บทที่ 5

วิจารณ์ผลการศึกษา

5.1 การศึกษาพิษเฉียบพลัน

5.1.1 ความเป็นพิษเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์และเลดไนเตรท ต่อปลาตะเพียนขาวอายุประมาณ 2 ถึง 3 เดือน

ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิดต่อปลาตะเพียนขาว ขนาดประมาณ 3-4 เซนติเมตร อายุประมาณ 2-3 เดือน พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ทำให้ปลาตาย 50 เปอร์เซนต์ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง (48-h LC_{50}) และ 96 ชั่วโมง (96-h LC_{50}) มีค่า 0.39 และ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของตะกั่วที่ทำให้ปลาตะเพียนขาวตาย 50 เปอร์เซนต์ ในช่วงเวลา 48 และ 96 ชั่วโมงมีค่าเท่ากันคือ 70.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า ปรอทมีพิษสูงกว่าตะกั่ว สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ชูชาติ ชัยรัตน์ (2528) ซึ่งรายงานว่าค่า 96-h LC_{50} ของปรอทและตะกั่วต่อปลากะพงขาวขนาดประมาณ 1.9-2.3 เซนติเมตร ทำการทดลองในระบบน้ำนิ่งโดยใช้น้ำทะเลเทียมความเค็ม 31-32 ส่วนในพัน มีค่าเท่ากับ 0.1128 และ 128.7 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และผลการศึกษาของ Khangarot และ Ray (1987) ซึ่งรายงานว่าความเป็นพิษของโลหะหนักต่างๆ ต่อปลา Salmo gairdneri เรียงตามลำดับคือ Ag=Hg>Cu>Zn>Cd>Pb>Cr>Ni ซึ่งแสดงว่าโลหะเงินและปรอทมีความเป็นพิษใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าตะกั่วมาก เนื่องจากระดับความเป็นพิษของโลหะต่างชนิดกันย่อมแสดงออกมาไม่เท่ากัน จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาการตายของปลาตะเพียนขาวในละลายโลหะหนักทั้งสองชนิดเปรียบเทียบกัน พบว่าสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ทำให้ปลาเริ่มตายหลังระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง และมีอัตราการตายสะสมเพิ่มขึ้นตลอด 96 ชั่วโมง ส่วนปลาตะเพียนขาวที่อยู่ในสารละลายเลดไนเตรท เริ่มตายภายหลังระยะเวลาสัมผัสเพียง 3 ชั่วโมงเท่านั้น แต่การตายสะสมของปลาสิ้นสุดลงหลังจากระยะเวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง

ผลการศึกษานี้คล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ ชูชาติ ชัยรัตน์ (2528) ซึ่งศึกษาผลของปรอทและตะกั่วต่อปลากะพงขาวในน้ำกร่อย โดยพบว่าการตายของปลากะพงขาวเกิดขึ้นภายหลังจากระยะเวลาสัมผัสกับปรอทนาน 48 ชั่วโมง แต่การตายของปลาที่อยู่ในสารละลายตะกั่ว เกิดขึ้นหลังจากระยะเวลาสัมผัสเพียง 24 ชั่วโมง และไม่มีการตายเพิ่มอีกหลังจาก 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ Messuwana (1980) ได้ทำการศึกษาพิษของตะกั่วต่อปลาตะเพียนขาว ในระยะเวลาที่เป็นไข่และลูกปลาอายุประมาณ 2 อาทิตย์ ขนาด 0.5-1.0 เซนติเมตร และ 1 เดือน ขนาด 2.5-3.0 เซนติเมตร พบว่าการตายของปลาอายุ 1 เดือนสิ้นสุดลงภายในระยะเวลา 72 ชั่วโมง แต่ปลาอายุ 2 อาทิตย์มีการตายตลอด 96 ชั่วโมง (ชูชาติ ชัยรัตน์, 2528 กล่าวตาม Messuwana, 1980)

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า สารละลายปรอทแสดงความเป็นพิษเฉียบพลันช้ากว่าสารละลายตะกั่ว แต่ความเป็นพิษของสารละลายปรอทแสดงออกในรูป ของความเป็นพิษสะสมคือปลาจะตายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาที่ปลาสัมผัสกับสารละลายปรอทในขณะที่สารละลายตะกั่วจะแสดงความเป็นพิษในช่วงแรกๆ ประมาณ 24 ชั่วโมงของการทดลองเท่านั้น

จากการสังเกตอาการของปลาตะเพียนขาวที่ทดลองกับสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์และเลดไนเตรท พบว่าในช่วงแรกกระพุ้งแก้มของปลา (Operculum) ปิดเปิดเร็วกว่าปลาในกลุ่มควบคุม ปลาที่ใกล้ตายมักจะขึ้นมาบนผิวน้ำแต่การปิดเปิดของกระพุ้งแก้มของปลากลับช้าลงๆ นอกจากนี้ยังพบว่าปลาที่ใกล้ตายบางตัวจะว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว แต่ต่อมาสักครู่ปลาจะตาย อาการปิดเปิดของกระพุ้งแก้มของปลา ซึ่งเร็วกว่าปลาในชุดควบคุมนี้ แสดงว่าปลาต้องการออกซิเจน ในการหายใจเพิ่มขึ้น ซึ่งมีรายงานว่า โลหะหนักที่ปลาได้รับนั้นจะเข้าไปสะสม (accumulation) ที่ mucus ของเหงือกปลาและมีบางส่วนก็แพร่ผ่านไปสู่ระบบอื่น ๆ ต่อไปด้วย (Katz, 1971a,b) นอกจากนี้ Hughes (1972) ได้รายงานว่า ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเหงือกของปลาทำให้ประสิทธิภาพในการแพร่ผ่าน (diffuse) ของออกซิเจนที่เหงือกปลาลดลง เกิดการขาดแคลนออกซิเจนในระดับเนื้อเยื่อ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุแรกที่ทำให้ปลาตาย แต่อย่างไรก็ดี Sprauge (1971) ได้กล่าวว่าการตายของปลาที่ได้รับสารพิษนั้น อาจเกิดเนื่องจากความเป็นพิษของสารพิษนั้น หรือการขาดแคลนออกซิเจนรวมกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่มีผลต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก เช่น ความกระด้างของน้ำ ซึ่งทราบกันมานานแล้วว่าความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำอ่อนจะมีพิษมากกว่าในน้ำกระด้าง นอกจากนี้ยังมีผู้รายงานว่า ความเป็นพิษของปรอทยังขึ้นอยู่กับ

อุณหภูมิด้วย คือ Macheod and Pessah (1973) ศึกษาพบว่าความเข้มข้นของปรอทคลอไรด์ ที่ให้ผล TL_{50} 96-hr ต่อปลาเทร้า คือ 0.4 0.28 และ 0.22 ส่วนในล้านส่วน ที่ 5 10 และ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการทดลองสังเกตพบว่าปลาที่เหลือรอดจากการทดลองในช่วง 96 ชั่วโมงบางตัวมีสีของลำตัวเข้มขึ้น และบางตัวมีลำตัวงอเล็กน้อย ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Matida et al. (1971) ซึ่งพบว่าปลาที่เลี้ยงในสารละลายปรอทในระดับความเข้มข้นสูงจะมีสีคล้ำขึ้น กินอาหารน้อยลง และไม่สามารถทรงตัวอยู่ในสภาพปกติได้ บางครั้งมีลำตัวคดงอและตาบอด ซึ่งคล้ายคลึงกับผลการทดลองนี้คือ พบว่ามีปลาบางตัวมีสีของลำตัวเข้มขึ้น และการว่ายน้ำผิดปกติไปจากปลาในกลุ่มควบคุม

จากการสังเกตการเกิดตะกอน (precipitation) ในภาชนะแก้วที่ใช้ทำการทดลอง พบว่าเมื่อนำสารละลายเลดไนเตรทที่เตรียมเป็น stock solution เจือจางด้วยน้ำประปาที่เตรียมไว้ให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ พบว่า สารละลายใหม่ที่ได้นี้ เกิดตะกอนสีขาวขุ่นทันทีที่ทำการเจือจาง ตะกอนสีขาวขุ่นนี้จะค่อย ๆ ตกตะกอนลงมาตามผิวและบริเวณก้นภาชนะแก้วที่ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่าความกระด้าง อยู่ในเกณฑ์สูงคือประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป $CaCO_3$ ดังนั้นความเป็นพิษอาจน้อยลงกว่าที่ควรเป็น แต่ได้มีผู้ทำการศึกษาความเป็นพิษของตะกอนบางชนิดไว้ คือ Sparuge (1964) รายงานว่าตะกอนของสังกะสีไม่มีพิษเลยแต่จากการศึกษาของ Mount (1966) กลับพบว่าตะกอนสังกะสีมีพิษมากกว่าสังกะสีที่ละลาย แต่จากผลการทดลองนี้ พบว่าปลาตะเพียนขาวที่มีตะกอนของตะกั่วติดอยู่ตามบริเวณลำตัวและครีบต่าง ๆ ไม่มีอัตราการตายเพิ่มขึ้นอีกหลังจากทำการทดลอง 24 ชั่วโมงไปแล้ว แสดงว่าตะกอนที่เกิดขึ้นไม่มีพิษหรืออาจมีแต่น้อยมาก เนื่องจากปลาไม่แสดงอาการผิดปกติมากไปกว่าปลาในกลุ่มควบคุม เพียงแต่เคลื่อนที่ไม่สะดวกเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ทำให้ปลาตายจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีบางส่วนเกิดการตกตะกอนหรือถูกดูดซับไว้ที่ผิวแก้ว ส่วนสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ไม่มีตะกอนเกิดขึ้นในภาชนะแก้วที่ทดลอง พฤติกรรมของปลาตะเพียนขาวที่อยู่ในสารละลายนี้ แสดงอาการขาดหายใจไม่เด่นชัดเท่ากับปลาที่อยู่ในสารละลายเลดไนเตรท โดยพบว่าปลาจะค่อยๆ เชื่องซึมลง และมีปลาบางตัวที่ใกล้ตายจะมีสีเข้มกว่าปลาตัวอื่นๆ ก่อนตายพบว่าปลาจะว่ายอยู่บริเวณผิวน้ำ แสดงว่าปลาขาดออกซิเจน และนอกจากนี้การปิดเปิดของกระพุ้งแก้มปลาช้าลงมาก และในที่สุดปลาจะตายแล้วจมลงสู่ก้นภาชนะ

5.1.2 ความเป็นพิษเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์และเลดไนเตรทต่อไรน้ำแดง

ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของสารละลายโลหะหนัก ทั้งสองชนิดต่อไรน้ำแดง พบว่า ความเข้มข้นของปรอทไอออนที่ทำให้ไรน้ำแดงตาย 50 เปอร์เซนต์ในช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่า 0.015 และ 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของตะกั่วไอออนที่ทำให้ไรน้ำแดงตาย 50 เปอร์เซนต์ในช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.65 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่า ปรอทไอออนมีความเป็นพิษสูงกว่าตะกั่วไอออน เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการทดลองกับปลาตะเพียนขาว แต่ระดับความเข้มข้นที่ปลาตะเพียนขาวตาย 50 เปอร์เซนต์มีค่าสูงกว่าไรน้ำแดง สรุปได้ว่า ไรน้ำแดงเป็นสัตว์ทดลองที่มีความไว (sensitivity) ในการตอบสนองต่อปรอทและตะกั่ว สูงกว่าปลาตะเพียนขาว ไรน้ำแดงที่นำมาทำการทดลองนี้ มีอายุประมาณ 24 ชั่วโมง ซึ่งยังไม่มีไข่ใน brood chamber เมื่อทำการทดลองจนไรน้ำแดงมีอายุประมาณ 48 ชั่วโมง พบว่ามีไรน้ำแดงบางตัวออกลูกมา ในสารละลายที่ทำการทดลองทั้งสองชนิด ทั้งๆ ที่น้ำตัวกลางที่ทำการทดลองไม่ได้เติมอาหารลงไป ซึ่งแสดงว่า การสืบพันธุ์ของไรน้ำแดงไม่ขึ้นกับอาหาร แต่พบว่าจำนวนลูกไรน้ำแดงที่เกิดขึ้นในสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิด มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโลหะหนัก คือ สารละลายโลหะหนักมีความเข้มข้นสูงลูกไรน้ำแดงที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนน้อย และถ้าความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำ ปริมาณลูกไรน้ำแดงที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนมากกว่า ในการทดลองขั้นนี้มิได้บันทึกจำนวนลูกไรน้ำแดงไว้เพราะลูกไรน้ำแดงที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กมาก และมีสีซีดขาวไม่สะดวกในการนับจำนวน แต่ได้ทำการศึกษาจำนวนลูกไรน้ำแดงในขั้นทดสอบพิษรองเฉียบพลัน ซึ่งทำการทดลองในสารละลายโลหะหนักเติมอาหาร ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อต่อไปแล้ว

เมื่อพิจารณาอัตราการตายของไรน้ำแดงในสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิดเปรียบเทียบกันพบว่า ไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ และเลดไนเตรท จะเริ่มตายหลังจากระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง และมีอัตราการตายสะสมตลอดช่วงระยะเวลา 48 ชั่วโมง ไรน้ำแดงที่ใกล้ตายจะมีสีซีดจางลง และหยุดการเคลื่อนที่ โดยนอนอยู่ที่ก้นบีกเกอร์ แต่ยังมีอวัยวะบางส่วนเคลื่อนไหวอยู่ แต่ต่อมาสีกครู่ไรน้ำแดงก็หยุดนิ่ง ซึ่งถือว่าไรน้ำแดงตายในขณะนี้

ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิด สรุปได้ว่า ปรอทมีความ

เป็นพิษสูงกว่าตะกั่ว เนื่องจาก ปริมาณความเข้มข้นของปรอทที่ทำให้ สัตว์ทดลองทั้งสองชนิด ตาย 50 เปอร์เซนต์ (LC_{50}) มีค่าต่ำกว่าสารละลายตะกั่ว และจากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นดังกล่าว ระหว่างสัตว์ทดลองทั้งสองชนิด พบว่าไรน้ำแดง เป็นสัตว์ทดลองที่มีความไว (sensitivity) ในการตอบสนองต่อปรอทและตะกั่วสูงกว่าปลาตะเพียนขาว ดังนั้น ไรน้ำแดงน่าจะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการวาริชพิษวิทยา เนื่องจากเพาะเลี้ยงได้ง่าย มีวงชีวิตสั้น และที่สำคัญมีความไวในการตอบสนองต่อโลหะหนัก ได้ดีกว่าปลาตะเพียนขาว

5.2 การศึกษาพิษรองเฉียบพลัน

5.2.1 ผลการศึกษาการใช้ออกซิเจน (oxygen consumption) ของปลาตะเพียนขาว

5.2.1.1 ผลของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ต่อปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ 3 ระดับความเข้มข้น และกลุ่มควบคุมในระยะเวลา 30 วัน ทำการศึกษาการใช้ออกซิเจนของปลาขณะเริ่มต้นทดลอง (หลังจากระยะเวลาที่ปลาสัมผัสกับสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ประมาณ 15 ถึง 20 นาที) และทุกระยะ 10 วันต่อมาจนครบ 30 วัน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้ออกซิเจนของปลาที่อยู่ในสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ กับกลุ่มควบคุม โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Varience, ANOVA) แล้วทดสอบว่ามีข้อมูลการใช้ออกซิเจนของปลาในความเข้มข้นใดที่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมในระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้ Duncan's multiple range test ผลการทดลองพบว่า ปลาตะเพียนขาวในสารละลายเข้มข้น 0.02 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเริ่มต้นทดลอง ปลามีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่าปลาในกลุ่มควบคุมแต่ในช่วงระยะเวลา 10 20 และ 30 วัน ปลาสามารถปรับตัว ให้มีอัตราการใช้ออกซิเจนลดลงและไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อพิจารณาการตายของปลาในสารละลายนี้พบว่า ปลามีอัตราการตายสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีอัตราการตายสะสมในระยะเวลา 30 วันเท่ากับ 23.3 และ 60 เปอร์เซนต์สำหรับปลาที่อยู่ในสารละลายเข้มข้น

0.02 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ปลาในกลุ่มควบคุมมีอัตราการตายสะสม 3.3 เปอร์เซนต์ ส่วนปลาที่อยู่ในระดับความเข้มข้น 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเริ่มต้นทดลองปลามีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ในระยะเวลา 10 และ 20 วันต่อมา ปลากลับมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำกว่าปลาในกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อพิจารณาอัตราการตายของปลาในสารละลายความเข้มข้นนี้พบว่า ปลามีอัตราการตายสะสมสูงมากคือ ในระยะเวลา 30 วันเท่ากับ 96.7 เปอร์เซนต์ จนกระทั่งปลาที่เหลืออยู่ไม่เพียงพอในการนำมาวิเคราะห์อัตราการใช้ออกซิเจนได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ส่วนปลาในสารละลายปรอทเข้มข้น 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรอทจะกระตุ้นการใช้ออกซิเจนของปลา ในช่วงเวลาเริ่มต้นทดลอง แต่ต่อมาจะยับยั้งการใช้ออกซิเจนของปลา ทำให้ปลาตายได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นที่ได้จากการนำค่า 0.1 คูณกับค่าระดับ 24-h LC_{50} ซึ่งเป็นค่าประเมินระดับความเข้มข้นของสารพิษที่ยอมให้เจือปนอยู่ได้ในน้ำทิ้ง ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไปในสหรัฐอเมริกา (Sprauge, 1971) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปลาที่เลี้ยงในสารละลายความเข้มข้นนี้ มีอัตราการใช้ออกซิเจนในระยะเริ่มต้นทดลองต่างกับกลุ่มควบคุม แต่หลังจากระยะเวลา 10 วันต่อมา ปลาสามารถปรับตัวให้มีอัตราการใช้ออกซิเจนไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมได้ เมื่อพิจารณาการตายร่วมด้วยพบว่ามีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังนั้นระดับความเข้มข้น 0.04 มิลลิกรัมนี้จึงเป็นค่าความเข้มข้นที่สูงเกินไปที่จะนำมากำหนดระดับความเข้มข้นของสารพิษที่ยอมให้เจือปนอยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งวิธีการกำหนดระดับความเข้มข้นโดยใช้ค่า 0.1 คูณกับค่าระดับ 24-h LC_{50} จึงไม่เหมาะสมกับประเทศไทย เมื่อพิจารณาปลาในสารละลายเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ยังมีการตายสูงกว่ากลุ่มควบคุม แม้ว่าอัตราการใช้ออกซิเจนไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมในระยะเวลา 30 วันก็ตาม ดังนั้นการกำหนดค่าระดับที่ปลอดภัยของสารปรอท จึงควรกำหนดให้ต่ำกว่าระดับความเข้มข้นที่ทำการทดลอง จนกระทั่งพบว่าผลการทดลองไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม และควรใช้ค่าระดับความเข้มข้นที่ได้นี้ มาศึกษาผลระยะยาว (Chronic test) ต่อไป

5.2.1.2 ผลของสารละลายเลดไนเตรท ต่อการใช้ออกซิเจน ของปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเลดไนเตรต 3 ระดับความเข้มข้นและกลุ่มควบคุม ในระยะเวลา 30 วัน ทำการวัดการใช้ออกซิเจนของปลาในระยะเวลาเริ่มต้นทดลองและทุก ๆ 10 วันต่อมา จนครบ 30 วันแล้วทดสอบความแตกต่างของการใช้ออกซิเจนของปลาในระดับความเข้มข้น

ต่าง ๆ กับกลุ่มควบคุม ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงในสารละลายเข้มข้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการใช้ออกซิเจนไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมตลอดระยะเวลา 30 วัน ในระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อพิจารณาเปอร์เซนต์การรอดตายของปลาในสารละลายนี้ พบว่าปลามีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซนต์ตลอดช่วงเวลาการทดลองปลาที่เลี้ยงในสารละลายเข้มข้น 11.7 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าในระยะเวลาเริ่มต้นทดลอง ปลามีอัตราการใช้ออกซิเจนไม่แตกต่างไปจากกลุ่มควบคุม ในระยะเวลา 10 วันต่อมากลับพบว่า ปลามีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำกว่ากลุ่มควบคุม อาจเป็นเพราะปลายังอยู่ในระยะปรับตัว แต่ในระยะเวลา 20 และ 30 วันต่อมา ปลามีอัตราการใช้ออกซิเจนไม่ต่างไปจากชุดควบคุม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าระดับความเข้มข้น 11.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ยับยั้งการใช้ออกซิเจนของปลาในช่วงเริ่มต้นทดลองแต่เมื่อปลาสัมผัสกับเลดไนเตรทความเข้มข้นนี้นาน ๆ (ช่วงเวลา 10 วัน) อัตราการใช้ออกซิเจนของปลาต่ำลง แต่ปลาก็สามารถปรับตัวให้มีอัตราการใช้ออกซิเจน ไม่แตกต่างไปจากกลุ่มควบคุมได้ ในระยะเวลา 20 วันต่อมา เมื่อพิจารณาอัตราการตายของปลาในสารละลายความเข้มข้นนี้ พบว่า ปลามีอัตราการตายเพียง 1 เปอร์เซนต์เท่านั้น ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซนต์ ในระดับความเข้มข้น 17.6 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าอัตราการใช้ออกซิเจนของปลาต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ตลอดช่วงเวลาการทดลอง 30 วัน ซึ่งสรุปได้ว่าระดับความเข้มข้นนี้ จะยับยั้งอัตราการใช้ออกซิเจนของปลา โดยปลาไม่สามารถปรับตัวให้มีอัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งอาจเป็นเพราะโลหะหนักที่ปลาได้รับนั้นอาจเข้าไปสะสมบริเวณเหงือกของปลาและแสดงความเป็นพิษจนทำให้ประสิทธิภาพการแพร่ผ่านของออกซิเจนที่เหงือกปลาลดลง จนกระทั่งปลาไม่สามารถปรับตัวให้มีอัตราการใช้ออกซิเจน เทียบเท่ากับปลาในกลุ่มควบคุมได้ เมื่อพิจารณาการตายสะสมของปลาในสารละลายความเข้มข้นนี้ พบว่าสิ้นสุดลงหลังจากระยะเวลาสัมผัส 9 วัน โดยมีการตายคงที่คือ 10 เปอร์เซนต์

เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นที่ได้จากค่า 0.1 คูณกับค่าระดับ 24-h LC_{50} พบว่ามีค่าเท่ากับ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปลาที่เลี้ยงไว้ในสารละลายตะกั่ว ระดับความเข้มข้นนี้พบว่า ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมทั้งในแง่ อัตราการใช้ออกซิเจนและเปอร์เซนต์การตาย ดังนั้นระดับความเข้มข้นนี้ จึงควรนำมากำหนดเป็นระดับความเข้มข้นที่ใช้ศึกษาผลในระยะยาวต่อไป แต่อย่างไรก็ตาม การจะกำหนดมาตรฐาน จะต้องพิจารณาระดับความไวในการตอบสนองของ

โลหะหนัก ต่อสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ด้วย

จากผลการทดลองศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจน ของปลาในกลุ่มควบคุมเมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่า ในระยะเริ่มทำการทดลอง อัตราการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยของปลาต่ำกว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 20 และ 30 วัน ผลการทดลองนี้มีผู้ทำการศึกษาการใช้ออกซิเจนของปลาในขณะที่ตื่นตกใจเทียบกับปลาที่อยู่นิ่งๆ โดย Van Dam (1938) ศึกษาในปลาเทร้าขนาด 40 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 900 กรัม พบว่าประมาณ 80 เปอร์เซนต์ของออกซิเจน จะถูกดึงออกไปจากน้ำโดยเลือด จำนวน 80 เปอร์เซนต์นี้เรียกว่า จำนวนที่ถูกใช้ (utilization) เมื่อทำให้ปลาตกใจ (excitement) แล้ว จำนวนที่ถูกใช้จะลดลงมาอยู่ที่ 75 เปอร์เซนต์ และถ้ายิ่งเพิ่มให้ปลาตกใจมากขึ้น ปลาจะดึงออกซิเจนจากน้ำ เพียง 50 เปอร์เซนต์เท่านั้น ผลการศึกษาการใช้ออกซิเจนของปลาในสารละลายโลหะหนักในครั้งนี้จึงสรุปได้ว่า ปลาที่ทดลองในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นอาจมีอาการตื่นตกใจอยู่ เนื่องจากมีการเปลี่ยนที่อยู่ของปลา จากในอ่างอนุบาลลงมาอยู่ในภาชนะแก้วที่ใช้ทำการทดลอง จึงทำให้อัตราการใช้ออกซิเจน ต่ำกว่าหลังจากที่ทำการทดลองผ่านไป 10 วัน

จากผลการศึกษาพิษรองเฉียบพลันของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์และเลดไนเตรท ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับกลุ่มควบคุม ในแง่การใช้ออกซิเจน สรุปได้ว่าโลหะหนักทั้งสองชนิดมีผลยับยั้งอัตราการใช้ออกซิเจนของปลา โดยเฉพาะในระดับความเข้มข้นสูงและอาจเป็นสาเหตุหนึ่งในการตายของปลา โดยเฉพาะในช่วงทดสอบพิษรองเฉียบพลัน ซึ่งพบปลาจะแสดงอาการขาดอากาศก่อนตาย ส่วนผลการศึกษาการขับถ่ายแอมโมเนีย และการเจริญเติบโตของปลาไม่สามารถนำมาสรุปความแตกต่างได้ เนื่องจากมีปัจจัยในการทดลอง บางประการที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่น ความทนทานของปลาแต่ละตัวไม่เท่ากัน ทำให้ปลาบางตัวเจริญเติบโตได้ดี บางตัวก็ตายในระหว่างทำการทดลอง ทำให้การวัดน้ำหนักปลาที่เปลี่ยนแปลงไปเฉลี่ยต่อตัว มีความผันแปรมาก นอกจากนี้สภาพแวดล้อมในการทดลอง อาจไม่เอื้ออำนวยให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตได้ดี ชิ่งพินิจ และโยชิน (2527) รายงานว่าปลาตะเพียนขาวค่อนข้างจะเป็นปลาแม่น้ำมากกว่าปลาน้ำนิ่ง

5.2.2 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (NH_3-excretion)

จากผลการทดลองศึกษาการขับถ่ายแอมโมเนียของปลาตะเพียนขาวที่เลี้ยงไว้ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ และสารละลายเลดไนเตรท ไม่สามารถสรุปผลการทดลองได้ เนื่องจากมีปัจจัยในการทดลองบางประการที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ แบคทีเรียที่อยู่ในสารละลายขณะทำการทดลอง และแบคทีเรียที่ปลาขับถ่ายออกมาซึ่งอาจย่อยสลายแอมโมเนียที่ปลาขับถ่ายออกมา ทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่วิเคราะห์ได้ผิดพลาดดังสมการ (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2533)

$$NH_3\text{-}N \xrightarrow[\textit{Nitrosomonas}]{\hat{O}} NO_2^-\text{-}N \xrightarrow[\textit{Nitrobacter}]{\hat{O}} NO_3^-\text{-}N$$

นอกจากนี้ในขณะทำการทดลอง แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในขณะที่ปลาขับถ่ายออกมา อาจระเหยออกจากภาชนะที่ทำการทดลอง หรืออาจมีแอมโมเนีย จากอากาศละลายลงไปในสารละลายที่ทดลอง สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งคือขนาดปลาตะเพียนขาวที่ใช้ทำการทดลองมีขนาดเล็กมาก (3.0 ถึง 4.0 เซนติเมตร) ปริมาณแอมโมเนียที่ปลาขับถ่ายออกมา มีปริมาณน้อยมาก ทำให้การวิเคราะห์มีความผิดพลาดได้สูง

5.2.3 การเติบโต (growth)

ผลการศึกษาน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาตะเพียนขาว ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ และเลดไนเตรท 3 ระดับความเข้มข้นและกลุ่มควบคุม ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ (ANOVA) เนื่องจากมีความแปรปรวนของข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปของปลาในแต่ละความเข้มข้นแตกต่างกันมาก ซึ่งผิดเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักปลาที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทดลองได้ นอกจากนี้ขณะทำการทดลอง ในช่วงระยะเวลา 30 วัน พบว่าปลาบางตัวตายซึ่งทำให้น้ำหนักเฉลี่ยผิดพลาดไป นอกจากนี้ยังพบว่ามีปลาบางตัวที่มีการเติบโตเร็วกว่าปลาตัวอื่นๆ ในสารละลายความเข้มข้นเดียวกัน ซึ่ง Finney (1971) ได้กล่าวว่าเป็นเพราะความผันแปรตามธรรมชาติของ

สัตว์ทุกชนิด ย่อมมีพวกที่มีความว่องไว(sensitity) และพวกที่ทนทานต่อสารพิษซึ่งมีการกระจายเป็นรูปโค้งปกติ (normal distribution curve) แต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถคัดปลาที่มีความไวในการตอบสนองต่อโลหะหนักที่ใกล้เคียงกันได้ ทำให้ผลการวัดการเติบโตของปลา ไม่สามารถสรุปได้ เพียงแต่คาดเดาแนวโน้มของน้ำหนักปลาที่เปลี่ยนแปลงไปได้ว่า ปลาที่อยู่ในสารละลายโลหะหนัก มีการเติบโตช้ากว่าปลาในกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ ในภาชนะที่ทำการทดลอง ยังมีสภาพต่างกับสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติที่ปลาอาศัยอยู่ขณะเดียวกันในระหว่างทำการทดลองยังมีการเปลี่ยนถ่าย สารละลายโลหะหนักเพื่อให้มีระดับความเข้มข้นคงที่คาดว่าจะต้องมีผลกระทบต่อปลา ในการปรับตัวและการกินอาหารของปลา ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของปลา บางครั้งเพิ่มขึ้นและบางครั้งลดลง พินิจและโยธิน (2527) รายงานว่าปลาตะเพียนขาว ค่อนข้างเป็นปลาแม่น้ำมากกว่าปลาน้ำนิ่ง ดังนั้นการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาตะเพียนขาวขนาด 3-4 เซนติเมตร โดยวิธีชีวะวิเคราะห์ในน้ำนิ่งที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในห้องปฏิบัติการจึงไม่อาจสรุปผลการทดลองได้

5.2.4 <u>การศึกษาพิษรองเฉียบพลันของเมอร์คิวริคคลอไรด์ต่อไรน้ำแดง</u>

5.2.4.1 รูปร่างลักษณะ (morphology) จากการสังเกตรูปร่างลักษณะของไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับชุดควบคุมในแต่ละรุ่น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดู และทำการวัดขนาดไรน้ำแดง ไม่สามารถสังเกตลักษณะที่แตกต่างและลักษณะที่ผิดปกติได้ส่วนใหญ่ไรน้ำแดงที่เลี้ยงแยกเดี่ยวในหลอดทดลองขนาดเล็กมีขนาดความยาวของลำตัวประมาณ 0.6 ถึง 0.9 มิลลิเมตร ในระยะเจริญพันธุ์ ลำตัวมีสีแดงเรื่อๆ และค่อยมีสีซีดลงเมื่อใกล้ตาย การตอบสนองต่อแสงของไรน้ำแดง พบว่าไรน้ำแดงในชุดควบคุมจะเคลื่อนที่เข้าหาแสงทันทีโดยเฉพาะลูกไรน้ำแดงที่เกิดใหม่ ส่วนไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ มักไม่ค่อยเคลื่อนที่เข้าหาแสง ซึ่งอาจเป็นเพราะความเป็นพิษของปรอทซึ่งจะทำให้การเคลื่อนไหวของไรน้ำแดงช้าลง จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ปรอทในระดับความเข้มข้นที่ทดลองไม่ทำให้ไรน้ำแดง ทั้ง 5 รุ่นมีรูปร่างลักษณะเปลี่ยนแปลงไป

5.2.4.2 ช่วงอายุของไรน้ำแดง ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ ความ

เข้มข้น 0.001 0.002 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และกลุ่มควบคุมเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอายุไรน้ำแดงในแต่ละรุ่น (F_1 ถึง F_6) กับชุดควบคุม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยอายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงรุ่นต่อมาค่อย ๆ เพิ่มขึ้นแสดงว่า ไรน้ำแดงสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในการทดลองได้ และสรุปได้ว่า ผลของสารละลายปรอทในระดับความเข้มข้นที่ใช้ทดลอง ไม่มีผลต่ออายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

5.2.4.3 การสืบพันธุ์ (reproduction) ของไรน้ำแดงในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ 3 ระดับความเข้มข้นและกลุ่มควบคุม ทำการศึกษาต่อเนื่องในระยะเวลา 5 รุ่น แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่าง ของจำนวนลูกไรน้ำแดง ที่เกิดขึ้น และจำนวนครั้งของการเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis) ของไรน้ำแดงในแต่ละรุ่นเทียบกับกลุ่มควบคุม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าไรน้ำแดงรุ่นแรก (F_1) ที่เลี้ยงในสารละลายเข้มข้น 0.001 0.002 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกไรน้ำแดงเกิดใหม่ น้อยกว่าในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนจำนวนลูกไรน้ำแดง ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ในรุ่น F_2 ถึง F_6 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสรุปได้ว่าไรน้ำแดงในสารละลายปรอทความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ สามารถปรับตัวให้มีจำนวนลูกที่เกิดขึ้น ในรุ่นต่อมา (F_1) เพิ่มขึ้นได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับของปรอทนี้ ทำให้ไรน้ำแดงในรุ่นแรก (F_1)เพียงรุ่นเดียวเท่านั้นที่มีจำนวนลูกน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนจำนวนครั้งในการเกิดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis) ตลอดช่วงอายุของไรน้ำแดง ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ความเข้มข้น ทั้ง 3 ระดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในแต่ละรุ่นแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อคำนวณระดับความเข้มข้นของปรอท ที่ยอมให้มีได้ในสภาพแวดล้อม โดยไม่เป็นอันตรายต่อไรน้ำแดง MATC (maximum acceptable toxicant concentration) ตามวิธีการของ Biesinger and Christensen (1972) แล้วพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองดังกล่าวน่าจะกำหนดค่าระดับความปลอดภัยของปริมาณโลหะหนักต่อไรน้ำแดงจากค่า MATC และจากค่า 0.1 x 48-h LC_{50} ได้เพราะค่าทั้งสองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อทดลอบความแตกต่าง ของจำนวนลูกไรน้ำแดง ในสารละลายความเข้มข้นนี้ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญในรุ่น F_2 ถึง F_6

5.2.5 การศึกษาพิษรองเฉียบพลันของเลดไนเตรทต่อไรน้ำแดง

5.2.5.1 รูปร่างลักษณะ (Morphology) ผลการสังเกตไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้น 0.06 0.11 และ 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตรและกลุ่มควบคุม ด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้องสองตา พบว่าไม่มีความแตกต่างของความยาวของลำตัว หรือมีอวัยวะใด ๆ ผิดปกติ จากการสังเกต การตอบสนองต่อแสงของไรน้ำแดง ในสารละลายเลดไนเตรทเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าไรน้ำแดงตอบสนองต่อแสง โดยเคลื่อนที่เข้าหาแสงได้ใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าสารละลายตะกั่วในระดับความเข้มข้นที่ทดลองไม่มีผลต่อรูปร่างลักษณะ และการเคลื่อนที่ของไรน้ำแดง

5.2.5.2 ช่วงอายุของไรน้ำแดง ไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในแต่ละรุ่น พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยไรน้ำแดงในรุ่นต่อมา พบว่ามีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในหลอดทดลอง โดยมีอายุยืนยาวกว่าไรน้ำแดงในรุ่นแรก ๆ แต่การเพิ่มอายุนี้ ไรแดงในกลุ่มควบคุมและในสารละลายตะกั่วมีการปรับตัวจนมีอายุใกล้เคียงกัน จนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงสรุปได้ว่าสารละลายตะกั่ว ในระดับความเข้มข้นที่ทดลองไม่มีผลต่อจำนวนอายุของไรน้ำแดง

5.2.5.3 การสืบพันธุ์ (reproduction) ของไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทในแต่ละรุ่น และกลุ่มควบคุม พบว่าไรน้ำแดงที่นำมาทำการทดลอง มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis) 100 เปอร์เซนต์ เมื่อนำจำนวนลูกไรน้ำแดงในรุ่น F_1 มาหาค่า 16 % reproductive impairment ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ที่ยอมให้มีได้ในสภาวะแวดล้อมที่ไรน้ำแดงอาศัยอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตราย (Biesinger and Christensen, 1972) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.19 จากการทดสอบความแตกต่างของจำนวนลูกไรน้ำแดงในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้น ต่างๆ กับกลุ่มควบคุมด้วย Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วที่ไม่ทำให้จำนวนลูกไรน้ำแดงมีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมในทุก ๆ รุ่นคือ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อพิจารณาไรน้ำแดงในรุ่นแรก (F_1) พบว่าจำนวนลูกในสารละลายเลดไนเตรทเข้มข้น 0.16 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่ามีจำนวนลูกน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความเข้มข้น 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไม่แตกต่างจากความเข้มข้นอื่นและกลุ่ม

ควบคุม ไรน้ำแดงรุ่นที่สอง (F_2) ที่อยู่ในสารละลายเข้มข้น 0.11 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม แต่จำนวนลูกในสารละลายเข้มข้น 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ไรน้ำแดงในรุ่นที่สาม (F_3) ซึ่งเลี้ยงในสารละลายความเข้มข้น 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่พบว่าจำนวนลูกไรน้ำแดงในสารละลายเข้มข้น 0.11 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ไรน้ำแดงรุ่น F_4 ในสารละลายเลดไนเตรทความเข้มข้นต่างๆ และกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนไรน้ำแดงในรุ่น F_5 ที่เลี้ยงในสารละลายเลดไนเตรททั้งสามความเข้มข้นมีจำนวนลูกที่เกิดขึ้นสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่าไรน้ำแดงสามารถปรับตัวให้มีจำนวนลูกเพิ่มขึ้นได้ ในรุ่นต่อมาและในรุ่น F_6 ไรน้ำแดงในสารละลายทดสอบ มีจำนวนมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพอสรุปได้ว่า ไรน้ำแดงในรุ่นแรกๆ จะถูกสารละลายเลดไนเตรทยับยั้งการสืบพันธุ์ แต่ต่อมา สารละลายความเข้มข้นในระดับที่เตรียมนี้จะกระตุ้นการสืบพันธุ์ ทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งมีจำนวนมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า ในการศึกษาพิษรองเฉียบพลันของสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ และเลดไนเตรทต่อไรน้ำแดง เกี่ยวกับจำนวนลูกที่เกิดขึ้น จำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และช่วงอายุของไรน้ำแดงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมแล้วพบว่าการศึกษาจำนวนลูกไรน้ำแดงตลอดช่วงชีวิตในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆให้ผลการทดลองที่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม อย่างชัดเจน แต่การศึกษาจำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และช่วงอายุของไรน้ำแดง ในสารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์ และเลดไนเตรทความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าไม่สามารถระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ได้ ซึ่ง Biesinger and Christensen (1972) ได้แนะนำว่าในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารพิษต่อจำนวนลูกของไรน้ำแดง จะให้ผลในการวัดความไว ในการตอบสนองต่อสารพิษต่าง ๆ ได้ดีกว่าการศึกษาอัตราการตายของไรน้ำแดงในสารพิษนั้น สำหรับการประเมินค่า MATC (Maximum Acceptable Toxicant Concentration) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารพิษที่ยอมให้มีในแหล่งน้ำโดยไม่เป็นอันตราย Biesinger and Christensen (1972)

กล่าวว่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย คือความเข้มข้น ที่ทำให้จำนวนลูกไรน้ำแดง ลดลงน้อยกว่า 16 เปอร์เซนต์ของจำนวนลูก เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16 % reproductive impairment) ซึ่งสรุปได้ว่าระดับความปลอดภัยสำหรับปรอทคือ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับความปลอดภัยของตะกั่วคือ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาผลของโลหะหนักทั้งสองชนิดต่อปลาตะเพียนขาวและไรน้ำแดงแล้ว สรุปได้ว่า สัตว์ทดลองที่มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นสัตว์ทดลอง คือไรน้ำแดงเพราะเพาะเลี้ยงได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ มีวงจรชีวิตสั้น รวมทั้งยังเป็นสัตว์ทดลองที่มีความไว (sensitivity) สูงต่อโลหะหนักซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณากำหนดค่าระดับความปลอดภัยของสารพิษ เพราะค่าระดับที่กำหนดนี้ ย่อมให้ความปลอดภัย แก่สัตว์ที่มีความไวต่ำกว่า ไรน้ำแดงทั้งหมด อย่างไรก็ดี ควรทำการศึกษาต่อไปเพื่อค้นหาสัตว์ทดลองที่อาจมีความไวสูงกว่าไรน้ำแดง

อนึ่งระบบการทดลองนี้เป็นระบบน้ำนิ่ง (static system) ซึ่งทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ทำการทดลองกับปลาตะเพียนขาวทุก 48 และ 72 ชั่วโมง สำหรับสารละลายตะกั่ว และปรอทตามลำดับ แม้กระนั้นก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ในแง่คุณภาพน้ำที่อาจเปลี่ยนแปลงไปบ้างเนื่องจากมีการสะสมของสารที่ขับถ่ายออกมาจากปลา หรือมีความคลาดเคลื่อน ของระดับสารละลายที่เตรียมขึ้นมา เนื่องจากมีการตกตะกอนหรือมีบางส่วนอาจถูกดูดซับไว้ที่ผิวแก้ว แต่อย่างไรก็ตามข้อดีของระบบน้ำนิ่งคือ ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองได้อย่างรวดเร็ว และไม่ยุ่งยากเท่ากับระบบน้ำไหลผ่านตลอด (flow through system)

การทดลองครั้งนี้พบว่า สารละลายโลหะหนักทั้งสองชนิด ทำให้คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ในช่วงก่อนและหลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นลงแล้ว ส่วนระดับความเข้มข้นของสารละลายปรอท พบว่าลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 20 เปอร์เซนต์ และสารละลายตะกั่วลดลงประมาณ 17.0 เปอร์เซนต์ ภายในระยะเวลา 72 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ การลดลงของสารที่ใช้ทดลองนี้ APHA (1985) กล่าวว่าเกิดจากการดูดซับของปลาที่ทดลอง และการดูดซับติดกับผิวภายในของภาชนะที่ทำการทดลอง และสิ่งที่ปลาขับถ่ายออกมาจากการระเหยหรือสลายตัวเนื่องจากอิทธิพลอื่น ๆ เช่น ปริมาณออกซิเจนในน้ำ หรือแร่ธาตุต่างๆบางชนิดในน้ำที่ทำการทดลอง ซึ่งอาจมีผลในการตอบสนองของสัตว์ทดลอง ต่อสารละลายโลหะ

หนัก อนึ่งในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนสารละลายใหม่ เมื่อมีความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป โดยเปลี่ยนสารละลายปรอททุก ๆ 72 ชั่วโมง และเปลี่ยนสารละลายตะกั่ว ทุก ๆ 48 ชั่วโมง ซึ่งความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลายทั้งสอง อาจมากกว่า 10 เปอร์เซนต์เล็กน้อย APHA แนะนำให้เปลี่ยนสารละลายใหม่เมื่อระดับความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไปเกิน 10 เปอร์เซนต์ แต่การเปลี่ยนถ่ายสารละลายใหม่บ่อย ๆ อาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา ดังนั้นในการทดลอง จึงเปลี่ยนสารละลายในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Subcommitee of Fish Standard (1974) แนะนำให้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำสำหรับปลาที่เลี้ยงในอ่างอนุบาล (aquarium) เพียง 1 ใน 4 ส่วนและเดือนละ 1 ครั้งเท่านั้น ส่วนการทดลองเกี่ยวกับไรน้ำแดง เนื่องจากทำการทดลองในบิกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร และหลอดทดลองขนาดเล็ก (13 X 100 มิลลิเมตร) ทำให้สามารถเปลี่ยนถ่ายน้ำได้สะดวกจึงทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายทุก 24 ชั่วโมง หลังจากนับจำนวนไรน้ำแดงเสร็จสิ้นลงแล้ว แต่อย่างไรก็ดี Krzysztof และคณะ (1986) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบพิษเฉียบพลันของ โครเมียมต่อ Daphnia pulex ซึ่งทดลองในระบบเปลี่ยนน้ำ (renewal test) กับระบบน้ำนิ่ง (non-renewal test solution) โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เขาดัดแปลงขึ้นเอง พบว่าค่าระดับ 48-h EC_{50} มีค่า 0.22 mg Cr^{+6}/l ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเขาได้สรุปว่าระบบน้ำนิ่งและระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ อาจให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันเมื่อทำการทดลองในระยะเวลาสั้น ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย