

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารหนู

สารหนู (arsenic; As) พบได้ทั่วไปในธรรมชาติโดยจะจับตัวกับธาตุชนิดอื่นบนเปลือกโลกได้มากกว่า 20 ชนิด ดังนั้นจึงสามารถตรวจพบสารหนูกระจายได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำ แต่มีปริมาณที่ไม่สูงมากนัก ในธรรมชาติสารหนูจะปรากฏใน 2 รูปแบบ คือ สารหนูอินทรีย์ (organic arsenic) เช่น อาร์ซีนobetaine (arsenobetaine) อาร์ซีนoclorine (arsenochlorine) ไดเมทิลอาร์ซีนิค (dimethylarsenic) และสารหนูอนินทรีย์ (inorganic arsenic) เช่น อาร์ซีนเต (arsenate) อาร์ซีนิต (arsenite) เป็นต้น ซึ่งเรียกผลรวมของปริมาณสารหนูทั้ง 2 รูปแบบว่าสารหนูทั้งหมด (total arsenic) สารหนูมีหมายเลขอ้างอิง CASRN 7440-38-2 น้ำหนักโมเลกุล 74.92 เป็นของแข็งสีเทา มีจุดเดือดที่ 613 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 817 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 28 มิลลิเมตรปรอท ละลายได้ในกรดไนตริก สารหนูมีสภาวะการมีขั้วได้ 4 แบบ คือ -3, 0, +3 และ +5 ซึ่งทำให้สารประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ปัญหาการเกิดพิษของสารหนูในมนุษย์ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับสารหนู เช่น การทำเหมืองแร่ อุตสาหกรรม และของเสียจากชุมชน หากมีการบำบัดหรือการจัดการที่ไม่ถูกต้องก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติ ก็จะทำให้เกิดการสะสมและตกค้างในสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำได้ การได้รับสารหนูก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพมนุษย์ได้หลายระบบในร่างกาย รวมทั้งการเป็นสารก่อมะเร็ง (ATSDR, 2007; U.S.EPA, 1988, 1997)

ลักษณะดินและหินในธรรมชาติมีสารหนูเป็นส่วนประกอบ เช่น สารประกอบ arsenopyrite (FeAsS) นั้นมีสารหนูมากถึงร้อยละ 46 เหล็กร้อยละ 34 และกำมะถันร้อยละ 20 เมื่อเกิดจากการสลายตัวหรือชะล้าง สารหนูจึงแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในอากาศ ดินและน้ำ แล้วรวมกับออกซิเจนและอากาศกลายเป็น arsenate หรือ ถ้าบริเวณนั้นมีออกซิเจนน้อย เช่น บ่อน้ำลึกก็จะเปลี่ยนแปลงเป็น arsenite ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารหนูในรูปอนินทรีย์ที่มีความเป็นพิษสูงปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำและอาหารที่มนุษย์ใช้บริโภคจนเกิดผลเสียต่อสุขภาพ ในดินทั่วไปพบสารหนู

ได้ในปริมาณตั้งแต่ 0.1 – 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอากาศมีปริมาณสารหนูระหว่าง 0.4 – 30 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่ไม่ใช่แหล่งปนเปื้อน สามารถตรวจพบสารหนูได้ในปริมาณ 1 – 2 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ทำให้สารหนูในเพิ่มปริมาณมากขึ้น เช่น การทำเหมืองแร่ การใช้ปุ๋ยหรือยาฆ่าแมลงในการเกษตร และน้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำ ต่อเนื่องมายังอาหารสัตว์และสัตว์ที่มนุษย์ใช้เป็นอาหาร (ATSDR, 2007; IPCS, 2001; U.S.EPA, 1997)

2.2 การปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมและสัตว์น้ำ

ปริมาณสารหนูในตะกอนดินโดยธรรมชาติพบได้มีปริมาณน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักดิน ส่วนตะกอนดินจากบริเวณที่มีการปนเปื้อนจากสารหนู เช่น บริเวณใกล้แหล่งถลุงทองแดงมีปริมาณความเข้มข้นของสารหนูสูงถึง 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักดิน (ATSDR, 2007; IPCS, 2001; WHO, 2001) ในประเทศไทยจากรายงานของกรมควบคุมควบคุมมลพิษ (2541) พบว่าสารหนูปนเปื้อนในพื้นที่ที่ราบเชิงเขาและตะกอนน้ำพาของตัวอย่างที่ได้จากจังหวัดนครศรีธรรมราช มีสารหนูในปริมาณสูงกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่การศึกษาในพื้นที่อื่นของประเทศไทยยังไม่มีรายงานมากนัก

สารหนูในน้ำมีทั้งในรูปสารประกอบอนินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์ ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ ได้แก่ arsenite และ arsenate ส่วนในรูปของสารประกอบอินทรีย์พบได้น้อยกว่าสารประกอบอนินทรีย์ชนิดที่สำคัญ ได้แก่ methylarsonic acid และ dimethylarsinic acid ปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินโดยทั่วไปมีปริมาณต่ำ จากรายงานการสำรวจคุณภาพน้ำแม่น้ำท่าจีนปี 2525 ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พบว่าปริมาณสารหนูในแม่น้ำท่าจีนมีค่าโดยเฉลี่ยตลอดปี อยู่ในช่วง 1.2 – 6.8 ไมโครกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ในแหล่งน้ำจะมีปริมาณสารหนูปนเปื้อนในระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1 – 2 ไมโครกรัมต่อลิตร จนถึงมากกว่า 5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (Smedley, 2002) ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารหนูจากแหล่งต่างๆ ทั้งทางธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์

WHO (2001) รายงานว่ามนุษย์ได้รับสารหนูจากการบริโภคตั้งแต่ 20 ถึง 300 ไมโครกรัมต่อวัน โดยผ่านการบริโภคอาหารเป็นส่วนใหญ่ รายงานการวิจัยในปี 2538 เพื่อศึกษาหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในปลา กุ้ง หอย ปู และสาหร่ายในทะเลสาบสงขลาจำนวน 24

ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งมีชีวิตมีปริมาณสูงในปูทะเลเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ และจากรายงานสถานการณ์โลหะหนักในตะกอนดินและเนื้อเยื่อสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทยของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ในปี พ.ศ. 2546 พบสารหนูปนเปื้อนในเนื้อเยื่อปลากระบอกและปลาทู 0.026 และ 0.035 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสารหนูในสาหร่ายทะเลมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสัตว์ทะเลชนิดอื่นๆมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามสารหนูที่ตรวจพบจากปลาทะเลบางชนิดอาจพบสารหนูถึง 911 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ปริมาณสารหนูที่สะสมในเนื้อปลาจะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์น้ำ สภาพแวดล้อมของแต่ละภูมิภาคและปริมาณการปนเปื้อนในแหล่งน้ำหรือตะกอนดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546; ธนสวรรค์, 2551; WHO, 2001; Huang et al., 2003)

พื้นที่ในประเทศไทยพบว่ามีสายแร่ของสารหนูในพื้นที่หลายจังหวัด ได้แก่ สระบุรี สุพรรณบุรี ระยอง สระแก้ว กาญจนบุรี ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เลย หนองบัวลำภู หนองคาย ตาก เพชรบูรณ์ น่าน อุตรดิตถ์ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน นครศรีธรรมราช ตรัง ยะลา สงขลา พัทลุง และสตูล (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2548) การแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนในอาหารจึงควรมีการเฝ้าระวัง โดยเฉพาะสัตว์น้ำ ปลา หรือหอย เพราะแหล่งน้ำเป็นพื้นที่สะสมสารหนูหรือสารพิษอื่นได้เป็นอย่างดี Jankong และคณะ (2007) รายงานว่าตัวอย่างปลาช่อนที่เก็บจากพื้นที่อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อม มีปริมาณสารหนูทั้งหมด (total arsenic) ในเนื้อปลาสูงถึง 13.1 – 22.2 ไมโครกรัม/กรัม และเป็นสารหนูอนินทรีย์ถึง 0.73 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่พบว่าสูงเทียบเท่ากับที่พบในอาหารทะเล จึงแนะนำว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในปลาน้ำจืดให้มากขึ้นรวมทั้งให้ครอบคลุมพื้นที่อื่นด้วย อีกทั้งสัตว์น้ำจืดหลายชนิดเป็นอาหารที่คนไทยนิยมบริโภคมากกว่าอาหารทะเล จึงอาจเป็นแหล่งสะสมสารหนูและส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากการบริโภคสัตว์น้ำเหล่านี้ได้ ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในสัตว์น้ำจืดจากประเทศต่างๆ

ตารางที่ 1 ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในปลาน้ำจืด

ประเทศ	ชนิดปลา	ระดับความเข้มข้นของสารหนู	
		ทั้งหมด (ไมโครกรัม/กรัม)	อ้างอิง
โครเอเชีย	ปลาคาร์พ	0.016–0.07	Has-Schon et al. (2006)
	ปลากระบอก	0.255–0.42	
	ปลาไหล	0.084–0.124	
ไทย	ปลาช่อน	13.1–22.2	Jankong et al.(2007)
	ปลากด	6.58±0.30	
	ปลาเค็ม	1.92±0.26	
	ปลาตอง	2.43±0.09	
	ปลาจืด	7.68±1.4	
ปากีสถาน	ปลาช่อน	9.65±0.80	Abdul et al. (2009)
	ปลาช่อนงูเห่า	12.2±0.37	
	ปลากทราย	2.82±0.06	
	ปลาชะโอน	3.96±0.21	
	ปลาเนื้ออ่อน	8.85±0.04	
	ปลาบู๋	2.73±0.26	

พื้นที่จังหวัดเลย หนองบัวลำภู และหนองคาย มีสายแร่สารหนูไหลผ่านตามลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา จึงเป็นไปได้ว่าอาจจะพบสารหนูปนเปื้อนในดิน น้ำ และสัตว์น้ำ อีกทั้งลักษณะพื้นที่ของทั้ง 3 จังหวัดที่ติดต่อกับแม่น้ำโขง ซึ่งมีสารหนูปนเปื้อนตลอดทั้งสายน้ำที่ไหลผ่านประเทศจีน เวียดนาม กัมพูชาและลาวไทย แต่จากการทบทวนเอกสารพบว่าการศึกษาปริมาณการสะสมของสารหนูในน้ำ ตะกอนดินและสัตว์น้ำในลุ่มน้ำโขงด้านภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยที่ติดต่อกับประเทศลาวยังมีการศึกษาและรายงานน้อย (Buschmann and Berg, 2009; Polya et al.,

2008) สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (2553) รวบรวมรายงานปริมาณสารหนูในสิ่งแวดล้อมตามหมู่บ้านต่าง ๆ รอบเมืองทองคำในตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 - 2552 พบว่าในบางพื้นที่ที่มีปริมาณสารหนูในตะกอนดินสูงถึง 538 มิลลิกรัม/กิโลกรัมและในบ่อน้ำบาดาลหรือน้ำประปาหมู่บ้านสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุโลมได้สูงสุด (0.05 มิลลิกรัม/ลิตร) และไม่เหมาะที่จะนำมาบริโภค อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวยังจำกัดอยู่ในพื้นที่และมีความพยายามในการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพื้นที่แห่งนี้ตั้งอยู่ห่างจากแม่น้ำเลยและอำเภอวังสะพุงประมาณ 15 กิโลเมตร หากเกิดน้ำหลากหรือน้ำท่วม รวมทั้งการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินอาจจะทำให้โลหะหนักเหล่านี้เคลื่อนที่และแพร่กระจายลงสู่แม่น้ำเลยได้ จึงควรมีข้อมูลการศึกษาเพื่อประกอบการเฝ้าระวังและบริหารจัดการปัญหานี้ ซึ่งนอกจากจะศึกษาในดินและน้ำแล้วควรรวมถึงสัตว์น้ำที่มีโอกาสสัมผัสและสะสมโลหะหนักเพื่อใช้ประโยชน์เป็นตัวชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมและป้องกันการสะสมมากเกินไประดับที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์ในการนำมาบริโภค

การสะสมทางชีวภาพ (bioaccumulation) เป็นการศึกษาเพื่อหาสัดส่วนของปริมาณสารเคมีที่สะสมในเนื้อเยื่อของสัตว์เปรียบเทียบกับปริมาณของสารเคมีชนิดนั้นในน้ำหรือดินตะกอน เพื่อใช้บอกความระดับความรุนแรงหรือหาตัวบ่งชี้ที่เหมาะสมกับปัญหาในสภาพแวดล้อมนั้น สัตว์ชั้นต่ำหรือหอยรวมทั้งปลาบางชนิดจึงมักถูกเลือกใช้ในการศึกษา เนื่องจากมีโอกาสสัมผัสกับน้ำและดินตะกอนที่โลหะหนักสะสมอยู่เป็นเวลานาน Meador และคณะ (2004) รายงานค่าสะสมทางชีวภาพของสารหนูในปลาทะเลเทียบกับปริมาณในดินตะกอนมีค่าระหว่าง 0.6 - 62 Liu และคณะ (2007) พบว่าค่าสะสมทางชีวภาพของสารหนูในหอยทะเลเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำและดินตะกอนพบว่ามีค่า 164.5 - 363.8 และ 0.35 - 0.74 ตามลำดับ

การปนเปื้อนของสารหนูในห่วงโซ่อาหารมาจากการปนเปื้อนตามธรรมชาติและเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เมื่อเข้าสู่ธรรมชาติสารหนูจะไม่ถูกทำลายแต่อาจมีการเปลี่ยนรูป จากนั้นจะสะสมในดิน น้ำ พืชหรือสัตว์ที่มนุษย์ใช้บริโภค การศึกษาเกี่ยวกับสารหนูที่ปนเปื้อนในอาหารมีหลายประเด็นที่สำคัญ เช่น ลักษณะชนิดของสารหนู (arsenic species) การประเมินปริมาณการได้รับสารหนู การศึกษาเมแทบอลิซึมของสารหนูในมนุษย์ และการประเมินการเกิดพิษของสารหนู เป็นต้น (ATSDR, 2007; WHO, 2001) การเกิดพิษของสารหนูเนื่องจากการบริโภคอาหารขึ้นกับหลายปัจจัย ที่สำคัญประการหนึ่งคือวิธีการปรุงอาหาร (cooking method) เพราะอาหารส่วนใหญ่มักผ่านการปรุงก่อนบริโภค ซึ่งวิธีการปรุงอาหารมีผลต่อปริมาณสารหนูเมื่อเปรียบเทียบกับ

ปริมาณสารหนูในอาหารสด ทั้งการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่น จากรายงานของ Ersoy และคณะ (2006) ที่พบว่าปริมาณสารหนูในปลากระพงเมื่อผ่านการทอดและอบด้วยไมโครเวฟจะมีปริมาณสารหนูสูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Devesa และคณะ (2001) ที่พบว่าสารหนูในปลาค็อดและหอยสองฝาที่ผ่านการปรุงจะมีปริมาณมากขึ้นร้อยละ 27 และ 37 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเมื่อผ่านการหุงต้มโดยใช้น้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนสามารถตรวจพบปริมาณสารหนูเพิ่มขึ้นได้ถึง 5 – 8 เท่าหรืออาจมากถึงร้อยละ 50 (Ackerman et al., 2005; Bae et al., 2002; Laparra et al., 2005; Roychowdhury et al., 2002) แต่ในอาหารบางชนิดเมื่อผ่านกระบวนการปรุงกลับทำให้ปริมาณสารหนูลดลง เช่น สาหร่ายชนิด *Hizikia fusiforme* เมื่อผ่านขั้นตอนของการล้างและแช่สาหร่ายสามารถลดปริมาณสารหนูลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 60 (Hanaoka et al., 2001; Laparra et al., 2003) หรือจากรายงานของ Cubadda และคณะ (2003) ที่พบว่าเส้นพาสต้าที่ผ่านการปรุงจะมีปริมาณสารหนูลดลง เป็นต้น สาเหตุการเพิ่มขึ้นของสารหนูหลังการปรุงอาหารอาจมาจากการสูญเสียน้ำและส่วนประกอบอื่นที่ละลายน้ำได้ในระหว่างการปรุงอาหารจึงทำให้สารหนูมีความเข้มข้นมากขึ้น ส่วนสาเหตุของการลดลงนั้นอาจเพราะการสูญเสียปริมาณของสารหนูจากการระเหยหรือละลาย (Devesa et. al., 2008) อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะระบุได้อย่างชัดเจนในอาหารแต่ละชนิด จึงต้องศึกษาเป็นการเฉพาะชนิดอาหารแต่ละประเภท ซึ่งส่วนใหญ่มักศึกษาในอาหารทะเล ส่วนในสัตว์น้ำจืดทั้งปลาและหอยนั้นยังมีข้อมูลการศึกษาถึงผลของวิธีการปรุงอาหารต่อปริมาณสารหนูไม่มากนัก (ATSDR, 2008; Devesa et. al., 2008)

2.3 ข้อมูลเภสัชจลนศาสตร์

1) การดูดซึม ข้อมูลการศึกษาในมนุษย์พบว่า อาซีเนท (arsenate) และ อาซีไนท์ (arsenite) ถูกดูดซึมได้ดีในระบบทางเดินอาหาร Buchet และคณะ (1981) และ Tam และคณะ (1979) ที่รายงานว่าสามารถดูดซึมได้ 55 – 80% Hughes และคณะ (1994) ให้โซเดียมอาซีเนทแก่หนู rat โดยการกินแล้วเก็บอุจจาระมาตรวจหลัง 48 ชั่วโมงที่ได้รับสาร พบว่า เกิดการดูดซึมได้ 82 – 89% ของปริมาณที่ได้รับ ส่วนการดูดซึมโดยการหายใจนั้นพบว่า เกิดขึ้นได้ประมาณ 30 – 34% แต่อาจพบได้น้อยหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการละลายของสาร Wester และคณะ (1993) ศึกษา

การดูดซึมของสารหนูผ่านทางผิวหนังของลิงพบว่า ประมาณ 4.5 – 6.4% ที่ดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้

2) การแพร่กระจายในร่างกาย IPCS (2001) รายงานว่า การแพร่กระจายของสารหนูพบได้ในทุกอวัยวะของมนุษย์ ส่วนใหญ่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.05 – 0.15 พีพีเอ็ม ในขณะที่เส้นผมและเล็บตรวจพบสารหนูได้ถึง 0.65 และ 0.36 พีพีเอ็ม ตามลำดับ การวิเคราะห์เนื้อเยื่อของผู้ตายจากการกิน สารหนูประมาณ 3 กรัม พบในตับ 147 ไมโครกรัม/กรัม ในไต 27 ไมโครกรัม/กรัม ในกล้ามเนื้อ หัวใจ ม้าม ตับอ่อน ปอด ซีรีเบลลัม ประมาณ 11 – 12 ไมโครกรัม/กรัม นอกจากนี้ยังพบในสมอง ผิวหนัง และเลือด ในปริมาณระหว่าง 0.4 – 8 ไมโครกรัม/กรัม Somogyi และ Beck (1993) รายงานว่าสารหนูในรูปสารอนินทรีย์สามารถแพร่ผ่านรกและน้ำนมของมนุษย์ได้ สอดคล้องกับรายงานของ Grandjean และคณะ (1995) ที่รายงานว่าสามารถตรวจพบสารหนูในน้ำนมของมนุษย์ได้ในความเข้มข้นตั้งแต่ 0.0001 – 0.0004 พีพีเอ็ม IPCS (2001) รายงานว่า สารหนูในรูปอนินทรีย์มีค่าครึ่งชีวิตในการกำจัดสารออกจากเลือดในระยะแรกสั้นมาก หลัง 24 ชั่วโมงที่ได้รับสารพบในพลาสมาน้อยกว่า 0.1% ค่าครึ่งชีวิตในระยะที่สองใช้เวลาประมาณ 30 ชั่วโมงและในระยะที่สามใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ส่วนการได้รับทางหายใจพบว่าการแพร่กระจายไปยังตับ ไต กล้ามเนื้อ ระบบทางเดินอาหารและอื่น ๆ (Rhoads and Sanders, 1985)

3) การขับออกจากร่างกาย Pomray และคณะ (1980) รายงานว่า เมื่อมนุษย์ได้รับสารหนู $62.3 \pm 4\%$ ของปริมาณที่ได้รับถูกขับออกทางปัสสาวะ และ $6.1 \pm 2.8\%$ ถูกขับออกทางอุจจาระ ภายใน 7 วัน Dang และคณะ (1983) รายงานว่า สามารถตรวจพบสารหนูในน้ำนมของแม่หลังคลอด 1 – 3 เดือนในปริมาณ 0.2 – 1.1 นาโนกรัม/กรัม สอดคล้องกับรายงานของ Cancha และคณะ (1998) ที่ตรวจพบสารหนูในแม่หลังคลอด 3 สัปดาห์ – 5 เดือน ในปัสสาวะ 230 – 300 ไมโครกรัม/ลิตร และในน้ำนม 3.1 ไมโครกรัม/ลิตร

4) เมตาบอลิซึม กระบวนการเปลี่ยนแปลงสารหนูในรูปอนินทรีย์เพื่อการขับออกอาศัย 2 กระบวนการที่สำคัญ คือ 1) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือรีดักชันในการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างอาซีนและอาซีนไท และ 2) การเกิดปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (Methylation) เพื่อเปลี่ยนอาซีนไทให้เป็นโมโนเมทิลอาซีนไท (Monomethylarsenate, MMA) ไดเมทิลอาซีนิก แอซิด (dimethylarsinic acid, DMA) และไตรเมทิลเลชัน (trimethylated products) โดยใช้เอสอะดีโนซิล

เมไทโอนีน (S-adenosyl methionine, SAM) กลูตาไธโอน (Glutathione, GSH) และเมทิลโดเนอร์ (Methyl donor) เป็นปัจจัยร่วมที่จำเป็นในการเปลี่ยนแปลงสาร (ATSDR, 2007; Styblo et al., 1995) Hopenhayn-Rich และคณะ (1993) รายงานว่าในมนุษย์ที่ได้รับอาซิเนทและอาซิไนท์จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็น DMA และขับออกทางปัสสาวะได้มากกว่าชนิดอื่น ส่วนชนิด MMA มนุษย์ขับออกทางปัสสาวะได้มากกว่าสัตว์ทดลอง Vahter และคณะ (1995) รายงานว่าในมนุษย์ที่ดื่มน้ำซึ่งมีสารหนูปนเปื้อน 200 ไมโครกรัม/ลิตร พบการขับออกทางปัสสาวะในรูปสารอินทรีย์ประมาณ 25%, DMA ประมาณ 74% และ MMA 2.1%

2.4 ความเป็นพิษของสารหนู

สารหนูที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปสารประกอบทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์โดยอยู่ในรูป pentavalent forms เช่น arsenate, arsenic acid และในรูป trivalent forms เช่น arsenite, arsenous acid เป็นต้น เมื่อได้รับสารหนูโดยการบริโภคร่างกายสามารถดูดซึมได้มากถึงกว่าร้อยละ 80 และสามารถขับออกได้อย่างรวดเร็วโดย ร้อยละ 50 ของปริมาณที่ได้รับขับออกทางปัสสาวะได้ภายใน 48 ชั่วโมงหลังได้รับสาร และประมาณร้อยละ 75 ถูกขับออกภายใน 1 อาทิตย์ โดยผ่านกระบวนการเมตาโบลิซึม 2 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ ปฏิกริยารีดักชัน (reduction) เพื่อเปลี่ยนแปลงสารหนูที่อยู่ในรูป pentavalent ให้เป็น trivalent และปฏิกริยาออกซิเดทีฟเมทิลเลชัน (oxidative methylation) เพื่อเปลี่ยน trivalent arsenic ได้เมตาโบไลต์ที่สำคัญ คือ monomethylarsonic acid และ dimethylarsinic acid เพื่อขับออกทางปัสสาวะต่อไป เมื่อดูดซึมแล้วสารหนูจะกระจายไปทั่วร่างกายแล้วไปสะสมในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ตับ ไต ปอด กล้ามเนื้อ ม้าม พม เล็บ ผิวหนัง โดย พม เล็บ และผิวหนัง จะพบว่ามีปริมาณของสารหนูสะสมอยู่สูงสุด (ATSDR, 2007)

การเกิดพิษของสารหนูในรูป pentavalent เกิดจากสารหนูเข้าแทนที่ฟอสเฟส (phosphate) ของเอนไซม์ต่าง ๆ ในร่างกาย เนื่องจากสารหนูมีโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกันกับฟอสเฟต Hughes (2002) รายงานว่าสารหนูอาจเข้าแทนที่ฟอสเฟสในเอนไซม์ต่าง ๆ ได้มากถึง 200 ชนิด และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกริยาทางเคมีจนเกิดความผิดปกติ ส่วนสารหนูในรูป trivalent ทำให้เกิดผลเสียกับร่างกายโดยเข้าจับกับหมู่ sulfhydryl (-SH) group ของเอนไซม์ รีเซพเตอร์ หรือ โคเอนไซม์ จนนำไปสู่การยับยั้งปฏิกริยาชีวเคมีที่สำคัญและเกิดผลเสียต่อร่างกาย

ตามมา (ATSDR, 2007; Hughes, 2002; WHO, 2001) ส่วนกลไกการเกิดมะเร็งจากสารหนูจนถึงขณะนี้ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน แต่สันนิษฐานว่าเกิดจากความผิดปกติในระดับของโครโมโซม และจากการเหนี่ยวนำโดยอนุมูลอิสระที่เกิดระหว่างกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยอาจพิจารณาจัดให้สารหนูเป็นสารก่อมะเร็งแบบ epigenetic carcinogens (ATSDR, 2007) เมื่อได้รับสารหนูผ่านการบริโภคจะถูกดูดซึมและขับออกได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเกิดผลเสียต่อร่างกายเนื่องจากการได้รับสารหนูในปริมาณสูงหรือได้รับอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน (ATSDR, 2007; IPCS, 2001; WHO, 2001)

ความเป็นพิษของสารหนูเกิดขึ้นได้หลายระบบกับร่างกาย สารหนูอนินทรีย์มีความรุนแรงในการก่อพิษมากกว่าสารหนูสารหนูอินทรีย์ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างทางพันธะเคมีและความแข็งแรงในการจับตัวกับเซลล์ในร่างกาย เนื่องจากสารหนูมีลักษณะคล้ายกับฟอสเฟตจึงสามารถเข้าแทนที่ฟอสเฟตในเอนไซม์สำคัญของร่างกายได้หลายชนิด เช่น แทนที่ฟอสเฟตในกระบวนการสังเคราะห์ adenosine-5-phosphate (ATP) ทำให้กระบวนการหายใจระดับเซลล์ถูกขัดขวาง นอกจากนี้สารหนูสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ sulfhydryl groups เช่น glutathione และ cysteine เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่จำเป็นของเซลล์และเกิดผลเสียกับอวัยวะเหล่านั้นและร่างกายตามมา โดยพบว่ามนุษย์มีความไวต่อการเกิดพิษจากสารหนูมากกว่าสัตว์ทดลอง หลายหน่วยงานจัดสารหนูอนินทรีย์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ การเกิดมะเร็งจากสารหนูอนินทรีย์พบได้ที่ ผิวหนัง ปอด ตับและกระเพาะปัสสาวะ ส่วนกลไกการเกิดมะเร็งจากสารหนูจนถึงขณะนี้ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน แต่สันนิษฐานว่าเกิดจากความผิดปกติในระดับของโครโมโซม และจากการเหนี่ยวนำโดยอนุมูลอิสระที่เกิดระหว่างกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยอาจพิจารณาจัดให้สารหนูเป็นสารก่อมะเร็งแบบ epigenetic carcinogens ในปัจจุบันมีข้อมูลทางระบาดวิทยาของการเกิดมะเร็งจากในมนุษย์หลายประเทศ เช่น ไต้หวัน บังคลาเทศ และอินเดีย เป็นต้น (ATSDR, 2007; WHO, 2001) สถาบันวิจัยมะเร็งนานาชาติ (IARC, 1998) กำหนดค่าปริมาณอ้างอิง (reference dose) การได้รับสารหนูอนินทรีย์โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพมนุษย์จากพิษที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effects) เท่ากับ 3×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และกำหนดค่าศักยภาพการก่อมะเร็ง (carcinogenic potential slope) ของสารหนูอนินทรีย์เท่ากับ 1.5 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)⁻¹ ในประเทศไทยมีรายงานการเกิดพิษเนื่องจากการได้รับสารหนูในพื้นที่อำเภอรัตนบุรี จังหวัด

นครศรีธรรมราชเช่นเดียวกัน โดยมีสาเหตุมาจากการได้รับสารหนูในน้ำดื่มและอาหารที่ปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่ดีบุก สรุปความเป็นพิษของสารหนูต่อระบบต่างๆของร่างกายได้ ดังนี้

1) พิษต่อระบบไหลเวียนโลหิต Carmignani และคณะ (1985) ให้โซเดียมอาซีไนท์ เข้มข้น 50 ไมโครกรัมของสารหนู/มิลลิลิตร ผสมน้ำให้หนู rat และกระต่ายกินเวลา 18 และ 10 เดือน ตามลำดับ พบว่าทำให้ปริมาณเลือดและเลือดที่ออกจากหัวใจลดลงและทำให้แรงต้านทานในเส้นเลือดเพิ่มขึ้น Chang และคณะ (1991) รายงานว่าสารหนูความเข้มข้น 10 - 100 ไมโครกรัม/ลิตร สามารถทำลายเยื่อบุเซลล์เส้นเลือดแดงของโคที่นำมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการได้หลังบ่มไว้ 22 ชั่วโมง ข้อมูลการศึกษาในมนุษย์ Tseng (1977) รายงานว่าการได้รับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำดื่มทำให้เกิดโรคเท้าดำ (blackfoot disease) ในคนไต้หวันได้ในอัตรา 4.6 - 20.3 ต่อ 1,000 คน ซึ่งโรคนี้เกิดจากสารหนูทำลายเยื่อบุเซลล์เส้นเลือดส่วนปลายของร่างกายและทำให้สูญเสียการหมุนเวียนเลือดไปเลี้ยงส่วนนั้น ต่อมาจะกลายเป็นเนื้อตาย นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การได้รับสารหนูเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความดันสูงในมนุษย์ได้ด้วย (Badal and Kazuo, 2002)

2) พิษต่อผิวหนัง สารหนูจะยับยั้งการทำงานของไทโรซีน ฟอสฟาเตส (tyrosine phosphatase) ทำให้เกิดความไม่สมดุลของปฏิกิริยาฟอสโฟไรเลชันของเซลล์เคราตินในผิวหนังและความผิดปกติของการทำงานของเซลล์ (Kachinskas et al., 1997) Rahman และคณะ (1999) รายงานว่าการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยสารหนูในรูปอนินทรีย์ความเข้มข้น 0.5 ไมโครกรัม/ลิตร สามารถทำให้เกิดรอยโรคที่เซลล์ผิวหนังได้ ข้อมูลทางระบาดวิทยาพบว่าการได้รับสารหนูความเข้มข้น 0.01 - 0.1 มิลลิกรัมของสารหนู/กิโลกรัม/วัน ทำให้เกิดความผิดปกติของผิวหนังและเม็ดสีที่ผิวหนัง มีค่า NOAEL ระหว่าง 0.0004 - 0.0009 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน (IPCS, 2001) และจากการศึกษาของ Tseng และคณะ (1968) ที่พบว่า สารหนูทำให้เกิดการสะสมของเม็ดสีมากกว่าปกติ การอักเสบของเซลล์ผิวหนัง และได้ค่า NOAEL 0.0008 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ซึ่งถูกเลือกไปใช้ในการคำนวณความปลอดภัย

3) พิษต่อระบบสืบพันธุ์และตัวอ่อน Nemec และคณะ (1998) ให้สารหนูกับกระต่ายโดยการกินความเข้มข้น 0, 0.19, 0.75 และ 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ในวันที่ 6 - 18 ของการตั้งท้อง และให้หนู mice ความเข้มข้น 0, 7.5, 24, และ 48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ในวันที่ 6 - 15 ของการตั้งท้อง พบว่า เพิ่มการดูดกลับของตัวอ่อน และลดน้ำหนักของตัวอ่อน ได้ค่า NOAEL 0.75 และ 7.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน สำหรับกระต่ายและหนู mice ตามลำดับ Ferm และ Hanlon (1985) ให้

โซเดียมอะซิเนทเข้มข้น 150 – 250 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนังของหนู hamster ที่ตั้งท้อง 4 – 7 วัน พบว่า น้ำหนักตัวอ่อนลดลงและเพิ่มการดูดกลับตัวอ่อน Hood และคณะ (1979) ให้อะซิไนด์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว โดยการฉีดครั้งเดียวแก่หนู mice พบว่า ทำให้ตัวอ่อนมีความผิดปกติ

4) พิษต่อสารพันธุกรรม ทั้งอะซิเนทและอะซิไนด์สามารถเหนี่ยวนำให้เกิด sister chromatid exchange และ chromosomal aberrations ในเซลล์ไข่ของหนู hamster (Lee et al., 1985) เช่นเดียวกับที่ให้ผลต่อการทดสอบเมื่อใช้เซลล์ลิมโฟไซต์ (lymphocytes) ของมนุษย์ (Jha et al., 1992 ; Rasmussen and Menzel, 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าสารหนูเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระของออกซิเจนและเกิดความผิดปกติของดีเอ็นเอ

5) การเป็นสารก่อมะเร็ง มีข้อมูลเพียงพอที่ยืนยันว่าสารหนูในรูปสารอนินทรีย์เป็นสารก่อมะเร็งได้ในมนุษย์ สถาบันวิจัยมะเร็งนานาชาติจัดให้สารหนูเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1A Tseng และคณะ (1968) และ Tseng (1977) ศึกษาการได้รับสารหนูของคนไต้หวันประมาณ 40,000 คนจากการดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม 7,500 คน พบว่า ทำให้เกิดมะเร็งที่ผิวหนังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลนี้ยังพบในรายงานที่เกิดขึ้นในอีกหลายประเทศ (IPCS, 2001)

6) พิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน Blakley และคณะ (1980) รายงานว่าในมนุษย์ที่ได้รับอะซิไนด์ความเข้มข้น 0.5, 2 และ 10 มิลลิกรัมของสารหนู/ลิตร เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ทำให้เกิดภาวะกดภูมิคุ้มกันชนิดฮิวโมรอล Sikorski และคณะ (1989) ให้สารหนูความเข้มข้น 50 – 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยการฉีดให้หนู mice ครั้งเดียว พบว่าทำให้ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวลดลง ต่อมา Sikorski และคณะ (1991) ให้โซเดียมอะซิไนด์ เข้มข้น 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แบบต่อเนื่อง พบว่าทำให้การสร้างแอนติบอดีลดลง

2.5 มาตรฐานการปนเปื้อนสารหนูในสัตว์น้ำจืด

ค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของสารหนูในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข คือ กำหนดให้สารหนูปนเปื้อนในน้ำได้ไม่เกิน 50 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนในอาหารกำหนดให้พบสารหนูในรูปอนินทรีย์ได้ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับสัตว์น้ำและอาหารทะเลและสารหนูทั้งหมดไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับอาหารอื่นๆ (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2546) ส่วน

มาตรฐานการปนเปื้อนในตะกอนดินนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องอยู่ระหว่างการพัฒนาฐานมาตรฐานตะกอนดินเพื่อการบ่งชี้คุณภาพตะกอนดินและการบริหารจัดการ เพื่อปกป้องคุณภาพของตะกอนดินท้องน้ำไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินที่อาศัยในตะกอนดิน และปกป้องสุขภาพอนามัยของประชาชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

2.6 ข้อมูลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

มนุษย์ได้รับสารหนูผ่านทั้งการหายใจ ทางผิวหนังและการกิน โดยมากกว่าร้อยละ 90 ผ่านการบริโภคน้ำและอาหาร การเกิดพิษของสารหนูเนื่องจากการบริโภคอาหารขึ้นกับหลายปัจจัย WHO (2001) รายงานว่ามนุษย์ได้รับสารหนูผ่านการบริโภคอาหารตั้งแต่ 20 – 300 ไมโครกรัม/วัน สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2549) รายงานอัตราการบริโภคเนื้อปลาแห้งและหอยขมของคนไทยวัยผู้ใหญ่ด้วยค่าเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 97.5 เท่ากับ 14.56 และ 67.20 กรัม/วัน และ 1.06 กรัม/วัน 7.40 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลการบริโภคข้างต้นมาประเมินร่วมกับความเข้มข้นของสารหนูจากผลการศึกษาได้ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารหนูขึ้นกับวิธีการปรุงอาหาร (cooking method) เพราะอาหารส่วนใหญ่มักผ่านการปรุงด้วยวิธีต่างๆก่อนบริโภค ซึ่งการปรุงอาหารมีผลต่อปริมาณสารหนูในอาหารชนิดนั้นๆเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสดทั้งการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง Ersoy และคณะ (2006) รายงานว่าปริมาณสารหนูในปลากะพง เมื่อผ่านการทอดและอบด้วยไมโครเวฟจะมีปริมาณสารหนูสูงขึ้น สอดคล้องกับ Devesa และคณะ (2001) ที่พบว่าสารหนูในปลาค็อดและหอยสองฝาที่ผ่านการปรุงจะมีปริมาณมากขึ้นร้อยละ 27 และ 37 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวที่ผ่านการหุงต้มโดยใช้น้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนสามารถตรวจพบการเพิ่มขึ้นของสารหนูได้ สูงถึง 5 – 8 เท่าหรืออาจมากถึงร้อยละ 50 (Ackerman et al., 2005; Bae et al., 2002; Laparra et al., 2005; Roychowdhury et al., 2002) แต่ในอาหารบางชนิดเมื่อผ่านกระบวนการปรุงอาหารกลับทำให้ปริมาณสารหนูลดลง เช่นสาหร่ายชนิด *Hizikia fusiforme* เมื่อผ่านขั้นตอนของการล้างและแช่สาหร่ายสามารถลดปริมาณสารหนูลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 60 (Laparra et al., 2003) หรือจากรายงานของ Cubadda และคณะ (2003) ที่พบว่าเส้นพาสต้าที่ผ่านการปรุงจะมีปริมาณสารหนูลดลง เป็นต้น สาเหตุการเพิ่มขึ้นของสารหนูหลังการปรุงอาหารอาจมาจากการสูญเสียและส่วนประกอบอื่นที่ละลายน้ำได้ในระหว่างการ

ปรุงอาหารจึงทำให้สารหนูมีความเข้มข้นมากขึ้น ส่วนสาเหตุของการลดลงนั้นอาจเพราะการสูญเสียปริมาณของสารหนูจากการระเหยหรือละลาย (Devesa et. al., 2008) อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะระบุได้อย่างชัดเจนในอาหารแต่ละชนิด จึงต้องศึกษาเป็นการเฉพาะชนิดอาหารแต่ละประเภท ซึ่งส่วนใหญ่มักศึกษาในอาหารทะเล ส่วนในสัตว์น้ำจืดทั้งปลาและหอยนั้นยังไม่มีการศึกษาผลของวิธีการปรุงอาหารต่อปริมาณสารหนูมากนัก (ATSDR, 2008; Devesa et. al., 2008)

สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (2553) รวบรวมรายงานปริมาณสารหนูในสิ่งแวดล้อมตามหมู่บ้านต่างๆรอบเมืองทองคำในตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 - 2552 พบว่าในบางพื้นที่ที่มีปริมาณสารหนูในตะกอนดินสูงถึง 538 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในบ่อน้ำบาดาลหรือน้ำประปาหมู่บ้านสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุโลมได้สูงสุด (0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร) และไม่เหมาะที่จะนำมาบริโภค อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวยังจำกัดอยู่ในพื้นที่และมีความพยายามในการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่อง พื้นที่แห่งนี้ตั้งอยู่ห่างจากแม่น้ำเลยและอำเภอวังสะพุงประมาณ 15 กิโลเมตร หากเกิดน้ำหลากหรือน้ำท่วม รวมทั้งการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินจะทำให้โลหะหนักเหล่านี้เคลื่อนที่และแพร่กระจายลงสู่แม่น้ำเลยได้ จึงควรมีข้อมูลการศึกษาเพื่อประกอบการเฝ้าระวังและบริหารจัดการปัญหานี้ซึ่งนอกจากจะศึกษาในดินและน้ำแล้วควรรวมถึงสัตว์น้ำที่มีโอกาสสัมผัสและสะสมสารเคมีเพื่อใช้ประโยชน์เป็นตัวชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมและป้องกันการสะสมมากเกินไประดับที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์ในการนำมาบริโภค

จากคู่มือปลาน้ำจืดของ ขวสิต วิทยานนท์ และคณะ (2540) FAO species identification field guide fishery purposes. Fishes of Cambodian Mehong (Rianboth, 1996) รวมทั้งตรวจสอบทางเว็บไซต์ข้อมูลพันธุ์ปลา เช่น <http://www.siamensis.org>. และรายงานพันธุ์ปลาแม่น้ำโขงตอนล่างจากเชียงคานถึงปากชมพบพันธุ์ปลาแม่น้ำโขงประมาณ 270 ชนิด แบ่งเป็นปลาหนัง 89 ชนิด และปลาเกล็ด 181 ชนิด ชนิดของปลาที่พบได้ทุกฤดูกาลในกลุ่มที่กินพืชเป็นอาหาร เช่น ปลาแขยง (*Mystus sp.*) ปลาจาด (*Hypsibarbus malcolmi*) กลุ่มที่กินสัตว์น้ำหรือสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร เช่น ปลาหมอไทย (*Anabas testudineus*) ปลาช่อน (*Channa striata*) ปลากระดี่ (*Hemibagrus sp.*) ปลาตุ๊ก (*Clarias batrachus*) ปลารากกล้วย (*Acantopsis spp.*) และปลาที่กินได้ทั้งพืชและสัตว์ เช่น ปลานวลจันทร์ (*Cirrhinus microlepis*) ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นต้น นอกจากนี้ยัง

พบหอยที่มนุษย์นิยมใช้บริโภคอีกหลายชนิด ซึ่งการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ตัวอย่างเป็นปลานิล และหอยขมซึ่งเป็นสัตว์น้ำชนิดที่มีการบริโภคในปริมาณมากเป็นตัวแทนในการศึกษา

ความเป็นพิษของสารหนูในสัตว์น้ำ Johnson (1978) ศึกษาความเป็นพิษของสารหนูในปลาหางนกยูง (*Gambusia affinis*) พบว่าปริมาณที่ทำให้สัตว์ตายร้อยละ 50 (Lethal concentration, LC_{50}) ในเวลา 24 - 96 ชั่วโมงมีความเข้มข้นระหว่าง 34.0 - 77.84 มิลลิกรัม/ลิตร Clemens และคณะ (1959) รายงานว่า LC_{50} ของสารหนูที่ศึกษาในปลา Channel catfish มีค่าระหว่าง 41.6 - 97.7 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างไรก็ตามมนุษย์จะมีความไวต่อการเกิดพิษจากการได้รับสารหนูมากกว่าในสัตว์ทดลอง ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้อาการที่ปรากฏในสัตว์เป็นตัวชี้วัดอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับมนุษย์จากการได้รับสารหนู (ATSDR, 2007; WHO, 2001) การศึกษาวิจัยในสัตว์น้ำจึงมุ่งไปที่การระบุความรุนแรงของการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากกว่าการศึกษาด้านพิษวิทยา