การสะสมสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา

สุธิดา วันโน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

ชื่อเรื่อง

การสะสมสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา

โดย

สุธิดา วันโน

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย)

วันที่ 19 เดือน มี.ค. พ.ศ. 56

กรรมการที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ)

วันที่ 19 เดือน มี.ค. พ.ศ. 56

กรรมการที่ปรึกษา .....

(อาจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์)

วันที่ 19 เดือน มี.ค. พ.ศ. 56

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญญัติ มนเทียรอาสน์)

วันที่ 19 เดือน มี.ค. พ.ศ. 56

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงศ์ วาฤทธิ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 19 เดือน มี.ค. พ.ศ. 56

ชื่อเรื่อง	การสะสมสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุธิดา วันโน
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา และบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน จังหวัดเชียงราย โดยเก็บตัวอย่างจากกว๊านพะเยาและบ่อดิน ทุกเดือน เป็นเวลา 8 เดือน และทำการวิเคราะห์สารไมโครซิสติน-แอลอาร์ ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จากผลการศึกษา พบ การสะสมสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและเนื้อปลานิลจากกว๊านพะเยาอยู่ในช่วง 0-7.56 ไมโครกรัมต่อลิตรและ 0-0.26 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ย 0.69±0.28 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.06±0.02 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยในเดือนเมษายนมีการปนเปื้อนของสารพิษไมโครซิสตินในตัวอย่างน้ำและเนื้อปลานิลเฉลี่ยสูงที่สุด (2.60±2.48 ไมโครกรัมต่อลิตรและ 0.20±0.03 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ) พบ *Microcystis aeruginosa* Kütz. เป็นสปีชีส์เด่น (271.6±72.4 ลูกบาศก์-มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) และปริมาตรของ *Microcystis* spp. มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าออร์โธฟอสเฟต (r^2=0.77) ส่วนการสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน พบ การปนเปื้อนของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำอยู่ในช่วง 0-2.00 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยเดือนมีนาคมมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (0.58±0.24 ไมโครกรัมต่อลิตร) และตัวอย่างเนื้อปลานิลมีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสตินอยู่ในช่วง 0-5.91 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง โดยในเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (2.68±0.51 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) พบ *Microcystis* spp. เป็นสปีชีส์เด่น (4272.5±62.3 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) และยังพบว่าปริมาตรของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณของคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท (r^2=0.80 และ 0.71 ตามลำดับ) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปลานิลซึ่งเป็นปลาเศรษฐกิจจากบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานมีสารพิษไมโครซิสตินสะสมสูงกว่าปลานิลจากกว๊านพะเยา

Title	Accumulation of Microcystin Toxins in Water and Economic Fish in Phayao Lake
Author	Miss Suthida Wanno
Degree of	Master of Science in Fisheries Technology
Advisory Committee Chairperson	Associate Professor Dr. Niwooti Whangchai

ABSTRACT

This study aimed to determine the levels of microcystin toxins in water and tilapia fish in Phayao Lake including other integrated fish ponds in Chiang Rai province. Samples were collected monthly for 8 months (January to August 2011 in Phayao Lake and November 2008 to June 2009 in other fish ponds), and were later analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC). Highest total microcystin-LR contaminations in water and tilapia in Phayao Lake were recorded in April 2010 at 2.60±2.48 mg L^{-1} and 0.20±0.03 $kg.g^{-1}$ dry weight. *Microcystis aeruginosa* Kütz. was the most dominant species (271.6±72.4 mm^3/m^3) in the lake. Colony number of *Microcystis* spp. showed a positive correlation with soluble orthophosphate (r^2=0.77). Similarly, fish ponds surveyed in Chiang Rai were contaminated with microcystins, where highest concentration level detected in water was on March 2009 (0.58±0.24 mg L^{-1}) with maximum concentration in tilapia recorded on April 2009 (2.68±0.51 $kg.g^{-1}$ dry weight). *Microcystis* spp. was the most common species in the ponds on February 2009 at a concentration of 4272.5±62.3 mm^3/m^3 and positively correlated with chlorophyll a and soluble nitrate (r^2=0.80 and 0.71, respectively). Results showed that total microcystin-LR contaminations in tilapia in Chiang Rai fish ponds were higher than in Phayao Lake. This study suggested the possibility of bioaccumulation of microcystins in fish (tilapia) cultivated in Chiang Rai fish ponds and in Phayao Lake.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษา ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ และอาจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำ ทั้งยังสละเวลาอันมีค่าในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.จีรพร เพกเกาะ อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้ให้ความเมตตา กรุณาเป็นประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.รัฐภูมิ พรหมณะ อาจารย์วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม และอาจารย์กรทิพย์ กันนิการ์ อาจารย์คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่รวมทั้งอุปกรณ์และสารเคมีในการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของคณะทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้บริการการศึกษาอย่างจริงใจ และขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับคุณพ่อสนอง คุณแม่ยุพิน วันโน และคนในครอบครัวทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความเมตตา และคอยให้กำลังใจเสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุธิดา วันโน

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
สารบัญตารางผนวก	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตงานวิจัย	4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
กว๊านพะเยา	5
การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน	6
สารพิษจากสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงิน	7
ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	20
วิธีการดำเนินการวิจัย	20
สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล	20
กว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา	20
บ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย	22
ปัจจัยที่ทำการศึกษา	22
การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในน้ำ	22
การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในเนื้อปลา	25

หน้า

การตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตร ชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน 27
การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ 27
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ 28
สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล 28
บทที่ 4 ผลการวิจัย 29
การสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา 29
ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำ 29
ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลา 29
การตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน 32
การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ 39
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา 47
การสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน 48
ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำ 48
ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลา 48
การตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน 49
การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ 53
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57
การเปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน 58
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการศึกษา 59
การสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา 59

หน้า

การสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน 60
การเปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน 61
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย 62
ข้อเสนอแนะ 63
บรรณานุกรม 64
ภาคผนวก 70
ภาคผนวก ก สหสัมพันธ์ (correlation) 71
ภาคผนวก ข เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง และการเก็บรักษาตัวอย่างแพลงก์ตอน 74
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม (Ammoniam) 79
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) 82
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท (Nitrate) 85
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll a) 89
ภาคผนวก ช ประวัติผู้วิจัย 92

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	สรุปปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งในปัจจุบันและอนาคต 20 ปี ข้างหน้า	5
2	สารพิษกลุ่มต่างๆ ที่สร้างจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและอวัยวะเป้าหมายในสัตว์เลี้ยง ลูกด้วยนม	9
3	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	31
4	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	31
5	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	35
6	ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	35
7	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	37
8	ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	37
9	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552	49
10	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552	51
11	เปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน	58

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	โครงสร้างทางเคมีของสารพิษไมโครซิสติน	8
2	ผลของสารไมโครซิสตินต่อการเปลี่ยนแปลงโครสร้างเซลล์ตับ: H-hepatocyte; SC-Sinusoidal capillary; MC-microcystins; OH-hydroxyl group; P-phosphate group; PP1-protein phosphatase 1; PP2-protein phosphatase 2.	12
3	แสดงการดูดซึมและการแพร่กระจายและการขับออกของสารไมโครซิสตินแอล-อาร์: MCLR-microcystin-LR; MCLR-GSH-microeystin-LR conjugated with glutathione; MCLR-CYS-microcystin-LR conjugated with cysteine.	13
4	กลไกที่เป็นไปได้ของการเกิด genotoxicity โดย MCLR: MCLR-microcystin-LR; PP1-protein phosphatase 1; PP2-protein phosphatase 2; ROS-reactive oxygen species.	13
5	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างกว๊านพะเยา	20
6	การเก็บตัวอย่างน้ำและแพลงก์ตอนพืชจากกว๊านพะเยา	21
7	การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และการดรีอปของแพลงก์ตอนพืชในช่วงเก็บตัวอย่าง	21
8	การเก็บตัวอย่างปลานิล น้ำ ดินพื้นบ่อ และแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิล	22
9	ขั้นตอนการเตรียมคาร์ทริดจ์ (cartridge strata-X 33 µm Polymeric Reversed Phase 500 mg/6 ml)	23
10	ขั้นตอนการสกัดไมโครซิสติน	24
11	คาร์ทริดจ์ (cartridge strata-X 33 µm Polymeric Reversed Phase 500 mg/6ml)	25
12	การวิเคราะห์สารพิษไมโครซิสตินโดยใช้เครื่อง HPLC ในเนื้อปลา	26
13	โครมาโตแกรมของสารไมโครซิสตินชนิด อาร์อาร์ และ แอลอาร์	26
14	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (น้ำ =ไมโครกรัมต่อลิตร, เนื้อปลา = ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)	30
15	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (น้ำ =ไมโครกรัมต่อลิตร, เนื้อปลา = ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)	30

ภาพ หน้า

16 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) 33

17 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) 34

18 ปริมาตรของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) 34

19 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (โคโลนีต่อมิลลิลิตร) 36

20 ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) 36

21 แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 38

22 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาระหว่างตามจุดเก็บตัวอย่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (เมตร) 42

23 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (องศาเซลเซียส) 42

24 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาระหว่างตามจุดเก็บตัวอย่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (NTU) 42

25 คุณภาพน้ำทางเคมีกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างของระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 43

26 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร) 43

27 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ไมโครกรัมต่อลิตร) 43

28 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร) 44

ภาพ		หน้า
29	คุณภาพน้ำทางเคมี (ปริมาณธาตุอาหาร) ของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	44
30	คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (เมตร)	45
31	คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (องศาเซลเซียส)	45
32	คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (NTU)	45
33	คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	45
34	คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	46
35	คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ไมโครกรัมต่อลิตร)	46
36	คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	46
37	คุณภาพน้ำทางเคมี (ปริมาณธาตุอาหาร) ของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	46
38	เดนโดรแกรมจัดกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างเดือนเก็บตัวอย่างกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 ด้วย UPGMA	47
39	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (น้ำ =ไมโครกรัมต่อลิตร, เนื้อปลา = ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)	48
40	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน (*Microcystis* spp.) ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	50

ภาพ		หน้า
41	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	50
42	ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)	51
43	แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552	52
44	คุณภาพน้ำทางกายภาพในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (เมตร)	55
45	คุณภาพน้ำทางกายภาพในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (องศาเซลเซียส)	55
46	คุณภาพน้ำทางกายภาพในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (NTU)	55
47	คุณภาพน้ำทางเคมีในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	55
48	คุณภาพน้ำทางเคมีในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (ไมโครกรัมต่อลิตร)	56
49	คุณภาพน้ำทางเคมีในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	56
50	คุณภาพน้ำทางเคมี (ปริมาณธาตุอาหาร) ในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	56
51	เดนโดรแกรมจัดกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างเดือนเก็บตัวอย่างของบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 ด้วย UPGMA	57

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปริมาณสารพิษไมโครซิสติน คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553	72
2	สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปริมาณสารพิษไมโครซิสติน คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552	73
3	ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์	84

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในสถานการณ์ปัจจุบันมีการขยายตัวของชุมชนเมืองและการเพิ่มจำนวนประชากร ทำให้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อน และการปล่อยน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเมือง เป็นปัญหาสำคัญต่อการจัดหาน้ำดิบ ดังนั้นการจัดหาน้ำดิบที่มีคุณภาพอย่างเพียงพอจึงเป็นประเด็นที่เร่งด่วนในปัจจุบัน และสู่การจัดการน้ำในอนาคตได้

กว๊านพะเยาเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่สุดของจังหวัดพะเยา มีเนื้อที่ประมาณ 20.5 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะเป็นที่ราบก้นกระทะเกิดจากการทรุดตัวตามแนวเลื่อนในบริเวณแนวแม่น้ำอิง ตำแหน่งของกว๊านพะเยา อยู่ที่ปลายด้านใต้ของแนวภูเขาดอยห้วยน้ำขาวและแนวภูเขาดอยสันกลาง เป็นแหล่งรับน้ำจากแม่น้ำ ลำห้วย และพื้นที่โดยรอบ กว๊านพะเยาจัดเป็นแหล่งอนุรักษ์ แพร่พันธุ์สัตว์น้ำ แหล่งทำการประมง และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร การอุปโภคบริโภค เป็นแหล่งศึกษาวิจัยประมงน้ำจืดของกรมประมง เป็นพื้นที่รองรับน้ำป่า และเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาของจังหวัดพะเยา

ปัจจุบันกว๊านพะเยามีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและชีวภาพ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของขนาดและความลึกของแหล่งน้ำ ทำให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำมีการแข่งขันกันในด้านอาหาร แหล่งอาศัย เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญอันหนึ่งที่พบในกว๊านพะเยาคือ การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) เนื่องจากแหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยแหล่งน้ำนิ่งมักประสบปัญหาปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน โดยอาจมีสาหร่ายบางชนิดที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดปัญหาต่อกระบวนการผลิตน้ำประปาเมื่อใช้แหล่งน้ำนั้นเป็นแหล่งน้ำดิบ ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษรายงานว่า แหล่งน้ำที่มักเกิดยูโทรฟิเคชัน เป็นประจำ คือ อ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา อ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่ กว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา หนองหาร จังหวัดสกลนคร อ่างเก็บน้ำเขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา และอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี โดยในปี 2543 ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำ พบว่า สาหร่ายพิษ *Microcystis aeruginosa* ที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน (microcystin) แต่มีปริมาณของสารพิษไมโครซิสตินต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับน้ำดิบเพื่อการประปาในทั้ง 6 แหล่ง

น้ำ ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดให้มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) และปริมาณของเซลล์สาหร่ายชนิดนี้ต้องไม่เกิน 15,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามมาตรฐานของออสเตรเลีย

กว๊านพะเยายังเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากตัวเมืองและชุมชนโดยรอบ ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยาที่มีคุณภาพต่ำลง อันเนื่องมาจากที่ตั้งของกว๊านพะเยาอยู่ติดตัวเมืองและมีแหล่งชุมชนอยู่โดยรอบ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย โดยแพลงก์ตอนพืชที่เจริญเติบโตมีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และชนิดที่ให้โทษ สารพิษจากสาหร่ายเป็นสารทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและสลายของเซลล์ (secondary metabolite)

ส่วนแหล่งผลิตปลานิลที่ใหญ่ที่สุดในภาคเหนือตอนบนที่สำคัญ ได้แก่ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย โดยมีผลผลิตปลาประมาณ 17.71 ตันต่อวัน ผลผลิตปลาที่เข้าสู่ตลาดมีทั้งใช้อาหารเม็ดอย่างเดียวและส่วนใหญ่มาจากการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน ซึ่งเป็นการเลี้ยงปลาร่วมกับสัตว์บก เช่น การเลี้ยงปลาร่วมกับไก่ หรือการเลี้ยงปลาร่วมกับสุกร โดยการเลี้ยงแบบดังกล่าวนี้สามารถลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากสิ่งขับถ่ายจากสัตว์เลี้ยงเหล่านี้ก่อให้เกิดอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงได้ และเป็นวิธีที่เกษตรกรสามารถทำได้เอง ปลาที่นิยมนำมาเลี้ยงปลานิล ปลาทับทิม ซึ่งเป็นปลาที่สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารธรรมชาติได้อย่างดีและเป็นที่ต้องการของตลาด

แม้ระบบการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน จะเป็นระบบที่ใช้ของเหลือจากระบบหนึ่งให้เกิดประโยชน์กับอีกระบบก็ตาม แต่ระบบดังกล่าวนี้มักประสบปัญหาการเน่าเสียของน้ำ และมีการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชมากเกินไป โดยแพลงก์ตอนพืชที่เจริญเติบโตมีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และชนิดที่ให้โทษ สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหานี้เนื่องจากปริมาณของเสียที่ปล่อยลงสู่บ่อปลามากจนเกินไป โดยของเสียที่ลงสู่บ่อปลาประกอบด้วยสารอาหารเช่นไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ซึ่งปัญหานี้มักพบบ่อยครั้งในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการถ่ายเทน้ำน้อย และการเลี้ยงที่ใช้เวลานานประมาณ 8-12 เดือน ทำให้สัตว์น้ำมีโอกาสสะสมสารพิษไมโครซิสติน

สารพิษไมโครซิสตินเป็นสารพิษที่เกิดขึ้นมาจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำจืด เช่น *Nostoc, Anabaena, Oscillatoria* และ *Microcystis* โดย *Microcystis aeruginosa* เป็นชนิดที่มีการสร้างสารพิษชนิดนี้มาก สารพิษไมโครซิสตินเป็นสารพิษที่มีโปรตีนโมเลกุลเตี่ยวมาเชื่อมต่อกันเป็นวงกลม (An and Carmichael, 1994; Watanabe, 1996) ซึ่งเป็นอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตชนิดที่บริโภคน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนดังกล่าวเข้าไป (ธีรศักดิ์, 2541) ประเภทของสารพิษแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่เป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxin) และกลุ่มที่เป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์ (biotoxin) ซึ่งออกฤทธิ์ต่อตับก่อให้เกิดความเป็นพิษในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เส้นเลือดที่ตับและม้ามถูกทำลาย (อาภารัตน์, 2539)

สารพิษไมโครซิสตินเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดโทษแก่มนุษย์ เช่น โรคระบบทางเดินอาหาร หรือทำให้เกิดมะเร็งตับในหนูได้ (Zilberg, 1966) โดย Magalhaes et al. (2001) รายงานว่าปลาที่ใช้บริโภคที่มาจากทะเลสาบจาคารีปากัว (Jacarepagua) ประเทศบราซิลมีสารพิษกลุ่มไมโครซิสตินสะสมสูงกว่าระดับที่ปลอดภัย

ดังนั้น ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของกว๊านพะเยา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความสำคัญในภูมิภาคและเน้นการใช้ประโยชน์ในการจัดการเชิงระบบเกษตรที่เป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มมูลค่า เพื่อการแข่งขันและส่งออก โดยการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการประเมินผลกระทบของสารพิษไมโครซิสตินในห่วงโซ่อาหารของกว๊านพะเยา รวมถึงศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำ และเนื้อปลานิลที่เลี้ยงแบบผสมผสาน ภายใต้แผนวิจัยการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ เพื่อให้เกิดการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพทั้งเพื่อการผลิตทางการเกษตรและการประมงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจสอบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำจากกว๊านพะเยา
2. เพื่อตรวจสอบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในปลานิลจากกว๊านพะเยา
3. เพื่อเปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในปลานิลซึ่งอาจส่งผลต่อผู้บริโภค หากบริโภคสัตว์น้ำที่มีสารพิษดังกล่าวเข้าไป
2. ทราบปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในน้ำ และคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงแบบผสมผสาน
3. หาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหา เพื่อลดปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในน้ำเนื่องจากปัจจุบันน้ำจากกว๊านพะเยาได้นำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค (น้ำประปา)
4. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาแนวทางแก้ไขและการจัดการปัญหาสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงแบบผสมผสานต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน และยังได้ทำการศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน รวมถึงคุณภาพน้ำ ซึ่งผู้วิจัย ได้มีแนวคิดในการมุ่งเน้นการตรวจสอบปริมาณสารพิษไมโครซิสตินที่สะสมในห่วงโซ่อาหาร องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยอาจจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาแนวทางแก้ไขและจัดการปัญหาสารพิษในกว๊านพะเยาและบ่อปลาเลี้ยงแบบผสมผสานต่อไป

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

กว๊านพะเยา

กว๊านพะเยาอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่สุดของภาคเหนือตอนบน มีเนื้อที่ประมาณ 12,831 ไร่ ลักษณะเป็นที่ราบก้นกระทะ เกิดจากการทรุดตัวตามแนวเลื่อนในบริเวณแนวแม่น้ำอิง เป็นแหล่งน้ำที่มีความสำคัญต่อชาวจังหวัดพะเยาในการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร การอุปโภคบริโภคของเทศบาลเมืองพะเยา และพื้นที่โดยรอบ การท่องเที่ยว และใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาของจังหวัดพะเยา ในปัจจุบันประสบปัญหาในหลายด้านด้วยกัน เช่น เป็นแหล่งรองรับการระบายน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่างๆ โดยรอบกว๊านพะเยา

จากแนวโน้มการขยายตัวของเมืองในอนาคต พื้นที่บริเวณด้านตะวันออกของกว๊านพะเยามีความต้องการน้ำในการอุปโภคบริโภคจากน้ำประปา ซึ่งปัจจุบันมีกำลังการผลิตไม่เพียงพอ ทำให้ต้องมีการก่อสร้างเพื่อขยายกำลังการผลิต ส่วนพื้นที่บริเวณด้านทิศตะวันตกของกว๊านพะเยา เป็นพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรม และยังไม่มีระบบน้ำประปา ประชาชนในบริเวณนี้จึงต้องใช้แหล่งน้ำธรรมชาติในการอุปโภคบริโภค ได้แก่ น้ำฝน น้ำจากกว๊านพะเยา น้ำจากลำน้ำต่างๆ และน้ำบาดาล เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2547) ได้คาดคะเนปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งในปัจจุบันและอนาคต 20 ปี ข้างหน้าของจังหวัดพะเยา ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 สรุปปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งในปัจจุบันและอนาคต 20 ปี ข้างหน้า

กิจกรรมใช้น้ำ	ปริมาณความต้องการใช้น้ำ (ล้าน ลบ.ม. ต่อปี)	
	ปัจจุบัน	อนาคต
1. น้ำเพื่อการประปาอำเภอเมืองพะเยาและดอกคำใต้	10.79	17.33
2. น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมอำเภอเมืองพะเยาและดอกคำใต้	2.99	5.54
3. น้ำเพื่อการท่องเที่ยว	1.81	4.00
4. น้ำเพื่อการชลประทานโครงการพะเยา-ดอกคำใต้	15.05	15.05
รวม	30.64	41.92

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2547)

การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน

การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน เป็นระบบการเกษตรที่ใช้ประโยชน์จากของเหลือระบบหนึ่งแล้วก่อให้เกิดประโยชน์อีกระบบหนึ่ง เป็นระบบการเลี้ยงปลาที่นิยมปฏิบัติกันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น จีน ไต้หวัน ฮ่องกง ญี่ปุ่น ฮังการี เนื่องจากเป็นระบบการผลิตสัตว์น้ำและสัตว์บกที่เอื้อประโยชน์ต่อกันเป็นอย่างดี เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูงมากระบบหนึ่ง ข้อดีของการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน คือ เศษเหลือจากสัตว์บกสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เช่น มูลสัตว์ ซึ่งจะกลายเป็นอาหารปลาโดยตรง หรือเป็นสารอาหารสำหรับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในบ่อเลี้ยงปลา (ปกรณ์ และคณะ, 2541) การใช้มูลสัตว์เป็นการใช้ประโยชน์แบบผสมผสานระหว่างการเลี้ยงปลากับการเลี้ยงสัตว์อื่นๆ โดยเศษอาหารที่เหลือจากการย่อยหรืออาหารที่ตกหล่นจากการให้อาหารจะกลายเป็นอาหารของปลาโดยตรง ในขณะที่มูลสัตว์จะถูกย่อยสลายเป็นธาตุอาหารที่สำคัญแก่พืชน้ำและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นอาหารของปลา ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและแก้ปัญหามลภาวะได้ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเป็นการให้อาหารปลานิลที่สำคัญมากวิธีหนึ่ง เพราะจะได้อาหารธรรมชาติที่มีโปรตีนสูงและราคาถูก และเพื่อเป็นการเร่งให้ปลานิลที่เลี้ยงเจริญเติบโตเร็วขึ้นหรือถูกต้องตามหลักวิชาการจึงควรให้อาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรทเป็นอาหารสมทบด้วย เช่น รำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง เป็นต้น (ปกรณ์ และคณะ, 2541)

วิธีการเลี้ยงสัตว์บกร่วมกับปลาอาจใช้วิธีการสร้างคอกสัตว์บนบ่อเลี้ยงปลาเพื่อไม่ให้มูลไหลลงบ่อเลี้ยงปลาโดยตรง หรือสร้างคอกสัตว์ไว้บนคันบ่อเลี้ยงปลาแล้วค่อยนำมูลสัตว์มาใส่ลงบ่อในอัตราที่เหมาะสม วิธีใส่ปุ๋ย ถ้าเป็นมูลสัตว์ควรตากให้แห้งเสียก่อน เพราะมูลสัตว์สดจะทำให้มีแก๊สจำพวกแอมโมเนียละลายอยู่ในน้ำสูง ซึ่งเป็นอันตรายต่อปลา การใส่ปุ๋ยคอกควรละลายน้ำแล้วจึงหว่านลงไปให้ทั่วบ่อ ส่วนปุ๋ยหมักนั้น ควรกองสุมไว้ตามมุมบ่อ 2-3 แห่ง โดยมีไม้ปักล้อมเป็นคอกรอบกองปุ๋ย เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนที่ยังไม่ถูกย่อยสลายแพร่กระจัดกระจายออกไป (ปกรณ์ และคณะ, 2541) โดยการย่อยสลายของมูลสัตว์ทำให้เกิดธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอนพืช และปลาสามารถกินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้ จากการทดลองพบว่า มูลไก่สามารถใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนพืชได้ดีกว่ามูลสัตว์อื่นๆ รวมทั้งปุ๋ยเคมีด้วย การเติมมูลสัตว์ให้กับบ่อเลี้ยงปลามักทำให้น้ำมีสีชา ถ้าเติมมูลสัตว์มากเกินไป น้ำอาจเน่าเสียและทำให้ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำเกินไป ซึ่งเป็นอันตรายต่อปลาที่เลี้ยง ดังนั้นจึงไม่ควรเติมมูลสัตว์มากกว่า 88 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อวัน (ประมาณ 8 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ให้กับบ่อเลี้ยงปลา (มั่นสิน, 2539)

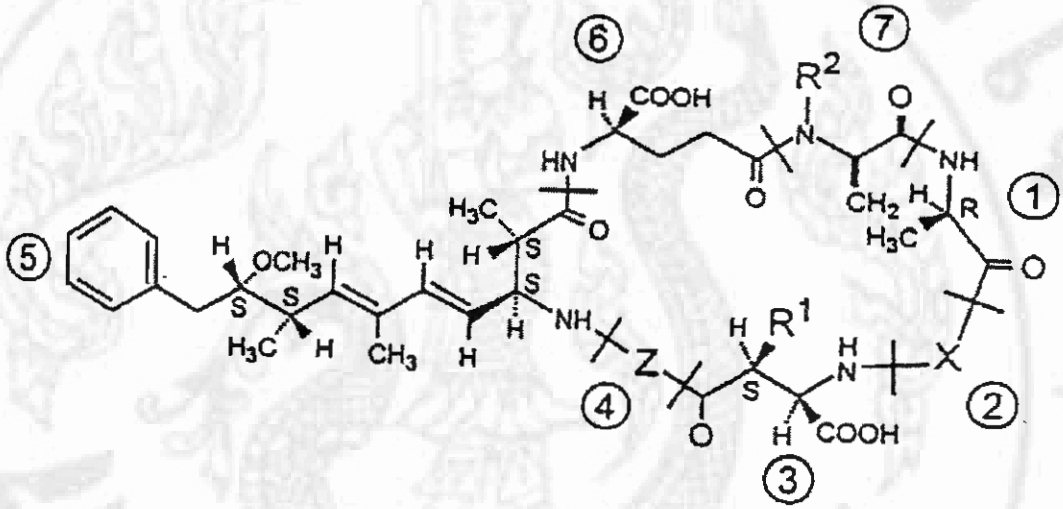
สารพิษจากสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงิน

สารพิษที่สาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงินผลิตขึ้นมาเป็นสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและสลายของเซลล์ เป็นสารที่ไม่เกี่ยวข้องหรือจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต แม้ว่าในบางครั้งจะช่วยในการแข่งขันเพื่อความอยู่รอดในธรรมชาติ ในปัจจุบันยังไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริง ในการผลิตสารพิษของสาหร่าย แต่คาดว่าสารพิษนี้สร้างมาเพื่อเป็นสารป้องกันตัว (protective compound) (อาภารัตน์, 2539) หรือใช้ในการแข่งขันกันในสภาพธรรมชาติกับสาหร่ายชนิดอื่น โดยมีลักษณะเป็นแบบ allelopathy สารพิษจากสาหร่ายสีเขียวแกม-น้ำเงินเมื่อแบ่งตามโครงสร้างทางเคมีจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (ตาราง 2) ได้แก่ Cyclic peptide, Alkaloids และ Lipopolysaccharide (LPS) โดยสารพิษแต่ละกลุ่มก็จะมีอวัยวะเป้าหมายในการออกฤทธิ์แตกต่างกันออกไป เช่น hepatotoxin ออกฤทธิ์ต่อตับ neurotoxin ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท cytotoxins สารพิษที่เป็นพิษต่อเซลล์ skin irritans ทำให้เกิดอาการแพ้หรือคันส่วนที่สัมผัสน้ำ และ gastrointestinal ก่อให้เกิดการอักเสบที่ระบบช่องท้อง (Codd, 1998) โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดเดียวกันสามารถสร้างสารพิษได้มากกว่า 1 ชนิด (Sivonen and Jones, 1999) สาหร่ายสีเขียว-แกมน้ำเงินแต่ละสปีชีส์จะสร้างสารพิษได้ต่างกัน บางสปีชีส์สามารถสร้างสารพิษได้มากกว่า 1 ชนิด สารพิษที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสร้างขึ้นสามารถแบ่งได้หลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ใช้จำแนก ถ้าแบ่งตามระดับความเป็นพิษ จะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มแรกจะทำให้เกิดพิษเฉียบพลันจนทำให้สัตว์ถึงตายได้ ได้แก่ neurotoxin และ hepatotoxin ส่วนพิษอีกกลุ่มจะแสดงฤทธิ์ทางชีวภาพแต่ไม่ทำให้สัตว์น้ำถึงตาย ได้แก่ cytotoxins (Sivonen and Jones, 1999)

สารพิษไมโครซิสตินเป็นสารพิษพวก cyclic peptide ที่พบได้ในเกือบทุกครั้งที่มีการบลูมของสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำในแหล่งน้ำหลายแห่งทั่วโลก เป็นสารพิษที่มีการศึกษากันมาก นอกจากนั้น สารไมโครซิสตินเป็นสารพิษจากสาหร่ายที่มีการค้นพบเป็นชนิดแรก โดยพบว่าสร้างมาจากสาหร่าย *Microcystis aeroginosa* NRC-1 (Bishop et al., 1959) ภายหลังต่อมาก็พบว่าสาหร่ายอีกหลายสกุลก็สามารถสร้างสารพิษไมโครซิสตินได้เช่นเดียวกัน ดังตาราง 2 สารพิษในกลุ่มนี้มีอวัยวะเป้าหมายในการออกฤทธิ์ คือ ตับ (liver) จึงมีชื่ออีกอย่างว่า hepatotoxin cyclic peptides

สารพิษไมโครซิสตินมีสูตรโครงสร้างประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งสิ้น 7 ตัว มีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 800-1000 มีสูตรโครงสร้างดังนี้ Cyclo (D-Ala^{1}-X^{2}-D-MeAsp^{3}-Z^{4}-Adda^{5}-D-Glu^{6}-Mdha^{7}) (ภาพ 1) ตำแหน่งที่ทำให้เกิดการผันแปรเป็นสารไมโครซิสติน ชนิดต่างๆ คือ ตำแหน่ง X และ Z ซึ่งจะเป็นกรดอะมิโนชนิดต่างๆ แตกต่างกันไป ในปัจจุบันมีรายงานพบ

สารไมโครซิสตินมากกว่า 60 ชนิด (Codd, 1998) ชนิดที่มีความเป็นพิษมากที่สุดคือ สารไมโครซิสติน-แอลอาร์ (microcystins-LR) มีค่า LD_{50} ประมาณ 50-60 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชนิดที่พบได้บ่อยนั้น คือ สารไมโครซิสติน-วายอาร์ (microcystins-YR) และ สารไมโครซิสติน-อาร์อาร์ (microcystins-RR) มีค่า LD_{50} ประมาณ 70 และ 600-700 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Sivonen and Jones, 1999)



ภาพ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารพิษไมโครซิสติน

ที่มา: Sivonen and Jones (1999)

WHO (1998) ได้กำหนดให้ร่างกายสามารถรับสารไมโครซิสตินได้ไม่เกิน 0.04 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่อวัน สำหรับแหล่งน้ำดื่มถูกกำหนดไว้ไม่ให้มีสารไมโครซิสติน–แอลอาร์ (Microcystin-LR) ไม่เกินหรือเทียบเท่าเกิน 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ National Health and Medical Research Council Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (NHMRC) ประเทศออสเตรเลียได้กำหนดไว้ ไม่ให้มีสารไมโครซิสติน–แอลอาร์ ในแหล่งน้ำเกิน 1.3 ไมโครกรัมต่อลิตร และสำหรับประเทศไทย Peerapornpisal et al. (2002) ให้ความเห็นว่าแหล่งน้ำในประเทศควรใช้มาตรฐานตามองค์การอนามัยโลกคือมีสารไมโครซิสติน–แอลอาร์ ไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตาราง 2 สารพิษกลุ่มต่างๆ ที่สร้างจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและอวัยวะเป้าหมายในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Chorus and Batram, 1999)

กลุ่มสารพิษ	ชนิดสารพิษ	อวัยวะเป้าหมายในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	จีนัสของสาหร่ายในกลุ่ม Cyanophyceae ที่สร้างสารพิษ
Cyclic peptide	Microcystins	Liver	*Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix* (*Oscillatoria*), *Nostoc*, *Hapalosiphon*, *Anabaenopsis*
	Nodularins	Liver	*Nodularia*
Alkaloids	Anatoxin-a	Nerve synapse	*Anabaena*, *Planktothrix* (*Oscillatoria*), *Aphanizomenon*
	Anatoxin-a (s)	Nerve synapse	*Anabaena*,
	Aplysiatoxins	Skin	*Lyngbya*, *Schizothrix*, *Planktothrix* (*Oscillatoria*)
	Cylindrospermopsins	Liver	*Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon*, *Umezakia*
	Lyngbyatoxin-a	Skin-gastrointestinal tract	*Lyngbya*
	Saxitoxins	Nerve axons	*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Lyngbya*, *Cylindrospermopsis*,
Lipopolysaccharide (LPS)	LPS	Potential irritant; affects any exposed tissue	All Cyanophyceae

สำหรับกลไกความเป็นพิษของสารไมโครซิสตินนั้น อวัยวะเป้าหมาย คือ เซลล์ตับ (hepatocytes) และ macrophage ในเซลล์ตับ สารไมโครซิสตินเป็นตัวยับยั้งการทำงานของ protein phosphates type 1A และ type 2A ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการ protein phosphates type ในเซลล์ โดยจะไปเร่งอัตราการทำงานของกระบวนการ phosphorylation และเร่งการเกิดเนื้องอก ดังนั้น สารพิษกลุ่มนี้จึงสามารถส่งเสริมการเกิดมะเร็งได้ (Fujiki and Saganuma, 1993) โดยเฉพาะที่ตับ รวมถึงการชักนำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีน (Dawson, 1998) โดยผลของสารพิษนี้ที่เด่นชัด คือ ถ้ารับในปริมาณมากเพียงพอ จะเกิดอาการพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) คือ การทำลายเส้นเลือดฝอยภายในตับ โดยเซลล์ตับจะถูกทำลาย ก่อให้เกิดเลือดคั่งภายในตับและเกิดอาการช็อคได้ (Kaya, 1996) ซึ่งกลุ่มของ heptapeptides ประกอบด้วยประมาณ 80 สายพันธุ์เป็นสารไมโครซิสติน-แอลอาร์ (microcystin-LR, MCLR) เป็นตัวที่พบบ่อยที่สุดและเป็นพิษ (Funari, 2008) โดยทั่วไปเป็นที่รู้กันว่าสารไมโครซิสตินเป็นพิษต่อตับ เนื่องจากเกิดการขัดขวางกระบวนการของ serinc threonine phosphatases PP1 และ PP2A (Yoshizawa, 1990) อีกทั้งยังยับยั้ง hepatocyte homeostasis ในตับและนำไปสู่การเกิดมะเร็งตับ (ภาพ 2) สามารถทำให้มนุษย์ตายได้ (Falconer et al, 1992 และ Duy et al, 2000) และจากการศึกษาของ Andrinolo et al, 2008 แสดงให้เห็นว่าสารไมโครซิสตินสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดพิษต่อไตได้ ซึ่งในความเป็นจริงแม้ว่าสารไมโครซิสตินส่วนใหญ่จะสะสมที่ตับ แต่ตับสามารถขับสารไมโครซิสตินออกมาทางน้ำดีได้ (9 เปอร์เซ็นต์) และไป filtrated ที่ไต จากนั้นจะถูกกำจัดออกทางปัสสาวะ (Robinson et al, 1990) ซึ่งจะทำให้ไตเป็นเป้าหมายสำหรับความเป็นพิษของสารไมโครซิสติน ดังภาพ 3 และ 4

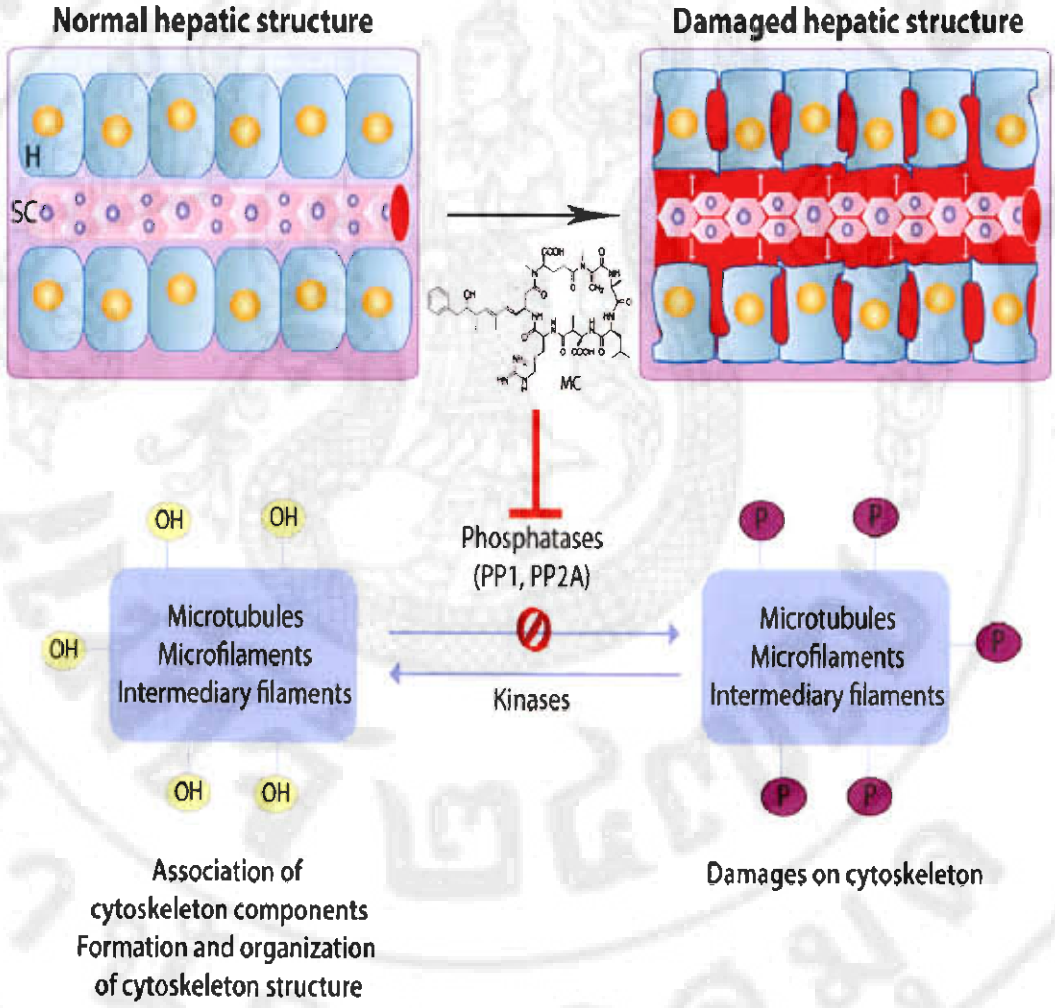
ส่วนประเทศไทยขณะนี้พบว่ามีสารไมโครซิสติน 3 ชนิดในแหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้แก่ สารไมโครซิสติน–แอลอาร์, สารไมโครซิสติน–วายอาร์ และ สารไมโครซิสติน–อาร์อาร์ โดยสารไมโครซิสติน–แอลอาร์ มีความเป็นพิษสูงสุด รองลงมา คือ สารไมโครซิสติน–วายอาร์ และ สารไมโครซิสติน–อาร์อาร์ ตามลำดับ (Peerapornpisal et al., 2002)

รวิวรรณและไมตรี (2541) กล่าวว่า สารไมโครซิสตินจะแสดงความเป็นพิษอย่างเด่นชัดต่อตับ โดยจะทำให้เกิดการอักเสบของตับ ทำให้เนื้อเยื่อของตับทำงานผิดปกติ บกพร่อง อาจเกิดเลือดคั่งในตับจนเกิดอาการช็อกก็เป็นได้ ส่วนอวัยวะอื่นๆ ก็สามารถทำให้เกิดผลกระทบได้ตั้งแต่ขั้นที่ไม่รุนแรงจนถึงขั้นที่รุนแรง เช่น การระคายเคืองที่ผิวหนังและตา มีแผลพุพองตามริมฝีปาก มีอาการไข้ เจ็บคอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย ส่วนความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหารพบว่าอาจทำให้อาเจียน หนาวสั่น ท้องร่วง ส่วนในสัตว์จำพวกปลาก็ส่งผลต่อระบบเลือด การรักษาสมดุลไอออนและมีผลต่อตับเช่นกัน (Morris, 2000) นอกจากนี้ สารพิษไมโครซิสตินยังมีผลต่อการ

ทำงานของเอมไซม์ในกลุ่ม โปรตีนฟอสฟาเทส (protein phosphatases) กล่าวคือ ถ้าคนได้รับสารพิษนี้ในปริมาณเล็กน้อยที่ไม่ทำให้ถึงตายหรือไม่เกิดพิษเฉียบพลัน แต่ถ้าได้รับเป็นประจำในระยะเวลานานก็อาจส่งเสริมให้เป็นมะเร็งได้ เพราะเอนไซม์ชนิดนี้มีบทบาทเกี่ยวข้องกับโปรตีนที่ควบคุมเกี่ยวกับการแบ่งตัวของเซลล์ ส่วน Fleming and Stephen (2001) กล่าวว่าสารในกลุ่ม hepatotoxins ที่สร้างจากสาหร่าย อันได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน คือ สารไมโครซิสติน (microcystin), โนดูลาริน (nodularin) และ ไซลินโดรสเปอร์มอปซิน (cylindrospermopsin) จะมีผลต่อเซลล์ตับ โดยถูกส่งผ่านจากทางเดินอาหารเข้าสู่เส้นเลือดและตับต่อไป การเสียสภาพของตับเกิดจากการเสื่อมสลายของโครงสร้างค้ำจุนของเซลล์ตับ มีเลือดออกภายในตับและม้ามถูกทำลาย นอกจากนี้สารพิษยังจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อดีเอ็นเอทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จากการทดสอบแบบ *in vitro* และทำให้เกิดการตายของเซลล์ตับเมื่อได้รับเข้าไปเพียงไม่กี่ชั่วโมง หรือเพียงไม่กี่วันถ้าได้รับในปริมาณที่สูง เนื่องจากจะส่งผลให้เกิดความผิดปกติต่อตับและสมองอย่างรุนแรง ส่วนการได้รับเข้าไปในปริมาณน้อยเป็นเวลานานจากการดื่มน้ำที่มีสารเหล่านี้อยู่ก็ส่งผลให้เกิดการตายและตับเกิดความเสียหายได้เช่นกัน ในปลานอกจากจะส่งผลให้เกิดการตายแล้วยังมีผลต่อการปรับสมดุลไอออน ทำให้ปลาไม่อยากกินอาหารและการเจริญเติบโตลดลง และยังมีการทดสอบจากนักวิจัยบางท่านว่ามีการสะสมของสารไมโครซิสตินในเนื้อเยื่อของร่างกาย เช่น ที่ตับและกล้ามเนื้อของปลาที่ได้รับ *Microcystis aeruginosa* ติดต่อกันเป็นเวลานาน (Soares et al., 2004)

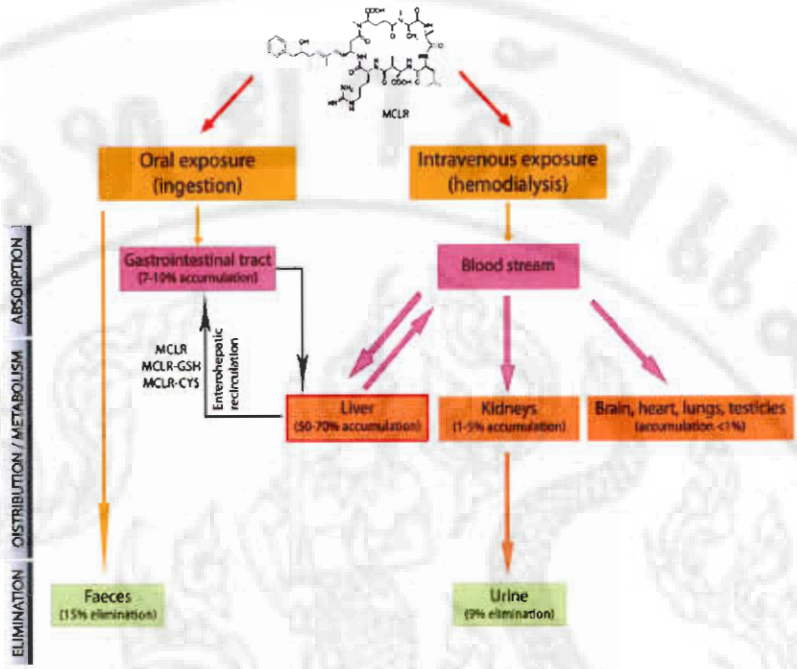
แต่อย่างไรก็ตามความเป็นพิษจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสิ่งมีชีวิต อายุ เพศ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในขณะนั้น (Clyton, 2001) สอดคล้องกับ Min-Ho et al. (2004) ที่ได้ทำการทดลองในปลาที่กินพืช (*Hypophthalmichthys molitrix*) และปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (*Carassius gibelio*) ต่อการได้รับ *Microcystis aeruginosa* 3 สายพันธุ์ซึ่งสามารถผลิตสารไมโครซิสติน ได้ทุกสายพันธุ์เข้าไปพร้อมๆ กันว่ามีผลไปเพิ่มความเป็นพิษให้สูงกว่าการได้รับทีละชนิด โดยมีความรุนแรงของการเกิดพิษในปลาสองชนิดที่ใช้ทดสอบไม่เท่ากัน และการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในบางครั้งสาหร่ายพันธุ์ที่สามารถสร้างสารพิษได้อาจจะไม่สร้างสารพิษหรือสร้างสารพิษที่มีความแตกต่างกันไปจากเดิม คือ อาจมีความเป็นพิษเพิ่มขึ้นหรือลดลง หรือการได้รับสารไมโครซิสติน ร่วมกับสารอื่น เช่น lipopolysaccharide ก็ส่งผลให้เกิดอันตรายมากขึ้นได้ ถึงแม้ว่าจะเป็นสาหร่ายพันธุ์เดียวกันที่แยกมาจากแหล่งน้ำเดียวกันแต่ต่างช่วงเวลาก็มีความเป็นพิษต่างกันและอาจมีจำนวนชนิดของสารไมโครซิสตินเหมือนกัน โดยมีเหตุผลอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารพิษ ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพและเคมี กลไกการสังเคราะห์พิษและยีนที่ใช้ในการสังเคราะห์ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีคำตอบของเรื่องนี้

อย่างชัดเจน (Carmichael, 1992; Tzong-Huei and Hong-nong, 2000) สารไมโครซิสตินส่วนมากแล้วจะผลิตได้จากสาหร่ายในจีนัส *Microcystis* แต่ก็สามารถผลิตได้จากสาหร่ายในจีนัสอื่นๆ อีก เช่น *Anabeana*, *Aphanocapsa*, *Hapalosiphon*, *Nostoc*, *Oscillatoria* (*Planktothrix*), *Synechococcus* และ *Hibernicus* เป็นต้น (Carmichael, 2003)



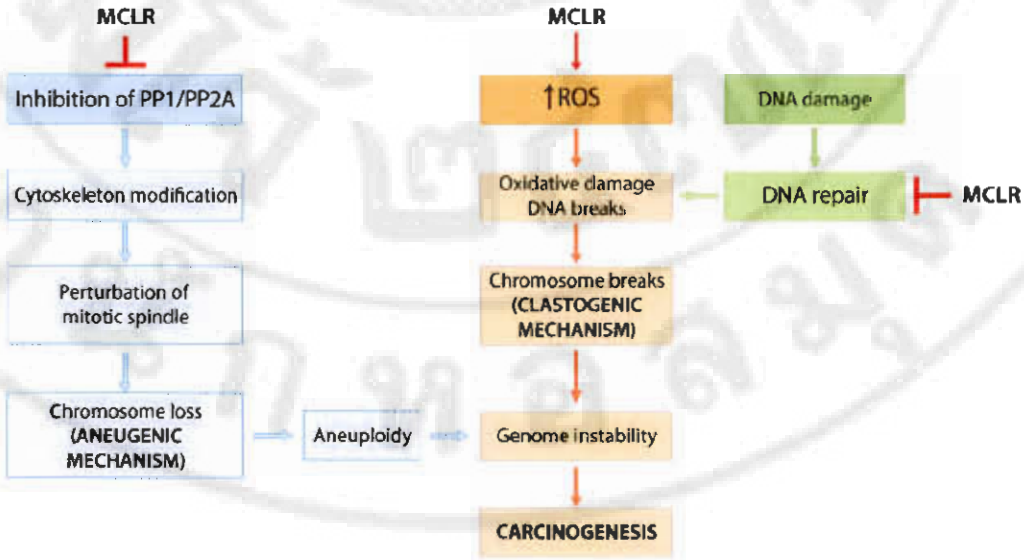
ภาพ 2 ผลของสารไมโครซิสตินต่อการเปลี่ยนแปลงโครสร้างเซลล์ตับ: H-hepatocyte; SC-Sinusoidal capillary; MC-microcystins; OH-hydroxyl group; P-phosphate group; PP1-protein phosphatase 1; PP2-protein phosphatase 2.

ที่มา: Menezes et al. (2013)



ภาพ 3 แสดงการดูดซึมและการแพร่กระจายและการขับออกของสารไมโครซิสตินแอล-อาร์: MCLR-microcystin-LR; MCLR-GSH-microcystin-LR conjugated with glutathione; MCLR-CYS-microcystin-LR conjugated with cysteine.

ที่มา: Menezes et al. (2013)



ภาพ 4 กลไกที่เป็นไปได้ของการเกิด genotoxicity โดย MCLR: MCLR-microcystin-LR; PP1-protein phosphatase 1; PP2-protein phosphatase 2; ROS-reactive oxygen species.

ที่มา: Menezes et al. (2013)

ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายและแพลงก์ตอนที่สร้างสารพิษ

ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ได้แก่

1. ความเข้มแสง แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ความเข้มแสงในน้ำขึ้นกับ สถานที่ ฤดูกาล เวลาในรอบวัน ระดับความลึกของน้ำ สีความขุ่น และปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Trainor, 1978) ความต้องการปริมาณแสงของสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกัน การได้รับปริมาณแสงสูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย หรือทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับความเสียหาย ดังนั้นสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาวะที่มีความเข้มแสงเหมาะสม

2. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีผลต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการละลายน้ำของก๊าซออกซิเจน (รุ่งนภา, 2543) สาหร่ายแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน เมื่อสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิเหมาะสมสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

3. ความขุ่นของน้ำ เกิดจากมีอนุภาคแขวนลอยอยู่ เช่น สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตในน้ำ อนุภาคแขวนลอยมีผลต่อแสงที่ส่องผ่านลงมาในน้ำ ทำให้เกิดการกระจายของแสง แสงบางส่วนจะถูกดูดซับเอาไว้ ทำให้ปริมาณแสงที่ส่องลงไปด้านล่างลดลง มีผลให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลง สาหร่ายจึงเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่

4. ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ เป็นดัชนีบ่งบอกถึงคุณภาพของแหล่งน้ำ หากแหล่งน้ำมีคุณภาพดีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงสาหร่ายก็เจริญเติบโตได้ดี แต่ถ้าแหล่งน้ำเกิดมลพิษค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำมาก สาหร่ายที่มีความทนทานต่อสภาพขาดออกซิเจนจะเจริญเติบโตได้ ในขณะที่สาหร่ายบางชนิดไม่สามารถทนทานได้จึงตายไป

5. ความเป็นกรดเบส สาหร่ายแต่ละชนิดต้องการความเป็นกรดเบสในระดับที่แตกต่างกัน บางชนิดมีความทนทานต่อสภาวะแหล่งน้ำที่เป็นกรดจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่โดยทั่วไปสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นเบส (ลัดดา, 2539)

6. ธาตุอาหาร มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย สาหร่ายต้องการธาตุอาหารในชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน ธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส หากสาหร่ายได้รับธาตุอาหารในปริมาณไม่เหมาะสมจะมีผลต่อการเจริญเติบโตได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพรัตน์ (2528) ทำการสำรวจการกระจายของสาหร่ายที่กว๊านพะเยา พบ *M. aeruginosa* ในช่วงฤดูฝนปี 2527 เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงค่อยๆ หายไป สุคนธ์ (2534) พบแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษและเป็นชนิดเด่นในอ่างเก็บน้ำประปา จังหวัดเชียงราย คือ *M. aeruginosa* ซึ่งมีปริมาณสูงมากในเดือนที่พบสารอาหารมาก ค่อมา ปริญญา (2540) ได้ทำการศึกษาถึงปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดม-ธารา จังหวัดเชียงใหม่ พบแพลงก์ตอนพืช 2 ชนิด คือ *M. aeruginosa* และ *C. raciborskii* ซึ่งต่างก็สร้างสารพิษ โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณ soluble reactive phosphorus และปริมาณฟอสฟอรัสรวม ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2539 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 ส่วน พรรณรัตน์ (2541) ได้สำรวจพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 2 ชนิด คือ *M. aeruginosa* และ *Oscillatorias* sp. ในสถานที่ต่างกันในประเทศ คือ เขื่อนแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี อ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี เขื่อนแม่กวงอุดม ธารา จังหวัดเชียงใหม่และเขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา โดยในแต่ละที่พบ *M. aeruginosa* มากที่สุด ส่วนรัฐภูมิ (2543) ได้ศึกษาความหลากหลายของสารพิษในแหล่งน้ำบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำในแอ่งที่ราบเชียงใหม่-ลำพูน โดยทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากจุดเก็บตัวอย่าง 10 จุด ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน แล้วนำมาศึกษาทั้งชนิดและปริมาณ รวมทั้งความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง จากการศึกษาพบสาหร่ายที่สร้างสารพิษอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ *C. raciborskii* (Wolosz.) Seenayya & Subba, *A. aphanizomenoides* Forti, *A. spiroides* Kelbahn และ *M. aeruginosa* Kützing ซึ่งชนิดของสาหร่ายที่พบมากที่สุด คือ *M. aeruginosa* โดยสถานที่ที่พบสาหร่ายชนิดนี้ในปริมาณสูง คือ อ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ และอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่ จากการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยที่ Silmon (2000) กล่าวว่า การเจริญของ *M. aeruginosa* ที่แม่น้ำสองแห่งใน New South Wales ประเทศออสเตรเลียว่าแปรผกผันกับความเข้มข้นของแร่ธาตุไนโตรเจน แต่จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของน้ำ กล่าวคือ การเจริญของสาหร่ายอย่างรวดเร็วจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสง อุณหภูมิและแร่ธาตุที่เหมาะสม ในขณะเดียวกัน รัฐภูมิ (2545) ทำการศึกษาการกระจายของสาหร่ายพิษและคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา ในปี 2542-2543 พบว่า ในช่วง 18 เดือน ระหว่างเดือนเมษายน 2542 ถึงเดือนกันยายน 2543 พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 79 สปีชีส์ ซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษ 7 สปีชีส์ อยู่ในกลุ่ม Cyanophyceae ได้แก่ *Microcystis aeruginosa* Kütz., *Microcystis wesenbergii* Kom., *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya & Subba, *Anabaena catenula* (Kg.) Born. et Flah., *Anabaena* sp. และ *Oscillatoria peronata* Skuja ในเดือน

เมษายน 2542 พบ *M. aeruginosa* และ *M. wesenbergii* เป็น 2 สปีชีส์เด่น มีปริมาณเซลล์มากที่สุด ถึง 44,368 และ 26,111 เซลล์ต่อมิลลิลิตร คิดเป็น 25.3 เปอร์เซ็นต์ และ 41.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรชีวภาพรวมตามลำดับ หลังจากนั้นได้ลดจำนวนลงจนเหลือน้อยมากตลอดช่วงการศึกษา ส่วน *C. raciborskii* พบว่า เป็นสปีชีส์เด่นและมีปริมาตรชีวภาพมากที่สุดในเดือนกันยายน 2543 คิดเป็น 92.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรชีวภาพรวม นอกจากนี้ยังพบว่า *C. raciborskii* เจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการศึกษา สำหรับแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษชนิดอื่นๆ พบในปริมาณที่ไม่มากนัก สารพิษไมโครซิสตินที่ตรวจพบมี 3 ชนิด โดยสารไมโครซิสติน-อาร์อาร์มีปริมาณมากที่สุด อยู่ในช่วง 0.56-59.3 นาโนกรัมต่อลิตร ส่วนสารไมโครซิสติน-วายอาร์และสารไมโครซิสติน-แอลอาร์ พบในปริมาณน้อยมาก และปริมาณ *Microcystis* spp. ทั้ง 2 สปีชีส์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเหล็กรวมและอุณหภูมิของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน *C.raciborskii* พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าพีเอชของน้ำ การศึกษาครั้งนี้พบแพลงก์ตอนพืชที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความขุ่น คือ *Aulacoseira granulata* ซึ่งเป็นไดอะตอมที่สามารถพบได้ตลอดช่วงที่ทำการศึกษา ส่วนคุณภาพน้ำจัดอยู่ระหว่างคุณภาพน้ำดีปานกลางเทียบเท่า oligotrophic-mesotrophic status กับคุณภาพน้ำปานกลางเทียบเท่า mesotrophic status และเมื่อจัดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมิใช่น้ำทะเล จัดอยู่ในประเภทที่ 2-3 ซึ่งสามารถนำมาอุปโภคและบริโภคได้ โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคและกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อน ในขณะที่ ยุวดี และ จีรพร (2548) ได้ทำการศึกษาความหลากหลาย สายพันธุกรรม และสารพิษของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างสารพิษในประเทศไทย พบว่า ความหลากหลายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในแหล่งน้ำ 70 แหล่ง ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2545 ถึงธันวาคม 2547 พบสาหร่ายสีเขียว-แกมน้ำเงินในจีนัสที่มีรายงานว่าสร้างสารพิษ 8 จีนัส 16 สปีชีส์ ชนิดที่พบได้บ่อยที่สุด ได้แก่ *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya & Subba Raju และ *Microcystis aeruginosa* Kütz. คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เมื่อจัดตามระดับความมากน้อยของสารอาหาร พบว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อยถึงปานกลางจนถึงมีสารอาหารมาก เมื่อนำสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ พบว่าสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งหมด 46 ไอโซเลท สาหร่ายที่มีแนวโน้มเพาะเลี้ยงได้ดีในห้องปฏิบัติการคือ *Microcystis* spp. และ *Oscillatoria* spp. เมื่อใช้เทคนิค RAPD วิเคราะห์ *Microcystis* spp. พบว่ามีแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกันเกิดขึ้นจากตัวอย่างสาหร่ายในบางแหล่งน้ำ ซึ่งมีแนวโน้มบอกความแตกต่างทางพันธุกรรมของ *Microcystis* spp. ได้ สำหรับการวิเคราะห์สารพิษของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบสารพิษไมโครซิสตินในแหล่งน้ำที่มี *Microcystis* spp. เป็นสาหร่ายชนิดเด่น อินทิรา (2549) ได้ทำการติดตามตรวจสอบสารไมโครซิสตินจากสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงิน และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำ

เขื่อนแม่กวงอุดมธารา มีการดำเนินการตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548 โดยเก็บตัวอย่างสองเดือนต่อครั้ง จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 จุด และทำการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ พบแพลงก์ตอนพืช 107 ชนิด พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีรายงานว่าสร้างสารพิษได้ทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ *Anabaena aphanizomenoides* Forti, *Anabaena catenula* (Kg.) Bornet. et Flahault., *Anabaena spiroides* Klebahn, *Aphanizominon* sp., *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba และที่พบ มากที่สุดคือ *Microcystis aeruginosa* Kützing โดยพบโคโลนีล่องลอยอย่างหนาแน่นที่บริเวณผิวน้ำในช่วงของการเก็บตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นด่าง แอมโมเนียม-ไนโตรเจน และออกซิเจนละลายน้ำ และทำการสกัดสารไมโครซิตินชนิดอาร์อาร์และแอลอาร์ ในน้ำตัวอย่างด้วยเฟสของแข็งที่มีตัวดูดซับเป็นคาร์บอน 18 และวิเคราะห์ด้วยโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงที่มีตัวตรวจวัดเป็นชนิดยูวี (HPLC-UV) พบความเข้มข้นของสารไมโครซิสตินชนิดอาร์อาร์และแอลอาร์ ในน้ำตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.02-18.90 และ 0.05-16.96 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ตรวจพบปริมาณสูงสุดของสารพิษทั้งสองชนิดในเดือน เมษายน พ.ศ. 2548 ที่ระดับความลึก 15 เมตร ค่าของสารไมโครซิสตินที่ตรวจวัดได้ในน้ำตัวอย่างบางค่านั้นมีค่าสูงกว่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้สำหรับน้ำดื่ม (0.1ไมโครกรัมต่อลิตร) อย่างไรก็ตามได้ทำการตรวจวัดสารไมโครซิสตินจากตัวอย่างน้ำประปาที่ผลิตโดยใช้น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา ปรากฏว่าไม่พบสารดังกล่าวในตัวอย่างที่สำรวจ นอกจากนี้ยังทำการตรวจวัดสารไมโครซิสตินในเซลล์ โดยสกัดด้วย 70 เปอร์เซ็นต์เมธานอล ปั่นให้ตกตะกอนและวิเคราะห์ด้วย HPLC-UV โดยพบปริมาณสารไมโครซิสติน-อาร์อาร์และแอลอาร์ ในช่วง 0.02-704.42 และ 4.69-859.45 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และพบปริมาณสูงสุดของสารไมโครซิสตินทั้งสองชนิดที่ระดับผิวน้ำในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาณสารไมโครซิสตินทั้งสองชนิดในน้ำตัวอย่างและในเซลล์ของ *M. aeruginosa* มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ ส่วนปรานต์นภัส (2549) ได้ทำการศึกษาโดยให้ปลานิลได้รับสาหร่าย *M. aeruginosa* ผสมลงในอาหาร เลี้ยงปลาปกติสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 30 วันและ 60 วัน แล้วดูผลต่อการตาย น้ำหนักตัว ผลต่อโลหิตวิทยาและจุลพยาธิวิทยาของตับ พบว่าปลานิลที่ได้รับสาหร่ายทุกกลุ่มมีจำนวนการตาย น้ำหนักตัว น้ำหนักตับ ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นและปริมาณเม็ดเลือดขาวโดยรวมไม่แตกต่างไปจากกลุ่มควบคุม แต่ปลานิลที่ได้รับสาหร่าย *M. aeruginosa* ทั้งสองขนาดมีน้ำหนักตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 60 ของการทดลอง ส่วนปลานิลที่ได้รับสาหร่าย *M. aeruginosa* ทั้งสองขนาดเป็นเวลา 30 วัน มีปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิด

lymphocyte สูงกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่ปลานิลที่ได้รับสาหร่าย *M. aeruginosa* ผสมในอาหารสัดส่วน 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 วัน กลับมีปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิด lymphocyte ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ ได้รับสาหร่าย *M. aeruginosa* ผสมในอาหารสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนผลต่อจุลพยาธิวิทยาของตับปลาพบว่า เกิดความผิดปกติของตับปลาที่ได้รับสาหร่าย *M. aeruginosa* ทุกกลุ่ม โดยความผิดปกติที่เกิดขึ้นคือ มีการแตกของเส้นเลือดและเกิดเลือดคั่งอยู่ภายใน มีแวคคิวโอลสะสมในไซโตพลาสซึม มีเซลล์เม็ดเลือดขาวแทรกปะปนอยู่ภายในเนื้อเยื่อตับ เซลล์ตับเกิดการตายและมีการจัดเรียงตัวของเซลล์ตับไม่เป็นระเบียบต่างไปจากกลุ่ม ควบคุม ซึ่งมีความรุนแรงเป็นไปตามปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับสาหร่าย การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสาหร่าย *M. aeruginosa* มีความเป็นพิษต่อเลือดและตับอย่างชัดเจน และมีแนวโน้มในการลดการเจริญเติบโตของปลานิล ดังนั้นการเจริญของ *M. aeruginosa* ก็อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อตับและเป็นอันตรายต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น จากรายงานของ จีรพรและยุวดี (2550) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายและไซยาโนทอกซินของไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นพิษในแหล่งน้ำบางแห่งในประเทศไทย พบว่า ความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียในแหล่งน้ำ 120 แหล่ง ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2545 ถึงธันวาคม 2548 ในทุกภาคของประเทศไทย พบสาหร่ายสีเขียว-แกมน้ำเงิน 10 สกุล 21 ชนิด ชนิดที่พบได้บ่อยที่สุด ได้แก่ *Cylindrospermopsis raciborskii* และ *Microcystis aeruginosa* คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่พบไซยาโนแบคทีเรีย เมื่อจัดตามระดับความมากน้อยของสารอาหาร พบว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อยถึงปานกลางจนถึงมีสารอาหารมาก เมื่อนำไซยาโนแบคทีเรียมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ พบว่าสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งหมด 36 สายพันธุ์ สาหร่ายที่มีแนวโน้มเพาะเลี้ยงได้ดีในห้องปฏิบัติการคือ *Microcystis* spp. และ *Oscillatoria* spp. เมื่อใช้เทคนิค RAPD วิเคราะห์ *Microcystis* spp. พบว่ามีแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกันเกิดขึ้นจากตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียในบางแหล่งน้ำซึ่งมีแนวโน้มบอกความแตกต่างทางพันธุกรรมของ *Microcystis* spp. ได้ สำหรับการวิเคราะห์สารพิษของไซยาโนแบคทีเรีย พบสารพิษไมโครซิสตินในแหล่งน้ำที่มี *Microcystis* spp. เจริญเป็นจำนวนมาก และพบสารพิษไซลินโดรสเปอร์มอปซินในแหล่งน้ำที่มี *Cylindrospermopsis* spp. เจริญเป็นจำนวนมาก

Ruangrit et al. (2011) ได้ทำการศึกษาสารพิษไมโครซิสตินในบ่อเลี้ยงกุ้งก้าม-กรามและบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวบริเวณภาคเหนือ จากบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจำนวน 4 บ่อ และบ่อเลี้ยงปลานิลจำนวน 6 บ่อ ตั้งแต่เดือนเมษายน 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2550 โดยเทคนิค ELISA ในการตรวจสอบตัวอย่างเนื้อกุ้งก้ามกรามและเนื้อปลานิล พบว่า ในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีปริมาณสาหร่ายพิษ *Microcystis aeruginosa* (45,000 โคโลนีต่อลิตร) และมีปริมาณสารไมโครซิสติน (3.20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าบ่อเลี้ยงปลา (983 โคโลนีต่อลิตรและ 0.84

ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งทั้งบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามและบ่อเลี้ยงปลานิลมีปริมาณความเข้มข้นของสารไมโครซิสตินสูงเกินกว่ามาตรฐาน (มีค่า TDI 0.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน โดย WHO) ในขณะที่ Ken et al. (2011) รายงานว่า ความเค็มของน้ำในแหล่งน้ำจืดมีผลต่อการเจริญของสารพิษไมโครซิสตินและ *Microcystis aeruginosa Lemmerman* สายพันธุ์ PCC 7806 ส่วน Deon (2012) ได้ศึกษาความเป็นพิษในสุนัขที่สัมผัสกับ *Microcystis aeruginosa* ในทะเลสาบ Milford แคนซัส ในช่วงฤดูร้อน ปี 2011 พบว่า มีการปนเปื้อนสารไมโครซิสตินในตัวอย่างอาเจียนและยังพบว่าตับของสุนัขที่สัมผัสกับ *M. aeruginosa* มีเลือดออกและเกิดการงอกของเนื้องอกอีกด้วย

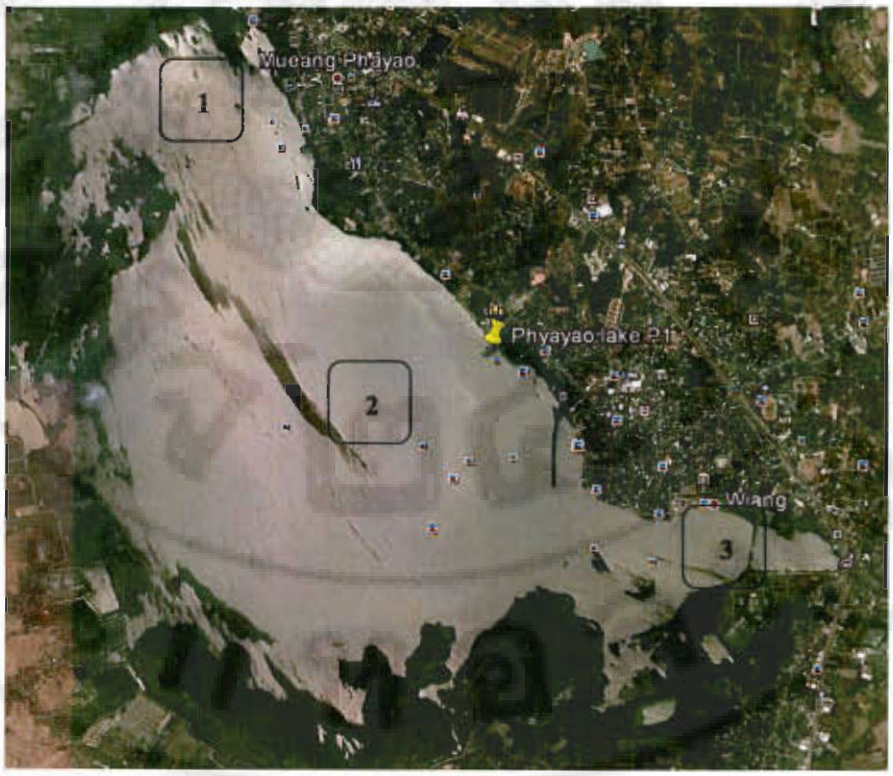
บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

1.1 กว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา

เก็บตัวอย่างน้ำและปลานิล จากกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา ทุกๆ 1 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนสิงหาคม 2553 เป็นเวลา 8 เดือน โดยทำการสำรวจจำนวน 3 จุดสำรวจ (ภาพ 5-7)



ภาพ 5 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างกว๊านพะเยา
จุดที่ 1 ทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช)
จุดที่ 2 บริเวณหน้าเมือง
จุดที่ 3 ทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง)

ภาพ 6 (A-D) การเก็บตัวอย่างน้ำและแพลงก์ตอนพืชจากกว๊านพะเยา

ภาพ 7 (A-B) การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และการดร็อปของแพลงก์ตอนพืชในช่วงเก็บตัวอย่าง

1.2 บ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

เก็บตัวอย่างน้ำและปลานิลจากบ่อดินขนาด 100 ตารางเมตร ทุกๆ 1 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 เป็นเวลา 8 เดือน โดยทำการสำรวจจำนวน 6 บ่อ (ภาพ 8)

ภาพ 8 (A–D) การเก็บตัวอย่างปลานิล น้ำ และแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิล

2. ปัจจัยที่ทำการศึกษา

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในน้ำ (Prommana, 2006)

2.1.1 เตรียมคาร์ทริดจ์ (cartridge strata-X 33 μm Polymeric Reversed Phase 500 mg/6 ml) โดยการผ่านเมธานอล 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยน้ำ Milli-Q จำนวน 10 มิลลิลิตร (ภาพ 9)

การเตรียมคาร์ทริดจ์ (cartridge strata- X 33 µm Polymeric Reversed Phase 500 mg/6ml)

ภาพ 9 ขั้นตอนการเตรียมคาร์ทริดจ์ (cartridge strata-X 33 µm Polymeric Reversed Phase 500 mg/6 ml)

2.1.2 ต้มตัวอย่างน้ำ จำนวน 200 มิลลิลิตร ในบีกเบอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

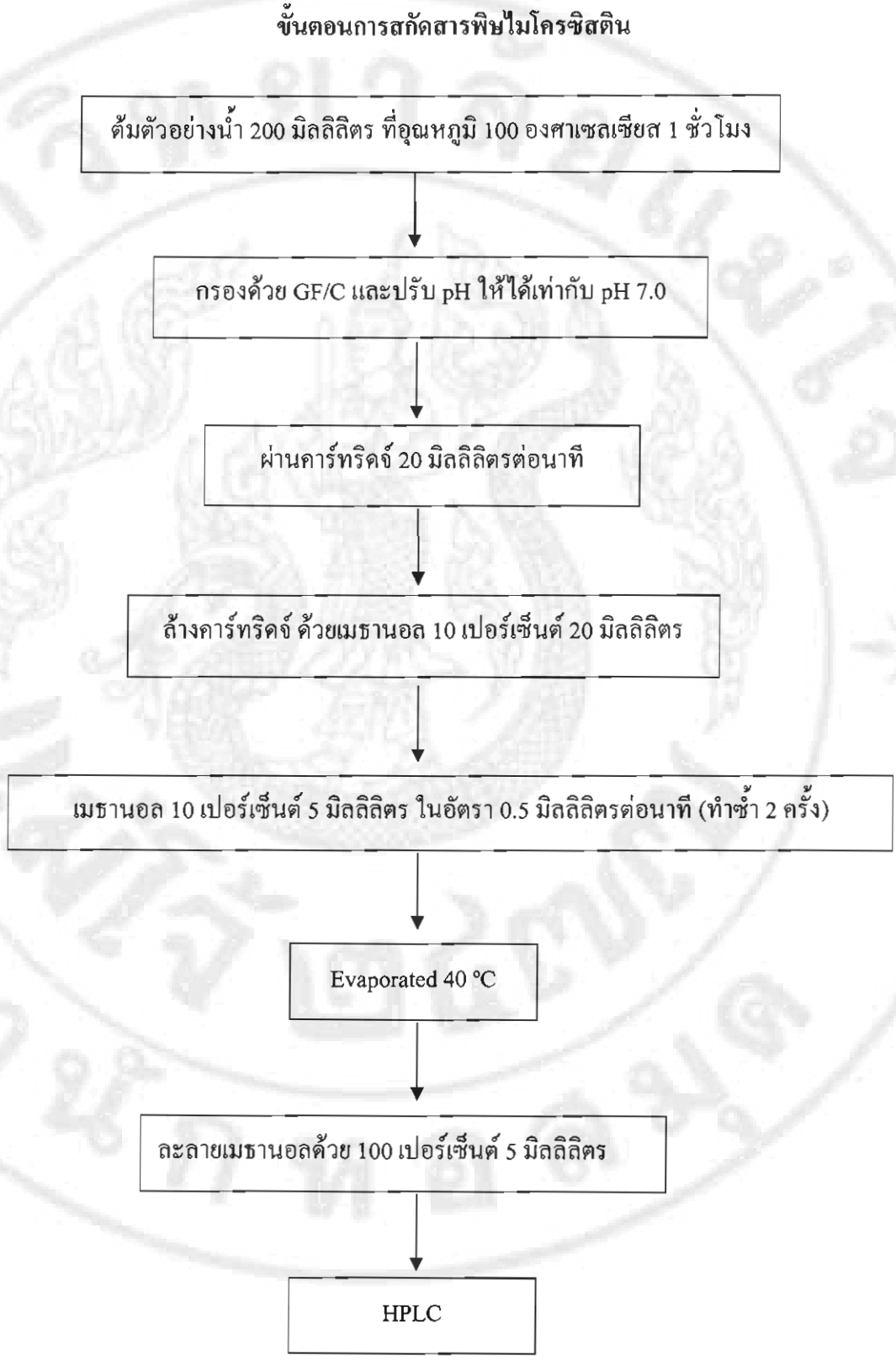
2.1.3 นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการต้มแล้วมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C และปรับ pH ให้ได้เท่ากับ pH 7.0 โดยใช้สารละลาย 0.01 M NaOH หรือ 0.01 M HCl

2.1.4 นำตัวอย่างน้ำกรอง ผ่านคาร์ทริดจ์ ในอัตรา 20 มิลลิลิตรต่อนาที

2.1.5 ล้างคาร์ทริดจ์ ด้วยเมธานอล 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 20 มิลลิลิตร

2.1.6 สกัดสารพิษไมโครซิสตินจากคาร์ทริดจ์โดยล้างเมธานอล 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 5 มิลลิลิตร ในอัตรา 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที (ทำซ้ำ 2 ครั้ง)

2.1.7 นำตัวอย่างที่ได้ทำให้แห้ง มาละลายด้วยเมธานอล 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC จำนวน 100 ไมโครลิตร (ภาพ 10)



ภาพ 10 ขั้นตอนการสกัดสารพิษไมโครซิสติน

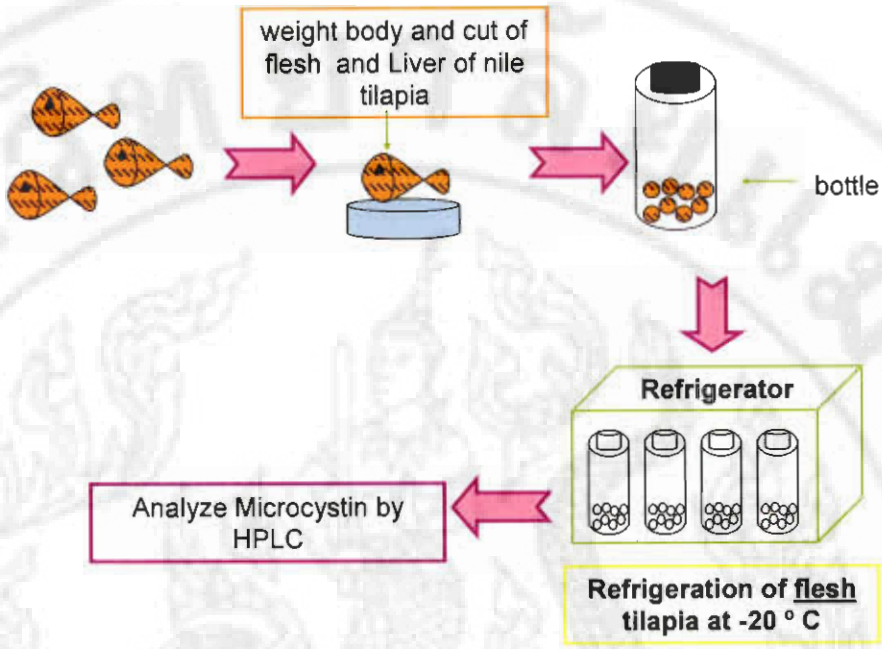
ภาพ 11 (A-B) คาร์ทริดจ์ (cartridge strata- X 33 µm Polymeric Reversed Phase 500 mg/6ml)

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในเนื้อปลา (Prommana, 2006)

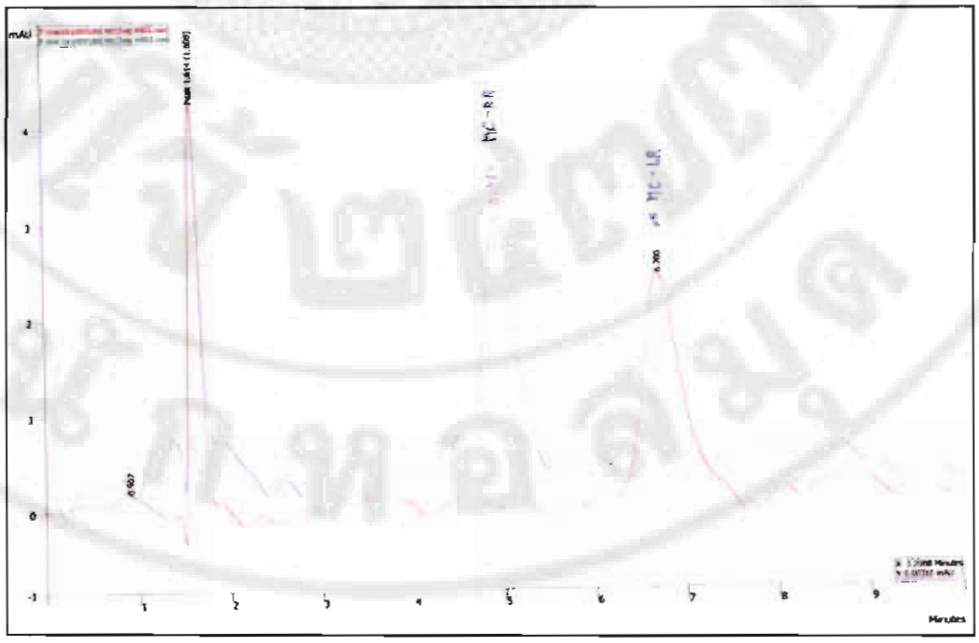
2.2.1 นำตัวอย่างเนื้อปลานิลจากตู้แช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) มาทำการ freeze dry จำนวน 10 กรัม

2.2.2 นำตัวอย่างเนื้อปลาที่ผ่าน freeze dry มา 1 กรัม บดให้ละเอียดจนเป็นผง แล้วเติม Methanol 80 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 10 มิลลิลิตร โดยผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer 10 นาที แล้วปล่อยไว้ข้ามคืน หลังจากนั้นนำไป centrifuge ที่ 5,000 รอบต่อนาที 10 นาที แล้วแยกเอาส่วนใสออกมาโดยทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำสารละลายใสที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก แล้วจึงเติม Hexane ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงไปแล้วเขย่าให้ผสมกัน ใช้เวลา 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นกัน แล้วแยกเอา Hexane ออกทิ้งไป และเติม Hexane ใหม่ลงไปในกรวยแยก อีก 15 มิลลิลิตร เพื่อทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วจึงนำสารละลาย Methanol ออกมาเพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน (ภาพ 12)

2.2.3 นำ supernatant มากรองด้วย Milipore 0.45 ไมครอน แล้วนำมาตรวจสอบที่เครื่อง HPLC (ภาพ 13)



ภาพ 12 การวิเคราะห์สารพิษไมโครซิสตินโดยใช้เครื่อง HPLC ในเนื้อปลา



ภาพ 13 โครมาโตแกรมของสารพิษไมโครซิสตินชนิดอาร์อาร์และแอลอาร์

2.3 การตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน

ตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์-ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน โดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอนพืช ขนาด 10 ไมครอน เก็บน้ำที่กรองได้ใส่ขวดเก็บตัวอย่าง รักษาสภาพด้วยสารละลายลูกอลส์ (Lugol's solution) ประมาณ 0.3-0.7 มิลลิลิตรต่อน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส แล้วนำไปจำแนกชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ลัดดา, 2542) (ภาพ 8)

2.4 การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

ทำการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ตามวิธีของ APHA (1980), AWWA and WPCE (1998) โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่

2.4.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen) โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A

2.4.2 อุณหภูมิน้ำ (temperature) โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A

2.4.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A

2.4.4 ความลึก (depth)

2.4.5 ความเป็นด่าง (alkalinity)

2.4.6 ความกระด้าง (hardness)

2.4.7 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) โดยวิธี Stannous chloride Method

2.4.8 แอมโมเนียม (ammoniam) โดยวิธี Phenate Method

2.4.9 ไนไตรท์ (nitrite) โดยวิธี Cadmium Reduction Method

2.4.10 ไนเตรท (nitrate) โดยวิธี Cadmium Reduction Method

2.4.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) โดยวิธี APHA 1989

2.4.12 ความขุ่น (Turbidity) โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน One-Way ANOVA ของข้อมูลปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและเนื้อปลา คุณภาพน้ำ ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืช ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และใช้สถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ (correlation) โดยใช้การวิเคราะห์แบบสหสัมพันธ์แบบพหุ (multiple correlation analysis) และจัดกลุ่มข้อมูลตัวอย่างด้วย cluster analysis

4. สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล

4.1 สถานที่วิเคราะห์สารพิษไมโครซิสติน ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

4.2 สถานที่วิเคราะห์คุณภาพน้ำและตรวจสอบชนิดและปริมาณความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

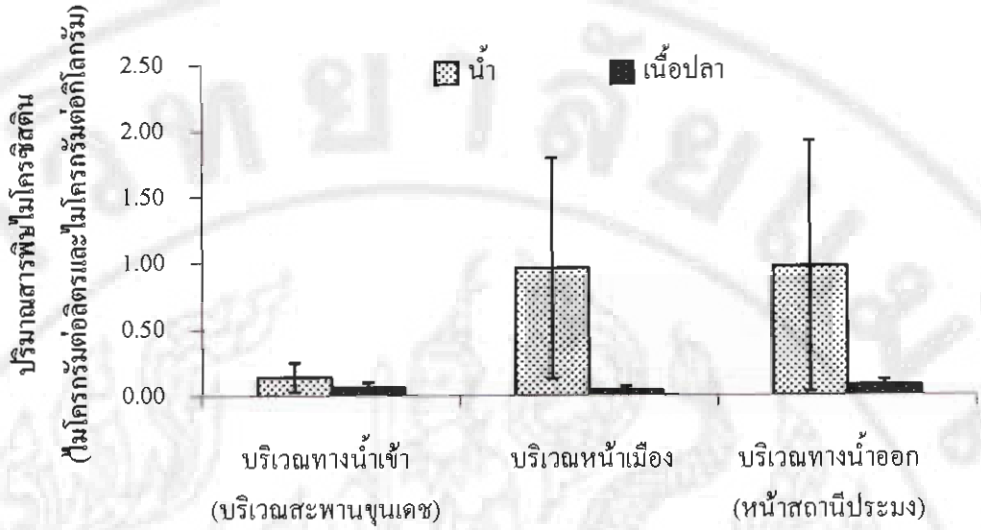
1. การสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา

1.1 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำ

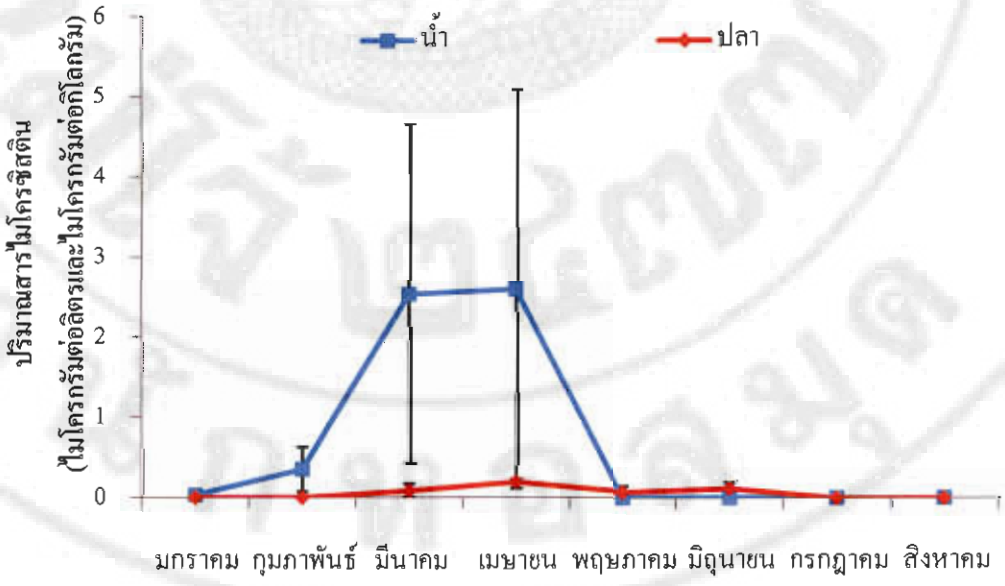
จากการเก็บตัวอย่างน้ำในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา ทุกๆ 1 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 เป็นเวลา 8 เดือน จำนวน 24 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ จำนวน 7 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0-7.56 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.69±0.28 ไมโครกรัมต่อลิตร จุดที่พบมากที่สุด คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) พบปนเปื้อน 3 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย 0.97±0.94 ไมโครกรัมต่อลิตร และรองลงมา คือ บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) และบริเวณหน้าเมือง พบ การปนเปื้อนจุดละ 2 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย 0.14±0.11 และ 0.96±0.83 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลา พบว่า ในเดือนเมษายนมีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 2.60±2.48 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ เดือนมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 2.53±2.11 ไมโครกรัมต่อลิตร (ภาพ 14-15 และ ตาราง 3-4)

1.2 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลา

จากตัวอย่างปลานิลในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา จำนวน 24 ตัวอย่าง พบว่า มีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ จำนวน 7 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0-0.26 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ย 0.06±0.02 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งปลาที่พบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์อยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน ทั้ง 3 จุดเก็บตัวอย่าง โดยบริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) พบปลาปนเปื้อนของสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์มากที่สุด 3 ตัวอย่าง รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) และบริเวณหน้าเมือง พบจุดละ 2 ตัวอย่าง โดยมีค่าเฉลี่ย 0.08±0.04, 0.06±0.03 และ 0.04±0.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาตามช่วงเวลา พบว่า ในเดือนเมษายน มีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 0.20±0.03 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ เดือนมิถุนายน มีค่าเฉลี่ย 0.12±0.07 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (ภาพ 14-15 และ ตาราง 3-4)



ภาพ 14 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (น้ำ =ไมโครกรัมต่อลิตร, เนื้อปลา = ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)



ภาพ 15 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (น้ำ =ไมโครกรัมต่อลิตร, เนื้อปลา = ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)

ตาราง 3 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์	
	น้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	เนื้อปลา (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)
บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช)	0.14±0.11	0.06±0.04
บริเวณหน้าเมือง	0.96±0.83	0.04±0.03
บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง)	0.97±0.94	0.08±0.04
min-max	0-7.56	0-0.26

ตาราง 4 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

ช่วงเวลา	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์	
	น้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	เนื้อปลา (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)
มกราคม	0.03±0.03	*ND
กุมภาพันธ์	0.35±0.28	*ND
มีนาคม	2.53±2.11	0.08±0.08
เมษายน	2.60±2.48	0.20±0.03
พฤษภาคม	*ND	0.07±0.07
มิถุนายน	*ND	0.12±0.07
กรกฎาคม	*ND	*ND
สิงหาคม	*ND	*ND
min-max	0-7.56	0-0.26

หมายเหตุ: *ND ไม่พบการปนเปื้อน

1.3 การตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน

จากการศึกษาครั้งนี้พบแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาทั้งหมด 5 สปีชีส์ ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 ซึ่ง 5 สปีชีส์นี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Cyanophyta ได้แก่ *Microcystis aeruginosa* Kütz., *Microcystis wesenbergii* Kom., *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya & Subba., *Anabaena* spp., และ *Oscillatoria* spp. ซึ่งแต่ละสปีชีส์ถูกพบในช่วงเวลาที่ต่างกัน และในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

Microcystis aeruginosa Kütz. เป็นสปีชีส์ที่พบมากและพบทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยจุดที่พบมากที่สุด คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) โดยพบว่า มีโคโลนีล่องลอยอยู่บนผิวน้ำขณะเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,527.5±1,206.0 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 271.6±72.4 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงเวลาที่พบมากที่สุด คือ ช่วงเดือนมีนาคม 2553 โดยมีค่าเฉลี่ย 4,731.3±3,443.1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 283.9±206.6 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 74 เปอร์เซ็นต์

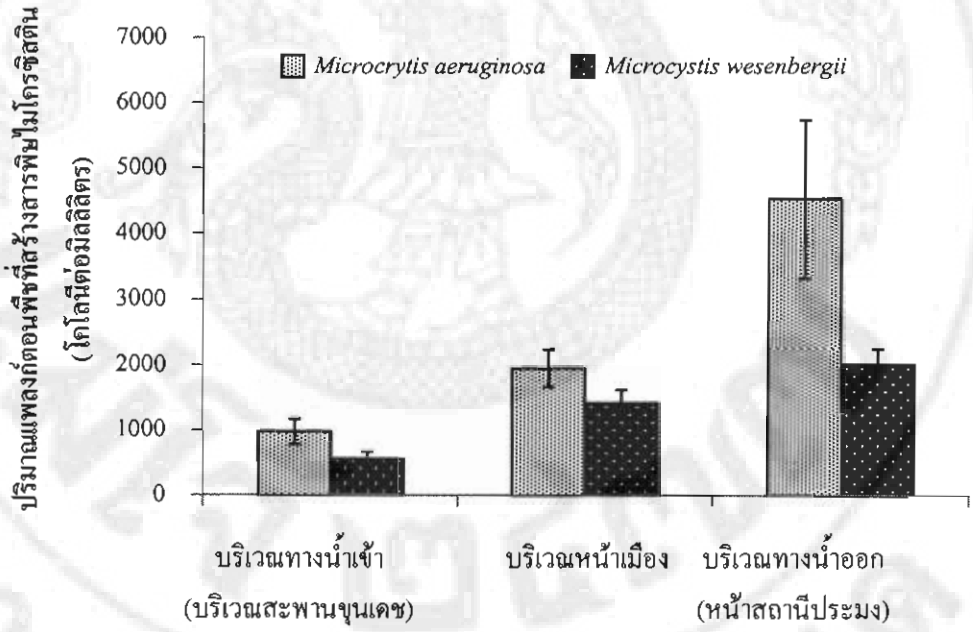
Microcystis wesenbergii Kom. เป็นสปีชีส์ที่พบมากรองจาก *Microcystis aeruginosa* Kütz. และพบทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยจุดที่พบมากที่สุด คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,013.1±234.3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 120.8±14.0 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงเวลาที่พบมากที่สุด คือ ช่วงเดือนมีนาคม 2553 โดยมีค่าเฉลี่ย 1,883.3±749.7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 113.0±44.9 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 37 เปอร์เซ็นต์

Anabaena spp. เป็นอีกสปีชีส์ที่พบไม่มากนัก จุดที่พบสปีชีส์นี้มากที่สุด คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.4±3.5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 1.0±0.2 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ และช่วงเวลาที่พบมากที่สุด คือ ช่วงเดือนเมษายน 2553 โดยมีค่าเฉลี่ย 18.9±7.8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีปริมาตรชีวภาพ 1.1±0.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 1 เปอร์เซ็นต์

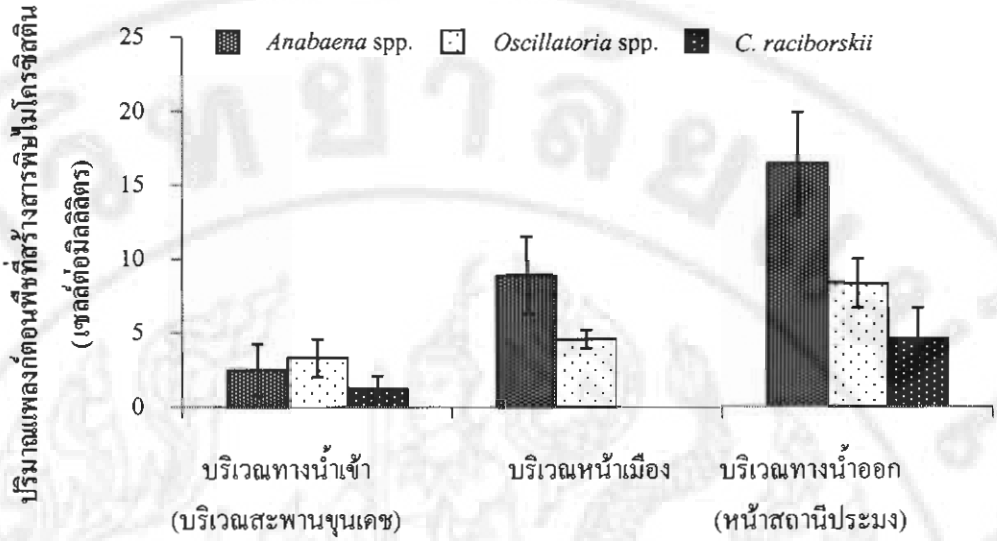
Oscillatoria spp. เป็นอีกสปีชีส์ที่พบไม่มากนัก โดยจุดที่พบมากที่สุด คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.3±1.7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีปริมาตรชีวภาพเท่ากับ 74.0±41.9 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงเวลาที่พบมากที่สุด คือ ช่วงเดือนมีนาคมและกรกฎาคม 2553 โดยมีค่าเฉลี่ย 7.8±2.2 และ 7.8±2.9 เซลล์ต่อ

มิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 69.1±19.7 และ 69.1±26.1 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์

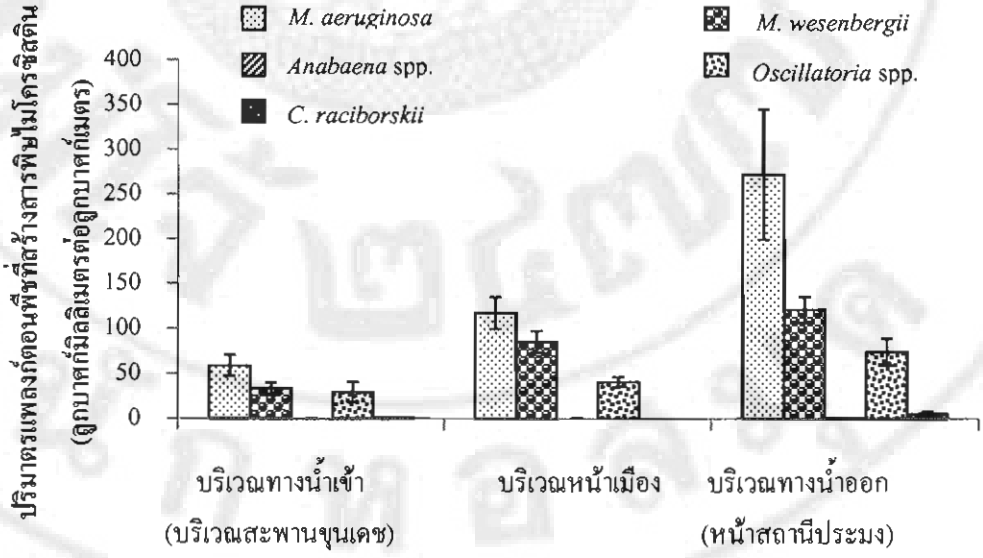
Cylindrospermopsis raciborskii (Wolosz.) Seenayya & Subba พบสปีชีส์นี้ในปริมาณไม่มากนัก โดยมีบางจุดเก็บตัวอย่างไม่พบสาหร่ายชนิดนี้ จุดที่พบมากที่สุด คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.6±2.1 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 5.5±2.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงเวลาที่พบมากที่สุด คือ ช่วงเดือนมกราคมและสิงหาคม 2553 โดยมีค่าเฉลี่ย 4.4±4.4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีปริมาตรชีวภาพ 5.3±5.3 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 16 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)



ภาพ 17 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)



ภาพ 18 ปริมาตรของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์-เมตร)

ตาราง 5 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

จุดเก็บตัวอย่าง	แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน(เซลล์ต่อมิลิลิตร)				
	****M.aeruginosa***	****M.wesenbergii***	*Anabaena* spp.	*Oscillatoria* spp.	*C.raciborskii*
*1	979.6±195.2^{x}	560.9±110.0^{x}	2.5±1.8^{x}	3.3±1.2^{a}	1.2±0.9^{ab}
*2	1,952.7±293.9^{x}	1,421.2±202.1^{y}	8.9±2.6^{xy}	4.6±0.6^{a}	0^{a}
*3	4,527.5±1,206.0^{y}	2,013.1±234.3^{z}	16.4±3.5^{z}	8.3±1. 7^{b}	4.6±2.1^{b}

หมายเหตุ: x, y และ z คือ ค่าเฉลี่ยที่มีภาษาอังกฤษในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

a และ b คือ ค่าเฉลี่ยที่มีภาษาอังกฤษในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

*1 บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช)

*2 บริเวณหน้าเมือง

*3 บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง)

** *Microcystis* spp. (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)

ตาราง 6 ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)				
	M.aeruginosa	*M.wesenbergii*	*Anabaena* spp.	*Oscillatoria* spp.	*C.raciborskii*
*1	58.8±11.7^{x}	33.6±6.6^{x}	0.2±0.1^{x}	29.6±31.6^{a}	1.5±1.0^{ab}
*2	117.2±17.6^{x}	85.3±12.1^{y}	0.5±0.2^{xy}	40.7±15.3^{a}	0^{a}
*3	271.6±72.4^{y}	120.8±14.0^{z}	1.0±0.2^{z}	74.0±41.9^{b}	5.5±2.5^{b}

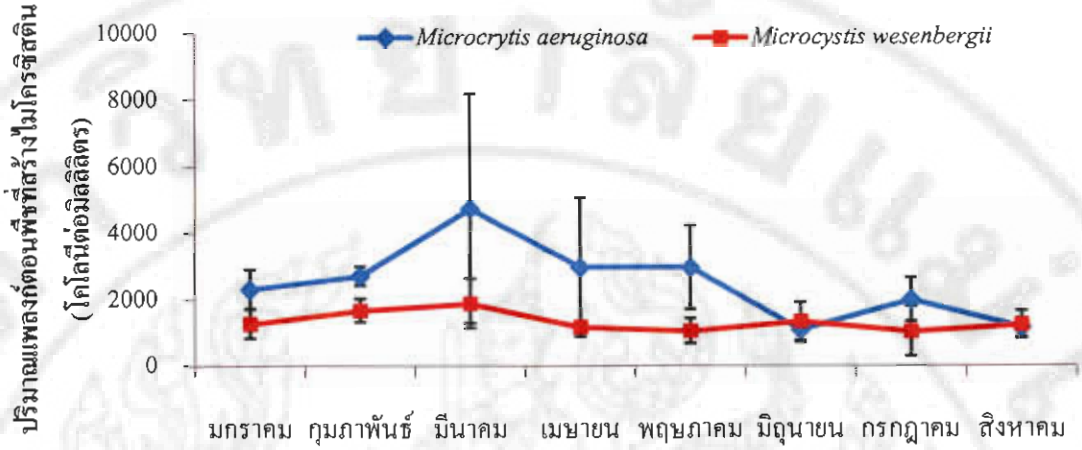
หมายเหตุ: x, y และ z คือ ค่าเฉลี่ยที่มีภาษาอังกฤษในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

a และ b คือ ค่าเฉลี่ยที่มีภาษาอังกฤษในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

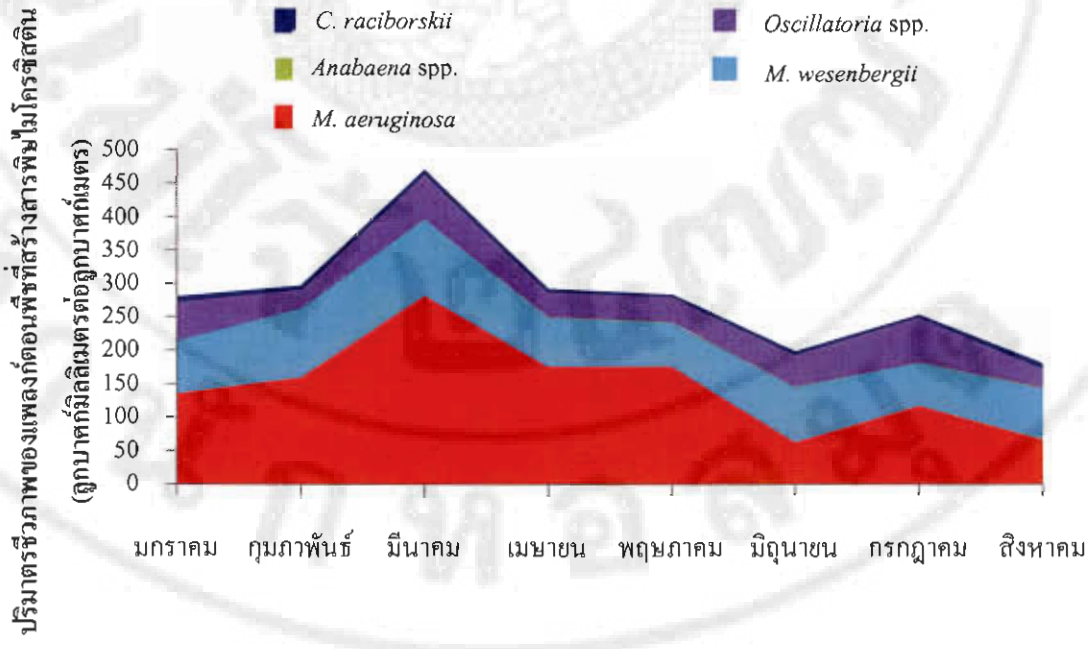
*1 บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช)

*2 บริเวณหน้าเมือง

*3 บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง)



ภาพ 19 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)



ภาพ 20 ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)

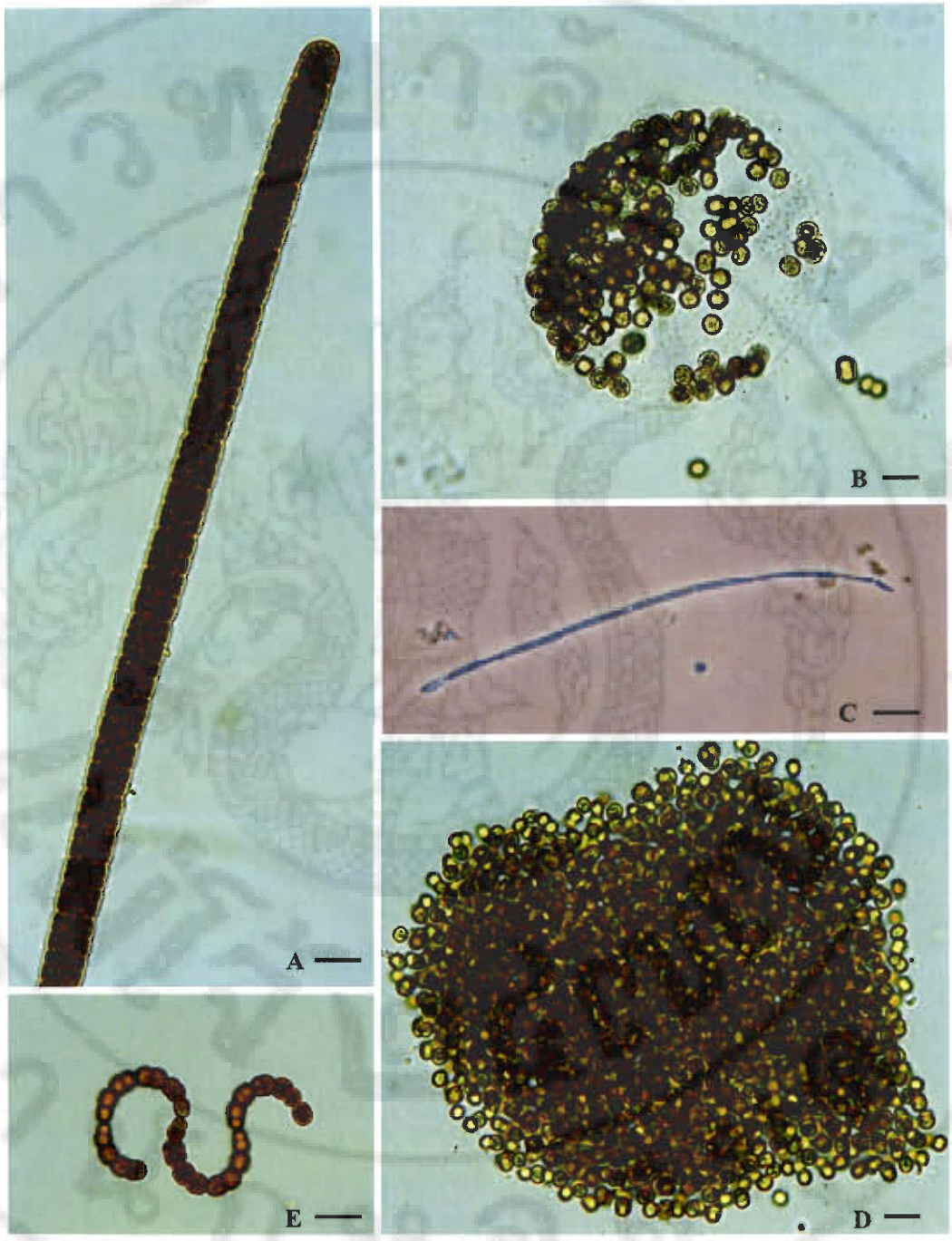
ตาราง 7 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)					
ช่วงเวลา	**M.aeruginosa*	**M.wesenbergii*	*Anabaena* spp.	*Oscillatoria* spp.	*C. raciborskii*
มกราคม	2,301.0±594.9	1,269.7±447.2	5.6±2.9	6.7±3.8	4.4±4.4
กุมภาพันธ์	2,704.6±282.4	1,672.3±353.8	4.4±2.9	3.3±1.9	2.2±2.2
มีนาคม	4,731.3±3,443.1	1,883.3±749.7	3.3±1.9	7.8±2.2	2.2±2.2
เมษายน	2,966.8±2,093.0	1,171.0±99.2	18.9±7.8	4.4±1.1	1.1±1.1
พฤษภาคม	2,966.8±1,258.5	1,052.0±377.7	13.3±6.9	4.4±1.1	0
มิถุนายน	1,084.8±372.8	1,340.0±580.6	7.8±7.8	5.6±4.0	1.1±1.1
กรกฎาคม	1,988.9±659.0	1,034.3±750.4	4.4±4.4	7.8±2.9	0
สิงหาคม	1,148.7±284.2[y]	1,231.3±418.4	16.2±1.4	3.3±0.0	4.4±4.4

หมายเหตุ: * *Microcystis* spp. (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)

ตาราง 8 ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)					
ช่วงเวลา	*M.aeruginosa*	*M.wesenbergii*	*Anabaena* spp.	*Oscillatoria* spp.	*C. raciborskii*
มกราคม	138.1±35.7	76.2±26.8	0.3±0.2	59.2±34. 2	5.3±5.3
กุมภาพันธ์	162. 3±16.9	100.3±21.2	0.3±0.2	29.6±17.1	2. 7±2. 7
มีนาคม	283.9±206.6	113.0±44.9	0.2±0.1	69.1±19.7	2. 7±2. 7
เมษายน	178.0±125.6	70.3±5.9	1.1±0.5	39. 5±9.9	1.3±1.3
พฤษภาคม	178.0±75.5	63.1±22.7	0.8±0.4	39.5±9.9	0
มิถุนายน	65.1±22.4	80.4±34.8	0.5±0.5	49.3±35. 6	1.3±1.33
กรกฎาคม	119.3±39.5	62.1±45.0	0.3±0.3	69.1±26.1	0
สิงหาคม	68.9±17.0[z]	73.9±25.1	1.0±0.1	29.6±0	5.3±5.3



ภาพ 21 แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (A) *Oscillatoria* sp. (B) *Microcystis wesenbergii* Kom. (C) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya & Subba (D) *Microcystis aeruginosa* Kütz. (E) *Anabaena* sp.

1.4 การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

ความลึก

ความลึกของน้ำในกว๊านพะเยาอยู่ระหว่าง 0.5-2.7 เมตร ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา พบว่า บริเวณหน้าเมืองมีความลึกเฉลี่ยสูงที่สุด 2.1±0.9 เมตร รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) และบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเตช) โดยมีค่าเฉลี่ย 1.8±0.5 และ 0.7±0.3 เมตร ตามลำดับ ส่วนช่วงเวลาที่มีความลึกมากที่สุด (1.0-2.7 เมตร) อยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ส่วนในเดือนมีนาคมมีความลึกน้อยที่สุด (0.5-1.5 เมตร)

อุณหภูมิ

พบว่า อุณหภูมิน้ำในกว๊านพะเยามีค่าอยู่ในช่วง 35.2-23.3 องศาเซลเซียส ซึ่งแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาล พบว่า บริเวณหน้าเมืองมีอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงที่สุด 28.8±2.1 องศาเซลเซียส รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) และบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) โดยมีค่าเฉลี่ย 27.8±4.2 และ 25.8±3.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิน้ำสูงที่สุด คือ เดือนมีนาคม 35.2 องศาเซลเซียส และต่ำที่สุด 23.3 องศาเซลเซียส ในเดือนมกราคม

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในกว๊านพะเยา พบว่า บริเวณหน้าเมืองมีเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) และบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) 7.9±1.3, 7.4±2.7 และ 6.4±1.8 ตามลำดับ หากพิจารณาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 8.6-6.8 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.5±0.1

ออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 4.2-7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.1±0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า บริเวณหน้าเมือง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) และบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6±1.3, 5.9±0.5 และ 5.1±0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาพบว่าค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในเดือนมกราคม คือ 6.9±1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยค่าต่ำที่สุด 4.2±0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนเมษายน นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงฤดูฝนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าฤดูอื่นๆ

ความเป็นด่าง

ความเป็นด่างของน้ำในกว๊านพะเยามีค่าอยู่ในช่วง 30-90 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 61.1±2.9 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยบริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณหน้าเมืองและบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) เท่ากับ 67.6±1.5, 61.4±2.3 และ 46.7±2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนเดือนเมษายนพบค่าความเป็นด่างเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 90±3.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ค่าต่ำที่สุด 30 มิลลิกรัมต่อลิตรในเดือนพฤษภาคม

ความกระด้าง

ความกระด้างของน้ำในกว๊านพะเยามีค่าอยู่ในช่วง 43.1-89.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 60.1±2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่า มีค่าเฉลี่ยสูงสุดบริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) รองลงมา คือ บริเวณหน้าเมืองและบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.8±3.8, 60.2±2.9 และ 50.7±3.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาพบว่า มีค่าเฉลี่ยค่าต่ำที่สุดอยู่ในเดือนมกราคม 43.1±3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าสูงที่สุด 89.0±2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนเมษายน

คลอโรฟิลล์ เอ

พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าอยู่ระหว่าง 10.0-79.2 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 32.9±3.5 ไมโครกรัมต่อลิตร บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณหน้าเมืองและบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.7±4.1, 29.1±2.9 และ 23.2±3.2 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 79.2±4.7 มิลลิกรัมต่อลิดร และต่ำที่สุดในเดือนพฤษภาคม อยู่ที่ 10.0±5.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตก

ความขุ่น

ตลอดระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างในกว๊านพะเยา พบว่า กว๊านพะเยาเป็นแหล่งน้ำที่ค่อนข้างขุ่น มีค่าอยู่ระหว่าง 5-42 NTU มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.3±1.9 NTU โดยบริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) และบริเวณหน้าเมือง 28.1±1.3, 22.9±2.4 และ 21.8±3.1 NTU ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาพบว่า เดือนพฤษภาคมมีค่าความขุ่นเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 33.0±2.5 NTU ส่วนเดือนมีนาคมมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 8.3±1.9 NTU ซึ่งช่วงเดือนนี้เป็นช่วงที่น้ำนิ่งและน้อย จึงส่งผลให้น้ำตกตะกอน

ไนเตรท

ปริมาณไนเตรท ที่พบในกว๊านพะเยามีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.014±0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาปริมาณไนเตรทของน้ำในกว๊านพะเยาครั้งนี้

มีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยบริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณหน้าเมืองและบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.02±0.001, 0.01±0.001 และ 0.01±0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาพบว่า ปริมาณไนเตรทสูงที่สุดในเดือนเมษายน, มิถุนายน, กรกฎาคม และสิงหาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.02±0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไนไตรท์

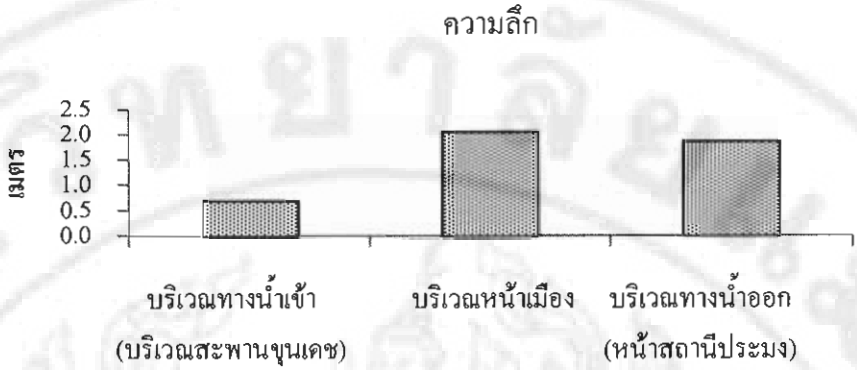
ปริมาณไนไตรท์ที่พบในกว๊านพะเยามีค่าอยู่ระหว่าง 0.001-0.150 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 0.019±0.008 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า บริเวณหน้าเมืองและบริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.02±0.002, 0.02±0.003 และ 0.01±0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยในเดือนมิถุนายนพบปริมาณไนไตรท์สูงที่สุด คือ 0.150±0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร และในเดือนกุมภาพันธ์พบปริมาณไนไตรท์ต่ำที่สุด คือ 0.001±0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนียม

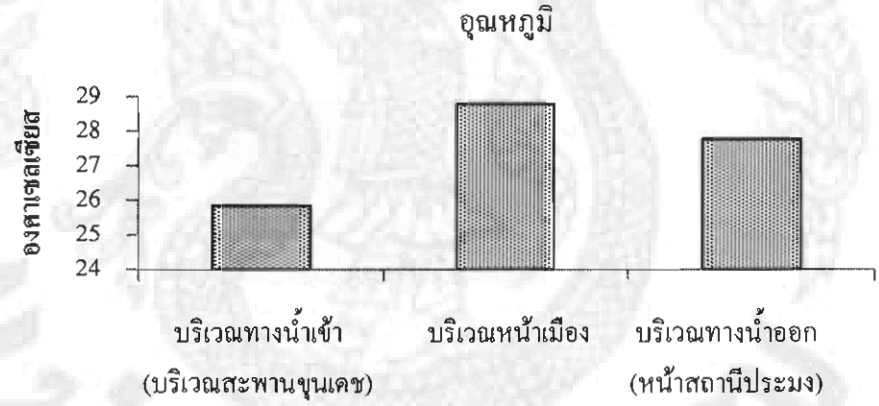
ปริมาณแอมโมเนียม ที่พบในกว๊านพะเยามีค่า 0.11-0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.02±0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณหน้าเมือง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) และบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23±0.02, 0.21±0.02 และ 0.61±0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยในเดือนเมษายนพบปริมาณแอมโมเนียมสูงที่สุด คือ 0.46±0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร

ออร์โธฟอสเฟต

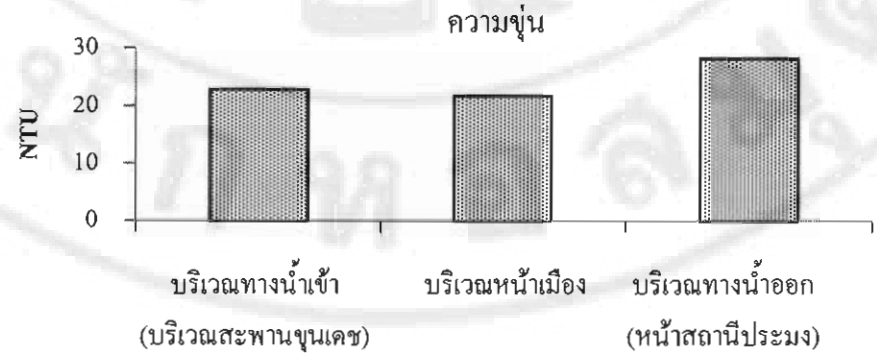
ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ที่พบในกว๊านพะเยามีค่าอยู่ระหว่าง 2.84-0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.04±0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณหน้าเมืองและบริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.62±0.12, 0.30±0.09 และ 0.29±0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยในเดือนมีนาคมพบปริมาณออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุด คือ 2.84±0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร



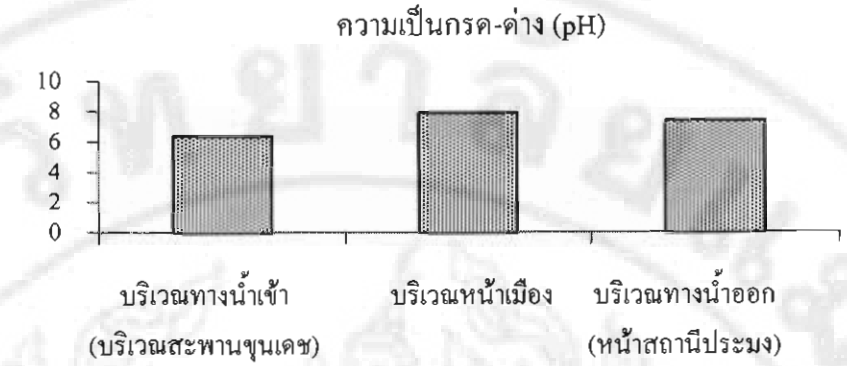
ภาพ 22 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาระหว่างตามจุดเก็บตัวอย่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (เมตร)



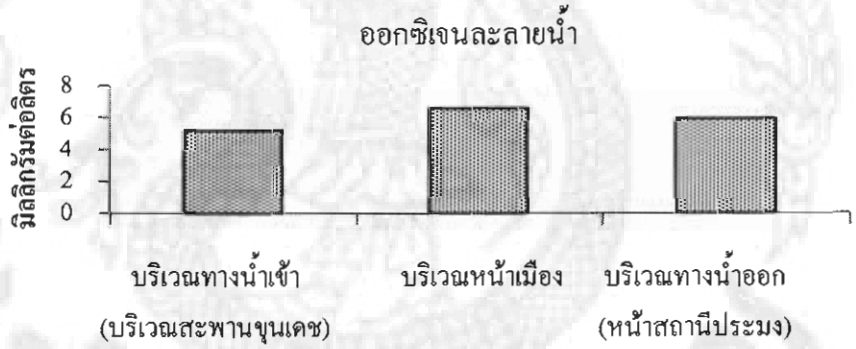
ภาพ 23 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (องศาเซลเซียส)



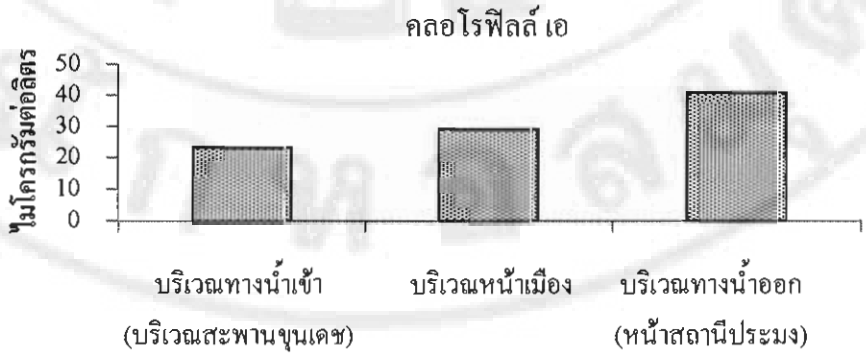
ภาพ 24 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาระหว่างตามจุดเก็บตัวอย่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (NTU)



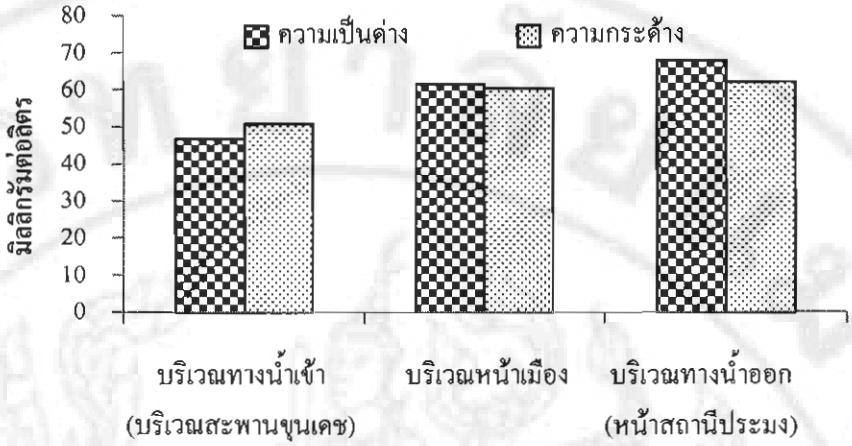
ภาพ 25 คุณภาพน้ำทางเคมีกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างของระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553



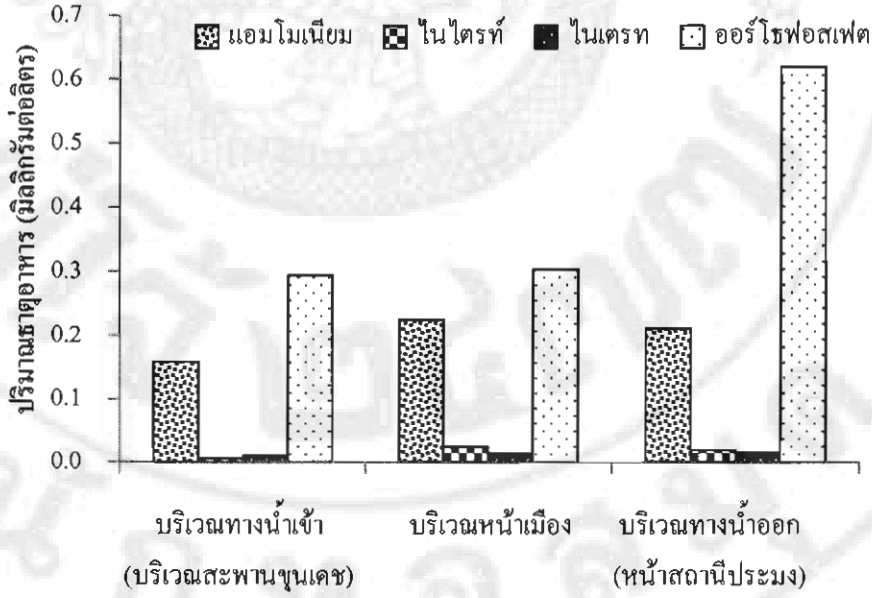
ภาพ 26 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)



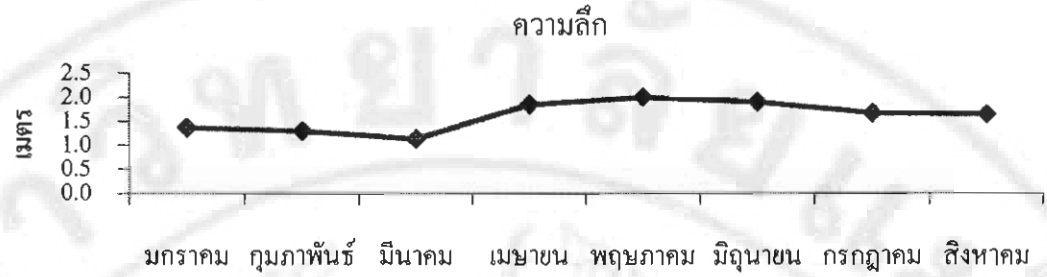
ภาพ 27 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ไมโครกรัมต่อลิตร)



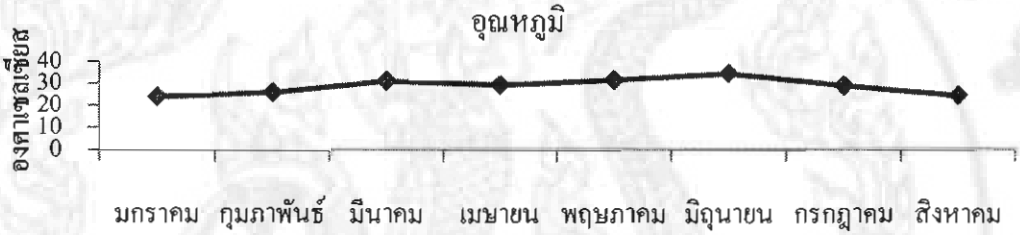
ภาพ 28 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพ 29 คุณภาพน้ำทางเคมี (ปริมาณธาตุอาหาร) ของกว๊านพะเยาตามจุดเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

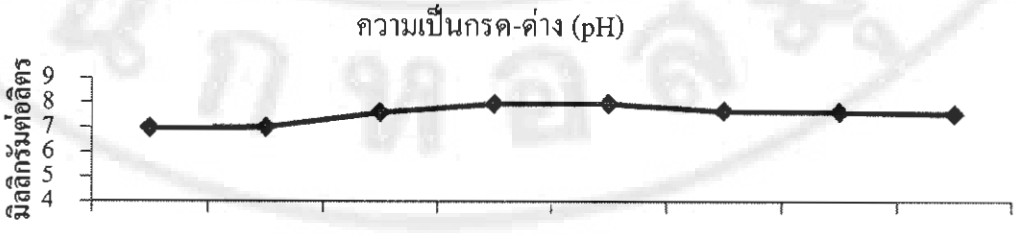


ภาพ 30 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (เมตร)



ภาพ 31 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (องศาเซลเซียส)

ภาพ 32 คุณภาพน้ำทางกายภาพของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (NTU)

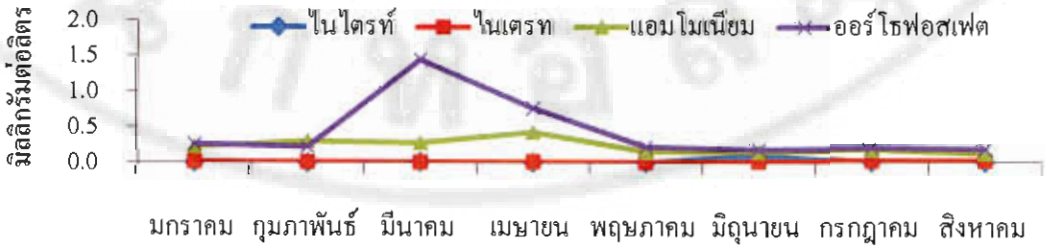


ภาพ 33 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

ภาพ 34 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ภาพ 35 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (ไมโครกรัมต่อลิตร)

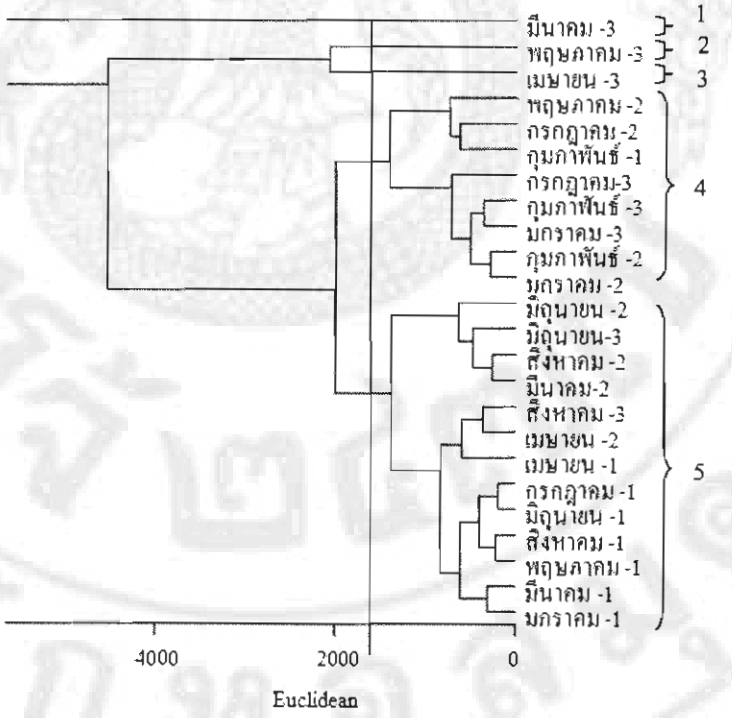
ภาพ 36 คุณภาพน้ำทางเคมีของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพ 37 คุณภาพน้ำทางเคมี (ปริมาณธาตุอาหาร) ของกว๊านพะเยาตามช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

1.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่พบในกว๊านพะเยา โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติสัมพันธ์แบบพหุ (multiple correlation analysis) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป พบว่าปริมาณและปริมาตรของ *Microcystis aeruginosa* Kütz. และ *Microcystis wesenbergii* Kom. มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าออร์โธฟอสเฟต (r^2=0.77) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) โดยพบว่าช่วงที่มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุดเป็นช่วงเดียวกับที่ *Microcystis* spp. มีปริมาณมากสุด และพบว่าปริมาณสารพิษไมโครซิสตินแอลอาร์ในเนื้อปลานิลมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับค่าออร์โธฟอสเฟต (r^2=0.39) และ *Microcystis aeruginosa* Kütz. (r^2=0.42) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามยังพบว่า ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณและปริมาตรของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน และจากการจัดกลุ่มด้วยวิธี UPGMA สามารถจัดกลุ่มได้เป็น 5 กลุ่ม (ภาพ 38)



ภาพ 38 เดนโดรแกรมจัดกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างเดือนเก็บตัวอย่างกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 ด้วย UPGMA

หมายเหตุ: 1 บริเวณทางน้ำเข้า (บริเวณสะพานขุนเดช)

2 บริเวณหน้าเมือง

3 บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง)

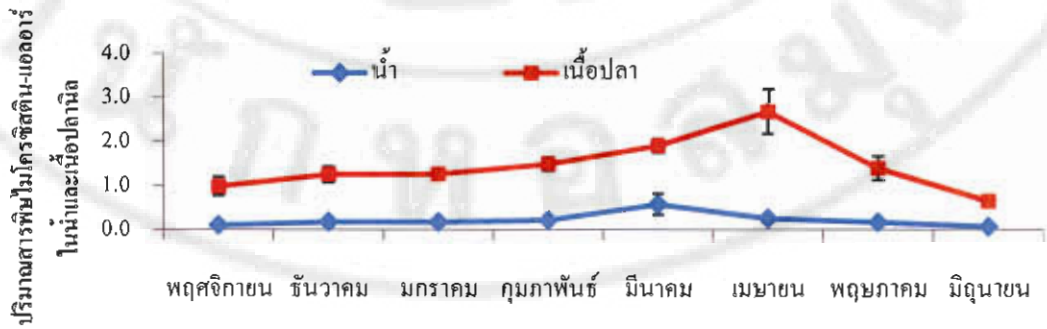
2. การสะสมของสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและปลาเศรษฐกิจในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

2.1 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ทุก ๆ 1 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 เป็นเวลา 8 เดือน จำนวน 6 บ่อ 48 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ จำนวน 32 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0-2.00 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 0.22±0.09 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งในช่วงที่มีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุด คือ เดือนมีนาคม 2552 มีค่าเฉลี่ยถึง 0.58±0.24 ไมโครกรัมต่อลิตร และเดือนมิถุนายน 2552 มีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์น้อยที่สุด คือ 0.07±0.04 ไมโครกรัมต่อลิตร (ภาพ 39 และ ตาราง 9)

2.2 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลา

จากการเก็บตัวอย่างปลานิลในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย จำนวน 48 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลา จำนวน 23 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0-5.91 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.22±0.48 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุดในเดือนเมษายน 2552 โดยมีค่าเฉลี่ย 2.68±0.51 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (ภาพ 39 และ ตาราง 9)



ภาพ 39 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (น้ำ = ไมโครกรัมต่อลิตร, เนื้อปลา = ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)

ตาราง 9 ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและเนื้อปลานิลที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552

ช่วงเวลา	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์	
	น้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	เนื้อปลา (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)
พฤศจิกายน 51	0.11±0.04	0.99±0.21
ธันวาคม 51	0.18±0.03	1.26±0.18
มกราคม 52	0.18±0.04	1.27±0.13
กุมภาพันธ์ 52	0.22±0.03	1.50±0.15
มีนาคม 52	0.58±0.24	1.91±0.15
เมษายน 52	0.26±0.02	2.68±0.51
พฤษภาคม 52	0.17±0.03	1.40±0.27
มิถุนายน 52	0.07±0.04	0.65±0.14
min-max	0-0.33	0-5.91

1.3 การตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน

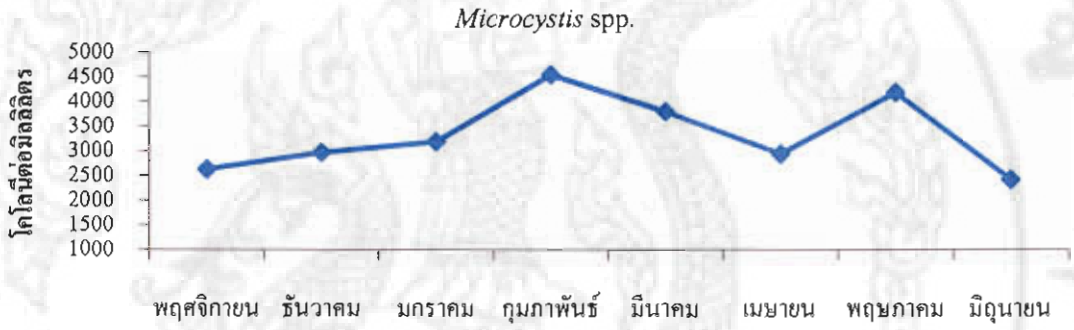
จากตรวจสอบชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 พบแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษทั้งหมด 3 สปีชีส์ ซึ่ง 3 สปีชีส์นี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Cyanophyta ได้แก่ *Microcystis* spp., *Anabaena* spp. และ *Oscillatoria* spp. โดยพบว่า

Microcystis spp. เป็นสปีชีส์ที่พบมากที่สุดและพบทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยช่วงที่พบมากที่สุด คือ เดือนกุมภาพันธ์ 2552 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,542.9±509.6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 272.5±62.3 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่พบน้อยที่สุด คือ เดือนมิถุนายน 2552 โดยมีค่าเฉลี่ย 2,412.4±437.8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร มีปริมาตรชีวภาพ 144.7±34.6 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 43 เปอร์เซ็นต์

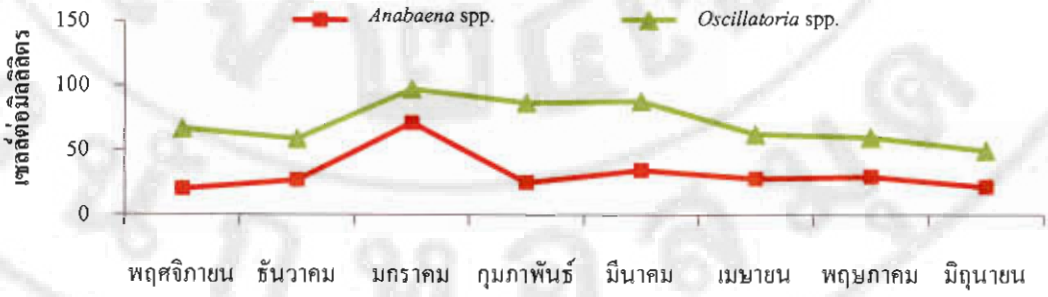
Anabaena spp. พบสปีชีส์นี้ในปริมาณไม่มากนัก โดยช่วงที่พบมากที่สุด คือ มกราคม 2551 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.3±21.6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 4.3±4.3

ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่พบน้อยที่สุด คือ เดือนพฤศจิกายน 2552 โดยมีค่าเฉลี่ย 20.3±12.9 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 1.2±1.1 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร

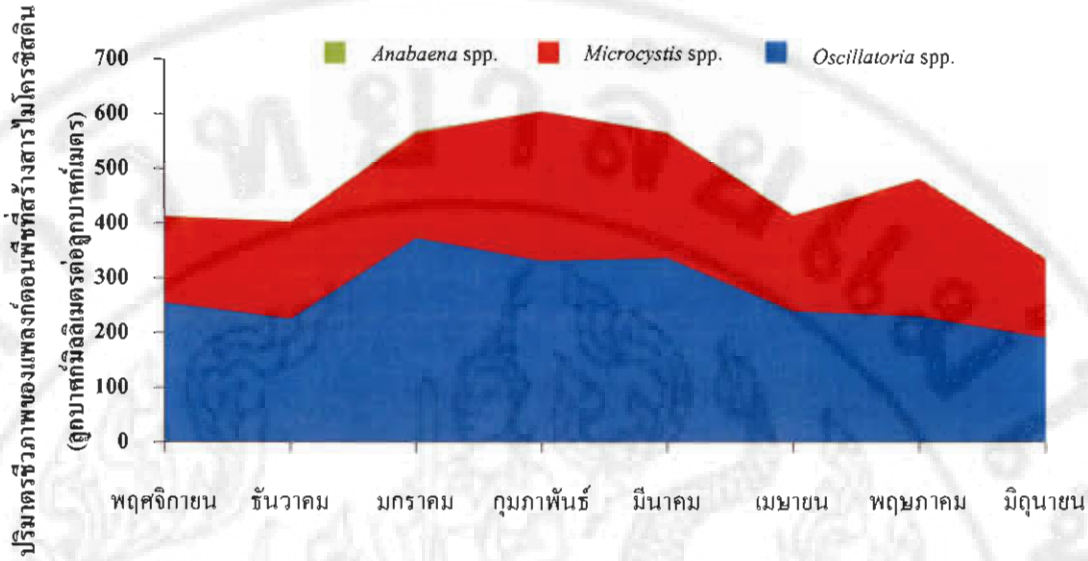
Oscillatoria spp. พบสปีชีส์นี้มากที่สุดในช่วง เดือนมกราคม 2552 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 97.3±18.5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และพบว่ามีปริมาตรชีวภาพมากกว่า *Microcystis* sp. โดยมีปริมาตรชีวภาพ 373.7±67.9 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 66 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่พบน้อยที่สุด คือ เดือนมิถุนายน 2552 โดยมีค่าเฉลี่ย 49.6±25.6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 190.3±42.2 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 57 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 40 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน (*Microcystis* spp.) ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)



ภาพ 41 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

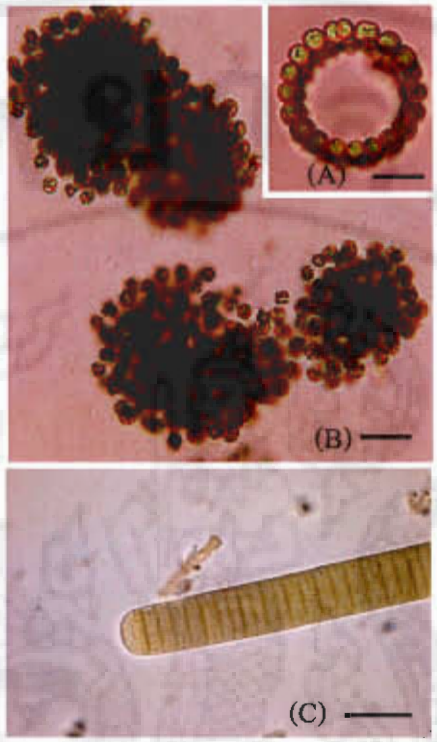


ภาพ 42 ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)

ตาราง 10 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึง เดือนมีนาคม 2552

ช่วงเวลา	ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)		
	* *Microcystis* spp.	*Anabaena* spp.	*Oscillatoria* spp.
พฤศจิกายน 51	2,625.1±459.8	20.3±12.9	66.5±12.1
ธันวาคม 51	2,964.9±674.2	27.1±10.7	58.7±24.9
มกราคม 52	3,187.1±190.6	71.3±21.6	97.3±18.5
กุมภาพันธ์ 52	4,542.9±509.6	25.3±13.3	86.4±22.3
มีนาคม 52	3,797.7±301.9	34.8±19.5	87.7±31.4
เมษายน 52	2,930.1±342.1	28.2±11.7	62.1±38.3
พฤษภาคม 52	4,180.3±670.8	29.7±13.2	59.8±29.5
มิถุนายน 52	2,412.4±437.8	21.8±10.4	49.6±25.6

หมายเหตุ: **Microcystis* spp. (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)



Scale bar = 10 μm

ภาพ 43 แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552

(A) *Anabaena* sp.

(B) *Microcystis aeruginosa* Kütz.

(C) *Oscillatoria limosa*

1.4 การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

ความลึก

ความลึกของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีระดับความลึก 1.5 เมตร ตลอดช่วงระยะเวลาในการวิจัย

อุณหภูมิ

พบว่า อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ในช่วง 34.9-27.4 องศาเซลเซียส ซึ่งแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาล อุณหภูมิน้ำสูงที่สุด คือ 34.9 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายน 2552 ส่วนอุณหภูมิน้ำต่ำที่สุด 27.4 องศาเซลเซียส ในเดือนธันวาคม 2551

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 อยู่ในช่วง 7.3-7.4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.3±0.02

ออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ระหว่าง 4.9-5.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.4±0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าต่ำที่สุด คือ 4.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนมิถุนายน 2552 นอกจากนี้ยังพบว่า ในช่วงฤดูฝนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าฤดูอื่นๆ

ความเป็นด่าง

ความเป็นด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ในช่วง 41-85 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 78.5±1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าต่ำที่สุด 41 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในเดือนพฤศจิกายน 2551 และค่าสูงที่สุด 85 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนเมษายน 2552

ความกระด้าง

ความกระด้างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ในช่วง 50.3-75.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 69.8±3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าต่ำที่สุดอยู่ในเดือนพฤศจิกายน 2551 คือ 50.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าสูงที่สุด 75.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนพฤษภาคม 2552

คลอโรฟิลล์ เอ

พบว่า คลอโรฟิลล์ เอ ในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ระหว่าง 163.5-214.3 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 193.9±5.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 คือ 214.3 ไมโครกรัมต่อลิตร และต่ำที่สุดในเดือนมิถุนายน 2552 อยู่ที่ 163.5ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตก

ความขุ่น

จากการเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย พบว่า มีค่าความขุนอยู่ระหว่าง 7-22 NTU โดยมีค่าเฉลี่ย 18.0±1.0 NTU และในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 15 NTU

ไนเตรท

ปริมาณไนเตรท ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.20-1.40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.72±0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไนไตรท์

ปริมาณไนไตรท์ ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.11-0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.15±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในเดือนมิถุนายน 2552 พบปริมาณไนไตรท์ต่ำที่สุด คือ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร และในเดือนมีนาคม 2552 พบปริมาณไนไดรท์สูงที่สุด คือ 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร

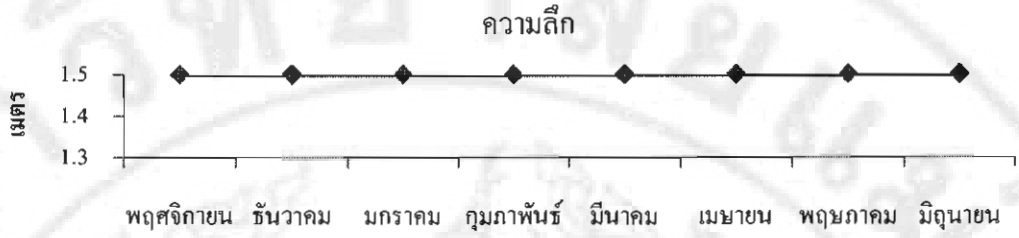
แอมโมเนียม

ปริมาณแอมโมเนียม ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่า 0.08-0.61 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 0.25±0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในเดือนมิถุนายน 2552 พบค่าต่ำที่สุด คือ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิดร และในเดือนมีนาคม 2552 พบค่าสูงที่สุด คือ 0.61 มิลลิกรัมต่อลิตร

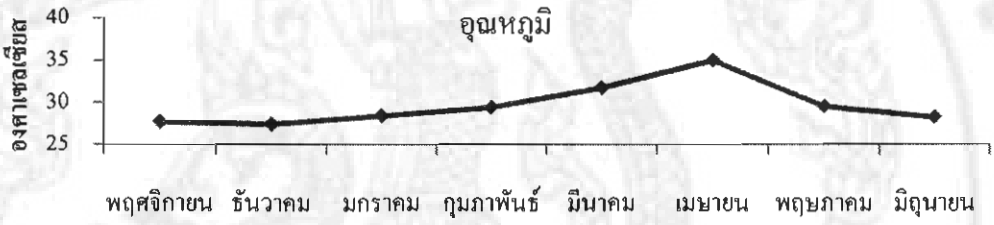
ออร์โธฟอสเฟต

ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07-0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.14±0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 พบปริมาณออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุด คือ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และในเดือนมิถุนายน 2552 พบปริมาณออร์โธฟอสเฟตต่ำที่สุด คือ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปริมาณ

ฟอสเฟตในน้ำสูงขึ้น ทำให้มีการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (คลอโรฟิลล์ เอ) ในน้ำสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

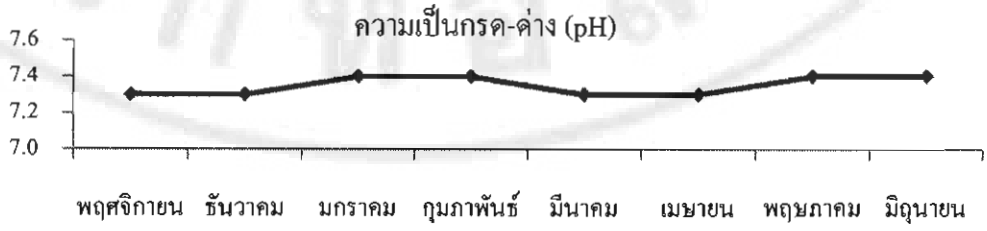


ภาพ 44 คุณภาพน้ำทางกายภาพในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (เมตร)



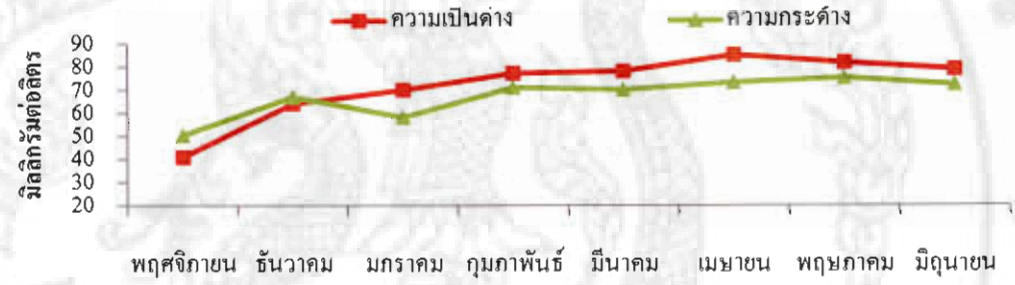
ภาพ 45 คุณภาพน้ำทางกายภาพในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (องศาเซลเซียส)

ภาพ 46 คุณภาพน้ำทางกายภาพในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (NTU)

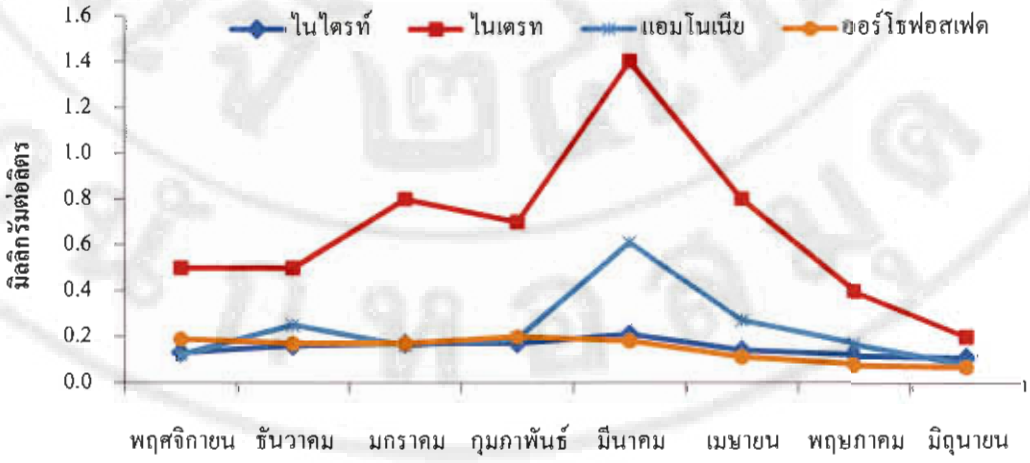


ภาพ 47 คุณภาพน้ำทางเคมีในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ภาพ 48 คุณภาพน้ำทางเคมีในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียง รายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (ไมโครกรัมต่อลิตร)



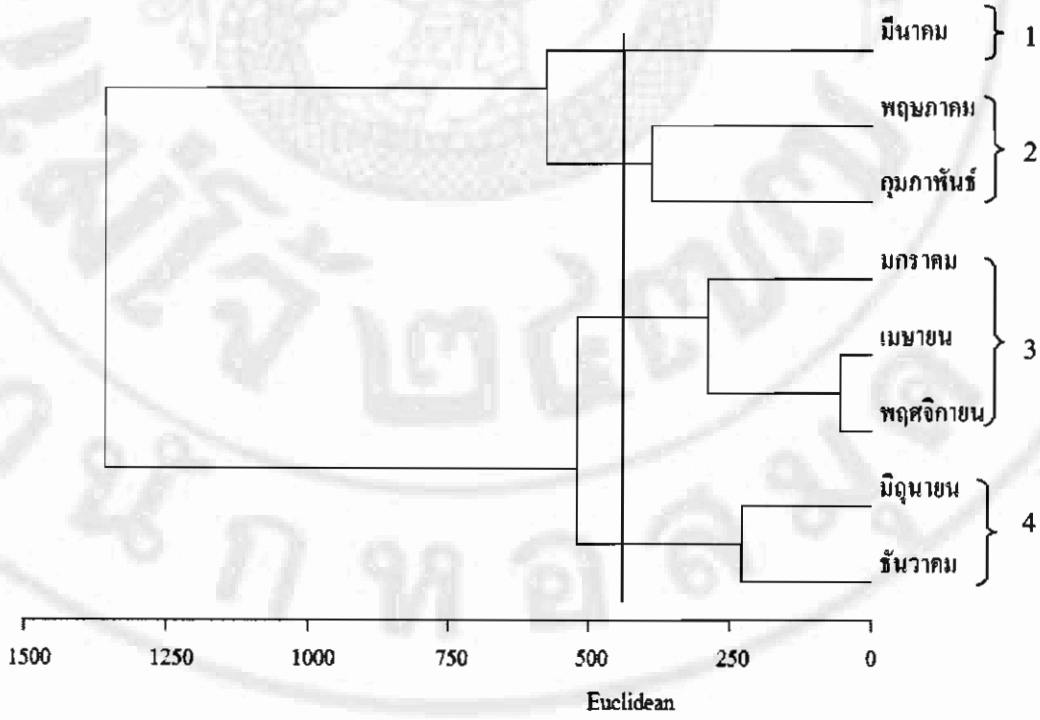
ภาพ 49 คุณภาพน้ำทางเคมีในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียง รายระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพ 50 คุณภาพน้ำทางเคมี (ปริมาณธาตุอาหาร) ในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

1.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติสัมพันธ์แบบพหุ (multiple correlation analysis) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป พบว่า ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณแอมโมเนียและปริมาณไนเตรท (r^2=0.98 และ 0.94 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) และยังพบว่า ปริมาณและปริมาตรของ *Oscillatoria* spp. มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณของคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท (r^2=0.80 และ 0.71 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามยังพบว่า ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณและปริมาตรของแพลงก์-ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน และจากการจัดกลุ่มด้วยวิธี UPGMA สามารถจัดกลุ่มได้เป็น 4 กลุ่ม (ภาพ 51)



ภาพ 51 เดนโดรแกรมจัดกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างเดือนเก็บตัวอย่างของบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552 ด้วย UPGMA

3. การเปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

จากผลการตรวจสอบระดับของสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในตัวอย่างน้ำและเนื้อปลานิลจากกว๊านพะเยา พบว่า มีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์เฉลี่ย 0.69±0.28 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.06±0.02 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างน้ำและเนื้อปลานิลจากบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน พบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์เฉลี่ย 0.22±0.09 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 1.22±0.48 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างน้ำจากกว๊านพะเยามีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงกว่าบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน ส่วนตัวอย่างเนื้อปลานิลจากบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานมีปริมาณการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์มากกว่าเนื้อปลานิลจากกว๊านพะเยา (ตาราง 11)

ตาราง 11 เปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

สถานที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์	
	น้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	เนื้อปลา (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)
กว๊านพะเยา	0.69±0.28	0.06±0.02
บ่อเลี้ยงปลา	0.22±0.09	1.22±0.48

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการศึกษา

1. การสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา

จากผลการศึกษาการสะสมสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในกว๊านพะเยา พบว่า ทั้งตัวอย่างน้ำและเนื้อปลานิล บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีการปนเปื้อนของสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุด (0.97±1.35 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.08±0.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) เนื่องมาจากทางน้ำออกเป็นบริเวณส่วนท้ายของกว๊านพะเยา อาจมีการพัดพา สะสม และตกตะกอนของธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษ โดยพบว่า ปริมาณและปริมาตรของ *Microcystis aeruginosa* Kütz. และ *Microcystis wesenbergii* Kom. มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าออร์โธฟอสเฟต (r^2=0.77) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) (ตารางผนวก 1) โดยพบว่าช่วงที่มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุดเป็นช่วงเดียวกับที่ *Microcystis* spp. มีปริมาณมากสุด และพบโคโลนีส์ลอยอย่างหนาแน่นบริเวณผิวน้ำในช่วงของการเก็บตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับ รัฐภูมิ (2543) ที่พบว่า แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำ และ ปริญญา (2540) ที่ทำการศึกษาปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ พบแพลงก์ตอนพืช 2 ชนิด คือ *M. aeruginosa* และ *C. raciborskii* ซึ่งต่างก็สร้างสารพิษ มีความสัมพันธ์กับปริมาณ soluble reactive phosphorus และปริมาณฟอสฟอรัสรวม ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2539 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 และจากรายงานของ สุคนธ์ (2534) พบแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินเป็นชนิดเด่นในอ่างเก็บน้ำประปา จังหวัดเชียงราย คือ *M. aeruginosa* ซึ่งมีปริมาณสูงมากในเดือนที่พบสารอาหารมากเช่นกัน และเมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาแล้วจะพบว่า ตัวอย่างน้ำและเนื้อปลานิลในกว๊านพะเยามีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุดช่วง คือ เดือนเมษายน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณ *Microcystis* spp. และค่าออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำในปริมาณสูง เนื่องมาจากการปล่อยของเสียจากบ้านเรือน ชุมชน ลงสู่กว๊านพะเยา และบวกกับน้ำในกว๊านพะเยามีปริมาณน้อย โดยมีความลึกเฉลี่ยของน้ำ 0.5-1.5 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับ รัฐภูมิ (2545)ได้รายงานว่า ในเดือนเมษายน 2542 พบ *M. aeruginosa* และ *M. wesenbergii* เป็นสปีชีส์เด่นมีปริมาณเซลล์สูงที่สุด ถึง 44,368 และ 26,111 เซลล์ต่อมิลลิลิตร คิดเป็น 25.3 เปอร์เซ็นต์และ 41.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรชีวภาพรวม ตามลำดับ

2. การสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

จากการศึกษาตัวอย่างในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย พบ สาหร่ายที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน 3 สปีชีส์ ได้แก่ *Microcystis* spp., *Anabaena* spp. และ *Oscillatoria* spp. โดยพบ *Microcystis* spp. เป็นสปีชีส์เด่น และยังพบว่า ปริมาตรของ *Oscillatoria* spp. มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณของคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท (r^2=0.80 และ 0.71 ตามลำดับ) (ตารางผนวก 2) ส่วนตัวอย่างน้ำและปลานิลในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน พบว่า ตัวอย่างน้ำมีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์อยู่ในช่วง 0-2.00 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 0.22±0.09 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งในช่วงที่มีการปนเปื้อนของสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุด คือ เดือนมีนาคม มีค่าเฉลี่ยถึง 0.58±0.24 ไมโครกรัมต่อลิตร และยังพบว่า ปริมาณสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณแอมโมเนียและปริมาณไนเตรท (r^2=0.98 และ 0.94 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) (ตารางผนวก 2) ส่วนเนื้อปลานิลพบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์อยู่ในช่วง 0-5.91 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.22±0.48 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งในเดือนเมษายน พบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 2.68±0.51 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานมีสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สะสมสูงกว่าระดับที่ปลอดภัย โดยค่า maximum allowable concentration (MAC) ซึ่งกำหนดโดย WHO คือ 1.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ในน้ำดื่ม และค่า Tolerable Daily Intake (TDI) คือ 0.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงาน Ruangrit et al. (2011) ที่ทำการศึกษาสารพิษไมโครซิสตินในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามและบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำเขียวบริเวณภาคเหนือ ของประเทศไทย พบว่า ในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม มีปริมาณสาหร่ายพิษ *Microcystis aeruginosa* Kützing (45,000 โคโลนีต่อลิตร) และมีปริมาณสารพิษไมโครซิสติน (3.20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าบ่อเลี้ยงปลา (983 โคโลนีต่อลิตรและ 0.84 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดยทั้งบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามและบ่อเลี้ยงปลานิลมีปริมาณความเข้มข้นของสารพิษไมโครซิสตินสูงเกินกว่ามาตรฐาน (มีค่า TDI 0.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน กำหนดโดย WHO) ซึ่งอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคสัตว์น้ำ และการจำหน่ายปลานิล โดยเฉพาะตลาดต่างประเทศ โดยแนวทางการป้องกันและแก้ไขสำหรับบ่อเลี้ยงปลาที่มีการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินนั้นจะต้องอาศัยการจัดการภายในบ่อร่วมด้วย เช่น ควรให้ความสำคัญด้านการให้อาหาร การใส่ปุ๋ย และการเปลี่ยนถ่ายน้ำภายในบ่อเลี้ยงปลา เพื่อลดความเสี่ยงต่อการสะสมสารพิษไมโครซินตินได้

3. การเปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

เมื่อนำผลการศึกษาจากตัวอย่างน้ำและเนื้อปลานิลในกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานมาเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่า ค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำจากกว๊านพะเยาสูงกว่าบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน เนื่องมาจากกว๊านพะเยาเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่อาจมีการพัดพาปัจจัยต่างๆ ที่สร้างสารพิษมาสะสมไว้ที่บริเวณหนึ่งของกว๊านพะเยา ดังเห็นได้จากผลการศึกษา พบว่า บริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์สูงที่สุดถึง 7.56 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลานิล พบว่า เนื้อปลานิลจากบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานมีค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนสูงกว่ากว๊านพะเยา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในบ่อเลี้ยงปลาเป็นแหล่งน้ำที่มีการพักตัวของน้ำค่อนข้างยาวนาน (long retention time) จึงเกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน (ลัดดา, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ ที่พบว่า ในบ่อเลี้ยงปลามีการกักขังน้ำในระยะเวลาที่นานซึ่งเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของ *Microcystis* spp. และปลาที่อยู่ในบ่อที่มีการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน ก็จะทำให้มีโอกาสที่ปลานั้นจะสามารถสะสมสารพิษไมโครซิสตินในร่างกายของสัตว์น้ำได้ดีกว่ากว๊านพะเยา

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาการสะสมของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลาเศรษฐกิจของกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553 เป็นเวลา 8 เดือน พบว่าบริเวณทางน้ำออก (หน้าสถานีประมง) มีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสตินเฉลี่ยมากที่สุด (ตัวอย่างน้ำ 0.97±1.35 ไมโครกรัมต่อลิตร และตัวอย่างเนื้อปลา 0.08±0.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) และพบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสตินเฉลี่ยมากที่สุดในเดือนเมษายน (ตัวอย่างน้ำ 2.60±2.48 ไมโครกรัมต่อลิตร และตัวอย่างเนื้อปลา 0.20±0.03 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) ส่วนปริมาณและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช พบ *Microcystis* spp. เป็นสปีชีส์เด่นและมากที่สุดในเดือนมีนาคม

2. จากการเก็บตัวอย่างในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ทุก ๆ 1 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 เป็นเวลา 8 เดือน พบการปนเปื้อนของสารไมโครซิสตินในน้ำตัวอย่างมากที่สุดในเดือนมีนาคม มีค่าเฉลี่ยถึง 0.58±0.24 ไมโครกรัมต่อลิตร และพบการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสตินในเนื้อปลามากที่สุดในเดือนเมษายน มีค่าเฉลี่ย 2.68±0.51 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ส่วนชนิด ปริมาณความหลากหลายและปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน พบว่า *Microcystis* spp. เป็นสปีชีส์เด่นและพบมากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,542.9±509.6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตรชีวภาพ 272.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์

3. จากการเปรียบเทียบระดับของสารพิษไมโครซิสตินในน้ำและปลานิลจากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน พบว่า ตัวอย่างน้ำจากกว๊านพะเยามีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสตินสูงกว่าบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน ส่วนเนื้อปลานิลจากบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสานมีการปนเปื้อนสารพิษไมโครซิสตินสูงกว่ากว๊านพะเยา

ข้อเสนอแนะ

1. กว๊านพะเยาเป็นแหล่งน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำค่อนข้างมาก เพราะมีชุมชนเมืองตั้งอยู่รอบกว๊าน จึงง่ายต่อการปล่อยน้ำเสียลงสู่กว๊านพะเยา ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องหมั่นตรวจสอบการระบายน้ำทิ้งจากชุมชนเมือง

2. นอกจากพื้นที่โดยรอบเป็นชุมชนเมืองแล้ว อีกฝากหนึ่งของกว๊านพะเยายังเป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ เมื่อฝนตก น้ำฝนก็ชะล้างของเสียจากกิจกรรมทางการเกษตรลงสู่กว๊าน ดังนั้นเกษตรกรที่เพาะปลูกรอบๆ กว๊านพะเยาต้องช่วยกันหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี ยาฆ่าแมลง และการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เกินความจำเป็น เพาะเมื่อฝนตกก็จะชะล้างพัดพาสารเหล่านั้นลงสู่กว๊านพะเยาทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ รวมทั้งผู้คนที่ใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคด้วย

3. ในการเลี้ยงปลาแบบผสมผสานสามารถลดต้นทุนในการผลิตปลาเชิงพาณิชย์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม โอกาสที่ปลาจะสะสมสารพิษไมโครซิสตินในร่างกายของปลานั้นก็มีมาก ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคสัตว์น้ำ และการจำหน่ายปลา โดยเฉพาะกับตลาดต่างประเทศ ผู้เลี้ยงปลาควรหาแนวทางป้องกันและแก้ไขสำหรับบ่อเลี้ยงปลาที่มีการเจริญของสาหร่ายสีเขียว-แกมน้ำเงินชนิดที่สร้างสารพิษไมโครซิสติน

บรรณานุกรม

คมสัน เรืองฤทธิ์ ยุวดี พีรพรพิศาล และ นิวุฒิ หวังชัย. 2550. การศึกษาสาหร่ายพิษ *Microcystis aeruginosa* Kützing และสารไมโครซิสตินในฟาร์มกุ้งและฟาร์มปลาบริเวณภาคเหนือ. น. 62-77. ใน **การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 3. 21-23 มีนาคม 2550.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547. **งานศึกษา สำรวจ และออกแบบโครงการขุดลอกกว๊านพะเยา และจัดทำประชาพิจารณ์ จังหวัดพะเยา.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 108 น.

จีรพร เพกเกาะ และยุวดี พีรพรพิศาล. 2550. ความหลากหลายและไซยาโนทอกซินของไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นพิษในแหล่งน้ำบางแห่งในประเทศไทย. น. 248-256. ใน **การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 3. 21-23 มีนาคม 2550.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล. 2551. **วัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพกับการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน.** นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน. 284 น.

ธีรศักดิ์ สมดี. 2541. **การกระจายของแพลงก์ตอนพืช *Microcystis aeruginosa* KÜTZ. ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2539-2540.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 118 น.

นพรัตน์ ฤาชา. 2540. **การสำรวจสาหร่ายในกว๊านพะเยา.** การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 103 น.

ปกรณ์ อุ่นประเสริฐ วิรุฬพระนอง ศรีณรงค์ และ อาภรณ์ ภู่นิยม. 2541. **การเพาะเลี้ยงปลานิล.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.fisheries.go.th (13 มีนาคม 2548).

ปรานต์นภัส ฟ้าประทานชัย. 2549. **การทดสอบความเป็นพิษของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ต่อปลานิล *Oreochromis niloticus*.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 99 น.

ปริญญา เมืองมูล. 2540. **ปริมาตรชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวง เชียงใหม่ ปี 2538-2539.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 115 น.

พรรณรัตน์ รัตนโชติ. 2541. **การจำแนกและความเป็นพิษของไซยาโนแบคทีเรียที่พบในประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 92 น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำ.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 214 น.

ยุวดี พีรพรพิศาล และจีรพร เพกเกาะ. 2548. ความหลากหลาย สายพันธุกรรม และสารพิษของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างสารพิษ ในประเทศไทย. รวมเล่มบทคัดย่อโครงการวิจัยและวิทยานิพนธ์. น. 276-290. <u>ใน</u> **การประชุมวิชาการโครงการ BRT ครั้งที่ 9. 10-13 ตุลาคม 2548.** ขอนแก่น: โรงแรมโซฟิเทล ราชาออคิด.

รวิวรรณ พัวธนาโชคชัย และ ไมตรี สุทธจิตต์. 2541. ไมโครซิสติน. **พิษวิทยาสาร.** 8(3): 10-12.

รุ่งนภา พิทักษ์ตันสกุล. 2543. **ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดในแหล่งน้ำยูโทรฟิคและสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ Microcystis aeruginosa Kutzing.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 109 น.

รัฐภูมิ พรหมณะ. 2543. **ความหลากหลายของสาหร่ายพิษในแหล่งน้ำบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำในแอ่งที่ราบเชียงใหม่-ลำพูน.** การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 109 น.

รัฐภูมิ พรหมณะ. 2545. **การกระจายของสาหร่ายพิษและคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยาในปี 2542-2543.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 114 น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2539. **คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน.** กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 133 น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. **แพลงก์ตอนพืช.** กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 851 น.

สุคนธ์ คล่องดี. 2534. **ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับชนิดและปริมาณของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำของการประปาเชียงราย.** การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 112 น.

อาภารัตน์ มหาขันธ์. 2539. สารพิษจากสาหร่ายในน้ำแหล่งน้ำ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 11(1): 39-53.

อินทิรา สีขาว. 2549. **การติดตามตรวจสอบไมโครซิสตินจากสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงินและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2547-2548.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 92 น.

An, J and Carmichael, W.W. 1994. Use of colorimetric protein phosphatase inhibition assay and enzyme linked immunosorbent assay for the study of microcystins and nodularins. **Toxicon** 32: 1495-1507.

Andrinolo, D., Sedan, D., Telese, L., Aura, C., Masera, S., Giannuzzi, L., Marra C.A. and Alaniz M.J.T. 2008. Hepatic recovery after damage produced by sub-chronic intoxication with thecyanotoxin microcystin LR. **Toxicon** 51: 457-467.

APHA (American Public Health Association). 1980. **Standard Metbod for tbe Examination of Water and Wastewater.** 15th ed. Washington DC: American Public Health Association. 1134 p.

APHA, AWWA and WEF. 1998. **Standard Metbodfor Examintion of Water and Waste Water.** Washington DC: American Public Health Association. 1321p.

Bishop, C.T. Anet, E.F.L.J. and Gorhaam, P.R. 1959. Isolation and identification of the past-death factor in *Microcystis aeruginasa* NRC-1. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology** 37: 453-471.

Bourne, D.G., Jones, G.J., Blakeley, R.L., Jones, A., Negri, A.P. and Riddles, P. 1996. Enzymatic pathway for the bacterial degradation of the cyanobacterial cyclic peptide toxin microcystin-LR. **Applied and Environmental Microbiology** 62: 4086–4094.

Carmichael, W.W. 1992. **A Status Report on Planktonic Cyanobacteria (blue-green algae) and Development.** Ohio: US Environmental Protection Agency. 587-594 p.

Carmichael, W.W. 2003. **A Hearing on the Scientific Issues Related to Harmful Algae Bloom and Hypoxia.** Ohio: Biological Sciences. Wright state University: 2109-2115 p.

Chorus, I. and J. Batram, 1999. **Toxic Cyanobacteria in Water; a Guide to their Public Halth Consequences, Monitoring and Management.** London and New York: E&FN Spon. 1231-1246 p.

Clayton, E.M.. 2001. **Microcystin-LR; a Potential Contaminant of Comcern for Iowa Surface Water.** USA: Department of Biology University of nortern Iowa. 439-446 p.

Codd, G.A. 1998. **Cyanobacteria Blooms and Toxins in Flesh, Brackisb and Marine Waters.** Spain: Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 13-17 p.

Dawson, R.M. 1998. The toxicology of microcystins. **Toxicon**. 36(7): 953–962.

Deon, M., Lionel, S., Jerome, C., Nietfeld, M., Aubel, T. Amanda, F. and Edward C. 2012. Investigation of a *Microcystis aeruginosa* cyanobacterial freshwater harmful algal Bloom associated with acute microcystin toxicosis in a dog. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation** 24(4): 679 –687.

Duy, T.N., Lam, P.K.S., Shaw G.R. and Connell D.W. 2000. Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue-green algal) toxins in water. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology** 163: 113-186.

Ekawan, L. and P. Onruthai. 2005. **Plant Leaves and their Associated Bacteria for the Degradation of PAH Deposited on Leaf Surface.** Bangkok: Chulalongkorn University. Graduate School. 157 p.

Falconer, I,R. and Yeung, D.S. 1992. Cytoskeletal changes in hepatocytes induced by microcystis toxins and their relation to hyperphosphorilation of cell proteins. **Chemico-Biological Interactions** 81: 181-196.

Fleming, L.E. and W. Stephen. 2001. **Report to the Florida Harmful Algal Bloom Taskforce: Bluegreen Algae,Ctheir Toxins and Publio Health Issues.** Miami, USA: NIEHS Marine and Freshwater Biomedical Sciences Center. Univercity of Miami. 1142-1150 p.

Fujiki, H. and Saganuma, M. 1993. Tumor promotion by inhibitors of protein phosphatase 1 and 2A: the pkadaic acid class of compound. **Cancer Prevention Division, National Cancer Center Research Institute, Tokyo, Japan** 61: 143-194.

Funari, E. and Testai, E. 2008. Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. **Critical Reviews in Toxicology** 38: 97-125 .

Kaya, K., Sano, T., Beattie, K.A. and Codd, G.A. 1996. Nostocyclin, a novel 3-amino-6-hydroxy-piperidone-containing cyclic depsipeptide from the cyanobaeterium *Noctoc* sp. **Tetrahedron Letters** 37: 6725-6728.

Ken, B., Yilmaz, M. and Edward, J. P. 2011. Growth and toxin production by *Microcystis aeruginosa* PCC 7806 (Kutzing) lemmerman at elevated salt concentrations. **Journal of Environmental Protection** 2: 669-674.

Ruangrit, K., Whangchai, N., Pekkoh, J., Ruangyuttikarn, W. and Peerapornpisal, Y. 2011. First report on microcystins contamination in giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and nile tilapia (*Tilapia nilotica*) Cultured in Earthen Ponds. **International Journal of Agriculture & Biology** 13: 1025–1028.

Magalhaes, V. F. D., Soare,s R. M. and Azevedo, S.M.F.O. 2001. Microcystin contamination in fish from the jacarepaque lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): eeological implication and human health risk. **Toxicon** 39:1077-1085.

Menezes, C., Elisabete, V. and Elsa, D. 2013. The kidney vero-E6 cell line: A suitable model to study the toxicity of microcystins. **New Insights into Toxicity and Drug Testing** 13(1): 29-48.

Min-Ho, J., Kyong, H., Martyn, C.L. Gea-Jae, J. and Noriko, T. 2004. Changes in microcystin production by *Microcystis aeruginosa* exposed to phytoplanktivotous and omnivorour fish. aquatic. **Toxicology** 68(1): 51-59.

Morris, T. 2000. **Harmful Algal Blooms in North Carolina.** USA: Blue-green Algae and Human Health. 382 p.

Peerapornpisal, Y., Sonthichai, W., Suchotiratana, M., Lipigorngoson, S., Ruangyuttikarn, W., Ruanggrit, K., Pekkoh, J., Prommana, R., Panuvanitchakorn, N., Ngearnpat, N., Kiatpradub, S. and Promkutkaew, S. 2002. Survey and monitoring of toxie cyanobacteria in water supplied and fisheries in Thailand. **Chiang Mai Journal of Science** 29(2): 71-79.

Robinson, N.A., Pace, J.G., Matson, C.F., Miura, G.A. and Lawrence, W.B. 1990. Tissue distribution, exeretion and hepatic biotransformation of Microcystin-LR in mice. **Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics** 256: 176-182.

Silmon, M. 2000. **Growth and Dominance of *Anabaena circinalis* and *Microcystis aeruginosa* in Two Rivers.** Sydney: University of technology. 124 p.

Sivonen, K., and G. Jones. 1999. **Cyanobacterial toxins in Water: a Guide to Public Health Significance Monitoring and Management.** London: UK. 41–111 p.

Soares, R.M., Valeria, F.M. and Sandre, M.F.O.A. 2004. Accumulation and depuration of mieroeystins (cyanobacteria hepatotoxins) in *Tilapia rendalli* (Cichlidae) under laboratory condition. **Aquatic Toxicology** 70(1): 1-10.

Trainor, F.R. 1978. **Introductory Phycology**. New York: John Wiley & Sons Inc. 525 p.

Tzong-Huei, L. and Hong-Nong, C. 2000. Isolation and identification of seven microeystin from a cultured *M.* TN-2 strain of *Microcystis aeruginosa*. **Botanical Studies An International Journal** 41: 197-202.

Watanabe, M.F. 1996. **Production of Microcystins: Toxic Microcystis.** London USA: CRC Press. 262 p.

WHO. 1998. **Guidelines for Drinking Water Quality.** 2nd ed. Geneva: Health criteria and other supporting information. World health organization. 515 p.

Yoshizawa, I., Matsushima, R., Watanabe, MF., Harada, H., Ichihara, A., Carmichael, W.W. and Fujiki, H. 1990. Inhibition of protein phosphatases by microcystis and nodularin associated with hepatotoxicity. **Journal of Cancer Research and Clinical Oncology** 116: 609-614.

Zilberg, B. 1966. Gastroenteritis in salisbury european children – a five-year study. **The Central African journal of medicine** 12(9): 164-168.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สหสัมพันธ์ (correlation)

ตารางผนวก 1 สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปริมาณสารพิษไมโครซิสติน คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในกว๊านพะเยาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2553

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	.028	.230	.077	.308	-.146	-.126	-.015	.113	.090	-.057	.081	.109	-.089	-.133	.024	-.070	.292	.146
2		1	.386	.137	.159	-.151	-.215	-.077	-.198	-.320	-.421*	-.141	-.084	-.402	-.078	.009	.087	-.004	.423*
3			1	.614**	.343	.258	-.079	.238	.020	.082	.107	.151	.077	.155	-.052	-.038	-.143	.220	.770**
4				1	.340	.520**	.085	.446*	-.018	.032	.199	.205	.057	.294	-.174	.073	.197	.096	.440*
5					1	.158	.068	.515*	-.026	.098	-.240	.444*	.324	.025	.306	.221	-.002	.258	.007
6						1	.363	.243	.163	.089	.177	.219	.211	.248	-.102	.028	.147	.034	.269
7							1	-.056	-.189	-.101	.046	.000	-.161	.402	-.145	-.182	-.068	-.066	-.085
8								1	.417*	.586**	.381	.513*	.510*	.211	.411*	.321	.371	.196	-.045
9									1	.874**	.660**	.472*	.759**	.044	.437*	.219	.370	.258	.130
10										1	.772**	.675**	.808**	.275	.475*	.366	.157	.391	.127
11											1	.358	.383	.498*	.109	.285	.139	.299	.168
12												1	.787**	.302	.459*	.584**	.016	.337	.174
13													1	.071	.544**	.374	.241	.363	.194
14														1	.084	.332	-.177	.255	-.047
15															1	.355	.250	.111	-.300
16																1	.107	.049	-.084
17																	1	-.148	-.089
18																		1	.148
19																			1

หมายเหตุ:

1 ปริมาณไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำ
2 ปริมาณไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลา
3 *M. aeruginosa*
4 *M. wesenbergii*
5 *Anabaena* spp.
6 *Oscillatoria* spp.
7 *C. raciborskii*
8 ความลึก
9 อุณหภูมิ
10 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
11 ออกซิเจนละลายน้ำ
12 ความเป็นด่าง
13 ความกระด้าง
14 คลอโรฟิลล์ เอ
15 ความขุ่น
16 ไนเตรท
17 ไนไตรท์
18 แอมโมเนียม
19 ออร์โธฟอสเฟต

ตารางผนวก 2 สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปริมาณสารพิษไมโครซิสติน คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ แพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษไมโครซิสตินในบ่อเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมิถุนายน 2552

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	.597	.414	.133	.500	.554	-.418	.479	.324	.253	.433	-.455	.938**	.828*	.983**	.332
2		1	.272	.052	.204	.933**	-.438	.113	.481	.377	.149	-.669	.625	.380	.568	.041
3			1	.075	.483	.159	.352	.117	.411	.420	.515	-.741*	.357	.430	.318	.241
4				1	.698	-.045	.309	.358	.102	-.274	.483	.333	.352	.403	.066	.186
5					1	.067	.141	.656	-.002	-.295	.769*	-.048	.712*	.788*	.388	.685
6						1	-.329	-.148	.598	.479	-.017	-.555	.540	.207	.509	-.201
6							1	-.507	.374	.246	.206	.139	-.406	-.286	-.526	-.337
8								1	-.532	-.597	.481	.024	.634	.770*	.498	.895**
9									1	.904**	.251	-.494	.191	.086	.270	-.537
10										1	.094	-.636	.012	-.044	.249	-.571
11											1	-.227	.537	.797*	.374	.595
12												1	-.327	-.279	-.431	-.066
13													1	.897**	.893**	.512
14														1	.803*	.707*
15															1	.313
16																1

หมายเหตุ: 1 ปริมาณไมโครซิสติน-แอลอาร์ในน้ำ
2 ปริมาณไมโครซิสติน-แอลอาร์ในเนื้อปลา
3 *Microcystis* spp.
4 *Anabaena* spp.
5 *Oscillatoria* spp.
6 อุณหภูมิ
7 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
8 ออกซิเจนละลายน้ำ
9 ความเป็นด่าง
10 ความกระด้าง
11 คลอโรฟิลล์ เอ
12 ความขุ่น
13 ไนเตรท
14 ไนไตรท์
15 แอมโมเนียม
16 ออร์โธฟอสเฟต

ภาคผนวก ข

เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง และการเก็บรักษาตัวอย่างแพลงก์ตอน

เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง และการเก็บรักษาตัวอย่างแพลงก์ตอน

เครื่องมือ อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

ลัดดา (2542) ถุงกรองแพลงก์ตอน (Plankton net) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอน ซึ่งถุงเก็บแพลงก์ตอนก็มีหลายประเภท ดังต่อไปนี้

1. ถุงกรองแบบมาตรฐาน ปากถุงทำด้วยห่วงโลหะปลอดสนิม รูปกลมและมีห่วงที่ปากถุงสำหรับผูกเชือกเพื่อการลาก ผ้าที่ใช้ทำถุงกรองแพลงก์ตอน (plankton guaze) มีตาขนาดต่างกันตามขนาดของแพลงก์ตอน ที่ต้องการเก็บก้นถุงเป็นขวดสำหรับรวบรวมตัวอย่างแพลงก์ตอน เรียกว่าขวดหรืออาจดัดแปลงทำเป็นก๊อกปิดเปิดสำหรับปล่อยตัวอย่างแทนก็ได้

2. ถุงบองโก (Bongo net) เป็นถุงเก็บแพลงก์ตอน 2 ถุง อยู่ติดกันนิยมใช้เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ ขนาดตาของถุงขึ้นอยู่กับขนาดของชนิดแพลงก์ตอนที่ต้องการเก็บ ส่วนใหญ่ใช้ขนาดตา 330 หรือ 500 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของปากถุงประมาณ 60 เซนติเมตร ความยาวของถุงประมาณ 180 เซนติเมตร

3. ถุงเก็บแพลงก์ตอนสำหรับการลากในแนวดิ่ง เป็นถุงที่ได้รับการพัฒนาให้เหมาะกับการวางถุงในแนวตั้ง โดยตัวถุงด้านบนเป็นรูปกรวยคว่ำเข้าหากัน ส่วนนี้ทำด้วยผ้าหนาซึ่งไม่มีส่วนในการกรองตัวอย่าง ประกอบด้วยวงแหวน 2 วง วงแหวนบนมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าวงแหวนล่างซึ่งเป็นวงที่ติดกับตัวถุงกรองแพลงก์ตอน ส่วนตัวถุงประกอบด้วยผ้ากรองที่ขนาดตาตามความต้องการของผู้ใช้

4. ถุงกรองแพลงก์ตอนสำหรับแหล่งน้ำที่มีพืชน้ำ เป็นถุงกรองแพลงก์ตอนที่ได้รับการพัฒนาให้มีรูปแบบเหมาะกับการใช้งาน คือ ปากถุงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีตะแกรงทำด้วยวัสดุปลอดสนิม และมีด้ามจับแทนเชือกลาก ด้ามจับสามารถถอดหรือประกอบเข้าด้วยกันตามต้องการถุงชนิดนี้ใช้เก็บตัวอย่างบริเวณแหล่งน้ำที่มีพันธุ์ไม้น้ำ ที่ขึ้นหนาแน่นได้สะดวก

5. ถุงแพลงก์ตอนสำหรับแหล่งน้ำตื้น หรือน้ำไหลแรง มีลักษณะเป็นถุงขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร ใช้ลากหรือช้อนแพลงก์ตอนโดยปรับเปลี่ยนการผูกเชือกที่ปากถุง ถ้าต้องการลากและถอดเชือกออกแล้วใส่ด้ามจับแทน เมื่อต้องการช้องแพลงก์ตอน ถุงชนิดนี้เหมาะสำหรับแก่การเก็บตัวอย่างบริเวณชายน้ำของแหล่งน้ำทั่วไปหรือเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนในลำธารที่มีน้ำไหลแรง ใช้ได้ดีสำหรับเก็บตัวอย่างบริเวณแหล่งน้ำชั่วคราว (temporary ponds) ที่มีน้ำเฉพาะในฤดูฝนและบริเวณปากแม่น้ำในช่วงน้ำลด

6. ถุงสำหรับเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนใกล้พื้นท้องน้ำ เป็นเครื่องมือที่ดัดแปลงจากอุปกรณ์เก็บสัตว์พื้นท้องน้ำ (surber type) นิยมใช้ในทะเล เวลาใช้จะลากเครื่องมือโดยกะให้อยู่

เหนือพื้นและขนานกับพื้น โดยมากจะได้ตัวอย่างพวกดรัสดาเซียนขนาดใหญ่ เช่น ยูฟอสิด หรือโคพีพอดตัวอ่อนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ฯลฯ ตัวอย่างที่ได้มักมีทรายปะปนมาด้วย จึงจำเป็นต้องกำจัดทรายออกก่อนแล้วนำน้ำมากรองผ่านถุงกรองที่มีขนาดตาตามต้องการอีกครั้งหนึ่ง

7. Schindler-Patalas Plankton Trap เป็นอุปกรณ์พิเศษที่ใช้คักจับแพลงก์ตอนสัตว์ นักแพลงก์ตอนวิทยาได้พัฒนาเครื่องมือนี้ขึ้นมาเพื่อป้องกันการหลีกเลี่ยง (avoidance) ถุงแพลงก์ตอนของแพลงก์ตอนสัตว์ เครื่องมือมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมทำด้วยแผ่นขนาด 11.5 x 11.5 x 16.25 นิ้ว (ความจุ 30 ลิตร) หรือ 8.5 x 8.5 x 12.50 นิ้ว (ความจุ 20 ลิตร) ที่ฝาด้านหนึ่งของกล่องมีถุงกรองขนาดเล็กติดอยู่ ขนาดช่องตาของถุงกรองสามารถเลือกได้ตามความต้องการ ที่นิยมใช้กันได้แก่ 63, 80, 150 ไมโครเมตร ฝาด้านบนสามารถเปิดปิดได้ด้วยบานพับ เวลาที่ใช้ให้หย่อนเครื่องมือนี้ลงในน้ำ ขณะที่หย่อนฝากล่องจะเปิด เมื่อถึงความลึกที่ต้องการให้กระตุกเชือกขึ้นเพื่อให้ฝาเปิด จะได้ปริมาตรน้ำ (รวมแพลงก์ตอน) ในระดับที่ต้องการ ค่อยๆยกเครื่องมือนี้ขึ้นจากน้ำอย่างช้าๆตัวอย่างแพลงก์ตอนจะอยู่ในถุงกรองสู่ขวดรวบรวมตัวอย่าง

การเก็บรักษาตัวอย่าง

การจัดการตัวอย่างแพลงก์ตอนหลังจากการเก็บตัวอย่างเป็นเรื่องที่สำคัญมากในการศึกษาแพลงก์ตอนทุกด้าน เพราะขั้นตอนนี้จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทั้งองค์ประกอบชนิด (ด้านคุณภาพ) และความหนาแน่น (ด้านปริมาณ) ของแพลงก์ตอนก่อนที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง การจัดการตัวอย่างมีหลายขั้นตอนด้วยกัน เช่น การตรึงตัวอย่าง (sample fixation) การจัดการตัวอย่างให้มีกิจกรรมน้อยที่สุดก่อนการเพาะเลี้ยง การทำให้ตัวอย่างแพลงก์ตอนสลบก่อนการตรึงตัวอย่างเพื่อประโยชน์ในการจำแนกชนิด การเก็บรักษาด้วยน้ำที่เหมาะสม เป็นต้น

1. ประเภทของน้ำยาตรึงและเก็บรักษาแพลงก์ตอน

1.1 ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde)

น้ำยาฟอร์มาลดีไฮด์เป็นน้ำยาที่มีผู้นิยมใช้ตรึงและรักษาตัวอย่างมากที่สุดชนิดหนึ่งเนื่องจากใช้ได้ดีทั้งกับแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ คุณสมบัติที่ดีอีก 2 ประการก็คือ สามารถเก็บรักษาตัวอย่างในสภาพที่ดีได้นานถึง 50 ปี หรือนานกว่านั้น และที่สำคัญก็คือ มีราคาถูกที่สุดในน้ำยาตรึงและเก็บรักษาตัวอย่างชนิดอื่น

ระดับ pH กับการรักษาตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ ระดับ pH ที่เหมาะสมของน้ำยาฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อเก็บรักษาโปรตีนของแพลงก์ตอนสัตว์อยู่ระหว่าง 6.5 - 7.5 เพราะ pH ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างสูงกว่า 8 จะทำให้โปรตีนของแพลงก์ตอนอ่อนนุ่ม และอาจกลายเป็นวุ้นในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 – 35 องศาเซลเซียส แต่ถ้า pH มีคุณสมบัติเป็นกรด (5.5 หรือต่ำกว่า) โปรตีนของ

แพลงก์ตอนจะขาวและแข็งตัว ทำให้กล้ามเนื้อของแพลงก์ตอนสัตว์ เช่น โคพีพอดเปราะและหักง่าย ดังนั้น ควรเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนในน้ำยาฟอร์มาลีไฮด์ที่เย็น (5 - 15 องศาเซลเซียส) และมืด เพื่อยืดเวลาการเก็บตัวอย่างในสภาพที่ดีเป็นระยะเวลานาน

ข้อดีของน้ำยาฟอร์มาลดีไฮด์

1. น้ำยาฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นกลาง มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการตรึงและเก็บรักษาแพลงก์ตอนได้ทุกกลุ่ม โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชพวก coccolithophorids ไดอะตอมและไดโนแฟลกเจลเลตพวกที่มีผนังเซลล์ แม้ว่าจะให้ flagella ของพวก flagellate ไม่มีผนังเซลล์หลุดออกจากเซลล์ก็ตามแต่รูปร่างของเซลล์ก็ยังคงสภาพได้ดีพอสมควร ทำให้สามารถจำแนกชนิดได้

2. สารเคมีหาซื้อได้ง่ายและเมื่อเตรียมแล้วคุณภาพของน้ำยายังคงอยู่ในสภาพดีเป็นเวลานาน การเก็บรักษาฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นลดลงครึ่งหนึ่ง (20 เปอร์เซ็นต์) จะช่วยให้เก็บได้นานกว่าที่ความเข้มข้นปกติ (40 เปอร์เซ็นต์) เพราะจะไม่เกิดการตกตะกอน

3. ตัวอย่างที่เก็บรักษาด้วยฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเก็บได้เป็นเวลานาน หากเก็บรักษาตัวอย่างถูกต้อง

ข้อเสียของน้ำยาฟอร์มาลดีไฮด์

1. ทำให้ Flagella หลุดออกจากเซลล์ จึงไม่เหมาะสมกับการใช้ตรึงและรักษาแพลงก์ตอนกลุ่ม flagellate

2. ทำให้สีของออร์แกเนลล์ซีดจางลง ส่งผลให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างพวกที่สังเคราะห์แสง (พืช) กับพวกที่ไม่สังเคราะห์ด้วยแสง (สัตว์) ได้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์พิเศษช่วยในการส่องดูเซลล์ที่มีโครงร่างใส เช่น กล้องจุลทรรศน์ที่มีอุปกรณ์ phase contrast

1.2 น้ำยาลูกอล (Lugol'seolution)

เป็นน้ำยาที่ใช้ตรึงและเก็บรักษาตัวอย่าง มีคุณสมบัติใช้ได้ดีเฉพาะกลุ่มแพลงก์ตอนพืชและเป็นน้ำยาที่ใช้ดรึงตัวอย่างได้เองหรือใช้ร่วมกับสารเคมีชนิดอื่น น้ำยาลูกอลประกอบด้วยละลายผงไอโอดีนในสารละลาย Potassium iodide แต่ส่วนใหญ่จะเตรียมน้ำยาให้มีคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งเหมาะกับแพลงก์ดอนพืช ซึ่งเหมาะสมกับแพลงก์ตอนพืช ส่วนน้ำยาที่มีคุณสมบัติเป็นด่างอ่อนใช้ได้ดีกับแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม eoccolithophorids

ในส่วนของการใช้ ให้หยดน้ำยาลูกอลในตัวอย่างจนเปลี่ยนเป็นสีชาหรือสีน้ำตาลอ่อน (ประมาณ 0.4-0.8 มิลลิลิตรต่อน้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร) อย่าหยดมากเกินไป เพราะจะทำให้ตัวอย่างมีสีเข้มมากจนจำแนกชนิดไม่ได้ เสร็จแล้วเขย่าขวดตัวอย่างให้น้ำยาละลายได้ทั่วถึง

น้ำยานี้เหมาะสำหรับการตรึงตัวอย่างที่เก็บด้วยขวดเก็บน้ำ ตัวอย่างที่เก็บด้วยถุงมีแพลงก์ตอนพืชหนาแน่นมาก เมื่อดองด้วยน้ำยาจะทำให้ตัวอย่างจับกันเป็นกลุ่มก้อน เพราะไอโอดีนทำให้ตัวอย่างสีเข้ม เป็นผลให้การแยกชนิดลำบาก ตัวอย่างแพลงก์ตอนที่เก็บโยการลากถุงแพลงก์ตอนควรใช้น้ำยาฟอร์มาลดีไฮด์และรักษาตัวอย่าง ขวดที่ใช้กับน้ำยาลูกอลควรเป็นขวดแก้วใส ขวดแก้วสีน้ำตาลไม่เหมาะกับน้ำยานี้ เนื่องจากผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นสีของตัวอย่างเมื่อหยดน้ำยาได้ และไม่ควรใช้ขวดพลาสติกเนื่องจากขวดจะดูดซับไอโอดีนจากน้ำยา ทำให้ขวดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล การตรึงตัวอย่างควรทำทันทีที่เก็บตัวอย่างเสร็จ และควรเก็บตัวอย่างไว้ในที่มืดและเย็นเพื่อรักษาสภาพของน้ำยาให้อยู่ในสภาพดี

ข้อดีของน้ำยาลูกอล

1. น้ำยาลูกอลมีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การตรึงและรักษาตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชทุกกลุ่ม โดยเฉพาะพวกที่มี flagella (flagellate) เนื่องจากสามารถเก็บรักษา flagella ไม่ให้หลุดจากเซลล์ เซลล์จะมีสีเหลืองแกมน้ำตาล หรือสีชา เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยเฉพาะการนับเซลล์

2. สารเคมีที่ใช้เตรียมหาง่าย และเมื่อเตรียมเป็นสต๊อคและสามารถเก็บได้นานหลายปี

ข้อเสียของน้ำยาลูกอล

1. น้ำยาลูกอลที่ไม่ได้เติมสารเคมีอื่นมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน ซึ่งละลายผนังเซลล์ของแพลงก์ตอนที่มีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบ เช่น coccolithophorids และละลายซิลิกาซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ไดอะตอม หากเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลานาน

2. ตัวอย่างที่เก็บรักษาน้ำยาลูกอลมีส่วนประกอบของไอโอดีนจึงจำเป็นต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ เพราะไอโอดีนจะถูกออกซิไดซ์มากขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บ

3. แพลงก์ตอนหลายกลุ่มจะถูกย้อมสีด้วยน้ำยาลูกอล เพราะแป้งซึ่งเป็นอาหารสะสมในเซลล์พืชทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ทำให้การตรวจดูลักษณะอื่นของเซลล์ยาก หรือพวกไดโนแฟลกเจลเลตที่มีผนังเซลล์ติดสีน้ำยามากเกินไป วิธีแก้ไขในกรณีนี้คือ เติม Sodium thiosulfate ในตัวอย่างเพื่อช่วยลดความเข้มของสีให้น้อยลง

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม (Ammoniam)

การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม (Ammoniam)

แอมโมเนียมในแหล่งน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น โปรตีนและจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำ แอมโมเนียมในแหล่งน้ำ ปรากฏอยู่ 2 รูปแบบคือ NH_3 และ NH_4 จะเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิของแหล่งน้ำ แอมโมเนียมในรูป NH_3 ในปริมาณที่เข้มข้นจะเกิดโทษต่อสัตว์น้ำหลายอย่าง เช่น การระคายเคืองของเหงือก การหายใจ การขับถ่ายของเสียความเป็นกรด-ด่าง ในเลือดสูง รบกวนกระบวนการบางอย่างของเอนไซม์บางตัว เป็นต้นระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียมต่อสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพแวดล้อมอื่นๆ ประกอบกัน

อุปกรณ์

1. Spectrophotometer และ Cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปด

สารเคมี

1. Oxidizing solution

เตรียมสารโซเดียมโปคลอไรด์ (5 เปอร์เซ็นต์) หรือ ใช้น้ำยาฟอกสี เช่น ไฮเตอร์, คลอรอกซ์ที่มีคลอรีน ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 ด้วยกรดเกลือ (HCl) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์

2. Rochelle salt solution

ละลายสาร Rochelle salt ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$) จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วต้ม 30 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเติม Manganous sulphate ($MnSO_4$) 50 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3. Phenate solution

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2.5 กรัม และ ฟีนอล (Phenol) 10 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศ จากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร ให้เก็บไว้ในตู้เย็น (ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์)

4. Standard ammonium chloride solution

ชั่ง NH_4Cl ที่อบแห้ง 3.819 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย ให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นดูดสารละลาย มาจำนวน 5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ที่มีความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นดูดสารละลาย 15 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.3 ไมโครกรัมต่อลิตรใช้เป็น Standard ammonium chloride solution

วิธีการ

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร
2. ขณะที่เขย่าน้ำตัวอย่างใน บีกเกอร์ ให้เติมสารละลาย
   - Rochelle salt solution 1 หยด
   - Oxidizing solution 0.5 มิลลิลิตร
   - Phenate solution 0.6 มิลลิลิตร
3. ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้สารละลายทำปฏิกิริยาเต็มที่
4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 630 นาโนเมตรพร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น และเตรียม Standard solution โดยใช้ Standard Ammonium chloride (0.3 ไมโครกรัมต่อลิตร) อย่างละ 10 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2
5. คำนวณค่าความเข้มข้นแอมโมเนียมโดยเปรียบเทียบกับสารละลายแอมโมเนียมมาตรฐานดังนี้

คำนวณปริมาณ Total ammonia nitrogen ด้วยสมการ

$$\frac{C1}{C2}=\frac{A1}{A2} \quad \text{หรือ} \quad C2 = \frac{C1 \times A2}{A1}$$

C1 = ความเข้มข้นของ Total ammonia-nitrogen ใน Standard solution (0.3)

C2 = ความเข้มข้นของ Total ammonia-nitrogen ใน Sample

A1 = ค่า Absorbance ของ Standard solution

A2 = ค่า Absorbance ของ Sample

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite)

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite)

ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบหนึ่ง โดยเกิดกึ่งกลางระหว่างการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนเตรท (Nitrification) และไนเตรทเปลี่ยนกลับเป็นแอมโมเนียม (Denitrification) ถ้าน้ำมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอไนไตรท์จะออกซิไดส์ (oxidation) ไปเป็นไนเตรท ได้รวดเร็ว แต่ถ้าน้ำขาดออกซิเจนพวกจุลินทรีย์จะรีดิวซ์ (reduced) ไนเตรทไปเป็นไนไตรท์ ทำให้ ฮีโมโกบินในเลือดปลามีประสิทธิภาพรับออกซิเจนน้อยลง ความเป็นพิษของไนไตรท์ ไนโตรเจนต่อปลา และสัตว์น้ำจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลาและสัตว์น้ำ แต่มักเกิดในปริมาณต่ำ

อุปกรณ์

1. Spectrophotometer และ Cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสาร Sulfanilamide 5 กรัม ละลายในสารละลายกรดเกลือ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตรแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N-(1-napthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride 0.50 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือนหรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. Standard Nitrite Solution

เตรียมสารละลาย Sodium nitrite ($NaNO_2$) 0.4925 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร (ได้สารละลายความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2-N) ดูดสารละลาย Standard Nitrite Solution (ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2-N) จำนวน 10 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (ได้สารละลายความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_2-N) ใช้สารละลาย NO_2-N ที่มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น Standard Nitrite Solution เจือจางสารละลาย ตามตารางผนวก 3

ตารางผนวก 3 ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์

ปริมาตร NO_2-N ความเข้มข้น 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร	ความเข้มข้นสารละลาย NO_2-N ไมโครกรัมต่อลิตร	ค่า Abs ของสารละลาย NO_2-N ที่วัดได้ ไมโครกรัมต่อลิตร
0.00	0.00	
1.00	0.01	
2.00	0.02	
4.00	0.04	
6.00	0.06	
8.00	0.08	
10.00	0.10	
15.00	0.15	
20.00	0.20	

ปริมาตร NO_2-N ความเข้มข้น 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ต้องทำการดูดด้วย Volumetric pipet ลงใน Volumetric flask จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์สารละลายโดยวิธีการวิเคราะห์ไนไตรท์แล้วสร้างกราฟมาตราฐาน (เลือกทำกราฟแบบ XY กระจาย) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น NO_2-N (แกน X) กับค่าการดูดซับแสง (แกนY) โดยนำเข้าสมการ Regression ลงในโปรแกรม Excel

วิธีการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างที่กรองด้วยกระดาษกรอง 50 มิลลิลิตร ลงใน บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Diazotizing Reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที แล้วเติมสารละลาย Coupling Reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง

2. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร พร้อมกับ Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2 คำนวณค่าความเข้มข้น nitritc nitrogen (NO_2-N) จากกราฟมาตรฐานที่ได้ แปลงค่าความเข้มข้น ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2-N) ให้เป็น ไนไตรท์ (ไมโครกรัมต่อลิตร) โดยคูณด้วย 3.28

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท (Nitrate)

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท (Nitrate)

ไนเตรทเป็นสารประกอบของไนโตรเจนที่พบมากที่สุดในลำธาร ทะเลสาบ ซึ่งจะพบในปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะ และวิธีการใช้ที่ดินในทางการเกษตร เนื่องจากไนเตรทเป็นสารประกอบที่สามารถถูกชะล้างได้ง่าย เมื่อมีการไหลผ่านของน้ำบนพื้นดิน ดังนั้น ปริมาณไนเตรทจะลงสู่แหล่งน้ำมากขึ้น เมื่อมีการพังทลายของดินมาก ปริมาณของไนเตรทสามารถใช้เป็นตัวชี้ถึงระดับความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ โดยปกติจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อย เมื่อเทียบกับไนไตรท์และแอมโมเนีย นอกจากนี้ไนเตรทยังมีประโยชน์ต่อพืชในการดูดซึมไปใช้ในขบวนการสร้างโปรตีนอีกด้วย ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ จะทำการวิเคราะห์โดยวิธีการ เทียบสีกับสารประกอบมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจากนั้นนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตราฐาน ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทต้องใช้หลักการ Reduce ไนไตรตให้เป็นไนไตรท์ก่อน โดยการผ่านน้ำตัวอย่างไปลงในคอลัมน์ที่บรรจุแคดเมี่ยมเคลือบด้วยทองแดง จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยวิธีการเดียวกับการหาปริมาณไนไตรท์

อุปกรณ์

1. Spectrophotometer และ Cuvette
2. กระดาษกรองอุปกรณ์
3. เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต
4. หลอดคอลัมน์ (Reduction Column)

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสาร Sulfanilamide 5 กรัม ละลายในสารละลายกรดเกลือ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N-(1-napthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride 0.500 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือนหรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. NH_4Cl-EDTA Solution (เข้มข้น)

ชั่งสารละลาย NH_4Cl 150 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

4. NH_4Cl-EDTA Solution (เจือจาง)

ดูดสารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เข้มข้น) 50 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 2,000 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Disodium Ethyenediamine Tetracetate จำนวน 0.3 กรัม ทำการปรับ pH ให้ได้ 7.5 (โดยเติมสารละลาย NaOH)

5. Stock Nitrate Solution (เข้มข้น)

ชั่งสารละลาย KNO_3 ที่ผ่านการอบแห้ง 0.7218 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

6. Standard nitrate solution

ดูดสารละลาย Stock Nitrate Solution (เข้มข้น) ในข้อ 5 ด้วย volumetric pipette จำนวน 50 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

7. Copper sulfate 2 เปอร์เซ็นต์

ชั่งสารละลาย Copper sulfate จำนวน 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

8. กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 6 N

9. ผงแคดเมียม

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมแคดเมียม (Cadmium)

นำผงแคดเมียมประมาณ 25 กรัม แช่ในกรด HCl (กรดเกลือ) เข้มข้น 6 N กวนด้วยแท่งแก้วจนสะอาด (ประมาณ 5 นาที) เทกรดทิ้ง และล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งจนหมดกลิ่นกรด จากนั้นนำสารละลาย Copper sulfate 2 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 200 มิลลิลิตร เทลงไป กวนด้วยแท่งแก้วนานประมาณ 5 นาที หรือจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป สะเด็ดสารละลายให้แห้ง แล้วเติม Copper sulfate 2 เปอร์เซ็นต์ ของใหม่ลงไป กวนด้วยแท่งแก้วเหมือนเดิม ทำตามขั้นตอนหลาย ๆ ครั้ง จนเกิดผลึกสีน้ำตาลเกิดขึ้น จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งไม่มีผลึกสีน้ำตาลติดอยู่

2. การเตรียมคอลัมน์แคดเมียม (Cadmium Column)

เติมน้ำกลั่นลงในคอลัมน์เปล่า จากนั้นตักแคดเมียมที่เตรียมไว้ลงในคอลัมน์ให้ได้ความสูงประมาณ 18.5 เซนติเมตร รักษาระดับน้ำให้ท่วมแคดเมียม ทำการล้างแคดเมียม โดยใช้สารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เจือจาง) จำนวน 200 มิลลิลิตร ผ่านคอลัมน์ลงอย่างช้า ๆ และให้เตรียมสารละลาย Standard Nitrate Solution จำนวน 100 มิลลิลิตร กับสารละลาย NH_4Cl-EDTA

Solution (เข้มข้น) 2 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายลงในคอลัมน์ให้ไหลในอัตรา 7-10 มิลลิลิตรต่อนาที

3. การเตรียมน้ำตัวอย่างและการผ่านน้ำลงในคอลัมน์

ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 100 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เข้มข้น) จำนวน 2 มิลลิลิตร จากนั้นเทลงในคอลัมน์ ปล่อยให้ไหลผ่านในอัตรา 7-10 มิลลิลิตรต่อนาที (ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที) ทิ้งน้ำ 25 มิลลิลิตร แรกทิ้งและเก็บปริมาตรที่เหลือไว้

4. การสร้างสี และการวัดค่าดูดซับแสง (Abs)

ดูดสารละลายหลังจากผ่านคอลัมน์ จำนวน 50 มิลลิลิตรโดยผ่านคอลัมน์ต้องไม่เกิน 15 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Diazotizing Reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที แล้วเติมสารละลาย Coupling Reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าดูดซับแสง (Abs) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร

5. การหา Recovery factor

โดยการดูดสารละลาย Standard Nitrate Solution (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) จำนวน 100 มิลลิลิตร มาผสมกับ สารละลาย NH_4Cl-EDTA Solution (เจือจาง) จำนวน 2 มิลลิลิตรจากนั้นเทลงในคอลัมน์ ปล่อยให้ไหลผ่านในอัตรา 7-10 มิลลิลิตรต่อนาที ทิ้งน้ำ 25 มิลลิลิตร แรกและเก็บปริมาตรที่เหลือไว้ ดูดสารละลายที่เก็บไว้ 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Diazotizing Reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที แล้วเติมสารละลาย Coupling Reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ไปวัดค่าการดูดซับแสง (Abs) ด้วยด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร

$$\text{หาค่า F (Recovery factor)} = \frac{\text{0.1 มิลลิลิตร/l ของ Nitrite nitrogen x 100}}{\text{ความเข้มข้นของ Nitrite nitrogen ที่หา}}$$

6. คำนวณหาค่าความเข้มข้น Nitrate nitrogen ดังนี้

$$\text{Nitrate nitrogen (ไมโครกรัมต่อลิตร)} = \{(A-B) \times F\} / 100$$

โดยที่ A= ความเข้มข้นของไนไตรท์ ที่ผ่าน Column

B= ความเข้มข้นของไนไตรท์ ที่ไม่ผ่าน Column

F= Recovery factory

7. ทำการแปลงค่า Nitrate nitrogen ให้เป็น Nitrate (มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยคูณด้วย

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll a)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll a)

การวัดความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำ ทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอและมวลชีวภาพของสาหร่าย (Algae biomes) มีปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการสร้างคือสารอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฟอสฟอรัส โดยปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ของแพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีบ่งบอกถึงผลผลิตเบื้องต้น (Primary productivity) ของแหล่งน้ำ ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จะขึ้นกับปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ฯลฯ

อุปกรณ์

1. เครื่องกรองตัวอย่าง
2. อุปกรณ์เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
3. Spectrophotometer และ Cuvette
4. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

สารเคมี

1. เมธานอล 90 เปอร์เซ็นต์

ตวงน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรใส่ใน volumetric flask แล้วเติม methanol ลงไปปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ควรเก็บไว้ในขวดสีชา

วิธีการ

1. กรองน้ำตัวอย่างประมาณ 50-100 มิลลิลิตร (ขึ้นอยู่กับความเข้มของคลอโรฟิลล์เอ โดยสังเกตจากสีของน้ำ) ด้วยเครื่องกรองน้ำ (Vacuum pump) โดยใช้กระดาษกรองแบบ GF/C หรือแบบ Membrane ใส่เมธานอล 90 เปอร์เซ็นต์ ในหลอดประมาณ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำกระดาษที่กรองในข้อ 1. ใส่ลงไปในหลอดที่เตรียมไว้ ห่อด้วยกระดาษฟอยด์นำไปต้มในน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำออกมาปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้สารละลายตกตะกอน นำสารที่ตกตะกอนแล้วไป ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อน ระมัดระวังอย่าให้หลอดกระทบกระเทือน นำสารไปวัดค่าการดูดซับกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 750, 665, 645 และ 630 นาโนเมตร

2. การคำนวณ

คลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) = $(11.6\ D_{665} - 1.31\ D_{645} - 0.14\ D_{630}) \times F$

F = (ปริมาณรวมของสารที่สกัด (มิลลิลิตร)/ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ลิตร)

x 1/ความกว้าง Cuvette (เซนติเมตร)

D_{665} = ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 665 nm - ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 750 nm

D_{645} = ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 645 nm - ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 750 nm

D_{635} = ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 630 nm - ค่าดูดซับแสงที่ช่วงคลื่น 750 nm

ภาคผนวก ช

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวสุธิดา วันโน
เกิดเมื่อ	17 เมษายน 2529
ภูมิลำเนา	7/1 หมู่ที่ 7 ตำบลกลางดง อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2544 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัดสุโขทัย
	พ.ศ. 2547 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัดสุโขทัย
	พ.ศ. 2551 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการประมง มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ผลงาน

สุธิดา วันโน, กรทิพย์ กันนิการ์, เสรี เรือนหล้า, ชยาพร เตียเจริญวงศ์, Tomoaki Itayama, Norio Iwami, Redel L. Gutierrez และ นิวุฒิ หวังชัย. 2554. การตรวจสอบปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในปลานิลที่ได้จากกว๊านพะเยาและบ่อเลี้ยงปลา. น. 77-82. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ "แม่โจ้–แพร่ วิจัย ครั้งที่ 2"** วันที่ 1-2 กันยายน 2554. จังหวัดแพร่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่เฉลิมพระเกียรติ.

Niwooti Whangchai, Buncha Thongmee, Redel Gutierrez, **Suthida Wanno**, Saeree Ruenlha, Chayaporn Tiacharuanwong and Ratana Jaiyen. 2012. p12. Comparative Study of Off-flavor Levels in GAP and non-GAP certified fish farms in Northern Thailand. In **The Fifth International Fisheries Conference** 6-7 December 2012. Chiangmai, Thailand: Maejo University.