วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 31:2 (95-101)

ความเป็นพิษของพาราควอทต่อสัตว์น้ำ

Toxicity of Paraquat to Aquatic Animal

นภาพร เลียดประถม[1]
Napaporn Leadprathom[1]

บทคัดย่อ

พาราควอทเป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยพาราควอทจัดว่าเป็นสารที่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายในแหล่งน้ำได้สูงเนื่องจากพาราควอทมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี แม้ว่าพาราควอทเป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มมีพิษเฉียบพลันระดับปานกลางต่อสัตว์น้ำ และไม่มีแนวโน้มที่จะสะสมในสิ่งมีชีวิตแต่จากการศึกษาความเป็นพิษของพาราควอทในหลายการศึกษาพบว่าพาราควอทมีผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อในอวัยวะสำคัญของสัตว์น้ำเช่น เหงือก ตับ และไต ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่ากลไกที่ทำลายเซลคือการชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระของพาราควอทโดยมีรายงานว่าพาราควอทมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับการทำงานของเอนไซม์และระดับของสารที่มีส่วนในการยับยั้งอนุมูลอิสระของสัตว์น้ำเช่น เอนไซม์ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส เอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส รวมถึงสารที่มีบทบาทต่อการต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารกลูตาไธโอน กรดแอสคอบิค นอกจากนี้กลไกของพาราควอทมีแนวโน้มจะมีผลข้างเคียงต่อกลไกการทำงานอื่นของสัตว์น้ำ เช่น ระบบสืบพันธุ์ ดังนั้นพาราควอทจึงอาจเป็นสารที่ทำให้เกิดภัยคุกคามต่อสัตว์น้ำและส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำในระดับประชากรได้

คำสำคัญ: พาราควอท ความเป็นพิษ สัตว์น้ำ

Abstract

Paraquat is a widely used herbicide in Thailand and other countries. Paraquat is a harmful chemical which can be easily distributed in an aquatic environment due to its high solubility in water. Paraquat is classified as a moderately toxic chemical for lethal toxicity with a relatively low potential to bioaccumulate in aquatic animals. However, many studies have shown that paraquat can damage important tissues in aquatic animals, e.g. gills, liver, and kidneys. Paraquat is toxic because it induces free radicals in the cells of organisms. Many reports have shown that paraquat affects or alters the activity of enzymes that respond to reactive oxygen species (ROS) in aquatic animals, such as superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GPx), as well as the levels of antioxidants such as glutathione and ascorbic acid. Paraquat also indirectly affects other important mechanisms such as the reproductive systems of fish. These findings may indicate that the toxicity of paraquat is potentially harmful to aquatic animal health and the aquatic animal population.

Keyword: Paraquat, Toxicity, Aquatic animal

คำนำ

สารกำจัดศัตรูพืชนับเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นอย่างหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะสารในกลุ่มกำจัดวัชพืชที่นับวันจะมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นทั่วโลก เนื่องจากการใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืชมีต้นทุนน้อยกว่าการกำจัดวัชพืชโดยใช้วิธีการทางกายภาพ พาราควอทเป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก จากสถิติ

[1]คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จันทบุรี 22170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำเข้าของสารกำจัดศัตรูพืชของประเทศไทยพบว่าพาราควอทเป็นสารที่มีปริมาณการนำเข้าอยู่ในสิบอันดับแรก เช่น ในปี 2553 พาราควอทมีการนำเข้าเป็นอันดับสอง (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2554) และจากคุณสมบัติของพาราควอทซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงส่งผลให้พาราควอทสามารถแพร่กระจายไปในระบบนิเวศทางน้ำได้สูง แต่เมื่อพิจารณาจากการจัดลำดับความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยการประเมินจากค่าพิษเฉียบพลัน LC50 พบว่าเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่อสัตว์น้ำในระดับปานกลาง (Kamrin,1997) อย่างไรก็ตามแม้ว่าพาราควอทอาจไม่ทำให้สัตว์น้ำมีอันตรายถึงชีวิตอย่างเฉียบพลันแต่ในหลายการศึกษาพบว่าพาราควอทสามารถทำให้เกิดอันตรายอื่นต่อสัตว์น้ำทั้งในระดับสรีระวิทยาและระดับชีวโมเลกุลซึ่งอาจส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ดังนั้นบทความนี้จึงได้กล่าวถึงคุณสมบัติและกลไกการออกฤทธิ์ และพิษของพาราควอทต่อสัตว์น้ำทั้งในระดับสรีระวิทยาและชีววิทยาโมเลกุลที่ได้มีการศึกษาวิจัยในสัตว์น้ำประเภทต่างๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับพิษของพาราควอทต่อสัตว์น้ำมากขึ้น และนำไปสู่การจัดการและการป้องกันผลกระทบของพาราควอทต่อสัตว์น้ำในอนาคต

1. ข้อมูลทางกายภาพและเคมีของพาราควอท

พาราควอทเป็นสารสังเคราะห์ทางเคมีที่ผลิตขึ้นในปี 1882 แต่ความสามารถในการเป็นสารกำจัดศัตรูพืชถูกค้นพบในปี 1959 (Ecobichon, 2001) โดยพาราควอทมีชื่อทางเคมีว่าเมธิลไวโอโลเจน ไดคลอไรด์ (methyl viologen dichloride) หรือ 1,1'ไดเมธิล-4,4' ไบไพริดิเนียมไดคลอไรด์ (1,1'-dimethyl-4,4' bipyridinium dichloride) โดยชื่อทางการค้าของพาราควอทที่เป็นที่รู้จัก เช่น กรัมม็อกโซน ไตรควอท หรือเดกซ์ซูรอน กลไกการออกฤทธิ์ของพาราควอทเกิดขึ้นโดยการเข้าไปขัดขวางการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในกระบวนการการสังเคราะห์แสงของพืช โดยการยับยั้งการรีดิวซ์ NAPD ไปเป็น NADPH ซึ่งการขัดขวางดังกล่าวส่งผลให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระขึ้น จากนั้นอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับไขมันไม่อิ่มตัวในเยื่อหุ้มเซล ทำให้ออร์กาเนล (organelle) ของพืชถูกทำลาย และเกิดการตายของเซลในที่สุด (Suntres, 2002) ลักษณะภายนอกของพาราควอทเป็นผลึกของแข็งที่เป็นสีขาวใสหรือเป็นผงสีขาวค่อนข้างเหลือง พาราควอทสามารถละลายน้ำได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น โดยมีคุณสมบัติในการการละลายน้ำอยู่ที่ 700,000 มก./ล. (IPSC, 1991) พาราควอทสามารถคงรูปได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นกรด และไม่คงรูปในน้ำที่มีความเป็นด่างสูง มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 340 องศาเซลเซียส ค่าความดันไออยู่ที่ $<10^{-8}$ กิโลปาสคาล ที่ 25 องศาเซลเซียส จึงทำให้พาราควอทมีโอกาสการระเหยสู่อากาศน้อย และค่าคงที่การละลายน้ำ/ออคทานอล (log Kow) ของพาราควอทมีค่าอยู่ที่ -4.5 จึงทำให้โอกาสที่พาราควอทจะสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตน้อย อย่างไรก็ตามพบว่าพาราควอทมีคุณสมบัติในการดูดซับกับดินตะกอนได้เป็นอย่างดีโดยมีการรายงานค่าคงที่ในการดูดซับในดิน K_{oc} ของพาราควอทอยู่ที่ 8400-40,000,000 การย่อยสลายของพาราควอทในน้ำทั้งในสภาพกรดและด่างได้ค่า DT50 เท่ากับ 37 วัน ส่วนค่า DT50 ในดินพบว่าพาราควอทมีการย่อยสลายได้ช้ามากคืออยู่ระหว่าง 10-20 ปี (European Commission, 2003)

2. ค่าความเป็นพิษของพาราควอทในสัตว์น้ำ

มีการศึกษาค่าความเป็นพิษของสารพาราควอทในสัตว์น้ำหลายประเภทโดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสารชนิดอื่นพบว่าโดยส่วนใหญ่พาราควอทมีค่า LC50 ซึ่งคือค่าความเข้มข้นของสารที่ทำให้สิ่งมีชีวิตที่ทดลองได้รับผลกระทบครึ่งหนึ่งของจำนวนสัตว์ทดลอง สูงกว่าสารกำจัดศัตรูพืชหลายชนิด จากการเปรียบเทียบในตารางที่ 1 พบว่าพาราควอทมีค่า LC50 สูงกว่าสารกำจัดศัตรูพืชประเภทอื่นยกเว้นคาร์บาริล กล่าวคือพาราควอทมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อย และมีการจัดระดับเพื่อเปรียบเทียบพิษเฉียบพลันของพาราควอทในสัตว์น้ำแต่ละประเภทพบว่าความเป็นพิษเฉียบพลันของพาราควอทต่อปลา แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก อยู่ในระดับค่อนข้างเป็นพิษ (slightly toxic LC50 10,000-100,000 μg/L) ยกเว้นสัตว์น้ำในกลุ่มกุ้งปู (crustacean) ที่พาราควอทมีพิษอยู่ในระดับปานกลาง (moderate toxic LC50 1,000-10,000 μg/L) (PAN, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 Toxicity of pesticides in Silver barb and Rainbow trout

Pesticide	LC_{50} at 96 hour (mg/L) Silver barb [1]	LC_{50} at 96 hour (mg/L) Rainbow trout [2]	Chemical type of Pesticide
Paraquat	5.05	0.75	Bipyridylium
Carbaryl	6.29	1.95	Carbamate
Carbofuran	1.10	0.38	Carbamate
DDT	0.029	0.0087	Organochlorine
Heptachlor	0.021	0.020	Organochlorine
Fenitrthion	2.84	0.0024	Organophosphate
Mavinphos	4.78	0.0119	Organophosphate

[1]ไมตรี (2530), [2] Johnson and Finley (1980)

เมื่อพิจารณาถึงการแพร่กระจายของพาราควอทสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำพบว่าในแม่น้ำหลายแห่งในประเทศไทยมีการตรวจพบการปนเปื้อนของพาราควอท เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำสงคราม แม่น้ำปากพนัง และแม่น้ำจันทบุรี และเมื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนของพาราควอทกับสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่นพบว่าสารพาราควอทในน้ำตัวอย่างมีปริมาณสารตกค้างที่ตรวจพบสูงกว่าสารในกลุ่มอื่นดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของพาราควอทที่ละลายน้ำได้ดี และการใช้พาราควอทที่แพร่หลายในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย

Table 2 Concentration of contaminated pesticide in Rivers, Thailand

River	Pesticide	Concentration (μg/L)	Reference
Chaopraya River	paraquat	1.30-3.40	ภิญญา (2545)
	DDT and derivatives	< 0.01-0.89	
	endosulfan and derivatives	0.01-2.80	
	Carbofuran	0.04-0.12	
Songkhram River	paraquat	2.30-87.00	ภิญญา (2545)
	DDT and derivatives	< 0.01	
	endosulfan and derivatives	< 0.01-0.22	
	carbofuran	0.39-1.40	
Pakpanang River	paraquat	< 0.01-3.70	ภิญญา (2545)
	DDT and derivatives	< 0.01-0.07	
	endosulfan and derivatives	< 0.01-0.01	
Chanthaburi River	paraquat	0.50-15.00	นภาพร และคณะ (2553)
	endosulfan and derivatives	<0.01-0.013	Leadprathom *et al.* (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตอบสนองต่อความเป็นพิษของพาราควอทในระดับสรีระวิทยาในสัตว์น้ำ

เนื่องจากพาราควอทเป็นสารที่สามารถชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical, reactive oxygen species) ซึ่งอนุมูลอิสระคือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนอิสระหรืออิเล็กตรอนไร้คู่ ทำให้อนุมูลอิสระมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาโดย การที่มีอนุมูลอิสระมากเกินไปจะเกิดสภาวะตึงเครียดจากอนุมูลอิสระ (oxidative stress) ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตราย ต่อเซลของสิ่งมีชีวิต และทำให้เกิดความเครียดขึ้นได้ ในการศึกษาสภาวะการเกิดอนุมูลอิสระในสัตว์น้ำที่ได้รับพารา ควอท พบว่าเหงือกของสัตว์น้ำเป็นอวัยวะที่ได้รับอันตรายจากพาราควอทมาก โดยเหงือกของสัตว์น้ำที่ได้รับสารมีการ เปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อเยื่อเหงือกอย่างเห็นได้ชัด เช่นจากการศึกษาของ Sinhaseni and Tesprateep (1987) ซึ่ง ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อจากการได้รับพาราควอทในปลาตะเพียน (*Puntius gonionotus* Beaker) ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดประจำถิ่นในประเทศไทย พบว่าปลาขนาด 3.45±0.5 กรัม ที่ได้รับสารพาราควอท 4 มก./ล. เป็นเวลา 12 วันมีอาการบวมบริเวณเนื้อเยื่อเหงือกเช่นเดียวกับการศึกษาของพิษเฉียบพลันของพาราควอทในปลานิลวัยอ่อน (*Oreochromis niloticus* Trewavas) เป็นเวลา 96 ชั่วโมงในประเทศไนจีเรียพบว่าเหงือกปลาที่ทำการทดสอบมีเลือด ออก (hemorrhaging) และมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเหงือกในปลานิลวัยอ่อนที่ได้รับพาราควอทที่ความเข้มข้น 11.2 มก./ล. โดยมีการเพิ่มขึ้นของเนื้อเยื่อเหงือกเล็กน้อย (mild hyperplasia) แต่ในปลาที่ได้รับพาราควอทที่ความเข้ม ข้นที่สูงขึ้น (12.0 มก./ล. และ 14.2 มก./ล.) กลับพบการหดตัวของเซลเนื้อเยื่อ (atrophy) และพบการลดลงของการ ขยับแผ่นปิดเหงือก (operculum) ในปลาที่ได้รับพาราควอทใน 24 ชั่วโมงแรก (Babatunde, *et al*., 2001) เช่นเดียวกับ การทดลองในปลาคู้ดำ (*Colossoma macropomum*) ที่ได้รับพาราควอทความเข้มข้น 10 มก./ล. เป็นระยะเวลา 21 วัน ซึ่งพบว่าเหงือกของปลามีอาการเลือดออกเช่นเดียวกัน (Salazar-Lugo *et al*., 2011) เนื่องมาจากเหงือกเป็น อวัยวะที่สัมผัสกับน้ำโดยตรงเพื่อการแลกเปลี่ยนก๊าซจึงอาจส่งผลให้พาราควอทที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำสามารถสัมผัสกับ เนื้อเยื่อเหงือกโดยตรงทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลายจากพิษของพาราควอท และการที่เนื้อเยื่อเหงือกถูกทำลายอาจมีผลกระ ทบต่อการหายใจและออสโมเรกูเลชั่นของสัตว์น้ำได้

นอกจากเหงือกของสัตว์น้ำแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาในอวัยวะอื่น ๆ ของสัตว์น้ำเช่น ตับและ ไต จากการศึกษาในปลาคู้ดำ (*Colossoma macropomum*) ที่ได้รับพาราควอทความเข้มข้น 10 มก./ล. เป็นระยะ เวลา 21 วัน พบว่าโครมาตินในนิวเคลียสของเซลตับถูกย่อยสลาย (karyolysis) และยังพบการเพิ่มขึ้นของเซลใน เนื้อเยื่อไต (hyperplasia) ด้วย (Salazar-Lugo *et al*. 2011) เช่นเดียวกับการศึกษาพิษของพาราควอทต่อปลานิลที่ได้ รับพาราควอทระดับ 0.5 มก./ล. เป็นเวลา 45 วัน พบว่าปลามีการตายของเซลตับ (Necrosis) และเนื้อเยื่อตับของปลา ที่ได้รับพาราควอทมีการเพิ่มขึ้นขนาดของ cytoplasmatic vacuolization ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีปริมาณไขมันมาก จึง ทำให้ดัชนีมวลของตับต่อมวลของร่างกาย (hepato-somatic index) ของปลานิลที่ได้รับพาราควอท มีค่าสูงกว่าปลา ในชุดควบคุม (Figueiredo-Fernandes *et al*. 2006a) สาเหตุที่พาราควอทมีผลต่อตับและไตอาจเป็นเพราะว่าตับและ ไตนับว่าเป็นอวัยวะสำคัญในการกำจัดสารพิษดังนั้นจึงเป็นอวัยวะที่ได้รับผลกระทบต่อพาราควอทมาก

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมนับเป็นสิ่งสำคัญที่มักพบว่ามีผลกระทบต่อความเป็นพิษของสารเช่นเดียวกับพาราควอท ซึ่งพบว่ามีปัจจัยแวดล้อมบางอย่างที่มีผลต่อพิษของพาราควอท เช่น การทดลองในปลาคู้ดำ (*Colossoma macropomum*) ที่ได้รับพาราควอทความเข้มข้น 10 มก./ล. เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้พารา ควอทมีพิษต่อสัตว์น้ำมากขึ้น โดยปลาที่อยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเนื้อเยื่อเหงือกและตับถูกทำลายมากกว่าปลาที่อยู่ใน น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ (Salazar-Lugo *et al*. 2011) นอกจากอุณหภูมิแล้วยังพบว่าความเค็มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ ความเป็นพิษของพาราควอทโดยจากการศึกษาของ นภาพร และคณะ (2555) พบว่าในปลากะพงขาวที่ได้รับพารา ควอท 33 มก./ล. เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ในสภาพที่ความเค็ม (30 กรัม/ลิตร) มีอัตราการตายมากกว่าปลากะพงที่ได้รับ พาราควอทในความเค็มต่ำ (0 และ15 กรัม/ลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตอบสนองต่อความเป็นพิษของพาราควอทในระดับชีวโมเลกุล

ด้วยกลไกสำคัญของพาราควอทคือการชักนำการสร้างสารอนุมูลอิสระดังกล่าวมาแล้วนั้น ทำให้มีความสนใจในการศึกษาสารชีวโมเลกุลที่มีการตอบสนองต่อการต้านอนุมูลอิสระ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) คะตาเลส (catalase) กลูต้าไธโอนเพอร์ออกซิเดส (glutathionperoxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในสิ่งมีชีวิตที่มีหน้าที่ในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระประเภทต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีสารที่ไม่ใช่เอนไซม์ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้เช่น กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) กลูต้าไธโอน (glutathione) โทคลอเฟอรราล (tochopherals) เป็นต้น (Dafre *et al*., 2004)

จากการศึกษาสารในกลุ่มเอนไซม์ที่ต้านอนุมูลอิสระพบว่าในปลานิลที่ได้รับพาราควอท 0.5 มก./ล. เป็นเวลา 45 วันมีการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาของเอนไซม์ ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) กลูต้าไธ-โอนเอสทรานเฟอร์เรส (glutathione stranferase) กลูต้าไธโอนรีดัคเตส (Figneiredo-Fernandes *et al*. 2006b) ในขณะที่การทดสอบความเป็นพิษของพาราควอทในหอยน้ำจืดฝาเดียว *Biomphalaria glabrata* ที่ความเข้มข้น 0.5 มก./ล.เป็นเวลา 48 ชั่วโมงพบว่าพาราควอทมีผลไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) และพบการเพิ่มขึ้นของ lipidperoxidase (Cochon *et al,* 2007) โดยอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อพาราควอทมีการชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นมีผลทำให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในกลไกของการกำจัดอนุมูลอิสระ เช่นเดียวกับ Dafre *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาในหอยแมลงภู่ (*Perna perna*) โดยทดสอบในหอยแมลงภู่ขนาด 7.5-8 ซม. ที่ได้รับพาราควอทความเข้มข้น 10 มก./ล. เป็นเวลา 48 ชั่วโมงพบว่าหอยที่ได้รับพาราควอทมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิดที่มีความเกี่ยวข้องกับกลไกของกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น เช่น กลูต้าไธโอนรีดัคเตส (Glutathione reductase) และ กลูโคส-6-ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส (Glucose 6 phosphate dehydeogenase G6PD) กลูต้าไธโอนรีดัคเตส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกลไกการรีดิวซ์กลูต้าไธโอนไดซัลไฟด์ (Glutathione disulfide GSSG) ให้เป็นกลูต้าไธโอนเพื่อใช้ในการกำจัดอนุมูลอิสระ ดังนั้นเมื่อพาราควอทชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระจึงชักนำให้กิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้น ส่วนเหตุผลที่พาราควอทไปมีผลต่อการทำงานของ G6PD ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกระบวนการรีดิวซ์เพนโตสฟอสเฟต โดยการรีดิวซ์จะทำให้ได้ NADPH มาเพื่อใช้ในการเปลี่ยนกลูต้าไธโอนไดซัลไฟด์ให้เป็นกลูต้าไธโอน ดังนั้นด้วยคุณสมบัติของพาราควอทมีที่ยับยั้งการรีดิวซ์ NAPD ไปเป็นNADPH ทำให้เกิดการชักนำการทำงานของ G6PD ขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่วิเคราะห์ผลกระทบของพาราควอทต่อสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น การศึกษาในปลาช่อน (*Channa punctata* Bloch) ที่ได้รับพาราควอทระดับ 1 มก./ล. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าพาราควอทมีผลยับยั้งสารต้านกลูตาไธโอนในตับและเหงือกปลา และพบการเพิ่มขึ้นของกรดแอสคอบิคในตับปลาที่ได้รับพาราควอท โดยกลูต้าไธโอนและกรดแอสคอร์บิคจัดว่าเป็นซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Parvez and Raisuddin, 2006) ในการศึกษาผลกระทบของพาราควอทต่อการทำงานในระดับของอนุมูลอิสระโดยตรง พบว่าหอยแมลงภู่ (*Mytilus gulloprovincialis*) ที่ได้รับพาราควอทมีการเพิ่มขึ้นของ ซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน และในหอยที่ได้รับพาราควอทที่ความเข้มข้นสูงเกิดความเป็นพิษต่อเซลมากกว่าหอยที่ได้รับพาราควอทที่ความเข้มข้นต่ำ (cell viability XXT) (Gomez-Mendikute and Cajaraville, 2003)

นอกจากในกลุ่มโปรตีนที่เกี่ยวของกับการต้านอนุมูลอิสระแล้วยังพบว่ามีการศึกษาผลกระทบของพาราควอทในสารกลุ่มที่เกี่ยวกับการทำงานอย่างอื่น เช่น ในการศึกษาผลกระทบของพาราควอทต่อการเปลี่ยนแปลงเอนไซม์ อะซิทิลโคลินเอสเทอเรส (acetylcholinesterase) โดยทำการทดสอบในปลา common carp ที่ได้รับสารพาราควอทความเข้มข้น 1 มก./ล. เป็นเวลา120 นาที พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ อะซิทิลโคลินเอสเทอเรสมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ได้รับสาร (Lang *et al*. 1997) นอกจากนี้ยังมีการวัดการทำงานของ cytochome P450 ในปลานิลที่ได้รับพาราควอทความเข้มข้น 0.5 มก./ล. เป็นเวลา 45 วัน พบว่าในปลาเพศเมียที่ได้รับพาราควอทมีการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cytochome P450 มากขึ้น และในปลาเพศเมียที่ได้รับพาราควอทมีการเจริญของเซลไข่มากกว่าปลาเพศเมียในชุดควบคุม โดยพบว่าเมื่อกิจกรรมเอนไซม์ cytochome P450 เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศ (gonadosomatic index GSI) เพิ่มขึ้นและการผลิตไวไทโลจีนิน (vitellogenin) และการเจริญของไข่มากขึ้นตามลำดับ (Figneiredo-Fernandes *et al*. 2006b) โดยคาดว่ากลไกที่มีผลต่อการสืบพันธุ์น่าจะมีผลเนื่องมาจากผลกระทบของพาราควอทต่อเซลตับเป็นสำคัญ เป็นที่น่าสนใจว่านอกจากผลกระทบสัตว์น้ำจำพวกปลานิลแล้วยังพบว่าพาราควอทมีผลต่อการระดับฮอร์โมนเพศของสัตว์ในกลุ่มสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก (Amphibian) โดยพบว่าเนื้อเยื่ออัณฑะ (testis) ในกบ (*Rana esculenta*) ที่ได้รับพาราควอทมียับยั้งการผลิตฮอร์โมนเพศชนิดเทสโทสเตอโรน และในเนื้อเยื่อรังไข่ (ovary) มีการยับยั้ง การผลิตฮอร์โมนเพศชนิด17 beta estradiol เช่นเดียวกัน โดยคาดว่าการเกิดอนุมูลอิสระจากการชักนำของพาราควอทเข้าไปขัดขวางกระบวนการในการผลิตฮอร์โมนในกบ (Quassinti *et al*., 2009)

สรุป

พาราควอทเป็นสารที่มีพิษเฉียบพลันต่อสัตว์น้ำในระดับปานกลาง และมีแนวโน้มที่จะสะสมในสัตว์น้ำน้อย โดยส่วนใหญ่พบว่าความเป็นพิษของพาราควอทเกิดจากอนุมูลอิสระซึ่งเป็นกลไกโดยตรงของพาราควอทที่ชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในเซลของสิ่งมีชีวิตมากกว่าปกติทำให้ร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีกลไกในการปกป้องตนเองเช่น การสร้างเอนไซม์และสารที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระออกมาปกป้อง และเมื่อสัตว์น้ำได้รับพาราควอทมักตรวจพบการทำลายของเนื้อเยื่อโดยเฉพาะในอวัยวะที่สัมผัสกับพาราควอทโดยตรงเช่น เหงือก ตับ และไต และเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งว่าพาราควอทมีแนวโน้มที่จะมีผลข้างเคียงต่อการเปลี่ยนแปลงระบบสืบพันธุ์ในสัตว์น้ำ เช่น แนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงระบบสืบพันธุ์ในปลานิล โดยจากผลการศึกษาพบว่าพาราควอทมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญของไข่ปลา ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ถือว่าเป็นผลกระทบที่สำคัญเนื่องจากเป็นผลกระทบต่อกระบวนการการสืบพันธุ์ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรสิ่งมีชีวิต และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศได้ อย่างไรก็ตามเพียงผลกระทบโดยตรงที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระที่ส่งผลให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อสัตว์น้ำในอวัยวะที่สำคัญอาจจะเพียงพอที่ทำให้จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์นำในธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนการจัดทำบทความวิชาการในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

นภาพร เลียดประถม, รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ, ณัทธีรา สมารักษ์, วศิน ยุวนะเตมีย์. 2553. การแพร่กระจายของสาร กำจัดศัตรูพืชในแม่น้ำจันทบุรีและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ. มหาวิทยาลัยบูรพา. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

นภาพร เลียดประถม, ณัฐพงษ์ เทียมทัด, เจนวิทย์ ธรรมวิจารณ์, รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ. 2555. ผลกระทบของความเค็มต่อพิษเฉียบพลันของไซเปอร์เมทรินและพาราควอทในปลากะพงขาว. งานประชุมวิชาการประมงครั้งที่ 7. 6-8 ธ.ค. 2555 คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ภิญญา จุลินทร. 2545. การแพร่กระจายของสารพิษการเกษตรจากแหล่งเกษตรกรรมลงสู่แม่น้ำสายหลักของประเทศไทย. กองวัตถุมีพิษการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพ

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2530. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. กรมประมง. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2554. สถิติการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

Babatunde, M.M., Oladimeji, A.A., Balogun, J.K. 2001. Acute toxicity of Gramoxone to Oreochromis niloticus (Trewavas) in Nigeria.Water, Air, and Soil Pollution 131: 1–10.

Dafre, A.L.,b, Medeiros, I. D., Muller, I.C., Ventura, E.C., Bainy, A.C.D. 2004. Antioxidant enzymes and thiol/disulfide status in the digestive gland of the brown mussel *Perna perna* exposed to lead and paraquat. Chemico-Biological Interactions 149: 97–105.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cochon, A.C. Della Penna, A.B. Kristoff, G. Piol, M.N. San Martın de Viale, L.C. Verrengia Guerrero, N.R. 2007. Differential effects of paraquat on oxidative stress parameters and polyamine levels in two freshwater invertebrates. Ecotoxicology and Environmental Safety 68: 286–292.

Ecobichon, D. J. 2001. Toxic effect of pesticides. pp.763-810. In Klaassen, C. D. (Ed) Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. (6th ed.) McGraw-Hill. USA.

European Commission. 2003. Review report for active substance paraqaut European commission.

Figueiredo-Fernandes, A. Fontanhas-Fernandes, A., Rocha, E., Reis-Henriques, M.A. 2006a. The effect of paraquat on hepatic EROD activity, liver, and gonadal histology in males and females of nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed at different temperatures. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 51: 626–632.

Figueiredo-Fernandes, A., A. Fontanhas-Fernandes, A., F. Peixoto, F., Rocha, E., Reis-Henriques, M.A. 2006b. Effects of gender and temperature on oxidative stress enzymes in Nile tilapia Oreochromis niloticus exposed to paraquat. Pesticide Biochemistry and Physiology 85: 97–103.

Gomez-Mendikute, A. and Cajaraville, M.P. 2003. Comparative effects of cadmium, copper, paraquat and benzo[a]pyrene on the actin cytoskeleton and production of reactive oxygen species (ROS) in mussel haemocytes.Toxicology in Vitro 17: 539–546.

IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1991. Paraquat health and safety guide. World Health Organization. Geneva.

Johnson, W.W. and Finley, M.T. 1980. Handbook of acute toxicity of chemical to fish and aquatic invertebrates. United States Department of Interior Fish and Wildlife Service, Washington D.C.

Kamrin, M. A. 1997. Pesticide Profiles: Toxicity, Environment Impact, and Fate. Lewis publisher, Florida.

Lang, G., Kufcsak,O., Szegletes,T., Nemcsok, J. 1997. Different cholinesterases and inhibition of acetylcholinesterase by metidathion and paraquat in alimentary canal of common carp. Gen. Pharmac. 29(1): 55-59.

Leadprathom, N., Parkpain P., Satayavivad, J., Delaune, R.D., Jugsujinda, A.. 2009. Transport and deposition of organo-chlorine pesticides from farmland to estuary under tropical regime and their potential risk to aquatic biota. J. of Environmental Science and Health Part B 44(3): 249-261.

Parvez, S. and Raisuddin, S. 2006. Effects of paraquat on the freshwater fish *Channa punctata* (Bloch):non-enzymatic antioxidants as biomarkers of exposure. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 50: 392–397.

PAN (Pesticide Action Network). Ecotoxicity for Paraquat Dichloride. Available Sources: http://www.pesticideinfo.org/Detail_Chemical.jsp?Rec_Id=PC33358#Ecotoxicity, October 7, 2012.

Quassinti, L., Maccari, E., Murri, O., Bramucci, M. 2009. Effects of paraquat and glyphosate on steroidogenesis in gonads of the frog Rana esculenta in vitro. Pesticide Biochemistry and Physiology 93 :91–95.

Salazar-Lugo, R., Mata,C., Oliveros, A. Marina Rojas, L. Lemus, M. Rojas-Villarroel, E. 2011. Histopathological changes in gill, liver and kidney of neotropical fish Colossoma macropomum exposed to paraquat at different temperatures. Environmental toxicology and pharmacology 3 (1): 490–495.

Sinhaseni, P. and Tesprateep, T. 1987. Histopathological Effects of Paraquat and Gill Function of *Puntius gonionotus,* Bleeker. Bull. Environ. Contain. Toxicot. 38:308-312.

Suntres, Z.E. 2002. Role of antioxidants in paraquat toxicity. Toxicology 180: 65- 77.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้