บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาพิษเฉียบพลันของแคดเมียมไนเตรต คอปเปอร์ซัลเฟต และซิงค์ซัลเฟต ในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อไรน้ำแดง

5.1.1 ระดับความเป็นพิษเฉียบพลันที่ 48 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของโลหะหนักทั้งสามชนิดต่อไรน้ำแดง พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีที่ทำให้ไรน้ำแดง (Moina macrocopa Straus) ตาย 50 เปอร์เซนต์ (LC_{50}) ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.14, 0.019 และ 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แสดงว่าทองแดงมีพิษต่อไรน้ำแดงสูงที่สุด รองลงมา คือแคดเมียมและสังกะสีตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Khangarot และ Ray (1987) ที่รายงานว่า ทองแดงจะเป็นพิษต่อ Daphnia magna มากกว่าสังกะสีและแคดเมียม ในทำนองเดียวกัน ทองแดงก็มีพิษต่อ Daphnia hyalina สูงกว่าสังกะสีและแคดเมียม Baudouin และ Scoppa (1974) ส่วนการศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักต่างๆ ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นๆ เช่น หอยกาบเดี่ยว (snail) Lymnaea acuminata ที่ศึกษาโดย Khangarot และ Ray (1982) พบความเป็นพิษเรียงตามลำดับดังนี้ Hg > Cu > Cd > Ni > Cr > Zn ในขณะที่ Eisler และ Hennkey (1977) ศึกษาในหอย Mya avenaria พบว่า ความเป็นพิษของ Hg > Cd > Zn > Cr > Ni สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดการตายของไรน้ำแดง อาจเนื่องมาจากได้รับพิษของโลหะหนักทางเหงือก เพราะเหงือกจะเป็นอวัยวะเป้าหมาย และเป็นทางสำคัญที่โลหะหนักจะแสดงความเป็นพิษในสัตว์น้ำ (Torreblanca et al., 1991) ไรน้ำแดงหายใจโดยใช้เหงือกซึ่งอยู่บริเวณโคนระยางค์ทรวงอกด้านใน ดังนั้น เมื่อไรน้ำแดงโบกพัดสารละลายของโลหะผ่านเหงือกเพื่อแลกเปลี่ยนออกซิเจน ก็จะทำให้โลหะหนักต่างๆซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายของไรน้ำแดงได้

และโลหะหนักจะทำให้เกิดการตกตะกอนบริเวณเหงือก ทำให้คุณสมบัติในการเลือกผ่านของเซลล์ (semipermeable membrane) บริเวณเหงือกของไรน้ำแดงเปลี่ยนแปลง เป็นเหตุให้การแลกเปลี่ยนกาซเป็นไปอย่างไม่สะดวก และเกิดการขาดออกซิเจนขึ้นในเซลล์ส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไรน้ำแดงแสดงอาการที่บ่งบอกว่าขาดอากาศโดยการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวน้ำและโบกหัดระยางค์อย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มอัตราการหายใจ อนึ่ง ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์ กับประไพสิริ สิริกาญจน์ (2520) ได้อธิบายว่าสารประกอบของสังกะสี ทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำตาย โดยจะทำให้ปลาที่รับโลหะหนักเข้าไปขับเมือกออกมาตกตะกอนคลุมบนเหงือกซึ่งทำให้ระบบการแลกเปลี่ยนกาซ และระบบสมดุลของเกลือแร่ต่างๆในตัวปลาถูกทำลายลง หรือเป็นไปได้ว่า โลหะสังกะสีอาจจะไปจับตัวกับโปรโตพลาสซึมทำให้เซลล์ของอวัยวะต่างๆ ตาย นอกจากนี้ Skidmore (1970) พบว่า ซิงค์ซัลเฟตทำให้ระบบออสโมซิสของปลาเทราท์เสียไปและทำให้ปลาเทราท์ตายในที่สุดเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ไรน้ำแดงเป็นสัตว์ที่มีเปลือกหุ้มลำตัว เป็นสารพวกไคติน (chitin) ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันการซึมเข้าของสารละลายต่างๆ และ Yoshinari และ Subramanian (1977) พบว่าสารพวกไคตินนี้เป็นสารที่มีความสามารถสูงในการดูดซึมโลหะหนัก ดังนั้น เมื่อไรน้ำแดงสะสมโลหะหนักที่เปลือกหุ้มลำตัวมากขึ้น อาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปลือกหุ้มลำตัว ทำให้โลหะหนักสามารถซึมเข้าสู่ตัวของไรน้ำแดงได้มากขึ้น ซึ่งในการทดลองครั้งนี้สังเกตุว่า มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเปลือกหุ้มลำตัวของไรน้ำแดง โดยมีลักษณะบาง พองตัว และผิดรูปร่างไป ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งการพองตัวของเปลือกหุ้มลำตัวของไรน้ำแดงนี้ทำให้เกิดแรงลอยตัว ดังนั้น จากการทดลองโดยเฉพาะในสารละลายแคดเมียมไนเตรตจึงสังเกตุเห็นได้ชัดเจนว่า ไรน้ำแดงที่ตายจะลอยตัวอยู่ที่ผิวของสารละลาย

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำ พบว่า ปัจจัยคุณภาพน้ำที่วัดได้ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใช้ทดลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 10 ประกอบกับมีการเปลี่ยนสารละลายทุก 24 ชั่วโมง ดังนั้น ปัจจัยคุณภาพน้ำจึงไม่มีผลต่อความเป็นพิษของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดต่อไรน้ำแดงในการศึกษาครั้งนี้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ มาเปรียบเทียบกับการทดลองทางพิษวิทยา ของโลหะหนักในไรน้ำแดงชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 5.1 เห็นได้ชัดเจนว่า ความเป็นพิษของโลหะหนักต่างๆ ต่อไรน้ำแดงต่างสายพันธุ์จะไม่เท่ากัน โดยในสารละลายทองแดงพบว่า Daphnia hyalina

มีความไวในการตอบสนองต่อทองแดง สูงกว่าไรน้ำแดง Moina macrocopa ที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ แต่ใน Daphnia magna และ Cyclops abyssorum มีความไวในการตอบสนองต่ำกว่ามาก สำหรับในสารละลายสังกะสี พบว่า Daphnia magna และ Daphnia hyalina มีความไวในการตอบสนองสูงกว่าไรน้ำแดงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ แต่สำหรับ Cyclops abyssorum พบว่า ความไวในการตอบสนองต่อโลหะหนักต่ำมาก ยกเว้นการศึกษาของ Wong (1992) ที่ศึกษาในไรน้ำแดงชนิดเดียวกันแต่ให้ผลที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ Wong ให้อาหารแก่ไรน้ำแดงในขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งการที่ไรน้ำแดงไม่ได้รับอาหาร ทำให้เกิดความเครียด ผลที่ตามมาคือ ร่างกายอ่อนแอ และเมื่อได้รับสารพิษ จึงตอบสนองได้รวดเร็วและรุนแรง (เรวัติ วัฒนานุกูลกิจ, 2531)

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบความเป็นพิษของโลหะหนักต่างๆ ต่อไรน้ำแดงต่างสายพันธุ์

โลหะหนัก	สัตว์ทดลอง	48-h LC_{50} (mg/l)	เอกสารอ้างอิง
Cu	Daphnia magna	0.06	Biesinger & Christensen, 1972
	Daphnia hyalina	0.005	Baudouin & Scoppa, 1974
	Cyclops abyssorum	2.5	Baudouin & Scoppa, 1974
	Moina macrocopa	0.08 (ให้อาหาร)	Wong, 1992
Zn	Daphnia magna	0.28	Biesinger & Christensen, 1972
	Daphnia hyalina	0.04	Baudouin & Scoppa, 1974
	Cyclops abyssorum	5.5	Baudouin & Scoppa, 1974
	Moina macrocopa	1.17 (ให้อาหาร)	Wong, 1992

เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานความเป็นพิษของโลหะหนักในสัตว์มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในน้ำชนิดอื่น เช่นปลานิล โดยจารุวรรณ สมศิริ(2523) พบว่า ระดับ 48-h LC_{50} ของทองแดงและสังกะสีต่อปลานิลเท่ากับ 63.92 และ 74.76 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนในปลาตะเพียนที่ศึกษาโดย แววตา ทองระอา (2525) มีค่า 96-h LC_{50} ของทองแดงและสังกะสีเท่ากับ 1.26 และ 34.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในปลาตะเพียนขาวและปลาดุกด้านที่ศึกษาโดยประมาณ พรหมสุทธิรักษ์ (2521) พบว่า ค่า TL_{50} ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ของทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.235 และ 43 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สำหรับสังกะสีมีค่าเท่ากับ 1.35 และ 64 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 64 และ 95 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่า สัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่างๆ จะมีความไวในการตอบสนองต่อโลหะหนักต่ำกว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมาก อาจเป็นเพราะว่าสัตว์มีกระดูกสันหลังมีการพัฒนาอวัยวะต่างๆ เพื่อใช้ในการป้องกันและควบคุมความเป็นพิษของสารพิษต่างๆเช่นตับและไต ซึ่งในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังโดยเฉพาะไรน้ำแดงไม่มี ดังนั้นไรน้ำแดง จึงเป็นสัตว์ที่มีความไวต่อการตอบสนอง ต่อโลหะหนักที่ใช้ทดลองทั้ง 3 ชนิด สอดคล้องกับการศึกษาของธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์ และประยุทธ เจริญกุล (2535) ที่พบว่า ไรน้ำแดงเป็นสัตว์ทดลองที่มีความไวในการตอบสนองต่อปรอท และตะกั่วสูงกว่าปลาตะเพียนขาวมาก เพราะฉะนั้น ไรน้ำแดงจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นดัชนีชีวภาพ (bioindicator)เพื่อบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ดีกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่นที่มีผู้รายงานไว้ โดยเฉพาะกรณีของโลหะหนัก

5.1.2 การศึกษากราฟความเป็นพิษ หรือการประเมินความเป็นพิษจากกราฟความเป็นพิษ (toxicty curve)

จากการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด กับระยะเวลาที่ใช้ทดลอง มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นโค้งไฮเปอร์โบลิก (hyperbolic) ดังรูปที่ 4.7 แสดงว่า ความเป็นพิษของสารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด จึงเป็นแบบพิษสะสม ซึ่งทำให้การจะทำนายพิษเรื้อรังจากพิษเฉียบพลันทำได้ยาก เพราะมีปฏิสัมพันธ์ (interaction)ระหว่างระดับความเข้มข้นของสารพิษกับช่วงเวลาในการทดลอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การตอบสนองของไรน้ำแดงต่อโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ขึ้นกับปัจจัยของอัตราการทำลาย (rate ofdamage)และ

อัตราการซ่อมแซม (rate of repair) แล้วยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น อัตราการรับเข้า และ กระบวนการลดความเป็นพิษอีกด้วย (Giesy และ Graney, 1989) และเมื่อพิจารณาเส้นโค้งความเป็นพิษของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ชัดเจนว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของโลหะหนักสูงขึ้น เส้นกราฟจะเข้ามาใกล้แกนนอนมากขึ้น แสดงว่าถ้าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้น จะทำให้ระยะเวลาที่ไรน้ำแดงสามารถมีชีวิตอยู่ได้น้อยลง และเมื่อระดับความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดลดลง เส้นกราฟจะสูงขึ้นและขนานกับแกนตั้ง โดยจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อระยะเวลาในการทดลองมากขึ้น และในการทดลองนี้ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง เส้นกราฟเริ่มขนานกับแกนตั้งแล้ว ซึ่งแสดงว่า ที่ระดับ 48-h LC_{50} นี้ สามารถใช้เป็นระดับความเข้มข้นที่ไรน้ำแดงสามารถทนอยู่ได้โดยไม่ตาย (incipient lethal concentration) (APHA, 1985) และระดับความเข้มข้นที่ไรน้ำแดงสามารถทนอยู่ได้โดยไม่ตายของ ทองแดงมีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือแคดเมียม และสังกะสี ดังนั้น ทองแดงจึงมีพิษมากที่สุด รองลงมาคือแคดเมียม และสังกะสีซึ่งสอดคล้องกับการทดลองหาพิษเฉียบพลันดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

5.2 การศึกษาพิษรองเฉียบพลันของสารละลายโลหะหนักต่อไรน้ำแดง

แคดเมียมไนเตรต

5.2.1 ขนาดและรูปร่างลักษณะ

จากการสังเกตไรน้ำแดงในสารละลายแคดเมียมไนเตรต ด้วยกล้องสองตาและกล้องจุลทรรศน์ ไม่สามารถสังเกตลักษณะที่แตกต่างกันของไรน้ำแดงระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมได้ โดยไรน้ำแดงจะมีการเจริญเติบโตตั้งแต่เกิดจนมีอายุประมาณ 120 ชั่วโมง หรือหลังจากทำ parthenogenesis แล้วประมาณ 2 ครั้ง หลังจากนั้นจะมีการเจริญเติบโตช้ามาก และพบว่าไรน้ำแดงจะลอกคราบทุกๆ 24 ชั่วโมงก่อนเกิด parthenogenesis และลอกคราบทุกครั้งที่ทำ parthenogenesis เมื่อไรน้ำแดงใกล้จะตาย สีของลำตัวจะมีสีซีดขาว ซึ่งปกติจะมีสีแดงเรื่อๆ ลำตัวมีลักษณะผอมยาว เห็นสีของดาชัดเจน และส่วนใหญ่จะตายหลังจากแสดงอาการเหล่านี้แล้วประมาณ 24-36 ชั่วโมง เมื่อวัดขนาดเฉลี่ยของไรน้ำแดงในสารละลายแคดเมียมไนเตรตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมด้วยวิธี Duncan's multiple range

test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ก็พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยของไรน้ำแดงในระดับความเข้มข้นเดียวกันในแต่ละรุ่น ก็พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.014-0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างลักษณะ และขนาดลำตัวของไรน้ำแดง ซึ่งสอดคล้องกับ ธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์ และประยุทธ เจริญกุล (2535) ที่พบว่า ปรอทและตะกั่วไม่มีผลต่อรูปร่างและขนาดของไรน้ำแดง

5.2.2 การสืบพันธุ์

ไรน้ำแดงที่นำมาทดลอง ในระดับความเข้มข้นของแคดเมียม เท่ากับ 0.014, 0.024 และ 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 100 เปอร์เซนต์ ในทุกรุ่น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทำการศึกษาไม่ขัดขวางกระบวนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ แต่จากการทดลองพบว่า จำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ถึง F_3 ของกลุ่มทดลอง มีจำนวนลูกเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังนั้นเป็นไปได้ว่า ความเป็นพิษของแคดเมียมทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงลดน้อยลงซึ่งสอดคล้องกับ Burtraa และ Hart (1979) ที่พบว่า แคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลิตร ก็มีผลทำให้สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Daphnia sp. มีจำนวนลูกลดลง ซึ่ง Santry (1983) เชื่อว่า อาจเกิดจากแคดเมียมละลายอยู่ในไขมัน ที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานที่สำคัญ ของพวกครัสเตเชียน เมื่อไขมันนี้ถูกส่งไปยังอวัยวะต่างๆ แคดเมียมจึงอาจจะไปสะสมที่อวัยวะสืบพันธุ์ จึงทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงลดลง

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม เท่ากับ 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ของไรน้ำแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในทุกรุ่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเข้มข้นที่ระดับนี้ไรน้ำแดงเริ่มได้รับอิทธิพลจากพิษของโลหะหนัก โดยเฉพาะในรุ่น F_2 ทั้งนี้เนื่องจากว่า รุ่นนี้มีการสะสมสารพิษไว้มาก และเป็นรุ่นแรกที่สัมผัสสารพิษตั้งแต่เกิด จึงอาจมีความเครียดสูงและยังปรับตัวไม่ทัน ทำให้จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศลดลงมากที่สุด

5.2.3 อายุของไรน้ำแดง

ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมที่ระดับ 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากทำให้จำนวนครั้งของการทำ parthenogenesis และจำนวนลูกของไรน้ำแดงลดลงแล้วยังมีผลต่ออายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงด้วย กล่าวคือ ทำให้อายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงสั้นลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้ คาดว่าน่าจะเนื่องมาจากโลหะหนักเกิดการสะสมในร่างกายของไรน้ำแดง แล้วแสดงความเป็นพิษ ทำให้อายุของไรน้ำแดงสั้นลง และเมื่อพิจารณาอายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงในแต่ละรุ่น พบว่า ไรน้ำแดงของกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 0.036 ในรุ่น F_2 มีอายุเฉลี่ยน้อยที่สุด และเมื่อทดสอบความแตกต่างกันทางสถิติ พบว่าอายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_2 ของกลุ่มทดลองนี้แตกต่างจากรุ่น F_3, F_4 และ F_5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความเป็นพิษของแคดเมียม ประกอบกับความเครียดที่เกิดกับไรน้ำแดง ทำให้อ่อนแอ และตายเร็วกว่าปกติ

5.3 การศึกษาพิษรองเฉียบพลันของคอปเปอร์ซัลเฟตต่อไรน้ำแดง

5.3.1 ขนาดและรูปร่างลักษณะ

พบว่า ไรน้ำแดงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0.002, 0.003 และ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างลักษณะของไรน้ำแดง เมื่อวัดขนาดลำตัวของไรน้ำแดง จึงไม่พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเป็นพิษของทองแดงที่ระดับความเข้มข้น 0.002-0.005 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างลักษณะและขนาดลำตัวของไรน้ำแดง

5.3.2 การสืบพันธุ์ของไรน้ำแดง

พบว่า ไรน้ำแดงที่นำมาทดลองในรุ่น F_1 ถึง F_5 มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 100 เปอร์เซนต์ ในทุกรุ่น แสดงว่า ระดับความเข้มข้นของทองแดง 0.002-0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีความเป็นพิษสูงมากจนกระตุ้นให้ไรน้ำแดงมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และพบว่า จำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ถึงรุ่น F_5 ของกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.002, 0.003 และ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนลูกเฉลี่ยลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ดังนั้นสรุปได้ว่า ความเป็นพิษของทองแดงทำให้จำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงลดลง แต่เมื่อพิจารณาจำนวนลูกเฉลี่ยในแต่ละความเข้มข้นของกลุ่มทดลอง ตั้งแต่รุ่น F_1 ถึง F_5 พบว่าจำนวนลูกของไรน้ำแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะรุ่น F_5 ซึ่งมีจำนวนลูกมากกว่า รุ่น F_1 และ F_2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสรุปได้ว่าความเป็นพิษของทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 0.002 ถึง 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงลดลง แต่ไรน้ำแดงก็สามารถปรับตัวให้มีจำนวนลูกเพิ่มขึ้นได้

สำหรับจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดงก็พบว่า ทองแดงที่ระดับความเข้มข้น 0.002-0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้จำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดงลดลง แต่ไรน้ำแดงก็สามารถปรับตัว ให้มีจำนวนครั้งของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพิ่มขึ้นได้ เช่นเดียวกัน ซึ่งสาเหตุอาจจะเกิดจากทองแดง โดยปกติจะเป็นสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั่วไป แต่ต้องการในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นเมื่อไรน้ำแดงรับทองแดงเข้าสู่ร่างกาย จึงกระตุ้นให้สามารถปรับตัวเพื่อให้ทนอยู่ในสภาพที่มีทองแดงได้ดี และการปรับตัวนี้อาจทำได้ โดยการลดอัตราการรับทองแดงเข้าสู่ร่างกาย หรืออาจสะสมทองแดงในโครงสร้างทางเคมีที่เป็นอันตรายน้อยลงเป็นต้น ซึ่งลักษณะการปรับตัวของไรน้ำแดงที่ทำให้จำนวนลูก และจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพิ่มขึ้นนี้ จะไม่พบในการทดลองของสารละลายแคดเมียมไนเตรต ซึ่งอาจเป็นเพราะว่า แคดเมียมถูกจัดว่าเป็นสารพิษที่ไม่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตเลย

5.3.3 อายุของไรน้ำแดง

ความเป็นพิษของทองแดง นอกจากจะทำให้จำนวนลูกเฉลี่ยและจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดงลดลงแล้วยังทำให้อายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ไรน้ำแดงก็สามารถปรับตัวให้มีอายุเฉลี่ยสูงขึ้นได้ในสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 0.002-0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะในการทดลองพบว่าไรน้ำแดงในรุ่น F_5 มีจำนวนลูกเฉลี่ยมากกว่ารุ่น F_1, F_2, F_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.4 การศึกษาพิษรองเฉียบพลันของซิงค์ซัลเฟตต่อไรน้ำแดง

5.4.1 ขนาดและรูปร่างลักษณะ

จากการสังเกตไรน้ำแดงในสารละลายซิงค์ซัลเฟตไม่พบว่ามีลักษณะแตกต่างกันระหว่างไรน้ำแดงในสารละลายความเข้มข้นต่างๆ กับชุดควบคุมในแต่ละรุ่น แต่เมื่อนำมาวัดขนาดเฉลี่ยของไรน้ำแดง พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ 0.04 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรุ่นที่ 5 มีขนาดเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มทดลองความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ดังนั้นสรุปได้ว่า สังกะสีไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันของขนาดและรูปร่างลักษณะของไรน้ำแดงในการทดลองครั้งนี้

5.4.2 การสืบพันธุ์ของไรน้ำแดง

ไรน้ำแดงในสารละลายซิงค์ซัลเฟตในรุ่น F_1 ถึง F_5 มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 100 เปอร์เซนต์ ทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม ดังนั้นสรุปได้ว่า ระดับความเข้มข้นของสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.04-0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีความเป็นพิษต่อกระบวนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดง และจากการทดลองพบว่าจำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_1, F_2 F_3 และ F_4 ของกลุ่มทดลองมีจำนวนลูกเฉลี่ยลดลง เมื่อทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนรุ่น F_5 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น ที่มีจำนวนลูกเฉลี่ยของไรน้ำแดงลดน้อยลง จนแตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่า สังกะสีทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงลดน้อยลง แต่ไรน้ำแดงก็สามารถปรับตัวให้มีจำนวนลูกเพิ่มมากขึ้นได้

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ พบว่า สังกะสีมีผลทำให้จำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไรน้ำแดงลดลงเช่นเดียวกัน แต่ไรน้ำแดงก็สามารถปรับตัวให้มีจำนวนครั้งเฉลี่ยของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศสูงขึ้นได้ ซึ่งอาจเป็นเหตุผลเช่นเดียวกับการทดลองในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เพราะทองแดงและสังกะสีเป็นสารเคมีที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์และพืช จึงทำให้ไรน้ำแดงสามารถปรับตัวได้ดี และเนื่องจากความเป็นพิษของสังกะสีน้อยกว่าทองแดง หรือกลไกในการเกิดพิษที่แตกต่างกัน ดังนั้นในรุ่น F_5

จึงพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสี 1/4 LC_{50} เท่านั้นที่จำนวนลูกน้อยกว่ากลุ่มควบคุม แต่ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 1/10 LC_{50}-1/4 LC_{50} ก็ยังมีจำนวนลูกเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอยู่

5.4.3 อายุของไรน้ำแดง

อายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงในรุ่น F_1 ของกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้นมีอายุเฉลี่ยแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สังกะสีมีผลทำให้อายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงลดลง และเมื่อพิจารณาอายุเฉลี่ยของกลุ่มทดลองในรุ่น F_1 ถึง F_5 พบว่า ในรุ่น F_5 มีอายุเฉลี่ยสูงขึ้น เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ก็พบว่า รุ่น F_5 มีอายุเฉลี่ยมากกว่ารุ่น F_1, F_2 และ F_3 อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสรุปได้ว่า สังกะสีทำให้อายุเฉลี่ยของไรน้ำแดงลดลง แต่ไรน้ำแดงก็สามารถปรับตัวให้มีอายุเฉลี่ยสูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับเรื่องความเป็นพิษของสังกะสีต่อการสืบพันธุ์ที่กล่าวถึงข้างต้น ดังนั้นจึงอธิบายด้วยเหตุผลเดียวกัน

จากการศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ต่อไรน้ำแดงสามารถนำข้อมูลมาใช้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ ซึ่งระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตราย ต่อการแพร่พันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำและประโยชน์ทุกด้านที่มีต่อมนุษย์ (APHA, 1976)นี้ คือค่า maximum allowable toxicant concentration,MATC)ซึ่งBiesingerและ Christensen (1972)ได้แนะนำว่า การศึกษาผลของความเป็นพิษของสารพิษ ต่อการลดลงของจำนวนลูกของสัตว์ทดลอง จะให้ผลในการวัดการตอบสนองต่อสารพิษได้ดีกว่า การศึกษาถึงอัตราการตายของสัตว์ทดลองในสารพิษนั้น ดังนั้น การประเมินค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำก็คือ การหาค่าระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ที่ทำให้จำนวนลูกของไรน้ำแดงลดลงน้อยกว่าร้อยละ 16 ของจำนวนลูกในกลุ่มควบคุม (16% reproductive impairment) นั่นเอง ซึ่งจากการทดลองค่าระดับความเข้มข้นสูงสุดสำหรับแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ที่จะมีได้ในแหล่งน้ำเท่ากับ 0.03 0.002 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และจากค่า MATC นี้สามารถนำไปหาปัจจัยปรับค่าได้ (application factor, AF) ซึ่งค่าปัจจัยปรับค่านี้ ใช้สำหรับทำนายระดับปลอดภัย (safe concentration, SC) จากค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน และในการทดลองครั้งนี้ หาค่าปัจจัยปรับค่าของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีต่อไรน้ำแดงได้เท่ากับ 0.21, 0.01 และ 0.15 ตามลำดับ ซึ่งMount และ

Stephan (1967) ได้อธิบายว่า ปัจจัยปรับค่าของสารพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆนั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสารพิษ และชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการทดลอง กล่าวคือสำหรับสารพิษชนิดหนึ่ง ปัจจัยปรับค่าอาจแตกต่างกันเป็น 100 เท่า ระหว่างสัตว์ต่างชนิดกัน และในสัตว์ชนิดเดียวกัน ปัจจัยปรับค่าอาจผันแปรเป็น 10000 เท่า ระหว่างสารพิษแต่ละชนิด

5.5 การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพิษเฉียบพลันกับพิษเรื้อรัง

วิธีการที่ใช้พยากรณ์ผลของพิษเรื้อรังจากพิษเฉียบพลัน คือ การหาค่าสัดส่วนของพิษเฉียบพลันกับพิษเรื้อรัง (acute chronic ratio,ACR) ซึ่ง Stooff และCarton (1983) พบว่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ ระหว่างความเป็นพิษเฉียบพลัน และความเป็นพิษเรื้อรังของสารเคมี 126 ชนิด ต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำจืด 11 สายพันธุ์ มีค่าเท่ากับ 0.88 แสดงว่า พิษเรื้อรังมีความสัมพันธ์กับพิษเฉียบพลัน อนึ่ง Giesy และ Graney (1989)รายงานว่า สารเคมีส่วนใหญ่ที่สามารถทำนายพิษเรื้อรังจากพิษเฉียบพลันได้นั้น มักจะแสดงความเป็นพิษผ่านทางเซลล์เมมเบรน หรือ ทางระบบเมตาบอลิซึม มากกว่าผ่านกระบวนการทางกรรมพันธุ์ และจากการศึกษาครั้งนี้ เมื่อพิจารณาพิษเฉียบพลันและกราฟความเป็นพิษของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด พบว่า ความเป็นพิษของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ต่อไรน้ำแดงต่างออกฤทธิ์ผ่านทางเหงือก หรือเซลล์เมมเบรนเช่นกัน แต่การจะทำนายพิษเรื้อรังจากพิษเฉียบพลันไม่สามารถจะทำได้ เพราะกราฟความเป็นพิษมีลักษณะเป็นไฮเปอร์โบลิก แสดงว่ามีความซับซ้อนของการเกิดพิษจากหลายปัจจัย นอกจากนี้ค่า ACR ที่คำนวณได้ของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดก็ไม่คงที่ เป็นเพราะข้อมูลที่ได้มีความจำกัดมาก ในด้านจำนวนชนิด และสิ่งมีชีวิตที่ศึกษา

อย่างไรก็ตาม จากการทดลองในครั้งนี้ มีข้อสังเกตุว่า พิษเฉียบพลันของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด น่าจะมีความสัมพันธ์กับพิษรองเฉียบพลันในระดับหนึ่ง เพราะระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใช้ทดลองพิษรองเฉียบพลันอยู่ในช่วงต่ำกว่า LC_{50} ก็ยังพบว่าจำนวนลูกที่เกิด และจำนวนครั้งของการทำ parthenogenesis ของไรน้ำแดงลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรุ่นแรกๆของการทดลอง(F_1และF_2) แต่ในรุ่น F_3 ,F_4 และ F_5 จะมีความแปรปรวนมาก อาจเป็นเพราะไรน้ำแดงรุ่นหลังๆสามารถปรับตัวได้

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ของการทดลองพิษสะสมของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดต่อไรน้ำแดง เมื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากเช่นเดียวกับการทดลองพิษเฉียบพลัน แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้มีการเปลี่ยนถ่ายสารละลายทุก 24 ชั่วโมง เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองอยู่แล้ว ดังนั้น ปัจจัยที่เกี่ยวกับคุณภาพน้ำที่ใช้ทดลอง จึงไม่มีผลต่อการทดลองในครั้งนี้

อย่างไรก็ตาม เป็นที่สังเกตุว่าจำนวนลูกเฉลี่ย จำนวนครั้งเฉลี่ยของการทำ parthenogenesis และอายุเฉลี่ย ของไรน้ำแดงในรุ่น F_2 ของกลุ่มควบคุม แตกต่างจากรุ่น F_4 และ F_5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ประยุทธ เจริญกุล (2535) ดังนั้นอาจเป็นสาเหตุเนื่องมาจากปัจจัยเกี่ยวกับคุณภาพอาหาร เพราะใช้อาหารชนิดเดียวกัน แต่ที่ไม่แสดงอิทธิพลอย่างเด่นชัดในรุ่น F_1 เพราะรุ่นนี้เริ่มสัมผัสอาหารที่ใช้ทดลองในช่วงอายุประมาณ 24 ชั่วโมง และไปแสดงอิทธิพลชัดเจนในรุ่น F_2 ส่วนในรุ่น F_3 นั้น เนื่องจากไรน้ำแดงเริ่มมีการปรับตัวเข้ากับอาหารที่ใช้ชนิดใหม่ได้แล้วจึงไม่แสดงผลที่แตกต่างจากรุ่นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย