

การตรวจวัดระดับการเรืองแสงของเมตาบอไลต์ในน้ำคื และระดับปฏิกิริยา Ethoxyresorufin - O -
Deethylase (EROD) ในตับของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัด
การปนเปื้อนของสารประกอบโพลีซัยคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ

มลธิรา ปิ่นแดง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

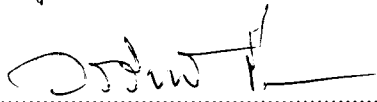
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤษภาคม 2550

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

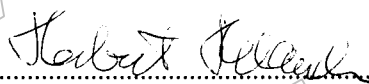
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ มลธิรา ปิ่นแดง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

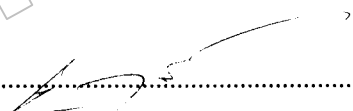

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ชีวาพร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูตา บุญศักดิ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธาน
(Professor Dr. Herbert Helander)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ชีวาพร)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูตา บุญศักดิ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช ตั้งเกริกโอพาร)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประทุม ม่วงมี)

วันที่ ๒๒ เดือน กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๐

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา

จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

ประจำปีการศึกษา 2549

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ ชีวาพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังให้ความช่วยเหลือ และดูแลเป็นอย่างดี ทำให้ผู้วิจัยทำงานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ Professor Dr. Herbert Helander ซึ่งเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตานันท์ บุญภักดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนุช ตั้งกรีกโอฟาร กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะในปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชาวาริชศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวาริชศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณสถานีวิจัย และพัฒนาประมงน้ำจืดชลบุรี จังหวัดชลบุรี ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่าง ปลานิล และขอขอบคุณนายสมพงษ์ ซึ่งแสง (ลุงพงษ์) ที่คอยช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการเพาะเลี้ยงตัวอย่างมาโดยตลอด

ขอขอบคุณหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อให้ใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้องวิธี

ขอขอบคุณนางสาวชลลัดดา สมนึก และนางสาวรุ่งนภา สุขสว่าง รวมถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา ผู้ล่วงลับไปแล้ว มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาครั้งนี้มาโดยตลอด

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย ประจำภาคฤดูร้อน ปีการศึกษา 2549 และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2550 จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

มลธิรา ปิ่นแดง

48912077: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน/ เมตาบอไลต์/ ระดับปฏิกิริยา EROD/

เทคนิค Fixed Wavelength Fluorescence/ ดัชนีชี้วัด/ ปลานิล (*Oreochromis niloticus*)

มลธิรา ปิ่นแดง: การตรวจวัดระดับการเรืองแสงของเมตาบอไลต์ในน้ำดี และระดับ

ปฏิกิริยา Ethoxyresorufin - O - Deethylase ในตับของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ

(FLUORESCENCE DETERMINATION OF BILE METABOLITES AND

ETHOXYRESORUFIN-O-DEETHYLASE ACTIVITY IN NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) AS INDICATORS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON

CONTAMINATION IN AQUATIC ENVIRONMENTS): คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์:

วรวิทย์ ชีวาพร, Ph.D., ชูตา บุญศักดิ์, Ph.D. 144 หน้า. ปี พ.ศ. 2550.

การตรวจวัดระดับการเรืองแสงของเมตาบอไลต์ในน้ำดีด้วยเทคนิค Fixed Wavelength Fluorescence (FF) และระดับปฏิกิริยา Ethoxyresorufin - O - Deethylase (EROD) ในตับของปลา เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ โดยทำการศึกษาในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่สัมผัสสารประกอบฟิเอเอช คือ แนฟทาลิน, ฟิแนนทรีน และไพรีน ที่ระดับความเข้มข้นที่ไม่ก่อให้เกิดการตายในเวลา 96 ชั่วโมง และน้ำมันทางการค้า คือ น้ำมันเครื่อง API SG/CD, น้ำมันเบนซิน 91 และน้ำมันดีเซล ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระบบน้ำแบบไหลต่อเนื่อง และบันทึกข้อมูลที่ 0 และ 6 ชั่วโมง 1, 5 และ 9 วัน พบว่า ระดับการเรืองแสงของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดี และระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลา ที่ตรวจวัดได้มีความแปรผันตรงกับระยะเวลา และความเข้มข้นที่ใช้ในการสัมผัส และมีระดับสูงสุดหลังจากสัมผัสนาน 9 วัน กล่าวคือ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันในระดับสูง ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($p = 0.01$) และ 95 ($p = 0.05$) เทคนิค FF ที่ใช้ตรวจวัดระดับการเรืองแสงของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดี มีความไวต่อการเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพมากกว่าระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ ซึ่งเหมาะกับการศึกษาในการสัมผัสกับสารประกอบฟิเอเอชมาแล้วเป็นระยะเวลานาน จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เทคนิค FF ที่ใช้ในการตรวจวัดฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดี และระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลา เป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจติดตามการปนเปื้อนสารประกอบฟิเอเอชในแหล่งน้ำ

48912077: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc.

(ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHS)/ BILE

METABOLITES/ ETHOXYRESORUFIN-O-DEETHYLASE ACTIVITY/
FIXED WAVELENGTH FLUORESCENCE/ INDICATOR/ NILE TILAPIA
(*Oreochromis niloticus*)

MONTIRA PINDANG: FLUORESCENCE DETERMINATION OF BILE
METABOLITES AND ETHOXYRESORUFIN-O-DEETHYLASE ACTIVITY IN NILE
TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) AS INDICATORS OF POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBON CONTAMINATION IN AQUATIC ENVIRONMENTS. ADVISORY
COMMITTEE: VORAVIT CHEEVAPORN, Ph.D., CHUTA BOONPAKDEE, Ph.D. 144 P.
2007.

Fixed wavelength fluorescence (FF) detection of bile metabolites and Ethoxyresorufin - O - Deethylase (EROD) activity (cytochrome P4501A) in liver of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) were used as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in aquatic environments. The fish were continuously exposed to no-observed-effect-levels (NOEL) of naphthalene, phenanthrene and pyrene and 1 ml/L of commercial oil (lubrication oil, benzene oil and diesel oil) for 0, 6 h, 1, 5 and 9 days in a continuous flow system. Fluorescence intensity of bile metabolites and EROD activity in fish liver, increased with increasing of exposure time and concentration of PAHs. High correlation was found between FF level of bile metabolites and EROD activity in fish liver. This study demonstrated that FF detection of PAHs metabolites in bile could be a sensitive indicator as well as EROD activity in a long term exposure to sublethal concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons. Both methods can used as a tool of monitoring PAH contamination in aquatic environments.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการจากการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
สถานที่ทำการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
สารประกอบโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	4
แหล่งกำเนิดของสารประกอบพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม.....	6
การปนเปื้อนของสารประกอบพีเอเอชในแหล่งน้ำธรรมชาติ.....	8
การได้รับสารประกอบพีเอเอชของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ.....	15
การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารประกอบพีเอเอชในสิ่งมีชีวิต.....	18
การศึกษาระดับความเป็นพิษของสารประกอบพีเอเอช.....	22
ดัชนีชี้วัดของสารประกอบพีเอเอชที่ปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิต.....	24
เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence).....	27
ปลานิล (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	29
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	41
อุปกรณ์.....	41
สารเคมี.....	42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
วิธีการ.....	43
การเตรียมอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์.....	43
การเตรียมตัวอย่างสัตว์ทดลอง.....	44
การทดสอบระดับความเป็นพิษ.....	44
การวางแผนการทดลอง.....	46
การสกัดตัวอย่าง.....	51
การวิเคราะห์.....	53
การคำนวณ.....	56
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	57
4 ผลการวิจัย.....	59
การศึกษาเบื้องต้น.....	59
การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อระดับการเรืองแสงของพีเอชเมตาบอไลต์.....	66
การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อระดับปฏิกิริยา EROD.....	74
การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัว.....	79
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	85
5 สรุปและผลปรายผล.....	97
สรุปผลการวิจัย.....	97
อภิปรายผลผลการวิจัย.....	101
ข้อเสนอแนะ.....	110
รายการอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก.....	117
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	118
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐาน.....	123
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	125
ภาคผนวก ง อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	138
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ของสารประกอบฟิเอเอช.....	6
2 สถิติการรั่วไหลของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ในปี 2516-2548.....	10
3 การปนเปื้อนของสารประกอบฟิเอเอชในน้ำ และดินตะกอนในประเทศต่าง ๆ.....	13
4 คุณภาพน้ำระหว่างการศึกษา.....	59
5 ระดับการเรืองแสงของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลานิล ในกลุ่มควบคุม ที่เดิม และไม่เติมอะซิโตนไนไตรท์ (น้ำเปล่า).....	64
6 ระดับปฏิกิริยา EROD ในน้ำดีของปลานิล ในกลุ่มควบคุมที่เดิม และไม่เติม อะซิโตนไนไตรท์ (น้ำเปล่า).....	64
7 ระดับของสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของปลานิล ในกลุ่มควบคุม ที่เดิม และไม่เติมอะซิโตนไนไตรท์ (น้ำเปล่า).....	65
8 ระดับการเรืองแสงของเนพทาไลน์เมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลานิล ที่สัมผัส เนพทาไลน์ ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	67
9 ระดับการเรืองแสงของฟิเนนทรีนเมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลานิล ที่สัมผัสกับ ฟิเนนทรีน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	69
10 ระดับการเรืองแสงของไฟรีนเมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลานิล ที่สัมผัสกับไฟรีน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	70
11 ระดับการเรืองแสงของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมัน ทางการค้าที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....	72
12 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับเนพทาไลน์ ที่ระยะเวลา และ ความเข้มข้นต่าง ๆ	74
13 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับฟิเนนทรีน ที่ระยะเวลา และ ความเข้มข้นต่าง ๆ	75
14 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับไฟรีน ที่ระยะเวลา และความ เข้มข้นต่าง ๆ	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
15 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันทางการค้าแต่ละชนิด ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	78
16 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของปลานิล ที่สัมผัสกับแอมพาไลน์ ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	80
17 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของปลานิล ที่สัมผัสกับฟิแนนทริน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	81
18 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของปลานิล ที่สัมผัสกับไพรีน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	82
19 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันทางการค้า แต่ละชนิด ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....	84
20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับการเรืองแสงของแอมพาไลน์เมตาบอไลต์ ในน้ำดี, ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนัก ตัวของปลานิล ที่สัมผัสกับแอมพาไลน์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	91
21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับการเรืองแสงของฟิแนนทรินเมตาบอไลต์ ในน้ำดี, ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนัก ตัวของปลานิล ที่สัมผัสกับฟิแนนทรินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	92
22 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับการเรืองแสงของไพรีนเมตาบอไลต์ในน้ำดี, ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของ ปลานิล ที่สัมผัสกับไพรีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	93
23 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับการเรืองแสงของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดี, ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของ ปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันเครื่อง API SG/ CD.....	94
24 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับการเรืองแสงของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดี, ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของ ปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันเบนซิน 91.....	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
25 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับการเรืองแสงของพีเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดี, ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของ ปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันดีเซล.....	96
26 ปริมาณสารประกอบพีเอเอชในน้ำมันดิบจากแหล่งต่าง ๆ.....	106
27 สารละลายที่ใช้ในการสกัดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระดับปฏิกิริยา EROD และการวิเคราะห์โปรตีนในตับ.....	119
28 สารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับ.....	120
29 สารละลายมาตรฐาน Resorufin	121
30 สารมาตรฐาน โปรตีนของ Bovine Serum Albumin (BSA)	122

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของสารประกอบฟิเอเอชบางชนิดที่พบโดยทั่วไปในสิ่งแวดล้อม.....	5
2 แหล่งที่มาของสารประกอบฟิเอเอชในสิ่งแวดล้อมโดยมีลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่.....	7
3 ความเป็นไปของสารประกอบฟิเอเอชที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ.....	9
4 สารประกอบฟิเอเอชทั้งหมดในดินตะกอนที่ประเทศต่าง ๆ, บริเวณต่าง ๆ ในประเทศไทย และในดินตะกอนจากปากแม่น้ำ.....	14
5 ระบบย่อยอาหารของปลา.....	17
6 ขบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางชีวภาพของสารพิษก่อนถูกขับออกจากร่างกาย.....	18
7 เมตาบอไลต์ของสารประกอบฟิเอเอชในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมคัดแปลงจากเมตาบอไลต์ของเบนโซ-เอ-ไพรีน.....	20
8 การเปลี่ยนรูปของสารประกอบฟิเอเอชก่อนถูกขับออกจากร่างกาย.....	21
9 การเปลี่ยนรูปของสารพิษก่อนถูกขับออกจากร่างกาย.....	22
10 ความเข้มข้นของสารที่เป็น LC ₅₀ , LOEL และ NOEL จากการทดลอง Dose Response Relationship.....	23
11 ปฏิกริยา Ethoxyresorufin-O-Deethylase (EROD).....	26
12 การฟลูออเรสเซนซ์ สกรีนนิ่ง.....	28
13 ปลานิล (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	29
14 ระดับปฏิกริยา EROD และเบนโซ-เอ-ไพรีนเมตาบอไลต์.....	33
15 เทคนิค SFS และเทคนิค HPLC-F.....	34
16 เทคนิค SFS และเทคนิค HPLC-F.....	35
17 การตรวจวัดระดับการเรืองแสงทั้งหมดของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ และระดับปฏิกริยา Monooxygenase (MFO).....	36
18 ระดับการเรืองแสงของฟิเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลา ที่สัมผัสกับน้ำจากแหล่งต่าง ๆ.....	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
19 ระดับการเรืองแสงของเบนโซ-เอ-ไพรีนเมตาบอไลต์, ระดับปฏิกิริยา EROD และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของปลาที่สัมผัสกับน้ำจากแหล่งต่าง ๆ....	39
20 ลักษณะของปลานิลที่ใช้ในการศึกษา.....	44
21 LC ₅₀ ที่ 96 ชั่วโมง และ NOEL ของเนพทาลิน, ฟีนานทริน และไพรีนในปลานิล....	45
22 ระบบ Continuous Flow System.....	47
23 แผนการทดลอง (Experiment Design) ชุดการทดลองที่ 1.....	48
24 แผนการทดลอง (Experiment Design) ชุดการทดลองที่ 2.....	49
25 แผนการทดลอง (Experiment Design) ชุดการทดลองที่ 3.....	50
26 ตัวอย่างน้ำคิของปลานิล.....	51
27 ตัวอย่างตับของปลานิล.....	52
28 Supernatant หรือ S9.....	53
29 สรุปขั้นตอนการสกัดตัวอย่าง และการวิเคราะห์เมตาบอไลต์ในน้ำคิของปลา.....	54
30 สรุปขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์ระดับปฏิกิริยา EROD และโปรตีนในตับปลา.....	56
31 ความยาวคลื่นคู่ที่สามารถตรวจวัดระดับการเรืองแสงของเนพทาลินเมตาบอไลต์...	60
32 ความยาวคลื่นคู่ที่สามารถตรวจวัดระดับการเรืองแสงของฟีนานทรินเมตาบอไลต์...	61
33 ความยาวคลื่นคู่ที่สามารถตรวจวัดระดับการเรืองแสงของไพรีนเมตาบอไลต์.....	62
34 การเปรียบเทียบระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ในกลุ่มควบคุมที่เต็ม และไม่เต็มอะซิโตนไนไตรท์ (น้ำเปล่า).....	65
35 การเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างน้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวของปลานิล ในกลุ่มควบคุมที่เต็ม และไม่เต็มอะซิโตนไนไตรท์ (น้ำเปล่า).....	66
36 ระดับการเรืองแสงของเนพทาลินเมตาบอไลต์ในน้ำคิของปลานิล ที่สัมผัสเนพทาลิน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	68
37 ระดับการเรืองแสงของฟีนานทรินเมตาบอไลต์ในน้ำคิของปลานิล ที่สัมผัสกับฟีนานทริน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
38 ระดับการเรืองแสงของไฟรีนเมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลานิล ที่สัมผัสกับไฟรีน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	71
39 ระดับการเรืองแสงของพีเอเอชเมตาบอไลต์ในน้ำดีของปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมัน การค้า ที่ระยะเวลาด่าง ๆ.....	73
40 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับเนพทาลิน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	75
41 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับพีแนนทริน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ.....	76
42 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับไฟรีน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	77
43 ระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันทางการค้าแต่ละชนิด ที่ระยะเวลาด่าง ๆ	79
44 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักระหว่างน้ำหนักระหว่างตับของปลานิล ที่สัมผัสกับเนพทาลิน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	80
45 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักระหว่างน้ำหนักระหว่างตับของปลานิล ที่สัมผัสกับพีแนนทริน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	82
46 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักระหว่างน้ำหนักระหว่างตับของปลานิล ที่สัมผัสกับไฟรีน ที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่าง ๆ	83
47 สัดส่วนระหว่างน้ำหนักระหว่างน้ำหนักระหว่างตับของปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันทางการค้า แต่ละชนิด ที่ระยะเวลาด่าง ๆ.....	84
48 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเรืองแสงของเมตาบอไลต์ในน้ำดีกับระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับเนพทาลิน, พีแนนทริน และไฟรีน.....	87
49 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเรืองแสงของเมตาบอไลต์ในน้ำดีกับระดับปฏิกิริยา EROD ในตับของปลานิล ที่สัมผัสกับน้ำมันเครื่อง, น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล...	90
50 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Resorufin.....	124
51 กราฟมาตรฐานโปรตีนของ Bovine Serum Albumin (BSA).....	124
52 Micro Titer Plate.....	139

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
53 เครื่อง Spectrofluorometer รุ่น JASCO FP-6200.....	139
54 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง AND Model Hr-200.....	140
55 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดค่า (Multi-Parameter Analyzer) CONSORT C380.....	140
56 เครื่องบดละเอียด (Homogenizer) Pro 200.....	141
57 เครื่องวัดการละลายของออกซิเจนในน้ำ YSI Model 52.....	141
58 เครื่อง UV/ VIS Spectrophotometer (Spectro Xelios)	142
59 เครื่อง Automate Microplate Reader	142
60 เครื่องปั่นเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (High Speed Refrigerated Centrifuge)	143