ผลกระทบของอลัมสลัดจ์ต่อพืชน้ำและสัตว์น้ำ

Effect of Alum Sludge on Aquatic Life

*วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ (Warangkana Sunsitthisawad)[1]**
อุไรวรรณ อินทร์ม่วง (Uraiwan Inmuong)[1]
ชัชวาลย์ ยุทธชัยยางกุล (Chatchawal Yutthachaiyangkul)[2]
เทพฤทธิ์ ตุลาพิทักษ์ (Theppharit Tulaphituk)[3]

บทคัดย่อ

ระบบประปาหมู่บ้านหลายแห่งกำจัดกากตะกอนสารส้มหรืออลัมสลัดจ์โดยกองทิ้งบนดิน หรือทิ้งลงแหล่งน้ำ ผลการวิจัยพบว่าปริมาณอะลูมินัมในตัวอย่างน้ำ ดิน และพืชจากบริเวณที่ปนเปื้อนอลัมสลัดจ์มีค่าสูงกว่าบริเวณทั่วไปมาก และเมื่อศึกษาเชิงทดลอง โดยเลี้ยงสาหร่ายหางกระรอกและปลาหางนกยูงในแบบจำลองระบบนิเวศน้ำ ในน้ำชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัมและน้ำใส่อะลูมินัมความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 0.5, 0.75 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 10 สัปดาห์ พบว่า น้ำชุดที่ใส่อะลูมินัมเข้มข้น 0.75 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณอะลูมินัมในปลาหางนกยูงเพิ่มขึ้นเมื่ออะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.875$, P-value = 0.001 และ $r = 0.852$, P-value = 0.001 ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณอะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกกับน้ำชุดทดลองอื่น ๆ มีความสัมพันธ์กัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) และความเข้มข้นอะลูมินัมที่ทำให้ปลาหางนกยูงตายร้อยละ 50 (LC_{50}) ในเวลา 24 ชั่วโมง คือ 2.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

Abstract

Sludge from chemical coagulation with aluminum sulfate in the rural water supply process is usually discharged into landfill or ponds near the system. The results of this research show that the amount of aluminum in water, top-soil and plant samples were higher than in other areas. In the experimental research, *Hydrilla verticillata* and *Poecilia reticulate* were grown in model habitats under 4 different conditions as follows: no aluminum in treatment, added concentration of 0.5 mg l^{-1} aluminum, 0.75 mg l^{-1} aluminum and 1.0 mg l^{-1} aluminum. The retention times of the treatment samples were 10 weeks. The results showed that in treatments with added aluminum concentration of 0.75 mg l^{-1} and 1.0 mg l^{-1} there was an increase of aluminum in *P. reticulate* and *H. verticillata* samples at significant Pearson correlation ($r = 0.875$, P-value = 0.001 and $r = 0.852$, P-value = 0.001, respectively), while the trend for the amount of aluminum in *H. verticillata* in each treatment at 4 different concentrations did not correlate. The mean lethal concentration (LC_{50}) of aluminum solution after 24 hours in *P. reticulate* was 2.03 mg l^{-1}.

คำสำคัญ: อลัมสลัดจ์ สาหร่ายหางกระรอก ปลาหางนกยูง ความเข้มข้นอะลูมินัมที่ทำให้ปลาตายร้อยละ 50
Keywords: alum sludge, *Hydrilla verticillata*, *Poecilia reticulate*, lethal concentration (LC_{50}) of aluminum

[1]*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[2]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[3]*อาจารย์ ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
**corresponding author, e-mail: warsun@kku.ac.th*

บทนำ

สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่มีความสำคัญในการตกตะกอนของระบบประปา เพื่อแยกตะกอนเบาออกจากน้ำดิบ ให้ได้น้ำใส สำหรับตะกอนที่ตกลงสู่ก้นถังเรียกว่า ตะกอนสารส้มหรือ อลัมสลัดจ์ (Alum sludge) ถ้าเติมสารส้ม 1 กิโลกรัมทำให้เกิดตะกอนเคมี [$Al(H_2O_3)(OH_3)$] ประมาณ 0.44 กิโลกรัม และยังมีตะกอนแขวนลอย คาร์บอน โพลิเมอร์ ดินเหนียว ที่จะเพิ่มขึ้นอีก 1 กิโลกรัมต่อตะกอนเคมี 1 กิโลกรัม ปริมาณตะกอนสารส้มจะมีประมาณร้อยละ 0.3-1.0 ของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าระบบ (เกรียงศักดิ์, 2536) การกำจัดกากตะกอนสารส้มหรืออลัมสลัดจ์ ที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยคือ กองทิ้งบนดิน หรือทิ้งลงแหล่งน้ำ

รัฐบาลทุกยุคทุกสมัยเล็งเห็นความสำคัญของการมีน้ำอุปโภคบริโภคของประชาชน อย่างพอเพียงตลอดปี การจัดสรรงบประมาณด้านการประปาเพิ่มขึ้นทุกปี และคาดว่าในระยะเวลาอันใกล้นี้ ระบบประปาผิวดินจะให้บริการคลอบคลุมทั่วทั้งประเทศ ขณะเดียวกันอลัมสลัดจ์จะมีปริมาณมากและอาจปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ความเป็นพิษของอะลูมินัมอาจส่งผลกระทบต่อไข่ปลา ลูกปลา ระคายเคืองต่อเหงือกของปลา ทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้ และตายในที่สุด (Exley et al., 1997) อะลูมินัมยับยั้งการแบ่งเซลล์และโครโมโซมในพืช พืชจะหยุดการแบ่งตัว (mitosis) ทันที (Jorham and Haegglund, 1990) ก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้บริโภค ทั้งด้านสาธารณสุข สังคมและเศรษฐกิจตามมา หากไม่มีมาตรการติดตามตรวจสอบ เฝ้าระวังที่มีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอลัมสลัดจ์ต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ที่อยู่ใกล้ระบบกำจัดอลัมสลัดจ์ โดยเลือกระบบประปาหมู่บ้านที่ศึกษา 3 แห่งคือ ประปาบ้านบึงเนียม-ใคร่นุ่น บ้านผือ และบ้านหนองหญ้าแพรก อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งต่อท่อน้ำล้างย้อน (back wash) จากถังตกตะกอนและถังกรอง ระบายลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง และศึกษาผลของอะลูมินัมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายหางกระรอกและปลาหางนกยูง ในแบบจำลองระบบนิเวศน้ำที่มีความเข้มข้นอะลูมินัมแตกต่างกัน 3 ระดับ และหาค่าพิษเฉียบพลันของอะลูมินัมต่อปลาหางนกยูง (LC_{50}) ที่เวลา 24 ชั่วโมง

วิธีการศึกษา

1. การสำรวจในภาคสนาม โดยเก็บตัวอย่างน้ำดินบน (ลึก 15 ซม.) และผักบุ้งในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนอลัมสลัดจ์ในระบบประปาหมู่บ้าน 3 แห่ง และตัวอย่างทั่วไปที่ไม่เคยได้รับการปนเปื้อนจากอลัมสลัดจ์ ซึ่งเก็บจากบริเวณแก่งน้ำต้อน เป็นน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาของบ้านสะอาด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2544 งานวิจัยนี้ไม่ได้เก็บตัวอย่างปลาหรือสัตว์น้ำอื่น ๆ เนื่องจากแหล่งน้ำที่ศึกษาเป็นแหล่งน้ำสำหรับผลิตน้ำประปา ไม่อนุญาตให้จับสัตว์น้ำ และการลงไปจับปลาทำให้ตะกอนท้องน้ำฟุ้งกระจาย มีผลไปเพิ่มความสกปรกให้กับแหล่งน้ำ สำหรับการตรวจวัดอะลูมินัม คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำ ได้แก่ พีเอช สภาพนำไฟฟ้า ความขุ่น สารละลายน้ำ บีโอดี ไนเตรต ฟอสเฟต และซัลเฟต ใช้วิธีตามที่กำหนดใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA AWWA and WEF, 1995)

2. ทดสอบด้วยวิธีสร้างแบบจำลองระบบนิเวศน้ำ โดยเลียนแบบธรรมชาติ (semi-natural ecosystem)

2.1 การเตรียมพืชและสัตว์ทดลอง

นำปลาหางนกยูง (*Poecilia reticulate* Peters, 1859) ที่โตเต็มวัย ตัวเมียมีปานดำปรากฏขึ้นที่ท้องชัดเจน ยาวประมาณ 2.5 ซม. และสาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (Linn.f.) Royle) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใส่ในถังน้ำพลาสติกปริมาตร 150 ลิตร ใช้น้ำประปาที่เก็บกักไว้นาน และตรวจไม่พบคลอรีนอิสระตกค้างด้วยวิธี DPD (N,N-diethyl-p-phenylenediamine) colorimetric method ให้อาหารปลาสำเร็จรูปทุกวัน วันละครั้ง อาหารที่เหลือตกค้างนาน 20 นาที ถูกตักออก สาหร่ายหางกระรอกและปลาหางนกยูงอยู่ในถังเลี้ยงปลานาน

4 สัปดาห์ เพื่อให้ปรับตัว และตั้งถังเลี้ยงปลาที่ห้อง 4108 อาคาร 4 คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นห้องที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก รับแสงแดดตามธรรมชาติตลอดทั้งวัน

2.2 การเตรียมอะลูมินัม

การกำหนดค่าอะลูมินัมที่ใช้ในการวิจัย ประมาณค่าจากการนำน้ำตะกอนในถังตกตะกอนของโรงกรองน้ำประปาโกทา การประปาภูมิภาค ซึ่งมีกระบวนการผลิตน้ำประปาได้มาตรฐาน มาวัดค่าสารส้มตกค้าง ในกากตะกอน (alum sludge residuals) ซึ่งเป็นอะลูมินัมที่ไม่ได้จับกับตะกอนในกระบวนการตกตะกอน (coagulation) ปรับพีเอชสารละลายเป็นกรดด้วยไนตริคเข้มข้น (HNO_3 conc.) จากนั้นนำน้ำใสมาวัดค่าอะลูมินัมที่ละลายได้ด้วยวิธี Flame atomic absorption spectrometric method ได้ค่าอะลูมินัม 0.42-0.94 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 การทดลอง

ชุดทดลอง แบ่งเป็น 4 ชุด คือ ชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และชุดใส่อะลูมินัมความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0.5, 0.75 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยอะลูมินัมที่ใช้ในการทดลอง เตรียมจากสารอะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3 18H_2O$: MW= 666.45 กรัม) ใช้สารอะลูมิเนียมซัลเฟต 3.1495 กรัม, 4.7242 กรัม และ 6.2989 กรัม สำหรับอะลูมินัมเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จำลองระบบนิเวศน้ำโดยเลี้ยงปลาหางนกยูง จำนวน 30 ตัวต่อตู้ ตัวผู้และตัวเมียปริมาณเท่ากัน น้ำหนักรวมประมาณ 3.7-5.0 กรัมต่อตู้ สาหร่ายหางกระรอก ประมาณ 30 กรัมต่อตู้ นำมาเลี้ยงในตู้เลี้ยงปลาขนาด 29.5 x 59.5 x 29 ซม. บรรจุน้ำประปาที่ปราศจากคลอรีนอิสระตกค้างปริมาตร 51 ลิตรต่อตู้ ให้อาหารปลาหางนกยูงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปวันละ 0.1 กรัมต่อตู้ ป้องกันการขาดออกซิเจนละลายน้ำเป็นครั้งคราวและพิษของแอมโมเนียอิสระ ซึ่งอาจทำให้ปลาตายได้ จึงเปิดเครื่องเติมอากาศในเวลากลางคืน ตั้งตู้เลี้ยงปลาภายในอาคารมีอากาศถ่ายเทสะดวก ได้รับแสงแดดตามธรรมชาติตลอดทั้งวัน การทดลองแต่ละชุด ทดลองพร้อมกัน 3 ซ้ำ เนื่องจากปลาหางนกยูงออกลูกทุก 4 สัปดาห์ จึงเลี้ยงปลานาน 10 สัปดาห์ เริ่มตั้งแต่วันที่ 23 พฤษภาคม ถึงวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2544 ในการทดลองนำสาหร่ายหางกระรอกประมาณ 0.2 กรัม และปลาหางนกยูง 2 ตัวต่อสัปดาห์ ไปหาค่าอะลูมินัม และสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้านน้ำหนักของตัวอย่างซึ่งการชั่งน้ำหนักใช้วิธีแทนที่น้ำ

หาค่าอะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกและปลาหางนกยูงทั้งตัว โดยทำตัวอย่างให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 70^{O}ซ นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น แล้วบดตัวอย่างจนมีขนาดเล็ก นำมาชั่งน้ำหนัก (สาหร่ายหางกระรอกประมาณ 0.1-0.2 กรัมและปลาหางนกยูงประมาณ 0.5-1.0 กรัม) ผสมในน้ำปราศจากอิออน 100 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริคและกรดเปอร์คลอริค (HNO_3-$HClO_4$) ต้มไฟอ่อน ๆ จนได้สารละลายใส หรือมีควันสีขาวของเปอร์คลอริค แล้วทิ้งให้เย็น กรองและปรับปริมาตรสารละลายเป็น 25 มิลลิลิตร นำไปวัดอะลูมินัมด้วยวิธี nitrous oxide – acetylene flame atomic absorption spectrometric method น้ำหนักอะลูมินัมที่วัดได้คำนวณเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำหนักตัวอย่างสด (wet-weight)

3. ทดสอบด้วยชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่งไม่เปลี่ยนน้ำ (static bioassay) เพื่อหาความเป็นพิษเฉียบพลันในรูปมัธยฐานของระดับความเข้มข้น (LC_{50}) ในเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยวิธี Dipping Method และหาค่า LD_{50} ตามวิธีวิเคราะห์แบบโปรบิท (Probit analysis) การเตรียมสัตว์ทดลอง ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 และก่อนการทดลอง 1 วันงดให้อาหารปลา ใช้น้ำปราศจากอิออนเป็นน้ำสำหรับเจือจางสารละลาย และความเข้มข้นอะลูมิเนียมเตรียมจากสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ การทดลองแบ่งเป็น การทดลองเบื้องต้น เนื่องจากไม่ทราบระดับความเข้มข้นของอะลูมินัมที่มีผลต่อการตายของปลาหางนกยูง จึงทำการทดลองเบื้องต้นก่อนการทดลองจริง โดยสุ่มปลาหางนกยูง 10 ตัว ใส่บีกเกอร์ที่มีปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร ที่ความ

เข้มข้นของอะลูมินัม 0.50–20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำพร้อมกัน 3 ซ้ำ บันทึกความเข้มข้นของอะลูมินัมที่ทำให้ปลาหางนกยูงตายและตายหมดในเวลา 24 ชั่วโมง ต่อมาจึงทำการทดลองอย่างละเอียดเพื่อหาค่าความเป็นพิษ โดยนำผลการทดลองเบื้องต้นที่ทำให้ปลาหางนกยูงเริ่มตายและตายทั้งหมด ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นของอะลูมินัม 2.00–2.20 มิลลิกรัมต่อลิตร แบ่งความเข้มข้นของอะลูมินัมเป็น 7 ระดับคือ 2.00, 2.04, 2.08, 2.12, 2.16, 2.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม 1 ชุด สุ่มปลาหางนกยูงจากถังพักมาใส่ในบีกเกอร์ ๆ ละ 10 ตัว ในสารละลายที่ความเข้มข้นอะลูมินัมระดับต่าง ๆ ที่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แต่ละความเข้มข้น ทดลองชุดละ 3 ซ้ำ จับเวลาและบันทึกจำนวนปลาหางนกยูงตาย ที่ระยะเวลา 1, 3, 6, 12, 18, 24 ชั่วโมง โดยสังเกตการนิ่ง ไม่หายใจ ไม่อ้าหรือหุบปากหรือเปิดเหงือกเพื่อให้น้ำผ่านเหงือกออกมา หรือเขี่ยด้วยปลายปิเปตต์ แล้วไม่ตอบสนอง เป็นเกณฑ์ตัดสินว่าปลาหางนกยูงตาย และตักปลาที่ตายแล้วออกจากบีกเกอร์ทุกครั้ง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ปริมาณอะลูมินัม คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการในตัวอย่างที่เก็บจากภาคสนาม และตัวอย่างจากชุดทดลองที่จำลองระบบนิเวศน้ำโดยเลียนแบบธรรมชาติ ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอะลูมินัมในน้ำ ปลาหางนกยูง และสาหร่ายหางกระรอกด้วยสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) และค่า LC_{50} ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีวิเคราะห์แบบโปรบิด ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 11.0

ผลการศึกษา

1. ปริมาณอะลูมินัมในตัวอย่างน้ำ ดิน และพืช

ปริมาณอะลูมินัมในตัวอย่างน้ำ ดิน และพืชจากแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนอลัมสลัดจ์ มีมากกว่าในแหล่งน้ำทั่วไป โดยตัวอย่างน้ำที่เก็บจากแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาบ้านหนองหญ้าแพรกมีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาเป็นน้ำบ้านบึงเนียม–ใคร่นุ่น และน้ำบ้านผือ มีอะลูมินัมเท่ากัน คือ 0.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำทั่วไปมีอะลูมินัม 0.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนดินที่บ้านบึงเนียม–ใคร่นุ่นมีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 56.37 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาเป็นดินบ้านหนองหญ้าแพรก 52.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินที่บ้านผือ 51.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนดินทั่วไป 37.46 มิลลิกรัมต่อลิตร และพืชบ้านบึงเนียม–ใคร่นุ่นมีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 36.19 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาเป็นพืชบ้านผือ 19.39 มิลลิกรัมต่อลิตร บ้านหนองหญ้าแพรก 5.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และพืชทั่วไป 4.77 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 1)

2. ผลกระทบของอลัมสลัดจ์ต่อพืชน้ำและสัตว์น้ำในแบบจำลองระบบนิเวศน้ำ ที่ความเข้มข้นอะลูมินัมแตกต่างกัน 3 ระดับ

2.1 คุณภาพน้ำ

สภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำชุดควบคุม ก่อนทดลอง มีพีเอช 5.6 สภาพนำไฟฟ้า 231.5 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 132 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 8.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 7.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.85 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 32.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 5.15 เอ็นทียู หลังทดลอง 10 สัปดาห์ น้ำขุ่น มีสีเขียวของสาหร่ายชนิดอื่นมาก มีพีเอช 6.2 สภาพนำไฟฟ้า 221 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 103 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 14.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 6.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 19.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 10.50 เอ็นทียู

น้ำที่ใส่อะลูมินัม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีพีเอช 5.5 สภาพนำไฟฟ้า 245.7 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 141 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 9.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 5.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 50.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 5.15 เอ็นทียู หลังทดลอง 10 สัปดาห์ น้ำใสกว่าน้ำชุดควบคุม น้ำมีพีเอช 6.5

สภาพนำไฟฟ้า 232 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 109 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 31.27 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 7.37 เอ็นทียู

น้ำที่ใส่อะลูมิเนียม 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีพีเอช 5.1 สภาพนำไฟฟ้า 249 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 168 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 8.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 4.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 70.19 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 5.15 เอ็นทียู หลังทดลอง 10 สัปดาห์ น้ำใสกว่าน้ำชุดควบคุมและน้ำชุดที่ใส่อะลูมินัม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมีพีเอช 6.4 สภาพนำไฟฟ้า 238 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 114 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 10.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 31.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 6.94 เอ็นทียู

น้ำที่ใส่อะลูมิเนียม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีพีเอช 3.9 สภาพนำไฟฟ้า 260 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 147 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 4.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 93.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 5.15 เอ็นทียู หลังทดลอง 10 สัปดาห์ น้ำใสกว่าทุกชุดการทดลอง น้ำมีพีเอช 6.4 สภาพนำไฟฟ้า 250 ไมโครซีเมนต์ ปริมาณสารละลายได้ 108 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 10.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟต 34.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 6.48 เอ็นทียู (ตารางที่ 1)

2.2 น้ำหนักของพืชน้ำและสัตว์น้ำ

ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักปลาเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลอง การชั่งน้ำหนักปลาใช้วิธีแทนที่น้ำ โดยชั่งน้ำหนักปลาสัปดาห์ที่ 10 รวมกับน้ำหนักปลาที่ตายเนื่องจากนำไปวิเคราะห์อะลูมินัมทุกสัปดาห์จำนวน 18 ตัวต่อตู้เลี้ยงปลา ชุดควบคุมไม่ใส่อะลูนัมมีลูกปลาเกิดใหม่น้อยมาก เพียง 1 ตัว น้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 12.67 และน้ำที่ใส่อะลูมินัมความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรมีลูกปลาเกิดมากที่สุด 34 ตัว เพิ่มขึ้นร้อยละ 35.30 (รูปที่ 2)

น้ำหนักสาหร่ายหางกระรอกลดลงในชุดควบคุมไม่ใส่อะลูนัม โดยน้ำหนักลดลงร้อยละ 32.09 น้ำขุ่นและมีสีเขียวของสาหร่ายชนิดอื่น ซึ่งอาจขัดขวางการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายหางกระรอก น้ำที่ใส่อะลูมินัมความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำใสกว่าและมีสาหร่ายหางกระรอกเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ร้อยละ 10.7

2.3 ปริมาณอะลูมินัมในน้ำ พืช และปลา แยกตามชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยอะลูมินัมในน้ำชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม ก่อนทดลองและหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 0.10– 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำที่ใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ ทุกความเข้มข้นมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลามากขึ้น น้ำที่ใส่อะลูมินัม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ย 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตรและหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำที่ใส่อะลูมินัม 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ย 0.77 มิลลิกรัมต่อลิตรและหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำที่ใส่อะลูมินัม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ย 1.037 มิลลิกรัมต่อลิตรและหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 3)

ค่าเฉลี่ยอะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกที่เจริญเติบโตในน้ำชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ย 24.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 24.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนน้ำที่ใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ ทุกความเข้มข้นพบอะลูมินัมเฉลี่ยในสาหร่ายหางกระรอกสูงมาก หลังจากเลี้ยงไว้ 14 วัน (นับสัปดาห์ที่ 1 เป็นค่าก่อนทดลอง) แต่หลังจากนั้นพบว่า อะลูมินัมเฉลี่ยลดลงเมื่อระยะเวลามากขึ้น

น้ำที่ใส่อะลูมินัม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยในสาหร่ายหางกระรอก 24.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 29.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ เหลืออะลูมินัมเฉลี่ย 24.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำที่ใส่อะลูมินัม 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยในสาหร่ายหางกระรอก 25.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสัปดาห์ที่ 3 มีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 27.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 25.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้ำที่ใส่อะลูมินัม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยในสาหร่ายหางกระรอก 24.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสัปดาห์ที่ 3 มีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 30.594 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 27.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รูปที่ 4)

ค่าเฉลี่ยอะลูมินัมในปลาหางนกยูงที่เจริญเติบโตในน้ำชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ย 2.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 2.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนน้ำที่ใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ ทุกความเข้มข้นพบอะลูมินัมเฉลี่ยในปลาหางนกยูงสูงมาก หลังจากเลี้ยงไว้ 7-14 วัน (นับสัปดาห์ที่ 1 เป็นค่าก่อนทดลอง) หลังจากนั้นลดลงเมื่อระยะเวลามากขึ้น น้ำที่ใส่อะลูมินัม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยในปลาหางนกยูง 2.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 3.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ เหลืออะลูมินัมเฉลี่ย 2.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำที่ใส่อะลูมินัม 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยในปลาหางนกยูง 2.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสัปดาห์ที่ 3 มีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 3.935 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 2.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้ำที่ใส่อะลูมินัม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทดลองมีอะลูมินัมเฉลี่ยในปลาหางนกยูง 2.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสัปดาห์ที่ 2 มีอะลูมินัมเฉลี่ยสูงที่สุด 5.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีอะลูมินัมเฉลี่ย 4.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รูปที่ 5)

เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation) พบว่า ปริมาณอะลูมินัมในน้ำชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัมมีความสัมพันธ์กับอะลูมินัมในปลาหางนกยูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.780$, P-value = 0.004) น้ำชุดที่ใส่อะลูมินัมเข้มข้น 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณอะลูมินัมในปลาหางนกยูงเพิ่มขึ้นเมื่อมีอะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกเพิ่มขึ้น พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.875$, P-value = 0.001) และน้ำชุดที่ใส่อะลูมินัมเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($r = 0.852$, P-value = 0.001) ในขณะที่ปริมาณอะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกกับน้ำชุดควบคุมและน้ำชุดใส่อะลูมินัมอื่น ๆ มีความสัมพันธ์กัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) (ตารางที่ 2)

3. พิษเฉียบพลันของอะลูมินัมที่ทำให้ปลาหางนกยูงตายร้อยละ 50 ที่ 24 ชั่วโมง

นำข้อมูลการตายสะสมของปลาหางนกยูงและความเข้มข้นของอะลูมินัม ที่ทำให้ปลาหางนกยูงตายร้อยละ 50 ภายใน 24 ชั่วโมง ได้ค่า LC_{50} = 2.00-2.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นอะลูมินัมเฉลี่ย 2.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และได้สมการเส้นตรงโปรบิท

$y = -28.46037+14.00874x$

สรุปและวิจารณ์ผล

การกำจัดกากตะกอนสารส้มหรืออลัมสลัดจ์ที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคือ กองทิ้งบนดิน หรือทิ้งลงแหล่งน้ำ ปริมาณอะลูมินัมในตัวอย่างน้ำและดินสูงกว่าในแหล่งน้ำทั่วไป ทำให้พืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณนี้มีปริมาณอะลูมินัมสูงกว่าพืชบริเวณข้างเคียง และจากผลการวิจัยพบความสัมพันธ์ของปริมาณอะลูมินัมในปลาหางนกยูงเพิ่มขึ้น เมื่ออะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกเพิ่มขึ้น ในน้ำชุดที่ใส่อะลูมินัมเข้มข้น 0.75 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r = 0.875 และ r = 0.852 ตามลำดับ, P-value < 0.05) ดังนั้นโอกาสที่นก ปลา และสัตว์อื่น แม้กระทั่งคนจะได้รับอะลูมิเนียมจึงมีสูง

ปริมาณอะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกกับน้ำชุดควบคุม และน้ำชุดใส่อะลูมินัมทุกความเข้มข้นไม่มีความสัมพันธ์กัน (P-value > 0.05) ในน้ำชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม น้ำขุ่นและมีสีเขียวของสาหร่ายชนิดอื่นมาก อาจขัดขวางการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายหางกระรอก น้ำหนักสาหร่ายหางกระรอกจึงลดลงร้อยละ 32.09 และสภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการแพร่พันธุ์ของปลา อาจเนื่องจากอะลูมินัมยับยั้งการดูดซึมการขนส่งแคลเซียม และธาตุอาหารอื่น ๆ ยับยั้งการแบ่งเซลล์และโครโมโซมในสาหร่ายขนาดเล็ก ทำให้สาหร่ายขนาดเล็กหยุดการแบ่งตัว (Jorham and Haegglund, 1990) และสาหร่ายหางกระรอกจึงเจริญเติบโตได้เต็มที่

ปริมาณอะลูมินัมเฉลี่ยในสาหร่ายหางกระรอกสูงที่สุดหลังจากเลี้ยงไว้ 14 วัน และในปลาหางนกยูงสูงที่สุดหลังจากเลี้ยงไว้ 7-14 วัน หลังจากนั้นอะลูมินัมลดลงไประดับหนึ่งแล้วเพิ่มขึ้นอีก ในทุกความเข้มข้นของน้ำที่ใส่อะลูมินัม การที่อะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกและปลาหางนกยูงดูเหมือนไม่หยุดเคลื่อนที่ (immobile) แม้ว่าอะลูมิเนียมในสารละลายน้ำจะลดลงแล้ว เนื่องจากกระบวนการในระบบนิเวศน้ำมีลักษณะเป็นพลวัต (dynamic) จึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงรูปต่าง ๆ ได้ตลอดเวลา

ปริมาณอะลูมินัมในน้ำทุกความเข้มข้น มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลามากขึ้น ซึ่งการเคลื่อนย้ายอะลูมินัมในสภาพสารละลาย สามารถทำได้โดยการแพร่ (diffusion) เข้าสู่ระบบรากพืช การกรองติดอยู่ที่เหงือกของปลาขณะที่ปลาหายใจ (sorption site) เข้าสู่ระบบชีวภาพเป็นสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายหางกระรอก และปลาหางนกยูง การดูดกินโดยจุลินทรีย์ และการจับกับสารอื่น ๆ หรือตกตะกอนกับสารอื่น ๆ ในน้ำ ซึ่งในระยะแรกการดูดซับจะอยู่ในรูปไอออนเชิงซ้อน (ionic complexes) บนพื้นผิวของแข็งที่มีประจุ การจับกับสารแขวนลอย ตกตะกอนกับสารอื่น การย่อยสลายของอินทรียสารโดยจุลินทรีย์ ซึ่งช่วยให้มีการปลดปล่อยธาตุ และหลังจากนั้นมีการตรึงกับออกไซด์ของสารอื่นเกิดเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตรูปต่าง ๆ

ความเข้มข้นของอะลูมินัมบริสุทธิ์ที่ทำให้ปลาหางนกยูงขนาด 2.5 เซนติเมตร ตายร้อยละ 50 ในเวลา 24 ชั่วโมง มีค่า 2.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ใกล้เคียงกับปลาน้ำจืดขนาดเล็กชนิดอื่น ๆ เช่น ลูกปลาวงศ์เลาช์ (Loach family) ขนาด 2.5-4.3 เซนติเมตรตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง มีค่า 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร (Li and Zhang, 1992) อะลูมินัมอาจเป็นอันตรายต่อปลาสูงกว่าอะลูมิเนียมซัลเฟต เนื่องจาก LC_{50} ของอะลูมิเนียมมีค่าต่ำกว่า LC_{50} ของอะลูมิเนียมซัลเฟตมาก ซึ่ง Wallen et al. (1957) พบว่า LC_{50} ของอะลูมิเนียมซัลเฟต ในเวลา 24 ชั่วโมงในปลาหางนกยูงตะวันตก (Wester mosquitofish; *Gambusia affinis* Baird and Girard, 1853) เพศเมียขนาด 5-6 เซนติเมตร มีค่า 28 มิลลิกรัมต่อลิตร และปลาไชเนอร์ (shiner; *Luxilus chrysocephlas* Rafinesque, 1820) ขนาด 5-10 เซนติเมตร มีค่า LC_{50} = 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Murangi and Robinson, 1992) อย่างไรก็ตามอาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่นอกจากพิษของสาร เช่น พันธุ์ของปลา อายุ เพศ สภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ พีเอชของน้ำ และอาหาร ฯลฯ

สารอะลูมิเนียมเป็นอันตรายต่อเด็กทารกมากกว่าผู้ใหญ่ ไตของเด็กจะเจริญและทำงานได้สมบูรณ์ต่อเมื่อเด็กเจริญเติบโตจนมีอายุครบ 1 ปี ในช่วงที่ไตยังเจริญไม่เต็มที่ เกิดการสะสมสารอะลูมิเนียมในร่างกายได้ นอกจากนี้เด็กสามารถดูดซับโลหะเช่นสารตะกั่วหรือกรณีสารอะลูมิเนียมนี้เข้าสู่เม็ดเลือดได้ดีกว่าผู้ใหญ่ ผู้ที่เสี่ยงต่ออันตรายของสารอลูมิเนียมมากที่สุดคือ ทารกที่เกิดมาพร้อมกับความผิดปกติของไต สารอะลูมิเนียมที่สะสมในเม็ดเลือดแดงส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสมองมากที่สุด และสารอะลูมิเนียมเองขัดขวางการดูดซึมของเกลือแร่ที่สำคัญในการเจริญเติบโตของเด็ก เช่น แคลเซียม สังกะสี แมกนีเซียม ทำให้เกิดอาการของโรค

กระดูกอ่อนและการเจริญเติบโตชะงักหรือชะลอลง ปริมาณสารอะลูมิเนียมที่ร่างกายได้รับในเด็ก 2-6 มิลลิกรัมต่อวัน ผู้ใหญ่ 6-14 มิลลิกรัมต่อวัน ในภาวะปกติ ผู้ที่มีสุขภาพสมบูรณ์ ไตมีประสิทธิภาพขับของเสียได้ดี ร่างกายดูดซึมสารดังกล่าวได้น้อย อะลูมิเนียมจะไม่ทำให้เกิดพิษภัยได้ แต่ถ้าร่างกายขับสารดังกล่าวออกไม่หมดและมีการสะสมเกิดขึ้น สารอะลูมิเนียมจะไปสะสมที่หัวใจ ม้าน กระดูก และสมอง อาจส่งผลให้เกิดการเจ็บป่วยได้ในภายหลัง (กองวิชาการ งานโครงการความปลอดภัยในการใช้เคมีวัตถุ, 2533)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัยประเภททั่วไป ปีงบประมาณ 2544 และขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ และภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือและครุภัณฑ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2533. ปัญหาอะลูมิเนียมในนม. ใน: **เอกสารกองวิชาการงานโครงการความปลอดภัยในการใช้เคมีวัตถุ.** กรุงเทพฯ. หน้า 47-54.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2541. **วิศวกรรมประปา.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

APHA, AWWA and WEF. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19th ed., Washington, D.C.: American Public Health Ass.

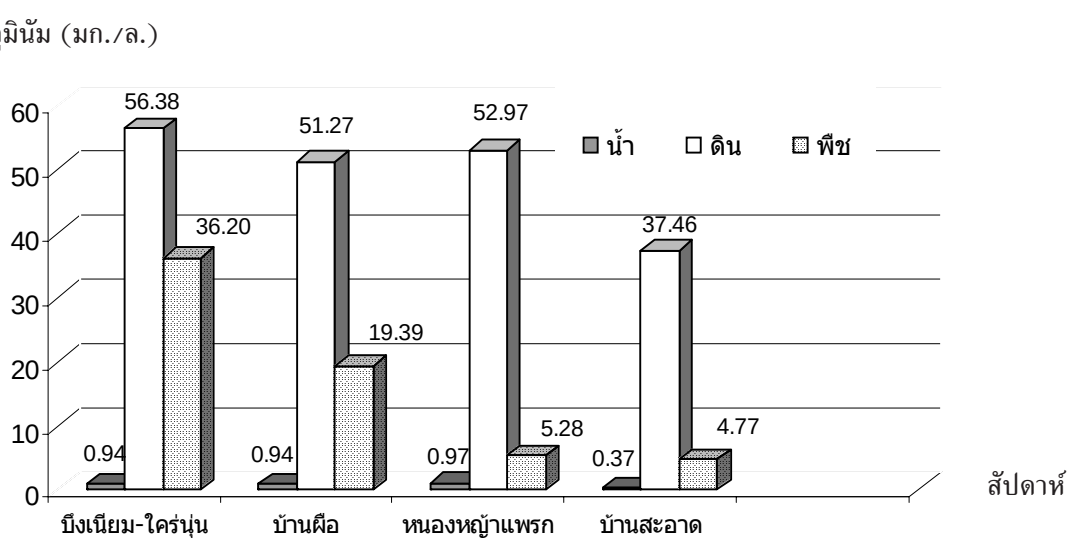
Exley, C., Pinnegar J.K. and Taylor, H. 1997. Hydroxyaaluminosilicate and acute aluminium toxicity in fish. **J. Theor. Biol.** 189: 133-139.

Li, X. and Zhang, F. 1992. Toxic effects of low pH and elevated Al concentration on early life stages of several species of freshwater fishes. **J. Acta Sci.Circumstant** 12(1): 97-104.

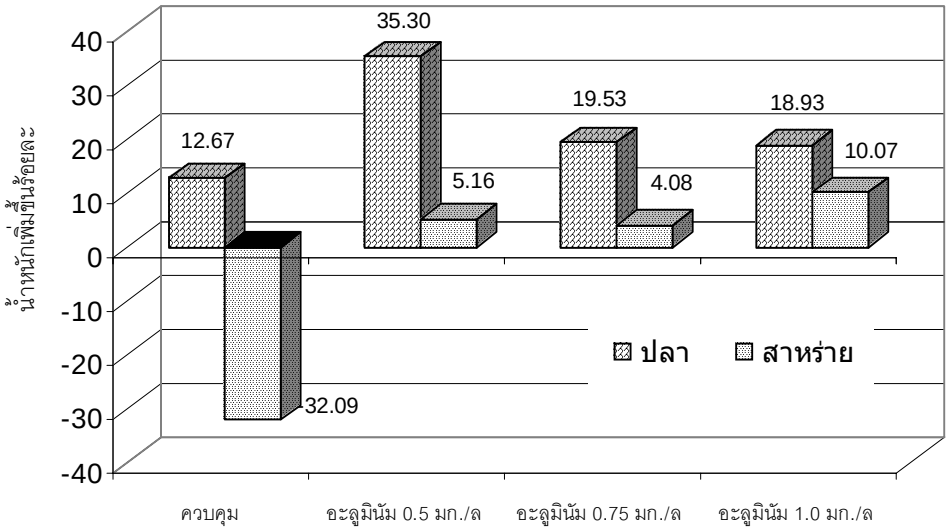
Murangi, J.I. and Robinson, J.W. 1992. Uptake and accumulation of aluminium by fish-the modifying effect of added ions. **J. Environ. Sci. Health** 27(3): 713-719.

Jorham, L. and Haegglund, G. 1990. Aluminium in food and diets in Sweden. **J. Nutrient** 120: 493-498.

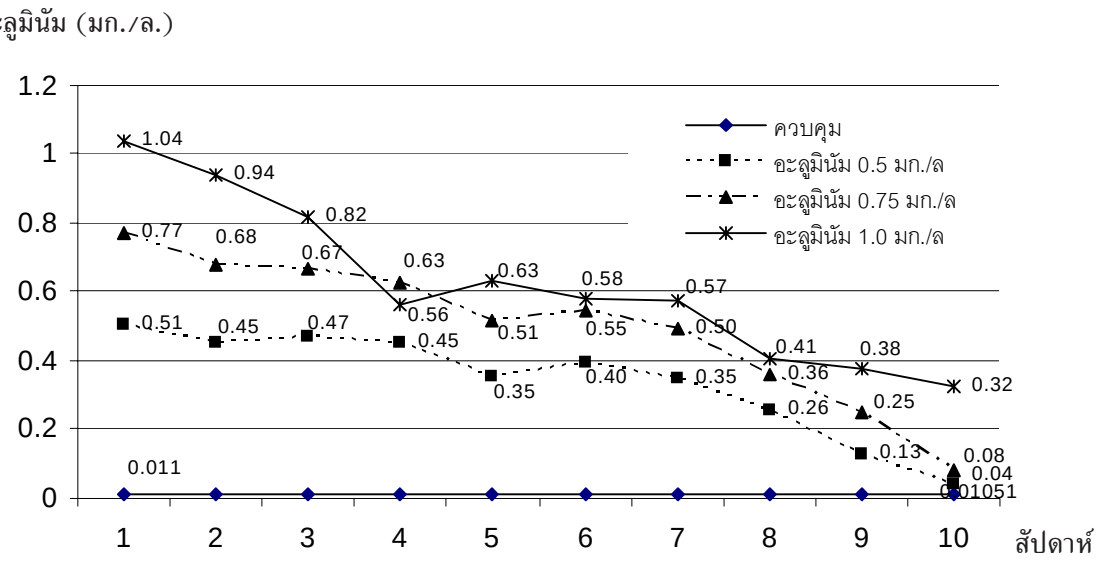
Wallen, I.E., Greer, W.C. and Lasater, R. 1957. Toxicity to *Gumbusia affinis* of certain pure chemicals in turbid waters. **J. Sewage Ind. Wastes** 29(6): 695-711.



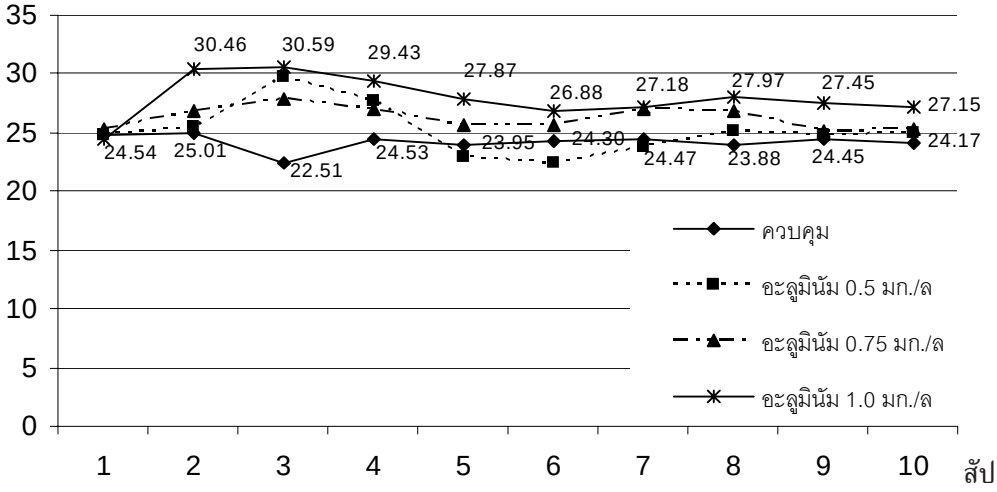
รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยอะลูมินัมในน้ำ ดิน และพืช บริเวณแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนอลัมสลัดจ์ในระบบประปาหมู่บ้านบ้านต่าง ๆ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2544



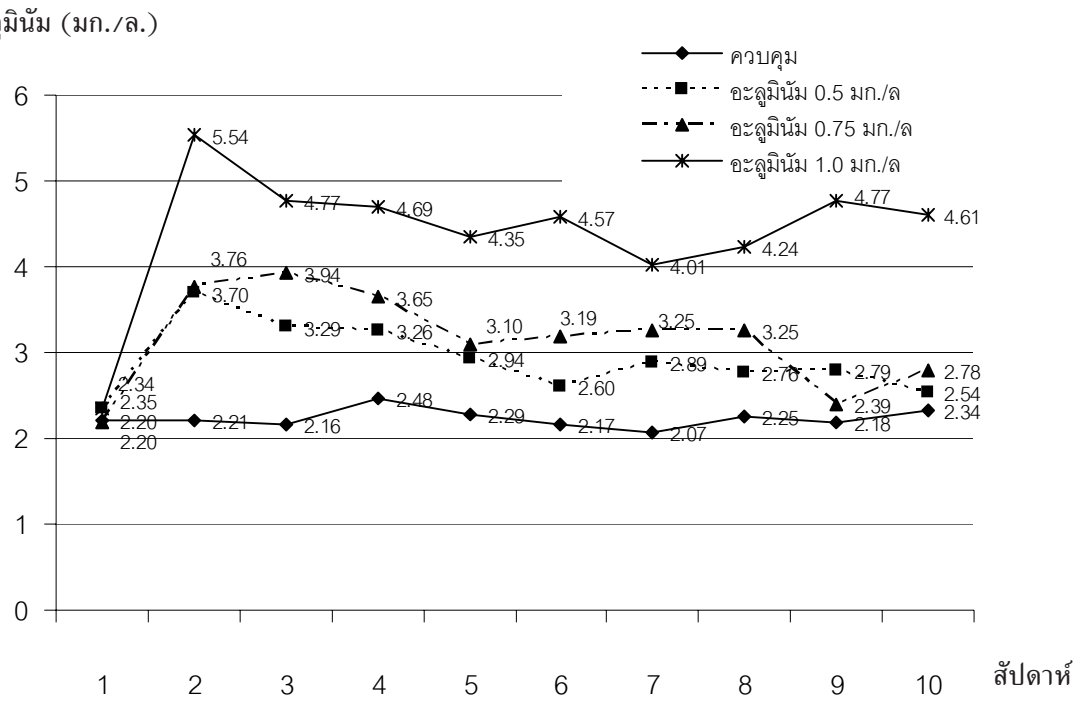
รูปที่ 2 ร้อยละของน้ำหนักปลาหางนกยูงและสาหร่ายหางกระรอกที่เพิ่มขึ้นหลังเลี้ยง 10 สัปดาห์แยกตามชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และชุดใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยอะลูมินัมในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ แยกตามชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และชุดใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยอะลูมินัมในสาหร่ายหางกระรอกที่ระยะเวลาต่าง ๆ แยกตามชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และชุดใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยอะลูมินัมในปลาที่ระยะเวลาต่าง ๆ แยกตามชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และชุดใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำก่อนทดลองและหลังทดลองที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์ แยกตามชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และชุดใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ

	ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำ							
	ควบคุม		อะลูมินัม 0.5 มก./ล.		อะลูมินัม 0.75 มก./ล.		อะลูมินัม 1.0 มก./ล.	
พารามิเตอร์	ก่อนทดลอง	สัปดาห์ที่ 10	ก่อนทดลอง	สัปดาห์ที่ 10	ก่อนทดลอง	สัปดาห์ที่ 10	ก่อนทดลอง	สัปดาห์ที่ 10
ความขุ่น(เอ็นทียู)	5.15	10.5	5.15	7.37	5.15	6.94	5.15	6.48
พีเอช	5.6	6.2	5.5	6.5	5.1	6.4	3.9	6.4
สภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	231.50	221	245.7	232	249	238	260	250
ปริมาณสารละลายน้ำ (มก./ล.)	132	103	141	109	168	114	147	108
บีโอดี (มก./ล.)	8.00	14.30	9.00	10.00	8.00	10.60	8.00	10.20
ไนเตรต (มก./ล.)	7.60	0.70	5.10	0.70	4.80	0.70	4.30	0.70
ฟอสเฟต (มก./ล.)	0.85	6.38	0.23	0.41	0.29	0.66	0.48	0.79
ซัลเฟต (มก./ล.)	32.15	19.5	50.39	31.27	70.19	31.35	93.13	34.54

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของอะลูมินัมในน้ำ พืช และปลา แยกตามชุดควบคุมไม่ใส่อะลูมินัม และชุดใส่อะลูมินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ นาน 10 สัปดาห์ วิเคราะห์ด้วยสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation)

* Correlation significant at the P-value 0.05 level