

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอน ธาตุอาหารและน้ำในระบบนิเวศป่าไม้ได้มีการศึกษากันพอสมควร สำหรับระบบนิเวศวนเกษตรนั้นมีการศึกษาวิจัยกันไม่มาก ระบบวนเกษตรมีความหลากหลายของรูปแบบ การปลูกไม้เสริมในป่าเต็งรังจัดเป็นระบบวนเกษตรอีกแบบหนึ่ง เนื่องจากชาวบ้านจะได้ประโยชน์ลำไผ่และหน่อไม้จากไม้ที่ปลูก อิทธิพลของไม้ที่ปลูกเสริมในป่าเต็งรังที่มีต่อระบบนิเวศเกิดขึ้นหลายด้าน การปลูกไม้จะทำให้โครงสร้างของระบบนิเวศป่าเต็งรังเปลี่ยนแปลงไปเป็นวนเกษตร มีความหลากหลายของชนิดพืชเพิ่มขึ้น สามารถกักเก็บคาร์บอน ธาตุอาหารและน้ำไว้ในระบบนิเวศได้มากขึ้น การทบทวนเอกสารประกอบด้วยหลายประเด็น ดังนี้

2.1 ความหมายของระบบวนเกษตร

วนเกษตร (Agroforestry) มีชื่ออื่นๆ ได้แก่ เกษตรป่าไม้ ป่าไม้เกษตร วนศาสตร์เกษตร ไร่นาป่าผสม เป็นต้น ในระยะเริ่มแรกนั้นได้มีผู้ให้ความหมายไว้หลากหลายและแตกต่างกันไปตามพื้นฐานความรู้ของนักวิชาการ นักจัดการและเจ้าหน้าที่ของรัฐ (เอกสารการสอนชุดวิชาวนศาสตร์เกษตร, 2534) คำนิยามที่กำหนดขึ้นอย่างเป็นทางการโดยสภาวิจัยวนเกษตรนานาชาติ คือ

“วนเกษตรเป็นคำที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับระบบการใช้ที่ดินร่วมกับเทคโนโลยีที่ต้องการรวมการจัดการไม้ยืนต้น (ได้แก่ ต้นไม้ใหญ่ ไม้พุ่ม ไม้ ไม้ตระกูลปาล์ม เช่น มะพร้าว ตาลและอื่นๆ) ให้อยู่ร่วมกันในหน่วยของการจัดการอันเดียวกันกับพืชผลและสัตว์เลี้ยง ในช่วงเวลาเดียวกันหรือหมุนเวียนกันตามเวลาในพื้นที่เดียวกัน องค์ประกอบต่างๆ ในระบบวนเกษตรนั้นจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ ”

2.1.1 การจำแนกระบบวนเกษตร

รูปแบบของวนเกษตรสามารถจำแนกได้ตามหลักวิชาการด้านป่าไม้และการเกษตร Nair (1985) ได้เสนอหลักเกณฑ์ในการจำแนกระบบวนเกษตรเป็น 4 กลุ่ม โดยพิจารณาจาก (1) โครงสร้าง

ของระบบ (2) หน้าที่ของต้นไม้ในระบบ (3) แนวความคิดทางเศรษฐกิจ-สังคม และ (4) ลักษณะทางนิเวศวิทยา

(1) การจำแนกตามโครงสร้างของระบบวนเกษตร

โครงสร้างของระบบวนเกษตร ได้แก่ ส่วนประกอบที่เป็นสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชป่าและพืชเกษตร สัตว์ป่าและสัตว์เลี้ยง ซึ่งมีธรรมชาติที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีการขึ้นอยู่ที่แตกต่างกัน

(ก) การจำแนกตามองค์ประกอบที่แตกต่างกัน

สามารถแบ่งย่อยออกเป็นหลายระบบ ดังนี้

1) ระบบกสิกรรม-ป่าไม้ (Agri-silvicultural system) เป็นระบบวนเกษตรที่มีพืชเกษตรเป็นพืชไร่หรือพืชสวน (พืชดอก พืชผัก ไม้ผล) ขึ้นร่วมกับไม้ยืนต้นที่เป็นพันธุ์ไม้ป่า อาจปลูกเป็นแถวสลับกันหรือปลูกปะปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

2) ระบบป่าไม้-ปศุสัตว์ (Silvo-pastoral system) มีการปลูกหญ้าหรือพืชอาหารสัตว์ควบคู่ไปกับการเลี้ยงสัตว์ โดยปลูกต้นไม้ป่าเป็นแถวที่มีระยะห่างระหว่างต้นไม้พอเหมาะหรือปลูกอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยปล่อยให้สัตว์เลี้ยงเข้าไปแทะเล็มหญ้าเองหรือใช้วิธีตัดหญ้านำมาให้สัตว์กินในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์

3) ระบบกสิกรรม-ป่าไม้-ปศุสัตว์ (Agrosilvopastoral system) เป็นระบบวนเกษตรที่รวมระบบวนเกษตรทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ผลผลิตตามความต้องการของเจ้าของที่ดิน

4) ระบบป่าไม้-ประมง (Silvo-fishery system) มีการปลูกพันธุ์ไม้ป่า และ/หรือ ไม้ผลยืนต้นผสมกับการเลี้ยงกุ้ง ปลาหรือนาหอย ตามพื้นที่ป่าชายเลนหรือการเลี้ยงสัตว์น้ำในร่องน้ำระหว่างแถวของต้นไม้ป่า และ/หรือ ไม้ผลยืนต้นตามพื้นที่ลุ่มต่ำ

(ข) การจำแนกตามการจัดเรียงขององค์ประกอบตามพื้นที่และตามเวลา

สามารถแบ่งย่อยออกเป็นหลายระบบ เช่น การปลูกพืชเกษตรเป็นแถวหรือเป็นแถบระหว่างแถวของต้นไม้ป่า (Hedgerow intercropping หรือ alley cropping) ต้นไม้ที่ปลูกจะให้ร่มบ้างหรือเป็นแนวกันลม อาจให้ผลไม้อะไรก็ได้

ในบางพื้นที่วนเกษตรแบบนี้มีต้นไม้ป่าขึ้นปะปนร่วมกับไม้ผลชนิดต่างๆ เช่น ทูเรียน ลองกอง ลางสาด ขนุน เป็นต้น โดยมีไม้พุ่มขึ้นอยู่ เช่น มะไฟ ประยงค์ชิด ผักหวานป่า เป็นต้น พื้นล่างมีพืชเกษตรชนิดต่างๆ เช่น ข้าวโพด อ้อย เป็นต้น

บนพื้นที่สูงมีการปลูกป่าไม้สนสามใบในพื้นที่ต้นน้ำลำธาร ชาวบ้านมีการปลูกกาแฟในสวนป่าไม้สนสามใบอยู่ควบคู่กันไปตลอด แต่ในสวนยางพาราที่ปลูกใหม่ชาวบ้านสามารถปลูก

สับประครระหว่างแถวของไม้ยางพาราที่มีระยะห่างประมาณ 8 เมตร เมื่อต้นยางอายุ 5-7 ปี ขึ้นไม้เรือนยอดจะชิดกันและทำให้ปลูกสับประครต่อไปไม่ได้

(2) การจำแนกตามหน้าที่ของระบบวนเกษตร

ระบบวนเกษตรแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ระบบวนเกษตรเพื่อการผลิต (Productive agroforestry) เช่น เพื่อผลิตอาหาร (food) เพื่อผลิตอาหารสัตว์ (fodder) เพื่อผลิตไม้ฟืนหรือไม้เชื้อเพลิง (fuelwood) เป็นต้น

2) ระบบวนเกษตรเพื่อการป้องกันสิ่งแวดล้อม (Protective agroforestry) เช่น วนเกษตรเพื่อฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน วนเกษตรเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ดินน้ำถาวร วนเกษตรเพื่อฟื้นฟูพื้นที่แห้งแล้ง วนเกษตรเพื่อการฟื้นฟูพื้นที่น้ำท่วม วนเกษตรเพื่อการป้องกันลมพายุ เป็นต้น

(3) การจำแนกตามระดับของการจัดการ

เมื่อพิจารณาลักษณะทางเศรษฐกิจ-สังคม เช่น ระดับการผลิต การใช้เทคโนโลยีและการจัดการ เป็นต้น ระบบวนเกษตรอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) ระบบวนเกษตรเชิงพาณิชย์ (Commercial agroforestry) เช่น สวนยางพารา สวนปาล์ม น้ำมัน สวนมะพร้าว เป็นต้น โดยปลูกพืชเกษตรหรือพืชป่าชนิดอื่นปะปน อาจเป็นไม้พุ่มที่ต้องการร่มเงาบ้าง ระบบวนเกษตรแบบนี้เจ้าของที่ดินอาจมีพื้นที่ที่มากน้อยก็ได้

2) ระบบวนเกษตรเชิงพาณิชย์กึ่งยังชีพ (Intermediate agroforestry) ได้แก่ สวนผลไม้ต่างๆ เช่น ลำไย ลิ้นจี่ ส้มตอ ทูเรียน ลองกอง ลางสาด เป็นต้น โดยปลูกพืชเกษตรหรือพืชป่าชนิดอื่นปะปน เช่น มะไฟ ประยงค์ชิด จิง ข่า ขมิ้น เป็นต้น เจ้าของที่ดินอาจมีพื้นที่ไม่มาก

3) ระบบวนเกษตรยังชีพ (Subsistence agroforestry) เกษตรกรมีที่ดินไม่มาก มีการปลูกไม้ผล เช่น ลำไย ลิ้นจี่ ส้มตอ ทูเรียน ลองกอง ลางสาด ประยงค์ชิด มะนาว มะกรูด เป็นต้น พันธุ์ไม้ป่า โดยปลูกพืชเกษตรหรือพืชป่าชนิดอื่นปะปน เช่น ชะอม ผักเชียงดา ตำลึง ผักปลั่ง จิง ข่า ขมิ้น ข้าวปลู ตะไคร้ เป็นต้น มีลักษณะเป็นสวนหลังบ้าน

(4) การจำแนกตามลักษณะของสภาพพื้นที่

ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ เช่น พื้นที่ต่ำ ที่ดอนและที่สูง พื้นที่แห้งแล้ง พื้นที่ชุ่มชื้นปานกลาง พื้นที่ชุ่มชื้นมาก เป็นต้น ทำให้ระบบวนเกษตรมีลักษณะที่แตกต่างกันไป

1) ระบบวนเกษตรพื้นที่แห้งแล้ง (Agroforestry for dry areas) บนพื้นที่ดอนที่แห้งแล้งมาก ในช่วงฤดูแล้ง พืชเกษตรและพืชป่าไม้ที่นำมาปลูกต้องเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี ตัวอย่างพืชเกษตร ได้แก่ มะขามหวาน ขนุน เป็นต้น พันธุ์ไม้ป่า ได้แก่ ผักหวานป่า สะเดา สะตอ มะกอก มะขามป้อม สัก เป็นต้น

2) ระบบวนเกษตรพื้นที่ชุ่มชื้นปานกลาง (Agroforestry for moderately moist areas) สำหรับพื้นที่ชุ่มชื้นปานกลางในภาคเหนือ ภาคกลางและตะวันออกเฉียงเหนือ ก็ควรเลือกปลูกพืชเกษตรและพืชป่าไม้ที่ชอบน้ำปานกลาง ตัวอย่างวนเกษตรสวนผลไม้ จังหวัดอุดรธานี ได้แก่ ลองกอง กล้วย สาคู ทูเรียน มะไฟ มะปรางค์ เป็นต้น พันธุ์ไม้ป่า ได้แก่ สะเดา สัก แกลป่า เป็นต้น

3) ระบบวนเกษตรพื้นที่ชุ่มชื้น (Agroforestry for moist areas) บนพื้นที่ลุ่มที่ชุ่มชื้นมากเกือบตลอดปีในภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ควรเลือกปลูกพืชเกษตรและพืชป่าไม้ที่ชอบน้ำ ตัวอย่างพืชเกษตร ได้แก่ มะไฟ ผักกูด ข่า ขมิ้น พริกไทย เป็นต้น พันธุ์ไม้ป่า ได้แก่ หวาย เหยียง สะตอ เงาะ ทูเรียน ลองกอง เป็นต้น

ป่าเต็งรังเป็นป่าที่กระจายอยู่ในพื้นที่แห้งแล้งมาก มักมีไฟป่าเกิดขึ้นทุกปี ได้ปริมาณน้ำฝนระหว่าง 800-1,500 มิลลิเมตรต่อปี มักมีชั้นดินตื้นมากและเป็นดินทรายหรือดินสีเหลืองปนแดง (red yellow soil) หรือดินลูกรัง (lateritic soil) บางแห่งมีหิน โส่และไม่มีดิน ขึ้นปกคลุมบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 100-1,300 เมตร จึงพบป่าเต็งรังได้ในพื้นที่ต่ำ พื้นที่ดอน และพื้นที่สูง พันธุ์ไม้ที่เป็นดัชนีของป่าเต็งรังคือ ไม้วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) แต่เป็นพันธุ์ที่ขึ้นในพื้นที่แห้งแล้ง (Xeric dipterocarps) ได้แก่ เต็ง (*Shorea obtusa*) รัง (*Shorea siamensis*) เหยียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) และ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) ป่าเต็งรังจัดเป็นป่าที่ใกล้สูญและมีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของชาวไทยในชนบทเป็นอย่างมาก เป็นแหล่งของไม้สำหรับก่อสร้างบ้านเรือน ไม้ฟืนและของป่าต่างๆ

ไฟชนิดต่างๆ มักจะขึ้นอยู่ในป่าเบญจพรรณ ปกติในป่าเต็งรังจะไม่มีไฟขึ้นอยู่ ดังนั้นในการนำไม้มาปลูกเสริมในป่าเต็งรังจึงมีลักษณะของการปลูกป่าเพื่อเพิ่มความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ในป่า (Enrichment planting) ขณะเดียวกันไฟที่ปลูกก็จะไปประโยชน์ต่อชาวบ้านจากหน่อไม้และลำไฝ จึงมีลักษณะเป็นระบบวนเกษตรอีกแบบหนึ่งที่แตกต่างออกไปจากการจำแนกของ Nair (1985) นอกจากนี้ไฟที่ปลูกจะช่วยปรับปรุงสิ่งแวดล้อมในป่า ใบไฟที่ร่วงหล่นลงบนดินและถูกย่อยสลายให้ธาตุอาหารต่างๆ รากไฟที่แผ่กระจายไปตามดินชั้นบนจะช่วยยึดดินและป้องกันการชะกร่อนหน้าดิน ช่วยลดการสูญเสียดินไปกับน้ำที่ไหลบ่า ระบบนิเวศป่าเต็งรังที่ปลูกไฟเสริมก็จะมีสมดุลของธาตุอาหารดีขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ในป่า การปลูกไฟเสริมป่าเต็งรังในศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ฯ เป็นแปลงวิจัยสำหรับการส่งเสริมให้ชุมชนบริเวณใกล้เคียงนำไปใช้เป็นแนว

ทางการจัดการป่าชุมชนของหมู่บ้านต่างๆ ต่อไป ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาบทบาทของระบบวนเกษตรที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับอิทธิพลของไฟต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนธาตุอาหารและน้ำในระบบนิเวศวนเกษตรที่ปลูกไม้เสริมในป่าเต็งรัง

2.2 การกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในระบบนิเวศวนเกษตร

ระบบนิเวศทุกระบบ ทั้งระบบนิเวศป่าไม้ วนเกษตรและเกษตร ต่างก็มีการหมุนเวียนของพลังงานและธาตุอาหารต่างๆ ในระบบนิเวศป่าไม้นั้นแบ่งการหมุนเวียนธาตุอาหารออกเป็น 3 ส่วน คือ การเข้าสู่ระบบนิเวศของธาตุอาหาร (Nutrient inputs) (2) การหมุนเวียนและสะสมภายในระบบ (Internal cycling and nutrient accumulations) และ (3) การสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากระบบ (Nutrient losses/outputs) (Fisher and Binkley, 2000; Kimmins, 2004)

2.2.1 การเข้าสู่ระบบนิเวศของธาตุอาหารพืช (Nutrient Inputs)

ธาตุอาหารเข้าสู่ระบบนิเวศป่าไม้ได้ 2 ทาง คือ ธาตุอาหารที่มาจากบรรยากาศและธาตุอาหารที่เกิดจากการผุสลายของหินและแร่

(ก) ธาตุอาหารที่มาจากบรรยากาศ (Atmospheric Inputs)

ธาตุอาหารที่มาจากบรรยากาศ แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ (1) ธาตุอาหารมากับฝุ่นละออง (dryfall) (2) ธาตุอาหารที่ละลายมากับบรรยากาศ (wet fall หรือ precipitation inputs) และ (3) การเข้ามาในรูปก๊าซ เรือนยอดของต้นไม้มีกรองรับฝุ่นละอองที่ถูกพัดปลิวมาตามลม ได้ดีซึ่งก็จะถูกน้ำฝนชะล้างลงสู่พื้นดินในเวลาต่อมา การเกิดฟ้าผ่าอาจทำให้ก๊าซไนโตรเจนโมเลกุลในอากาศเปลี่ยนเป็นสารแอมโมเนีย ไนเตรตและออกไซด์ต่างๆ ของไนโตรเจนและถูกละลายมากับน้ำฝน การปลดปล่อยสารประกอบต่างๆ ของไนโตรเจนสู่บรรยากาศมาก ๆ เช่น แอมโมเนีย ไนเตรตและออกไซด์ของไนโตรเจนต่างๆ โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ไฟป่าและการสลายตัวของโปรตีน

(ข) การผุสลายตัวของหินและแร่ (Rock weathering)

การผุสลายตัวของหินและแร่เป็นขบวนการปลดปล่อยให้ธาตุอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบนิเวศป่าไม้ แต่ความจริงแล้วเรามีข้อมูลด้านนี้น้อย เนื่องจากการเก็บตัวเลขที่ถูกต้องกระทำได้ยาก หินต้นกำเนิดดินที่แตกต่างกันจะทำให้การนำธาตุอาหารเข้าสู่ระบบนิเวศโดยขบวนการนี้แตกต่างกัน

กัน เพราะแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางแร่ธาตุแตกต่างกันมาก ดินในป่าที่เกิดจากหินปูนจะมีลักษณะของธาตุอาหารที่แตกต่างจากดินที่เกิดจากหินแกรนิต

การเข้าสู่ระบบของธาตุไนโตรเจนโดยขบวนการนี้น้อยมาก ฟอสฟอรัสซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างมากจากการสลายตัวของหินอัคนี (Igneous rocks) ดินที่มีฟอสฟอรัสต่ำมักจะเป็นดินตะกอนที่เกิดจากท้ายที่ทับถมตามชายฝั่งทะเล ดินอินทรีย์ ดินที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟและดินเก่าที่มีปริมาณของพวก sesquioxides มาก ธาตุโพแทสเซียมมักจะถูกปลดปล่อยออกมาจากหินพวกที่ประกอบด้วยแร่ feldspars และ muscovites แต่จะมีปริมาณอย่างอุดมสมบูรณ์เมื่อมีแร่ biotite เป็นส่วนประกอบ พวก calcium และ magnesium silicates จะมีการสลายตัวง่ายกว่าพวก primary silicates ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ยกเว้นแร่ biotite สำหรับธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมอาจปรากฏอยู่ในรูปสารคาร์บอเนตในชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป ทำให้ธาตุทั้งสองนี้เข้าสู่ระบบนิเวศของป่าไม้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับส่วนที่สูญเสียไปกับน้ำในลำธารและน้ำใต้ดิน

(ก) การตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ (Biological Nitrogen Fixation)

การตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศแบบ Non-symbiotic: สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Clostridium* และ *Beijerinckia* spp. มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ แม้ว่าวิธีการศึกษาจะค่อนข้างมีปัญหาอยู่บ้าง จากการวัดปริมาณการตรึงพบว่าอาจมีค่าสูงถึง 14.2 กก./เฮกแตร์ต่อปี ไลเคนบางชนิด (lichen; *Lobaria oregana*) มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ในอัตรา 3.8 กก.ต่อเฮกแตร์ต่อปี ไม้ที่กำลังเน่าเปื่อยเป็นแหล่งที่เกิดการตรึงแบบ non-symbiotic แต่อัตราการตรึงอาจจะไม่มาก เช่น เพียง 300 กรัมต่อเฮกแตร์ต่อปี แต่เนื่องจากการย่อยสลายต้องใช้ระยะเวลายาวนาน จึงอาจคิดเป็นปริมาณมาก

การตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศแบบ symbiotic: จุลินทรีย์พวก Rhizobium อาศัยอยู่ร่วมกับรากของพืชตระกูลถั่ว (Leguminosae) สำหรับ Frankia ซึ่งเป็นสกุลหนึ่งของ Actinomycetes มักพบอาศัยอยู่ร่วมกับพืชที่ไม่ใช่ตระกูลถั่ว ต้นไม้ตระกูลถั่วหลายชนิดที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในป่า เช่น ป่าเบญจพรรณจะมีไม้พวก ประดู่ มะค่าโมง กางจืดมอด จีเหล็ก พฤษภ เป็นต้น ในป่าดิบชื้นจะมีพวก เหริยง สะตอ เป็นต้น ปัจจุบันไม้ไผ่หลายชนิดที่เป็นไม้ตระกูลถั่ว ซึ่งมีปมที่ราก ที่ได้มีการนำมาปลูกกันอย่างแพร่หลาย เช่น แคนบ้าน กระถินยักษ์ กระถินเทพา กระถินณรงค์ เป็นต้น

2.2.2 การหมุนเวียนและการสะสมธาตุอาหารภายในระบบนิเวศ

การหมุนเวียนภายในระบบนิเวศแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ (ก) การเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารจากพืชลงสู่ดิน (ข) การเคลื่อนย้าย หมุนเวียนและสะสมในดิน (ค) การเคลื่อนย้าย หมุนเวียนและสะสมในระบบพืช และ (ง) การเคลื่อนย้าย หมุนเวียนและสะสมในผู้บริโภคร

(ก) การเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารจากพืชลงสู่ดิน

1) การร่วงหล่นของซากพืชและสัตว์ลงสู่พื้นป่า (litterfall) : เป็นขบวนการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารจากพืชและสัตว์ลงสู่ดิน สำหรับระบบนิเวศป่านั้นส่วนใหญ่จะเป็นซากอินทรีย์ของพืช ส่วนซากสัตว์นั้นมีปริมาณน้อยกว่าซากพืช

ซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่น (litter) หมายถึง ซากของพืชและสัตว์ที่ร่วงหล่นหรือซากที่ตายแล้วลงบนพื้นป่าหรือบนดินในป่า รวมทั้งส่วนของพืชและสัตว์ที่อยู่ในดิน แบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ (1) ซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่นอยู่เหนือดิน (above-ground litter) ซากพืช ได้แก่ ใบ ไม้ กิ่ง ไม้ เปลือกไม้ ดอก เมล็ด และผลที่ตายแล้ว ซากสัตว์ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของสัตว์ และ (2) ซากอินทรีย์ที่ตายลงอยู่ในดิน (below-ground litter) ซากพืช ได้แก่ รากของพืชที่ตายแล้ว

2) การชะล้างธาตุอาหารตามเรือนยอดและลำต้น โดยน้ำฝน (Throughfall & stemflow)

พันธุ์ไม้ในป่ามักจะสูญเสียธาตุอาหารและสารเคมีต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล วิตามิน สอร์บอน phenols และอื่นๆ ไปกับน้ำมันที่ชะล้างใบไม้ โดยเฉพาะ โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และแมกนีสมักมีการสูญเสียไปในปริมาณค่อนข้างมาก แต่จะมีความผันแปรไปตามชนิดของพืช และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำฝน ตามกิ่งไม้และลำต้นมักจะมีพืชยึดเกาะอาศัยอยู่ เมื่อตายลงก็ถูกย่อยสลาย น้ำมันก็จะชะล้างเอาธาตุอาหารลงสู่ดิน น้ำที่ชะล้างเรือนยอด (throughfall) และที่ไหลผ่านลงไปตามลำต้น (stemflow) จะชะล้างธาตุอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะทางสัณฐานของเรือนยอดของต้นไม้และเปลือกต้น ไม้ที่มีเปลือกหนาและขรุขระ ซึ่งมีเปลือกด้านนอกสุดที่ตายแล้ว เช่น ไม้ก่อ สน เต็ง รัง เป็นต้น จะให้มีปริมาณของธาตุอาหารใน stemflow มาก แต่ต้นไม้ที่มีเปลือกเรียบ เช่น มะกอก ตะแบก มักมีความเข้มข้นของธาตุอาหารใน stemflow ต่ำ

(ข) การเคลื่อนย้าย หมุนเวียนและสะสมของธาตุอาหารในดิน

เมื่อซากอินทรีย์ของพืชและสัตว์ส่วนที่อยู่เหนือดินร่วงหล่นลงสู่พื้นป่าก็จะเกิดการสะสมของชั้นอินทรีย์วัตถุบนพื้นดิน ความหนาและปริมาณการสะสมจะขึ้นอยู่กับอัตราการร่วงหล่นของซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่น (litterfall rates) และอัตราการย่อยสลายของซากอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่า (decomposition rates) ในป่าที่มีไฟป่าจะยิ่งทำให้ปริมาณการสะสมของอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่าน้อย ซากอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่าจะถูกย่อยสลายไปเรื่อยๆ ในอัตราเร็วที่แตกต่างกัน สารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายจะถูกเคลื่อนย้ายลงไปในดินอินทรีย์ สะสมในดินชั้นบนและชั้นล่าง ธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูกเคลื่อนย้ายลงไปในดิน ผ่านขบวนการทางฟิสิกส์ เคมีและชีวเคมีต่างๆ ในระบบของดิน ธาตุอาหารที่อยู่ในดินอาจแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (nutrient pools) คือ (1) รูปที่ไม่เป็น

ประโยชน์ต่อพืชโดยตรง และ (2) รูปที่สามารถเป็นประโยชน์ต่อพืช รูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอินทรีย์สาร บางส่วนถูกตรึงไว้ในอนุภาคดิน ส่วนรูปที่สามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้แก่ รูปที่เป็นอนินทรีย์สารในสารละลายในดิน (soil solution) ซึ่งจะมีอยู่ในสัดส่วนที่น้อยกว่ารูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช

1) **ชั้นอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่า (Ao layers) :** ซากใบไม้ร่วงหล่นลงบนพื้นป่าจะมีปริมาณผันแปรในแต่ละวัน แต่ละเดือนและแต่ละปี เมื่อร่วงหล่นลงสู่พื้นป่าก็จะเกิดการสะสมเป็น **ชั้นอินทรีย์วัตถุ (Ao layers)** ประกอบด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นซากอินทรีย์ที่ร่วงหล่นลงใหม่ ๆ เรียกว่า **L-layer** (litter layer) ซึ่งอยู่ชั้นบนสุด ชั้นถัดลงไปเป็นซากอินทรีย์ที่มีการสลายตัวบางส่วน เรียกว่า **F-layer** (fragmented layer) และชั้นใต้สุดติดกับดินชั้นผิวหน้า มีการสลายตัวของซากอินทรีย์เป็นสารชีวโมล เรียกว่า **H-layer** (humus layer) ชั้นอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่านอกจากจะเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหาร (nutrient pool) แล้ว ยังมีบทบาทสำคัญทางนิเวศวิทยาหลายอย่าง ได้แก่ การปกคลุมดิน ซึ่งจะช่วยรักษาความชื้นและป้องกันการกระแทกโดยตรงของน้ำฝนที่ตกผ่านชั้นเรือนยอดของป่าไม้ลงมา เป็นการลดการชะกร่อนหน้าดิน (soil erosion) เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ในดินและจุลินทรีย์ต่าง เป็นต้น

2) **การย่อยสลายของซากอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่า (Litter decomposition):** การย่อยสลายของซากอินทรีย์บนพื้นป่า (decomposition) เป็นขบวนการทางฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพที่ทำให้ซากอินทรีย์ถูกเปลี่ยนแปลงรูปไปอยู่ในรูปที่เสถียยิ่งขึ้น (stable forms) ขบวนการทางฟิสิกส์ที่มาเกี่ยวข้องคือการทำให้ซากอินทรีย์ถูกแยกเป็นชิ้นส่วนที่เล็กลงโดยอิทธิพลของการเปียกและแห้งสลับกัน การหดและขยายตัวสลับกัน ร้อนและเย็นสลับกัน เป็นต้น สัตว์ในดินและรากพืชจะทำให้ซากอินทรีย์ถูกแยกเป็นชิ้นส่วนที่เล็กลง การชะล้างและเคลื่อนย้ายซากอินทรีย์โดยน้ำฝนจัดเป็นขบวนการทางฟิสิกส์เช่นกัน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีประกอบด้วยขบวนการ mineralization immobilization เป็นต้น การย่อยสลายของซากอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่าเป็นขบวนการสำคัญที่ทำให้ธาตุอาหารในซากอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาในดิน ซึ่งพืชก็จะสามารถดูดไปใช้ได้ แต่ข้อสำคัญอยู่ที่อัตราเร็วช้าของขบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในป่าที่ต่างชนิดกัน อัตราของขบวนการเร็วจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินที่มีต่อพืชสูง แต่ธาตุอาหารมีโอกาสสูญเสียไปจากพื้นที่ได้ง่าย อัตราของขบวนการที่ช้าจะทำให้ธาตุอาหารค่อยๆ เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ก็จะเป็นผลดีในแง่การอนุรักษ์ธาตุอาหารไว้ในระบบนิเวศ

อุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออัตราของขบวนการย่อยสลายของซากอินทรีย์ อัตราการย่อยสลายจะเกิดได้ดีปานกลางที่อุณหภูมิและความชื้นพอเหมาะ อุณหภูมิหรือความชื้นที่สูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลทำให้อัตราของขบวนการลดลง อย่างไรก็ตามยังมี

ปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการที่เกี่ยวข้องกับอัตราของการย่อยสลาย เช่น ค่า PH ชนิดของซากพืช องค์ประกอบสารเคมีในซากอินทรีย์ เป็นต้น

การย่อยสลายของซากอินทรีย์ เกิดจากการกระทำของสัตว์ในดินที่มีขนาดใหญ่ (macrofauna) และขนาดเล็ก (microfauna) นอกจากนี้ก็มีพวกจุลินทรีย์ต่างๆ โดยเฉพาะ แบคทีเรียและเชื้อราต่างๆ สัตว์จำพวกหนอน ไโร (mites) แมลงหางดีด (springtails) และแมลงต่างๆ จะเข้าทำการย่อยซากอินทรีย์ให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก ก่อนที่พวกจุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายอีกทีหนึ่ง ผลที่ได้จากการย่อยสลายของซากอินทรีย์ก็คือ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารอนินทรีย์ของธาตุต่างๆ และสารอินทรีย์บางอย่าง

3) การสะสมของธาตุอาหารในดิน (Nutrient storage in soils) : การสะสมธาตุอาหารในดินป่าไม้แตกต่างกันมากระหว่างชนิดป่า พบว่า จะมีการสะสมน้อยในดินป่าเต็งรังและป่าสนผสมป่าเต็งรัง มีการสะสมปานกลางหรือค่อนข้างมากในป่าเบญจพรรณและมีการสะสมมากในป่าดิบแล้งและป่าดิบเขา อย่างไรก็ตาม ในป่าชนิดเดียวกันที่อยู่คนละท้องที่จะมีการสะสมของธาตุอาหารในดินผันแปรแตกต่างกัน เช่น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง โดยเฉพาะสภาพความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้

(ค) การเคลื่อนย้าย หมุนเวียนและสะสมของธาตุอาหารในพืช

1) ธาตุอาหารที่พืชดูดไปใช้ (plant uptake): ปกติแล้วรากพืชสามารถดูดธาตุอาหารโดยตรงจากสารละลายในดิน แต่รากพืชอาจสามารถดูดธาตุอาหาร โดยตรงจากอนุภาคดินที่รากสัมผัสหรือจากหินที่กำลังมีการผุสลาย (Lithoponics) การดูดธาตุอาหารของพืชอาจเกิดขึ้นโดยทางใบ ถ้าหากใบของพืชสัมผัสกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูง ซึ่งเป็นผลดีสำหรับการให้ปุ๋ยทางใบแก่พืชเกษตรและไม้ประดับ ส่วนใหญ่แล้วพืชจะดูดธาตุคาร์บอนทางใบ ส่วนการดูดก๊าซซัลเฟอร์และไนโตรเจนสามารถเกิดขึ้นทางใบได้บ้างเช่นกัน

ก. การดูดธาตุอาหารจากสารละลายในดิน (soil solution): สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่แตกต่างกันไปตามชนิดของดินนั้นจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในสารละลายในดิน พืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณและความหนาแน่นของรากฝอยต่างกัน เช่น พืชจำพวกหญ้าและต้นไม้ใบกว้างผลัดใบ (angiosperms) มักมีระบบรากที่มีรากหนาแน่นและลึก อันทำให้พื้นผิวด้านนอกของรากสูงจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารต่าง ๆ จากสารละลายในดินได้สูง ขณะที่ไม้ตระกูลสน (gymnosperms) จะมีรากจำกัดอยู่เฉพาะบริเวณใกล้ผิวดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหากขึ้นในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ข. การดูดธาตุอาหารพืชโดยเกี่ยวข้องกับ Mycotrophy

ต้นไม้ที่ขึ้นในดินที่มีความเข้มข้นธาตุอาหารในสารละลายในดินต่ำ ประกอบกับระบบรากไม่หนาแน่น การดูดธาตุอาหารของพืชจากสารละลายดังกล่าวคงจะไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโต ดังนั้น

ต้นไม้เหล่านี้จึงมีเชื้อราไมคอร์ไรซาอยู่ตรงรากฝอย คำว่า ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) หมายถึง ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (mutualism) ระหว่างปลายรากพืชชั้นสูง (root tips) กับ เชื้อราบางชนิด ไมคอร์ไรซามีอยู่ 3 แบบ คือ (1) ectomycorrhiza (2) endomycorrhiza และ (3) ectendomycorrhiza ความสัมพันธ์แบบ ectotrophic mycorrhiza นั้นเชื้อราจะสร้างเส้นใยหุ้มปลาย รากของพืชและไซซอนเส้นใยลงไปบนเนื้อเยื่อชั้นนอก โดยเส้นใยจะเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ เกิดเป็นโยง ใยของเส้นใยกับส่วนที่หุ้มรากอยู่ภายนอก (Hartig net) การอยู่ร่วมกับแบบไมคอร์ไรซามีผลดีต่อพืช พรรณไม้หลายประการ ในสภาพที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ การดูดธาตุอาหารของรากพืช นอกจากนี้ยังทำให้พืชทนทานต่อโรคความแห้งแล้ง สภาพอุณหภูมิสูง ความเป็นพิษของสารบางอย่างในดินและสภาพที่ดินเป็นกรดมาก ความสัมพันธ์แบบไมคอร์ไรซามี ความสำคัญทางนิเวศวิทยาในระบบนิเวศป่าไม้อย่างมาก ต้นไม้ที่มีไมคอร์ไรซาที่รากจะดูดธาตุอาหาร ได้ดีและเจริญเติบโตดีกว่าต้นไม้ที่ไม่มีไมคอร์ไรซา พื้นที่ผิวสำหรับการดูดน้ำและธาตุอาหารจะเพิ่ม มากขึ้น เส้นใยของเชื้อรามีประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารจากสารละลายในดินสูงและสามารถดูด ยึดธาตุอาหารไม่ให้ถูกชะล้างไปจากดิน กรดอินทรีย์ที่ถูกขับออกมาจากเส้นใยของเชื้อราและกรดคาร์ บอนิก (H_2CO_3) ที่เกิดจากขบวนการหายใจของเชื้อราจะทำปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุในดิน เกิดการ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา ซึ่งก็จะถูกเส้นใยของเชื้อราดูดยึดไว้และส่งผ่านเข้าไปยังเซลล์รากของพืช

ค. การกระจายและสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของพืช

ธาตุอาหารที่พืชดูดเข้าไปจะถูกลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของพืชเพื่อใช้ในขบวนการเมตาโบลิซึมหรือสะสมไว้ การกระจายของธาตุอาหารต่าง ๆ ในพืชต่างชนิดกันหรือชนิดเดียวกันแต่ขึ้นอยู่ในที่ต่างที่ต่างกันจะผันแปรไป อันเป็นผลจากการกระจายของมวลชีวภาพและความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกัน พืชต่างชนิดกันจะมีอัตราการดูดธาตุอาหารและสะสมธาตุอาหารได้แตกต่างกัน พืชบางชนิดจะดูดธาตุบางธาตุมากกว่าพืชชนิดอื่นๆ

การกระจายของธาตุอาหารในพืชจะผันแปรไปเมื่ออายุของพืชแตกต่างกัน ขณะที่อายุน้อยหรือไม้หนุ่ม การสะสมในใบไม้จะคิดเป็นสัดส่วนที่มาก แต่พอต้นไม้มีอายุมากขึ้น ธาตุอาหารจะไปสะสมในเนื้อไม้ในสัดส่วนที่มากกว่าส่วนอื่น สำหรับเรือนยอดของต้นไม้ ใบไม้ที่มีอายุมากจะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารต่ำกว่าใบอ่อนหรือใบใหม่ พบว่าธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมในใบแก่ของใบสนจะมีปริมาณลดลง แต่ปริมาณของธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมมักจะเพิ่มขึ้น ก่อนที่ใบแก่ที่จะร่วงหล่นลง ธาตุอาหารจะถูกดึงกลับเข้าไปในกิ่งธาตุอาหารในใบแก่อาจถูกดึงไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของใบอ่อนหรือส่วนของเนื้อเยื่อเจริญอื่นๆ

การกระจายและการสะสมของธาตุอาหารภายในเนื้อเยื่อของพืชเกี่ยวข้องกับขบวนการทางชีวเคมีจึงเรียกว่า biochemical cycle ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการอนุรักษ์ธาตุอาหารไว้ในระบบนิเวศ

แม้ว่าพืชต้องสูญเสียธาตุอาหารไปเป็นจำนวนมากจากขบวนการ litterfall แต่พืชก็สามารถดึงธาตุอาหารกลับได้บางส่วนจากใบก่อนที่ใบไม้จะร่วงหล่นลงสู่ดิน ธาตุอาหารที่ถูกสะสมไว้ในเนื้อเยื่อของพืชอาจถูกทำลายไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อส่วนอื่นหรือสำหรับการออกดอกและผล โดยเฉพาะเมื่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินต่ำ มีเฉพาะธาตุอาหารบางอย่างเท่านั้นที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เป็นต้น แต่มีธาตุบางอย่างพืชไม่สามารถลำเลียงจากเนื้อเยื่อที่แก่ไปสู่เนื้อเยื่อส่วนอื่นได้หรือน้อย เช่น แคลเซียม เป็นต้น

ง. การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปสู่ผู้บริโภค (Plant uptake)

การสูญเสียธาตุอาหารไปจากพืชโดยการวัดกินของผู้บริโภค (herbivores) มักได้รับความสนใจกันน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปกติการสูญเสียจากการวัดกินจะน้อย แต่ในบางครั้งการสูญเสียอาจเกิดขึ้นได้มากเช่น ในช่วงที่ต้นไม้ผลิบออ่อน อาจมีหนอนหรือแมลงกัดกินในปริมาณมาก เช่น หนอนกินใบสัก ใบช่อ ใบสนสามใบ เป็นต้น

จ. การสูญเสียที่เนื่องจากการสืบพันธุ์ (Reproduction)

การออกดอกและออกผลของพรรณไม้นั้นต้องใช้ปริมาณธาตุอาหารเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะยังผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงักลงชั่วคราวจนกว่าจะได้มีการดูดธาตุอาหารขึ้นมาสะสมชดเชยใหม่ ต้นไม้ป่า นั้นมักจะมียปีที่มีเมล็ดมาก ซึ่งเป็นปีที่ต้นไม้ให้เมล็ดมากกว่าปกติ แต่ในปีต่อมาผลผลิตผลและเมล็ดอาจลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอาหารที่สะสมไว้ได้ลดปริมาณลง ในบางปีจะมีเมล็ดน้อยกว่าปกติ

2.2.3 ธาตุอาหารที่ออกจากระบบนิเวศป่าไม้ (Nutrient Losses or Outputs)

ธาตุอาหารต่างๆ ออกจากระบบนิเวศป่าไม้ได้หลายทาง ซึ่งเป็นการสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากระบบนิเวศที่สำคัญได้แก่

(1) การสูญเสียธาตุอาหารไปในรูปก๊าซ (Gaseous losses)

ในระบบนิเวศป่าไม้นั้นการสูญเสียในรูปก๊าซมักจะมีปริมาณไม่มากเพราะดินป่าไม้ส่วนใหญ่เป็นกรดและภายใต้สภาพที่ดินดินเป็นกรดนี้การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซจะต่ำ ยกเว้นระบบนิเวศที่เกิดไฟป่าที่จะมีความเป็นกรดของดินน้อยลง แต่ดินในป่ามักจะมีคุณสมบัติสมบรูณ์ต่ำ ทำให้ความเข้มข้นของไนเตรตในดินต่ำไปด้วย การสูญเสียในรูปก๊าซจึงเกิดขึ้นน้อย การสูญเสียธาตุไนโตรเจนในรูปก๊าซแอมโมเนียไปจากดินโดยขบวนการที่ไม่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ที่เรียกว่า volatilization และการสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินจากการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นไนโตรเจนโมเลกุลและไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นขบวนการที่ทำหน้าที่โดยจุลินทรีย์บางชนิด เรียกว่า denitrification ซึ่งเป็นจุลินทรีย์พวกที่ไม่ใช้

ก๊าซออกซิเจน ในระบบนิเวศเกษตรมักมีการสูญเสียในโตรเจนไปในรูปก๊าซมาก โดยเฉพาะเมื่อมีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนในปริมาณมาก ประกอบกับระบบนิเวศเกษตรนั้นดินมีค่า pH ที่สูงกว่าดินป่าไม้ การสูญเสียในโตรเจนในรูปก๊าซแอมโมเนียมักจะสูง

(2) การสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะกร่อนหน้าดินและการชะล้างโดยน้ำ

การชะกร่อนหน้าดินหรือกษัยการ (soil erosion) เกิดจากน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน (surface runoff) ไปตามพื้นป่าในช่วงฤดูฝน จะเกิดขึ้นมากในป่าที่ไม่มีชั้นอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่า โดยเฉพาะป่าเต็งรัง เบญจพรรณและสนผสมป่าเต็งรัง เนื่องจากมีไฟป่าในช่วงฤดูแล้งทำให้ซากพืชตามพื้นป่าถูกไฟไหม้ สำหรับป่าดิบเขา ดิบแล้งและดิบชื้นนั้นมักจะมีชั้นอินทรีย์วัตถุตามพื้นที่ จึงทำให้การสูญเสียธาตุอาหารไปกับการชะกร่อนหน้าดินน้อยหรือน้อยมาก การชะกร่อนหน้าดินจะทำให้ธาตุอาหารถูกชะล้างไปกับน้ำ ไอออนของธาตุหลายชนิดจะถูกชะล้างไปได้ง่าย เช่น ไนเตรต (NO_3) สำหรับการชะล้างธาตุอาหารลงไปในชั้นดินที่ลึกลงไปจะทำให้ไอออนของธาตุบางชนิดละลายไปกับน้ำได้ดินปริมาณการสูญเสียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่สามารถซึมผ่านลงไปดิน

(3) การสูญเสียธาตุอาหารไปกับไฟป่า

ไฟป่ามักจะเกิดขึ้นในป่าผลัดใบและป่าสน จะทำให้ซากพืชบนดินและอินทรีย์วัตถุตามผิวดิน รวมทั้งพืชพื้นล่างถูกเผาไหม้ จะทำให้มีการสูญเสียธาตุอาหารในรูปก๊าซและขี้เถ้าที่ปลิวไปตามลมขึ้นสู่บรรยากาศ ขี้เถ้าตามพื้นป่าก็จะถูกชะล้างไปกับน้ำที่ไหลบ่าหน้าดินในช่วงฤดูฝน

ได้มีการศึกษาวิจัยการสะสมธาตุอาหารพืชในระบบนิเวศป่าไม้ชนิดต่างๆ ของประเทศไทย กันพอสมควร แสงคำ (2552) ได้ศึกษาในป่าชุมชนที่เป็นป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ จังหวัดลำพูน ณัฐลักษณ์ (2552) ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าสนและป่าดิบเขาในอุทยานแห่งชาติ ดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ พิชนิตา (2552) ศึกษาป่าเต็งรังบนพื้นที่หินแกรนิต และ วรลักษณ์ (2552) ศึกษาป่าเต็งรังพื้นที่หินตะกอนก้อนหินมน จังหวัดตาก ฐปรัญฐ์ (2554) ศึกษาป่าดิบเขาผสมสน และป่าดิบเขา

2.3 การกักเก็บน้ำในระบบนิเวศวนเกษตร

ในประเทศไทย ฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ลุ่มน้ำจะไหลผ่านระบบนิเวศต่างๆ ทั้งระบบนิเวศป่าไม้ วนเกษตรและเกษตร แต่การไหลผ่านของน้ำในระบบนิเวศป่าไม้มีความซับซ้อนมากกว่าระบบนิเวศอื่น รวมทั้งมีความแตกต่างกันระหว่างชนิดป่า

โดยปกติแล้วน้ำจะมีการหมุนเวียนจากท้องทะเลและมหาสมุทรมายังระบบนิเวศบนบก ต่อจากนั้นจะมีการไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของระบบนิเวศลงสู่ที่ต่ำ ขณะที่เคลื่อนย้ายผ่านระบบนิเวศก็จะถูกสิ่งมีชีวิตต่างๆ ใช้ประโยชน์ไปมีการสูญเสียไปกับการคายน้ำของพืชและการระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ บางส่วนอาจสะสมอยู่บนพื้นดินและในดินส่วนที่เหลือจะไหลออกสู่ทะเลต่อไป ฝนที่ตกตามภูเขาสูงที่มีป่าไม้ปกคลุมหนาแน่นในพื้นที่ต้นน้ำจะค่อย ๆ ไหลออกสู่ลำธารโดยกลไกของระบบนิเวศป่าไม้ แต่ถ้าหากป่าไม้ถูกทำลายอัตราการไหลของน้ำจะเกิดขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว พื้นที่ต้นน้ำก็จะเหือดแห้งอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง อัตราการไหลที่รวดเร็วพร้อมทั้งปริมาณน้ำที่มาจะก่อให้เกิดการชะกร่อนพังทลายของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีการแปรสภาพจากป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตร ดังนั้นในการจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศไทยจึงต้องมีการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำและต้องมีป่าไม้ปกคลุมในสัดส่วนที่มากพอ

2.3.1 ธารอากาศ (Precipitation)

ในประเทศไทยส่วนใหญ่แล้วธารอากาศ (Precipitation) มักอยู่ในรูปของฝน (rainfall) ที่ตกลงสู่ระบบนิเวศต่าง ๆ บนพื้นดินและให้ความชุ่มชื้นที่เป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีพของพืช สัตว์และจุลินทรีย์ อาจมีรูปอื่น ๆ เช่น หมอก (fog) ลูกเห็บ(hail) น้ำค้าง(dew) เป็นต้น ในเขตประเทศหนาวหิมะ (snow) เป็นรูปแบบหนึ่งที่สำคัญของธารอากาศ หิมะอาจตกลงสู่พื้นดินและสะสมเป็นชั้นหนาในช่วงฤดูหนาว โดยเฉพาะพื้นที่ตามภูเขา เมื่อถึงฤดูร้อนก็จะกลายเป็นน้ำไหลลงสู่ลำธารและ แม่น้ำ ปริมาณของน้ำฝนจะมากน้อยผันแปรแตกต่างกันไปตามพื้นที่ต่างๆ และแปรผันในแต่ละปี บางปีมาก บางปีน้อยละบางปีก็ตกปานกลาง ส่งผลทำให้เกิดน้ำท่วมมากในบางปี บางปีอาจมีน้ำอุทกสมบูรณ์พอดี แต่บางปีอาจขาดแคลนน้ำและแห้งแล้งไปทั่ว โดยเฉพาะพื้นที่ดอนและพื้นที่อับฝน (rain shadow) ในอดีตที่ยังมีป่าปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ ความแตกต่างของปริมาณน้ำฝนที่ตกก่อให้เกิดสภาพความชุ่มชื้นที่ผันแปรแตกต่างกัน รวมทั้งอิทธิพลของสภาพภูมิประเทศ ทำให้เกิดป่าไม้ชนิดต่างๆ ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา ป่าสน ป่าชายเลน ป่าพรุ และป่าชายหาด ปริมาณน้ำฝนรายปีที่ป่าไม้ชนิดต่าง ๆ เหล่านี้มักจะแตกต่างกันอย่าง เมื่อป่าไม้ในพื้นที่ราบต่ำและพื้นที่ดอนได้ถูกแผ้วถางเพื่อการเกษตรกรรมกันจนทำให้เหลือป่าไม้อยู่เป็นหย่อมเล็กหย่อมน้อย โอกาสที่ฝนจะตกจึงเกิดขึ้นมากในบริเวณพื้นที่ภูเขาเป็นอันดับแรก เมื่อมีลมมรสุมปกคลุมทั่วไปก็จะเกิดฝนตกกระจายทั่วภูมิภาคพื้นที่ที่มีสภาพป่าอุดมสมบูรณ์และสภาพพื้นที่ภูเขาสูงจะมีบทบาทดึงดูดให้ฝนไปตกน้อยลง ดังนั้นก็จะเกิดฝนตกเป็นบริเวณกว้าง แต่เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่หายไปและป่าที่เหลืออยู่ก็มีความเสื่อมโทรม การเกิดน้ำท่วมฉับพลันก็เกิดขึ้น ป่าบนพื้นที่สูงที่

ปกคลุมด้วยป่าดิบเขามักจะมีเมฆปกคลุมมากตลอดช่วงฤดูฝน ทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่อเมฆหรือหมอกไปกระทบกับใบไม้และเรือนยอดของพรรณไม้ในป่า (fog drip) ซึ่งมีลักษณะเป็นการซึบน้ำจากก้อนเมฆที่ถูกลมพัดพามายังป่าดิบเขา

2.3.2 การเคลื่อนที่ผ่านของฝนในระบบนิเวศป่าไม้

เมื่อฝนตกลงสู่พื้นป่าไม้จะเกิดการไหลผ่านของน้ำฝนลงสู่ระบบนิเวศป่าไม้ในลักษณะต่างๆ ขณะที่น้ำไหลผ่านไปก็จะถูกดูดซับในส่วนประกอบต่างๆ ของระบบนิเวศป่าไม้ พืช สัตว์และจุลินทรีย์จะมีการใช้ประโยชน์จากน้ำที่กำลังไหลผ่านและที่ถูกดูดซับไว้

(1) **น้ำที่ค้างตามชั้นเรือนยอดของป่าไม้ (Interception) :** น้ำฝนที่ตกลงสู่ป่าไม้บางส่วนจะค้างอยู่ตามใบไม้และกิ่งไม้ของพรรณไม้ต่างๆ ทั้งไม้เรือนยอดเด่น ไม้ชั้นเรือนยอดรอง ไม้ชั้นเรือนยอดที่ถูกข่ม ไม้พุ่มและพืชพื้นล่าง การค้างอยู่ตามเรือนยอดของน้ำฝนในป่าดังกล่าวเรียกว่า Interception ปริมาณของน้ำที่ค้างอยู่จะมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดและสภาพของป่าไม้ ป่าดิบชื้นที่มี ความอุดมสมบูรณ์มาก นอกจากจะมีพรรณไม้ขึ้นหนาแน่นแล้ว ยังมีชั้นเรือนยอดของป่าไม้ที่ซับซ้อน จึงทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาค้างตามเรือนยอดมาก ป่าโปร่งและป่าที่เสื่อมโทรมมักจะมีช่องว่างระหว่างเรือนยอดของต้นไม้มาก แต่มีจำนวนชั้นของเรือนยอดน้อย น้ำส่วนนี้มักจะสูญเสียดังจากระบบนิเวศจากการระเหย

(2) **น้ำที่ตกผ่านชั้นเรือนยอดของป่าไม้ (Throughfall) :** น้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นป่าโดยผ่านชั้นเรือนยอดของพรรณไม้ในป่า (forest canopy) บางส่วนจะตกลงตามใบไม้และกิ่งไม้ก่อนที่จะตกลงสู่พื้นป่า (canopy drip) แต่มีบางส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ทะลุ ผ่านทะลุช่องว่างระหว่างใบไม้และ เรือนยอดของต้นไม้ อย่างไรก็ตามอาจเรียกโดยรวมว่าเป็น น้ำที่ตกผ่านชั้นเรือนยอดของป่าไม้ (throughfall) น้ำที่ตกลงตามใบไม้และไหลผ่านกิ่งไม้ลงสู่พื้นป่าจะชะล้างธาตุอาหารและอินทรียสารตามใบไม้และเปลือกของกิ่งไม้ลงสู่ดิน ในป่าที่มีพืชยึดเกาะชนิดต่างๆ อาศัยอยู่ตามใบไม้และกิ่งไม้มาก เช่น ไลเคน มอส เฟิร์น กว้ายไม้ เป็นต้น เมื่อตายลงก็จะถูกชะล้างลงสู่พื้นป่า

(3) **น้ำที่ไหลผ่านตามลำต้นของพรรณไม้ (Stem flow) :** บางส่วนของน้ำฝนที่ตกลงตามเรือนยอดของต้นไม้จะไหลไปตามกิ่งไม้และลำต้นของต้นไม้ ซึ่งเรียกว่าน้ำที่ไหลตามลำต้นลงสู่พื้นป่า (stem flow) เช่นเดียวกับ throughfall จะเกิดการชะล้างธาตุอาหารและอินทรียสารตามใบไม้ เปลือกของกิ่งไม้และลำต้น รวมทั้งพืชยึดเกาะต่างๆ ที่ตายลง เนื่องจากพันธุ์ไม้แต่ละชนิดที่ลักษณะของเปลือกแตกต่างกัน บางชนิดมีเปลือกเรียบและไม่มีพืชยึดเกาะ แต่บางชนิดมีเปลือกขรุขระที่เนื้อเยื่อที่

ตายแล้วอยู่ภายนอก อัตราการไหลและความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำจาก stem flow จึงมีค่ามากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ไม้ ปริมาณของ stem flow มักขึ้นอยู่กับลักษณะทรงพุ่มและการแตกกิ่งของต้นไม้ ต้นไม้ที่มีกิ่งชั้นขึ้นจะทำให้ปริมาณของ stem flow มาก แต่ถ้ามีกิ่งและเรือนยอดโน้มลงปริมาณก็จะน้อย

(4) น้ำที่ไหลซึมลงไปในดิน (Infiltration) : น้ำที่ไหลผ่านเรือนยอดและลำต้นของต้นไม้ลงสู่ดินจะลักษณะการเคลื่อนย้ายแตกต่างกันไปตามชนิดของป่าไม้และตามพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างคือ

(4.1) ชั้นอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่า ในป่าที่ไม่มีไฟป่าและมีการย่อยสลายของซากอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่าอย่างช้า ๆ ทำให้มีการสะสมของอินทรีย์วัตถุที่ประกอบด้วยใบไม้ กิ่งไม้ส่วนอื่น ๆ ของพืชที่ร่วงหล่นลง รวมทั้งซากสัตว์ ดินที่มีการสะสมของชั้นอินทรีย์วัตถุไม่หนามากมักจะมีดินอินทรีย์ที่อยู่ลึกลงไปเป็นดินที่ร่วนซุย มีฮิวมัสมากและยอมให้น้ำซึมผ่านลงไปได้ง่าย แต่ในป่าที่มีไฟป่าและป่าโปร่งมักจะไม่มีมีการสะสมของชั้นอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่า ดินอินทรีย์มักจะอัดแน่นและยอมให้น้ำซึมผ่านได้ยาก ส่งผลทำให้มีการไหลบ่าของน้ำตามผิวหน้าดินในปริมาณมาก

(4.2) ลักษณะของดินอินทรีย์ (mineral soil) ได้แก่ สมบัติทางกายภาพและทางเคมี สมบัติทางกายภาพที่สำคัญ คือ ความหนาแน่นรวมและเนื้อดิน ดินที่อัดแน่นจะยอมให้น้ำซึมผ่านลงไปได้ยาก โดยเฉพาะดินเนื้อละเอียดจะทำให้ น้ำซึมผ่านได้ยากกว่าดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย เป็นต้น

(4.3) ความลาดชันของพื้นที่ (slope) ความลาดชันของพื้นที่ในป่ามีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ผิวดิน ทั้งการเคลื่อนที่ไปตามด้านข้างและแนวดิ่ง ถ้าดินยอมให้น้ำซึมผ่านลงไปได้ยากก็จะทำให้มีน้ำไหลบ่าหน้าดินมาก

(4.4) Hydrophobicity เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดในชั้นอินทรีย์วัตถุบนพื้นป่าชั้นล่างๆ ที่เป็นสารฮิวมัสที่เป็นผงละเอียดจะยอมให้น้ำซึมผ่านได้ยาก โดยเฉพาะถ้ามีเชื้อราไมคอร์ไรซาตามรากฝอยและขึ้นอยู่ตามผิวดิน นอกจากนี้อาจพบในดินป่าไม้ที่มีไฟป่า ซึ่งทำให้ชั้นอินทรีย์วัตถุเคลื่อนย้ายแทรกลงไปตามอนุภาคดินและสะสมเป็นชั้นหนา 2-3 ซึ่งยอมให้น้ำซึมผ่านได้ยาก

(5) การระเหยและการคายน้ำ (Evaporation and transpiration)

การสูญเสียน้ำจากระบบนิเวศป่าไม้โดยการระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ เกิดขึ้นได้หลายทาง ทั้งการระเหยจากเรือนยอดของต้นไม้และจากพื้นดิน อัตราการระเหยเกี่ยวข้องกับแสงและอุณหภูมิในพื้นที่ รวมทั้งความชื้นในบรรยากาศและการพัดผ่านของลม ในป่าผลัดใบมักมีการระเหยมากกว่าป่าไม่ผลัดใบ เนื่องจากป่าผลัดใบเป็นป่าโปร่ง มีการปกคลุมของเรือนยอดน้อยกว่าหรือมีโครงสร้างในแนวระนาบไม่ซับซ้อน ต้นไม้ขึ้นอยู่กันห่าง ๆ รวมทั้งมีโครงสร้างในแนวตั้ง 2-3 ชั้น ไม่ซับซ้อนมากเหมือนป่าดงดิบ อย่างไรก็ตามการคายน้ำของพืชพรรณไม่น่าจะมีมากในป่าดงดิบ เนื่องจากมีเรือนยอดของป่าไม้หนาแน่น การคายน้ำจากพันธุ์ไม้ชั้นเรือนยอดเด่นและชั้นเรือนยอดรองเป็นการสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศโดยตรง แต่การคายน้ำจากพันธุ์ไม้ชั้นเรือนยอดที่ถูกข่มและพืชพื้นล่างจะทำให้มีความชื้นในบรรยากาศในป่าสูง ดังนั้นขณะที่เราเข้าไปในป่าดงดิบเราจึงรู้สึกกว่าอากาศในป่าชื้น

(6) น้ำที่ไหลออกสู่ลำธาร (Stream flow)

ขณะที่น้ำไหลลงไปในดิน บางส่วนจะถูกพืชดูดไปใช้และสูญเสียไปกับการคายน้ำ (transpiration) น้ำส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปจากระบบนิเวศจากการระเหย (evaporation) ส่วนที่เหลือจะถูกดูดยึดไว้ในดิน ส่วนที่ไหลผ่านลึกลงไปเป็นน้ำใต้ดิน น้ำที่ไหลผ่านหน้าดินและไหลออกจากชั้นดินจะไหลออกสู่ลำธาร อัตราการเคลื่อนย้ายของน้ำผ่านระบบนิเวศป่าไม้มีความแตกต่างกันระหว่างป่าชนิดต่างๆ รวมทั้งสภาพของป่าไม้ ส่งผลทำให้ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในลำธารในป่าเหล่านี้แตกต่างกันอย่างมาก โครงสร้างของป่าไม้และลักษณะของดินที่แตกต่างกันส่งอิทธิพลที่สำคัญต่อลักษณะการเคลื่อนที่ผ่านของน้ำฝนในระบบนิเวศป่าไม้เหล่านี้

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำฝนผ่านระบบนิเวศวนเกษตรมีน้อยมาก คูสิต (2537) ได้ศึกษาการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศวนเกษตรที่มีกาแฟเป็นพืชหลักบนพื้นที่สูง โดยได้ศึกษาในน้ำฝน น้ำที่ไหลผ่านเรือนยอด (throughfall) และน้ำที่ไหลผ่านลำต้น (stem flow) และน้ำที่ไหลผ่านชั้นดินลึก 1.0 เมตร (leaching water) การวิจัยเกี่ยวกับการกักเก็บน้ำของระบบนิเวศวนเกษตรได้เริ่มขึ้น โดย วิรัชทร (2556) ทำการศึกษาการกักเก็บน้ำในระบบวนเกษตรสวนเมี่ยงบนพื้นที่สูง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่