บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารหนู

สารหนูเป็นธาตุหมู่ที่ 5 ในตารางธาตุ ซึ่งมีน้ำหนักอะตอม 74.92158 มีเลขอะตอมเท่ากับ 33 และมีเลขรหัสสารซึ่งใช้ประกอบใน Material Safety Data Sheet (MSDS) คือ CAS No. 7440-38-2 และ UN 1558 สามารถระเหิดได้ที่อุณหภูมิ 615 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 817 องศาเซลเซียส และมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ –3 0 +3 +5 (McGraw-Hill, 1992) สารหนูเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งโลหะและอโลหะ พบในรูปธาตุหรือโลหะและในรูปของสารประกอบทั้งสารประกอบอนินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์ สารหนูในรูปธาตุอิสระ (As_4) เป็นสารที่พบได้ยากในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะพบในรูปสารประกอบของแร่ต่างๆ คือ ในรูปอาร์เซไนด์ (arsenide) ของโลหะ เช่น ทองแดง นิเกิล เหล็ก และโคบอลต์ หรือพบในรูปอาร์เซนิกซัลไฟด์ (arsenic sulfide) ได้แก่เรียลการ์ (realgar, As_4S_4) และออร์พิเมนท์ (orpiment, As_2S_3) และพบในรูปออกไซด์ เช่น As_2O_3 และ As_2O_5 โดยในน้ำมักจะพบในรูปของอาร์เซเนต (arsenate) หรืออาร์เซไนท์ (arsenite) (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของสารหนู

สารประกอบสารหนูมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งมีอยู่หลายรูปด้วยกัน สารหนูในรูปที่มีความสำคัญสำหรับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยแสดงในตารางที่ 2.1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 สารประกอบสารหนูอินทรีย์และสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ที่สำคัญ

ชื่อสาร (name)	ชื่ออื่น (synonymes)	สูตรเคมี (formular)
Inorganic arsenic, trivalent		
arsenic(III)oxide	arsenic trioxide arsenous oxide white arsenic	As_2O_3 (หรือ As_4O_6)
arsenous acid		H_3AsO_3
arsenenous acid	arsenious acid	$HAsO_2$
arsenites, salt of arsenous acid		$H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$ หรือ AsO_3^{3-}
arsenic(III)chloride	arsenic trichloride arsenous trichloride	$AsCl_3$
arsenic(III)sulfide	arsenic trisulfide orpiment, auripigment	As_2S_3
Inorganic arsenic, pentavalent		
arsenic(V)oxide	arsenic pentoxide	As_2O_5
arsenic acid	orthoarsenic acid	H_3AsO_4
arsenenic acid	metaarsenic acid	$HAsO_3$
arsenates, salt of arsenic acid(ortho)		$H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ หรือ AsO_4^{3-}
Organic arsenic		
methylarsonic acid	Methanearsonic acid	$CH_3AsO(OH)_2$
dimethylarsinic acid	Cacodylic acid	$(CH_3)_2AsO(OH)$
trimethylarsine oxide		$(CH_3)_3AsO$
methylarsine		CH_3AsH_2
dimethylarsine		$(CH_3)_2AsH$
trimethylarsine		$(CH_3)_3As$

ที่มา : (World Health Organization [WHO], 1981)

2.1.1.1 สารประกอบสารหนูอนินทรีย์

สารประกอบสารหนูอนินทรีย์ที่สำคัญที่สุดคืออาร์เซนิกไตรออกไซด์ (arsenic(III) oxide) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมหลอมโลหะทองแดง และอุตสาหกรรมการเผาถ่านหินที่มีสารหนูเจือปน อาร์เซนิกไตรออกไซด์ละลายน้ำได้ในปริมาณน้อยประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และละลายได้มากขึ้นเป็น 8.2 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ซึ่งสารละลายที่ได้เป็นกรดเล็กน้อย คือเป็นอาร์เซนัสแอซิด (arsenous acid, H_3AsO_3) ในรูปของสารละลายสารหนูจะถูกใช้ในรูปของอาร์เซเนตหรืออาร์เซไนต์ (WHO, 1981)

สารประกอบเลดอาร์เซเนต (lead arsenate) คอปเปอร์อาร์เซเนต (copper arsenate) แคลเซียมอาร์เซเนต (calcium arsenate) ซึ่งถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย (WHO, 1981)

2.1.1.2 สารประกอบสารหนูอินทรีย์

สารประกอบเมทิลอาร์เซนิก (methylarsenic) เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติจากกิจกรรมของพวกจุลินทรีย์ พันธะระหว่างธาตุอาร์เซนิกและคาร์บอนในสารประกอบสารหนูอินทรีย์ค่อนข้างเสถียรภายใต้สภาวะค่าพีเอชต่างๆ และภายใต้ศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น สารประกอบสารหนูอินทรีย์ที่มีความซับซ้อน เช่นอาร์เซโนบีเทน (arsenobetaine) และอาร์เซโนคลอรีน (arsenocholine) พบในสิ่งมีชีวิตในทะเลซึ่งสามารถทนต่อการสลายตัวทางเคมี (WHO, 1981)

2.1.2 แหล่งที่มาของสารหนู

2.1.2.1 แหล่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

สารหนูในธรรมชาติถูกพบกระจายอยู่ทั่วไปในแร่ต่างๆ โดยพบมากที่สุดคือรูปอาร์เซไนด์ของทองแดง ตะกั่ว เงิน ทอง หรือพบในรูปซัลไฟด์ สารหนูที่อยู่ในแร่ส่วนใหญ่เป็นอาร์เซโนไพไรต์ (arsenopyrite, FeAsS) เรียลการ์ (realgar, As_4S_4) และออร์พิเมนท์ (orpiment, As_2S_3) ปริมาณสารหนูที่พบในเปลือกโลกมีประมาณ 1.5-2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งนับว่ามีมากเป็นอันดับที่ 20

เมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ (WHO, 1981) ปริมาณสารหนูที่พบในเปลือกโลกแสดงในตารางที่ 2.2 และจากการสึกกร่อนของพื้นผิวโลกคาดว่ามีสารหนูจากแหล่งธรรมชาติประมาณปีละ 72,000 ตันในรูปของอาร์เซนัสออกไซด์ (arsenious oxide) นอกจากนี้ก๊าซจากการระเบิดของภูเขาไฟก็ทำให้มีสารหนูถูกพัดพาเข้าสู่สิ่งแวดล้อมด้วย (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสารหนูที่พบในเปลือกโลก แบ่งตามชนิดของแร่หิน

ชนิดของแร่หิน	ปริมาณที่พบ (mgAs/kg)
ประเภทหินอัคนี	
หินบะซอลท์ (basalts)	0.06-113
หินภูเขาไฟสีเทา (andesites)	0.5-5.8
หินแกรนิต	0.2-13.8
หินซิลิกา	0.2-12.2
ประเภทหินตะกอน	
หินปูน	0.1-20
หินทราย	0.6-120
หินชนวนและดินเหนียว	0.3-490
หินปูนฟอสฟอรัส	0.4-188

ที่มา : (WHO, 1981)

นอกจากนี้สารหนูยังพบอยู่ในดิน ถ่านหิน และตะกอน ซึ่งจะพบในปริมาณที่มากขึ้นในเขตแหล่งแร่สินแร่ซัลไฟด์ ในดินทั่วๆไปจะมีสารหนูอยู่ประมาณ 0.2-40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2531) และพบสารหนูในถ่านหินประมาณ 1-10 มิลลิกรัม/กิโลกรัมที่ประเทศสหรัฐอเมริกา และพบในปริมาณสูงถึง 1,500 มิลลิกรัม/กิโลกรัมที่ประเทศเชคโกสโลวาเกีย (WHO, 1981) สำหรับในตะกอนดินโดยธรรมชาติที่เคยตรวจพบสารหนู มีค่าน้อยกว่า 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.1.2.2 แหล่งที่มีการนำสารหนูมาใช้ประโยชน์

สารประกอบสารหนูส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ทางด้านเกษตรกรรมมากที่สุด และรองลงมาคือใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิค ยารักษาโรค และเติมในอาหารสัตว์ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2531) จากการรายงานของประเทศสหรัฐอเมริกา ปีค.ศ. 1975-1978 พบว่าอาร์เซนิกไตรออกไซด์ถูกใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในการเกษตร 82 เปอร์เซ็นต์ อุตสาหกรรมผลิตแก้วและภาชนะแก้ว 8 เปอร์เซ็นต์ อุตสาหกรรมเคมี ผลิตโลหะผสมทองแดงและตะกั่ว และอุตสาหกรรมยา 10 เปอร์เซ็นต์ (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) สารประกอบสารหนูที่นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มีดังนี้

1) ทางด้านเกษตรกรรม

ใช้เป็นสารเคมีป้องกันและกำจัดแมลงและวัชพืช น้ำยารักษาสภาพเนื้อไม้ซึ่งป้องกันเชื้อราและแมลงที่จะมาทำลายเนื้อไม้ สารควบคุมคุณภาพของฝ้ายซึ่งจะทำให้ใบฝ้ายร่วงเพื่อง่ายต่อการเก็บและป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝ้าย และใช้ผสมในอาหารสัตว์ปีกเพื่อไปเร่งการเจริญเติบโต

2) ทางด้านอุตสาหกรรม

ใช้ผสมกับโลหะอื่น เช่นตะกั่ว ทองแดง เป็นโลหะอัลลอยด์หรือโลหะผสมเพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน ใช้เป็นวัตถุกึ่งตัวนำในเครื่องมืออิเลคทรอนิค ใช้เป็นสารให้สีแดงหรือไม่มีสีในผลิตภัณฑ์แก้วและทำให้แก้วหลอมละลาย ใช้ผลิตสารทาใต้ท้องเรือเพื่อกันตะไคร่น้ำจับ และใช้รักษาสภาพหนังสัตว์ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง

3) ทางด้านการแพทย์

ใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคทั้งในมนุษย์และสัตว์ สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากโปรโตซัวและโรคที่เกิดจากพยาธิบางชนิด

4) ทางด้านการทหาร

ใช้สารประกอบสารหนูเป็นสารพิษในการทำสงครามหรือยับยั้งการก่อการจราจลซึ่งสารพิษพวกนี้จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อเมือก

นอกจากนี้การทำเหมืองแร่ก็ทำให้มีสารหนูถูกปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน ซึ่งในขั้นตอนการแยกแร่หรือล้างแร่จะต้องใช้กรดกำมะถัน ทำให้สารหนูถูกละลายปะปนมากับน้ำล้างแร่และกากแร่ที่ได้ก็จะมีสารหนูในปริมาณมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.3 สารหนูในร่างกายมนุษย์

2.1.3.1 การเข้าสู่ร่างกาย

สารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ รับประทาน และทางผิวหนัง โดยสารหนูที่หายใจเข้าไปจะอยู่ในรูปของแอโรซอล (aerosol) โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมอนุภาคของสารหนูมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ดังนั้นเมื่อหายใจเข้าไปในระยะแรกสารหนูจะไปตกค้างอยู่ที่ทางเดินหายใจส่วนบน และภายในเวลาต่อมาจะถูกดูดซึมเข้าไปในระบบทางเดินหายใจหรือทางเดินอาหาร โดยระยะเวลาในการตกค้างและดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการละลายของสารหนูที่หายใจเข้าไป (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.1.3.2 การเปลี่ยนรูปและการแพร่กระจาย

กลไกการเปลี่ยนแปลงสารหนูเมื่อเข้าสู่ร่างกาย คือจะเกิดการเติมหมู่เมธิลเข้าไปในสารหนู และเกิดโมโนเมทิล (monomethyl) และไดเมทิลอาร์เซนิก (dimethyl arsenic) ซึ่งเป็นกระบวนการลดความเป็นพิษของสารหนู อนินทรีย์ โดยปกติร่างกายมีระบบเมตาโบลิซึ่มซึ่งเปลี่ยนความเป็นพิษของสารหนูให้น้อยลง แต่ถ้าได้รับสารหนูอนินทรีย์มากเกินกว่าอัตราของเมตาโบลิซึ่ม ก็จะทำให้เกิดความเป็นพิษได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

สารหนูที่เข้าสู่ร่างกายประมาณครึ่งหนึ่งจะแพร่กระจายไปอยู่ในกระแสโลหิตโดยเฉพาะในเม็ดเลือดแดง นอกจากนี้ก็จะแพร่กระจายอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น ตับ ไต ปอด ม้าม

เส้นผม เล็บ และผิวหนัง เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) โดยที่เส้นผม เล็บ และผิวหนัง จะมีปริมาณสารหนูสะสมอยู่สูงสุด (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2531) เนื่องจากอวัยวะเหล่านี้มีสารเคราติน (keratin) เป็นองค์ประกอบ โดยที่สารหนูอาร์เซไนต์ซึ่งเป็นสารหนูที่มีอนุมูลประจุ +3 จะจับกับหมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl group, SH-group) ของเคราตินในโปรตีนหรือเอนไซม์ในเซลล์ โดยมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งจะทำให้กระบวนการก่อให้เกิดพลังงานของเซลล์ผิดปกติไป และรบกวนการสร้างดีเอ็นเอที่เกี่ยวกับการสร้างเซลล์ใหม่ของร่างกาย โดยขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ดีเอ็นเอโพลิเมอเรส (polymerase) (สุจินต์ พลากรกุล และคณะ, 2531 อ้างถึงใน สิริวรรณ จันทนจุลกะ, 2533) กลไกการยับยั้งนี้มีการตั้งสมมุติฐานว่าอาจเกิดได้ 2 ทาง คือ มีการแข่งขันกับฟอสเฟตในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดทีฟฟอสฟอริเรชัน (oxidative phosphorylation) หรือมีการยับยั้งของพลังงานที่เชื่อมต่อดีเอ็นเอและซับสเตรท ได้แก่ไพรูเวท (pyruvate) กลูตาเมท (glutamate) และแอลฟาคีโตกลูตาเรท (α-ketoglutarate) (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.3.3 การขับออกจากร่างกาย

สารหนูส่วนใหญ่ถูกขับออกมากับปัสสาวะ และบางส่วนขับออกมากับอุจจาระ เส้นผม เล็บ และมีจำนวนน้อยที่ออกมากับลมหายใจ อัตราการขับออกจากร่างกายค่อนข้างช้าใช้เวลาประมาณ 10 วันหลังจากได้รับสารหนูเข้าไปแบบเฉียบพลัน และในรายที่ได้รับสารหนูเข้าไปนานติดต่อกัน จะต้องใช้ระยะเวลานานมากกว่า 1 ปีในการขับออกจากร่างกาย สารหนูที่ขับออกมาพร้อมกับปัสสาวะจะอยู่ในรูปไดเมทิลอาร์ซีนแอซิด (dimethylarsine acid) ประมาณร้อยละ 65 และอยู่ในรูปเมทิลอาร์โซนิกแอซิด (methylarsonic acid) ประมาณร้อยละ 20 (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) ในการขับสารหนูออกจากร่างกายทางเส้นผม ได้มีการศึกษาในตัวอย่างรายที่ได้รับสารหนูจากการประกอบอาชีพ พบว่าจะมีระดับสารหนูในเส้นผมมากกว่า 100 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และจากตัวอย่างการเกิดพิษในชาวญี่ปุ่นที่ได้รับสารหนูที่ปนเปื้อนในซีอิ๊ว โดยได้รับสารหนู 3 มิลลิกรัมทุกวันเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ พบว่าในระยะเวลาต่อมา 2 สัปดาห์ ตรวจพบสารหนูในเส้นผม 1.8-13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2531) นอกจากนี้สารหนูยังถูกขับออกทางเหงื่ออีกด้วย มีการรายงานว่าปริมาณสารหนูในเหงื่อจะมากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่ร้อนขึ้น โดยพบความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูในเหงื่อของตัวอย่าง 2 ราย มีค่า 1.5

ไมโครกรัมต่อลิตร และคำนวณปริมาณสารหนูที่ถูกขับออกต่อชั่วโมงเท่ากับ 2 ไมโครกรัม (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2531)

2.1.3.4 ความเป็นพิษ

สารหนูมีความแตกต่างจากโลหะหนักอื่นๆทั่วไปตรงที่สารประกอบสารหนูอินทรีย์ส่วนใหญ่มีความเป็นพิษน้อยกว่าสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ ในทางตรงกันข้ามสารประกอบของโลหะหนักอื่นๆ สารอินทรีย์จะมีความเป็นพิษมากกว่าสารอนินทรีย์(O' Neill, 1993) จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่าสารหนูที่มีอนุมูลประจุ +3 มีความเป็นพิษสูงกว่าสารหนูที่มีอนุมูลประจุ +5 และสารหนูในสภาวะสารละลาย จะมีความเป็นพิษสูงกว่าสารหนูที่ไม่ละลาย เนื่องจากสารหนูที่อยู่ในสภาวะสารละลายสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2531) การเกิดพิษเนื่องจากสารหนู ส่วนใหญ่เป็นการเกิดพิษแบบเรื้อรังที่เกิดจากการสัมผัสและได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกัน มีการแสดงอาการทางระบบต่างๆ (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) ดังนี้

1) ที่ผิวหนัง ผิวหนังส่วนที่สัมผัสกับสารหนูจะเกิดการระคายเคือง เกิดเป็นโรคผิวหนังโดยเฉพาะผิวหนังที่อยู่ตามซอกมุมต่างๆ เช่นรักแร้ ซอกคอ หู หนังตา มุมปาก ซึ่งบางทีจะเป็นตุ่มแข็งใสพองหรือผิวหนังแข็งด้านโดยเฉพาะที่ฝ่าเท้า ฝ่ามือ ผิวหนังอาจหลุดออกมาเป็นสะเก็ด หรือบริเวณที่สัมผัสจะเป็นจุดสีๆเกิดเป็นหูดและต่อไปอาจเป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนัง
2) ที่เยื่อเมือก (mucous menbrane) เมื่อสัมผัสกับฝุ่นผงหรือก๊าซจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตรงส่วนนั้น และฝุ่นผงบางส่วนจะลงไปในปอดมีอาการคล้ายกับเป็นหวัดคัดจมูก
3) ตาจะเกิดตาแดง ตาอักเสบ
4) ระบบหายใจ สารหนูจะไปสะสมที่ปอดทำให้หลอดลมเกิดการอักเสบ อาจมีผลทำให้เกิดมะเร็งที่ปอด
5) ระบบประสาท สารหนูเมื่อเข้าไปสู่ระบบการไหลเวียนของโลหิตจะไปมีผลต่อน้ำย่อยที่ช่วยในกระบวนการเมตาบอริซึม ทำให้หน้าที่ในการทำงานเสียไป เกิดการเบื่ออาหาร ปลายประสาทอักเสบ แขนขาชา อาจจะเป็นอัมพาต
6) สมอง ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสมอง กระสับกระส่าย ความจำเสื่อม

7) การเกิดมะเร็ง จากการศึกษาข้อมูลจากบุคคลที่ประกอบอาชีพเกี่ยวกับสารหนูและบุคคลทั่วไป พบว่าสารหนูอนินทรีย์จะก่อให้เกิดมะเร็งที่ผิวหนังของมนุษย์ได้ จากการสัมผัสสารหนูนานติดต่อกัน โดยมีลักษณะอาการเริ่มแรก คือ ผิวหนังมีเม็ดสีมากผิดปกติ ต่อมาผิวหนังแข็งด้านอย่างผิดปกติและในที่สุดทำให้เกิดมะเร็งที่ผิวหนังได้
8) การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม จากผลการศึกษาพบว่าสารหนูสามารถก่อให้เกิดกลายพันธุ์ในมนุษย์ได้ และพบว่ามีการผิดปกติของโครโมโซมในเซลล์น้ำเหลืองของผู้ที่เป็นโรคผิวหนังเรื้อรัง
9) การเกิดความบกพร่องในพัฒนาการของทารกในครรภ์ จากการศึกษาในหนูทดลองโดยการฉีด sodium arsenite เข้าไปในช่องท้องของหนูที่ตั้งท้องเป็นวันที่ 9 ในปริมาณ 10 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ผลปรากฏว่า หนูในท้องซึ่งเมื่ออายุ 18 วัน มีความเปลี่ยนแปลงที่ผิดรูปหรือผิดส่วน

2.1.3.5 การบำบัดรักษา

1) ใช้ยาแก้พิษ (antidote) ชนิดไดไทออล (dithiol group) เช่น unithiol dicaptol dithioglycerol dimercaptosuccinic acid โดยที่ยาแก้พิษจะไปลดการจับตัวของสารหนูกับหมู่ซัลไฟดริล
2) โดยการให้กลูโคสและน้ำเกลือแก่คนไข้เพื่อไปทดแทน eletrolytes hydrocarbon และน้ำ
3) รักษาตามอาการที่เกิดขึ้น

2.1.4 มาตรฐานที่ควบคุมระดับสารหนู

ในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 สารหนูจัดอยู่ในวัตถุอันตรายประเภทที่ 3 คือ วัตถุอันตรายที่การผลิต การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับใบอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม และจัดอยู่ในวัตถุอันตรายประเภทที่ 4 คือ วัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้มีการผลิต นำเข้า ส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) สำหรับมาตรฐานที่ควบคุมระดับสารหนูในสิ่งแวดล้อมมีดังนี้

1) มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (ปี พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กำหนดปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินต้องมีค่าไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542)
2) มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (ปี พ.ศ. 2539) ได้กำหนดปริมาณสารหนูในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542)
3) มาตรฐานระดับสารหนูที่ปนเปื้อนในดิน องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดมาตรฐานระดับสารหนูปนเปื้อนในดินต้องมีค่าไม่เกิน 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)
4) มาตรฐานคุณภาพอากาศ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (ปี พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระเหยออกจากโรงงาน ต้องมีปริมาณสารหนูไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/อากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542)
5) มาตรฐานอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 24 วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 กำหนดให้อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทมีปริมาณสารหนูได้ไม่เกิน 2 mg/kg (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)
6) มาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดปริมาณสารหนูในน้ำดื่มโดยหน่วยงานต่างๆในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.3

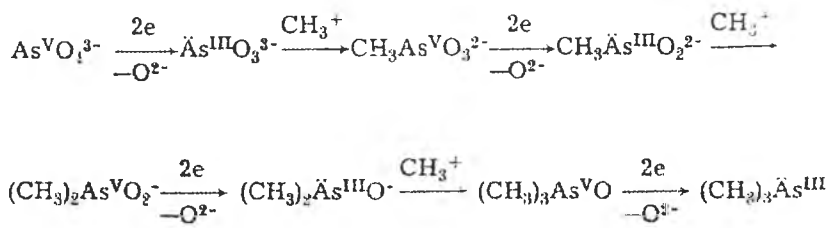
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดปริมาณสารหนู โดยหน่วยงานต่างๆ

หน่วยงานที่กำหนด	ปริมาณที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม (mg/l)
กระทรวงสาธารณะสุข	0.05
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	0.05
กรมทรัพยากรธรณี	0.05
กรมโยธาธิการ	0.05
การประปานครหลวง	0.01-0.05

ที่มา : (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.1.5 การแพร่กระจายและการเปลี่ยนรูปสารหนูในสิ่งแวดล้อม

การเปลี่ยนรูปสารหนูในสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นในดิน ตะกอน พืช สัตว์ และในมหาสมุทรบริเวณที่เกิดกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตขึ้น แบคทีเรียและเชื้อราสามารถเปลี่ยนแปลงสารหนูอนินทรีย์พวกอาร์โซนิกซอลท์ (arsonic salts) ให้กลายเป็นสารประกอบอนุพันธ์ของเมทิลเลท (methylated) (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) กระบวนการไบโอเมทิลเลชัน (biomethylation) และไบโอรีดักชัน (bioreduction) มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนรูปของสารหนูในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากในกระบวนการดังกล่าวนี้จะผลิตสารประกอบอินทรีย์ของโลหะซึ่งมีความเสถียรในการเคลื่อนย้ายไปในอากาศและน้ำได้ สารประกอบไดเมทิลอาร์ซีน (dimethylarsine) เกิดในสภาวะไร้ออกซิเจน แต่ไตรเมทิลอาร์ซีน (trimethylarsine) เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน อย่างไรก็ตาม สารประกอบสารหนูในรูปไบโอเมทิลเลท (biomethylated) อาจเกิดการออกซิเดชันและเกิดกระบวนการดีเมทิลเลชัน (demethylation) โดยแบคทีเรียกลับไปอยู่ในรูปสารหนูอนินทรีย์ได้ (WHO, 1981) กลไกการเปลี่ยนรูปสารหนูในกระบวนการเมทิลเลชันแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งสารหนูจะถูกเปลี่ยนจาก As(V) ไปเป็น As(III) ก่อนเกิด methylated



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนรูปสารหนูในกระบวนการ methylation
ที่มา : (WHO, 1981)

2.1.5.1 ในน้ำ

สิ่งมีชีวิตในทะเลบางชนิดสามารถเปลี่ยนสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ ให้กลายเป็นสารหนูอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่นสารประกอบอาร์เซโนบีเทน (arsenobetaine) อาร์เซโนคลอรีน (arsenocholine) อาร์โซเนียมฟอสฟอลิปิด (arsonium phospholipids) (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

จากการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบสารหนูที่อยู่ใน ทะเล Sargasso และอ่าว Naragansett พบว่าอัตราส่วนของระดับความเข้มข้นของ As (III) / As (V) มีค่า 0.18 และ 0.02-0.09 ตามลำดับ โดยค่านี้จะขึ้นอยู่กับกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตพวกไฟโตแพลงตอน (phytoplankton) (WHO, 1981)

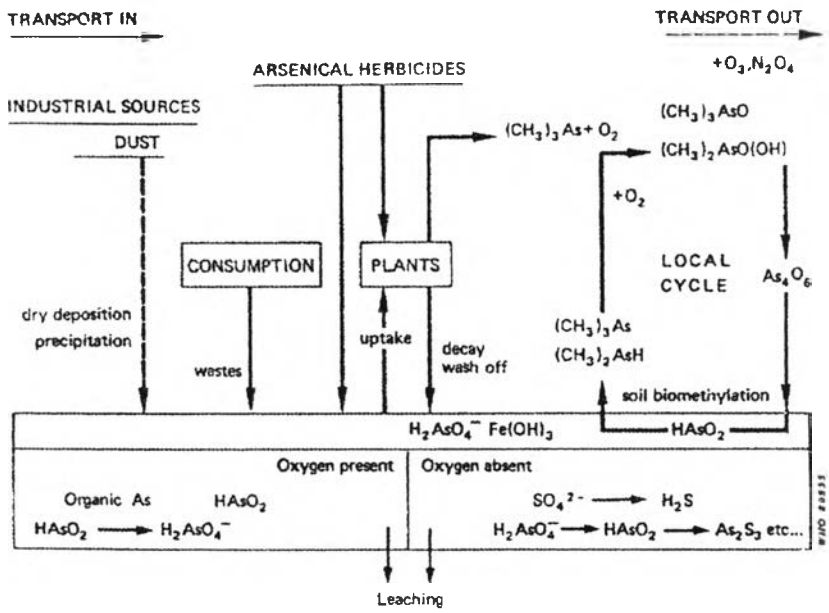
การเกิดสารประกอบเมทิลอาร์เซนิก (methylarsenic) ในน้ำทะเลและแหล่งน้ำจืดบนพื้นโลกขึ้นอยู่กับกิจกรรมของไฟโตแพลงตอน (phytoplankton) และจะพบในปริมาณมากโดยเฉพาะในแหล่งน้ำจืดที่มีแร่ธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ เช่นในทะเลสาบหรือบ่อน้ำ แต่ในตะกอนท้องน้ำจะพบสารประกอบเมทิลอาร์เซนิกในปริมาณที่ไม่มากนัก (WHO, 1981) และจากการศึกษาของ Groot และคณะ, 1976 พบว่าตะกอนท้องน้ำสามารถดูดซับ As (III) ได้สูงขึ้นเมื่อน้ำมีความเค็มมากขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.1.5.2 ในอากาศและดิน

ในดินสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอจะพบสารหนูในรูปเพนตะวาเลนท์ (pentavalent) และสำหรับดินในสภาวะที่ขาดออกซิเจนจะพบสารหนูในรูปไตรวาเลนท์ (trivalent) สารประกอบสารหนูในรูปอาร์ซีเนทไอออน (Arsenate ion) พร้อมที่จะถูกดูดซับโดยไฮดรัสออกไซด์ (hydrous oxide) ของเหล็กและอะลูมิเนียมซึ่งจะทำให้สารประกอบอาร์ซีเนท (arsenate) ที่ได้ถูกชะออกไปได้ช้า การดูดซับนี้เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้สารหนูถูกตรึงอยู่ในดินได้นาน (WHO, 1981)

วัฏจักรการเปลี่ยนรูปและแพร่กระจายสารหนูระหว่างในดินและในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งปัจจัยสำคัญในการแพร่กระจายสารหนูประกอบด้วย ความสามารถในการตรึงสารหนู

ไว้ในดินและการเกิดออกซิเดชัน การดูดดึงโดยพืช และการระเหยของสารหนูจากดินสู่อากาศหลังจากเกิดกระบวนการเมทิลเลชัน (methylation) (WHO, 1981) สารประกอบเมทิลอาร์เซนิก (methylarsenic) พบเฉพาะในอากาศบริเวณเหนือพื้นดินที่มีสารประกอบสารหนูหลายชนิด ซึ่งเกิดเนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันและไบโอเมทิลเลชัน (biomethylation) ในดิน (Braman, 1983 อ้างถึงในสิริวรรณ จันทนจุลกะ, 2533)



รูปที่ 2.2 วัฏจักรการเปลี่ยนรูปและการแพร่กระจายสารหนูระหว่างในดินและในอากาศ
ที่มา : (WHO, 1981)

2.1.5.3 พฤติกรรมของสารหนูในดิน

สารหนูในดินถูกพบอยู่ในรูปสารประกอบแอนไอออนนิก (anionic) เนื่องจากสารหนูมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกับธาตุฟอสฟอรัสซึ่งอยู่ในหมู่เดียวกันตามตารางธาตุ ซึ่งทั้งคู่สามารถเกิดเป็นสารประกอบออกซีแอนไอออน (oxyanion) คืออาร์เซเนตและฟอสเฟต ซึ่งมีออกซิเดชันสเตรท +5 แต่ฟอสเฟตจะมีความเสถียรกว่าที่สภาวะค่า Eh และ pH ต่างๆ ในขณะที่สารหนูสามารถถูกพบอยู่ใน

ดินในรูปซึ่งมีออกซิเดชันสเตรท +3 และเชื่อมลิแกน (ligand) กับธาตุอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจนและมีความเสถียรได้ การเกิดกระบวนการเมทิลเลชัน (methylation) และดีเมทิลเลชัน (demethylation) โดยสิ่งมีชีวิตในดิน และการเปลี่ยนแปลงออกซิเดชันสเตรทขึ้นอยู่กับช่วงค่า Eh และ pH ในดิน (O' Neill, 1993)

สภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกของสารอาร์เซนัสแอซิด (arsenous acid, As(III)) และอาร์เซนิกแอซิด (arsenic acid, As(V)) ในสารละลายที่ค่า pK_a ต่างๆดังแสดงในสมการต่อไปนี้ ซึ่งจะมีความเสถียรที่ค่า pH ในดิน อยู่ในช่วง 4-8 (O' Neill, 1993)

Arsenic acid

$$H_3AsO_4 + H_2O \rightleftharpoons H_2AsO_4^- + H_3O^+ \qquad pK_a\ 2.20$$

$$H_2AsO_4^- + H_2O \rightleftharpoons HAsO_4^{2-} + H_3O^+ \qquad pK_a\ 6.97$$

$$HAsO_4^{2-} + H_2O \rightleftharpoons AsO_4^{3-} + H_3O^+ \qquad pK_a\ 11.53$$

Arsenous acid

$$H_3AsO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2AsO_3^- + H_3O^+ \qquad pK_a\ 9.22$$

$$H_2AsO_3^- + H_2O \rightleftharpoons HAsO_3^{2-} + H_3O^+ \qquad pK_a\ 12.13$$

$$HAsO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons AsO_3^{3-} + H_3O^+ \qquad pK_a\ 13.4$$

กระบวนการเกิดไบโอเมทิลเลชัน (biomethylation) ขึ้นอยู่กับปัจจัยสองประการคือ สิ่งมีชีวิตในดิน และสารประกอบสารหนูที่อยู่ในดิน สิ่งมีชีวิตบางชนิดสามารถเติมหมู่เมทิล (methyl) ได้ในสภาวะค่า pH ในช่วงกว้าง ในขณะที่สิ่งมีชีวิตบางชนิดสามารถเติมหมู่เมทิลได้โดยขึ้นอยู่กับสารเมทิลเลท (methylate) และระดับของการเกิดเมทิลเลชัน (methylation) ด้วย (O' Neill, 1993)

2.1.6 การปนเปื้อนสารหนูในประเทศไทย

ปัญหาการแพร่กระจายของสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราชที่เกิดจากสารหนูที่อยู่ในรูปของอาร์เซโนไพไรท์ (arsenopyrite, FeAsS) และไพไรท์ (pyrite, FeS_2) ในสายแร่ดีบุกบริเวณเขาสรวงจันทร์และเขาร่อนนา ในอดีตมีการทำเหมืองแร่ดีบุกเป็นระยะเวลาติดต่อกันมานานกว่า 50 ปี กิจกรรมจากเหมืองแร่ เช่น กระบวนการลอยแร่มีการใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) ที่มีสภาพเป็นกรด

สามารถละลายธาตุบางตัวให้ปะปนไปกับน้ำได้โดยเฉพาะสารหนูที่มีอยู่ในแร่ น้ำในลำห้วยจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการลอยแร่และน้ำทิ้งจากการแต่งแร่จะถูกปล่อยกลับลงไปในห้วย ส่วนกากแร่ที่ทิ้งไว้บริเวณโรงแต่งแร่ได้ทำปฏิกิริยากับอากาศและน้ำทำให้เหล็กซัลเฟตและสารหนูสามารถถูกชะล้างออกมาในรูปของกรดอาร์เซนัส (arsenous) และกรดอาร์เซนิก (arsenic) เมื่อเกิดการชะล้างตามธรรมชาติจึงทำให้สารหนูแพร่กระจายปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในน้ำ ตะกอน ดิน และพืชผักผลไม้ในปริเวณนั้น ได้ผลพบว่ามีค่าเกินระดับมาตรฐานกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่ อ.ร่อนพิบูลย์

ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ปริมาณสารหนูที่พบ	ค่ามาตรฐาน
น้ำผิวดิน	0-0.83 mg/l	0.01 mg/l [a]
ตะกอนท้องน้ำ	0.09-9.42 mg/kg	-
ดิน	0-3,931 mg/kg	40 mg/kg [b]
พืชผักผลไม้	0-15.35 mg/kg	2 mg/kg [c]

ที่มา : (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

หมายเหตุ : [a] คือค่ามาตรฐานประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ.2537

[b] คือค่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก [WHO]

[c] คือค่ามาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 24 พ.ศ.2522

กรมทรัพยากรธรณีได้มีมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหา โดยในปี พ.ศ. 2530-2531 ได้ดำเนินการจัดหาน้ำสะอาด ขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลระดับลึกซึ่งไม่มีการปนเปื้อนสารหนูให้ราษฎรบริเวณนั้นได้ใช้ในการอุปโภคบริโภค และในปี พ.ศ.2537 ได้ดำเนินการประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดนโยบายไม่ให้ประทานบัตรและต่ออายุประทานบัตรในท้องที่ตำบลร่อนพิบูลย์ รวมทั้งไม่อนุญาตให้มีการแต่งแร่และร่อนแร่ในท้องที่ดังกล่าวด้วย และในปัจจุบันกรมทรัพยากรธรณีได้ดำเนินการจัดเก็บกองกากแร่สารหนูจากการทำเหมืองแร่และแต่งแร่ใส่ถุงใยสังเคราะห์อย่างหนาและนำไปฝังกลบในบ่อขุดแบบปลอดภัยบริเวณเขาร่อนนา-สรวงจันทร์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2541)

2.1.7 การบำบัดโดยพืช (phytoremediation)

การบำบัดโดยพืช (phytoremediation) คือการใช้พืชเป็นตัวช่วยบำบัดดินและน้ำที่ปนเปื้อนสารพิษจำพวกโลหะหนักหรือสารอินทรีย์เช่นตัวทำละลาย น้ำมันดิบ และสารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ประสิทธิภาพของการบำบัดโลหะหนักในดินและน้ำโดยใช้พืชนั้น ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้พืชให้มีความเหมาะสมในการสะสมโลหะหนักในแต่ละชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และรวมถึงสารกัมมันตรังสีด้วย เนื้อเยื่อของพืชหลังจากการเก็บเกี่ยวซึ่งมีโลหะหนักสะสมอยู่ในปริมาณมากจะถูกนำไปผ่านกระบวนการทำให้แห้ง เผาเป็นเถ้า และจัดเก็บอย่างปลอดภัย (Raskin et al, 1994)

2.1.7.1 ข้อดีของการบำบัดโดยใช้พืช

ข้อดีของการใช้พืชที่สามารถสะสมโลหะหนักเพื่อดูดดึงสารหนูจากการปนเปื้อนในดิน (McGrath, 1998) มีดังนี้

1) พืชสามารถเปลี่ยนสารหนูจากรูปที่เป็นพิษ ให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษลดน้อยลงหรือหมดไปได้
2) ค่าใช้จ่ายในการจัดการต่ำ
3) สามารถนำไปใช้กับบริเวณที่มีการปนเปื้อนในสภาพจริงได้
4) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการบำบัดอื่นๆได้

2.1.7.2 คุณสมบัติของพืชที่เหมาะสมในการบำบัด

พืชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดโลหะหนักในดิน ควรจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) สามารถสะสมโลหะหนักปริมาณมากไว้ในส่วนยอด
2) มีมวลชีวภาพของส่วนยอดสูง
3) มีการกระจายตัวสูงและสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณสูง
4) มีวงจรชีวิตสั้น
5) มีการขยายพันธุ์ได้สูง

2.1.7.3 การดูดดึงสารหนูของพืช

จากการศึกษาการดูดดึงสารหนูของพืชหลายๆชนิด พบว่าปริมาณการดูดดึงหรือระดับความเป็นพิษของสารหนูขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิดของสารหนู และลักษณะของดิน โดยในพืชทั่วๆไปจะพบปริมาณสารหนูสะสมในรากมากกว่าลำต้น ใบ และผล จากการศึกษาการดูดดึงสารหนูของพืชที่ปลูกในดินต่างชนิดกันแต่มีความเข้มข้นของสารหนูในระดับเดียวกัน พบว่าพืชที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนซึ่งมีปริมาณแร่ดินเหนียว เหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์สูงจะดูดดึงสารหนูได้ต่ำกว่าพืชที่ปลูกในดินทรายหรือ sandy loam เนื่องจากแร่ดินเหนียว เหล็กออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ สามารถดูดซับตรึงสารหนูไว้ได้ดี (O' Neill, 1990) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่า ในดินเนื้อละเอียดพืชจะลดการเจริญเติบโตลงเมื่อมีสารหนูในดินในระดับความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ขณะที่ในดินเนื้อหยาบระดับความเป็นพิษจะปรากฏเมื่อมีสารหนูในระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) และในการศึกษาการดูดดึงสารหนูของรากถั่ว bean พบว่าปริมาณการดูดดึงสารหนูที่อยู่ในรูปที่แตกต่างกันจากมากไปน้อย มีดังต่อไปนี้ : arsenate > arsenite > monomethyl arsonate > dimethylarsinate (O' Neill, 1993) และนอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าการดูดดึงสารหนูจากดินของพืช 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ และป๊อปปี้มีปริมาณน้อยหากดินอยู่ในสภาวะเป็นกลาง มีปริมาณสารอินทรีย์และอนุภาคดินเหนียวสูง (Tlustos, 1997) และการดูดดึงสารหนูของพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับพีเอชในดินเพิ่มขึ้น (O' Neill, 1993)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่ศึกษาความเป็นพิษ การดูดดึงและการสะสมสารหนูโดยพืช ซึ่งผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) สารหนูในรูปโซเดียมอาร์เซเนตในดินมาบบอนร่วนปนทรายในระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 100 ppm ขึ้นไป มีผลทำให้ต้นกล้าจากท่อนมันสำปะหลังหยุดชะงักการเจริญเติบโตที่ส่วนยอดและส่วนราก โดยเฉพาะรากไม่งอกจากท่อนพันธุ์เลย และกิ่งยอดมีใบเหลืองและตายไปภายใน 1 สัปดาห์ (ถวิล ครุฑกุล, 2526)
2) พืชตระกูลถั่วและแตงมีความไวต่อพิษของสารหนูมาก ส่วนพืชชนิดอื่นๆอาจเรียงลำดับความทนต่อพิษของสารหนูจากน้อยไปมากได้ดังนี้ ถั่ว < ผักโขม < กะหล่ำปลี < มะเขือเทศ < หัวไชเท้า < พืชตระกูลหญ้าและธัญพืช (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)
3) การศึกษาการสะสมและกระจายตัวของสารหนูและแคดเมียมในพืช 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโอ๊ต ผักโขม กะหล่ำปลี แครอท และถั่วเขียว พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วมีการสะสมสารหนูในส่วนราก และมีการสะสมแคดเมียมในส่วนใบ (Tlustos, 1998)
4) การศึกษาการสะสมสารหนูในเนื้อเยื่อต่างๆของผักกาดหัว มะเขือเทศ ผักกวางตุ้ง และถั่วเขียว ที่ระยะการเจริญเติบโต 3 ระยะ คือระยะการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ออกดอก และติดผล บนดินทรายร่วน โดยสารหนูที่ใช้อยู่ในรูปสารประกอบ $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ และ As_2O_3 ที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าทุกระยะการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด จะสะสมสารหนูไว้ที่รากมากที่สุด โดยสะสมอยู่รอบผิวนอกของราก (สุวรรณีย์ ภูธรธราช, 2537)

2.1.7.4 การเปลี่ยนรูปและการเคลื่อนย้ายสารหนูในพืช

จากผลการศึกษาในงานวิจัยเกี่ยวกับการสะสมสารหนูของพืช พบว่าพืชทั่วๆไปมีระดับความเข้มข้นของสารหนูสูงที่สุดในส่วนราก และพบในระดับต่ำกว่าในส่วนของพืชที่อยู่เหนือพื้นดิน (Otte, 1991) อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่าสารหนูส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในส่วนราก ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับมวลชีวภาพของแต่ละส่วนของพืชด้วย (Otte, 1991) การเคลื่อนย้ายสารหนูในส่วนต่างๆของพืช ขึ้นอยู่กับรูปทางเคมีของสารหนูแต่ละชนิดด้วย

เมื่อมีการเคลื่อนย้ายสารหนูในพืชจากส่วนรากไปสู่ส่วนยอด จะเกิดกลไกการเกิดพิษของสารหนูขึ้น โดยทั่วๆไปสารหนูในรูปอาร์เซเนท (arsenate) มีความเป็นพิษน้อยกว่าสารหนูในรูปอาร์เซไนท (arsenite) (O' Neill, 1993) ความเป็นพิษของสารหนูต่อพืช เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ arsine > arsenite > arsenate > organic arsenic (Yan-Chu, 1994) เนื่องจากสารหนูมีคุณสมบัติ

ทางเคมีคล้ายกับฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของพืช จึงสามารถแทนที่ฟอสฟอรัสในธาตุอาหารพืช เมื่อสารหนูเข้าสู่พืชจะถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปอาร์เซเนท (arsenate) ซึ่งจะไปแทนที่ฟอสฟอรัสใน adenosine diphosphate (ADP) ทำให้กระบวนการ phosphorylation ถูกยับยั้ง จึงไม่มีการสร้าง adenosine triphosphate (ATP) พืชจึงขาดพลังงาน (Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Polltants, 1977) ส่งผลให้พืชแสดงอาการใบมีสีเหลืองซีดสม่ำเสมอทั่วทั้งใบ (chlorosis) และความเต่งตัว (turgidity) ของเนื้อเยื่อพืชต่ำกว่าปกติ (ถวิล ครุฑกุล, 2526)

2.2 หญ้าแฝก

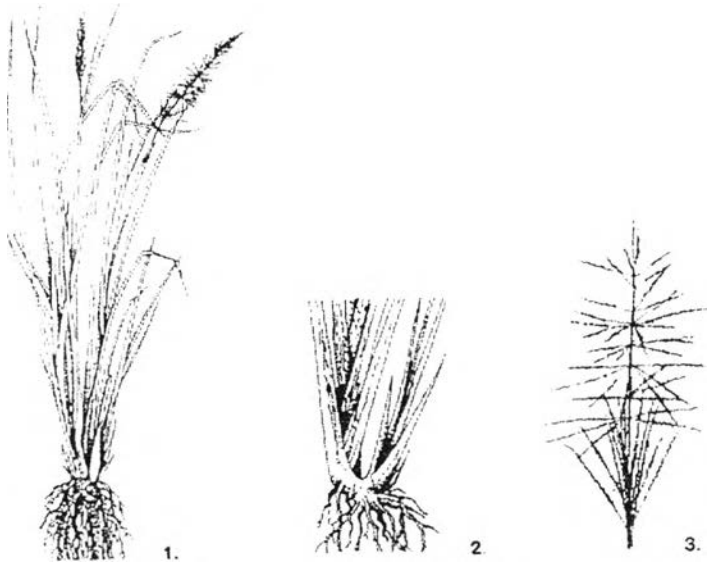
หญ้าแฝกมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Vetiver grass เป็นพืชตระกูลหญ้าชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตะไคร้ หญ้าแฝกเป็นพืชพื้นบ้านที่คนไทยรู้จักและนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยโบราณโดยใช้มุงหลังคา ถิ่นกำเนิดที่เป็นศูนย์กลางของการแพร่กระจายพันธุ์หญ้าแฝกสันนิษฐานว่าอยู่ในบริเวณตอนกลางและตอนใต้ของประเทศอินเดีย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) และได้แพร่กระจายลงมาครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ทั่วโลกมีหญ้าแฝก (Vetiver grass) อยู่ประมาณ 12 ชนิด ส่วนในประเทศไทยพบจำแนกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ หญ้าแฝกหอมหรือที่เรียกว่าแฝกลุ่มหรือแฝกท้องขาว ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash และหญ้าแฝกดอน ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria nemoralis* (Balansa) A. Camus (วีรชัย ณ นคร อ้างถึงใน กรมพัฒนาที่ดิน, 2536) ซึ่งหญ้าแฝกหอมนั้นตามธรรมชาติจะพบขึ้นในที่ราบลุ่มน้ำท่วมขัง พบมากตลอดทั่วทุกภาคของประเทศไทย ภาษาท้องถิ่นภาคกลางและภาคเหนือตอนล่างเรียกว่าขนาก (วิทูร ชินพันธุ์, 2537) ในรากของหญ้าแฝกหอมมีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นพวก Ketonic sesquiterpenes (วีรชัย ณ นคร, 2536) จึงมีการนำรากหญ้าแฝกหอมมาทำยาสมุนไพร เครื่องหอม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำรากหญ้าแฝกหอมมาสกัดเป็นสารควบคุมและป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชและสัตว์ได้อีกด้วย เช่นงานวิจัยของฉลองชัย แบบประเสริฐ และพินิจ กรินท์ธัญญกิจ (2536) ศึกษาพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากรากหญ้าแฝกสามารถใช้ในการควบคุม ป้องกัน และกำจัดแมลงศัตรูบางชนิดกับแปลง ผักคะน้า แตงกวา และผักกาดหัว ได้ในระดับหนึ่ง ส่วนหญ้าแฝกดอน จะพบขึ้นทั่วไปตามที่ดอน พื้นที่ลูกรัง และมีการนำใบหญ้าแฝกดอนมากรองเป็นตับแฝกใช้มุงหลังคาบ้านเรือน (วิทูร ชินพันธุ์, 2537)

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.2.1.1 ลำต้น (Culm)

หญ้าแฝกเป็นหญ้าที่ขึ้นเป็นกอแน่น มีลักษณะเป็นพุ่ม ใบยาวตั้งตรงขึ้นสูง มีความสูง 100-200 เซนติเมตร (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541) จากสรุปผลการดำเนินงานโครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริในปี พ.ศ.2536 พบว่าต้นของหญ้าแฝกมีความสูงเฉลี่ย 150-180 เซนติเมตร และหญ้าแฝกที่มีอายุ 1 ปี ส่วนต้นจะมีความสูงจากพื้นดินขึ้นไปเฉลี่ย 160-180 เซนติเมตร (ราเชนทร์ ถิรพร, 2534) กอแฝกจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โคนกอเบียดกันแน่นไม่มีไหล (stolen) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งที่แตกต่างจากหญ้าอื่นค่อนข้างชัดเจน ส่วนโคนของลำต้นจะแบน เกิดจากส่วนของโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ในกาบใบบริเวณคอดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541) การเจริญและแตกกอของหญ้าแฝกจะมีการแตกหน่อใหม่ทดแทนต้นเก่าอยู่เสมอ โดยจะแตกหน่อออกทางด้านข้างรอบกอเดิม ทำให้กอมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ โดยปกติแล้วหญ้าแฝกมีลำต้นสั้น ข้อและปล้องไม่ชัดเจน ลักษณะของต้นและกอหญ้าแฝกแสดงได้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะต้นของหญ้าแฝก (1)ลักษณะกอ (2)หน่อ (3)ช่อดอก
ที่มา : (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541)

2.2.1.2 ใบ (Leaf)

ใบของหญ้าแฝกแตกจากโคนกอ มีลักษณะแคบยาว ขอบใบขนาน ปลายใบสอบแหลม เนื้อของแผ่นใบกร้าน สากและคาย โดยเฉพาะใบแก่ ขอบใบและเส้นกลางใบมีหนามละเอียดหนามบนใบส่วนที่โคนและกลางแผ่นใบจะมีน้อย แต่จะมีมากที่บริเวณปลายใบ มีลักษณะตั้งทะแยงปลายหนามชี้ขึ้นไปทางปลายใบ (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541) ถ้าตัดใบตามแนวขวาง จะเห็นหน้าตัดใบเป็นรูปตัววีหรือตัวยูซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของหญ้าแฝก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

กระจังหรือเยื่อกันน้ำฝนที่โคนใบจะลดรูป มีลักษณะเหลือเพียงแผ่นโค้งของขนสั้นละเอียด สังเกตได้ไม่ชัดเจน (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541) โคนใบของหญ้าแฝกดอนจะเป็นสันสามเหลี่ยมเด่นชัดและคม ซึ่งเรียกว่าสามเหลี่ยมคมแฝก เส้นกลางใบของแฝกดอนจะแข็งมีสีเขียวและเป็นสันนูนออกด้านหลัง ความกว้างของใบส่วนที่กว้างที่สุดจะประมาณ 7 มิลลิเมตร ถึง 1 เซนติเมตร ใบหญ้าแฝกหอมจะกว้างกว่า มีเส้นกลางใบสีเขียว ท้องใบหรือด้านหน้าใบจะมีสีขาว ผิวใบมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ด้านหลังใบเป็นสีเขียวตลอด (วิทูร ชินพันธุ์, 2537)

เมื่อตัดแผ่นใบตามขวางศึกษาดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นด้านหลังใบ (abaxial) เป็นด้านที่มีการกระจายตัวของมัดท่อนำน้ำและอาหาร (vascular bundle) เรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบอยู่ใต้ชั้นผิวใบ (epidermis) มัดท่อนำน้ำและอาหารนี้ห่อหุ้มด้วยกลุ่มเซลล์ผนังบาง (bundle sheath) ที่มีคลอโรพลาสต์อยู่ภายในเซลล์เหล่านี้ ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารและเป็นแหล่งพลังงานที่พืชได้จากการสังเคราะห์แสง ตอนบนของมัดท่อนำน้ำและอาหารจะมีเซลล์ที่ผนังหนา (sclerenchyma) เรียงตัวอยู่ เป็นกลุ่มติดสีย้อมชัดเจน ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้แก่แผ่นใบและมัดท่อนำน้ำและอาหาร ส่วนด้านท้องใบ (adaxial) มีสีจางกว่าด้านหลังใบ ผิวใบด้านนี้ประกอบด้วยเซลล์ผนังบางชั้นเดียว ใต้ผิวใบประกอบด้วยเซลล์ผนังบางเป็นกลุ่ม จัดเรียงตัวเป็นลักษณะคล้ายสะพานต่อเชื่อมระหว่างมัดท่อลำเลียงกับผิวใบ ทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่ ทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำและความชื้น บริเวณตอนกลางของแผ่นใบ (mesophyll) จะมีช่องว่างขนาดใหญ่ (air space) ปรากฏชัดเจนอยู่ทั่วไป ทำหน้าที่เก็บก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง ด้านหลังใบพบปากใบ (stomata) มากกว่าด้านท้องใบ (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541)

ที่ตรงกลางของด้านท้องใบจะมีกลุ่มเซลล์ผนังบางขนาดใหญ่ ที่ย้อมติดสีแดงจางเรียงตัวอยู่ที่บริเวณรอยพับของใบ (bulliform cells) มีหน้าที่ควบคุมการห่อตัวและการพับของใบด้วยการพองและยุบตัวของเซลล์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

2.2.1.3 ราก (Root)

รากหญ้าแฝกเป็นระบบรากฝอย มีสองขนาดคือเส้นโตและฝอยขนาดเล็ก เส้นโตจะเหนียวและแข็งเจาะลงไปในดินได้ลึก เส้นขนาดเล็กจะแตกแขนงออกมาจากเส้นใหญ่และสานกันคล้ายร่างแห (วิทูร ชินพันธุ์, 2537) หญ้าแฝกที่มีอายุ 1 ปี จะมีความยาวของรากตั้งแต่ 0.75 ถึงประมาณ 3 เมตร และรากหญ้าแฝกที่เจริญเติบโตในเรือนทดลองจะมีความยาวเฉลี่ย 104.7 เซนติเมตรในเดือนแรก และมีความยาว 239.9 เซนติเมตรในเดือนที่ 8 (ราเชนทร์ ถิรพร, 2534) หญ้าแฝกที่มีอายุประมาณ 18 เดือน รากจะเจริญเติบโตเต็มที่ รากแกนที่ส่วนโคนกอจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง โตประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ผนังด้านนอกจะแข็งตัวมีลักษณะอวบคล้ายนวม เมื่อรากแก่มากก็จะตายไปและถูกแทนที่ด้วยเซลล์ผิวที่อยู่ถัดไป จะทำหน้าที่เพิ่มความหนาความแข็งแรง ดูดซับน้ำและความชื้น โดยเฉพาะป้องกันส่วนลำเลียงน้ำและอาหารที่อยู่ภายใน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

เมื่อตัดรากตามขวางและศึกษาดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นลักษณะการเรียงตัวของเนื้อเยื่อรากด้านนอกประกอบไปด้วยเซลล์ผิว (outer epidermis)อยู่ชั้นนอกสุด ใต้เซลล์ชั้นผิวเป็นเซลล์ที่มีผนังหนาสะสมตามมุม (collenchyma) เรียงตัวอยู่เป็นหลายชั้น ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงและให้ความยืดหยุ่นแก่ราก เซลล์ชั้นในถัดไปจะประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ผนังบางที่เชื่อมต่อกันหลวมๆ เป็นสายคล้ายสะพานทำหน้าที่กักเก็บน้ำ ในชั้นนี้จะมีช่องว่างขนาดใหญ่อยู่มากมาย จะกักเก็บน้ำเมื่อมีความชุ่มชื้นสูงและเก็บอากาศชื้นเมื่อมีความแห้งแล้ง เนื้อเยื่อรากด้านในส่วนแกนกลางจะประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวอัดกันแน่น เซลล์ชั้นนอกสุดจะมีผนังหนาติดสีตอนบน (endodermis) ซึ่งรองรับอยู่ด้วยเซลล์ผนังบางที่ไม่ติดสีและมีเรียงอยู่เพียงชั้นเดียว (pericycle) ถัดไปเป็นเซลล์ผนังหนาที่ไม่ติดสี (parenchyma) เรียงตัวอยู่หลายชั้นแทรกอยู่ด้วยเนื้อเยื่อลำเลียงอาหารที่ย้อมติดสีเขียว (pholem) และเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำที่ย้อมติดสีแดง (xylem) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

2.2.1.4 ช่อดอก (Inforescense)

หญ้าแฝกมีช่อดอกตั้งมีลักษณะเป็นรวง ก้านช่อดอกยาวกลม สูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร แต่ในต้นที่สมบูรณ์จะสูงจากพื้นดินเกินกว่า 200 เซนติเมตร เฉพาะส่วนช่อดอกหรือรวงสูงประมาณ 20-30 เซนติเมตร แผ่กว้างเต็มที่ 10-15 เซนติเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) ช่อดอกจะมีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง สีเทา หรือสีขาวนวล ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสีของส่วนประกอบที่เป็นก้านช่อดอก แขนงช่อดอก กลีบดอก เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย (วิทูร ชินพันธุ์, 2537) ช่อดอกหญ้าแฝกจะเปลี่ยนรูปและสีไปตามขั้นตอนของการผสมเกสร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

ดอกหญ้าแฝกจะอยู่บนแขนงช่อดอกโดยอยู่เป็นคู่ ดอกบนเป็นดอกตัวผู้มีเกสรตัวผู้และก้านดอก ดอกล่างเป็นดอกกระเทยคือมีทั้งเกสรตัวผู้และตัวเมียและไม่มีก้านดอก ดอกหญ้าแฝกจะบานเพื่อผสมเกสรอยู่ประมาณ 4-5 วัน หลังผสมเกสร แขนงช่อดอกจะเริ่มหุบตั้งแต่ปลายช่อลงมาจนถึงโคนช่อและเมล็ด เริ่มแต่งเป็นรวงซึ่งใช้เวลาประมาณ 10-12 วัน เมื่อร่วงหมดจะเหลืออยู่เฉพาะก้านช่อดอก (วิทูร ชินพันธุ์, 2537) ดอกหญ้าแฝกมีรูปร่างคล้ายกระสวย ปลายสอบ ขนาดของดอกกว้าง 1.5-2.5 มิลลิเมตร ยาว 2.5-3.5 มิลลิเมตร ด้านหลังของดอกมีผิวขรุขระ มีหนามแหลมขนาดเล็ก (spinulose) โดยเฉพาะที่บริเวณขอบ เห็นได้ชัดเจนเมื่อส่องดูด้วยแว่นขยาย (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541)

2.2.1.5 เมล็ดและต้นอ่อน (Seed and Seedling)

เมล็ดมีลักษณะกลมยาวคล้ายเมล็ดข้าวเปลือก จะมีหนามเล็กๆเรียงเป็นแถวคล้ายหนามเล็กๆที่เรียงตามขอบใบ เมล็ดมีสีน้ำตาลปนเทา (วิทูร ชินพันธุ์, 2537) ขนาดโตกว้าง 1-1.5 มิลลิเมตร ยาว 2.5-3 มิลลิเมตร เมล็ดหญ้าแฝกมีความสามารถในการงอกอยู่ในช่วงระยะเวลาจำกัด ถ้าเก็บเมล็ดในช่วงก่อนที่เมล็ดจะแก่เกินไปจนร่วงไปเอง แล้วนำมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการจะพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การงอกได้มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทิ้งไว้เพียง 3 วัน การงอกจะลดลงเหลือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์และถ้าทิ้งไว้ 7 วันอัตราการงอกจะเหลือเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอัตราการงอกที่ต่ำมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) และเนื่องจากเมล็ดหญ้าแฝกมีความไวในการตอบสนองต่อปัจจัยของสภาพแวดล้อมต่างๆได้ดี จึงเสียความสามารถในการงอกได้ง่ายเมื่อประสบกับสภาพความแห้งแล้ง ลมแรง และแดดจัดแม้เพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541) และนอกจากนี้ดอก

หญ้าแฝกสามารถติดเมล็ดได้เพียง 50 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เพราะในแต่ละช่อดอกมีดอกสมบูรณ์อยู่ประมาณครึ่งหนึ่ง ประกอบกับการสุกของเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียที่อยู่ในดอกเดียวกันหรือต่างดอกกันมักไม่สัมพันธ์กัน ดังนั้นโอกาสที่จะผสมพันธุ์กันจึงมีน้อย (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541) จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ทำให้สรุปได้ว่าความสามารถในการงอกที่จำกัดของหญ้าแฝกประกอบกับความสามารถในการติดเมล็ดที่ต่ำ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้หญ้าแฝกไม่จัดเป็นวัชพืชเหมือนๆกับหญ้าพันธุ์ชนิดอื่นๆที่เห็นอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ

2.2.2 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน

หญ้าแฝกหอมเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และเป็นไปได้ค่อนข้างรวดเร็ว ตามธรรมชาติพบขึ้นในที่ราบลุ่มน้ำท่วมขัง เช่นที่ราบลุ่มภาคกลางขึ้นปะปนกับนาข้าว ภาคเหนือและภาคอีสานพบตามแอ่งน้ำหนองบึง ภาคใต้พบขึ้นตามชายทุ่งและคันนา (วิทูร ชินพันธุ์, 2537) หญ้าแฝกหอมจะมีความสามารถในการทนต่อสภาพน้ำท่วมขังได้ดีกว่าหญ้าแฝกดอน เนื่องจากโครงสร้างภายในของรากที่ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.5

หญ้าแฝกดอนหรือแฝกพื้นบ้านนั้น มีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบๆตามธรรมชาติ เฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือประเทศไทย ลาว เขมร เวียดนาม และมาเลเซียเท่านั้น หญ้าแฝกดอนจะพบได้ทั่วไปในที่ค่อนข้างแล้ง หรือที่ดินระบายน้ำได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะในป่าเต็งรัง แต่จะมีน้อยในภาคใต้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

จากการเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของหญ้าแฝกทั้งสองชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน

หัวข้อ	หญ้าแฝกหอม	หญ้าแฝกดอน
1. ถิ่นกำเนิด	ตอนกลางของทวีปเอเชีย สันนิษฐานว่าอยู่ในประเทศอินเดีย และได้มีการนำไปปลูกขยายพันธุ์ทั่วไป	เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศไทย ลาว เขมร และเวียดนาม กระจายพันธุ์อยู่ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ ไม่มีการนำไปปลูกขยายพันธุ์
2. ลักษณะกอ	-เป็นพุ่ม ใบยาวตั้งตรงขึ้นสูง -สูงประมาณ 150-200 เซนติเมตร -มีการแตกตะเกียงและแขนงลำต้นได้	-เป็นพุ่ม ใบยาวปลายจะแผ่โค้งลงคล้ายกอตะไคร้ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอม -สูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร -ปกติไม่มีการแตกตะเกียงและแขนงลำต้น
3. ลักษณะใบ	-ยาว 45-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร -ใบสีเขียวเข้ม หลังใบโค้ง ปลายแบน เนื้อใบค่อนข้างเนียนมีไข (wax) เคลือบมากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ -แผ่นใบเมื่อนำไปส่องดูกับแสงจะเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (septum) ชัดเจน เส้นกลางใบฝังอยู่ใต้แผ่นใบ ไม่โตหรือเด่นชัดเจน	-ยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร -ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบสากคาย มีไขเคลือบน้อย ทำให้กร้านไม่เหลือบเป็นมัน ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบ แต่มีสีซีดกว่า -แผ่นใบเมื่อส่องดูกับแสงไม่เห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตได้ชัดเจน ลักษณะแข็งเป็นแกนนูนทางด้านหลัง
4. ลักษณะโครงสร้างภายในของใบ	-เนื้อใบ (mesophyll) หนากว่าหญ้าแฝกดอน -ขนาดช่องอากาศ (air space) มีขนาดใหญ่กว่าหญ้าแฝกดอน	-มีกลุ่มเซลล์ผนัง (bundle sheath extention) หนากว่าหญ้าแฝกหอม ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับมัดท่อนำน้ำและอาหาร
5. ลักษณะราก	-มีน้ำมันหอมระเหยอยู่เฉลี่ย 1.4-1.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง -หยั่งลึกได้ประมาณ 100-300 เซนติเมตร	-ไม่มีน้ำมันหอมระเหย -หยั่งลึกได้ประมาณ 80-100 เซนติเมตร
6. ลักษณะโครงสร้างภายในของราก	-มีช่องอากาศในบริเวณ cortex ขนาดใหญ่กว่าหญ้าแฝกดอน	-มีช่องอากาศในบริเวณ cortex ขนาดเล็กกว่าหญ้าแฝกหอม
7. ลักษณะช่อดอกและดอก	-ช่อดอกสูง 150-250 เซนติเมตร -ส่วนใหญ่มีสีอมม่วง -ดอกย่อยไม่มีระยางแข็ง	-ช่อดอกสูง 100-150 เซนติเมตร -มีได้หลายสี ตั้งแต่สีขาวครีมถึงสีม่วง -ดอกมีระยางแข็ง
8. ลักษณะเมล็ด	-ขนาดโตกว่าหญ้าแฝกดอนเล็กน้อย สีไม่แตกต่างกัน	-ขนาดเล็กกว่าหญ้าแฝกหอม

ที่มา : (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2541)

2.2.3 การจำแนกกลุ่มพันธุ์(ecotype)หญ้าแฝกและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตในสภาพพื้นที่ต่างๆ

นักพฤกษศาสตร์พบว่าหญ้าแฝกขึ้นในทุกภาคของประเทศไทย และได้มีการรวบรวมหญ้าแฝกจากแหล่งต่างๆทั่วประเทศ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ที่มีในประเทศไทย (ตามทะเบียนของกรมพัฒนาที่ดิน)

หญ้าแฝกหอม	หญ้าแฝกดอน
1. กำแพงเพชร	1. อุดรธานี
2. เชียงราย	2. นครพนม
3. สงขลา	3. ร้อยเอ็ด
4. สุราษฎร์ธานี	4. ชัยภูมิ
5. ตรัง	5. เลย
6. ศรีลังกา	6. สระบุรี
7. เชียงใหม่	7. ห้วยขาแข้ง
8. แม่ฮ่องสอน	8. กาญจนบุรี
	9. นครสวรรค์
	10. ประจวบคีรีขันธ์
	11. ราชบุรี
	12. จันทบุรี
	13. พิษณุโลก
	14. กำแพงเพชร

ที่มา : (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

จากการศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ซึ่งเป็นหญ้าแฝกดอน 17 กลุ่มพันธุ์และหญ้าแฝกหอม 11 กลุ่มพันธุ์ และกลุ่มพันธุ์จากต่างประเทศ 1 กลุ่มพันธุ์ พบว่าหญ้าแฝกดอนมีการแตกกอดีกว่าหญ้าแฝกหอม คือเฉลี่ย 30 ต้นต่อกอ และ 18 ต้นต่อกอตามลำดับ แต่เส้นผ่าศูนย์กลางกอใกล้

เคียงกันคือเฉลี่ย 12 เซนติเมตร สำหรับความสูงหญ้าแฝกหอมสูงกว่าหญ้าแฝกดอนเล็กน้อย คือ 104 เซนติเมตร และ 99 เซนติเมตรตามลำดับ (วิทูร ชินพันธุ์ และอาทิตย์ ศุขเกษม, 2536)

สำหรับความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่นั้น สรุปได้ดังนี้

1) พื้นที่ดินทราย ได้แก่หญ้าแฝกดอน 4 กลุ่มพันธุ์ คือ นครสวรรค์ กำแพงเพชร 1 ร้อยเอ็ด และราชบุรี หญ้าแฝกหอม 2 กลุ่มพันธุ์ คือ กำแพงเพชร 2 และสงขลา 3
2) พื้นที่ดินร่วน-เหนียว ได้แก่หญ้าแฝกดอน 5 กลุ่มพันธุ์ คือ เลย นครสวรรค์ กำแพงเพชร 1 ราชบุรีและประจวบคีรีขันธ์ หญ้าแฝกหอม 2 กลุ่มพันธุ์ คือ สุราษฎร์ธานี และสงขลา 3
3) พื้นที่ดินลูกรัง ได้แก่หญ้าแฝกดอน 2 กลุ่มพันธุ์ คือ เลย และประจวบคีรีขันธ์ หญ้าแฝกหอม 4 กลุ่มพันธุ์ คือ ศรีลังกา กำแพงเพชร 2 สุราษฎร์ธานี และสงขลา 3

นอกจากนี้กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการทดลองและทดสอบกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมในภาคต่างๆของประเทศไทยดังนี้คือ

1) ภาคเหนือ คือ ศรีลังกา นครสวรรค์ กำแพงเพชร 1 อินเดีย (พระราชทาน) อินเดีย (เขาค้อ) มอนโต้ (ออสเตรเลีย)
2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ ร้อยเอ็ด สงขลา 3 อินเดีย (พระราชทาน) อินเดีย (เขาค้อ) มอนโต้ (ออสเตรเลีย)
3) ภาคกลางและภาคตะวันออก คือ ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี กำแพงเพชร 1 กำแพงเพชร 2 สุราษฎร์ธานี สงขลา 3 อินเดีย (พระราชทาน) อินเดีย (เขาค้อ) มอนโต้ (ออสเตรเลีย)
4) ภาคใต้ คือ สงขลา 3 สุราษฎร์ธานี อินเดีย (พระราชทาน) อินเดีย (เขาค้อ) มอนโต้ (ออสเตรเลีย)

และจากการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ระบบรากและผลผลิตของหญ้าแฝกจำนวน 10 กลุ่มพันธุ์ในดินทรายปนดินร่วน ที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองโดย (เฉลียว จีระจรรยา และคณะ, 2540) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะข้อมูลการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและหญ้าแฝกดอนกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ พบว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์มีความสูง น้ำหนักสด ความยาวราก และขนาดรัศมีรากมากกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีจำนวนต้นต่อกอมากกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตระหว่างหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและประจวบคีรีขันธ์

การเจริญเติบโต	กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี	กลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์
ความสูงเมื่ออายุ 6 เดือน (cm)	134.2	166.3
น้ำหนักสดที่ตัดที่ความสูง 40 cm ทุกๆ 3 เดือนรวมตัด 5 ครั้ง(g)	16,643.40	22,623.30
ความยาวราก (cm)	175	215
รัศมีราก (cm)	75	134
จำนวนต้นต่อกอเมื่ออายุ 9 เดือน (ต้น/กอ)	21.7	14.7

ที่มา : (เฉลียว จีระจรรยาและคณะ, 2540)

2.2.4 คุณสมบัติพิเศษของหญ้าแฝกที่มีประโยชน์เกื้อกูลต่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ

2.2.4.1 คุณสมบัติอันเนื่องมาจากลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (วิทูร ชินพันธุ์, 2537)

1) หญ้าแฝกสามารถแตกกอได้จำนวนมาก แน่น แข็งแรงและตั้งตรง
2) ตั้งกอใหม่ขึ้นมาได้ถึงแม้จะถูกตะกอนดินทับถม
3) สามารถตัดต้นและใบให้แตกหน่อใหม่เขียวสดได้อยู่เสมอ
4) รากของหญ้าแฝกเติบโตเร็ว หยั่งลึกในดิน แตกแขนงประสานกันเป็นร่างแห ทั้งยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินอีกด้วย
5) หญ้าแฝกพันธุ์ที่ได้รับคัดเลือก กระจายพันธุ์ด้วยเมล็ดน้อยหรือแทบไม่มี จึงไม่เป็นวัชพืชร้ายแรง

2.2.4.2 คุณสมบัติอันเนื่องมาจากลักษณะภายนอกทั่วไป

1) ใบของหญ้าแฝกมีหนามละเอียดและคม และรากของหญ้าแฝกมีกลิ่น ทำให้ปลอดภัยจากการรบกวนของสัตว์จำพวกงู หนู (ธนาคารโลก,2537)
2) การขยายผลและการดูแลรักษาง่าย ทำให้เกษตรกรสามารถปลูกและดูแลได้เองในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป (วิทูร ชินพันธุ์, 2537)

2.2.4.3 คุณสมบัติด้านความสามารถในการเจริญเติบโต

1) หญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ทุกสภาพภูมิประเทศตั้งแต่ที่ราบใกล้เคียงระดับน้ำทะเลถึงพื้นที่ภูเขาสูงถึง 2,600 เมตรจากระดับน้ำทะเล(วิทูร ชินพันธุ์, 2537) และทุกสภาพภูมิอากาศตั้งแต่พื้นที่ที่ฝนตกเฉลี่ยต่อปีระหว่าง 200 ถึง 6,000 มิลลิเมตร และอยู่ในอุณหภูมิระหว่าง -9 ถึง 45 องศาเซลเซียส (ธนาคารโลก,2537)
2) หญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ในดินทุกประเภท และในดินที่มีค่าความเป็นกรดตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง ดังเช่นที่ประเทศออสเตรเลียได้มีการทดลองปลูกหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์มอนโต้ในพื้นที่ที่มีความเป็นกรดสูง (pH 3.3) และมีระดับแมงกานีสสูงถึง 578 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ (Truong, 1999) นอกจากนี้หญ้าแฝกยังทนต่อสภาพความเค็มของดินได้สูงถึง 20 มิลลิโมห์ (วิทูร ชินพันธุ์, 2537)
3) หญ้าแฝกสามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขังได้บางกลุ่มพันธุ์ โดยศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ทดลองปลูกหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีในพื้นที่ลุ่มน้ำท่วมขังเกือบทั้งปี พบว่าหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตดี (สำนักงานกปร., 2537)
4) หญ้าแฝกมีความต้านทานสูงต่อโรค แมลง และไฟป่า (Truong, 2000)
5) หญ้าแฝกมีความทนทานสูงต่อ Al Mn As Cd Cr Ni Pb Hg Se และ Zn ในดิน (Truong, 2000)
6) หญ้าแฝกมีความทนทานสูงต่อสารเคมีกำจัดแมลงและวัชพืช (Truong, 2000)
7) หญ้าแฝกมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับ N P Hg Cd และ Pb ในน้ำเสีย (Truong, 2000)

2.2.5 งานวิจัยที่ศึกษาความทนทานและการดูดซับสารพิษและโลหะหนักของหญ้าแฝก

2.2.5.1 การศึกษาความทนทานต่อความเป็นพิษของสารหนูในดินของหญ้าแฝกหอม กลุ่มพันธุ์มอนโต้

การศึกษาความทนทานต่อความเป็นพิษของสารหนูในดินของหญ้าแฝก โดยปลูกหญ้าแฝกในดินที่มีระดับสารหนูที่ความเข้มข้น 0 100 250 500 และ 700 มิลลิกรัมAs/กิโลกรัมดิน พบว่าระดับที่เป็นพิษอยู่ระหว่างความเข้มข้นที่ 100-250 มิลลิกรัมAs/กิโลกรัมดิน ในขณะที่พืชส่วนใหญ่มีความทนทานที่ระดับความเข้มข้นประมาณ 50 มิลลิกรัมAs/กิโลกรัมดิน และปริมาณน้ำหนักแห้งของต้นหญ้าแฝกลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนที่ระดับความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมAs/กิโลกรัมดิน โดยค่าน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ระดับความเข้มข้นสารหนู 0 100 และ 250 มิลลิกรัมAs/กิโลกรัมดิน เท่ากับ 43.85 43.51 และ 18.93 กรัม/กระถางตามลำดับ และจากการศึกษาการกระจายตัวของสารหนูในส่วนต่างๆพบว่า ปริมาณที่มีในดินเท่ากับ 688.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดิน ในส่วนยอดของต้นหญ้าแฝก 8.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และพบในส่วนราก 180.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Truong, 1996 ; Truong and Baker, 1998)

2.2.5.2 การศึกษาการดูดดึงโลหะหนักของหญ้าแฝก

การศึกษาการดูดดึงโลหะหนักของหญ้าแฝกโดยใช้หญ้าแฝกดอนกลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร และหญ้าแฝกหอมกลุ่มพันธุ์ราชบุรีและสุราษฎร์ธานี ศึกษาการดูดดึงโลหะหนัก 5 ชนิด คือ แมงกานีส สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว หญ้าแฝกที่ใช้ศึกษามีอายุ 1 เดือน และทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาการปลูก 60 วัน และ 120 วัน พบว่าโลหะหนักไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก น้ำหนักแห้งส่วนยอดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา แต่น้ำหนักแห้งส่วนรากที่ระยะเวลา 60 วันมีค่าสูงกว่า ยกเว้นกลุ่มพันธุ์ราชบุรีซึ่งมีค่าน้ำหนักแห้งของส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์อื่นที่ระยะเวลา 120 วันอย่างชัดเจน ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนยอดที่ระยะเวลา 120 วันต่ำกว่าที่ระยะเวลา 60 วัน เนื่องจากผลของการเจือจางโลหะหนักในเนื้อเยื่อ (Dilution Effect) แต่ความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนรากเพิ่มขึ้นจาก 60 วันถึง 120 วัน เนื่องจากการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากส่วนรากไปส่วนยอดที่จำกัด ดังนั้นประสิทธิภาพในการใช้หญ้าแฝกเพื่อบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักจะสูงขึ้น หากมีการตัดส่วนยอดของหญ้าแฝกทุกๆ 3-4 เดือน ซึ่งส่วนยอดที่งอกออกมาใหม่จะกระตุ้นการดูดซับ

โลหะหนักและกระตุ้นการลำเลียงโลหะหนักจากส่วนรากไปส่วนยอดด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดดึงโลหะหนักของหญ้าแฝกจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใส่ลงในดิน (Nualchavee Roongtanakiat and Prapai Chairoj, 2000)

2.2.5.3 การศึกษาการสะสมและการเคลื่อนย้ายสารเอ็นโดซัลแฟนบนพื้นที่ลาดชันซึ่งปลูกผักบุ้งจีน

การศึกษาการสะสมและการเคลื่อนย้ายสารเอ็นโดซัลแฟนบนพื้นที่ลาดชันซึ่งปลูกผักบุ้งจีน และความสามารถของรากหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีในการดูดซับสารพิษตกค้าง ณ ศูนย์ศึกษาและพัฒนาหญ้าแฝก โครงการพัฒนาดอยตุง จังหวัดเชียงราย โดยปลูกผักบุ้งจีนตามแนวลาดเทของพื้นที่ซึ่งมีความลาดชันประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ 2 แปลง (แปลงบนและแปลงล่าง) และปลูกหญ้าแฝกเป็นแนวขวางด้านล่างของแปลงผักบุ้งจีนทั้ง 2 แปลง พบว่าปริมาณสารพิษตกค้างในดินแปลงล่างที่มีแนวแฝกกั้นขวางมีค่าน้อยกว่าในดินแปลงล่างที่ไม่มีแนวแฝกกั้นขวางอย่างชัดเจน โดยพบในปริมาณ 0.009-0.145 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดิน และ 0.008-2.169 มิลลิกรัม/กิโลกรัมตามลำดับ และพบสารพิษตกค้างในส่วนของรากมากกว่าในส่วนของลำต้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารตกค้างที่ตรวจพบจะผันแปรตามอัตราการใช้สารฆ่าแมลงฉีดพ่น (ประภัสสรา พิมพ์พันธุ์ และคณะ, 2540)

2.2.5.4 การศึกษาการสะสมและลดการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดแมลงในดินซึ่งปลูกกะหล่ำปลีบนพื้นที่ลาดชัน

การศึกษาการสะสมและลดการปนเปื้อนสารเคมีกำจัดแมลงในดินซึ่งปลูกกะหล่ำปลีบนพื้นที่ซึ่งมีความชัน 60 เปอรเซ็นต์ในประเทศไทยพบว่าหญ้าแฝกสามารถดูดซับและป้องกันสารคาร์โบฟูแรน (Carbofuran) โมโนโครโตฟอส (Monocrotophos) และอนาคลอร์ (Anachlor) ไม่ให้ปนเปื้อนและสะสมในดินและกะหล่ำปลีได้ (Truong, Paul N.V., 2000)

2.2.6 การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝก

เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของหญ้าแฝกหลายๆประการดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้หญ้าแฝกเป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมด้านต่างๆได้มากมาย ซึ่งพอจะสรุปและจำแนกได้ดังต่อไปนี้

2.2.6.1 ประโยชน์ของหญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำ

1) การปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการชะล้างพังทะลายของดิน โดยปลูกเป็นแถวตามแนวระดับขวางความลาดเทของพื้นที่
2) การปลูกหญ้าแฝกเพื่อรักษาความชุ่มชื้นในดิน โดยมีการปลูกล้อมรอบสวนผลไม้หรือไม้ยืนต้น
3) การปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันและแก้ไขการเกิดร่องน้ำแบบลึก
4) การปลูกหญ้าแฝกเพื่อกรองตะกอนดินและป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษลงแหล่งน้ำ

2.2.6.2 ประโยชน์ของหญ้าแฝกในด้านการเกษตร

1) การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นอาหารสัตว์
2) การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด
3) การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นปุ๋ยหมักและพืชคลุมดิน

2.2.6.3 ประโยชน์ของหญ้าแฝกในลักษณะอื่นๆ

1) การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุมุงหลังคา
2) การใช้สารสกัดจากรากหญ้าแฝกเป็นเครื่องหอม เครื่องยาสมุนไพร
3) การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกในด้านศิลปะหัตถกรรม โดยนำส่วนใบมาสานเป็นเครื่องประดับ เครื่องใช้และภาชนะต่างๆ
4) การใช้เศษของต้นและใบหญ้าแฝกที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อื่นใดมาผสมรวมกับผักตบชวา ในอัตราส่วน 3 : 2 และอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงนี้มีการเผาไหม้ดีและมีควันน้อย (สำนักงาน กปร., 2541)

I 19812590