารโมโนบิวทิลทินในหอยหวานที่ความเข้มข้น 0.5-10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร 166

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University