บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุทยานแห่งชาติภูสอยดาว

1. ลักษณะทางภูมิศาสตร์

อุทยานแห่งชาติภูสอยดาว ตั้งอยู่ในท้องที่อำเภอบ้านโคก อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ และอำเภอซาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ 149,375 ไร่ ลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนตั้งแต่ทิศเหนือจดทิศใต้ เป็นเทือกเขากั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 500 - 2,102 เมตร เป็นพื้นที่ที่มีสภาพป่าค่อนข้างสมบูรณ์ปกคลุมไปด้วยป่าธรรมชาติที่สวยงามทำให้มีพันธุ์ไม้หลายชนิด นอกจากนั้นยังมีพันธุ์ไม้ดอกซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร มีจุดเด่นที่น่าสนใจและเป็นที่ดึงดูดใจของนักท่องเที่ยว ได้แก่ น้ำตกภูสอยดาว เป็นน้ำตก 5 ชั้น มีเนื้อที่กว้างประมาณ 1,000 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาและป่าไม้ประมาณร้อยละ 85 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นที่ราบประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารของลำน้ำภาค และลำน้ำปาด

2. **สภาพสังคมพืช** สภาพป่าในพื้นที่ที่จัดตั้งเป็นอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว มีความหลากหลายผสมกัน มีความต่างระดับของพื้นที่มาก ในพื้นที่ประกอบด้วย

2.1 **ป่าสนเขา** พบขึ้นในระดับความสูงจากน้ำทะเล 1,400 เมตรขึ้นไป เป็นป่าผืนใหญ่ขึ้นเป็นกลุ่ม ชนิดไม้ที่สำคัญที่พบได้แก่ สนสามใบ ก่อชนิดต่าง ๆ พืชพื้นล่างเป็นพวกหญ้าชนิดต่าง ๆ ดอกไม้ดิน เช่น ดอกหงอนนาค ดอกกุง เป็นต้น

2.2 **ป่าดิบเขา** พบในพื้นที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,000 เมตรขึ้นไป ชนิดไม้ที่ขึ้นประกอบด้วย ก่อ ทะโล้ จำปาป่า กำลังเสือโคร่ง พืชพื้นล่างและพืชอิงอาศัยเป็นพวกพืชในตระกูลขิง ข่า กูด กล้วยไม้ เป็นต้นไม้พุ่มชนิดต่าง ๆ

2.3 **ป่าดิบชื้น** พบขึ้นอยู่ทั่วไปในเขตอุทยานแห่งชาติในระดับความสูงจากน้ำทะเล 400-1,000 เมตร พันธุ์ไม้สำคัญได้แก่ กระบาก ยาง จำปีป่า พะอง ก่อเดือย ก่อรัก พืชพื้นล่างและพืชอิงอาศัยได้แก่ สะบ้า กูด และกล้วยไม้ชนิดต่าง ๆ

2.4 **ป่าดิบแล้ง** พบมากตอนกลางของพื้นที่อุทยานแห่งชาติในบริเวณที่เป็นหุบเขา พันธุ์ไม้ที่ขึ้นมี ตะแบกใหญ่ สมพง พะยอม ตะเคียนทอง มะค่าโมง ยมหอม กระบก ฯลฯ

2.5 **ป่าเบญจพรรณ** พบอยู่ทั่วไปในเขตอุทยานแห่งชาติ ในระดับความสูงจากน้ำ

ทะเล 300 - 600 เมตร บริเวณที่ราบเชิงเขา พันธุ์ไม้ที่พบได้แก่ ตะแบก แดง ชิงชัน ประดู่ สมอพิเภก ตีนนก ตะคร้ำ พืชพื้นล่างได้แก่ ไผ่และหญ้าชนิดต่าง ๆ

2.6 **ป่าเต็งรัง** พบขึ้นในพื้นที่บริเวณตอนล่างและตอนบน ขึ้นอยู่ในไหล่เขา เนินเขา และบริเวณที่ราบซึ่งเป็นดินลูกรัง ประกอบด้วย เต็ง รัง เหียง มะขามป้อม ส้าน อ้อยช้าง มะกอกป่า พืชพื้นล่างประกอบด้วยหญ้าคา และหญ้าเพ็ก เป็นต้น

3. **สภาพทางธรณีวิทยา**

สภาพพื้นที่จะมีหินตรงหน้าผาเป็นหินทราย บริเวณป่าดินจะเป็นหินทราย ดินร่วนเหนียว บริเวณป่าเต็งรังจะพบหินประเภทควอทไซต์ ต้นกำเนิดเกิดจากหินทรายที่สลายตัวผุพัง สภาพความลาดชันของพื้นที่ประมาณ 25 - 70% (กรมป่าไม้, 2533; 2545)

4. **สภาพภูมิอากาศ**

อากาศเย็นสบายตลอดปี อุณหภูมิสูงเฉลี่ย 35.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 13.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั่วไป 27.0 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,334.4 มิลลิเมตร/ปี ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (กรมป่าไม้, 2533; 2545)

เฟิร์น

คำว่า "fern" ในพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ใช้คำว่า "เฟิร์น" หรือ "เฟิน" ได้ทั้งสองคำ มีความหมายว่า เป็นไม้ใบจำพวกกูด (วินัย สมประสงค์, 2541, หน้า 4) เฟิร์นเป็นพืชที่มีท่อลำเลียง (Vascular plants) กลุ่มหนึ่งที่มีรูปร่างสัณฐานเฉพาะที่แตกต่างไปจากพืชที่มีท่อลำเลียงอื่น โดยแพร่กระจายขยายพันธุ์ด้วยสปอร์ (Spore) ที่สร้างขึ้นด้วยเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ที่อยู่ใต้ใบ ขอบใบ หรือที่ปลายใบ สปอร์ที่สร้างขึ้นภายในอับสปอร์ (Sporangium) ไม่มีเพศ เฟิร์นประกอบขึ้นด้วยส่วนที่ทำหน้าที่เหมือนพืชทั่วไป คือ ส่วนที่เป็นราก (Rhizoid) ส่วนที่เป็นลำต้น (Rhizome) ส่วนที่เป็นใบ (Leaflets and Fronds)

1. **อนุกรมวิธานของเฟิร์น การจัดจำแนกเฟิร์น**

การจัดจำแนกพืชในกลุ่มเฟิร์นนั้น นักอนุกรมได้จัดจำแนกแตกต่างกันไปตามแนวคิด ข้อมูลและหลักฐานที่ได้แตกต่างกันหลายรูปแบบ เฟิร์นที่ได้จัดจำแนกไว้แล้วทั่วโลกในปัจจุบันมีประมาณ 12,000 ชนิด (Bower, 1963a; Edie, 1978; Moore *et al.*, 1995) โดยมีลำดับขั้นของการจำแนกดังนี้ (อักษร ศรีเปล่ง, 2530)

Division Pteridophyta

Class Filicinae

Subclass Primofilices (สูญพันธุ์ไปแล้ว)

Subclass Eusporangiate

Order Ophioglossales

Order Marattiales

Subclass Leptosporangiate

Order Filicales

Order Marsileales

Order Salviniales

2. **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเฟิร์น**

ลักษณะของเฟิร์นนั้นเป็นพืชที่มีท่อลำเลียง ไม่มีดอกและเมล็ด มีการขยายพันธุ์โดยการสร้างสปอร์ วงชีวิตเป็นแบบสลับประกอบด้วย 2 ระยะ คือระยะแกมมีโตไฟต์ (Gametophyte) มีจำนวนโครโมโซม 1 ชุด ระยะสปอร์โรไฟต์เด่น มีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด ประกอบด้วย ราก ลำต้น และใบ (จันทิรา หุตินันท์, 2545, หน้า 5)

2.1 **ราก** (Roots)

รากของเฟิร์นส่วนใหญ่เป็นรากขนาดเล็ก แตกแขนงรากฝอยได้ อยู่รวมกันเป็นกลุ่มอย่างหนาแน่น มีหน้าที่ดูดซึมน้ำและแร่ธาตุอาหารพร้อมทั้งยึดลำต้น ยกเว้นรากของเฟิร์นฟิล์มมี่ (Filmmy fern) ที่เป็นเฟิร์นเกาะอาศัยขนาดเล็กตามที่มีความชื้นสูง ไม่มีรากแท้จริงแต่เป็นขนราก (Root hair) (Holttum, 1959; Jones, 1987; พนารัตน์, 2541; ธีระพล, 2546)

2.2 **ลำต้น** (Stems or Rhizomes)

ส่วนใหญ่มีลำต้นที่แท้จริง ไม่มีเนื้อไม้ ไม่มีการเพิ่มขนาดทางด้านกว้าง (จารุพันธ์, 2536; อักษร, 2523) มีลักษณะแตกต่างกันทั้งในด้านรูปร่าง ขนาด และลักษณะของการเจริญเติบโต ส่วนใหญ่ลำต้นเจริญทอดขนานไปกับพื้นดิน ก้อนหิน ต้นไม้ หรือทอดเลื้อยอยู่ใต้ผิวดิน ยกเว้นเฟิร์นบางสกุลเช่น กูดต้น (Cyathea) ที่มีลำต้นชูตั้งตรงเหนือดินมีลักษณะคล้ายต้นปาล์ม (สุมน มาสุธน, 2542)

2.3 **ใบ** (Fronds)

ใบเฟิร์นเรียกว่าฟรอนด์ (Frond) เนื่องจากทำหน้าที่ในการสร้างสปอร์ ใบอ่อนมีลักษณะม้วนงอเรียกว่า circinate leaf หรือ fiddle head ยกเว้นสกุล Azolla (Benson, 1959) แผ่นใบมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิด จำแนกได้เป็นสองประเภทใหญ่คือ ใบเดี่ยว (Simple leaf) ใบเดี่ยวหยักแบบขนนก (Pinnatifid) และใบประกอบ (Compound leaf) แผ่นของใ

ประกอบแบ่งเป็นพินนี (Pinnae) และพินนูล (Pinnule) มีแกนกลางใบประกอบ (Rachis) ใบประกอบมีหลายชนิด เช่น ใบประกอบแบบขนนก (Pinnate) ใบประกอบหยักแบบขนนกสองชั้น (Bipinnatifid) ใบประกอบแบบขนนกสองชั้น (Bipinnate) ใบประกอบหยักแบบขนนกสามชั้น (Tripinnatifid) ใบประกอบหยักแบบขนนกสี่ชั้น (Quadripinnatifid) ใบประกอบแบบขนนกสี่ชั้น (Quadripinnate) หรืออาจพบใบประกอบแบบนิ้วมือ (Palmate) เป็นต้น (อักษร, 2523; Jones, 1987)

2.4 **อับสปอร์** (Sporangia)

อับสปอร์เกิดรวมกันเป็นซอรัสมีรูปร่างกลม ขอบขนาน รูปถ้วย หรือเรียงต่อกันเป็นแถบยาว แต่เฟิร์นบางชนิดเช่น ปรงทอง ปรงไข่ มีอับสปอร์กระจายเต็มพื้นที่ด้านล่างของใบ (Acrostichoid) เฟิร์นโดยส่วนใหญ่มีเนื้อเยื่อที่เจริญจากผิวใบคลุมซอรัสเรียกอินดิวเซียม (Indusium) ยกเว้นเฟิร์นวงศ์โพลี่โพดิเอซี่ (Family Polypodiaceae) จะไม่มีอินดิวเซียม และเฟิร์นสกุลก้านดำ (Adiantum) จะพบอินดิวเซียมเทียม (False indusium) หรืออาจใช้ขอบใบม้วนปิดได้เช่นกัน อับสปอร์มีรูปร่างเฉพาะตัวลักษณะแบนคล้ายหน้าปัดนาฬิกาประกอบด้วยเซลล์แอนนูรัส (Annulus cell) ที่มีผนังเซลล์หนา 3 ด้าน แทรกคั่นด้วยเซลล์สโตเมียม (Stomium) ที่มีผนังบางและมีก้านชูอับสปอร์ค่อนข้างยาว (สุมน มาสุธน, 2542)

2.5 **กลุ่มอับสปอร์ หรือ ซอรัส** (Sorus)

เฟิร์นส่วนใหญ่มีกลุ่มอับสปอร์ที่ผิวใบด้านท้องใบ หรือที่บริเวณขอบใบ โดยพบบนเส้นใบ ปลายเส้นใบ หรือกระจายทั่วไปบนแผ่นใบ เฟิร์นบางชนิดมีกลุ่มอับสปอร์ที่มีผนังเซลล์เชื่อมติดกัน (Synangium) เช่น สกุล Marattia และ Ophioglossum กลุ่มอับสปอร์มีลักษณะการจัดเรียงตัวหลายแบบ เช่น แถบแคบ (Elongate) กลุ่มกลม (Round) หรือกระจายแน่นทั่วทั้งแผ่นใบ (Acrostichoid) เยื่อคลุมกลุ่มอับสปอร์มีรูปร่างหลายแบบได้แก่ รูปไต (Reniform หรือ Kidney shaped) รูปกลมก้นปิด (Circular and Peltate) รูปกระเป๋า (Pocket shaped) รูปแตร (Trumpet shaped) รูปจรดกัน (Valvate) รูปแถบแคบ หรือ ขอบขนาน เฟิร์นบางชนิดใช้ขอบใบม้วนปิดคลุมกลุ่มอับสปอร์ดูคล้ายเยื่อคลุมกลุ่มอับสปอร์ เรียกว่า เยื่อคลุมกลุ่มอับสปอร์เทียม (False indusium) ซึ่งพบในเฟิร์นก้านดำ (*Adiantum* sp.) รูปร่างของกลุ่มอับสปอร์และเยื่อคลุมกลุ่มอับสปอร์เป็นลักษณะที่สำคัญในการจัดจำแนกชนิดของเฟิร์น (จารุพันธ์, 2536; ทวีศักดิ์, 2518; Kramer and Green, 1990)

2.6 **สปอร์** (Spores)

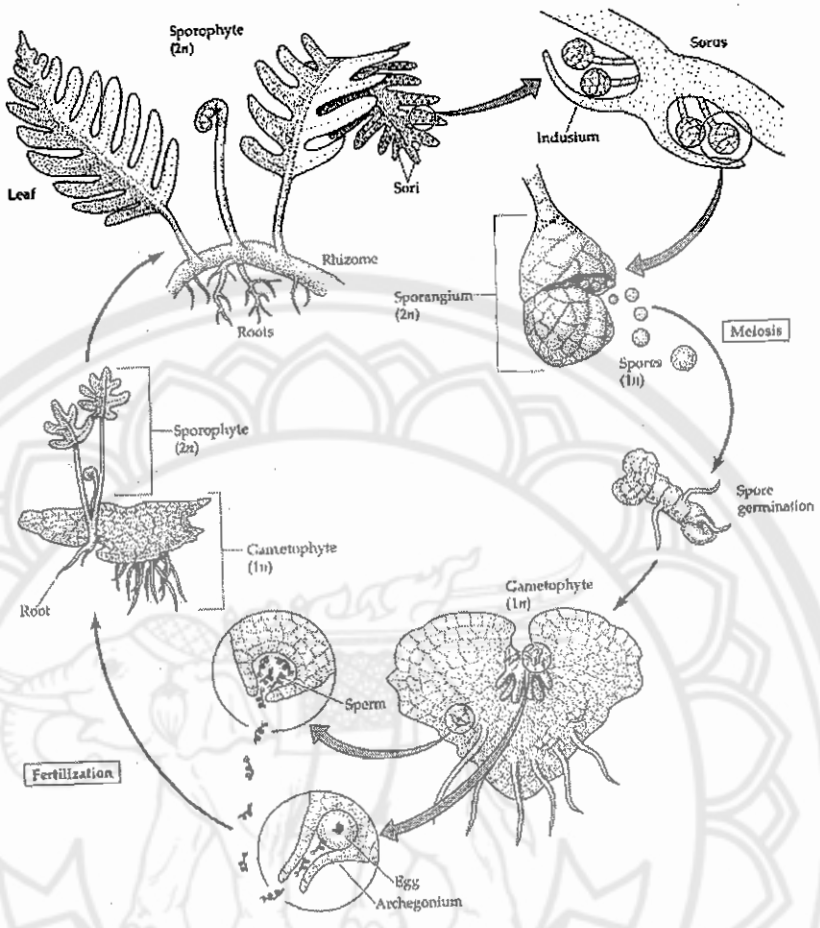
เกิดจาก spore mother cell ซึ่งอยู่ภายในอับสปอร์ (Sporangium) แบ่งตัวแบบไมโอซีส (Meiosis) ให้ tetraspore สปอร์มีสองแบบ คือ แบบโมโนลีท (Monolete) มีรูปร่างคล้ายเมล็ดถั่ว มีช่องเปิดหนึ่งช่องยาว และสปอร์แบบไตรลีท (Trilete) มีรูปร่างคล้ายลูกข่าง มีช่องเปิด

หนึ่งช่อง แยกสามแฉก สปอร์ของเฟิร์นส่วนใหญ่มีลักษณะเหมือนกันเป็นชนิดเดียว เรียก สปอร์แบบเดียว (Homospore) (ธีระพล วงศ์ถาวร, 2546)

3. **วัฏจักรชีวิตของเฟิร์น** (Life Cycle of Ferns)

เฟิร์นจัดเป็นพืชที่มีวัฏจักรชีวิตแบบสลับ (Alternation of generation) **ที่มีระยะสปอร์**โรไฟต์เด่นกว่าระยะแกมีโตไฟต์ ต้นที่พบในธรรมชาติเป็นระยะสปอร์โรไฟต์ ประกอบด้วยลำต้นแบบเหง้า ทอดขนานไปกับผิวดิน หรือเฟิร์นบางชนิดพบเป็นไม้ต้น รากส่วนมากเป็นรากพิเศษ มีส่วนของใบที่เรียกว่าฟรอนด์ ที่มีการสร้างสปอร์อยู่ที่ด้านล่างของแผ่นใบ ใบอ่อนม้วนงอ เป็นลักษณะเด่นใช้จำแนกเฟิร์นออกจากพืชที่มีท่อลำเลียงกลุ่มอื่น (อักษร ศรีเปล่ง, 2523)

ระยะแกมีโตไฟต์ (Gametophyte phase) เกิดจากสปอร์ที่ดีดออกจากอับสปอร์และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม งอกเป็นเส้นสาย หรือเจริญเป็นแผ่นบางสีเขียวคล้ายรูปหัวใจ (Prothallus) พบ rhizoid อยู่ทางด้านล่าง เมื่อ prothallus เจริญเต็มที่มีการสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ คืออวัยวะสืบพันธุ์เพศเมีย ทำหน้าที่ผลิตเซลล์ไข่ (Egg cell) และอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ ทำหน้าที่ผลิตสเปิร์ม (Sperm) จากนั้นเซลล์สืบพันธุ์ทั้งสองชนิดเข้าผสมกันเป็นไซโกต (Zygote) และเข้าสู่ระยะเอมบริโอ เจริญเป็นต้นสปอร์โรไฟต์ต่อไป (ศิริดารัตน์ จูเจี่ย, 2546)



ภาพ 2 วัฏจักรชีวิตของเฟิร์น

ที่มา: Wikipedia.org.

4. **นิเวศวิทยาและการกระจายพันธุ์ของเฟิร์น**

เฟิร์นสามารถแพร่กระจายพันธุ์ไปทั่วโลกโดยการสร้างสปอร์จำนวนมากและมีขนาดเล็กอาศัยลมในการแพร่กระจายพันธุ์ ทำให้ฟุ้งกระจายไปได้รวดเร็วและกว้างขวาง (Jones,1987) จึงพบความหลากหลายของชนิดเฟิร์นโดยเฉพาะตามหมู่เกาะต่างๆ ในเขตร้อนชื้น นอกจากนี้ยังพบในเขตทะเลทรายอีกด้วย การแพร่กระจายพันธุ์สามารถเกิดขึ้นได้ แม้จะมีระยะทางที่ห่างไกลกันมาก ซึ่งลักษณะทางนิเวศวิทยาจะมีผลต่อการกระจายพันธุ์กล่าวคือ เฟิร์นในที่โล่งแจ้งมีการแพร่กระจายพันธุ์ได้ดีกว่าเฟิร์นในสภาพถิ่นที่อยู่ป่าทึบ (Holttum, 1959) เพราะสปอร์ของเฟิร์นที่อยู่กลางแจ้ง มีชีวิตอยู่ยาวนานและทนทานกว่าเฟิร์นที่ร่ม การที่ต้องอาศัยลมเป็นพาหนะในการแพร่กระจายพันธุ์ และมีการสร้างสปอร์เป็นจำนวนมาก สปอร์บางส่วนมีชีวิตอยู่รอดได้ (อักษร

ศรีเปล่ง, 2530) หากป่าถูกทำลายลงทำให้เกิดผลกระทบต่อชนิดและความอยู่รอดของเฟิร์นได้ (วินัย สมประสงค์, 2541, หน้า 9) อย่างไรก็ตามเฟิร์นจัดเป็นพืชที่มีการแพร่กระจายไปเกือบทุกส่วนของโลก ถ้าพิจารณาตามความแตกต่างของสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ ได้แก่ สภาพดิน ความชื้น แสงแดด อุณหภูมิ ทิศทางลมและระดับความสูงของพื้นที่เป็นปัจจัยสำคัญ ทำให้เฟิร์นมีการดำรงชีวิตที่แตกต่างกันตามลักษณะการเจริญเติบโตและถิ่นที่อยู่ (กิตติมา, 2525; ภัทรียา, 2532; อภิรดี, 2528; วินัย, 2541) อาจจำแนกเฟิร์นได้หลายประเภทดังนี้ (จารุพันธุ์, 2536; อักษร, 2523; ธีระพล, 2546)

4.1 **เฟิร์นดินทนแดด** (Terrestrial sun-ferns) เป็นเฟิร์นที่เจริญเติบโตบนพื้นดินและต้องการแสงแดดจัด เฟิร์นกลุ่มนี้มักอยู่บริเวณที่มีการระบายน้ำดี แต่มีความชื้นในอากาศสูง และที่สำคัญคือ มีแสงแดดจ้าทั้งวัน ตัวอย่างของเฟิร์นในกลุ่มนี้ ได้แก่ โซน (*Dicranopteris linearis* (Burm.f.) Underw.) กูดเกี๊ยะ (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn)

4.2 **เฟิร์นดินชอบร่ม** (Terrestrial shaded-ferns) เป็นเฟิร์นที่มีการเจริญเติบโตบนพื้นดินและต้องการร่มเงาและความชื้นในบรรยากาศสูง เป็นบริเวณที่อุณหภูมิของอากาศและดินมีความเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เช่น บริเวณป่าดิบชื้น (Evergreen forest) บริเวณแนวลำธารหรือน้ำตก เช่น ว่านกีบแรด (*Angiopteris evecta* (Forst.) Hoffm.)

4.3 **เฟิร์นเถาเลื้อย** (Climbing ferns) เป็นเฟิร์นที่มีแกนใบผอมยาว เลื้อยพันพาดไปตามต้นไม้ อาจต้องการร่มเงาหรือแสงแดดจัด แต่ยังคงมีรากที่ยึดและดูดธาตุอาหารจากพื้นดิน เช่น ลิเภา (*Lygodium* sp.)

4.4 **เฟิร์นอิงอาศัย** (Epiphytic ferns) เป็นเฟิร์นที่มีการเจริญเติบโตอยู่ตามลำต้นและกิ่งก้านของต้นไม้ โดยไม่ได้แย่งอาหาร หรือเป็นกาฝาก (Parasites) เฟิร์นกลุ่มนี้มีทั้งกลุ่มที่ชอบแดดและกลุ่มที่ชอบร่มเงา เช่น เฟิร์นข้าหลวง (*Asplenium nidus* L.) กระแตไต่ไม้ (*Drynaria* sp.) เป็นต้น

4.5 **เฟิร์นเกาะหินหรือเฟิร์นผา** (Lithophytic ferns หรือ Rock ferns) เป็นเฟิร์นที่เจริญเติบโตตามซอกหิน หรือตามหน้าผาที่เป็นหินบนภูเขา หรือแนวหินตามลำธาร เฟิร์นผาที่แท้จริงไม่สามารถดำรงชีพแบบเฟิร์นเกาะอาศัยได้เลย จึงไม่พบเฟิร์นกลุ่มนี้เจริญเติบโตบนคาคบไม้หรือเปลือกไม้เลย เช่น กูดหางนกกะลิง (*Microsorium pteropus* (Blume) Copel.)

4.6 **เฟิร์นน้ำ** (Aquatic ferns) เป็นเฟิร์นที่เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ หรือตามที่ลุ่มชื้นแฉะมีน้ำขัง เช่น ผักแว่น (*Marsilea crenata* Presl.) จอกหูหนู (*Salvinia* sp.) และแหนแดง (*Azolla pinnata* R. Br.) หรือตามชายเลนน้ำกร่อย เช่น ปรงทอง หรือปรงหนู (*Acrostichum* sp.)

5. **ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเฟิร์น**

5.1 ความชื้นในอากาศ เฟิร์นเป็นไม้ใบที่ต้องการความชื้นในอากาศสูงที่สุด คือ ประมาณ 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางวัน ในเวลากลางคืนความชื้นในอากาศต่ำลงกว่านี้ก็ไม่กระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของเฟิร์น เฟิร์นที่ต้องการความชื้นสูงมักอาศัยอยู่ในบริเวณน้ำตกหรือป่าดิบใกล้แหล่งน้ำซึ่งมีความชื้นในอากาศสูงตลอดปี สำหรับเฟิร์นที่ปลูกในกระถางภายในอาคารอาจเพิ่มความชื้นได้โดยการจัดหาจานรองหรือถาดโลหะซึ่งมีรูปร่างแบน ๆ ไม่ลึกนัก รองก้นถาดด้วยกรวดแล้วใส่น้ำให้พอปริ่ม ๆ จะช่วยให้ความชื้นมีมากขึ้น (จารุพันธ์ ทองแถม, 2539)

5.2 อุณหภูมิ เฟิร์นต้องการอุณหภูมิที่พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตแตกต่างกันออกไป ส่วนใหญ่อาจเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่ออุณหภูมิกลางวันอยู่ในช่วง 19 - 27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกลางคืนลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิกลางวันประมาณ 4 - 6 องศาเซลเซียส ซึ่งเฟิร์นที่พบและปลูกในไทยได้นั้นโดยมากจะเป็นเฟิร์นกึ่งเขตร้อน (Sub tropical ferns) เฟิร์นเขตร้อน (Tropical ferns) และบางส่วนที่เป็นเฟิร์นเขตหนาว (Temperate ferns or Hardy ferns) (จารุพันธ์ ทองแถม, 2539)

5.3 น้ำ เฟิร์นต้องอาศัยน้ำในการดำเนินชีพจักรให้ครบวงจร คือ ในระยะสืบพันธุ์น้ำจะเป็นพาหะให้สเปิร์มแหวกว่ายไปผสมกับไข่เกิดการผสมพันธุ์กลายเป็นต้นอ่อน การให้น้ำโดยเฉลี่ยควรรดน้ำทุกๆ 2 วันต่อครั้ง ยกเว้นในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝน ซึ่งสามารถเว้นระยะการให้น้ำไปตามความเหมาะสมได้ (จารุพันธ์ ทองแถม, 2539)

5.4 ดิน ในสภาพธรรมชาติเฟิร์นโดยทั่วไปชอบดินที่มีโครงสร้างที่ดีและมีอินทรียวัตถุสูง โครงสร้างที่ดีหมายถึงมีการระบายน้ำดี มีอากาศเพียงพอและเก็บความชื้นได้พอเพียงสำหรับการเจริญเติบโต อินทรียวัตถุในดินจะช่วยรักษาความชื้นและธาตุอาหารในดิน ดินที่เฟิร์นอาศัยอยู่ในธรรมชาติมักจะโปร่งและมีความยืดหยุ่น เฟิร์นแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีในดินที่แตกต่างกันไป เช่น เฟิร์นบางชนิดในสกุล Cheilanthes ชอบดินทราย เป็นต้น (จารุพันธ์, 2539; ธีร์, 2541; จันทิรา, 2545)

5.5 แสง เฟิร์นต้องการแสงเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์อาหารเหมือนพืชอื่นๆ เฟิร์นแต่ละประเภทต้องการแสงสว่างมากน้อยแตกต่างกันออกไป จึงควรคำนึงถึงทิศทางของแสงแดดที่ส่องลงมาถูกเฟิร์นเป็นสำคัญ โดยทั่วไปเฟิร์นจะเจริญได้ดีที่สุดในสภาพที่มีแสงรำไรประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ หรือแสงแดดที่ผ่านการกรองมาแล้ว โดยผ่านระแนงหรือแม้แต่ร่มเงาของไม้ยืนต้นชนิดต่าง ๆ เพราะแสงแดดที่ส่องลงมาย่อมมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิ ความชื้น การคายน้ำ และการระเหยน้ำจากใบ รวมทั้งเครื่องปลูกได้ (จารุพันธ์ ทองแถม, 2539)

6. คุณค่าและความสำคัญของเฟิร์น (Economic uses)

เฟิร์นมีประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพืชบางกลุ่ม แต่มนุษย์ได้รู้จักและคุ้นเคยกับพืชกลุ่มนี้มานานมากแล้วจึงรู้จักการนำเฟิร์นไปใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายอย่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเฟิร์นและจุดมุ่งหมายที่นำไปใช้ ดังนั้นเฟิร์นจึงมีความสำคัญและประโยชน์หลายประการดังนี้ (ธีระพล วงศ์ถาวร, 2546)

6.1 **เป็นอาหาร** ส่วนของยอดอ่อนหรือใบอ่อนของเฟิร์นหลายชนิดสามารถนำมารับประทานเป็นผักสด หรือนำไปประกอบอาหารได้ เช่น กูดกิน (*Diplazium esculentum* (Retz.) Sw.) กูดเกี๊ยะ (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) เป็นต้น (จารุพันธ์ ทองแถม, 2536) นอกจากรับประทานเป็นอาหารแล้ว ในยุโรปและอเมริกานิยมใช้ใบเฟิร์นบางชนิด เช่น *Dryopteris fragrans* และ *Pellaea ornithopus* มาตากแห้งแล้วผสมในชาเพื่อเพิ่มกลิ่นหอม นอกจากนี้ในหลาย ๆ ประเทศยังนิยมใช้เฟิร์นก้านดำ (*Adiantum capillus-veneris* L.) เป็นส่วนผสมของชา และบางครั้งยังใช้เฟิร์นในกลุ่มกูดเกี๊ยะบางชนิดในการปรุงแต่งเบียร์อีกด้วย (Jones, 1987; Dunk, 1994)

6.2 **เป็นยาสมุนไพร** ได้แก่ ว่านกีบแรด (*Angiopteris evecta* (Forst.) Hoffm.) เป็นสมุนไพรบำรุงกำลัง ลำเท็ง (*Stenochlaena palustris* (Burm.f.) Bedd.) เป็นยารักษาโรคผิวหนัง กระแตไต่ไม้ (*Drynaria quercifolia* (L.) J. Sm.) เป็นยาแก้อาการบวม เกล็ดนาคราช (*Drymoglossum piloselloides* (L.) Presl.) ผักตีนนกยูง (*Helminthostachys zeylanica* (L.) Hook.) เป็นยารักษาโรคพยาธิ ว่านลูกไก่ทองหรือว่านไก่น้อย (*Cibotium barometz* (L.) J. Sm.) ใช้ขนที่ลำต้นและก้านใบนำมาดูดซับเลือดเมื่อเกิดบาดแผล (จารุพันธ์ ทองแถม, 2536)

6.3 **ใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม** เช่น ใช้เป็นเครื่องปลูกต้นไม้ในฟิลิปปินส์และอินโดนีเซียมีการผลิตกระถางปลูกต้นไม้จากลำต้นของมหาสะดำ (*Cyathea* sp.) และหัสดำ (*Osmunda* sp.) โดยเฉพาะรากของเฟิร์นทั้งสองชนิดนี้นิยมใช้กันทั่วโลกสำหรับเครื่องปลูกกล้วยไม้ (จารุพันธ์ ทองแถม, 2536) หรือใช้เป็นปุ๋ยพืชสด เช่น แหนแดง (*Azolla* sp.) (อักษร ศรีเปล่ง, 2523)

6.4 **ใช้ในงานหัตถกรรม** เช่น เถาของย่านลิเภาสามารถนำมาสานเป็นเครื่องใช้ต่าง ๆ เช่น กระเป๋าถือของสตรี กำไลข้อมือและกระเป๋าสตางค์ เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันงานหัตถกรรมที่ใช้ลิเภาเป็นวัตถุดิบกำลังได้รับการส่งเสริมอย่างกว้างขวางในหลายจังหวัดทางภาคใต้ของไทย (จารุพันธ์ ทองแถม, 2536)

6.5 **ใช้ในการบรรจุภัณฑ์** เฟิร์นบางชนิด เช่น *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn ใช้ใบเป็นวัสดุในการบรรจุหีบห่อ เพื่อถนอมความสดของอาหารประเภท เนื้อปลา ผักและผลไม้ในอุตสาหกรรมส่งออก เนื่องจากในใบมีสารเคมีที่มีคุณสมบัติป้องกันแบคทีเรีย เชื้อรา และแมลงได้ (Page, 1988; ศิริดารัตน์, 2546)

6.6 ปลูกเป็นไม้ประดับ มนุษย์ได้รู้ถึงความสำคัญของเฟิร์นในแง่ของการใช้เป็นไม้ประดับตกแต่งสวนมาช้านานแล้ว ซึ่งปัจจุบันการปลูกเลี้ยงเฟิร์นเป็นไม้ประดับบ้านกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในหลายประเทศ เนื่องจากเฟิร์นเป็นไม้ที่ให้ความรู้สึกถึงความเยือกเย็นและบริสุทธิ์ของป่าเขา เฟิร์นที่นิยมปลูกเป็นไม้ประดับเช่น สกุลเฟิร์นก้างปลา (*Nephrolepis* sp.) เฟิร์นก้านดำ (*Adiantum* sp.) เฟิร์นเงิน (*Pteris* sp.) ชายผ้าสีดา (*Platycerium* sp.) เฟิร์นข้าหลวงหลังลาย (*Asplenium nidus* L.) เป็นต้น นอกจากนี้เฟิร์นยังสามารถใช้ประโยชน์ในแง่ของไม้ตัดใบเพื่อใช้ประดับในการเข้าช่อดอกไม้ หรือปักแจกัน เนื่องจากความสวยงามอ่อนช้อยของใบเฟิร์นนั่นเอง เช่น เฟิร์นนาคราช หรือใบเฟิร์นชนิดอื่น ๆ ซึ่งใช้ได้ทั้งใบสดและใบแห้ง (จารุพันธุ์ ทองแถม, 2536)

6.7 **ประโยชน์ทางนิเวศวิทยา** เนื่องจากเฟิร์นมีวัฏจักรชีวิตแบบสลับ การงอกของสปอร์ การเข้าผสมของเซลล์สืบพันธุ์ หรือการเจริญเติบโตล้วนแล้วแต่ต้องอาศัยน้ำและความชื้นทั้งสิ้น เฟิร์นจึงเป็นพืชที่มีความเปราะบางต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงสามารถใช้เฟิร์นเป็นตัวดัชนีบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์หรือความเสื่อมโทรมของป่าได้ จากการศึกษาความเป็นอยู่ ชนิด และประมาณของเฟิร์นในบริเวณนั้น (Banoc, 1997) เช่น พื้นที่ใดมีกูดเกี๊ยะ (*Pteridium aquilinum*) เจริญอยู่เป็นจำนวนมากไม่มีพืชชนิดอื่นขึ้น แสดงว่าพื้นที่นั้นถูกแผ้วถางทำลายหรือถูกรบกวนอยู่เสมอ (กิตติมา เมฆโกมล, 2525) เนื่องจากกูดเกี๊ยะเป็นพืชเบิกนำที่ขึ้นในบริเวณพื้นดินว่างเปล่าและเปิดโล่งจึงช่วยลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และช่วยรักษาความชื้นในดินได้เป็นอย่างดี (จารุพันธุ์ ทองแถม, 2536)

โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะ ตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ซึ่งเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 23 - 92 อยู่ในคาบที่ 4 - 7 โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะอัลคาไล (Alkali) และอัลคาไลเอิร์ท (Alkaline earth) (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540, หน้า 205) ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล โครเมียม เหล็ก สังกะสี และปรอท เป็นต้น โลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน แต่มีสมบัติทางเคมีแตกต่างกันทำให้ความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิดมีความเป็นพิษที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปโลหะหนักต่าง ๆ มักพบกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมในดิน ในพืช และในสัตว์ โดยจะพบอยู่ในเนื้อเยื่อเป็นส่วนใหญ่ โลหะหนักบางชนิดถ้ามีในปริมาณน้อยจะก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น แมงกานีส และสังกะสีเป็นประโยชน์ต่อพืช โครเมียมและนิกเกิลเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ ส่วนแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทไม่แสดงความเป็นประโยชน์ทั้งในพืชและสัตว์ ดังนั้นความเป็นพิษของสารต่างๆ จะถูกวัดจากความสัมพันธ์ระหว่างการอัตราการรับเข้าไปกับอัตราการตอบสนอง (Dose-response) ซึ่งการตอบสนองนั้นจะมี

ทั้งชนิดเฉียบพลัน (Acute) และชนิดเรื้อรัง (Chronic) ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการได้รับสารพิษกับปริมาณสารพิษที่ได้รับ โลหะหนักบางธาตุจัดเป็นจุลธาตุอาหารของพืชซึ่งช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง การสร้างคาร์โบไฮเดรต การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำเป็นต่อกระบวนการเมตาโบลิซึม และเป็นส่วนประกอบสำคัญในเอนไซม์และโปรตีน ซึ่งได้แก่ ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก พืชมีความต้องการโลหะหนักเหล่านี้ในปริมาณน้อย หากพืชได้รับโลหะหนักชนิดต่างๆ เป็นปริมาณที่เหมาะสมก็จะเป็นประโยชน์ต่อพืชหรือไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช โลหะหนักส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายได้น้อยและมักสะสมอยู่ในดินมีเพียงบางส่วนที่ถูกพืชดูดดึงไป ดินทั่วๆ ไปจะมีโลหะอยู่ปริมาณหนึ่ง โลหะหนักสามารถเข้าไปสะสมในพืชได้ในทุกส่วนของพืช

1. **การสะสมโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม**

การสะสมโลหะหนักในดินและพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ ชนิดพืช ลักษณะสมบัติของดิน ชนิดและรูปทางเคมีของโลหะหนัก ปฏิกิริยาเสริม (Synergism) หรือปฏิกิริยาหักล้าง (Antagonism) ของโลหะหนักและธาตุอื่น ๆ สภาพแวดล้อม เช่น ภูมิอากาศ ฤดูกาล ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการสะสมของโลหะหนักในดิน ในพืช รวมถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

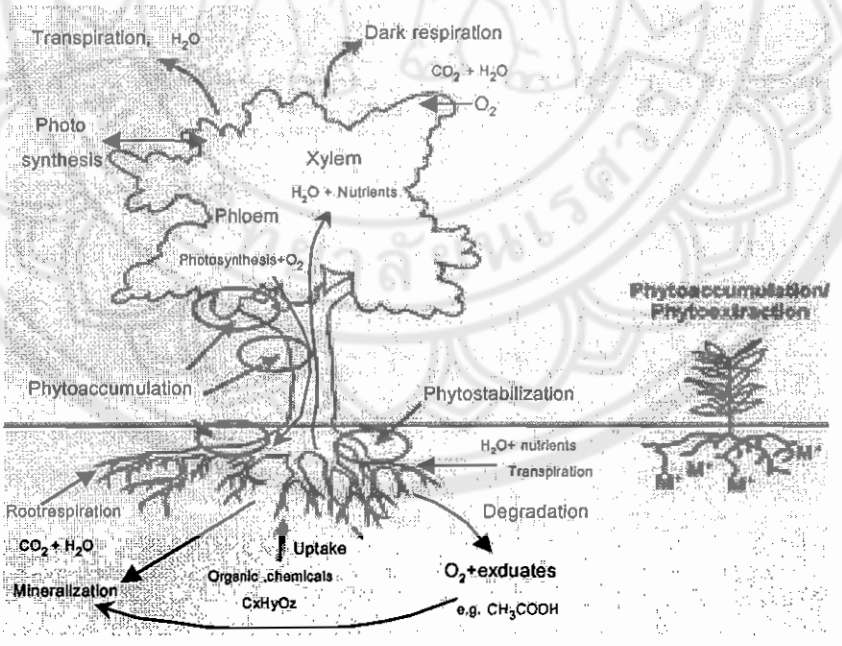
1.1 การสะสมโลหะหนักในดิน

โดยปกติพื้นผิวโลกจะมีโลหะหนักสะสมอยู่ปริมาณหนึ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากการผุพังและสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินเอง ความเข้มข้นของโลหะหนักในเปลือกโลกและในดินมีค่าผันแปรได้ตามลักษณะวัตถุต้นกำเนิด ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื้อดิน และระดับความลึกของดินเป็นสำคัญ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายได้น้อย เนื่องจากมีความสามารถยึดเกาะอยู่ในส่วนที่เป็นอนุภาคของดินเหนียว (Clay fraction) ได้ดี ดินที่เป็นดินเหนียวจึงมีโลหะหนักอยู่ในรูปที่ดูดดึงได้ง่าย (Available form) ในสารละลายดินน้อยกว่าดินที่เป็นดินทรายซึ่งมีส่วนที่เป็นส่วนของอนุภาคดินเหนียวน้อย โลหะหนักส่วนใหญ่จึงอยู่ในสารละลายดินของดินทรายมากกว่าดินเหนียว (Diaz and Polo, 1988) น้ำที่ชะล้างผ่านดินและน้ำใต้ดิน จึงไม่ค่อยมีการปนเปื้อนจากโลหะหนัก (Genevini *et al.*, 1984) หากเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจะพบว่า โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายคือ นิกเกิล แคดเมียม และสังกะสี โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ปานกลางคือ ทองแดง ส่วนโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยหรือไม่เคลื่อนย้ายเลยคือ ตะกั่ว ปรอท และโครเมียม ความเข้มข้นของโลหะหนักอาจจะแปรผันตามความลึกของดินได้ เช่น น้ำที่ชะผ่านดินอาจทำให้โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เช่น สังกะสี และแคดเมียมเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่นทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีและแคดเมียมลดลงตามความลึกของดิน แต่น้ำที่ชะผ่านดินจะไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วและโครเมีย

ตามความลึกของดิน เพราะตะกั่วและโครเมียมเป็นโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยมาก (Gillies *et al.*, 1989)

1.2 การสะสมโลหะหนักในพืช

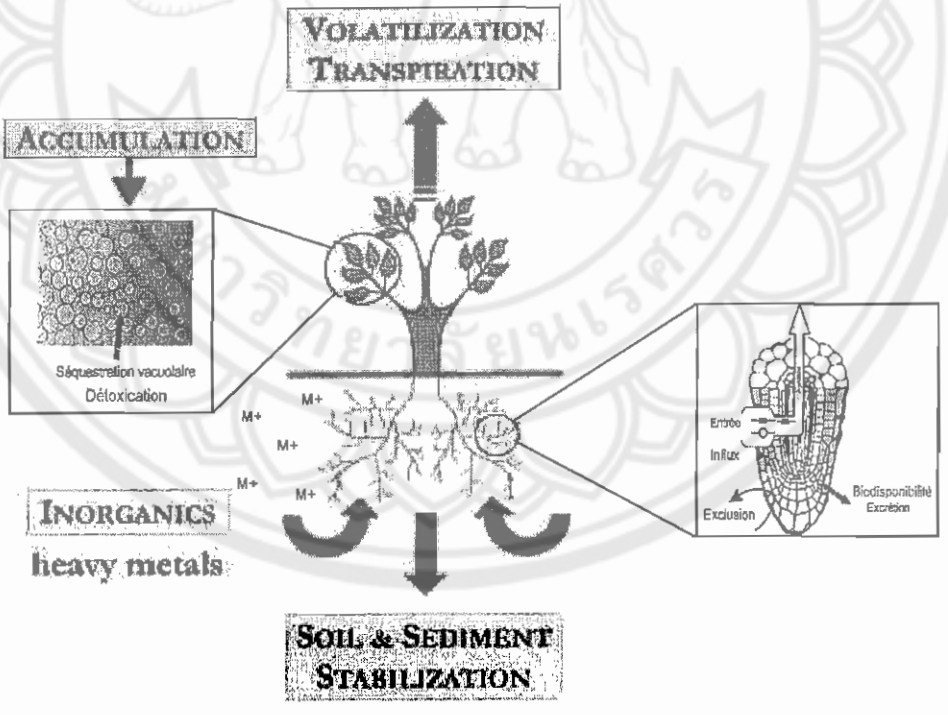
พืชมีโอกาสสะสมโลหะหนักทั้งจากดิน น้ำ และอากาศ เพราะโลหะหนักสามารถเข้าสู่พืชได้ทั้งทางราก ลำต้น และใบ เมื่ออิออนถูกดูดซับผ่านรากและเคลื่อนย้ายสู่ระบบท่อลำเลียงด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งกระบวนการดูดดึงและสะสมโลหะหนักของรากพืชอาจเป็นแบบ Active ion absorption หรือ Passive ion absorption กลไกการดูดดึงแบบ Passive ion absorption อาจดึงดูดโดยวิธีแลกเปลี่ยนอิออน (Ion exchange) หรือวิธีการคายน้ำ (Convection) กลไกเกิดในขณะที่พืชดูดน้ำเพื่อทดแทนการคายน้ำ เมื่ออัตราการดูดอิออนเร็วเกินกว่าอัตราการคายน้ำ ทำให้เกิดภาวะ Concentration gradient อย่างกระทันหันที่บริเวณรากพืช โลหะหนักจึงเคลื่อนเข้าสู่พืชได้โดยวิธีการแพร่จากดินเข้าสู่ราก นอกจากนี้พืชบางชนิดสามารถควบคุมความสามารถในการละลายของโลหะในบริเวณรากโดยการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ออกมาจากราก (Root exduates) (Romheld and Marschner, 1986) ส่วนวิธีการเคลื่อนที่ของโลหะหนักจากรากไปสู่ยอด (Translocation) ถูกควบคุมด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ ความดันรากและการคายน้ำของใบ (ภาพ 3)



ภาพ 3 กระบวนการที่ทำให้เกิดการดึงดูดโลหะหนักในพืช

ที่มา: Schnoor, 1997

กลไกการดึงดูดโลหะหนักของพืชแตกต่างกันไปตามชนิดของอิออนของโลหะแต่ละอิออนที่ถูกดูดซับเข้าไปซึ่งมักจะมีการแข่งขันซึ่งกันและกัน (Alloway, 1995) การดึงดูดอิออนโลหะเข้าไปในเซลล์รากซึ่งเป็นการเข้าไปในเนื้อเยื่อที่มีชีวิตเป็นขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการ Phytoextraction หรือ Phyto - accumulation ขั้นตอนหรือกลไกในการดึงดูดโลหะและการสะสมในพืชคือโลหะที่แตกตัวถูกดูดยึดติดกับผิวรากแล้วเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์รากแล้วถูกดูดยึดในแวคิวโอลหรือเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเนื้อเยื่อท่อลำเลียงของรากสู่ส่วนของพืชด้านบนผิวดินไปสะสมในลำต้นหรือใบในผนังเซลล์หรือในแวคิวโอล (ภาพ 4) ลำดับการดูดซับโลหะหนักในรากจากมากไปน้อยคือ Cd > B > Zn > Cu > Pb (Kabata-Pendias and Pendias, 1992) เมื่อโลหะหนักเข้าไปอยู่ในเซลล์เนื้อเยื่อพืชจะทำให้เกิดผลกระทบต่อเอนไซม์ โดยจะเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ในเซลล์ต่าง ๆ ที่มีหมู่ไธออล (หมู่ –SH) เป็นองค์ประกอบ โดยโลหะหนักจะเข้าแทนที่ไฮโดรเจน (H) ในหมู่ ไธออล และสร้างพันธะโควาเลนซ์กับซัลเฟอร์ (S) ทำให้เอนไซม์เหล่านั้นหมดประสิทธิภาพในการทำงาน ผลที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเอนไซม์ชนิดนั้น ๆ



ภาพ 4 กลไกการสะสมโลหะหนักในพืช

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก http://www.uga.edu.

สำหรับพืชที่มีความสามารถในการสะสมมลพิษได้สูงจะมีกลไกในการลดความเป็นพิษของโลหะทำให้พืชสามารถทนทานและดำรงชีพอยู่ได้ Kabata-Pendias and Pendias (1992) ได้จำแนกกลไกในการทนทานโลหะหนักของพืชไว้ดังนี้ คือ

1.2.1 คัดเลือกการดูดซับอิออน

1.2.2 ลดความสามารถในการยอมให้ผ่านได้ของเมมเบรน

1.2.3 การตรึงไว้ในราก ใบ หรือเมล็ด

1.2.4 การกำจัดอิออนจากกระบวนการเมตาโบลิซึมโดยการตกตะกอนในรูปที่ถูกตรึงไว้หรือเคลื่อนย้ายไม่ได้

1.2.5 การเปลี่ยนรูปแบบของเมตาบอลิซึม เช่น การเพิ่มระบบเอนไซม์ที่ยับยั้งหรือเพิ่ม antagonistic metabolite หรือลด metabolic pathway

1.2.6 ปรับเปลี่ยนการแทนที่ของโลหะที่เป็นพิษ

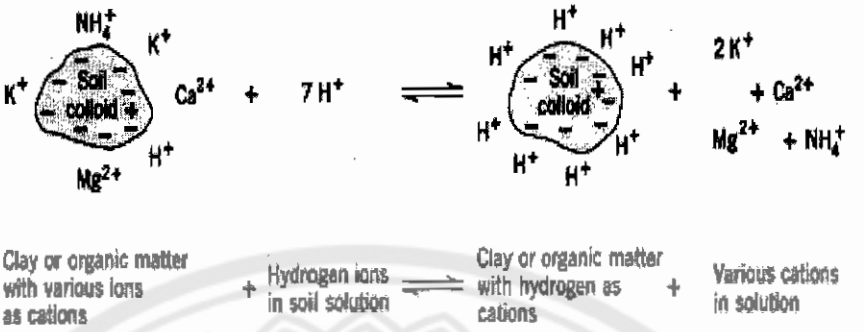
1.2.7 ปลดปล่อยอิออนจากพืชโดยการชะละลายจากใบและการขับออกจากราก

W. Zhang *et al.* (2004) พบว่าสารประกอบที่มี หมู่ไธออล ได้แก่ glutathione (GSH) และ phytochelatins (PCs) สามารถลดพิษที่เกิดจากโลหะอะเซนิก โดยอะเซนิกจะเข้าแทนที่ไฮโดรเจนในหมู่ไธออลเกิดเป็นสารประกอบ As^{III}-tris-thiolate complexes

1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมโลหะหนักในดินและพืช

1.3.1 ลักษณะสมบัติของดิน

ลักษณะสมบัติของดินมีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักของพืช คือ สภาพการละลายได้ อันมีบทบาทที่จะบ่งบอกถึงสภาพการขาดแคลน หรือเป็นพิษต่อพืช หรือมีมากจนเป็นสารมลพิษในดิน ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมสภาพการละลายได้ของธาตุโลหะหนักได้แก่ สภาพกรด-ด่าง ศักย์รีดอกซ์ (Redox potential) เนื้อดิน วัตถุต้นกำเนิดดิน ชนิดและปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในดินและในสารละลายดิน ไอออนของธาตุอื่นที่มีอยู่ในสารละลายดิน ระดับความชื้นของดิน อุณหภูมิของดิน และกิจกรรมจุลินทรีย์ของดิน ตราบใดที่ธาตุพิษเหล่านี้ยังไม่ละลายก็จะมีผลต่อสภาพแวดล้อมน้อยมาก (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540, หน้า 219) การดูดดึงโลหะจะลดลงเมื่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่ม โดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุลงในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงในดินจะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโลหะหนักในดินได้ (Siriratpiriya, Vigerust and Selmer-Olsen, 1985)(ภาพ 5) เนื่องมาจากอินทรียวัตถุสามารถจับยึดโลหะหนักไว้ได้จึงทำให้โลหะหนักสะสมอยู่ในอินทรียวัตถุและถูกพืชดูดดึงเข้าไปได้น้อย และพืชที่ปลูกบนดินอินทรายจะสะสมโลหะหนักได้มากกว่าพืชที่ปลูกบนดินเหนียว (Chaney, 1982)



ภาพ 5 การแลกเปลี่ยนประจุของดิน

ที่มา: Schnoor, 1997

ความเป็นกรด-ด่างของดิน จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโลหะหนักในดิน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การดูดดึงโลหะหนักของพืชลดลงได้ เพราะว่าอิออนของโลหะหนักต่าง ๆ ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้น ตะกั่วในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดดึงได้เพราะจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายนอกเสียจากดินมีสภาพกรดสูง ตะกั่วส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นดินบนและมีการเคลื่อนย้ายลงสู่ดินชั้นล่างน้อยมาก สำหรับแคดเมียมก็ละลายได้ดีในสภาพดินเป็นกรดเช่นเดียวกันกับตะกั่ว การใส่ปูนเพื่อเพิ่มความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะลดการดูดดึงโลหะหนักของพืชได้เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ แมงกานีส > สังกะสี > นิกเกิล = แคดเมียม > ทองแดง > โครเมียม = ตะกั่ว (Siriratpiriya, Vigerust and Selmer-Olsen, 1985)

1.3.2 ชนิดและรูปของโลหะหนัก

ธาตุพิษพวกธาตุโลหะมีลักษณะโดยทั่วไปมีการเปลี่ยนแปลงวาเลนซีอยู่เสมอ ในรูปไฮดรอกไซด์จะมีการละลายได้ต่ำ มีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้สูง ชอบทำปฏิกิริยากับพวกซัลไฟด์และธาตุโลหะหนักบางตัวมีพฤติกรรมคล้ายไอออนบวก (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541) พืชมีความสามารถในการดูดดึงโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ได้ต่างกัน แคดเมียม นิกเกิล สังกะสี และทองแดงเป็นธาตุที่พืชสามารถดูดดึงได้ดีกว่าตะกั่ว ปรอท และโครเมียม ดินสามารถดูดซับตะกั่วได้แน่น ปริมาณของตะกั่วในพืชจึงไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกั่วในดิน (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2525) และความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดในพืช เช่น แคดเมียม นิกเกิล และแมงกานีส จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นที่มีอยู่ในดิน (Davis, 1984)

1.3.3 ปฏิกิริยาเสริมหรือปฏิกิริยาหักล้างของโลหะหนักและธาตุอื่น ๆ

ปฏิกิริยาเสริมหรือหักล้างกันของโลหะหนักและธาตุอาหารอื่น ๆ มีอิทธิพลต่อการดูดดึงและเคลื่อนย้าย (Translocation) โลหะหนักของพืช เช่น แคลเซียม และสังกะสีที่มีอยู่ในดินจะลดการดูดดึงแคดเมียมของพืช (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2522) นอกจากนี้ Davies (1980) ศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณแคดเมียมในใบและรากของข้าวโพดเพิ่มขึ้นปริมาณสังกะสีจะลดลง และหากปริมาณเหล็กในใบและรากของข้าวโพดสูงขึ้นปริมาณแคดเมียมจะเพิ่มขึ้นด้วย

1.3.4 ชนิดและส่วนต่าง ๆ ของพืช

ความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชมากหรือน้อยแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดดินที่ปลูกพืช ชนิดพืช ส่วนของพืช และอายุของพืช พืชแต่ละชนิดจะสะสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ได้ต่างกัน เนื่องจากความต้องการโลหะหนัก ความสามารถในการดูดดึงโลหะหนัก รวมทั้งความทนทานต่อการขาดแคลนโลหะหนักและความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่นแม้ใส่ตะกั่วไนเตรตถึง 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือตะกั่วออกไซด์ในปริมาณถึง 2000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในดินร่วนปนทรายก็ไม่ทำให้การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังผิดปกติ (ถวิล ครุฑกุล, 2527, หน้า 149-152) อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2525) รายงานว่า โลหะหนักจะถูกดูดดึงโดยพืชจำพวกผักมากกว่าพืชเมล็ด ในพืชชนิดเดียวกันการสะสมโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของพืชก็ยังไม่เท่ากัน เช่น ผักคะน้าจะสะสมตะกั่วที่ราก > ใบ > ลำต้น ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เล่ย์ และข้าวโอ๊ตจะสะสมโลหะหนักในส่วนรากมากที่สุด (Gebhardt, Gruen and Pusch, 1990) แคดเมียมชอบสะสมในพืชกินใบมากกว่าในเมล็ด Pepper *et al.* (1983) รายงานว่าค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวโพดจะมีปริมาณลดหลั่นกันไป ดังนี้คือ ใบ > ต้น > ฝัก

1.3.5 สภาพแวดล้อมต่าง ๆ

สภาพแวดล้อม เช่น ลักษณะภูมิอากาศและฤดูกาล ก็มีอิทธิพลในการส่งผ่านโลหะหนักจากรากไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชด้วย Davies (1980) อ้างถึงผลงานของ Hagin (1974) ที่พบว่าการดูดดึงแคดเมียมของข้าวโอ๊ต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินสูงขึ้น กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้นพืชจะสามารถดูดดึงแคดเมียม แมงกานีส และสังกะสีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Siriratpiriya, Vigerust and Selmer-Olsen, 1985)

2. **พืชที่มีประสิทธิภาพในการสะสมมลพิษได้สูง** (Hyperaccumulator Species)

Hyperaccumulator Plants เป็นพืชชนิดที่มีความสามารถในการสะสมโลหะในระดับสูงกว่าพืชโดยทั่วไปไม่น้อยกว่า 100 เท่า เช่น สามารถสะสมปรอท 10 ppm แคดเมียม 100 ppm โคบอลต์ ทองแดง หรือตะกั่ว 1,000 ppm และนิกเกิลหรือสังกะสี 10,000 ppm ทั้งนี้เนื่องจากระดับปกติในพืชทั่วไปของโลหะหนักดังกล่าวมีค่าดังนี้คือ แคดเมียม เท่ากับ 0.1 - 2.4 ppm

ทองแดง เท่ากับ 5 - 20 ppm โครเมียม เท่ากับ 0.03 - 2 ppm ปรอท เท่ากับ 0.005 - 0.17 ppm ตะกั่ว เท่ากับ 5 -10 ppm นิกเกิล เท่ากับ 0.2 - 5 ppm และสังกะสี เท่ากับ 1- 400 ppm ในปัจจุบันนี้พบว่ามีพืชประมาณ 400 ชนิด (Species) จากอย่างน้อย 45 วงศ์ (Family) ที่มีรายงานว่าสามารถสะสมโลหะได้ในปริมาณสูง ๆ เช่น *Thaspi carrulescens* สามารถสะสมสังกะสีและแคดเมียมในใบได้ในอัตราส่วน 39,600: 1,800 ppm ส่วน *Thalspi rotundifolium* (L.) พบว่ามีความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนยอดได้ถึง 8,500 ppm (ประยงค์ ศรีไพรสนท์, 2548)