



ความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชล้มลุก และปริมาณสารหนูในต้นข้าว ดิน
น้ำ บริเวณพื้นที่นาข้าว อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

CORRELATION BETWEEN HERBACEOUS PLANT DIVERSITY AND ARSENIC LEVELS
IN RICE SOIL WATER AROUND PADDY FIELDS IN ONGKARAK SUBDISTRICT,
NAKHONAYOK PROVINCE.

กมลชนก เปี่ยมทวี

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2561

ความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชล้มลุก และปริมาณสารหนูใน
ต้นข้าว ดิน น้ำ บริเวณพื้นที่นาข้าว อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

CORRELATION BETWEEN HERBACEOUS PLANT DIVERSITY AND ARSENIC
LEVELS IN RICE SOIL WATER AROUND PADDY FIELDS IN ONGKARAK
SUBDISTRICT, NAKHONAYOK PROVINCE.



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF SCIENCE (Environmental Technology & Resources Management)
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism Srinakharinwirot University

2018

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาบัตร

เรื่อง

ความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชล้มลุก และปริมาณสารหนูในต้นข้าว ดิน
น้ำ บริเวณพื้นที่นาข้าว อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

ของ

กมลชนก เปี่ยมรวี

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาบัตร

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์) (อาจารย์ ดร.สันทนา นาคะพงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน)

ชื่อเรื่อง	ความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชล้มลุก และปริมาณสารหนูในต้นข้าว ดิน น้ำ บริเวณพื้นที่นาข้าว อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
ผู้วิจัย	กมลชนก เปี่ยมรวี
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์

งานวิจัยนี้ศึกษาความหลากหลายของพันธุ์พืชล้มลุก ได้แก่ วัชพืชในนาข้าว และศึกษาศักยภาพการดูดซับและสะสมสารหนู (As) ของต้นข้าว รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ As ในดิน กับดัชนีความหลากหลายของวัชพืช บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก จากการสำรวจพบวัชพืชทั้งหมด 8 ชนิด วัชพืชที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ หญ้าแดง มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) เท่ากับ 34.44% รองลงมาคือ หญ้าข้าวนกใหญ่ (RD = 19.26%) และพบว่าหญ้านกชมพู และข้าวดีด เป็นวัชพืชที่มีการกระจายตัวมากที่สุด มีค่าความถี่สัมพัทธ์ (RF) เท่ากับ 18.52% ตำบลทรายมูล มีค่าดัชนีความหลากหลาย (H') และค่าดัชนีการกระจายตัว (E_H) มากที่สุด พบว่าตัวอย่างน้ำ ดิน และเมล็ดข้าวส่วนใหญ่มีปริมาณ As สูงเกินค่ามาตรฐาน มีค่าอยู่ในช่วง 2.353 - 15.882 mg/kg ในดินและเมล็ดข้าว สำหรับตัวอย่างน้ำมีปริมาณ As อยู่ในช่วง 0.706 - 1.176 mg/L การสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าว พบว่ามีการสะสม As อยู่ในส่วนรากมากกว่าในเมล็ดและลำต้น ยกเว้นตำบลศิระชะกระบือ และตำบลทรายมูล มีการสะสม As อยู่ในเมล็ดข้าวมากกว่า แต่ไม่พบคุณสมบัติเป็น As hyperaccumulator As excluder หรือ As indicator ของต้นข้าวในพื้นที่ศึกษา จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างวัชพืชในนาข้าวกับปริมาณ As พบว่า ค่า RD ของหญ้านกชมพูมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณ As ในน้ำและดิน ซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวชี้วัดชีวภาพในการประเมินการปนเปื้อน As ในพื้นที่การทำการต่อไป

คำสำคัญ : สารหนู, ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ, วัชพืชในนาข้าว

Title	CORRELATION BETWEEN HERBACEOUS PLANT DIVERSITY AND ARSENIC LEVELS IN RICE SOIL WATER AROUND PADDY FIELDS IN ONGKARAK SUBDISTRICT, NAKHONAYOK PROVINCE.
Author	KAMOLCHANOK PEAMRAWEE
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Kun Silprasit

This study aimed to investigate herbaceous plant diversity, such as weeds in paddy fields, the efficiency of absorption and accumulation of arsenic (As) in the rice plants and the correlation between As content and a diversity index of weeds in the Ongkarak subdistrict of Nakhonnayok province. The investigation, found eight types of weeds. The type with the most relative density is Ya Daeng with RD = 34.44%. The second is Ya Khao Nok Yai (RD = 19.26%). The Ya Nok Chom Phu and Khao Did weeds had the most distribution with RF = 18.52%. Sai Mun Sub District was found to have the most H' and $E_{H'}$. The soil water and rice seeds were found to have As content over the standard limit, ranging from 2.353 to 15.882 mg/kg in the soil and rice seeds. Water was found within the range of 0.706 to 1.176 mg/L. The sample of rice plants also indicates that As accumulated more in the plant roots than the seeds and stems except for Sisa Krabue and Sai Mun district where As accumulated more in the rice seeds. The characteristics of the As hyperaccumulator, As excluder or As indicator of rice plants were not found in the study area. The study of correlation between weeds and As content, they have showed an inverse correlation between RD of Ya Nok Chom Phu and As in water and soil. They could be applied as to bioindicators in paddy fields.

Keyword : Arsenic, Bioindicator, Weeds

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สามารถลุล่วงไปด้วยดีซึ่งขอขอบพระคุณ ดร.สันทนา นาคะพงศ์ ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์ กรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษา และการแก้ปัญหาต่างๆ ระหว่างทำงานวิจัย จนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้และผู้ร่วมงานในการเก็บข้อมูลวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน ที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญา และวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ ประโยชน์อันใดเกิดจากโครงการนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

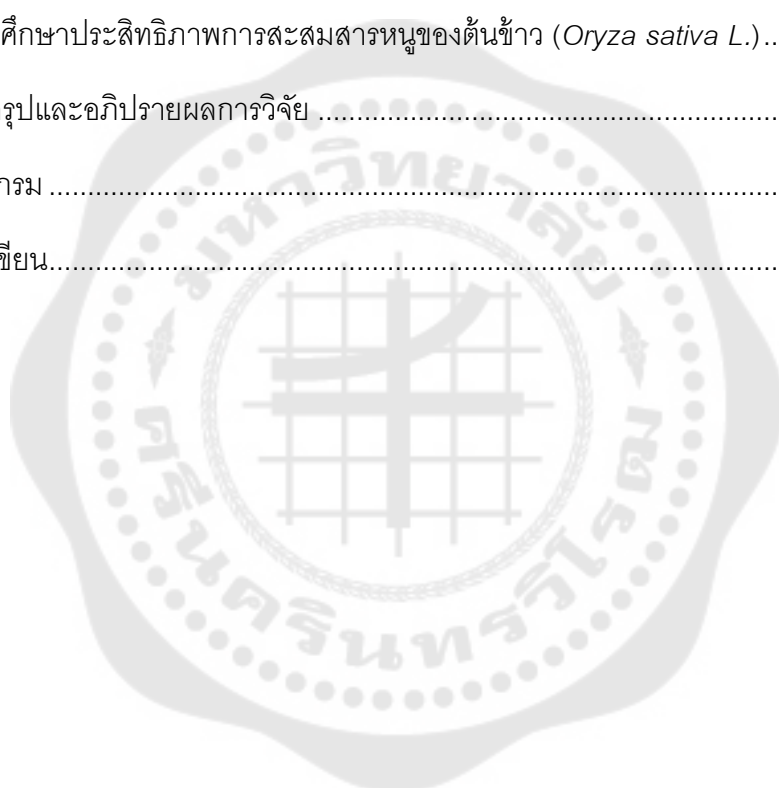
กมลชนก เปี่ยมทวี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
วัตถุประสงค์.....	3
ขอบเขตการวิจัย	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
กรอบแนวความคิดในการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
1. จังหวัดนครนายก	6
1.1 ขนาดและที่ตั้ง	6
1.2 ลักษณะภูมิประเทศ.....	6
1.3 ลักษณะภูมิอากาศ	6
1.4 การปกครอง.....	7
1.5 ประชากรและอาชีพ.....	7
1.6 การพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน	7

1.6.1 โครงการชลประทานขนาดใหญ่.....	7
2. อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก	10
3. การแพร่กระจายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม.....	12
4. การปนเปื้อนของสารหนูในพื้นที่ทางการเกษตรและห่วงโซ่อาหาร.....	13
5. อันตรายจากสารหนู.....	16
5.1 พิษจากสารหนูต่อคน.....	16
5.2 การสะสมสารหนูของพืช.....	19
บทที่ 3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการ.....	24
1. อุปกรณ์ และเครื่องมือ.....	24
2. สารเคมี.....	24
3. การเก็บข้อมูล.....	24
3.1 พื้นที่สำรวจข้อมูลและจุดเก็บตัวอย่าง.....	24
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลพืช.....	26
4. การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูรวม โดย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ..	28
4.1 ตัวอย่างพืช.....	28
4.2 ตัวอย่างดิน.....	28
4.3 ตัวอย่างน้ำ.....	29
5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความหลากหลายชนิดพืชในนาข้าวกับปริมาณ สารหนู..	29
6. การศึกษาประสิทธิภาพการสะสมสารหนูของต้นข้าวในที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก	30
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	31
1. พื้นที่ศึกษา.....	31
2. การศึกษาความหลากหลายของพืชในนาข้าว.....	32
2.1 ความหลากหลายของพืชในนาข้าวโดยภาพรวมของ อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....	32

2.2 ความหลากหลายของวัชพืชในนาข้าวของจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 - 10.....	38
3. การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู โดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	43
3.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดินและน้ำบริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....	43
3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในข้าว บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก	44
4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความหลากหลายชนิดของวัชพืชในนาข้าวกับปริมาณ สารหนู .	46
5. การศึกษาประสิทธิภาพการสะสมสารหนูของต้นข้าว (<i>Oryza sativa L.</i>).....	49
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	51
บรรณานุกรม	54
ประวัติผู้เขียน.....	59

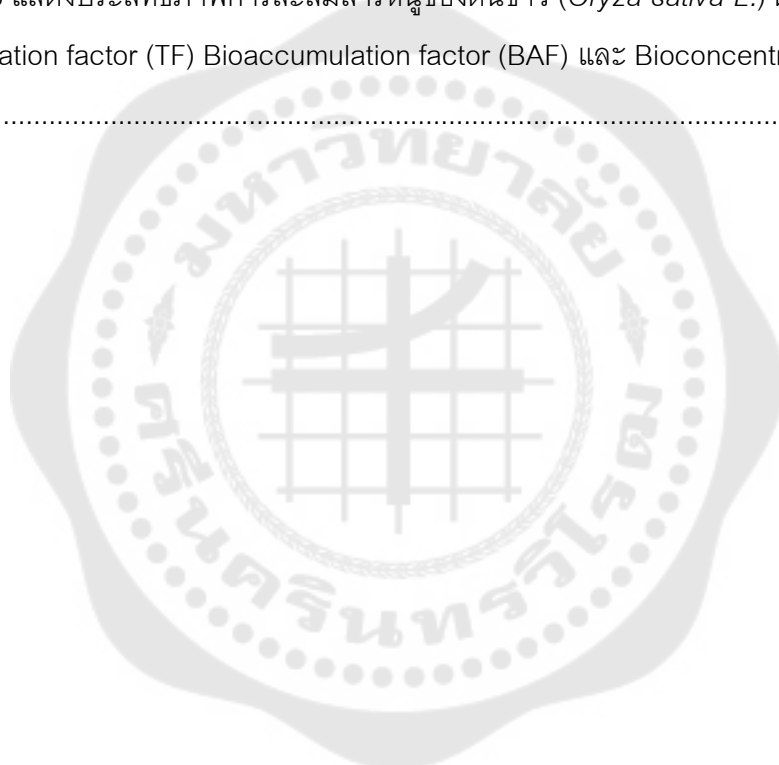


สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงพิกัดจุดเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และต้นข้าว บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....	32
ตาราง 2 แสดงวัชพืชที่พบของจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 - 10	36
ตาราง 3 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 4 ตำบลทรายมูล	39
ตาราง 4 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 5 ตำบลบางปลากด.....	40
ตาราง 5 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 6 ตำบลชุมพล.....	40
ตาราง 6 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 7 ตำบลบึงศาล	41
ตาราง 7 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 8 ตำบลองครักษ์	41
ตาราง 8 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 9 ตำบลพระอาจารย์.....	42
ตาราง 9 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 10 ตำบลบางสมบูรณ์.....	42
ตาราง 10 แสดงปริมาณสารหนูในดินและน้ำ บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....	43

ตาราง 11 แสดงมาตรฐานปริมาณปนเปื้อนสูงสุดของสารหนูที่อนุญาตให้มีในข้าว	44
ตาราง 12 แสดงปริมาณสารหนูของต้นข้าว ดิน และน้ำ ในที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....	45
ตาราง 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า H' และ $E_{H'}$ ของวัชพืช กับปริมาณสารหนูในต้นข้าว น้ำ และดิน โดยใช้ Pearson's correlation analysis เมื่อ $n = 7$ (จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 – 10).....	47
ตาราง 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Relative density (RD) ของวัชพืช กับปริมาณสารหนูในน้ำและดิน โดยใช้ Pearson's correlation analysis เมื่อ $n = 7$ (จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 – 10)	47
ตาราง 15 แสดงประสิทธิภาพการสะสมสารหนูของต้นข้าว (<i>Oryza sativa L.</i>) ด้วยค่า Translocation factor (TF) Bioaccumulation factor (BAF) และ Bioconcentration factor (BCF).....	49



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....	5
ภาพประกอบ 2 แผนที่ภูมิประเทศและเขตการปกครองของจังหวัดนครนายก	9
ภาพประกอบ 3 แผนที่แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญของจังหวัดนครนายก	11
ภาพประกอบ 4 Cycle of arsenic in the environment.....	16
ภาพประกอบ 5 แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินและพืช บริเวณที่นาและพื้นที่โดยรอบ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก	25
ภาพประกอบ 6 แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินและพืชในนาข้าว อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....	31
ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงจำนวนวัชพืชที่พบของจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 - 10.....	33
ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงความหนาแน่น (D) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) ความถี่ของ ชนิดพรวณ (F) ความถี่สัมพัทธ์ของชนิดพรวณ (RF) โดยรวมของวัชพืชแต่ละชนิด.....	34
ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ และดัชนีการกระจายตัวของ วัชพืชที่พบในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4-10	35
ภาพประกอบ 10 แสดงปริมาณสารหนู (As) หน่วย mg/kg ในเมล็ดข้าว ราก ลำต้น และดิน ที่พบในนาข้าว อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....	46

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมมีเพิ่มขึ้นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นปัญหาในด้านทรัพยากร ดิน ทรัพยากรน้ำ รวมถึงอากาศ ปัญหาหนึ่งที่สำคัญ คือ การปนเปื้อนโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งพบในหลายพื้นที่ของประเทศไทย และมีสาเหตุมาจากการทำอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่ การกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกวิธี หรือแม้แต่การทำเกษตร เป็นต้น

อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ก็เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพ เกษตรกรรม ซึ่งอาศัยคลองชลประทานรังสิตประยูรศักดิ์ และคลองซอยต่าง ๆ อีก จำนวน 16 คลอง เป็นแหล่งน้ำที่สำคัญในการประกอบอาชีพการเกษตร แต่จากการเติบโตทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของชุมชนโดยรอบคลองรังสิตประยูรศักดิ์ มีชุมชนหมู่บ้านจัดสรรเกิดขึ้น นับร้อยชุมชน มีสถานศึกษารวมถึงหน่วยงานรัฐบาลและเอกชน โรงงานอุตสาหกรรมจัดตั้งขึ้น มากมาย ก่อให้เกิดปัญหา การปนเปื้อนของโลหะหนักและสารพิษลงสู่แหล่งน้ำที่ใช้ทำการเกษตร ของอำเภอองครักษ์

นอกจากปัญหาคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมแล้ว การสะสมโลหะหนักในดินที่เกิดจากการทำ การเกษตร ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในดินมีปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากมีการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช การใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรติดต่อกัน เป็นระยะเวลานาน หรือใช้ในปริมาณมากเกินไปจนความจำเป็น ทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดิน จากสารเคมีเหล่านี้มากขึ้น ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกที่เคยได้รับสารกำจัดวัชพืชหรือสารกำจัดแมลง ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ เช่น แคลเซียมอาร์ซีเนต กรดอาร์ซีนิก โมโนโซเดียมมีเทนอาร์ซีเนต เลดอาร์ซีนีต เป็นต้น ดินบริเวณเหล่านี้จะมีสารหนูปนเปื้อน

สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะ มีเลขอะตอมเท่ากับ 33 โดยพบมากในถ่านหิน รวมทั้งน้ำมัน ปิโตรเลียม สารหนูถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ การเกษตร โลหะวิทยา และอิเล็กทรอนิกส์ การ ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นได้ทั้งในดิน ตะกอนดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน มีการกระจายทั่วไป ในธรรมชาติ มีความเป็นพิษสูง สามารถเกิดการกระจายหมุนเวียนภายในบรรยากาศ น้ำ และดิน ในรูปต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะออกซิเดชัน +3 และ +5 เมื่อมีการสะสมของสารหนูใน สิ่งแวดล้อมมากขึ้น เกิดการแพร่กระจายไปสู่อากาศ แหล่งน้ำ และดิน ส่งผลให้พืชที่ปลูกหรือ เจริญเติบโตในบริเวณที่ดินและน้ำมีการปนเปื้อนนั้น ดูดซับสารหนูเข้าไปเก็บสะสมในส่วนต่าง ๆ

ของพืช เช่น ราก ลำต้น และใบ ก่อให้เกิดปัญหามลพิษและการสะสมโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของคนและสัตว์ได้ ดังนั้นคุณภาพน้ำและดินในพื้นที่การเกษตรจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องเฝ้าระวังการปนเปื้อนโลหะหนักไม่ให้เกินมาตรฐานที่กำหนด

Baker และ Walker ได้จำแนกพืชที่สามารถเจริญในพื้นที่ปนเปื้อนพิษของโลหะหนัก โดยมีเกณฑ์พิจารณาจากปริมาณโลหะหนักที่สะสม ความสามารถในการดูดซับและลำเลียงโลหะหนัก ตลอดจนอวัยวะที่ใช้เป็นแหล่งเก็บสะสมโลหะหนักนั้น ๆ ทำให้สามารถจำแนกพืชออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) Metal excluder คือ พืชที่สะสมโลหะหนักไว้ในรากแต่ไม่มีการลำเลียงไปยังส่วนอื่น ๆ (2) Metal indicator คือ พืชที่นอกจากจะดูดโลหะหนักทางรากแล้ว ยังมีการลำเลียงไปสะสมไว้ยังส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะส่วนเหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น หรือใบ โดยความเข้มข้นของโลหะหนักจะมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณที่ตรวจพบในดิน ดังนั้นจึงสามารถใช้พืชกลุ่มดังกล่าวเป็นดัชนีชี้วัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักและปริมาณโลหะหนักในดินได้ และ (3) Metal accumulator หรือ Hyperaccumulator คือ พืชที่มีการดูดซึมโลหะและมีการลำเลียงไปสะสมไว้ยังส่วนต่าง ๆ เช่นเดียวกับ Metal indicator แต่ต่างกันตรงที่ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในลำต้นจะมีความเข้มข้นสูงกว่าในดินที่พืชเจริญอยู่ และสูงมากพอที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชชนิดใกล้เคียงที่ไม่ได้เป็น Hyperaccumulator ซึ่งพืชในกลุ่มสุดท้ายนี้ได้รับความสนใจจากนักสิ่งแวดล้อมในฐานะเป็นพืชที่มีศักยภาพในการใช้บำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักได้ (Baker; และBrooks, 1989)

การศึกษาความหลากหลายของพันธุ์พืชล้มลุก ทางผู้วิจัยได้เลือกศึกษาเฉพาะกลุ่มวัชพืชในนาข้าว เนื่องจากการใช้สารกำจัดวัชพืชส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของวัชพืชในนาข้าวโดยตรง และศึกษาศักยภาพในการดูดซับและสะสมสารหนูของต้นข้าว รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินกับดัชนีความหลากหลายของวัชพืชบริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ซึ่งเป็นอีกหนึ่งพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดการสะสมของปริมาณสารหนูในพื้นที่เพาะปลูกได้ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ในด้านต่าง ๆ เช่น การบำบัดฟื้นฟูสภาพดิน การเฝ้าระวังการปนเปื้อนสารหนูในข้าว ซึ่งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความหลากหลายของพืช พร้อมทั้งปริมาณสารหนูในตัวอย่างดิน น้ำ และต้นข้าว บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณสารหนูกับดัชนีความหลากหลายของพืช บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซึมและสะสมสารหนูของต้นข้าว ด้วยค่า Translocation factor (TF) ค่า Bioaccumulation factor (BAF) และค่า Bioconcentration factor (BCF) บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณสารหนูในดิน แหล่งน้ำ และต้นข้าว กับดัชนีความหลากหลายของพืชต่าง ๆ รวมทั้งประสิทธิภาพในการดูดซึมและสะสมสารหนูของต้นข้าว ด้วยค่า Translocation factor (TF) ค่า Bioaccumulation factor (BAF) และค่า Bioconcentration factor (BCF) บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง ธาตุที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ 5 เท่า หรือมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ซึ่งมีเลขอะตอมตั้งแต่ 23 – 92 จำนวนทั้งหมด 72 ธาตุ ในคาบที่ 4 - 7 ตัวอย่างเช่น แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสารหนู (As) เป็นต้น
2. ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (Shoot) หมายถึง ส่วนของพืชที่ชูเหนือพื้นดินขึ้นมา ประกอบด้วย ส่วนลำต้น และส่วนใบ
3. ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Bioindicator) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้คุณสมบัติเฉพาะตัวของสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือกลุ่มของสิ่งมีชีวิตในการบ่งชี้ถึงความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม หรือติดตามปริมาณของมลพิษต่าง ๆ
4. ปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ (Bioconcentration factor, BCF) อัตราส่วนของความเข้มข้นของโลหะในส่วนของรากพืชต่อความเข้มข้นของโลหะในดิน บ่งบอกถึงความความสามารถของพืชที่ดูดซึมโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อม (ดิน) เข้าสู่พืช
5. ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation factor, BAF) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มข้นของโลหะในมวลพืชส่วนที่อยู่เหนือดินต่อความเข้มข้นของโลหะในดิน ซึ่งปัจจัย

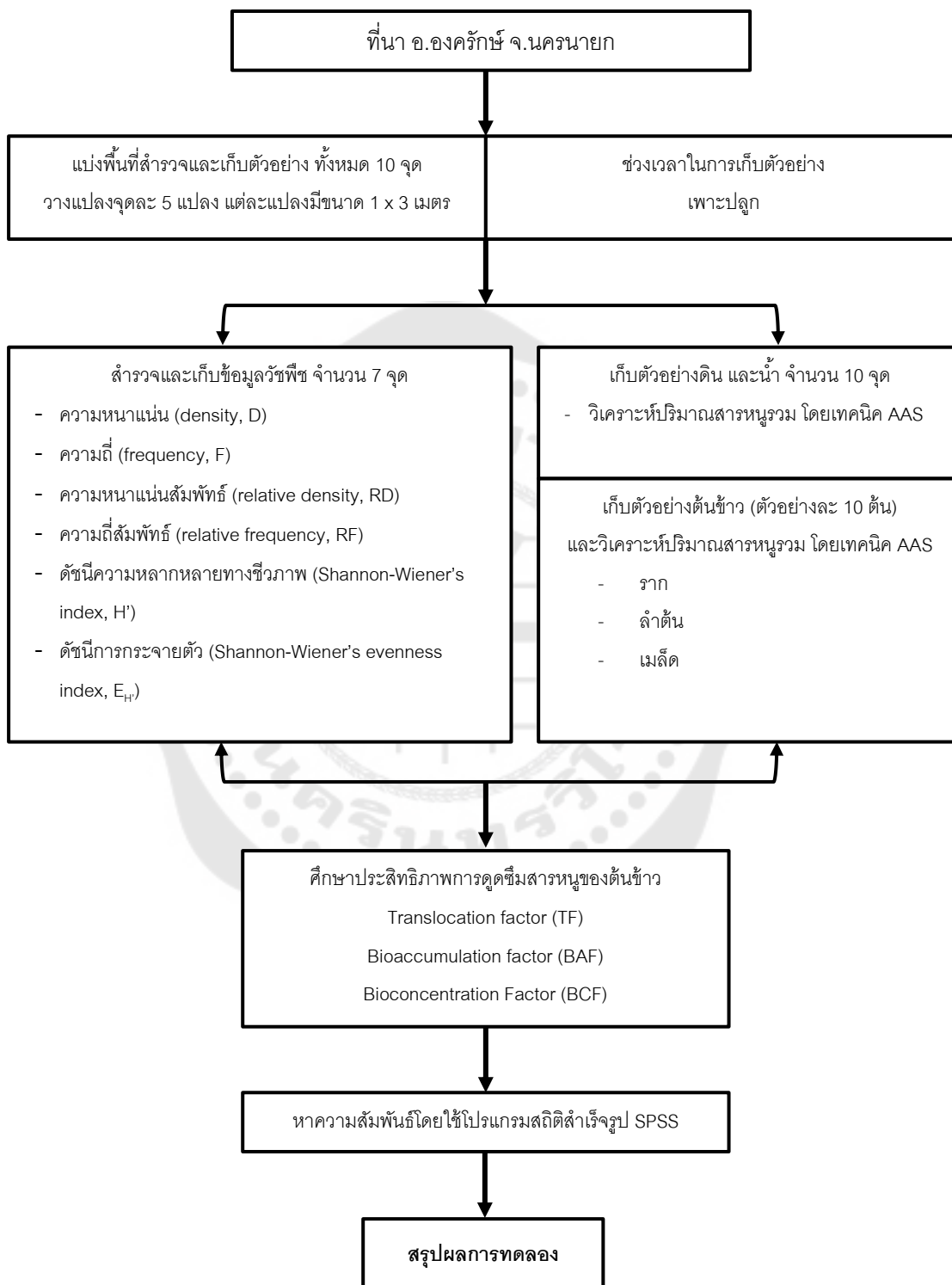
การสะสมทางชีวภาพจะบ่งชี้ประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโลหะจากดินไปยังพืชส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะส่วนเหนือดิน ซึ่งหากพืชจะมีคุณสมบัติเป็น Hyperaccumulator จะต้องมีการสะสมแบบรวม (Total accumulation) มากกว่า 1,000 mg/kg

6. ปัจจัยการเคลื่อนย้าย (Translocation factor, TF) หมายถึง การเคลื่อนย้ายของโลหะจากส่วนรากพืชที่อยู่ใต้ดินไปสู่ส่วนเหนือดิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณการสะสมสารหนูในดิน แหล่งน้ำ และต้นข้าว รวมถึงความหลากหลายของพืช บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
2. ทราบถึงความสัมพันธ์ของปริมาณสารหนูในดิน แหล่งน้ำ กับดัชนีความหลากหลายของพืช บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
3. ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซึมและสะสมสารหนูของต้นข้าว ด้วยค่า Translocation factor (TF) ค่า Bioaccumulation factor (BAF) และ ค่า Bioconcentration factor (BCF) บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. จังหวัดนครนายก

1.1 ขนาดและที่ตั้ง

จังหวัดนครนายก ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของกรุงเทพมหานคร ระหว่างละติจูดที่ 13 องศา 55 ลิปดา ถึง 14 องศา 31 ลิปดา เหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 52 ลิปดา ถึง 101 องศา 31 ลิปดา ตะวันออก จังหวัดนครนายกอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 105 Km มีเนื้อที่ประมาณ 2,122 Km² หรือประมาณ 1,326,250 ไร่ (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดสระบุรี และจังหวัดนครราชสีมา
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดปราจีนบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดปราจีนบุรี
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดปทุมธานี

1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบทางตอนเหนือและตะวันออก มีพื้นที่เป็นภูเขาสูงชันในเขต อ.บ้านนา อ.เมืองนครนายก และ อ.ปากพลี ส่วนหนึ่งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ซึ่งเป็นเขตรอยต่อ 3 จังหวัด ได้แก่ สระบุรี นครราชสีมา และปราจีนบุรี ซึ่งมีเทือกเขาติดต่อกับเทือกเขาตองพญาเย็น มียอดเขาสูงที่สุดของจังหวัดคือ ยอดเขาเขียว มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,351 m ส่วนทางตอนกลางและตอนใต้เป็นที่ราบอันกว้างใหญ่ เป็นส่วนหนึ่งของที่ราบสามเหลี่ยมลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ที่เรียกว่า “ที่ราบกรุงเทพฯ” ลักษณะดินเป็นดินปนทรายและดินเหนียวเหมาะแก่การทำนา ทำสวนผลไม้ และการอยู่อาศัย (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

1.3 ลักษณะภูมิอากาศ

เนื่องจากจังหวัดนครนายกไม่มีสถานีตรวจวัดอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน จึงใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยของปี พ.ศ. 2555 ดังนี้ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 36.80 °C อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 29.88 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 74.75 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 173.70 mm (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

1.4 การปกครอง

จัดรูปแบบการปกครองตามลักษณะการปกครองส่วนภูมิภาค โดยแบ่งออกเป็น 4 อำเภอ ประกอบด้วย อ.เมืองนครนายก อ.บ้านนา อ.องครักษ์ และ อ.ปากพลี ประกอบด้วย 40 ตำบล และ 408 หมู่บ้าน (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

1.5 ประชากรและอาชีพ

ข้อมูลประชากร ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 ประชากรทั้งสิ้น 255,174 คน ความหนาแน่นของประชากรเขตชุมชนเมืองประมาณ 1,328 คน/Km² นอกเขตชุมชนเมืองประมาณ 98 คน/Km² ประชากรมีอัตราการเพิ่มประมาณร้อยละ 0.18 ต่อปี ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพหลัก คือ การเกษตรกรรม การปศุสัตว์ และการประมง มีพื้นที่การเกษตรประมาณ 736,684 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 55.55 ของพื้นที่จังหวัด นอกจากนี้ประกอบอาชีพการบริการ พาณิชยกรรม รับจ้าง และอื่น ๆ (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

1.6 การพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน

จังหวัดนครนายก มีการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อนำน้ำมาใช้เพื่อการเกษตร โดยเฉพาะในฤดูแล้ง โดยระบบชลประทาน ตามสภาพแหล่งน้ำ (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2549) ดังนี้

1.6.1 โครงการชลประทานขนาดใหญ่

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก เป็นโครงการประเภททดน้ำ ส่งน้ำระบายน้ำ ตลอดจนป้องกันอุทกภัย หัวงานอยู่เขื่อนนายก ต.ท่าช้าง อ.เมือง สร้างเมื่อ พ.ศ. 2497 เป็นเขื่อนระบายน้ำ กั้นแม่น้ำนครนายก มีการส่งน้ำเป็นครั้งคราวตามความต้องการของเกษตรกร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 574,000 ไร่ มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 388,840 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 68 ของพื้นที่โครงการ รวมทั้งมีการส่งน้ำให้การประปาจังหวัด

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษารังสิตใต้ (ตอนองครักษ์) เป็นโครงการชลประทานประเภทเดียวกับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 96,220 ไร่ ฤดูฝนส่งน้ำตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ บางส่วนรับน้ำต้นทุนจากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก ฤดูแล้งรับน้ำต้นทุนจากเขื่อนเจ้าพระยา ทำให้สามารถปลูกพืชฤดูแล้ง และทำนาปรังได้

โครงการชลประทานขนาดกลาง เป็นโครงการประเภทเหมืองฝาย มีหัวงานเป็นประตูระบายน้ำกั้นลำคลองต่าง ๆ การส่งน้ำกระทำเฉพาะฤดูฝนเท่านั้น มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 37,500 ไร่ ประกอบด้วย

โครงการวังตะไคร้ มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 1,500 ไร่

โครงการคลองบ้านนา มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 20,000 ไร่

โครงการคลองยาง มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 16,000 ไร่

โครงการพัฒนากลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำนครนายก ในเขตจังหวัดนครนายก ตามพระราชดำริเป็นโครงการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 เพื่อบรรเทาความเดือดร้อนของราษฎร บริเวณกลุ่มน้ำนครนายก จากการขาดแคลนน้ำในเขตทำนา และที่ประสบปัญหาอุทกภัย รวมทั้งเพื่อจัดหาน้ำสนับสนุนโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ และการประปานครนายกด้วย มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ทั้งสิ้น 12,000 ไร่ ประกอบด้วย

โครงการท่าด่าน มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 8,000 ไร่

โครงการอ่างเก็บน้ำคลองทรายทอง มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 1,000 ไร่

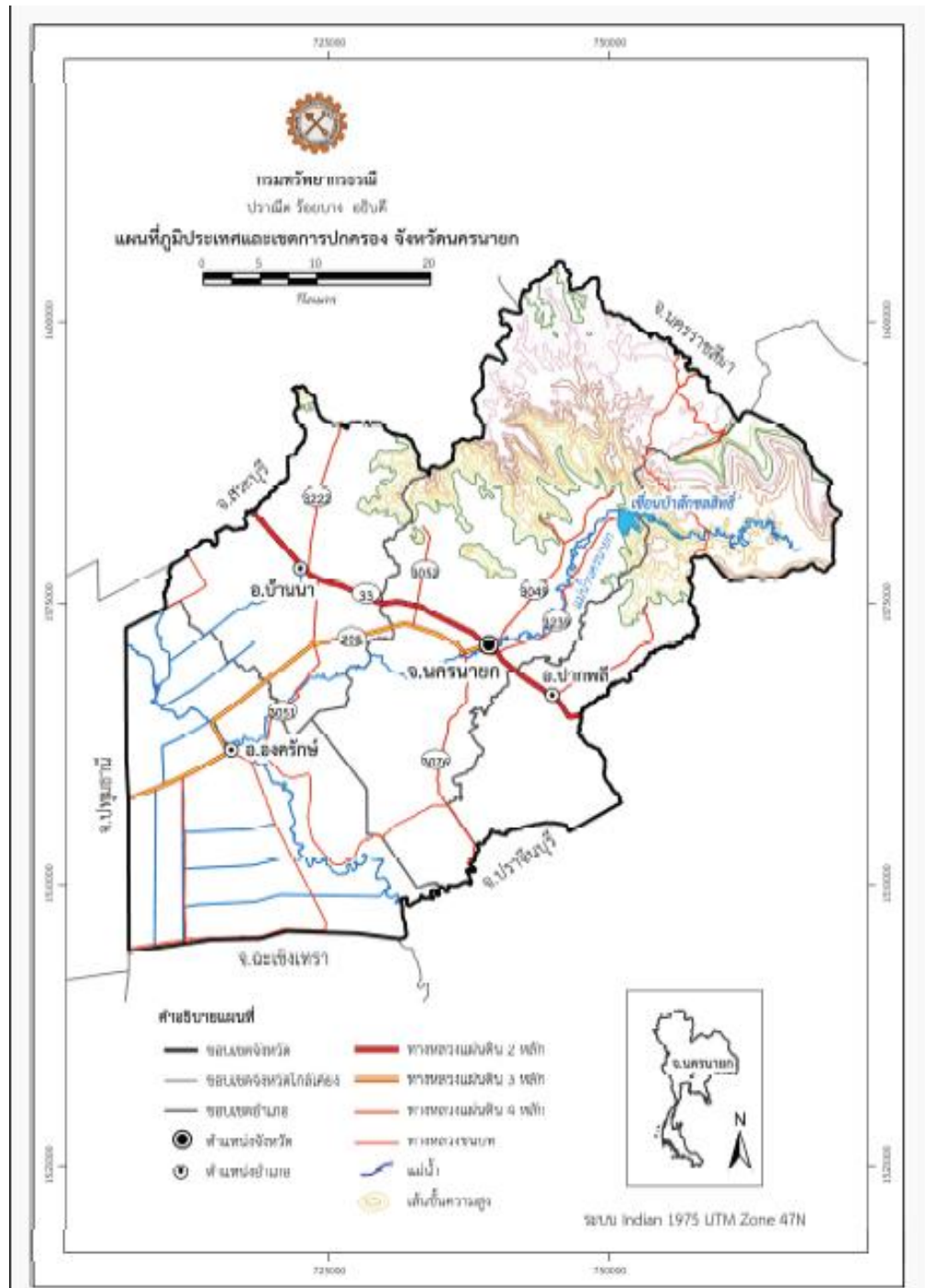
โครงการอ่างเก็บน้ำคลองโบสถ์ มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 1,000 ไร่

โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยปรือ มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ 2,000 ไร่

โครงการชลประทานขนาดเล็ก ในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน ส่วนใหญ่ เป็นโครงการประเภทเหมืองฝาย และท่อระบายน้ำ มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ประมาณ 74,000 ไร่

นอกจากนี้ ยังมีโครงการศูนย์บริการเกษตรเคลื่อนที่ของกรมชลประทาน ชุดลอก ลำธาร สระน้ำ จัดเป็นประเภทระบายน้ำ มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ประมาณ 14,900 ไร่

โครงการชลประทานขนาดใหญ่และขนาดกลาง มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ทั้งสิ้น ประมาณ 534,560 ไร่ (พ.ศ. 2530) และขยายเป็น 585,145 ไร่ (พ.ศ. 2541) ทำให้เกิดพื้นที่เขตชลประทานประมาณร้อยละ 30 ของพื้นที่จังหวัดนครนายก บางพื้นที่สามารถทำนาได้ 2-3 ครั้งต่อปี หรือ 5 ครั้งต่อ 2 ปี โดยเฉพาะพื้นที่ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัด แถบ อ.องครักษ์ ที่มีอาณาเขตติดกับจังหวัดปทุมธานี อยู่ในเขตชลประทานได้รับน้ำจากโครงการชลประทาน และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษารังสิตใต้ (ตอนองครักษ์)



ภาพประกอบ 2 แผนที่ภูมิประเทศและเขตการปกครองของจังหวัดนครนายก

ที่มา : (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

2. อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

อำเภอองครักษ์มีเนื้อที่ (จากภาพถ่ายทางอากาศ) ประมาณ 303,937.5 ไร่เศษ หรือ 486.3 Km² สภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม บางพื้นที่มีสภาพเป็นที่ราบลุ่มมีน้ำขัง เรียกว่าเป็นที่ขังน้ำ กล่าวคือ เป็นพื้นที่รองรับการระบายน้ำจาก อ.เมืองนครนายก อ.บ้านนา และ อ.วิหารแดง ทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมเป็นประจำทุกปี อาณาเขตมีลักษณะคล้ายสามเหลี่ยมมุมฉากหรือรูปตัวแอล ไม่มีภูเขา มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำนครนายก ซึ่งไหลผ่าน ต.ทรายมูล ต.องครักษ์ ต.บางลูกเสือ และ ต.บางสมบรูณ์ ไปบรรจบกับแม่น้ำปราจีนบุรี นอกจากนี้ยังมีคลองชลประทานรังสิตประยูรศักดิ์มีความยาวประมาณ 9 Km และคลองซอยต่าง ๆ อีก จำนวน 16 คลอง ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการประกอบอาชีพการเกษตรของ อ.องครักษ์ (สำนักงานเกษตรอำเภอองครักษ์, 2554)

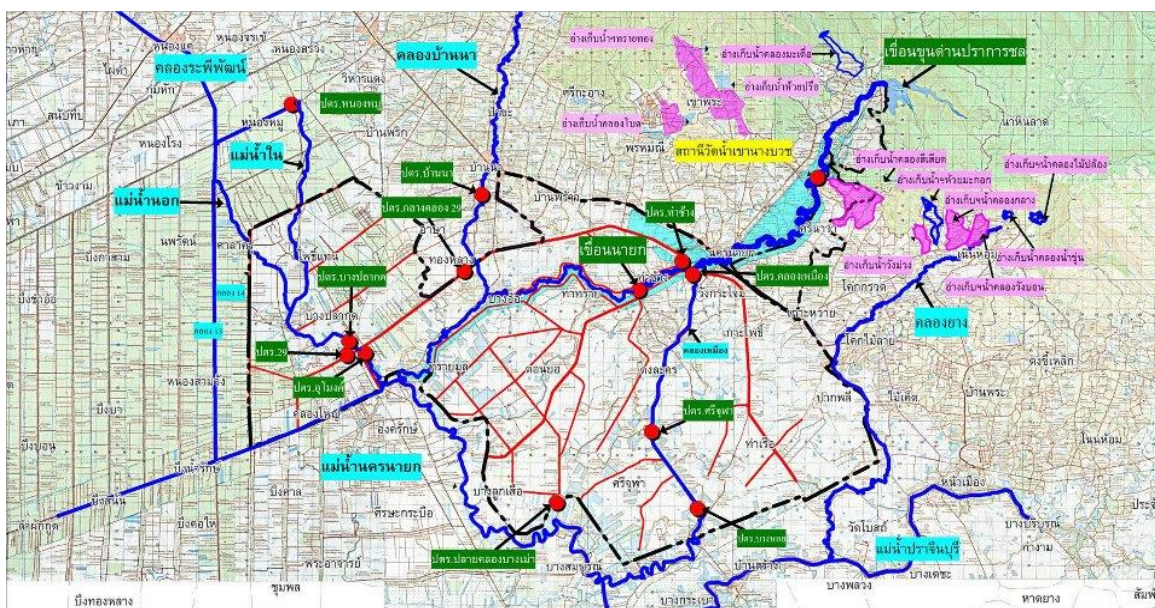
คลองรังสิตประยูรศักดิ์เป็นคลองชุดเชื่อมแม่น้ำสายใหญ่ 2 สาย ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำนครนายก ซึ่งอยู่ในความดูแลของการชลประทานรังสิตได้ (ธนพรธ สุนทร, 2545)

คลองรังสิตเป็นพื้นที่หนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี นนทบุรี และนครนายก ซึ่งเป็นบริเวณรอบนอกกรุงเทพมหานครที่ได้รับอิทธิพลจากการขยายตัวของชุมชน มีชุมชนหมู่บ้านจัดสรรเกิดขึ้นนับร้อยชุมชน มีสถานศึกษารวมถึงหน่วยงานรัฐบาลและเอกชนจัดตั้งขึ้นมากมาย ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนของโลหะหนักและสารพิษในแหล่งน้ำ ที่เกิดจากการระบายน้ำทิ้งเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมที่ยังไม่ผ่านการบำบัดที่ได้มาตรฐาน (เดือนเพ็ญ บัณฑุวัฒน์, 2548)

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทุ่งรังสิตมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากการใช้ที่ดินเกือบทั้งทุ่งรังสิตปลูกข้าวซึ่งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญในอดีต ต่อมานักลงทุนเริ่มเข้ามาซื้อที่ดินสร้างโรงงานอุตสาหกรรม บ้านจัดสรร เพราะราคาที่ดินของทุ่งรังสิตไม่แพง การคมนาคมขนส่งสะดวก ใกล้กรุงเทพมหานคร ใกล้สนามบินดอนเมือง ประชาชนย้ายถิ่นเข้ามาอยู่อาศัยทั้งมาซื้อ มาเช่า และปลูกที่อยู่อาศัยรุกล้ำคลองรังสิต ทำให้สภาพแวดล้อมของทุ่งรังสิตเปลี่ยนแปลงไป มีปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้นร้อยละ 93.5 คือ ปัญหาน้ำเน่าเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรม จากบ้านเรือนที่อยู่ริมคลอง และปัญหาอากาศเป็นพิษ ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยเปรียบเทียบมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินซึ่งมิใช่ทะเล ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเห็นว่าคุณภาพน้ำในแม่น้ำลำคลองในจังหวัดปทุมธานี ส่วนใหญ่มีความเสื่อมโทรม โดยเฉพาะช่วงที่ไหลผ่านพื้นที่ชุมชนและย่านอุตสาหกรรม ตรวจวัดค่า BOD ได้เกินกว่า 4 mg/L ซึ่งจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมเท่านั้น ได้แก่

คลองรังสิตประยูรศักดิ์ ในช่วงตลาดรังสิตจนถึง อ.ธัญบุรี คลองหนึ่งถึงคลองห้า โดยเฉพาะคลองรังสิตช่วงที่อยู่ในเขตเทศบาล ต. ประชาธิปไตย คลองหนึ่งและคลองสอง (ธนพรธน สุนทระ, 2545)

การทำนาของอำเภองครักษ์ คือการปลูกข้าวนาปี และปลูกข้าวนาปรังโดยการทำเป็นนาหว่านน้ำตม (ข้าวงอก) มีเนื้อที่การปลูกข้าวประมาณ 154,073.50 ไร่ ประกอบด้วยข้าพไผ่ดอก-ไผ่ประดับ 1,200 ไร่ นอกจากนี้แล้วยังมีอาชีพเสริม คือ การปลูกไม้ผล การเลี้ยงปลา การเลี้ยงกุ้ง การปศุสัตว์ และการเลี้ยงสัตว์ปีก (สำนักงานเกษตรอำเภองครักษ์, 2554)



ภาพประกอบ 3 แผนที่แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญของจังหวัดนครนายก

ที่มา : (ชลประทานนครนายก ฝ่ายวิศวกรรม, 2011)

3. การแพร่กระจายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม

โลหะหนักที่มีอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมมาจากแหล่งต่าง ๆ (ชูสินี วีรสวัสดิ์; และประภัสสร กิตติพงษ์พรพินิจ, 2544) ดังนี้

3.1 จากหินและดิน ปริมาณโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับชนิดของหินหรือดิน และแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ เมื่อหินและดินมีการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้โลหะหนักปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำ และสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ จากแหล่งน้ำที่ปนเปื้อน

3.2 จากการตกตะกอนและการตกมาจากบรรยากาศ ในบรรยากาศจะมีโลหะหนักลอยอยู่ ซึ่งเกิดจากฝุ่นที่เกิดมาจากการระเบิดของภูเขาไฟ การกัดกร่อน และการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของหินและดิน เมื่อมีฝนหรือหิมะตก จะมีการชะล้างโลหะหนักจากบรรยากาศลงมาพร้อมกับน้ำฝนหรือหิมะ ซึ่งพบว่าปัจจุบันโลหะหนักในบรรยากาศเกิดจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีโลหะหนักผสมอยู่ หรือจากการปล่อยควันเสียของเครื่องยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

3.3 จากการกระทำของมนุษย์ โดยการปล่อยสิ่งต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำและบรรยากาศ เช่น การปล่อยน้ำเสียจากครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่ และการทำการเกษตร เป็นต้น ซึ่งนับเป็นสาเหตุหลักของการปนเปื้อนโลหะหนักสู่พื้นที่การเกษตร แหล่งน้ำธรรมชาติ คลองชลประทาน และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

โลหะและสารประกอบโลหะล้วนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต และไม่มีชีวิตในสิ่งแวดล้อม ทางชีวภาพอาจแบ่งธาตุโลหะได้เป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ๆ ได้แก่ กลุ่มที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต เช่น เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนและเอนไซม์ (Enzymes) หลายชนิด สิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องบริโภคโลหะเหล่านี้ในสัดส่วนที่เพียงพอต่อร่างกาย ส่วนโลหะกลุ่มที่สอง เช่น ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และสารหนู (As) นั้นไม่จำเป็นต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต แต่มักเข้าสู่สิ่งมีชีวิตพร้อมกับโลหะที่จำเป็นอื่น ๆ โดยเฉพาะเมื่อสิ่งแวดล้อมมีระดับการปนเปื้อนของโลหะเหล่านี้สูง แต่อย่างไรก็ตามโลหะทั้งสองกลุ่มนี้อาจก่อให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิต หากสะสมในปริมาณมากเกินไปจนเกินความจำเป็นความเป็นพิษของโลหะมักเกิดจากการที่โลหะไปยับยั้งการทำงานของโปรตีนและเอนไซม์สำคัญต่าง ๆ หรือไปกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระภายในเซลล์ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้มีฤทธิ์ทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นโครงสร้างสำคัญของเซลล์ เช่น DNA หรือเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดความผิดปกติในสิ่งมีชีวิต โดยจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต ความเข้มข้น และประเภทของโลหะ เป็นต้น (เมธา มีแต่่ม, 2554)

ธาตุทั้งหมดในตารางธาตุ มี 17 ธาตุ เป็นธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องได้รับ เพื่อการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ โดยมี 3 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ที่พืชได้รับจากน้ำและอากาศ ส่วนอีก 14 ธาตุที่เหลือเป็นธาตุอาหารที่พืชได้รับจากดิน โดยมีโลหะหนักบางชนิด เช่น เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) และสังกะสี (Zn) เป็นธาตุอาหารรองที่พืชต้องการในปริมาณน้อย แต่ก็ขาดไม่ได้เช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (Cofactors) ร่วมกับเอนไซม์ เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพต่าง ๆ ที่สำคัญในพืช (Epstein; et al., 2004) แต่หากมีการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในดิน และแหล่งน้ำ บริเวณพื้นที่เลี้ยงสัตว์และเพาะปลูกมาก จะทำให้พืชและสัตว์บริเวณนั้นสะสมโลหะหนักไว้มากกว่าปกติ การใช้โลหะหนักในกิจการอุตสาหกรรม ทำให้มีการปนเปื้อนโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม และกลับมาปนเปื้อนในวงจรอาหาร

4. การปนเปื้อนของสารหนูสู่พื้นที่ทางการเกษตรและห่วงโซ่อาหาร

ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นสินค้าที่สำคัญสำหรับประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลักของประชาชนในหลายประเทศทั่วโลก ในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกข้าวออกในปริมาณมาก พบว่าประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้เป็นอันดับ 6 (ประมาณ 19 ล้านตันต่อปี) และเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 1 ของโลก (กอบสุข เอี่ยมสุรีย์, 2555) แต่ยังมีปัญหาด้านคุณภาพสินค้าเกิดขึ้นเป็นระยะ เช่น การปนเปื้อนของสารพิษหรือสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเหล่านั้น สารปนเปื้อนหนึ่งที่สำคัญ คือ สารหนู โดยพบว่ามีปริมาณสารหนูทั้งหมดที่ปนเปื้อนในข้าวโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.004 – 0.5 mg/kg ในบางส่วนพบปริมาณสูงถึง 150 – 250 mg/kg คาดว่าสาเหตุหลักของการปนเปื้อนมาจากดินและน้ำข้าว ซึ่งมีรายงานว่ามีเมล็ดข้าวสามารถสะสมสารหนูได้มากกว่าธัญพืชชนิดอื่น ๆ (สวรินทร์ สนิระวิวัฒน์; และนงนุช เมธียนต์พิริยะ, 2555)

สารหนู หรืออาร์ซีนิก (As) เป็นธาตุกึ่งโลหะ มีเลขอะตอมเท่ากับ 33 น้ำหนักโมเลกุล 74.9216 มีจุดเดือดเท่ากับ 615 °C จุดหลอมเหลวเท่ากับ 818 °C และมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -3, 0, +3 และ +5 พบมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบมากบนโลก (บุษรา ผลทวี, 2556) และเป็นสารอันตรายอันดับที่ 1 จากการจัดอันดับสารอันตรายโดยองค์กร Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)

ลักษณะทางกายภาพของสารหนูมี 3 ัญรูป (Allotropic Form) ได้แก่ เหลืองดำ และที่พบมากที่สุดคือ เทา มีลักษณะเป็นมันวาว เปราะง่าย ระเหยกลายเป็นไอได้ เกิดปฏิกิริยากับ

ความชื้นในอากาศได้ เป็นสารพิษที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น หิน ดิน ตะกอนดิน อากาศ น้ำ และพืช มักอยู่ในรูปของสารประกอบของหินและแร่ต่าง ๆ เช่น อาร์ซีนไฟไรต์ (FeAsS) รีอัลการ์ (As_2S_2 , As_4S_4) และออร์พิเมนต์ (As_2S_3) ซึ่งแร่เหล่านี้เมื่อนำมาถลุงจะได้ As_2O_3 ใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตสารหนู แต่หากนำมาเผาในสถานะที่ไม่มีอากาศจะสามารถถลุงสารหนูออกมาได้ นอกจากนี้พบว่าสารประกอบสารหนูในดินและตะกอนดินมักอยู่ในรูปออกไซด์ แต่ที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติมักอยู่ในรูปของ Arsenite [AsO_3^{-3} , As(III)] และ Arsenate [AsO_4^{-3} , As(V)] ซึ่งสามารถละลายน้ำได้น้อยกว่า และมีเป็นพิษน้อยกว่า As(III) ประมาณ 2-10 เท่า (พิษวิทยานิภา ขวัญเฟือก; และวลัยรัตน์ จันทอัมพร, 2556)

สารหนูเป็นสารที่มีพิษ และเมื่ออยู่ในรูปสารประกอบอาร์ซีนจะมีความเป็นพิษสูงสุด รองลงมาคือสารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู และสารประกอบอินทรีย์ของสารหนู ตามลำดับ จึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามคุณสมบัติ ทางกายภาพ ทางเคมี และความเป็นพิษ ดังนี้

1. **แก๊สอาร์ซีน (Arsine : AsH_3)** เป็นสารประกอบของสารหนูที่มีความเป็นพิษสูงที่สุดในทั้ง 3 กลุ่ม เป็นแก๊สที่มีความเป็นพิษสูง มีกลิ่นคล้ายกระเทียม ไม่มีสี มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น Arseninretted hydrogen Arsenous hydride Arsenic trihydride และ Hydrogen arsenide เป็นต้น เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบอนินทรีย์ของสารหนูกับไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไม่เสถียร ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย มีจุดเดือดเท่ากับ -63°C จุดหลอมเหลวเท่ากับ -116°C มีความหนาแน่น (ที่สถานะของเหลว) $1.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และสามารถละลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 225°C แก๊สอาร์ซีนที่เกิดในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีออกซิเจน เมื่อทำปฏิกิริยากับธาตุต่าง ๆ จะทำให้เกิดแร่ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ เช่น Arsenopyrite (FeAsS) แต่ถ้าในแหล่งน้ำนั้นมีตัวลดออกซิเจน เมื่อทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นจะเกิดธาตุจำพวกอาร์ซีนไนด์ และซิลไฟด์ แก๊สอาร์ซีนเป็นแก๊สพิษควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสหรือสูดดม หากในอากาศมีแก๊สอาร์ซีนมากถึง 6 ppm จะทำให้เกิดอันตรายอย่างเฉียบพลันต่อสุขภาพและชีวิต

2. **สารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู (Inorganic arsenic compounds)** มีความเป็นพิษรองจากสารหนูที่อยู่ในรูปสารประกอบอาร์ซีน เกิดจากการรวมตัวของสารหนูกับออกซิเจนหรือคลอรีนหรือซัลเฟอร์ เช่น Arsenic trioxide (As_2O_3) Sodium arsenite (NaAsO_2) Arsenic trichloride (AsCl_3) Arsenic pentoxide (As_2O_5) และ Arsenic acid (H_3AsO_4) เป็นต้น

3. **สารประกอบอินทรีย์ของสารหนู (Organic arsenic compounds)** มีปริมาณน้อยในธรรมชาติ เกิดจากการรวมตัวของสารหนูที่อยู่ในพืชและสัตว์กับธาตุคาร์บอน หรือ

ธาตุไฮโดรเจน เช่น Trimethylarsine $[(\text{CH}_3)_3\text{As}]$ Dimethylarsine $[(\text{CH}_3)_2\text{AsH}]$ Dimethylarinic acid $[(\text{CH}_3)_2\text{AsO}(\text{OH})]$ และ Disodium methylarsenate $[(\text{CH}_3\text{AsO}(\text{ONa})_2]$ เป็นต้น

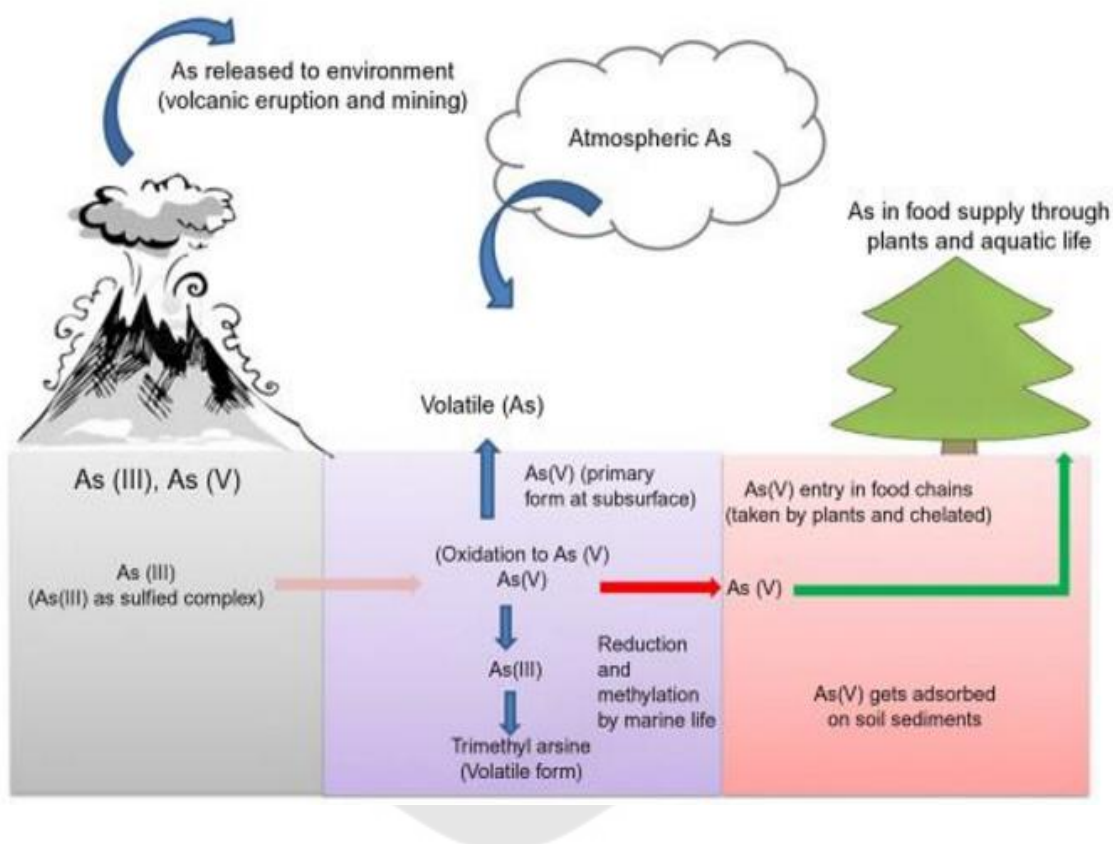
สารหนูมีการปนเปื้อนในธรรมชาติที่สำคัญตัวหนึ่งซึ่งมีความเป็นพิษสูง เป็นธาตุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และพบได้ทั่วไปในหิน ดิน ตะกอนดิน อากาศ น้ำ และพืช พบว่าเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกมากเป็นลำดับที่ 20 และยังเป็นองค์ประกอบอยู่ร่วมกับแร่ธาตุอื่น ๆ มากกว่า 245 ชนิด ที่พบมากที่สุดจะอยู่กับแร่ที่มีซิลไฟด์ รองลงมาคือ ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) โคบอลต์ (Co) หรือธาตุโลหะอื่น ๆ (Sharma; และSohn, 2009) (โดยปริมาณความเข้มข้นจะแตกต่างกันไปตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น วัตถุต้นกำเนิดดิน แหล่งกำเนิดของสารหนูทั้งที่มาจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่ และการทำการเกษตร

เมื่อเกิดการผุกร่อนของหินจะทำให้สารประกอบซิลไฟด์ของสารหนูเปลี่ยนเป็น Arsenic trioxide เข้าสู่วัฏจักรโดยกลายเป็นฝุ่น ผง หรือเกิดชะล้างโดยน้ำฝน ละลายลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน หรือแหล่งน้ำใต้ดิน และอาจแพร่กระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารเกิดการสะสมไว้ในพืชและสัตว์ เช่น ปลา ผลไม้ และผัก ซึ่งพบว่าสารหนูที่ปนเปื้อนในอาหารจะอยู่ในรูปสารหนูอินทรีย์ประมาณน้อยกว่า 10% ของสารหนูทั้งหมด แสดงว่าสารหนูที่พบในอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอนินทรีย์ ซึ่งมีความเป็นพิษมากกว่าสารหนูอินทรีย์ (Sharma; และSohn, 2009) แต่ที่พบตามดินตะกอนต่าง ๆ แหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งเพาะปลูกพืชหรือพื้นที่การเกษตร รวมถึงในยาฆ่าแมลง คือ Arsenite $[\text{As}(\text{III})]$ และ Arsenate $[\text{As}(\text{V})]$ (สวรินทร์ สินะวิวัฒน์; และนนุช เมธิยนต์พิริยะ, 2555)

สารหนูสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช ยาฆ่าเชื้อรา และปุ๋ย ช่วยให้เกษตรกรนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงบำรุงดินเพื่อให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น แต่ผลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบดังกล่าวอาจทำให้มีสารหนูสะสมในพื้นที่ทางการเกษตรปริมาณมาก และอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนูเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารจากการสะสมเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช บางส่วนเข้าไปปนเปื้อนในน้ำใต้ดินและสัตว์ที่อยู่อาศัยบริเวณนั้น นำมาสู่ผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค

พืชจัดได้ว่าเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นของห่วงโซ่อาหาร ทำให้สารหนูสามารถถ่ายทอดจากพืชไปยังสัตว์และมนุษย์ได้ พบว่าพืชที่มีสารหนูสะสมในปริมาณมาก คือ พืชทะเล เช่น สาหร่าย ซึ่งบางชนิดอาจสูงถึง 72 mg/kg ซึ่งอยู่ในรูป Arsenosugar และ Arsenolipids รองลงมาเป็น สัตว์ทะเล เช่น ปู หอย และปลาทะเลต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่พบในรูป Arsenobetaine (AsB) และ Arsenocholine (AsC) การเปลี่ยนแปลงสารหนูของพืชบนดินจะพบบ้างในบริเวณที่มีปริมาณ

สารหนูสูง เช่น เห็ดสามารถสะสมสารหนูและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ซับซ้อนได้ ส่วนเฟิร์นพบว่าสามารถดูดซับสารหนูได้ถึง 7,000 mg/kg โดยไม่มีการเปลี่ยนรูปของสารหนู ส่วนต้นข้าวสามารถเปลี่ยนสารหนูให้อยู่ในรูป DMA(V) และเก็บสะสมไว้ (ปารมี เฟิงปรีชา. 2546) ดังนั้นผู้ที่บริโภคข้าวในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารหนูจึงมีโอกาสได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่สูงไปด้วย ดังนั้นคุณภาพของดินและน้ำบริเวณพื้นที่เพาะปลูกจึงเป็นสิ่งสำคัญ



ภาพประกอบ 4 Cycle of arsenic in the environment

ที่มา : <http://jnuenvis.nic.in/images/arsenic%20cycle.PNG> (Das, 2014)

5. อันตรายจากสารหนู

5.1 พิษจากสารหนูต่อคน

สารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 วิธี ได้แก่ การหายใจหรือการสูดดม การบริโภค และการสัมผัส สำหรับ LD₅₀ ของสารหนูเท่ากับ 743 mg/kg (โดยการกลืน) และ 13 mg/kg (โดยการฉีดเข้าสู่ร่างกาย) ความเป็นพิษของสารหนูจะรุนแรงอย่างไร ขึ้นอยู่กับรูปแบบ

และปริมาณที่ได้รับ สารหนูในระดับปริมาณเพียง 130 mg จะทำให้ลำไส้และตับถูกทำลาย การทำงานของระบบหัวใจผิดปกติและเสียชีวิตได้ ส่วนความเป็นพิษของสารหนูแบบเรื้อรัง พบว่า เมื่อได้รับสารหนูปริมาณ 1.4 mg/วัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์จะมีผลต่อตับและไต (พัฒนาพิพิธไพศาล ปรานี, 2551)

ทั้งนี้คณะกรรมการจากองค์การอนามัยโลก (World health organization : WHO) โดยกลุ่มวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International agency for research on cancer : IARC) ได้จัดให้สารหนูอยู่ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีผลการวิจัยยืนยันชัดเจนว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogen)

สารหนูมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายฟอสฟอรัส (P) ทำให้สารหนูสามารถผสมใน กระดูกและฟันเป็นระยะเวลานานได้ นอกจากนี้สารหนูที่มีประจุ + 5 (Arsenate) จะออกฤทธิ์โดย แข่งขันกันเกิดปฏิกิริยากับฟอสเฟต Adenosine triphosphate (ATP) ซึ่งมีความสำคัญในการให้ พลังงานแก่สิ่งมีชีวิต ได้อาร์ซิเนทเอสเทอร์ที่ไม่เสถียร (Unstable arsenate ester) และถูกไฮโดรไล ซีส (Hydrolysis) ได้อย่างรวดเร็ว เรียกว่ากระบวนการอาร์ซิโนไลซิส (Arsenolysis) เมื่อ ATP ถูกกระบวนการทำงาน จะทำให้เกิดผลกระทบต่อขบวนการดำรงอยู่ตามปกติในร่างกาย (สกุลรัตน์ อุษณาวรงค์, 2549)

สารหนูอนินทรีย์ As(III) เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะจับกับ Sulfhydryls groups (-SH groups) ภายในเซลล์ ก่อให้เกิดการยับยั้งเอนไซม์ต่าง ๆ ในเซลล์ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Cellular respiration Glutathione metabolism และการซ่อมแซม DNA ส่วนสารหนูอนินทรีย์ As(V) และแก๊สอาร์ซีน เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะกลายเป็น As(III) ทำให้เกิดผลตามกลไกดังกล่าว จากนั้นสารหนู As(III) จะถูก Metabolized กลายเป็น MMA (Monomethylarsonic acid) และ DMA (Dimethylarsinic acid) ซึ่งถูกขับออกทางปัสสาวะ (เกศ สัตยพงศ์, 2555)

อาการพิษจากสารหนูอนินทรีย์จากการกิน มักเป็นชนิดวาเลนซี 3 ซึ่งละลายน้ำได้ดี แต่เมื่อเจอกรดจะเกิดเป็นแก๊สพิษอาร์ซีน ซึ่งระคายเคืองมาก และทำให้อาการพิษรุนแรงมากขึ้น ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู ซึ่งมักพบในอาหารทะเล จะไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย และจะถูกขับออกทางอุจจาระจึงไม่เกิดพิษ อวัยวะเป้าหมายของสารหนูคือ ทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร หัวใจ สมอง และไต รองลงมาคือ ไชกระดูก ม้าม และระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system) พิษของสารหนูมีทั้งแบบเฉียบพลัน (Acute toxicity) และเรื้อรัง (Chronic toxicity) (เกศ สัตยพงศ์, 2555) ดังนี้

5.1.1 พิษแบบเฉียบพลัน เกิดจากการได้รับสารหนูในปริมาณมากเข้าสู่ร่างกาย จะเกิดอาการภายใน 30 นาที ถึง 3 ชั่วโมง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาการของทางเดินอาหาร เช่น แสบร้อนปาก ลำคอ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องรุนแรง และอาการทางระบบอื่น ๆ เช่น แน่นหน้าอก หายใจลำบาก ลมหายใจมีกลิ่นคล้ายกระเทียม ความดันโลหิตต่ำ ไตวาย ไข้ เม็ดเลือดแดงแตก ชีต ซัก หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ภายใน 1 – 4 วัน

หากสูดดมทางการหายใจ จะทำให้ระคายเคืองเยื่อบุทางเดินหายใจส่วนต้น อาจเริ่มจากการไอ เจ็บคอ หายใจลำบาก ในรายที่รุนแรงอาจเกิดคออักเสบ (Pharyngitis) ปอด บวม น้ำ (Pulmonary edema) และอาจถึงขั้นระบบหายใจล้มเหลว (Respiratory failure) นอกจากนี้ยังเกิดพิษแบบ Systemic ได้ด้วย

หากสัมผัสทางผิวหนัง จะทำให้ระคายเคือง และกัดกร่อนผิวหนัง เกิดผื่น ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) และอาจดูดซึมผ่านผิวหนัง ทำให้เกิดพิษแบบ Systemic ได้ด้วย

หากสัมผัสถูกตา จะเกิดการระคายเคือง เกิดการกัดกร่อนทำให้เยื่อบุตา อักเสบ (Conjunctivitis) มีอาการคันตา แสบตา น้ำตาไหล อาจมีอาการตาสู้แสงไม่ได้ หรือมอง ภาพไม่ชัดตามมา

หากรับทางการกิน จะเกิดอาการแสบริมฝีปาก ลมหายใจมีกลิ่นคล้าย กระเทียม รู้สึกตึบภายในลำคอ กลืนลำบาก ต่อมามีอาการปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ถ่ายอุจจาระ เป็นเลือด หรือเป็นสีเหมือนน้ำซาวข้าว อาการดังกล่าวจะเกิดได้ภายใน 30 นาที หรือเป็นชั่วโมง นอกจากนี้ยังเกิดพิษแบบ Systemic ได้ด้วย

พิษแบบ Systemic ได้แก่ กล้ามเนื้อเป็นตะคริว ผิวหนังเย็นขึ้น มีอาการ สูญเสียน้ำและเกลือแร่ หรือสูญเสียเลือด อาจถึงขั้นช็อคได้ เมื่อตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ อาจพบ ลักษณะหัวใจเต้นเร็ว Ventricular fibrillation หรือ Ventricular tachycardia อาจพบ QT prolong หรือ T-wave เปลี่ยนแปลงได้ รายที่เป็นรุนแรง อาจโคมา ซัก และเสียชีวิตได้ภายใน 24 ชั่วโมง แต่ในรายที่พ้นช่วงวิกฤต อาจมีความผิดปกติของเส้นประสาทส่วนปลาย (Delayed peripheral neuropathy) เกิดขึ้นหลังจากนั้นหลายสัปดาห์ได้ โดยมีลักษณะชาส่วนปลายแบบสมมาตร (Symmetric distal sensory loss) มักเกิดกับส่วนขามากกว่าแขน

หากได้รับแก๊สอาร์ซีน จะมีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ แน่นหน้าอก มีผลให้ เม็ดเลือดแดงแตก (Intravascular hemolysis) อาจมีปัสสาวะเป็นเลือด (Hematuria) และภาวะ ไตวายเฉียบพลันแบบ Acute tubular necrosis หากมีลักษณะครบ 3 อาการ (Triad) ได้แก่

ปวดท้อง ดีซ่าน และปัสสาวะออกน้อย จะยิ่งบ่งชี้ถึงการสัมผัสแก๊สอาร์ซีนมากขึ้น แก๊สอาร์ซีน ความเข้มข้นเพียง 10 ppm สามารถทำให้เกิดอาการสับสน (Delirium) โคม่า และเสียชีวิตได้

5.1.2 พิษแบบเรื้อรัง เกิดจากการได้รับสารหนูในปริมาณไม่มากพอที่จะเกิดพิษแบบเฉียบพลัน แต่ได้รับสารหนูที่ละน้อย ๆ เป็นเวลานาน อาการทั่วไปคือ เกิดการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน กล้ามเนื้อไม่มีแรง และปวดกล้ามเนื้อ ลมหายใจมีกลิ่นคล้ายกระเทียม น้ำลาย และเหงื่อออกมาก กระเพาะอักเสบ คันตามตัว เป็นแผลที่คอ น้ำมูก น้ำตาไหล มีหนัง มีอาการร้อนที่อวัยวะส่วนปลาย ผิวหนังอักเสบ และสีระแวง เล็บมีเส้นสีขาวด้านขวาง (Mee's lines) จะเกิดขึ้นหลังจากได้รับสารหนู 6 สัปดาห์ นอกจากนี้ทำให้หลอดเลือดบริเวณผิวหนังขยายตัว ผิวเป็นสีขาวชมพู (Milk and roses) เกิดเป็นตุ่มหนาและบวม (Hyperkeratosis) โดยเฉพาะบริเวณฝ่ามือฝ่าเท้า และมีสีคล้ำ (Hyperpigmentation) บริเวณลำตัว ตามผิวหนัง โดยเฉพาะบริเวณคอ หนึ่งตา ห้วนม รักแร้ และปลายมือปลายเท้า ตามด้วยการฟ่อ และการเสื่อมของผิวหนัง และอาจกลายเป็นมะเร็งผิวหนังได้ สารหนูยังทำให้สมองเสื่อม (Encephalopathy) และระบบประสาทส่วนปลายเสื่อม (Peripheral neuropathy) ทำให้เกิดความผิดปกติในส่วนของประกอบของเซลล์ที่อยู่ในเลือด ทำให้เกิดอาการซีด เม็ดเลือดขาวลดลง (Leukopenia) ขนาดของเซลล์เม็ดเลือดแดงไม่เท่ากัน (Anisocytosis) และอายุสั้น (สกุลรัตน์ ุษณาวรงค์, 2549)

5.2 การสะสมสารหนูของพืช

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่มาพร้อมกับการพัฒนาประเทศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากความเจริญเหล่านั้นล้วนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่าง ๆ ไม่โดยทางตรงก็ทางอ้อม การตรวจสอบและติดตามถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิต เช่น พืช สัตว์ ในบริเวณนั้น ๆ จึงมีความจำเป็นยิ่ง เพื่อที่จะสามารถทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น หรือคาดการณ์ปัญหาที่กำลังจะเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และสามารถแก้ไขปัญหานั้นได้อย่างทันที่ พบว่ามีพืชหลายชนิดมีประสิทธิภาพการดูดสะสมสารหนู สำหรับพืชบกที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากได้แก่ พืชจำพวกเฟิร์น ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไฮเปอร์แอคคิวมูเลชัน (Hyperaccumulation) การศึกษาเกี่ยวกับการค้นหาการลดความเป็นพิษของสารหนูในต้นพืช และการสังเกตสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป การเจริญเติบโต หรือมวลชีวภาพของพืชที่ลดลง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดหรือเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในพื้นที่จริง

สารหนูสามารถเข้าไปแทรกแซงกระบวนการเมแทบอลิซึม ส่งผลให้มวลชีวภาพลดลง รากและหน่อมีมวลลดลง รวมทั้งลดความสูงของลำต้น ความยาวของหน่อ อัตราการงอก และผลผลิต ทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไป และส่งผลให้พืชตายในที่สุด โดยมีการทดสอบในพืช

หลายชนิดพบว่า มะเขือเทศมีการเปลี่ยนแปลงใบและราก ข้าวมีสีหรือรูปและเมล็ดข้าวมีจำนวนลดลง ในข้าวสาลีมีน้ำหนักของรากและหน่อ (Ahmed; et al., 2006)

ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ หรือ Bioindicator เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้คุณสมบัติเฉพาะตัวของสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่งหรือกลุ่มของสิ่งมีชีวิตในการบ่งชี้ถึงความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม หรือติดตามปริมาณของมลพิษต่าง ๆ ซึ่งมีข้อดีที่แตกต่างจากการใช้เครื่องมือวัดทางเคมีและกายภาพอื่น ๆ คือ สามารถบอกถึงผลโดยรวมที่เกิดขึ้นจริงต่อระบบนิเวศได้ ในขณะที่การใช้เครื่องมือจะสามารถวัดได้เพียงปริมาณของสารต่าง ๆ หรือปัจจัยแยกเป็นชนิดเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการใช้เครื่องมือ ลดการใช้กำลังคนในการสำรวจข้อมูลกรณีที่ต้องสำรวจข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Figueira; et al., 2009) Bioindicator ที่ดีควรมีลักษณะ ดังนี้

- 1) มีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างทางภูมิศาสตร์ ง่ายต่อการสังเกต
- 2) สามารถใช้ในการประเมินมลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ในระยะเวลาอันสั้น
- 3) ตอบสนองอย่างรวดเร็วกับสารมลพิษนั้น ๆ หรือสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป และแสดงอาการผิดปกติอย่างชัดเจน (Mitchell; et al., 2004) หากเป็นแบคทีเรียอาจบ่งบอกโดยการเปลี่ยนแปลงของจำนวนสปอร์ ยีสต์ และลักษณะกลุ่มสังคัม เป็นต้น (Avidano; et al., 2005) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เราสามารถพัฒนาให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศเราได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในประเทศไทยนั้นยังไม่ได้มีการพัฒนาเท่าที่ควร และยังต้องการการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาความรู้และการนำมาใช้ต่อไป

การดูดซึมสารหนูออกจากสิ่งแวดล้อมแม้ว่าสามารถทำได้หลายวิธีเช่นกัน แต่วิธีที่มีผู้ให้ความสนใจศึกษาอย่างแพร่หลายคือ วิธีทางเคมีและวิธีทางฟิสิกส์ เพราะทำได้รวดเร็ว แต่ทั้งสองวิธีก็มีข้อเสียหลายประการ เช่น ค่าใช้จ่ายสูง ใช้ทรัพยากรบุคคลมาก หรือใช้ขั้นตอนในการบำบัดหลายขั้นตอน เป็นต้น จึงยังไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้กับพื้นที่ปนเปื้อนที่มีบริเวณกว้าง การบำบัดสิ่งปนเปื้อนโดยอาศัยธรรมชาติ เช่น พืช จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสามารถบำบัดได้ดีทั้งในและนอกพื้นที่ โดยสารพิษเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ อนินทรีย์ หรือกัมมันตรังสี นอกจากนี้วิธีนี้ยังไม่เข้าไปก่อกวนดินเหมือนวิธีอื่น ๆ รวมทั้งมีความสะอาด ราคาถูก ไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ สามารถบำบัดดิน หรือตะกอนดินได้ในระดับความลึกของรากพืช และใช้เวลานานหลายปี บำบัดได้เฉพาะสารพิษที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก รวมทั้งการเจริญเติบโตของพืชยังถูกจำกัดด้วยสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ โรค และแมลงของพื้นที่ (Ghosh; et al., 2005) นอกจากนี้การสะสมโลหะหนักของพืชยังขึ้นกับการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioavailability) ของโลหะในดินอีกด้วย ซึ่งหมายถึงปริมาณส่วนหนึ่งของโลหะทั้งหมดในดิน (Total concentration) ที่สิ่งมีชีวิตสามารถจะนำขึ้นไปสะสมไว้ในเซลล์ได้ หรือกล่าวได้ว่าเป็น

ปริมาณของโลหะที่อยู่ในสภาพพร้อมใช้ ดังนั้น Bioavailability ของโลหะจึงไม่ใช่ปริมาณโลหะทั้งหมด และอาจจะไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างค่าทั้งสองนี้ นอกจากนี้ Bioavailability ไม่ใช่ค่าคงที่ สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความสามารถในการนำโลหะจากดินเข้าไปสะสมในเซลล์ได้ต่างกัน ขึ้นกับชนิดของสิ่งมีชีวิต และปัจจัยภายนอกหลายด้าน เช่น ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายดิน รูปแบบของโลหะในสารละลายดิน การดูดซับระหว่างโลหะและ Ligands ชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในดิน อิทธิพลของประจุบวกชนิดอื่น ๆ อุณหภูมิ ความเป็นกรด - ด่าง และ Redox potential เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบหรือศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ โดยตรง (นภวรรณ รัตสุข, 2552)

ในการพัฒนาด้านไฟโตรีเมเดชัน (Phytoremediation) จำเป็นต้องใช้ความรู้หลากหลายสาขาสอดคล้องกัน โดยมุ่งเน้นการศึกษากลไกการดูดสะสมสารหนูในพืช พืชจะสะสมสารหนูผ่านการดูดซึมของรากโดยช่องทางเดียวกับวิถีฟอสฟอรัสคือ แอคทีฟ อะโพพลาสติก (Active apoplasmic) หรือกลไกซิมพลาสติก (Symplasmic mechanism) เพื่อเคลื่อนย้ายสารหนูสู่ส่วนบนของลำต้นพืช หรือเก็บไว้ที่หน่อของพืช (Sharma; และ Sohn, 2009)

Baker และ Walker ได้จำแนกพืชที่สามารถเจริญในพื้นที่ปนเปื้อนพิษของโลหะหนักโดยพิจารณาจากปริมาณโลหะหนักที่สะสม ความสามารถในการดูดซับและลำเลียงโลหะหนักตลอดจนอวัยวะที่ใช้เป็นแหล่งเก็บสะสมโลหะหนักนั้น ๆ ทำให้สามารถจำแนกพืชออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ (1) Metal excluder คือ พืชที่สะสมโลหะหนักไว้ในรากแต่ไม่มีการลำเลียงไปยังส่วนอื่น ๆ (2) Metal indicator คือ พืชที่นอกจากจะดูดโลหะหนักทางรากแล้ว ยังมีการลำเลียงไปสะสมไว้ยังส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะส่วนเหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น หรือใบ โดยความเข้มข้นของโลหะหนักจะมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณที่ตรวจพบในดิน ดังนั้นจึงสามารถใช้พืชกลุ่มดังกล่าวเป็นดัชนีชี้วัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักและปริมาณโลหะหนักในดินได้ และ (3) Metal accumulator หรือ Hyperaccumulator คือ พืชที่มีการดูดซึมโลหะและมีการลำเลียงไปสะสมไว้ยังส่วนต่าง ๆ เช่นเดียวกับ Metal indicator แต่ต่างกันตรงที่ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในลำต้นจะมีความเข้มข้นสูงกว่าในดินที่พืชเจริญอยู่ และสูงมากพอที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชชนิดใกล้เคียงที่ไม่ได้เป็น Hyperaccumulator ซึ่งพืชในกลุ่มสุดท้ายนี้ได้รับความสนใจจากนักสิ่งแวดล้อมในฐานะเป็นพืชที่มีศักยภาพในการใช้บำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักได้ (Baker; และ Brooks, 1989)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ยีนส์ในพืชบางชนิดที่ทนต่อสารหนูสามารถควบคุมไม่ให้ความเข้มข้นของสารหนูภายในเซลล์มีระดับสูงเกินควร โดยเมื่อเซลล์ตรวจพบการสะสมของสารหนู ก็จะลดการแสดงออกของยีนที่ช่วยในการนำสารหนูเข้าสู่เซลล์ ในการขจัดสารหนูในระดับที่เป็นพิษนั้น พืชบางชนิดอาจขับออกนอกเซลล์ผ่านกระบวนการขนส่งบนเยื่อหุ้มเซลล์ (Plasma

membrane efflux transporter) หรือกักเก็บไว้ภายในแวคิวโอล (Vacuole) ซึ่งมีหน้าที่ในการเก็บของเสียภายในเซลล์ นอกจากนี้บางชนิดสามารถสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์น้ำหนักต่ำ และโปรตีนบางชนิด เพื่อจับกับไอออนของโลหะอิสระที่อยู่ในไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ได้อีกด้วย เช่น ไฟโตคีเลติน (Phytochelatin) (Islam; et al., 2015)

เมื่อ Arsenate เข้าสู่ระบบการสร้างพลังงานของพืช จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารหนูที่มีโครงสร้างซับซ้อนขึ้นโดยเอนไซม์ S-adenosylmethionine (SAM) และสะสมไว้ในเซลล์พืชไม่ถูกขับออกมา (ปารมี เพ็งปรีชา, 2546)

พืชสามารถดูดซับได้ทั้ง Arsenite [As(III)] และ Arsenate [As(V)] โดยเซลล์ของรากพืช เข้าไปรบกวนการทำงานของฟอสเฟตในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช เนื่องจากสารหนูที่มีประจุบวกห้า [As(V)] มีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับฟอสเฟตซึ่งเป็นอาหารหลักของพืช และพบว่าบางเซลล์สามารถเปลี่ยน As(V) เป็น As(III) ได้อีกด้วย As(V) สามารถเคลื่อนที่ผ่านเซลล์เมมเบรนโดยอาศัยโปรตีนสำหรับขนส่งฟอสเฟต ทำให้เซลล์เกิดการเสียสมดุลของฟอสเฟต นอกจากนี้ยังเข้าแข่งขันกับการฟอสเฟตในการเกิดปฏิกิริยา Phosphorylation ได้ผลผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสถียรสลายตัวได้ง่าย เช่น As(V)-ADP ทำให้ความสามารถในการผลิต ATP ของเซลล์ลดน้อยลง ลดการเจริญเติบโตของพืช (Finnegan; et al., 2012)

ดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น แคดเมียม สารหนู สังกะสี ตะกั่ว และโครเมียม เป็นต้น เป็นปัญหาหลักต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เนื่องจากมีความสามารถปนเปื้อนสู่ดินและแหล่งน้ำได้ดีทำให้เกิดกระจายสู่พื้นที่ภายนอกได้ง่าย โดยมีสาเหตุหลักจากการพัดพาของฝุ่นดินหรือตะกอนที่ปนเปื้อน การดูดซึมโลหะหนักของพืช และการสะสมในสิ่งมีชีวิตของห่วงโซ่อาหาร

ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกที่เคยได้รับสารกำจัดวัชพืช หรือสารฆ่าแมลงที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ เช่น แคลเซียมอาร์ซีเนต กรดอาร์ซีนิก โมโนโซเดียมมีเทนอาร์ซิเนต เลดอาร์ซีนีต เป็นต้น ดินบริเวณเหล่านี้มีธาตุสารหนูปนเปื้อน (สุวรรณีย์ ภูธรราช, 2537)

การปนเปื้อนของสารหนูเป็นปัญหาที่สำคัญในหลายพื้นที่ เนื่องจากมีความเป็นพิษสูงแม้มีปริมาณเล็กน้อย ดังเช่นจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่มีปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในดินสูงถึง 50 – 5,000 mg/kg เป็นบริเวณกว้าง จึงเป็นการยากที่จะบำบัดสารหนูโดยวิธีทางเคมีและกายภาพ การบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพจึงกลายเป็นตัวช่วยที่สำคัญวิธีหนึ่ง ซึ่งจากการศึกษาและเปรียบเทียบการสะสมของสารหนูในฝือกและบอนที่ความเข้มข้นในดินต่างกันพบว่า พืชทั้งสองชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีและอยู่รอดทั้งหมดที่ความเข้มข้น 100 และ 200 mg/kg โดยสารหนูสามารถสะสมได้มากที่สุดใบ ราก และจากการศึกษาเติม Ethylene diaminetetraacetic acid

(EDTA) สามารถเพิ่มการสะสมของสารหนูในพืชทั้งสองชนิดได้มากที่สุดที่ความเข้มข้น 400 mg/kg พบว่าเผือกสะสมได้มากที่สุด คือ 40.43 mg ส่วนในบอนมีค่า 46.79 mg (วิชรัตน์ ธรรมบำรุง, 2545)

พืชที่เจริญเติบโตอยู่ในพื้นที่ที่ดินหรือแหล่งน้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนสามารถดูดสารหนูเข้าไปสะสม และเคลื่อนย้ายไปอยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อใดที่ทำหน้าที่เป็นที่เก็บสะสมน้ำหรือสารประกอบอินทรีย์สารหนูย่อมตรวจพบเป็นปริมาณมากในเนื้อเยื่อนั้น ๆ (สุวรรณชัย ภูธรธราช, 2537)

การศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตของ *Colocasia esculenta* (L.) Schott (บอนจีนดำและบอนเขียว) พบว่าทั้งสองพันธุ์มีประสิทธิภาพในการดูดซึมสารหนูได้ใกล้เคียงกัน และมีอัตราการอยู่รอดทั้งหมดที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนสารหนู 0 – 150 mg/kg (จิราวรรณ จำปานิล, 2543)

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของเฟิร์นเงิน (brake fern) ในพื้นที่ปนเปื้อนสารหนูในพลอริต้า (ปริมาณ 18.8 – 1,603 ppm) พบว่าเฟิร์นเงินสามารถสะสมปริมาณสารหนูไว้ในใบได้ถึง 3,280 – 4,980 ppm (Ma; et al., 2001)

พบการสะสมของสารหนูในเฟิร์นทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *P. cretica* *P. biaurita* *P. quadriaurita* และ *P. ryukyuensis* มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,770 – 3,650 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ที่ส่วนของใบเฟิร์น และ 182 – 507 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ในส่วนของราก เมื่อปล่อยให้เจริญเติบโตในดินที่มีความเข้มข้นสารหนู 100 mg/kg (Srivastava; et al., 2006)

การศึกษาการเจริญเติบโตของ *Helianthus annuus* (ทานตะวัน) ในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่าทานตะวันสามารถสะสมสารหนูได้ 1,550 mg/kg (January; et al., 2008)

บทที่ 3

อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการ

1. อุปกรณ์ และเครื่องมือ

- 1.1 เข็ช
- 1.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างพืช และดิน เช่น ช้อนปลูก เสียม
- 1.3 ถุงเก็บตัวอย่าง พร้อมป้ายชื่อ
- 1.4 อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูล
- 1.5 เครื่องมือค้นหาตำแหน่งทางภูมิศาสตร์
- 1.6 ปีกเกอร์ขนาด 150 mL
- 1.7 กระดาษกรองเบอร์ 4
- 1.8 กระจกนาฬิกา
- 1.9 Hot plate
- 1.10 ตู้แช่เย็น
- 1.11 เตาอบไมโครเวฟ
- 1.12 เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 280

Series AA

2. สารเคมี

- 2.1 กรดไนตริก (HNO_3)
- 2.2 กรดเปอร์คลอริก (HClO_4)
- 2.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 2.4 น้ำปราศจากไอออน (Deionized distilled water)
- 2.5 สารมาตรฐานสารหนู ความเข้มข้น 1,000 ppm

3. การเก็บข้อมูล

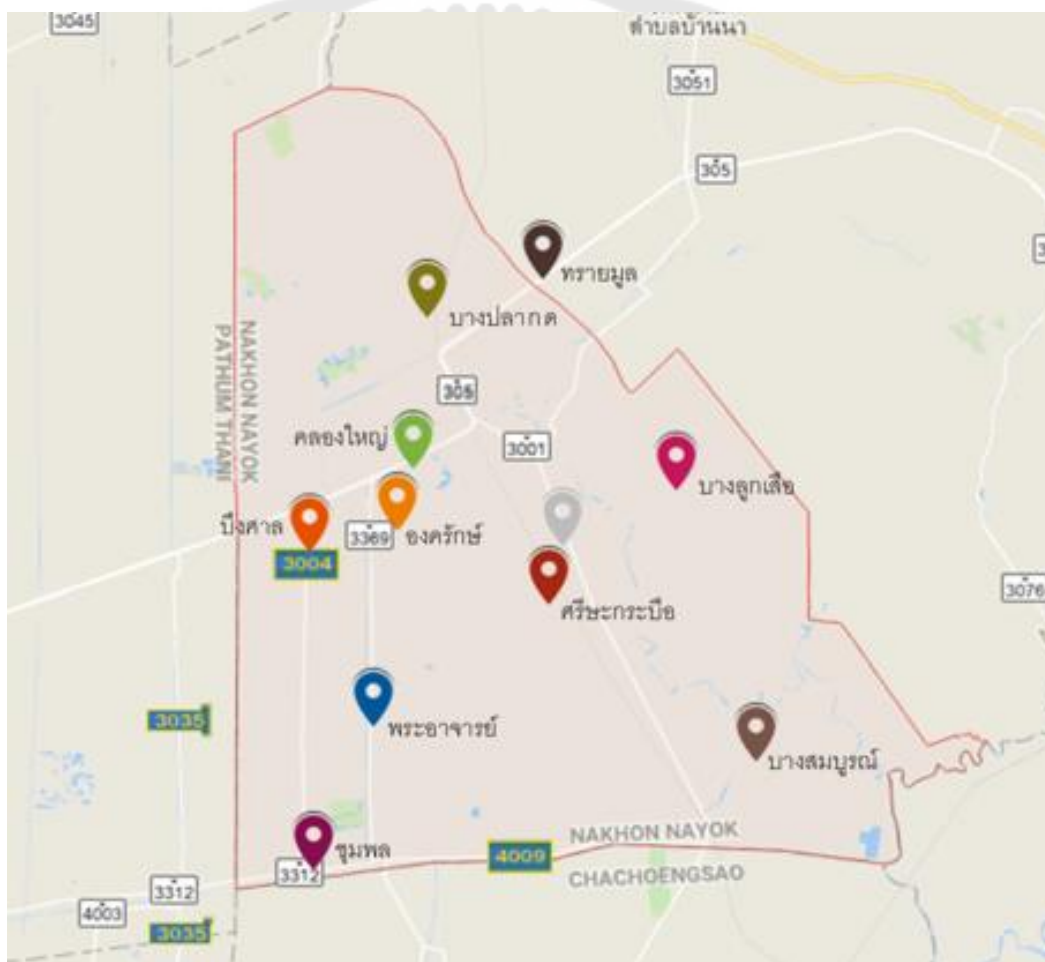
3.1 พื้นที่สำรวจข้อมูลและจุดเก็บตัวอย่าง

กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก จำนวน 10 จุด ดัง
Error! Reference source not found. โดยแต่ละจุดทำการวางแปลงขนาด 1x3 m ระยะห่าง
ระหว่างแปลงตัวอย่าง 10 m จำนวนจุดละ 5 แปลง บันทึกพิกัดทุกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ทำการ

นับ และบันทึกจำนวนวัชพืชที่พบ จากนั้นเก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละแปลง การเก็บตัวอย่างพืช จะเก็บทั้งส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดิน จำนวนอย่างน้อยตัวอย่างละ 10 ต้นต่อตำแหน่ง นำตัวอย่างทั้ง 10 ต้นมารวมกันเป็นตัวแทนของพืชแต่ละชนิดในตำแหน่งนั้น

สำหรับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดิน จะเก็บตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างพืช โดยสุ่มตัวอย่างดิน 3 จุดในบริเวณนั้นรวมเป็นถุงเดียวกันจำนวนอย่างน้อย 1 kg เพื่อใช้เป็นตัวแทนของดินบริเวณนั้น

ตัวอย่างน้ำ จะเก็บตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างพืช หรือบริเวณใกล้เคียง โดยเก็บใส่ภาชนะให้มีปริมาตรไม่น้อยกว่า 3 L



ภาพประกอบ 5 แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินและพืช บริเวณที่นาและพื้นที่โดยรอบ
อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลพืช

3.2.1 จัดทำเป็นบัญชีรายชื่อพืชที่สำรวจพบ โดยทำการจำแนกชนิดพันธุ์พืชที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง โดยใช้เอกสารทางอนุกรมวิธานพืช (พฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2544) และเปรียบเทียบกับพืชที่ทราบชื่อแล้วในหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช และพิพิธภัณฑ์พืชกรุงเทพมหานคร

3.2.2 ความหนาแน่นของชนิดพรรณไม้ (Density ; D) คือจำนวนพรรณไม้ทั้งหมดของชนิดพรรณที่วัดที่ปรากฏในแปลงตัวอย่างต่อพื้นที่ คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ (จิราณี วานิชกุล, 2547)

$$\text{ความหนาแน่น (D}_A\text{)} = \frac{\text{จำนวนพรรณไม้ A ทั้งหมดที่วัดที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง}}{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด}}$$

3.2.3 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ของพรรณไม้ทุกชนิดเป็นค่าเปรียบเทียบทางด้านความหนาแน่นของพรรณไม้ชนิดใดชนิดหนึ่งในสังคมพรรณไม้ กับความหนาแน่นของพรรณไม้ทั้งหมดในสังคมนั้น บอกค่าเป็นร้อยละ คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ (จิราณี วานิชกุล, 2547)

$$\text{ความหนาแน่นสัมพัทธ์ชนิดพรรณไม้ A (RD}_A\text{)} = \frac{\text{ความหนาแน่นของพรรณไม้ A}}{\text{ความหนาแน่นรวมของพรรณไม้ทั้งหมด}} \times 100$$

3.2.4 ค่าความถี่ของชนิดพรรณ (Frequency ; F) ความถี่เป็นค่าที่ชี้การกระจายของพรรณไม้แต่ละชนิดในแปลงตัวอย่าง เป็นค่าความบ่อยครั้งของชนิดพรรณไม้ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะปรากฏในแปลงตัวอย่าง ค่าของความถี่เป็นเปอร์เซ็นต์ คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ (จิราณี วานิชกุล, 2547)

$$\% \text{ ความถี่ชนิดพรรณไม้ A (F}_A\text{)} = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างพรรณไม้ A ปรากฏ}}{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100$$

3.2.5 ความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของพรรณไม้ทุกชนิด เป็นค่าเปรียบเทียบทางด้านความถี่ของพรรณไม้ชนิดใดชนิดหนึ่งในสังคมพรรณไม้กับความถี่ของพรรณไม้ทั้งหมดในสังคม บอกค่าเป็นร้อยละ คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ (จิราณี วานิชกุล, 2547)

$$\text{ความถี่สัมพัทธ์ชนิดพรรณไม้ A (RF}_A\text{)} = \frac{\text{ความถี่ของพรรณไม้ A}}{\text{ความถี่รวมของพรรณไม้ทั้งหมด}} \times 100$$

3.2.6 ความหลากหลายทางชีวภาพ (Species diversity) เป็นความมากน้อยของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาศัยในระบบนิเวศหนึ่ง ๆ สังคมพืชแห่งหนึ่งมีชนิดพันธุ์ปรากฏมากเป็นการสะท้อนให้เห็นว่าในพื้นที่มีปัจจัยแวดล้อมที่มีความผันแปรมาก ซึ่งจะมีผลทำให้โครงสร้างสลับซับซ้อนตามไปด้วย และยังพบว่าสังคมที่อยู่ระหว่างการทดแทนจะมีความหลากหลายของชนิดต่ำ แต่จะมีความหลากหลายสูงที่สุดในสังคมที่ค่อนข้างเสถียร ความหลากหลายทางชีวภาพ (ภาคภูมิ สืบบุญการณ, 2556) คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

3.2.6.1 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Index; H')

$$H' = \sum_{i=1}^S (P_i)(\ln P_i)$$

H' = ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของชนิดพรรณของ Shannon-Wiener

P_i = สัดส่วนระหว่างจำนวนพรรณไม้ชนิด i ต่อจำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

S = จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

3.2.6.2 ดัชนีการกระจายตัวของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Evenness Index; $E_{H'}$)

$$E_{H'} = \frac{H'}{\ln S}$$

- E_H = ค่าดัชนีการกระจายตัวของ Shannon-Wiener และ E_H มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (ค่ามากที่สุดคือ 1 หมายความว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีจำนวนตัว หรือต้น เท่ากัน หรือเรียกว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ)
- H' = ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของชนิดพรรณของ Shannon-Wiener
- S = จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูรวม โดย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4.1 ตัวอย่างพืช

4.1.1 การเก็บตัวอย่าง ให้เก็บตัวอย่างพืชใส่ถุงพลาสติกเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อรักษาความสดจนกระทั่งถึงห้องปฏิบัติการ

4.1.2 การเก็บรักษาตัวอย่าง นำตัวอย่างสดมาล้างด้วยน้ำกลั่น ตัดแยกส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินออกจากกัน นำพืชส่วนเหนือดินหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กแล้วบดให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2 - 4 °C จนกว่าจะทำการสกัด พืชส่วนใต้ดินก็ทำเช่นเดียวกัน

4.1.3 การเตรียมตัวอย่าง วิธีการสกัดตัวอย่างพืชพัฒนามาจากวิธีมาตรฐาน AOAC official Method 975.03 (1988) โดยซึ่งนำหนักตัวอย่างซึ่งวางทิ้งไว้ให้น้ำแข็งละลายแล้วจำนวน 5 g ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 50 mL นำไปอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ระดับความร้อนประมาณ 600 - 700 W นาน 10 นาที เติม Conc.HNO₃ 10 mL ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง นำไปย่อยด้วยความร้อนบน Hot plate จนได้สารละลายใส เติม Conc.HClO₄ 4 mL ย่อยต่อไปจนกว่าควันสีขาวหายไป ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 50%HCl จำนวน 5 mL ย่อยต่อจนสารละลายเกือบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized Distilled water) เป็น 50 mL ทำการย่อยตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ควบคุมคุณภาพการย่อยในแต่ละชุดตัวอย่าง โดยทำการย่อยสารเคมีที่ใช้ใน (Reagent blank) นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4.2 ตัวอย่างดิน

4.2.1 การเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างดินโดยใช้เสียม ขุดหลุมเป็นรูป V ให้ลึกในแนวตั้งประมาณ 15 cm จากนั้นแฉะเอาดินด้านหนึ่ง เป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 cm จากปากหลุมถึงก้นหลุม ดินที่ได้นี้เป็นดินจาก 1 จุด แต่ละสถานที่จะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน 3 ครั้ง และนำมาคลุกผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตักใส่ถุงพลาสติก จำนวน 1 kg นำกลับห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

4.2.2 การเก็บรักษาตัวอย่าง นำตัวอย่างดินมาตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง คัดแยกเศษซากพืชและก้อนหินขนาดใหญ่ออก นำไปบดให้มีขนาดเล็กลง คลุกให้เป็นเนื้อเดียวกัน

4.2.3 การเตรียมตัวอย่าง วิธีเตรียมตัวอย่างดินพัฒนามาจากวิธีมาตรฐาน EPA method 3050B (1996) โดยชั่งดินจำนวน 5 g ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 mL เติม Conc.HNO₃ 10 mL ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง นำไปย่อยด้วยความร้อนบน hot plate จนสารละลายเกือบแห้ง เติม Conc.HNO₃ 10 mL และย่อยต่อจนเกือบแห้งอีกครั้ง เติม Conc.HClO₄ 4 mL ย่อยต่อจนควันสีขาวจางหายไป ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองด้วยกระดาษเบอร์ 4 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized Distilled water) เป็น 50 mL ทำการย่อยตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ควบคุมคุณภาพการย่อยในแต่ละชุดตัวอย่าง โดยทำการย่อยสารเคมีที่ใช้ใน (Reagent blank) นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4.3 ตัวอย่างน้ำ

4.3.1 การเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างใส่ภาชนะให้มีปริมาตรอย่างน้อย 3 L

4.3.2 การเก็บรักษาตัวอย่าง เติม HNO₃ 1:1 ปริมาตร 1.5 mL ต่อตัวอย่างน้ำ 500 mL เพื่อให้ pH < 2 ก่อนจัดเก็บเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 – 8 °C

4.3.3 การเตรียมตัวอย่าง วิธีเตรียมตัวอย่างน้ำพัฒนามาจากวิธีมาตรฐาน AWWA part 3125B (2012) โดยนำน้ำปริมาตร 100 mL ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 mL เติม Conc.HNO₃ 0.5 mL นำไปย่อยด้วยความร้อนบน Hot plate จนเกือบแห้ง ถ้าจำเป็นให้เติม Conc.HNO₃ และย่อยต่อจนละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองด้วยกระดาษเบอร์ 4 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized Distilled water) เป็น 100 mL ทำการย่อยตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ควบคุมคุณภาพการย่อยในแต่ละชุดตัวอย่าง โดยทำการย่อยสารเคมีที่ใช้ใน (Reagent blank) นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความหลากหลายชนิดพืชในน้ำขำกับปริมาณสารหนู

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูรวมในดิน กับค่าความหนาแน่น (Density ; D) ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon-Wiener's Index ; H') และ ดัชนีการกระจายตัวของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Evenness Index ; E_H) โดยคำนวณหาค่า Correlation โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงชนิดพืชที่สัมพันธ์กับปริมาณสารหนู และกลุ่มพืช สังคมพืช

ความหลากหลายของพรรณพืช และชนิดพืชที่เป็นตัวดัชนีทางชีวภาพ (Bioindicator) ที่สามารถบ่งชี้การปนเปื้อนของสารหนู หรือพบพืชที่มีศักยภาพในการบำบัดฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารหนูได้ เป็นต้น

6. การศึกษาประสิทธิภาพการสะสมสารหนูของต้นข้าวในดิน อ.องครักษ์ จ.นครนายก

นำปริมาณสารหนูที่ได้จากข้อ 4 มาวิเคราะห์ เพื่อจำแนกประเภทของพืชว่าเป็น Metal hyperaccumulator Metal excluder หรือ Metal indicator โดยคำนวณค่า Translocation factor (TF), ค่า Bioaccumulation factor (BAF) และค่า Bioconcentration factor (BCF)

หากพืชที่วิเคราะห์ มีค่า TF BAF และ BCF มากกว่า 1 และสามารถเคลื่อนย้ายโลหะเข้ามาสะสมได้ไม่น้อยกว่า 1,000 mg/kg (สายชล สุขญาณกิจ, 2556) จะจำแนกพืชนั้นว่าเป็น Metal hyperaccumulator และหากมีค่า TF น้อยกว่า 1 และมีปริมาณโลหะหนักในรากสูง จะจำแนกพืชนั้นว่าเป็น Metal excluder ส่วนพืชที่เป็น Metal indicator จะต้องมีความเข้มข้นโลหะหนักที่สะสมในส่วนเหนือดินของพืช แปรผันตามปริมาณโลหะในดินที่ตำแหน่งนั้น ๆ (Baker; และ Brooks, 1989)

ปัจจัยการเคลื่อนย้าย (TF) =	$\frac{\text{ความเข้มข้นสารหนูในพืชส่วนที่อยู่เหนือดิน (mg/kg)}}{\text{ความเข้มข้นสารหนูในราก (mg/kg)}}$
ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพ (BAF) =	$\frac{\text{ความเข้มข้นสารหนูในพืชส่วนที่อยู่เหนือดิน (mg/kg)}}{\text{ความเข้มข้นสารหนูที่อยู่ในดิน (mg/kg)}}$
ปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ (BCF) =	$\frac{\text{ความเข้มข้นสารหนูในราก (mg/kg)}}{\text{ความเข้มข้นสารหนูที่อยู่ในดิน (mg/kg)}}$

บทที่ 4

ผลการศึกษา

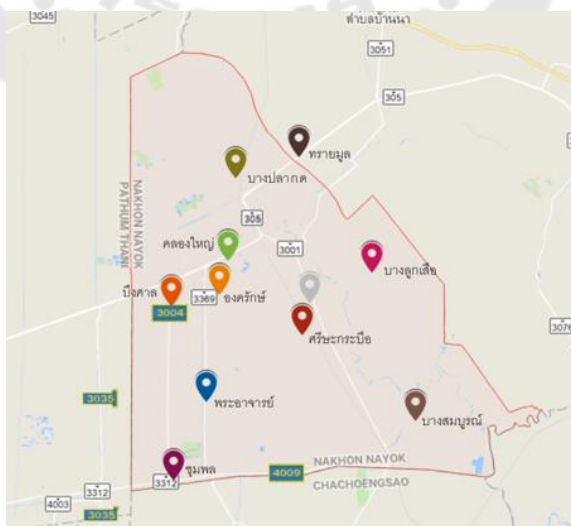
1. พื้นที่ศึกษา

บริเวณที่นา อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก และสถานที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ดิน และน้ำ คือ ห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก จำนวน 10 จุด ดังตาราง 1 โดยแต่ละจุดทำการวางแปลงขนาด 1x3 m ระยะห่างระหว่างแปลงตัวอย่าง 10 m จำนวนจุดละ 5 แปลง บันทึกพิกัดทุกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ทำการนับและบันทึกจำนวนวัชพืชที่พบ จากนั้นเก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละแปลง การเก็บตัวอย่างพืชจะเก็บทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน จำนวนอย่างน้อยตัวอย่างละ 10 ต้นต่อตำแหน่ง นำตัวอย่างทั้ง 10 ต้นมารวมกันเป็นตัวแทนของพืชแต่ละชนิดในตำแหน่งนั้น

สำหรับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินจะเก็บตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างพืช โดยสุ่มตัวอย่างดิน 3 จุดในบริเวณนั้นรวมเป็นจุดเดียวกัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนของดินบริเวณนั้น

ตัวอย่างน้ำ จะเก็บตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างพืช หรือบริเวณใกล้เคียง โดยเก็บใส่ภาชนะให้มีปริมาตรไม่น้อยกว่า 3 L



ภาพประกอบ 6 แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินและพืชในนาข้าว อ.องครักษ์ จ.นครนายก

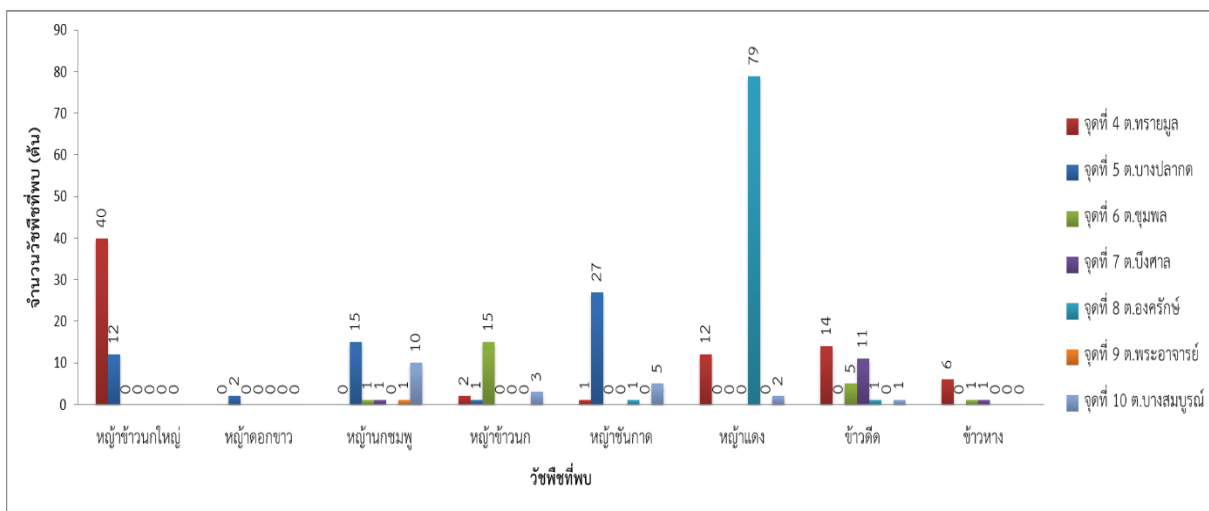
ตาราง 1 แสดงพิกัดจุดเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และต้นข้าว บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก

จุดที่	พื้นที่เก็บตัวอย่าง	พิกัด	
		ละติจูด	ลองจิจูด
1	ต.คลองใหญ่	N14°06.334'	E100°58.464'
2	ต.ศิระชะกระบือ	N14°03.515'	E101°01.280'
3	ต.บางลูกเสือ	N14°05.878'	E101°03.899'
4	ต.ทรายมูล	N14°10.224'	E101°01.172'
5	ต.บางปลากด	N14°09.429'	E100°58.788'
6	ต.ชุมพล	N13°58.058'	E100°56.408'
7	ต.บึงศาล	N14°04.593'	E100°56.344'
8	ต.องครักษ์	N14°05.033'	E100°58.165'
9	ต.พระอาจารย์	N14°00.989'	E100°57.666'
10	ต.บางสมบุญ	N14°00.298'	E101°05.579'

2. การศึกษาความหลากหลายของวัชพืชในนาข้าว

2.1 ความหลากหลายของวัชพืชในนาข้าวโดยภาพรวมของ อ.องครักษ์ จ.นครนายก

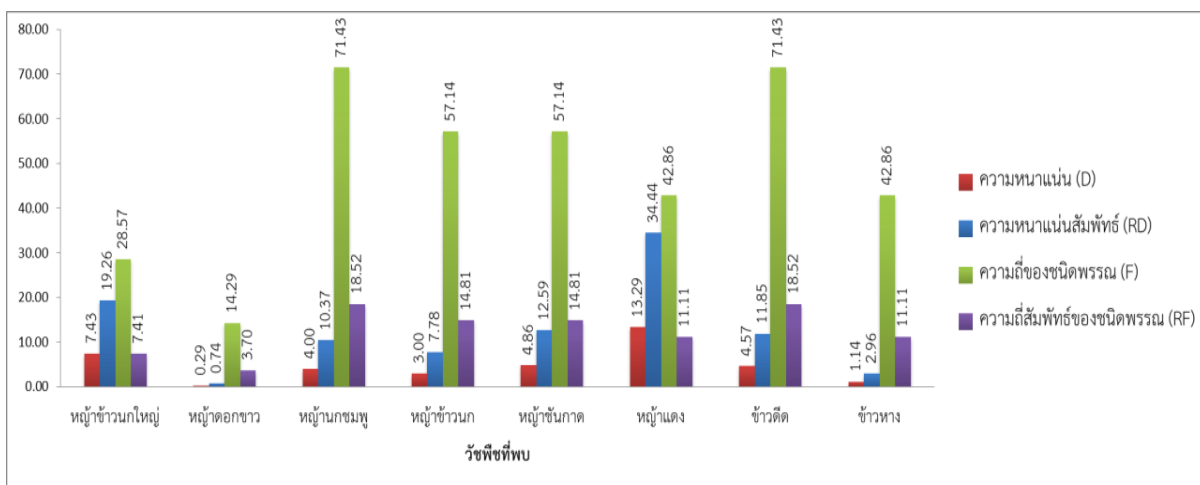
จากการสุ่มสำรวจวัชพืชในที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก ทั้ง 7 ตำบล จากทั้งหมด 10 ตำบล พบวัชพืชทั้งหมด 8 ชนิด ดังตาราง 2 ได้แก่ หญ้าข้าวนกใหญ่ (*Echinochloa stagnina* (Retz.) P. Beauv.) หญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) หญ้านกชมพู (*Echinochloa colana* (L.) Link) หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.) หญ้าชันกาด (*Panicum repens* L.) หญ้าแดง (*Ischaemun rugosum* Salisb) ข้าวดีด (*Oryza sativa f. spontanea*) และข้าวหาง (*Oryza sativa f. spontanea*) ซึ่งพบว่าเป็นวัชพืชที่มีในรายงานวัชพืชร้ายแรงของประเทศไทย (พรชัย เหลืองอากาศ, 2540) และรายงานวัชพืชร้ายแรง 10 อันดับแรกของโลก (Holm; et al., 1971) จำนวน 2 ชนิด คือ หญ้านกชมพู (*Echinochloa colana* (L.) Link) หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.)



ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงจำนวนวัชพืชที่พบของจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 - 10

พบวัชพืชที่มีจำนวนมากที่สุด หรือมีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ หญ้าแดง มีค่า RD = 34.44% เป็นวัชพืชประเภทใบแคบ อายุปีเดียว แพร่ระบาดในนาหว่านข้าวแห้ง และนาหว่านน้ำตมของภาคกลาง พบมากบริเวณที่ดินขึ้นและนาหว่านน้ำตมที่ปล่อยให้เทือกแห้ง จึงออกหลังข้าว หลังจากฝนตกหนักเมล็ดจะงอกพร้อมข้าวในสภาพนาหว่านข้าวแห้ง และสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำลึก 3 – 4 m (ประสาน วงศาโรจน์, 2540) อาจลดผลผลิต 15% ในความหนาแน่น 5 ต้น/ตารางเมตร และลดผลผลิตข้าวถึง 80% ในความหนาแน่น 80 ต้น/ตารางเมตร (Ampong-Nyarko; et al., 1991) รองลงมาคือ หญ้าข้าวนกใหญ่ (RD = 19.26%) และหญ้าชันกาด (RD = 12.59%) ตามลำดับ พบวัชพืชที่มีการกระจายตัวมากที่สุด มีค่า F = 71.43 และ RF = 18.52% เท่ากัน 2 ชนิด คือ หญ้านกชมพู ซึ่งเป็นวัชพืชประเภทใบแคบ อายุปีเดียว ข้อต่างระหว่างใบและกาบใบไม่มี ligule ลำต้นและใบบางครั้งมีสีชมพูเป็นรอยตัดขวางตามความยาวของใบ ระบาดในข้าวไร่และนาหว่านข้าวแห้ง หรือนาหว่านน้ำตม เมล็ดงอกได้ดีในสภาพที่ค่อนข้างแห้ง เมื่อออกแล้วสามารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีน้ำขังได้ หากน้ำท่วมยอดจะตายใน 2 สัปดาห์ (ประสาน วงศาโรจน์, 2540) สามารถงอกได้ที่ความลึก 0.4 cm อาจทำให้ผลผลิตข้าวสูญเสียได้ถึง 85% (Ampong-Nyarko; et al., 1991)

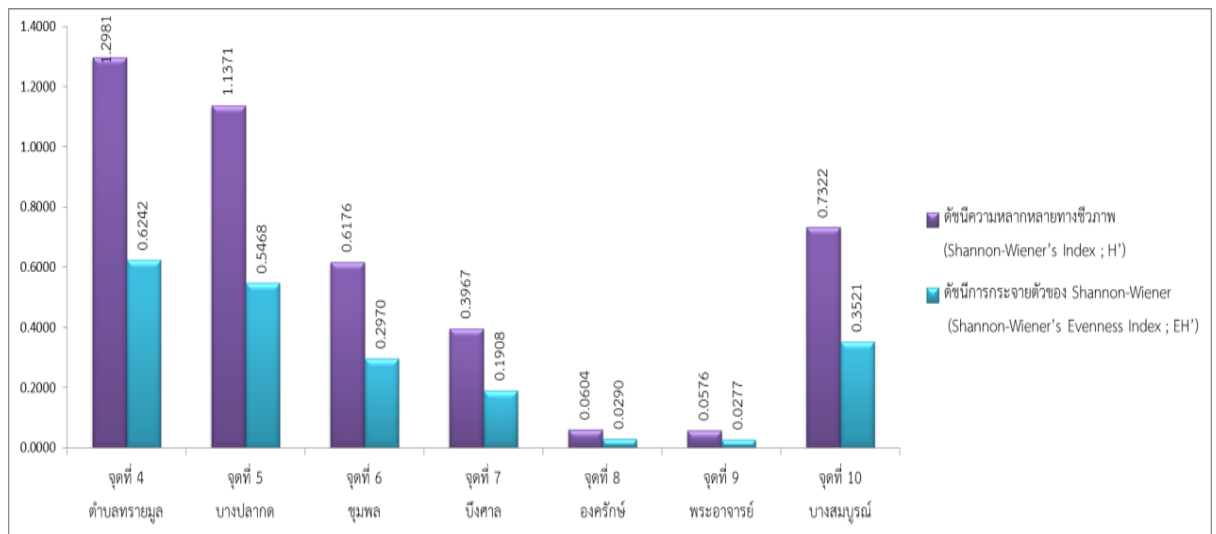
วัชพืชที่มีการกระจายตัวมากที่สุดอีกชนิดคือ ข้าวตืด ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีลักษณะร่วงง่าย และร่วงเร็ว ส่วนใหญ่ร่วงก่อนเก็บเกี่ยว จึงไม่ถูกเก็บเกี่ยวไปพร้อมกับข้าวปลูก ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงได้ถึง 100% (ประสาน วงศาโรจน์, 2540) รองลงมาคือ หญ้าข้าวนก และหญ้าชันกาด มีค่า F = 57.14 และ RF = 14.81% ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงความหนาแน่น (D) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) ความถี่ของชนิดพรรณ (F) ความถี่สัมพัทธ์ของชนิดพรรณ (RF) โดยรวมของวัชพืชแต่ละชนิด





การศึกษาและวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Index ; H') และดัชนีการกระจายตัวของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Evenness Index ; $E_{H'}$) พบว่า ต.ทรายมูล คือพื้นที่ที่มีค่า H' และ $E_{H'}$ มากที่สุดเท่ากับ 1.298 และ 0.624 ตามลำดับ ต.องครักษ์ และ ต.พระอาจารย์ เป็น 2 พื้นที่ที่มีค่าน้อยที่สุด มีค่า $H' = 0.060$ ($E_{H'} = 0.029$) และ $H' = 0.058$ ($E_{H'} = 0.028$) ตามลำดับ โดย ต.พระอาจารย์ พบวัชพืชเพียง 1 ชนิด คือหญ้านกสีชมพู ดังภาพประกอบ 9

สาเหตุหลักการระบาดของวัชพืชในพื้นที่การศึกษา เนื่องจากเป็นนาชลประทาน ทำให้มีการส่งน้ำเป็นเวลา บางครั้งระดับน้ำอยู่ต่ำหรืออยู่ในสภาพแห้ง ทำให้เมล็ดวัชพืชส่วนใหญ่ที่พบบอกได้ดี เกษตรกรจึงควรรักษาระดับความสูงของน้ำไว้ เพื่อลดการระบาดของวัชพืช และยังลดต้นทุนในการควบคุม ป้องกัน และกำจัดวัชพืชโดยใช้สารเคมีอีกด้วย


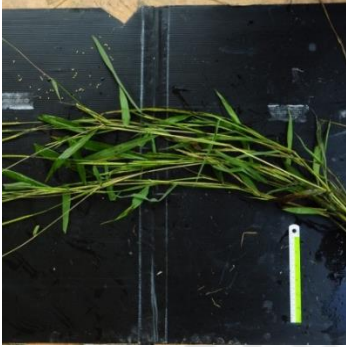




ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ และดัชนีการกระจายตัวของ
 วัชพืชที่พบในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4-10

ตาราง 2 แสดงวัชพืชที่พบของจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 - 10

รูปวัชพืช	ชื่อ วิทยาศาสตร์	ชื่อพืช	จำนวนที่พบ						
			จุด 4	จุด 5	จุด 6	จุด 7	จุด 8	จุด 9	จุด 10
	<i>Echinochloa staghina</i> (Retz.) P. Beauv.	หญ้าข้าวนกใหญ่	40	12	0	0	0	0	0
	<i>Leptochloa chinensis</i> (L.) Nees	หญ้าดอกขาว	0	2	0	0	0	0	0
	<i>Echinochloa colana</i> (L.) Link	หญ้าหนามพุ	0	15	1	1	0	1	10
	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	หญ้าข้าวนก	2	1	15	1	0	0	3

ตาราง 2 (ต่อ)

รูปวัชพืช	ชื่อ วิทยาศาสตร์	ชื่อพืช	จำนวนที่พบ						
			จุด 4	จุด 5	จุด 6	จุด 7	จุด 8	จุด 9	จุด 10
	<i>Panicum repens L.</i>	หญ้าชันภาค	1	27	0	1	1	0	5
	<i>Ischaemum rugosum</i> Salisb	หญ้าแดง	12	0	0	1	79	0	2
	<i>Oryza sativa f. spontanea</i>	ข้าวดีด	14	0	5	11	1	0	1
	<i>Oryza sativa f. spontanea</i>	ข้าวหาง	6	0	1	1	0	0	0

2.2 ความหลากหลายของวัชพืชในนาข้าวของจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 - 10

จากการสำรวจวัชพืชในนา อ.องครักษ์ จ.นครนายก ทั้ง 7 ตำบล พบว่า ต.ทรายมูล คือพื้นที่ที่มีค่า H' และ $E_{H'}$ มากที่สุดเท่ากับ 1.298 และ 0.624 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 9 ซึ่งพบวัชพืชที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ หญ้าข้าวนกใหญ่ มีค่า $RD = 53.33$ รองลงมาคือ ข้าวดีด ($RD = 18.67$) และหญ้าแดง ($RD = 16.00$) ตามลำดับ พบว่า ข้าวดีด เป็นวัชพืชที่มีการกระจายตัวมากที่สุดใน ต.ทรายมูล ซึ่งพบทุกแปลงที่สำรวจ มีค่า $F = 100.00$ และ $RF = 31.25$ รองลงมาคือ ข้าวดีด มีค่า $F = 80.00$ และ $RF = 25.00$ นอกจากนี้ยังพบว่า หญ้าข้าวนกใหญ่ หญ้าข้าวนก และหญ้าแดง มีการกระจายตัวเท่ากัน มีค่า $F = 40.00$ และ $RF = 12.50$ แต่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3

ต.บางปลากด มีค่า $H' = 1.137$ และ $E_{H'} = 0.547$ ซึ่งมีค่ามากเป็นอันดับ 2 รองจาก ต.ทรายมูล วัชพืชที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ หญ้าชันกาด มีค่า $RD = 47.37$ และเป็นวัชพืชที่มีการกระจายตัวมากที่สุด มีค่า $F = 100.00$ และ $RF = 38.46$ รองลงมาคือ หญ้านกชมพู มีค่า $RD = 26.32$ $F = 80.00$ ($RF = 30.77$) และ หญ้าข้าวนกใหญ่ มีค่า $RD = 21.05$ $F = 40.00$ ($RF = 15.38$) ดังตารางที่ 4

ต.ชุมพล มีค่า $H' = 0.618$ และ $E_{H'} = 0.297$ พบว่า หญ้าข้าวนก เป็นวัชพืชที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุด มีค่า $RD = 68.18$ รองลงมาคือ ข้าวดีด มีค่า $RD = 22.73$ ซึ่งทั้ง 2 ชนิด มีการกระจายตัวในจุดสำรวจนี้เท่ากัน คือ $F = 40.00$ และ $RF = 33.33$ แสดงดังตาราง 5

ต.บึงศาล และ ต.องครักษ์ พบวัชพืชทั้งหมด 3 ชนิด โดย ต.บึงศาล มีค่า $H' = 0.397$ และ $E_{H'} = 0.191$ พบว่าข้าวดีด มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ และการกระจายตัวมากที่สุด มีค่า $RD = 84.72$ $F = 100.00$ $RF = 71.43$ รองลงมาคือ หญ้านกชมพู และข้าวหาง มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ และการกระจายตัวเท่ากันคือ $RD = 7.69$ $F = 20.00$ $RF = 14.29$ แสดงดังตาราง 6 จุดเก็บตัวอย่างที่ 7 ต.องครักษ์ พบหญ้าแดง มีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุด มีค่า $RD = 97.53$ และมีค่าการกระจายตัว $F = 100.00$ และ $RF = 71.43$ นอกจากนี้ยังพบ หญ้าชันกาด และข้าวดีด ซึ่งมีความหนาแน่นสัมพัทธ์ และการกระจายตัวเท่ากันคือ $RD = 1.23$ $F = 20.00$ $RF = 14.29$ แสดงดังตาราง 6 และ ตาราง 7

ต.องครักษ์ และ ต.พระอาจารย์ เป็น 2 พื้นที่ที่มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของ Shannon-Wiener และดัชนีการกระจายตัวของ Shannon-Wiener น้อยที่สุด มีค่า $H' = 0.060$ ($E_{H'} = 0.029$) และ $H' = 0.058$ ($E_{H'} = 0.028$) ตามลำดับ โดย ต.พระอาจารย์

พบวัชพืชเพียง 1 ชนิด คือ หญ้านกชมพู มีค่า $RD = 100.00$ $F = 20.00$ $RF = 100.00$ แสดงดังตาราง 8

จุดเก็บที่ 10 ต.บางสมบุรณ์ มีค่า $H' = 0.732$ และ $E_H = 0.352$ พบว่า หญ้านกชมพู เป็นวัชพืชที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ และมีการกระจายตัวมากที่สุด มีค่า $RD = 47.62$ $F = 80.00$ $RF = 40.00$ รองลงมาคือ หญ้าชันกาด มีค่า $RD = 23.81$ แต่มีการกระจายตัวน้อยที่สุดเท่ากับ ข้าวดีด ($RD = 4.76$) ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์น้อยที่สุด มีค่า $F = 20.00$ $RF = 10.00$ แสดงดังตาราง 9

ตาราง 3 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในटना จุดเก็บที่ 4 ตำบลทรายมูล

วัชพืช	RD	F	RF
หญ้าชันกาดใหญ่	53.33	40.00	12.50
หญ้าดอกขาว	0.00	0.00	0.00
หญ้านกชมพู	0.00	0.00	0.00
หญ้าชันกาด	2.67	40.00	12.50
หญ้าชันกาด	1.33	20.00	6.25
หญ้าแดง	16.00	40.00	12.50
ข้าวดีด	18.67	100.00	31.25
ข้าวหาง	8.00	80.00	25.00

ตาราง 4 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในทีนา จุดเก็บที่ 5 ตำบลบางปลากด

วัชพืช	RD	F	RF
หญ้าข้าวนกใหญ่	21.05	80.00	30.77
หญ้าดอกขาว	3.51	20.00	7.69
หญ้านกขมพู	26.32	40.00	15.38
หญ้าข้าวนก	1.75	20.00	7.69
หญ้าชันกาด	47.37	100.00	38.46
หญ้าแดง	0.00	0.00	0.00
ข้าวดีด	0.00	0.00	0.00
ข้าวหาง	0.00	0.00	0.00

ตาราง 5 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในทีนา จุดเก็บที่ 6 ตำบลชุมพล

วัชพืช	RD	F	RF
หญ้าข้าวนกใหญ่	0.00	0.00	0.00
หญ้าดอกขาว	0.00	0.00	0.00
หญ้านกขมพู	4.55	20.00	16.67
หญ้าข้าวนก	68.18	40.00	33.33
หญ้าชันกาด	0.00	0.00	0.00
หญ้าแดง	0.00	0.00	0.00
ข้าวดีด	22.73	40.00	33.33
ข้าวหาง	4.55	20.00	16.67

ตาราง 6 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในทีนา จุดเก็บที่ 7 ตำบลบึงศาล

วัชพืช	RD	F	RF
หญ้าข้าวนกใหญ่	0.00	0.00	0.00
หญ้าดอกขาว	0.00	0.00	0.00
หญ้านกขมพู	7.69	20.00	14.29
หญ้าข้าวนก	0.00	0.00	0.00
หญ้าชันกาด	0.00	0.00	0.00
หญ้าแดง	0.00	0.00	0.00
ข้าวดีด	84.62	100.00	71.43
ข้าวหาง	7.69	20.00	14.29

ตาราง 7 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในทีนา จุดเก็บที่ 8 ตำบลองครักษ์

วัชพืช	RD	F	RF
หญ้าข้าวนกใหญ่	0.00	0.00	0.00
หญ้าดอกขาว	0.00	0.00	0.00
หญ้านกขมพู	0.00	0.00	0.00
หญ้าข้าวนก	0.00	0.00	0.00
หญ้าชันกาด	1.23	20.00	14.29
หญ้าแดง	97.53	100.00	71.43
ข้าวดีด	1.23	20.00	14.29
ข้าวหาง	0.00	0.00	0.00

ตาราง 8 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 9 ตำบลพระอาจารย์

วัชพืช	RD	F	RF
หญ้าข้าวนกใหญ่	0.00	0.00	0.00
หญ้าดอกขาว	0.00	0.00	0.00
หญ้านกขมพู	100.00	20.00	100.00
หญ้าข้าวนก	0.00	0.00	0.00
หญ้าชันกาด	0.00	0.00	0.00
หญ้าแดง	0.00	0.00	0.00
ข้าวดีด	0.00	0.00	0.00
ข้าวหาง	0.00	0.00	0.00

ตาราง 9 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density ; RD) ความถี่ชนิดพรรณ (Frequency ; F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency ; RF) ของวัชพืชในที่นา จุดเก็บที่ 10 ตำบลบางสมบูรณ

วัชพืช	RD	F	RF
หญ้าข้าวนกใหญ่	0.00	0.00	0.00
หญ้าดอกขาว	0.00	0.00	0.00
หญ้านกขมพู	47.62	80.00	40.00
หญ้าข้าวนก	14.29	40.00	20.00
หญ้าชันกาด	23.81	20.00	10.00
หญ้าแดง	9.52	40.00	20.00
ข้าวดีด	4.76	20.00	10.00
ข้าวหาง	0.00	0.00	0.00

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู โดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดินและน้ำบริเวณที่นา อ.องครักษ์

จ.นครนายก

เมื่อนำตัวอย่างต้นข้าว ดิน และน้ำ จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 10 จุด บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก มาวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู (As) โดยเทคนิค Atomic absorption spectrophotometer (AAS)

ตัวอย่างดินทั้ง 10 จุด มีปริมาณสารหนูแตกต่างกัน โดยพบว่าส่วนใหญ่มีปริมาณสารหนูสูงเกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 3.9 mg/kg สำหรับพื้นที่สำหรับอยู่อาศัยและเกษตรกรรม โดยแต่ละพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง มีปริมาณสารหนูแตกต่างกัน ตั้งแต่ 5.88 mg/kg ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 5 จนสูงสุดที่ 15.88 mg/kg ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ยกเว้นดินจุดที่ 9 และ 10 ซึ่งมีปริมาณสารหนูน้อยเกินกว่าจะตรวจพบโดยเทคนิคที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ตาราง 10 แสดงปริมาณสารหนูในดินและน้ำ บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก

จุดเก็บตัวอย่างที่	พื้นที่	ปริมาณสารหนู (As)	
		น้ำ (mg/L)	ดิน (mg/kg)
1	ต.คลองใหญ่	0.706*	5.882*
2	ต.ศิระชะกระบือ	ND	15.882*
3	ต.บางลูกเสือ	1.176*	10.000*
4	ต.ทรายมูล	0.706*	8.235*
5	ต.บางปลากรด	ND	5.882*
6	ต.ชุมพล	0.588*	6.471*
7	ต.บึงศาล	0.765*	8.235*
8	ต.องครักษ์	0.941*	8.235*
9	ต.พระอาจารย์	ND	ND
10	ต.บางสมบูรณ์	ND	ND

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้โดยเทคนิคนี้

* หมายถึง มีปริมาณสารหนูเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

จุดที่พบว่ามีสารหนูปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำ ได้แก่ จุดที่ 1 3 4 6 7 และ 8 มีค่าตั้งแต่ 0.588 mg/L จนสูงสุดที่ 1.176 mg/L ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ซึ่งทุกจุดที่พบ มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ 1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน 2) การเกษตร ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่กำหนดไว้ที่ 0.01 mg/L

3.2 การวิเคราะห์ ปริมาณ สารหนู ใน ข้าว บริเวณ ที่นา อ.องครักษ์

จ.นครนายก

การสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าว (*Oryza sativa L.*) ทั้ง 10 จุด พบว่ามีการสะสมสารหนู ในราก อยู่ในช่วง 4.12 – 11.18 mg/kg การสะสมสารหนูในเมล็ดอยู่ในช่วง 2.35 – 13.53 mg/kg โดยเมล็ดข้าวที่วิเคราะห์นั้นยังไม่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวสารใด ๆ ทั้งสิ้น และการสะสมสารหนู ในลำต้น อยู่ในช่วง 0.59 - 9.42 mg/kg ดังตาราง 12

ตาราง 11 แสดงมาตรฐานปริมาณปนเปื้อนสูงสุดของสารหนูที่อนุญาตให้มีในข้าว

ข้อกำหนด	อนุญาตในระดับสูงสุด (mg/kg)	ใช้บังคับกับ
CODEX	0.2	สารหนูอนินทรีย์ในข้าวที่สีแล้ว
จีน	0.2	สารหนูอนินทรีย์ในข้าวกล้องและข้าวที่สีแล้ว
ไทย	2	สารหนูอนินทรีย์รวมในอาหารทุกประเภท
เวียดนาม	0.5	สารหนูอนินทรีย์รวมในข้าว
อินเดีย	1.1	สารหนูอนินทรีย์รวมในอาหารประเภทอื่นๆ
European Union	0.2	สารหนูอนินทรีย์ในข้าวที่สีแล้ว
สิงคโปร์	1.0	สารหนูอนินทรีย์รวมในอาหารประเภทอื่นๆ

ที่มา : Agri Food & Veterinary Authority (AVA) สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ กรุงสิงคโปร์ (2559)

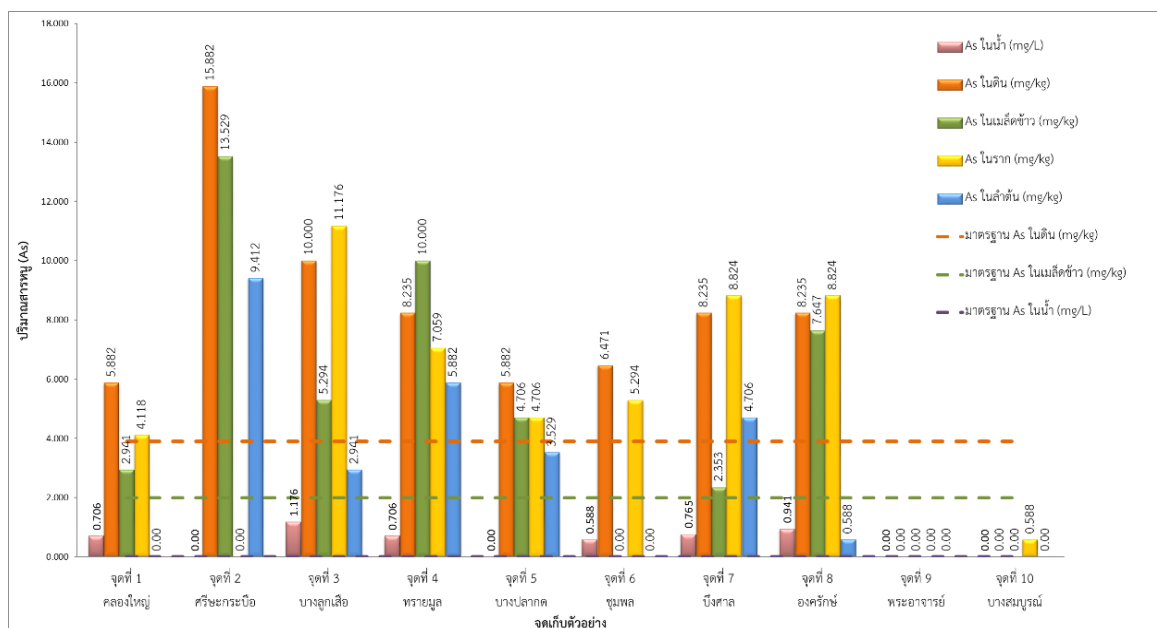
ส่วนใหญ่มีสารหนูอยู่ในส่วนรากมากกว่าในเมล็ดและลำต้น ดังนั้นค่า TF จึงมีค่าน้อยกว่า 1 ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และ 4 มีการสะสมสารหนูอยู่ในเมล็ดมากกว่ารากและลำต้น ซึ่งมีค่าสารหนูในเมล็ดเท่ากับ 13.53 และ 10.00 mg/kg ตามลำดับ และปริมาณสารหนูในเมล็ดที่พบในจุดที่ 1 - 5 และ 7 - 8 มีค่าอยู่ในช่วง 2.35 – 13.53 mg/kg ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ.2529 ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 2 mg/kg และพบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณสารหนูในเมล็ด ลำต้น และดิน สูงที่สุด มีค่า 13.53 9.41 และ 15.88 mg/kg ตามลำดับ แต่จุดเก็บตัวอย่างที่ 9 และ 10 มีสารหนูในปริมาณน้อยกว่าจะสามารถตรวจวัดโดยเทคนิคนี้

ตาราง 12 แสดงปริมาณสารหนูของต้นข้าว ดิน และน้ำ ในที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก

จุดเก็บ ตัวอย่างที่	พื้นที่	ปริมาณสารหนู (mg/kg)		
		ราก	ลำต้น	เมล็ด
1	ต.คลองใหญ่	4.118	ND	2.941*
2	ต.ศิระชะกระบือ	ND	9.412	13.529*
3	ต.บางลูกเสือ	11.176	2.941	5.294*
4	ต.ทรายมูล	7.059	5.882	10.000*
5	ต.บางปลากด	4.706	3.529	4.706*
6	ต.ชุมพล	5.294	ND	ND
7	ต.บึงศาล	8.824	4.706	2.353*
8	ต.องครักษ์	8.824	0.588	7.647*
9	ต.พระอาจารย์	ND	ND	ND
10	ต.บางสมบุรณ์	0.588	ND	ND

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้โดยเทคนิคนี้

* หมายถึง มีปริมาณสารหนูเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด



ภาพประกอบ 10 แสดงปริมาณสารหนู (As) หน่วย mg/kg ในเมล็ดข้าว จาก ลำต้น และดิน ที่พบในนาข้าว อ.องครักษ์ จ.นครนายก

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความหลากหลายชนิดของวัชพืชในนาข้าวกับปริมาณสารหนู

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า H' และ E_H ของวัชพืช กับปริมาณสารหนูในน้ำและดิน โดยใช้ Pearson's correlation analysis พบว่าค่า H' และ E_H ของวัชพืช กับปริมาณสารหนูในน้ำและดิน บริเวณที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก ไม่มีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่พบว่าปริมาณสารหนูในรากต้นข้าว มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูง กับปริมาณสารหนูในน้ำและดิน มีค่า $r = 0.894$ และ 0.971 (Sig < 0.01) ตามลำดับ (ดังตาราง 13)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสัมพัทธ์ของวัชพืช กับปริมาณสารหนูในน้ำและดิน พบว่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของหญ้าขนพุ่มสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณสารหนูในน้ำและดิน กล่าวคือ ถ้ามีสารหนูในดินและน้ำปริมาณมาก จำนวนหญ้าขนพุ่มจะน้อย แต่ถ้ามีปริมาณสารหนูในดินและน้ำน้อย จำนวนหญ้าขนพุ่มก็จะมีมากขึ้น (ดังตาราง 14)

ตาราง 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า H' และ $E_{H'}$ ของวัชพืช กับปริมาณสารหนูในต้นข้าว น้ำ และดิน โดยใช้ Pearson's correlation analysis เมื่อ $n = 7$ (จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 – 10)

		ปริมาณสารหนู					H'	$E_{H'}$
		น้ำ (mg/L)	ดิน (mg/kg)	ราก (mg/kg)	ลำต้น (mg/kg)	เมล็ด (mg/kg)		
As ในน้ำ (mg/L)	Pearson	1	.839*	.894**	.318	.544	-.164	-.164
	Correlation							
	Sig. (2-tailed)		.018	.007	.487	.207	.725	.725
As ในดิน (mg/kg)	Pearson	.839*	1	.971**	.615	.677	.218	.218
	Correlation							
	Sig. (2-tailed)	.018		.000	.142	.095	.639	.639

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตาราง 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Relative density (RD) ของวัชพืช กับปริมาณสารหนูในน้ำ และดิน โดยใช้ Pearson's correlation analysis เมื่อ $n = 7$ (จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 – 10)

		หญ้าข้าวนก ใหญ่	หญ้าดอกขาว	หญ้านกชมพู	หญ้าข้าวนก	หญ้าชันกาด	หญ้าแดง	ข้าวตืด	ข้าวหาง
หญ้าข้าวนก ใหญ่	Pearson	1	.225	-.317	-.242	.126	-.104	-.109	.458
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)		.627	.489	.601	.788	.825	.816	.301
หญ้าดอกขาว	Pearson	.225	1	-.003	-.187	.881**	-.216	-.273	-.338
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	.627		.994	.688	.009	.641	.553	.458
หญ้านกชมพู	Pearson	-.317	-.003	1	-.230	.103	-.357	-.377	-.552
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	.489	.994		.619	.826	.431	.404	.199

ตารางที่ 14 (ต่อ)

		หมู่บ้านรวมใหญ่	หมู่บ้านออกขาว	หมู่บ้านชมพู่	หมู่บ้านรวม	หมู่บ้านภาค	หมู่บ้านแดง	ข้าวดีด	ข้าวหาง
หมู่บ้านรวม	Pearson				1				
	Correlation	-.242	-.187	-.230		-.176	-.250	.006	.141
	Sig. (2-tailed)	.601	.688	.619		.706	.589	.989	.762
หมู่บ้านภาค	Pearson	.126	.881**	.103	-.176	1	-.234	-.372	-.486
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	.788	.009	.826	.706		.613	.412	.269
หมู่บ้านแดง	Pearson						1		
	Correlation	-.104	-.216	-.357	-.250	-.234		-.284	-.281
	Sig. (2-tailed)	.825	.641	.431	.589	.613		.537	.541
ข้าวดีด	Pearson							1	
	Correlation	-.109	-.273	-.377	.006	-.372	-.284		.758*
	Sig. (2-tailed)	.816	.553	.404	.989	.412	.537		.049
ข้าวหาง	Pearson								1
	Correlation	.458	-.338	-.552	.141	-.486	-.281	.758*	
	Sig. (2-tailed)	.301	.458	.199	.762	.269	.541	.049	
As ในน้ำ (mg/L)	Pearson								
	Correlation	.114	-.456	-.781*	.076	-.644	.566	.474	.590
	Sig. (2-tailed)	.808	.303	.038	.872	.118	.186	.282	.163
As ในดิน (mg/kg)	Pearson								
	Correlation	.370	.069	-.897**	.024	-.220	.353	.453	.609
	Sig. (2-tailed)	.414	.882	.006	.959	.636	.437	.308	.146
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).									
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).									

5. การศึกษาประสิทธิภาพการสะสมสารหนูของต้นข้าว (*Oryza sativa L.*)

เมื่อนำปริมาณสารหนูที่ได้จากข้อ 3 มาวิเคราะห์ เพื่อจำแนกประเภทของต้นข้าวในแต่ละพื้นที่ตามประสิทธิภาพการสะสมสารหนู ว่าเป็น Metal hyperaccumulator Metal excluder หรือ Metal indicator โดยคำนวณค่า Translocation factor (TF), ค่า Bioaccumulation factor (BAF) และค่า Bioconcentration factor (BCF) (ดังตาราง 15)

พบว่า การสะสมสารหนูในภาพรวมมีการสะสมสารหนูในรากมากกว่าส่วนของพืชเหนือดิน ทำให้ค่า TF < 1 ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และ 5 มีการสะสมสารหนู ในส่วนของพืชเหนือดินมากกว่าในราก ทำให้ค่า TF > 1 จากค่า BAF พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 4 และ 5 มีค่า BAF > 1 แสดงว่าต้นข้าวบริเวณนี้มีการสะสมสารหนู ไว้ในส่วนของพืชเหนือดินมากกว่าสารหนู ที่มีอยู่ในดิน นอกจากนี้พบว่า สารหนูส่วนใหญ่มีการสะสมไว้ในดินมากกว่าในรากของต้นข้าว ยกเว้น 3 พื้นที่ คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 7 และ 8 ที่ค่า BCF มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียง 1 แสดงว่าต้นข้าวบริเวณนี้ มีการสะสมสารหนูในรากใกล้เคียงกับสารหนูที่มีอยู่ในดิน แต่ไม่พบคุณสมบัติเป็น As hyperaccumulator As excluder หรือ As indicator ของต้นข้าวในพื้นที่ศึกษา

ตาราง 15 แสดงประสิทธิภาพการสะสมสารหนูของต้นข้าว (*Oryza sativa L.*) ด้วยค่า Translocation factor (TF) Bioaccumulation factor (BAF) และ Bioconcentration factor (BCF)

จุดเก็บตัวอย่างที่	พื้นที่	TF	BAF	BCF
1	ต.คลองใหญ่	0.71	0.50	0.70
2	ต.ศิระชะกระบือ	ND	1.44*	0.00
3	ต.บางลูกเสือ	0.74	0.82	1.12*
4	ต.ทรายมูล	2.25*	1.93*	0.86
5	ต.บางปลากด	1.75*	1.40*	0.80
6	ต.ชุมพล	0.00	0.00	0.82

ตารางที่ 15 (ต่อ)

จุดเก็บ ตัวอย่างที่	พื้นที่	TF	BAF	BCF
7	ต.บึงศาล	0.80	0.86	1.07*
8	ต.องครักษ์	0.93	1.00*	1.07*
9	ต.พระอาจารย์	ND	ND	ND
10	ต.บางสมบุรณ์	0.00	ND	ND

* หมายถึง ค่า TF BAF และ BCF ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

ND หมายถึง ไม่สามารถคำนวณค่า TF BAF หรือ BCF ได้ เนื่องจากผลการวิเคราะห์
บางส่วนของต้นข้าว พบสารหนูในปริมาณน้อยเกินกว่าจะตรวจวัดได้โดยเทคนิคนี้

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการสุ่มสำรวจวัชพืชในที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก ทั้ง 7 จุด จากทั้งหมด 10 จุด พบวัชพืชทั้งหมด 8 ชนิดพันธุ์ ได้แก่ หญ้าข้าวนกใหญ่ (*Echinochloa stagnina* (Retz.) P. Beauv.) หญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) หญ้านกขมพู่ (*Echinochloa colana* (L.) Link) หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.) หญ้าชันกาด (*Panicum repens* L.) หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb) ข้าวดีด (*Oryza sativa* f. *spontanea*) และข้าวหาง (*Oryza sativa* f. *spontanea*)

พบวัชพืชที่มีในรายงานวัชพืชร้ายแรงของประเทศไทย (พรชัย เหลืองอากาศ, 2540) และรายงานวัชพืชร้ายแรง 10 อันดับแรกของโลก (Holm; et al., 1971) จำนวน 2 ชนิด คือ หญ้า นกขมพู่ (*Echinochloa colana* (L.) Link) หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.)

วัชพืชที่มีจำนวนมากที่สุด หรือมีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ หญ้าแดง หญ้าข้าวนกใหญ่ และหญ้าชันกาด ตามลำดับ พบว่า หญ้า นกขมพู่ และข้าวดีด เป็นวัชพืชที่มีการกระจายตัวมากที่สุด ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีกระบาดในพื้นที่ทำนาชลประทานและมีการทำนาข้าวแบบนาหว่าน (ประสาน วงศาโรจน์, 2540) โดยเฉพาะหญ้า นกขมพู่ พบรายงานว่าเป็นวัชพืชที่พบการกระจายตัวมากที่สุดในแปลงข้าวโพดจากการสำรวจแปลงข้าวโพดจังหวัดเพชรบูรณ์ กาญจนบุรี สระบุรี และนครราชสีมา (ศิริพร ซึ่งสนธิพร; และธัญชนก จงรักไทย, 2556)

ต.ทรายมูล พบจำนวนชนิดของวัชพืชมากที่สุด มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Index ; H') และดัชนีการกระจายตัวของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Evenness Index ; E_{pp}) มากกว่าค่าอื่น ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัดในการระบาดของวัชพืชบริเวณนี้ เนื่องจากผลการศึกษาขอบเขตงานวิจัยขึ้นนี้ไม่พบความหลากหลายทางชีวภาพของวัชพืชในนาข้าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณ สารหนูในพื้นที่ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การจัดการวัชพืชในที่นา หรือพฤติกรรมการใช้สารเคมีในพื้นที่ดังกล่าว เป็นต้น ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในดินและน้ำ พบว่าตัวอย่างดินทั้ง 10 จุด มีปริมาณสารหนูแตกต่างกันตามพื้นที่ มีปริมาณสารหนูในดินอยู่ในช่วง 5.88 – 15.88 mg/kg ใกล้เคียงกับปริมาณสารหนูเฉลี่ยในดินเกษตรกรรมของประเทศไทยที่สำรวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน คือ 6.8

mg/kg (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) และพบว่ามีค่าสูงเกินมาตรฐานที่กำหนดตั้งแต่ 1.5 เท่า ไปจนถึงมากที่สุด 4.1 เท่าที่ ต.ศิระชะกระบือ

ต.พระอาจารย์ และ ต.บางสมบุรณ์ เป็น 2 พื้นที่เก็บตัวอย่างที่ตรวจไม่พบปริมาณสารหนูในดินและน้ำ อาจเนื่องจากพื้นที่ส่วนหนึ่งของ ต.พระอาจารย์ ได้รับการสนับสนุนให้เพาะเลี้ยงปลา (สำนักงานเกษตรอำเภอองครักษ์, 2554) เช่นเดียวกับ ต.บางสมบุรณ์ที่พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการทำบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อเลี้ยงปลา (สำนักงานเกษตรอำเภอองครักษ์, 2554) ไม่ได้มีการทำนาเป็นอาชีพหลักเพียงอย่างเดียว ทำให้การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืช มีไม่มากเท่ากับพื้นที่อื่นที่มีการทำนาเป็นหลัก จึงมีปริมาณสารหนูในปริมาณน้อยเกินกว่าจะสามารถวิเคราะห์ได้โดยเทคนิค AAS

จุดที่พบว่ามีสารหนูปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ได้แก่ ต.คลองใหญ่ ต.บางลูกเสือ ต.ทรายมูล ต.ชุมพล ต.บึงศาล และ ต.องครักษ์ มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดตั้งแต่ 58.8 เท่า จนสูงสุดที่ 117.6 เท่า ที่ ต.บางลูกเสือ นอกจากนี้พบว่ามีรายงานปริมาณตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ อ.องครักษ์ จ.นครนายก เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินอีกด้วย (กิติโรจน์ หวันตาหลา, 2550)

ปริมาณสารหนูในน้ำและดิน มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูง กล่าวคือ หากมีปริมาณสารหนูในน้ำสูงขึ้น ก็สามารถมีปริมาณสารหนูในดินสูงขึ้นได้เช่นกัน ในทางกลับกันหากมีปริมาณสารหนูในดินสูง ก็สามารถพบปริมาณสารหนูที่ละลายในน้ำได้มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การสะสมสารหนูในรากข้าว เนื่องจากปริมาณสารหนูในรากต้นข้าวสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูงกับปริมาณสารหนูในน้ำ และดิน เกิดความเสี่ยงพบสารหนูปนเปื้อนสู่ผลผลิตทางการเกษตรในที่นา อ.องครักษ์ จ.นครนายก ดังจะเห็นว่าตัวอย่างราก ลำต้น และเมล็ดของต้นข้าว ทั้ง 10 จุด ส่วนใหญ่สะสมสารหนูไว้ในรากมากกว่าส่วนของพืชเหนือดิน มีค่า $TF < 1$ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith E. และคณะ พบว่าการสะสมสารหนูในต้นข้าว (*Oryza sativa L.*) ส่วนใหญ่ สะสมไว้ในรากเช่นกัน (Smith; et al., 2008) แต่ยังไม่พบปริมาณสารหนูในเมล็ดข้าวเกินค่ามาตรฐาน ยกเว้นที่ ต.ชุมพล ต.พระอาจารย์ และ ต.บางสมบุรณ์ ซึ่งไม่พบปริมาณสารหนูในเมล็ดข้าว เมื่อตรวจวัดโดยเทคนิค AAS และไม่พบคุณสมบัติเป็น As hyperaccumulator As excluder หรือ As indicator ของต้นข้าวในพื้นที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพืชกับปริมาณสารหนู พบว่าความหนาแน่นสัมพันธ์ของหญ้ารกชมิสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณสารหนูในน้ำและดิน กล่าวคือ ถ้ามีสารหนูปริมาณมาก จำนวนหญ้ารกชมิจะน้อย แต่ถ้ามีปริมาณสารหนูน้อย จำนวนหญ้ารกชมิจะมากขึ้น อาจมีคุณสมบัติเป็น Sensitive bioindicator ในพื้นที่ที่สำรวจ จากการศึกษารวม

โลหะหนัก ได้แก่ สารหนู (As) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ในหมู่บ้านกษมพุมบริเวณพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร พบว่า สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้เพียง 2 ชนิด คือ Mn และ Zn เท่านั้น (ปรารภณา เพ็ญกุลวิไล, 2561) ผลการศึกษาดังกล่าวอาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพในการประเมินการปนเปื้อนสารหนูในพื้นที่การทำนาต่อไปได้

ข้อเสนอแนะ คือควรมีระยะเวลาในการสำรวจและติดตามการสะสมสารหนูตลอดฤดูกาลต่อเนื่อง 2 – 3 ฤดูกาล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น จากผลการวิเคราะห์สารหนูในต้นข้าวของพื้นที่ ต.ศิระชะกระบือ พบว่าไม่พบปริมาณสารหนูในส่วนราก แต่พบสารหนูในส่วนของลำต้นและใบในปริมาณค่อนข้างสูง อาจเกิดจากการเก็บตัวอย่างที่ปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยตรง ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการเก็บตัวอย่างต้นข้าว ดิน และน้ำ ในช่วงที่เกษตรกรใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช เพื่อให้ปริมาณสารหนูที่ตรวจพบเป็นค่าที่ได้จากธรรมชาติเก็บสะสมเท่านั้น นอกจากนี้ควรเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำและดิน ในบริเวณที่ศึกษา เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพของพืชต่อการดูดซับและสะสมโลหะหนักมีหลายประการ เช่น เนื้อดิน ความชื้น ความเป็นกรด - ด่าง เป็นต้น เพื่อขยายผลการวิจัยต่อไป

บรรณานุกรม

- Ahmed, F., et al. (2006). Influences of Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus mosseae* on Growth and Nutrition of Lentil Irrigated with Arsenic Contaminated Water. *Plant and Soil*, 283(1), 33-41.
- Ampong-Nyarko, et al. (1991). *A handbook for weed control in rice*: Int. Rice Res. Inst.
- Avidano, L., et al. (2005). Characterization of soil health in an Italian polluted site by using microorganisms as bioindicators. *Applied Soil Ecology*, 30(1), 21-33.
- Baker, A., และ Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1(2), 81-126.
- Das, S. (2014). Biogeochemical Cycle of Arsenic in the Environment. *Microbial Biodegradation and Bioremediation*.
- Epstein, E., et al. (2004). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives* (1st). USA: Sinauer Associates.
- Figueira, R., et al. (2009). Application of indicator kriging to the complementary use of bioindicators at three trophic levels. *Environmental Pollution*, 157(10), 2689-2696.
- Finnegan, P. M., et al. (2012). Arsenic toxicity: the effects on plant metabolism. *Frontiers in physiology*, 3, 182.
- Ghosh, M., et al. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian J Energy Environ*, 6(4), 18.
- Holm, L. G., et al. (1971). *The World's worst weeds distribution and biology*. University Press of Hawaii, U.S.A.
- Islam, E., et al. (2015). Biochemical mechanisms of signaling: perspectives in plants under arsenic stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 114, 126-133.
- Jampanil, J. (2000). *Efficiency of arsenic removal from soil by Colocasia esculenta (L.) Schott (Dark violet and green)*. Chulalongkorn University,
- January, M. C., et al. (2008). Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: Can *Helianthus annuus* hyperaccumulate multiple heavy metals? *Chemosphere*, 70(3),

531-537.

- Lievremont, D., et al. (2009). Arsenic in contaminated waters: biogeochemical cycle, microbial metabolism and biotreatment processes. *Biochimie*, 91(10), 1229-1237.
- Ma, L. Q., et al. (2001). A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, 409(6820), 579.
- Mitchell, E. A., et al. (2004). Testate amoebae (Protista) communities in *Hylocomium splendens* (Hedw.) BSG (Bryophyta): relationships with altitude, and moss elemental chemistry. *Protist*, 155(4), 423-436.
- Petra, M. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.): United Kingdom: Academic Press.
- Sharma, V. K., และ Sohn, M. (2009). Aquatic arsenic: toxicity, speciation, transformations, and remediation. *Environment international*, 35(4), 743-759.
- Shaw, J. (1989). *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*: CRC Press.
- Smith, E., et al. (2008). Arsenic uptake and speciation in rice plants grown under greenhouse conditions with arsenic contaminated irrigation water. *Science of the total environment*, 392(2-3), 277-283.
- Sonklin, W., และ Photong, C. (2013). Water Quality of Nan River Flowing Through Agricultural and Urban Areas of Phitsanulok Province. *Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST)*, 13(1), 37-44.
- Srivastava, M., et al. (2006). Three new arsenic hyperaccumulating ferns. *Science of the total environment*, 364(1-3), 24-31.
- Stoeva, N., et al. (2006). Effect of exogenous polyamine diethylenetriamine on oxidative changes and photosynthesis in As-treated maize plants (*Zea mays* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 6(3).
- Tambamroong, W. (2002). *Phytoextraction of arsenic from contaminated soil by Colocasia esculenta (L.) Schott; taro and wild taro*: Chulalongkorn University.
- กรมทรัพยากรธรณี. การ จำแนก เขต เพื่อ การ จัดการ ด้าน ธรณีวิทยา และ ทรัพยากรธรณี จังหวัด พัทลุง.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2557). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัด นครนายก (1). กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2543). ผลสำเร็จงานวิชาการ กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ : กรม.
- กอบสุข เขียมสุรีย์. (2555). ตลาดส่งออกข้าวโอกาสและอุปสรรคของไทย. <http://www.thai-aec.com/371>
- กิติโรจน์ หวันตาหลา. (2550). การศึกษาการปนเปื้อนของมลพิษในน้ำดิบที่ใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำประปา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ [องค์กรฯ] อ.องค์กรฯ จ.นครนายก. In ส. ชาญวิทย์ และ ศ. ศิริวรรณ (Eds.): คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เกศ สัตยพงศ์. (2555). มู ล นิธิ สัม มา อา ชี ว ะ อา ชี ว เว ช ศ า ส ต ร ์ คู ่ ศ า ส น า . http://www.summacheeva.org/index_thaitox_arsenic.htm
- จิราณี วานิชกุล. (2547). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดินและสังคมพืชในเวลา 3 ปี. (รายงานการวิจัย). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง,
- จิราวรรณ จำปานิล. (2543). ประสิทธิภาพของบอน *Colocasia esculenta* (L.) Schott (บอนจีนดำ และบอนเขียว) ในการกำจัดสารหนูที่ปนเปื้อนในดิน. (ปริญญานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม)). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ชูสิน ธีรสวัสดิ์, และ ประภัสสร กิตติพงษ์หรรษา. (2544). การศึกษาคุณภาพทางเคมีและปริมาณโลหะหนักบางชนิดในแม่น้ำน่านบริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์. (ปริญญานิพนธ์ วท.บ. (เคมี)). มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, อุตรดิตถ์.
- เดือนเพ็ญ บัณฑิตพัฒน. (2548). การศึกษาผลกระทบการขยายชุมชนที่มีต่อสภาพแวดล้อมคลองรังสิตประยูรศักดิ์. สารนิพนธ์ (กศ.ม. (การมัธยมศึกษา)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2548.,
- ธนพรธ สุนทระ. (2545). การพัฒนาอุตสาหกรรม : ผลกระทบต่อวิถีชีวิตของชุมชนริมคลองรังสิต. (รายงานการวิจัย). สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นภวรรณ รัตสุข. (2552). การลดค่าชีวปริมาณออกฤทธิ์ของตะกั่วในดินด้วยวิธีการปรับเสถียรในพื้นที่กรณีศึกษา : ตำบลชะแล อำเภอดงเจริญ จังหวัดกาญจนบุรี. (รายงานการวิจัย). สถาบันวิจัยและพัฒนา, มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- บุษรา ผลทวี. (2556). อ ง ค์ ค ว า ม ร ู้ ต ้ า น ลี ง แ ว ด ล ี อ ม . http://www.reo3.go.th/newversion/images/stories/article56/56_3002.pdf
- ประสาน วงศาโรจน์. (2540). การจัดการวัชพืชในนาข้าว. กรุงเทพมหานคร : กรมวิชาการเกษตร: กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช.
- ปรารธนา เผือกวิไล. (2561). การสะสมสารหนูของพืชล้มลุกชนิดเด่นที่พบในบริเวณเมืองแร่ทองคำ.

- วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) ปีที่ 26, ฉบับที่ 6 (พ.ย.-ธ.ค. 2561), หน้า 953-967.
- ปารมี เพ็งปรีชา. (2546). มาตรฐานการหนูกันเถาะ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 18, ฉบับที่ 3 (ก.ค.-ก.ย. 2546), หน้า 47-53.
- พรชัย เหลืองอากาศพงศ์. (2540). วัชพืชศาสตร์ = *Weed science*: กรุงเทพฯ : ไร่เขียว.
- พัฒนพิพิธไพศาล ปราณี่. (2551). การปนเปื้อนสารหนูในน้ำใต้ดินเขตลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 10(2), 27-39.
- พิชญ์นิภา ขวัญเผือก, และ วลัยรัตน์ จันทธัมพร. (2556). การดูดซับสารหนูในน้ำปนเปื้อนด้วยตัวดูดซับสังเคราะห์จากเปลือกหอยนางรม. (ปริญญาณิพนธ์ กศ.บ. (วิศวกรรมเคมี)). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ภาคภูมิ สีนุกการณ์. (2556). การศึกษาความหลากหลายและศักยภาพของไม้ต้นในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูจอง-นายอย เพื่อใช้ในงานภูมิทัศน์. (ปริญญาณิพนธ์ วท.ด. (พืชสวน)). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เมธามี เต็ม. (2554). กลไกระดับเซลล์ในการลดพิษจากโลหะ. <http://www.eht.sc.mahidol.ac.th/article/536>
- วิชนันท์ ธรรมบำรุง. (2545). การดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้เปลือกและบอน. (ปริญญาณิพนธ์ วท.ม. (การจัดการสิ่งแวดล้อม)). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ศิริพร ช้างสนธิพร, และ ธัญชนก จงรักไทย. (2556). การศึกษาชนิดของวัชพืชของพืชส่งออก ได้แก่ ข้าวโพดฝักอ่อน และ มะม่วง พืชนำเข้า ได้แก่ อ้อย และ ข้าวฟ่าง. รายงานผลงานวิจัยประจำปี ๒๕๕๖ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช, 2692 - 2720.
- ศุภนิวิชัยข้าวปทุมธานี. (2549). การจัดการศักยภาพการผลิตข้าวจังหวัดนครนายก (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.
- สกุลรัตน์ อุษณาวรงค์. (2549). อาร์ซีนิก (Arsenic) สารพิษหรือยารักษาโรค. วารสารศูนย์บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 14, ฉบับที่ 3 (ก.ค.-ก.ย. 2549), หน้า 23-29.
- สรวรินทร์ สินะวีวัฒน์, และ นงนุช เมธิยนต์พิริยะ. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบวิธีเตรียมตัวอย่างข้าวเพื่อทดสอบสารหนูอนินทรีย์. วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 1(1), 110-121.
- สำนักงานเกษตรอำเภอองครักษ์. (2554). แผนพัฒนาอำเภอองครักษ์. <http://ongkharak.nakhonnayok.doae.go.th/>

สุวรรณีย์ ภูธรราช. (2537). การสะสมของสารหนูในเนื้อเยื่อต่างๆ ของพืชบางชนิด. (ปริญญาโท
วท.ม. (ปฐพีวิทยา)). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กมลชนก เปี่ยมมรวิ
วัน เดือน ปี เกิด	5 กันยายน 2531
สถานที่เกิด	ขอนแก่น
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2554 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น

