บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยการศึกษาคุณสมบัติของดินบริเวณที่พบและไม่พบเห็ดธรรมชาติ บริเวณป่าชุมชนโคกหินลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมทั่วไปของป่าบริเวณที่พบการเจริญเติบโตของเห็ด ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักและแร่ธาตุต่างๆในดินบริเวณที่พบเห็ดและไม่พบเห็ดในป่าชุมชนโคกหินลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ผู้วิจัยได้นำเสนอตามลำดับ ดังนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.1 พื้นที่ป่าชุมชนโคกหินลาด

1.2 ดิน

1.2.1 ความหมายของดิน

1.2.2 ความสำคัญของดิน

1.2.3 องค์ประกอบของดิน

1.2.4 สมบัติทางกายภาพของดิน

1.2.5 สมบัติทางเคมีของดิน

1.3 ธาตุอาหารพืช

1.3.1 ธาตุอาหารหลัก

1.3.2 ธาตุอาหารรอง

1.4 เห็ด

1.4.1 ลักษณะโครงสร้างของเห็ด

1.4.2 แหล่งอาหารของเห็ด

1.4.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของเห็ด

1.4.4 คุณค่าทางอาหารของเห็ด

1.4.5 คุณค่าทางยาของเห็ด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยภายในประเทศ

2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

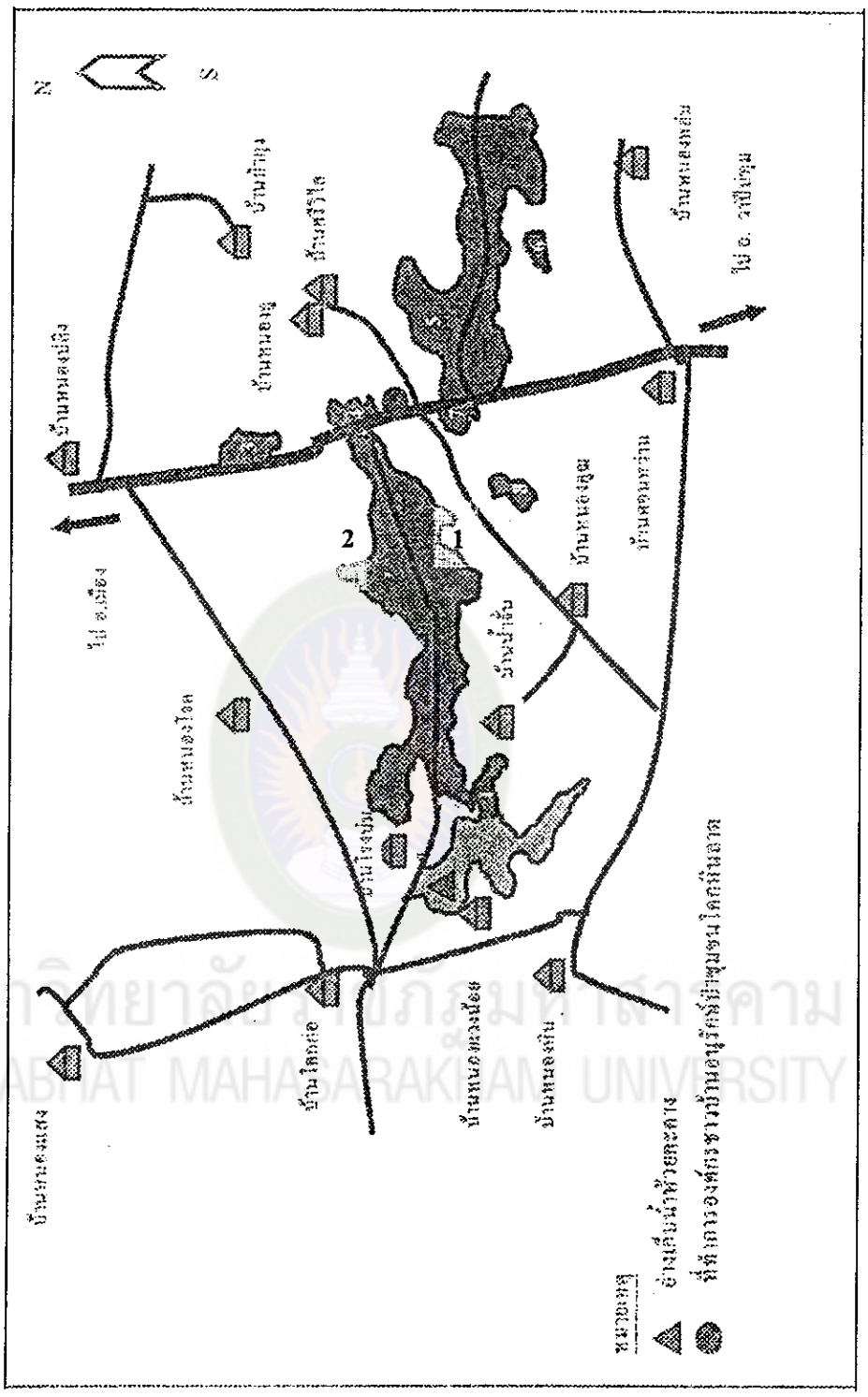
พื้นที่ป่าชุมชนโคกหินลาด

ป่าชุมชนโคกหินลาด จัดเป็นป่าสงวนแห่งชาติ มีพื้นที่ทั้งหมด 2,622 ไร่ โดยตั้งอยู่ในบริเวณตำบลวังแสง อำเภอนกดำ ตำบลหนองปลิง ตำบลโคกก่อ ตำบลบัวค้อ ตำบลดอนหว่าน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม โดยมีลักษณะพื้นที่ป่า ดังแผนที่ที่ 1

ป่าชุมชนโคกหินลาดทั้งหมดมี 8 แปลงมีพื้นที่ดังนี้

แปลงที่ 1	เนื้อที่	84-2-00	ไร่
แปลงที่ 2	เนื้อที่	1,350-0-00	ไร่
แปลงที่ 3	เนื้อที่	56-0-25	ไร่
แปลงที่ 4	เนื้อที่	28-0-25	ไร่
แปลงที่ 5	เนื้อที่	956-0-00	ไร่
แปลงที่ 6	เนื้อที่	21-0-00	ไร่
แปลงที่ 7	เนื้อที่	35-0-00	ไร่
แปลงที่ 8	เนื้อที่	91-1-50	ไร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



แผนที่ที่ 1 แสดงพื้นที่ป่าชุมชนโคกหินลาด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ดิน (Soil)

1. ความหมายของดิน

ความหมายของดิน สามารถแบ่งได้ 2 ความหมาย

1.1 ดิน คือ เทหวัตถุธรรมชาติ (Natural body) ที่ปกคลุมผิวโลกอยู่บาง ๆเกิดจากการแปรสภาพหรือการผุพังของหิน แร่ และอินทรียวัตถุผสมคลุกเคล้ากัน ซึ่งเป็นการแปลความหมายมาจากหลักวิชาว่าด้วยการกำเนิดดิน และการจำแนกดิน

1.2 ดิน คือ เทหวัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติรวมกันเป็นชั้นๆ จากส่วนผสมของแร่ธาตุต่างๆ ที่สลายตัวกับอินทรียวัตถุ ที่เน่าเปื่อยผุพังอยู่รวมกันเป็นชั้นๆบางๆ ห่อหุ้มผิวโลกและมีอากาศน้ำ ในปริมาณที่พอเหมาะสมกันในการยังชีพและการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นการแปลความหมายตามหลักวิชาที่ว่าด้วย การใช้ดินให้เป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูก

2. ความสำคัญของดิน

สิ่งมีชีวิตทั้งหลายไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์ และพืช ต้องอาศัยดินในการดำรงชีพ และเจริญเติบโต ถ้าปราศจากดินก็แทบจะกล่าวได้ว่า ไม่มีสิ่งมีชีวิตเหลืออยู่บนโลกนี้ ดังนั้นความสำคัญของดินที่มีต่อสิ่งมีชีวิต อาจแบ่งได้ดังนี้

2.1 ความสำคัญของดินที่มีต่อมนุษย์ ดินถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นในการที่ได้มาของปัจจัยสี่ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในการดำรงชีพ และการเจริญเติบโต ไม่ว่าจะเป็นอาหารเครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค ปัจจัยเหล่านี้มนุษย์ได้มาจากดินทั้งสิ้น

2.2 ความสำคัญของดินต่อพืช พืชต้องอาศัยดินในการเจริญเติบโตนับตั้งแต่เริ่มงอกออกมาจากเมล็ดจนกระทั่งโตได้ดอกออกผล ความสำคัญของดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช มีดังนี้

2.2.1 ดินทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะติดของรากพืช เพื่อให้ลำต้นแน่นไม่ล้มเอียง

2.2.2 ดินให้อากาศแก่รากพืชเพื่อการหายใจ

2.2.3 ดินให้ธาตุอาหารแก่พืช เพื่อการเจริญเติบโตและทนทานต่อโรคแมลงและภัยธรรมชาติอื่น ๆ

2.2.4 เป็นแหล่งเก็บกักน้ำสำหรับพืช

2.2.5 เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ในดิน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. องค์ประกอบของดิน

ดินประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ อนินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุ น้ำ และอากาศ สัดส่วนขององค์ประกอบทั้ง 4 ของดินแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ ภูมิอากาศ การกระทำของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ

3.1 อนินทรียวัตถุ (Inorganic matter) อนินทรียวัตถุมีอยู่ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เป็นส่วนประกอบของดินที่ได้มาจากการสลายตัวผุพังของหิน และแร่ หรือส่วนของดินที่เป็นแร่ธาตุ เป็นส่วนที่มีเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นส่วนที่ควบคุมเนื้อดิน และเป็นส่วนที่มีการเกิดกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ในดินองค์ประกอบทางเคมีของดินส่วนใหญ่ มักมาจากสัดส่วนของแร่ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินซึ่งพบว่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของดินประกอบด้วย ออกซิเจน(O) ซิลิคอน (Si) อะลูมิเนียม(Al) เหล็ก(Fe) อีกประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ จะประกอบด้วย แคลเซียม (Ca) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) ไทเทเนียม (Ti) แมงกานีส (Mn) และฟอสฟอรัส (P) ส่วนธาตุอื่น ๆ พบปริมาณเพียงเล็กน้อย

3.2 อินทรียวัตถุ (Organic matter) อินทรียวัตถุในดินมักพบไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรแม้ว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินจะมีน้อย แต่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีที่เกิดขึ้นในดิน ทำให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น คือ ดินร่วนซุย อินทรียวัตถุยังมีสมบัติอุ้มน้ำได้ดีขึ้น และมีสมบัติในการตรึงธาตุอาหารไว้ได้มาก อินทรียวัตถุในดินแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ องค์ประกอบอินทรีย์ที่มีชีวิต และองค์ประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ทั้ง 2 กลุ่มมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ในดินแตกต่างกัน ดังนี้

องค์ประกอบอินทรีย์ที่มีชีวิต หมายถึง จุลชีพทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน รากของพืช และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยองค์ประกอบอินทรีย์ที่มีชีวิตนี้อาจจะถูกปรากฏในรูปโปรตีน แซ็กคาไรด์ หรือไขมันธรรมชาติก็ได้ สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะเป็นแหล่งผลิตองค์ประกอบอินทรีย์ที่มีชีวิต โดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างให้มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิต

องค์ประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เกิดจากการผุพังของซากพืช ซากสัตว์รวมเรียกว่า ฮิวมัส การเปลี่ยนรูปของสารประกอบอินทรีย์ในดินเป็นฮิวมัสนี้ มีความสำคัญต่อปริมาณธาตุอาหารของพืช

3.3 น้ำในดิน มีประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะพบอยู่ในช่วงระหว่างก้อนดิน ช่วยละลายธาตุอาหารและแก๊สต่างๆ ในดิน และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของพืช นอกจากนี้ยังเป็นที่ที่คอลลอยด์แพร่กระจาย น้ำในดินมีความสำคัญมากในด้านเคมีสิ่งแวดล้อมเพราะปฏิกิริยาเกือบทั้งหมดเกิดขึ้นในดิน

3.4 อากาศในดิน มีประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร พบอยู่ในช่องว่างระหว่างก้อนดิน หรืออนุภาคของดิน ซึ่งไม่มีน้ำ อากาศในดินประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไอน้ำ (ศรินทร์ ทองธรรมชาติ. 2547)

4. สมบัติทางกายภาพของดิน

4.1 สีของดิน (Soil colours) สีเป็นคุณสมบัติที่มองเห็นได้ชัดเจนกว่าสมบัติอื่น ๆ และใช้ประโยชน์ในการจำแนกดินออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้อย่างหนึ่ง ในบางกรณีสีของดินอาจบอกสภาวะทางเคมีของดินบางประการได้ เช่น ออกซิเดชัน (Oxidation) ไฮเดรชัน(Hydration) การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศ โดยปกติแล้วดินจะมีสีดำหรือสีคล้ำ ซึ่งจะแสดงว่าดินนั้นมีอินทรียวัตถุปะปนอยู่มาก ซึ่งจะเป็นดินชั้นบน ธาตุเหล็กก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ ขึ้นในดิน เช่น เมื่อดินมีความชื้นค่อนข้างต่ำและมีการถ่ายเทอากาศดีธาตุเหล็กที่มีอยู่ในดินจะให้สีแดง ถ้าความชื้นเพิ่มขึ้นบ้างแต่มากพอจะก่อให้เกิดไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ได้ สีที่เกิดจากเหล็กจะเป็นสีส้ม ถ้าความชื้นเพิ่มขึ้นมาก การถ่ายเทอากาศดีก็จะเป็นสีเหลือง

4.2 เนื้อดิน (Soil texture) เนื้อดินเป็นสมบัติที่บอกถึงขนาดอนุภาคของชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นดิน หรือเนื้อดินเป็นคุณสมบัติที่บอกถึงความหยาบ หรือความละเอียดของดิน ของชิ้นส่วนอนุภาคดิน เนื้อดินมีส่วนผสมของอนุภาคดินพื้นฐาน 3 ชนิด คือ อนุภาคดินทราย (sand) อนุภาคดินตะกอนหรือทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay)

4.3 ชั้นของดิน (Soil profile) ดินที่อยู่บนพื้นโลกทั่ว ๆไป หากพิจารณาให้ลึกลงไปในแนวดิ่ง ด้วยลักษณะสีของดิน องค์ประกอบของเนื้อดิน โครงสร้างของดินจะเห็นว่าดินมีลักษณะจัดเรียงเป็นชั้นถึง 3 ชั้น ดังนี้

ดินชั้นเอ (a-horizon) เป็นดินที่อยู่ชั้นบนสุด มีซากอินทรียวัตถุสะสมอยู่มากที่สุด ซึ่งจะอยู่ในส่วนที่เป็นผิวหน้าดิน ดินที่เหมาะสมกับการปลูกพืชควรมีดินชั้นนี้ที่หนามาก ดินชั้นนี้จะเป็นบริเวณที่มีการชะล้าง จึงทำให้เป็นบริเวณที่ดินมีสีจางลง

ดินชั้นบี (b-horizon) เป็นดินชั้นล่างอยู่ถัดจากดินชั้นเอลงมา เป็นบริเวณที่มีการสะสมของอนุภาคดินเหนียว เหล็ก อะลูมิเนียม และฮิวมัส จึงทำให้ดินมีสีเข้ม เช่น สีแดง สีน้ำตาล เนื่องจากได้รับแร่ธาตุที่ซึมผ่านดินชั้นเอลงมา ลักษณะดินในชั้นนี้จะบอกสภาพการระบายน้ำ ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกควรมีดินในชั้นบีหนาแน่นพอสมควร

ดินชั้นซี (c-horizon) เป็นชั้นที่ให้วัตถุกำเนิดดิน เป็นส่วนของหินที่กำลังสลายตัวหรืออาจเกิดจากการสลายตัวของหินดินดานที่อยู่ด้านล่างหรือเป็นวัตถุที่เคลื่อนย้ายจากที่อื่นโดยตัวการต่าง ๆ

5. สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดินจะมีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายกลไกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นของสารอาหาร แร่ธาตุต่าง ๆ รวมถึงสารพิษอื่น ๆ ที่จะเข้าสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพืช ซึ่งทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วยเช่นกัน ดังนั้นลักษณะของดินต้องมีความเหมาะสมทางเคมีกับความต้องการของพืช เป็นสำคัญ สมบัติทางเคมีของดินเป็นขบวนการที่แสดงออกมาของดิน และมีส่วนช่วยในการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ควบคุมปริมาณธาตุต่าง ๆ รวมถึงการเคลื่อนย้ายธาตุต่าง ๆ ในดินสู่พืช สมบัติทางเคมีของดินที่สำคัญมีดังนี้

5.1 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปกติมักจะใช้บอกความเป็นกรดเป็นด่างของดินด้วยค่าที่เรียกว่า พีเอช ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางเคมีของดินที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทั่วไปดินจะมีค่าพีเอช อยู่ระหว่าง 3.0 – 9.0 ค่าพีเอช 7.0 จะบอกถึงสภาพความเป็นกลางของดิน ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชต่าง ๆในดินที่พืชดูดเข้าไปใช้จะยากง่ายเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพหรือระดับของพีเอช โดยปกติความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจะมากที่สุดเมื่อดินเป็นกลาง

5.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity หรือCEC) หมายถึงความจุของสารคอลลอยด์ในดิน ที่สามารถดูดยึดธาตุที่มีประจุบวกไว้ได้มากที่สุด ความจุของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเป็นสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องอยู่กับชนิดและปริมาตรของสารคอลลอยด์ในดิน และยังเกี่ยวข้องอยู่กับระดับความสมบูรณ์ของดิน กล่าวคือ ถ้าดินมีค่าความจุของการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ก็หมายความว่าดินนั้นมีแนวโน้มที่จะมีความอุดมสมบูรณ์สูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดดินด้วยว่าจะมีธาตุอาหารพืชที่มีประจุเป็นบวกดูดยึดไว้มากน้อยเพียงใด
(เกษสุดา เดชภิมล และดวงสมร ตุลาพิทักษ์. 2540)

ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืชสีเขียว หมายถึง อนินทรีย์สารที่ประกอบด้วยธาตุต่างๆ สารเหล่านี้ได้จากอากาศ น้ำ และดิน เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรท และฟอสเฟต เป็นต้น ทำการแบ่งกลุ่มธาตุอาหารของพืชชั้นสูง 16 ธาตุ ออกเป็นสองกลุ่ม คือ

ธาตุอาหารมหัพภาค (Macronutrient) พืชต้องการปริมาณมาก มี 9 ธาตุ ได้แก่ไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน จัดเป็นธาตุอาหารรอง ส่วน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม จัดเป็นธาตุอาหารหลักซึ่งในดินมีไม่เพียงพอ

ธาตุอาหารจุลธาตุ (Micronutrient) พืชต้องการน้อยมี 7 ธาตุ คือ โมลิปดินัม ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โบรอน เหล็ก และ คลอไรด์

1. ธาตุอาหารหลัก

1.1 ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมากมีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่ช่วยให้พืชสร้างโปรตีนได้เพียงพอ พืชทุกชนิดต้องมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ เพราะโปรตีนเป็นส่วนสำคัญที่สุดของโพรโทพลาสซึม (protoplasm) นอกจากนี้

ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของเอนไซม์ต่างๆ นิวคลีโอโปรตีนและวิตามิน (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2541)

ไนโตรเจนที่พบในดินมี 3 รูป ได้แก่ รูปธาตุไนโตรเจน (elment nitrogen) รูปสารประกอบอนินทรีย์ (Inorgnic nitrogen) และรูปสารประกอบอินทรีย์ (Organic nitrogen) (บุปผา โตภาคงาม. 2526) มากกว่า 90 % ของไนโตรเจนในดินอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ที่เหลือเพียงเล็กน้อยอยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ ดินชนิดต่างๆมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดแตกต่างกัน

ไนโตรเจนรูปสารประกอบอนินทรีย์ในดิน มี 6 รูป คือ ไนเตรต(NO^-_3) ไนไตรท์ (NO^-_2) แอมโมเนียม(NH^+_4) ที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable ammonium) แอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Non-exchangeableammonium) แอมโมเนียมที่ถูกตรึง(Mineral-fixedammonium) แก๊สไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์(NO_2) (ปัทมา วิตยากร. 2533)

ไนโตรเจนในดินในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมด ศาสตร์ทางด้านพืชไร่ (Agronomy) ได้จัดให้NO^-_3 และ NO^-_2 รูปที่ละลายได้และ NH_4^+ รูปที่แลกเปลี่ยนได้เป็นรูปที่สำคัญที่สุดในกลุ่มนี้ (บุปผา โตภาคงาม. 2526)

แอมโมเนียมที่ถูกตรึง หมายถึง แอมโมเนียมที่ไม่สามารถถูกแทนที่ด้วยสารละลายที่เป็นกลางของเกลือโพแทสเซียม(1N K_2SO_4 หรือ2N KCl) แอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนได้หมายถึงNH_4^+ที่สกัดได้ที่อุณหภูมิห้องโดยสารละลายดังกล่าว และ แอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ หมายถึง NH_4^+ที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยสารละลาย 5N HF-1 N HCl ภายหลังที่กระทำกับดินด้วยKOBr – KOH เพื่อไล่เอาแอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนออกไป แอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ในดินในรูป NH_4^+ อยู่ใน หลับระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียวชนิด 2 :1 แอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้อาจมีประมาณ 10% ของไนโตรเจนทั้งหมดในดินบน และมากกว่า 30% ของไนโตรเจน ทั้งหมดในดินล่าง (พงศ์ศิริ พชรปรีชา. 2537)

กระบวนการตรึงไนโตรเจน ประกอบไปด้วยกระบวนการย่อย ๆ คือ

1. อะมิไนเซชัน (Aminization) เป็นกระบวนการย่อยสลายโปรตีนโดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotrope) จนกระทั่งได้กรดอะมิโน

$$\text{Proteins} \xrightarrow[\text{Digestion}]{\text{Enzymatic}} R\text{-}NH_2 + CO_2 + \text{energy} + \text{other products}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. แอมโมนิฟิเคชั่นชัน (ammonification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบอะมีน หรือกรดอะมิโน ให้เป็น NH_3, แอลกอฮอล์ และพลังงาน ดังสมการ

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \xrightarrow[\text{Hydrolysis}]{\text{Enzymatic}} R\text{-}OH + NH_3 + \text{energy}$$

$$2NH_3 + H_2CO_3 \rightleftharpoons (NH_4)_2CO_3 \rightleftharpoons 2NH_4^+ + CO^{2-}_3$$

NH_4^+ ที่ได้รับจะมีทางเปลี่ยนแปลงได้ 4 ทาง คือ

2.1 จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้

2.2 พืชชั้นสูงนำไปใช้

2.3 ถูกตรึงอยู่ในแร่ดินเหนียว

2.4 ถูกออกซิไดส์เป็นไนไตรต์ (NO_2) และไนเตรต (NO_3) โดยกระบวนการไนทริฟิเคชัน

3. ไนทริฟิเคชั่น (Nitrifition) เกิดโดยแบคทีเรีย Nitrosomonas และ Nitrosococcus ดังสมการ

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[\text{Oxidation}]{\text{Enzymatic}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ต่อมาไนไตรต์ที่เกิดขึ้น จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรต โดยแบคทีเรีย Nitrobacter ดังสมการ

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow[\text{Oxidation}]{\text{Enzymatic}} 2NO_3^- + \text{energy}$$

ไนเตรตที่ได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไป 4 ทาง คือ

3.1 จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้

3.2 พืชชั้นสูงนำไปใช้

3.3 สูญหายไปจากดินโดยการชะละลาย (leaching)

3.4 สูญหายไปในรูปของแก๊ส

(ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2541)

ในทุ่งนาในสภาพน้ำขัง พบว่า อินทรียวัตถุจะเป็นแหล่งใหญ่ของแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งข้าวสามารถใช้ได้ (พัชรี แสงจันทร์. 2541) แอมโมเนียม มีเสถียรภาพในดินน้ำขัง และจะสะสมใน

ดินน้ำขังในรูป แอมโมเนียมไอออนที่เกาะยึดบนผิวอนุภาคดิน และอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ หรือรูปแอมโมเนียในสารละลายดิน การสะสมแอมโมเนียมไอออน จะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน แอมโมเนียมอาจถูกออกซิไดซ์ ให้เป็นไนเตรท เคลื่อนย้ายลงสู่ดินล่าง โดยการแพร่ซึม หรือเคลื่อนที่ไปกับน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันและเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซ
(เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2528)

ถ้าพืชขาดธาตุไนโตรเจนโดยทั่วไปมักจะมีใบเล็กลำต้นผอมบาง ใบเหลืองซีดเนื่องจากการสังเคราะห์คลอโรฟิลด์โดนจำกัด

ในดินนาแหล่งใหญ่ของ NH_4^+ ก็คือ N ที่อยู่ในอินทรียวัตถุ ซึ่งพบมากในดินนากายใต้สภาวะที่ขาด O_2 เพราะอัตราการแปรสภาพอินทรียไนโตรเจน ให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (Immobilization) ในสภาวะที่เป็นด่างโดยเฉพาะ ถ้าดินในสภาพน้ำขังมีอินทรีย์วัตถุสูงจะทำให้มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของ NH_3 (พัชรี แสงจันทร์. 2541)

1.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorous)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมากเป็นองค์ประกอบ ของกรดนิวคลีอิกและATP ด้วยเหตุนี้ฟอสฟอรัสจึงเกี่ยวข้องกับการเสริมสร้างการเติบโตความแข็งแรงของพืชทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและรากตลอดจนการออกดอกออกผล (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2541)

แหล่งสำคัญของฟอสฟอรัส ได้แก่ฟอสฟอรัสอินทรีย์ ที่มีอยู่ในซากพืชซากสัตว์ และจุลินทรีย์ดินรวมทั้งสารประกอบที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้น ฟอสฟอรัสอนินทรีย์มักอยู่รวมกับแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก อะลูมิเนียม และแร่ดินเหนียว (เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2528)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (Total P) ค่อนข้างน้อยพบว่าดินบนโดยทั่วไปมีฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 0.022-0.083% (บุปผา โตภาคงาม. 2526) ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ที่พืชดูดซึม โดยทั่วไปเข้าใจว่าอยู่ในรูปของไอออนฟอสเฟต ซึ่งคือ โมโนเบสิคออร์โทฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) และไดเบสิคออร์โทฟอสเฟต (HPO^{2-}_4) ส่วนไตรเบสิคออร์โทฟอสเฟต (PO_4^{3-}) พืชอาจดูดกินได้แต่ไม่มีโอกาส เพราะมีอยู่น้อยมาก (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2541) ส่วนรูปที่พืชดูดใช้ได้มากที่สุดคือ $H_2PO_4^-$ สัดส่วนของปริมาณอนุมูลทั้งสามขึ้นกับพีเอช ของดิน ที่พีเอชประมาณ 2.5-6.0 จะมีรูป $H_2PO_4^-$ มากที่สุด และที่พีเอชสูงจะมีรูป HPO_4^{2-} มากกว่า ส่วน PO_4^{3-} จะเกิดที่พีเอช สูงมากจนถือว่าไม่สำคัญ (บุปผา โตภาคงาม. 2526)

สารประกอบฟอสฟอรัสในดิน จะเป็นประโยชน์ต่อพืชหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ซึ่ง แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.2.1 พวกสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ช้ามาก (Very Slowly available phosphate)

1.2.2 พวกสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ช้า (Slowly available phosphate)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.2.3 พวกสารที่พร้อมจะเป็นประโยชน์ต่อพืช (Readily available phosphate)

ส่วนพวกอินทรีย์ฟอสเฟตละลายในน้ำแยกตัวให้ไอออนฟอสเฟตน้อยมาก แทบจะเรียกว่าไม่มีการแยกตัวเลย

ในดินนาภายใต้สภาวะที่มีน้ำขัง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้น และทั้งสองธาตุที่เพิ่มขึ้นนี้ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพีเอช ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเกิดรีดักชันของ $Fe_3 (PO_4)_2 .8H_2O$ ให้กลายเป็น $Fe_2PO_4.2H_2O$ ที่ละลายน้ำได้ดีขึ้น และการที่ดินมีพีเอชสูงขึ้น ทำให้สารประกอบฟอสเฟตของอะลูมิเนียม และเหล็ก ทำปฏิกิริยากับน้ำอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่ายขึ้น เป็นต้น

โดยปกติแล้วอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส จะมองเห็นได้ไม่แน่นอน จึงเป็นการยากที่จะบอกได้ด้วยสายตา อาจจะต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางเคมีแต่อย่างไรก็ตามถ้าขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรงก็อาจทำให้พืชมีใบเหลือง หรืออาจจะมีสีเขียวเข้ม หรือสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งอาจจะมีสีม่วงแทรก นอกจากนี้ยังทำให้พืชมีลำต้นบางใบเล็กและการแตกแขนงของลำต้นจะถูกจำกัดคล้ายการขาดไนโตรเจน (บุปผา โตภาคงาม. 2526)

1.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญถึงแม้ว่าโพแทสเซียมจะไม่ได้เป็นสารประกอบใดๆ เลยในพืช แต่ทำหน้าที่เป็นประจุบวกที่ไปกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิด โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้งและน้ำตาล พืชต้องการ K ในกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ และการเคลื่อนที่ของแป้งและน้ำตาล ภายในพืชธาตุโพแทสเซียม กล่าวได้ว่าเป็นธาตุแห่งคุณภาพ เพราะทำให้คุณภาพส่วนต่าง ๆ ของพืชดีขึ้น เช่น ทำให้ผลไม้มีรสหวานเป็นต้น (ปัทมา วิตยากร. 2533)

ธาตุอาหารโพแทสเซียม ส่วนมากได้จากแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ และที่สำคัญคือได้จากโพแทสเฟลด์สปาร์ ($KAlSi_3O_8$) มัสโคไวต์ ($H_2KAl_3 (SiO_4)_3$) และไบโอไทต์ (H_2K_2) $(Mg,Fe)_2 (AlSiO_4)_3$) ซึ่งเป็นแร่ปฐมภูมิ ได้จากหิน เช่น หินแกรนิต และได้จากแร่ดินเหนียว เกือบทุกชนิด เช่น เคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ และอิลไลต์ (บุปผา โตภาคงาม. 2526)

เมื่อเฟลด์สปาร์ถูกไฮโดรไลซ์ จะปลดปล่อยไอออนของ K ออกมา (ปัทมา วิตยากร. 2533)

$KalSi_3O_8$ ↗ $K^+, OH^- + 3Si(OH)_4 + Al_1 (OH)_3$ ในสารละลายกิบบ์ไซต์

$KalSi_3O_8$ ↘ $2K^+ + 2OH^- + 4\ Si(OH)_4 + Si_2O_5Al_2(OH)_4$ ในสารละลายเคโอลิไนต์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

โพแทสเซียมในดินเกิดอยู่ในหลายรูป ได้แก่ เป็นไอออนอยู่ในสารละลายดิน(Soluble salt) หรืออยู่ในรูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ โดยถูกยึด (Adsorbed) อยู่กับคอลลอยด์ดิน หรือถูกตรึงอย่างเหนียวแน่นโดยคอลลอยด์ดิน จนแลกเปลี่ยนไม่ได้ K ทั้งสามสถานะจะอยู่ในสมดุลซึ่งกันและกัน (ปัทมา วิตยากร. 2533)

พวกโพแทสเซียมจากแร่ต่าง ๆ เป็นรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที (Relative unavailable form) ในดินพบ 90-98 % ส่วนน้อยพบในรูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้และในสารละลายดิน ซึ่งเป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที (Readily available form) สำหรับโพแทสเซียมที่ถูกตรึงจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ (Slowly available form) (ปัทมา วิตยากร. 2533)

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Total K) จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่มีต่อพืชหรือเป็นค่าที่บอกให้ทราบปริมาณการสะสมของโพแทสเซียมที่เนื่องจากการใส่ปุ๋ย สำหรับโพแทสเซียมในดินที่ง่ายต่อการที่พืชจะไปใช้ประโยชน์ได้นั้น ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมในสารละลายดิน (พงศ์ศิริ พชรปรีชา. 2537)

สำหรับในนาในสภาวะที่มีน้ำขังปริมาณของFe^{2+}และ Mn^{2+} ที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น และแทนที่ K^+ ทำให้ K^+ เข้ามาอยู่ในสารละลายดิน และแพร่ซึมไปอยู่ในน้ำที่ขังอยู่ในนาและสูญเสียไปกับน้ำไหลได้ (พัชรี แสงจันทร์. 2541)

ถ้าพืชขาดโพแทสเซียม ขอบใบจะซีด (Chlorosis) แล้วกลายเป็นสีน้ำตาล และแห้งไปในที่สุด อาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ระหว่างเส้นใบอาจมีจุดสีน้ำตาลแห้ง โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในพืช ดังนั้นลักษณะอาการขาดจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน อาการขาดโพแทสเซียมมักเห็นชัดกับข้าวโพด และพืชตระกูลหญ้า พวกธัญพืชมักจะให้เมล็ดลีบ และน้ำหนักเบาผิดปกติพืชที่ให้หัวที่รากจะมีแป้งน้อย แต่น้ำมากเป็นต้น (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2541)

2. ธาตุอาหารรอง

2.1 โซเดียม

ในแง่ของผลต่อธาตุอาหารและความเป็นธาตุอาหารจากผลงานการทดลองของ Bower และ Turk (1946) ได้แสดงให้เห็นว่าการที่ดินมีปริมาณโซเดียมมากเกินไป อาจทำให้เกิดการขาดแคทไอออนตัวอื่นๆได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียม และแมกนีเซียม โซเดียมไม่ใช่ธาตุจำเป็น (Essential element)สำหรับการเจริญเติบโตของพืช ถึงแม้ว่าจากการโซเดียมมีความคล้ายคลึงกับโพแทสเซียม แต่โซเดียมจะสามารถใช้แทนโพแทสเซียมได้ในบางส่วนเท่านั้น และก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของพืช (บุปผา โตภาคงาม. 2526)

รูปของโซเดียม โซเดียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปแร่ซิลิเกตที่ไม่ละลาย อย่างไรก็ตามในดินเกลือหรือดินที่มีโซเดียมสูง (Saline or sodium soils) นั้น ส่วนใหญ่โซเดียมจะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ได้ (Echangeable sodium) และโซเดียมที่ละลายได้ (Soluble sodium) สำหรับโซเดียมที่ละลายได้จะมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับระดับความเค็มของดิน โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโซเดียมทั้งหมดก็ยังคงน้อยอยู่ (พงศ์ศิริ พชรปรีชา. 2537)

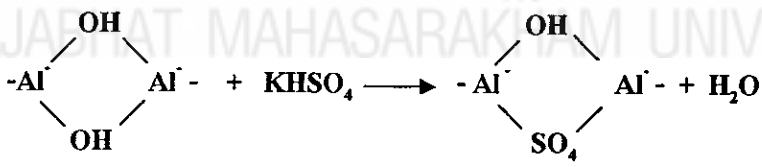
ดินที่จัดว่าเป็นดินเค็มจะมีระดับ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่า 15% เมื่อเทียบกับค่า CEC ของดิน การที่ดินมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาก จะทำให้อนุภาคดินแตกตัวจากกันได้ง่าย มีผลทำให้ดินไม่เกาะยึดกันจนไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.2 กำมะถัน (Sulfur)

กำมะถันเป็นธาตุอาหารรอง และเป็นส่วนประกอบของโปรตีนหลายชนิด แหล่งดั้งเดิมของกำมะถัน คือ แร่ไพไรท์ (Pyrite, FeS_2) กำมะถันถูกเติมออกซิเจน (Oxidation) ให้เป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งเป็นรูปที่พืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ได้ บางส่วนอยู่ในรูปยิปซัม ($CaSO_4.\ 2H_2O$) และอีพิโซไมท์ ($MgSO_4.7H_2O$) หรือถูกชะล้างออกไป ปริมาณกำมะถันในดินชนิดต่างๆ แตกต่างกันมาก ในดินเขตร้อนมีการชะล้างสูง โดยเฉพาะในดินเนื้อหยาบมีกำมะถัน เพียง 20 ppm (0.002%) ในขณะที่ดินด่างหรือดินเค็มในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งอาจมีกำมะถันสูงถึง 50,000 ppm (5%) ดินที่ผ่านการสลายตัวผุพังมานานมักมีกำมะถันทั้งหมด(Total S) ต่ำ และมักพบกำมะถันในดินที่น้ำทะเลเข้าถึง (Tidal area) ในปริมาณที่มาก (มากกว่า)

กำมะถันในรูปซัลเฟตจะถูกดูดยึดโดยแร่ดินเหนียวโดยเฉพาะเคโอลิไนต์ และดินที่มีปริมาณอะลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์อยู่สูง กระบวนการดูดยึดซัลเฟตในดินคาดว่าขึ้นอยู่กับหมู่ OH ในไฮดรัสออกไซด์ และในแร่ดินเหนียวโดยหมู่ OH จะถูกแทนที่โดยซัลเฟต หรือไฮโดรเจนซัลเฟตดังสมการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



เมื่อ pH เพิ่มขึ้นปฏิกิริยาจะเลื่อนไปทางซ้ายมือมีผลให้เกิดการปลดปล่อยซัลเฟตออกมา ดังนั้นความสามารถในการคงซัลเฟตจึงต่ำในดินกรดที่มีการเติมปูนลงไป

2.3 แคลเซียม และแมกนีเซียม (Calcium and magnesium)

แคลเซียม เป็นธาตุอาหารรอง แคลเซียมที่อยู่ในดิน มีหลายรูป แต่รูปที่เป็นแคลเซียมในสารละลายดิน และแคลเซียมที่ดูดยึดไว้ที่ผิวคอลลอยด์ดินถือว่าเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ ปริมาณแคลเซียมในดินอาจจะมีแตกต่างกันไป เช่นตั้งแต่น้อยกว่า 0.05% ถึงมากกว่า 25% โดยน้ำหนัก พืชใช้แคลเซียมในดินในรูปของ Exchangeable Ca^{2+} และที่อยู่ในรูปของ Ca^{2+} ใน Soil solution ดินที่มีโซเดียมสูงอาจทำให้พืชขาดแคลเซียมได้ หรือดินที่มีเกลือแมกนีเซียมสูงก็อาจทำให้พืชขาดแคลเซียมได้เช่นเดียวกัน แคลเซียมแลกเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้

Caในแร่และเกลืออิสระ ↔ Ca ที่แลกเปลี่ยนได้ ↔ Ca^{2+}ในสารละลายดิน

ถ้าพืชขาดแคลเซียมปลายยอดจะคดงอ หรือถ้ารุนแรงมากยอดไม่เจริญเติบโต ต้นจะหยุดการเจริญเติบโตทันที แต่ไม่ค่อยพบพืชขาดแคลเซียม เพราะปริมาณที่ต้องการน้อยมาก ในดินทั่ว ๆ ไป แม้ในดินทราย ก็มีเกินระดับความต้องการที่จำเป็น

แมกนีเซียม เป็นธาตุอาหารรอง เป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ และทำหน้าที่กระตุ้นการเกิดสารพลังงานต่าง ๆ ในพืช เกี่ยวพันกับกระบวนการสร้างน้ำตาล ไขมัน ไวตามินต่าง ๆ ตลอดจนการแบ่งเซลล์ของพืช

แมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอออนที่ถูกคอลลอยด์ของดินดูดซับไว้ ซึ่งเรียกแมกนีเซียมที่ถูกดูดซับ (Absorbed Mg^{2+}) หรือแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) และไอออนที่อยู่ในสารละลายดินทั้ง 2 รูป นี้ มีน้อยมากในดินทั่ว ๆ ไป

ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด และอยู่ในแถบชุ่มชื้น แมกนีเซียมจะถูกคอลลอยด์ดินดูดซับไว้มากเป็นลำดับสาม รองจาก H^+ และ Ca^{2+} ตามลำดับ แต่ในบริเวณแห้งแล้ง แมกนีเซียมที่ดูดซับจะมีมากเป็นที่สองรองจากแคลเซียมยกเว้น ในดินโซดิก บางแห่งจะมี Na^+ ถูกดูดซับไว้ มากกว่า Ca^{2+} และ Mg^{2+} แมกนีเซียมในดินที่พบมี 3 รูปคือ

1. รูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Non - exchangeable from) ได้แก่ แมกนีเซียมที่เป็นองค์ประกอบของหินแร่ ซึ่งจะปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมาเมื่อแร่สลายตัว

2. รูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable form) ได้แก่ แมกนีเซียมซึ่งเกาะอยู่บนผิวอนุภาคของแร่ดินเหนียว

3. รูปที่เป็นประโยชน์ (available form) ได้แก่ แมกนีเซียมที่พบอยู่ในสารละลาย แมกนีเซียมรูปต่าง ๆดังกล่าวจะอยู่ในสมดุลแบบแลกเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้

Mg ในแร่และเกลืออิสระ ↔ Mg ที่แลกเปลี่ยนได้ ↔ Mg^{2+} ในสารละลายดิน

สำหรับแมกนีเซียมที่พืชเอาไปใช้ประโยชน์ได้คือรูปที่แลกเปลี่ยนได้ และ รูปที่อยู่ในสารละลายดิน ถ้าพืชขาดแมกนีเซียม ยอดจะมีสีเหลืองซีดก่อน ต่อไปอาจเหลืองซีดทั้งต้น การเหลืองซีดของใบนี้จะเกิดตามขอบใบ และอาจเป็นจุดหรือแถบของสีเหลืองซีดโดยเฉพาะในธัญพืช

2.4 ทองแดง (Cu)

ทองแดงที่พบในดินส่วนมากเป็นคิวปลิก (cupric Cu^{2+}) และพบในปริมาณน้อยในรูปคิวปรัส (cuprous Cu^+) ทองแดงมีความสำคัญต่อพืชเพราะเป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การขนส่งอิเล็กตรอน เช่น Oxidrases พืชจะสามารถใช้ประโยชน์จากทองแดงในดินในรูปคิวปลิก (cupric Cu^{2+}) ในสภาวะดินที่เป็นกรดทองแดงจะอยู่ในรูป $Cu(OH)^{+}$ และในสภาวะที่เป็นกลางหรือเบส ทองแดงจะอยู่ในรูป$Cu(OH)_2$และทองแดงยังพบอยู่ในรูปแร่ chalcopyrite ($CuFeS_2$) ซึ่งละลายได้น้อย พบว่าทองแดงเป็นธาตุที่ถูกดูดซับได้ดีด้วย ดินเหนียว อะลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็กออกไซด์ และทองแดงยังเป็นธาตุที่ถูกดูดซับด้วยสารอินทรีย์ได้ดีเป็นไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินทรายจะมีทองแดงในปริมาณต่ำ และการละลายของทองแดงจะขึ้นกับค่าพีเอช ที่พีเอช 8.0-8.4 จะละลายได้น้อย ในกรณีที่ดินมีสภาพรีดิวซ์ แร่ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ จะสลายให้ $CuCl_2^-$ สู่ดินซึ่งอาจตกตะกอนเป็น CuO_2 ถ้าดินเป็นเบส (Miller R. 1990)

2.5 สังกะสี (Zn)

สังกะสี เป็นธาตุที่มีในปริมาณน้อยแต่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ในธรรมชาติพบในรูปประจุ +2 สารประกอบสังกะสีเป็นสารที่ละลายได้ดีและแร่ที่มีสังกะสีเป็นองค์ ประกอบจะสลายให้ Zn^{2+} ออกมาได้ง่าย ในสภาพที่เป็นด่างและมี Zn^{2+} ในปริมาณสูง Zn^{2+}จะรวมกับ OH^- เกิดเป็น $Zn(OH)_2$ และตกตะกอน Zn^{2+} จะถูกดูดซับได้ในดินเป็นไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณคาร์บอเนตในดินจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับสังกะสีของดินได้ ในดินทรายจะมีปริมาณสังกะสีน้อย เมื่อมีฟอสฟอรัสในปริมาณมากจะทำให้สังกะสีใช้ประโยชน์ได้ลดลงเนื่องจากอยู่ในรูปสังกะสีฟอสเฟตทำให้ละลายได้น้อย ในดินที่มีสภาวะกรดสังกะสีจะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น การขาดธาตุสังกะสีจะพบเมื่อดินมีพีเอชมากกว่า6.0เพราะสังกะสีจะละลายได้น้อยลง(Frederick T.,LouisT.1993)

2.6 เหล็ก (Fe)

ในดินเหล็กเป็นธาตุที่พบมาก พบว่าเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก 45% และอยู่ในรูปหิน 5% โดยจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนสร้างพันธะกับ O, S, C ซึ่งสามารมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและค่า pH การตรึงเหล็กจะอยู่ในรุปออกซิไดซ์ในสภาวะเบสทำให้ตกตะกอน แต่ถ้าอยู่ในสภาวะกรดจะเป็นรูปรีดิวซ์และเป็นสารละลาย

เหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบสำคัญใน cytochrome ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การตรึงไนโตรเจน การหายใจ เ และเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิด พืชอาจดูดรับเหล็กได้ในสองรูป คือ เฟอริกไอออน (Fe^{3+})และเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) แต่โดยทั่วไปพืชจะดูดเฟอรัสไอออนได้มากกว่า เนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าเฟอริกไอออนในดินจะพบเหล็กอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่อยู่ในรูปเป็นอนุภาคเล็กๆกรืออยู่ที่ผิวของแร่และในดินที่มีสารอินทรียปริมาณมากจะพบเหล็กในปริมาณมากอยู่ในรูปสารเชิงซ้อนคีเลท สารประกอบของเหล็กที่พบ คือ

2.6.1 Hematite, αFe_2O_3 พบในดินที่แห้งแล้ง เขตร้อน

2.6.2 Maghemite, γ Fe_2O_3 พบในดินที่แห้งแล้ง เขตร้อน พบร่วมกับ Hematite และ Magnetite

2.6.3 Magnetite, Fe_3O_4 เปลี่ยนแปลงมาจาก Maghemite

2.6.4 Ferrihydrite, $Fe_2O_3.nH_2O$ พบมากแต่เป็นรูปที่ไม่เสถียร โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น Hematite ในสภาวะที่ร้อน

2.6.5 Goethite, αFeOOH เป็นแร่เหล็กรูปที่พบทั่วๆไปในดิน

2.6.6 Lepidocrocite , γFeOOH พบในดินที่มี pH ต่ำ อุณหภูมิสูง

2.6.7 Ilmenite $FeTiO_3$ เป็นรูปที่ไม่พบในดินแต่จะพบเป็นองค์ประกอบในหิน

2.6.8 Pyrite (FeS_2), Ferrous sulfide (FeS), jarosite ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) (Kabata P. 1991)

2.7 แมงกานีส (Mn)

แมงกานีส เป็นเกลือแร่ส่วนน้อย แต่มีความสำคัญต่อชีวิตมาก ร่างกายจะขาดไม่ได้จะพบมากที่สุดในโครงกระดูก ตับ ตับอ่อน หัวใจและต่อมพิทูอิทารี่ มีคุณสมบัติเป็นด่าง แมงกานีสส่วนใหญ่จะสูญเสียไประหว่างกระบวนการปรุงอาหาร และส่วนเกินจะออกผ่านทางน้ำดีแล้วจะออกทางอุจจาระ (Lee R.M. 1992)

แมงกานีสที่พบในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ +3 และ +4 เมื่ออยู่ในสารละลายจะอยู่ในรูป +2 และเป็นไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน แมงกานีสที่เป็นแร่จะมีส่วนประกอบเป็นสารจำพวกออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และซิลิเกต ที่พบมากคือ แร่ไพโรลูไซต์ แร่แมงกาไนต์ แร่ไซโลมีเลน แร่โรโดโครไซต์ และแร่โรโดไนต์ แมงกานีส สามารถใช้ใน อุตสาหกรรมเหล็กกล้า โลหะผสม โลหะเชื่อม ในอุตสาหกรรมเคมี ทำน้ำยาเคมีและเคมีภัณฑ์ ถ่านไฟฉาย สี ปุ๋ยและเวชภัณฑ์ และ ใช้เป็นตัวฟอก ในอุตสาหกรรมแก้ว (Orlov D.S. 1992)

เห็ด

เห็ด (Mushroom) เป็นพืชชั้นต่ำจำพวกรา (Fungi) อยู่ในอาณาจักร Fungi ไฟลัมยูไมโคไฟตา (Phylum Eumycoptyta) เป็นสิ่งชีวิตที่เซลล์มีนิวเคลียสหรือมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสเรียกว่า ยูแคริโอต (Eukaryote) อาจเป็นสิ่งมีชีวิตที่เซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ ไม่มีคลอโรฟิลล์ สังเคราะห์อาหารเองไม่ได้ มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเชื้อเห็ดรา เช่น รูปกลม ครึ่งวงกลม หรือรูปร่างแปลกๆ ขนาดก็มีหลากหลายตั้งแต่เล็กเท่าหัวไม้ขีด ไปจนถึงใหญ่ขนาดลูกฟุตบอล ส่วนสีสันของดอกเห็ดนั้นก็มีหลากหลาย เช่น แดง เหลือง ส้ม ชมพู ฟ้า ขาว ดำ น้ำตาล เขียวจัดอยู่ใน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. ลักษณะโครงสร้างของเห็ด

โครงสร้างของเห็ด ประกอบด้วย 6 ส่วนหลัก ดังนี้

1.1 หมวกดอก (Cap) เป็นส่วนที่อยู่ปลายสุดของดอกที่เจริญขึ้นในอากาศ หมวกดอกของเห็ดมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เห็ดฟาง เห็ดแชมปิญอง หมวกดอกมีลักษณะคล้ายร่ม เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ หมวกดอกมีลักษณะแบนราบ และส่วนกลางมีลักษณะเว้าเป็นแอ่ง หรือบางชนิดหมวกดอกจะมีลักษณะกลมห่อหุ้มส่วนอื่นๆ ไว้ เช่น เห็ดเผาะ เป็นต้น

1.2 ครีบดอก (Gills) เป็นส่วนที่อยู่ด้านล่างของหมวกดอก มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ เรียงติดกันเป็นรัศมีจากก้านดอก ครีบดอกนี้เป็นที่เกิดสปอร์ของดอกเห็ด

1.3 ก้านดอก (Stalk) ก้านดอกของเห็ดเป็นที่ชูหมวกดอกขึ้นไป ซึ่งเห็ดแต่ละชนิดจะมีลักษณะรูปร่าง และขนาดแตกต่างกันไป เช่น เห็ดโคน เห็ดฟาง ก้านดอกจะมีขนาดยาว เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดหลินจือ ก้านดอกจะสั้น

1.4 สปอร์ (Spore) สปอร์ของเห็ดจะถูกสร้างขึ้นบริเวณครีบดอก ซึ่งมีขนาดเล็กมาก ไม่มีสี เมื่อมันรวมกันเป็นกลุ่มจะคล้ายครีบดอก เวลานำครีบดอกเห็ดมาเคาะบนแผ่นกระดาษสีขาวหรือ สีดำ จะเห็นสปอร์ตกลงบนแผ่นกระดาษคล้าย ๆ ฝุ่นละออง

1.5 วงแหวน (Ring) เป็นเนื้อเยื่อบาง ๆ ยึดติดอยู่รอบก้านดอก เมื่อหมวกดอกกางออก เนื้อเยื่อที่ยึดติดก้านดอกกับหมวกดอกจะขาดจากกัน และมีเนื้อเยื่อบางส่วนติดอยู่กับก้านดอก มีลักษณะเป็นวงแหวน

1.6 ปลอกหุ้มโคน (Volva) เป็นเนื้อเยื่อที่หุ้มดอกเห็ดไว้ขณะที่ยังเล็กอยู่ เมื่อดอกเห็ดเจริญเติบโตขึ้นก็จะดันเนื้อเยื่อหุ้มออกมา ก้านดอกก็จะชูดอกเห็ดขึ้นไป ทิ้งเนื้อเยื่อไว้ด้านล่างที่บริเวณโคนดอกเห็ด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประเทศไทยพบเห็ดมากกว่า 200 ชนิด มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน บ้างก็มีสีสันสะดุดตา บ้างก็กลมกลืนกับสภาพแวดล้อม บางชนิดก็มีกลิ่นเหม็น เห็ดพบมากในฤดูฝน มีทั้งชนิดที่กินได้และชนิดที่มีพิษ ส่วนชนิดที่มีพิษสามารถทำลายประสาทจนเกิดอาการเมา นอกจากนี้ยังมีเห็ดอีกหลายชนิดที่ยังไม่สามารถจำแนกได้ว่ามีพิษหรือไม่ เห็ดที่พบในประเทศไทย เช่น

1. **เห็ดเพ็ก, เห็ดไผ่, เห็ดหูกวาง (Ruddy Panus):** ขึ้นบนลำไม้ไผ่แห้ง ตามกอหญ้าเพ็กที่ตายแล้ว

2. **เห็ดเทียนแดง :** ฐานดอกรูประฆังสีแดง ขึ้นเป็นดอกเดี่ยวบนพื้นดิน

3. **เห็ดดาวหาง เห็ดดาวดิน (Stalked Earthstar) :** เมื่อเจริญเต็มที่ ด้านบนนูนขึ้นแล้วปริแตกเป็นหกแฉก ขึ้นบนพื้นดิน

4. **เห็ดเทียนเหลือง (Stinkhorn):** สีเหลืองอ่อน ตอนบนเรียว เป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำขึ้นบนพื้นดิน

5. เห็ดถ้วยชมพู (Pink Burn Cup) : ดอกเห็ดรูปถ้วย สีชมพูสด ขึ้นบนขอนไม้หรือกิ่งไม้ผุ

6. เห็ดถ่านใหญ่ (Blackening Russula) : สีขาวหม่น เนื้อหนาสีขาว ขึ้นบนพื้นดินตามป่าดิบเขาและป่าเบญจพรรณ

7. เห็ดยูง เห็ดนกยูง (Dancing Mushroom) :ดอกเห็ดรูปร่ม มีเกล็ดละเอียดเป็นจุดสีน้ำตาลขึ้นตามทุ่งหญ้า

8. เห็ดพุงหมูใหญ่ (Fetid Russula) : หมวกเห็ดรูปกลม สีน้ำตาลอมเหลือง เป็นเห็ดมีพิษ แต่ทำให้สุกแล้วกินได้

9. เห็ดจั่น เห็ดตับเต่าขาว เห็ดตีนแรด : สีขาวหม่น หรือขาวนวล ครีบใหญ่ โคนใหญ่ ขึ้นบนตอไม้ผุเป็นกลุ่ม

10. เห็ดแดงกุหลาบ (Rosy Russula) : หมวกเห็ดสีแดงขึ้นเป็นดอกเดี่ยวบนพื้นดิน เป็นเห็ดมีพิษ สุกแล้วกินได้

11. เห็ดไข่เหลือง เห็ดระโงกเหลือง : ขึ้นเป็นดอกเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มบนพื้นดิน

12. เห็ดตับเต่าขนมปังหัวกะโหลก (Cep King Bolete Penny Bun Bolete) :สีน้ำตาลอ่อนอมเหลือง ขึ้นบนพื้นดิน

13. เห็ดโคน เห็ดปลวก : กลางหมวกมีสีน้ำตาล นูนเล็กน้อย โคนก้านเรียวยาว ขึ้นบนพื้นดินที่มีจอมปลวก

14. เห็ดขี้ควาย เห็ดเมา เห็ดโอสถลวงจิต (Golden Tops, Magic Mushroom) : ขึ้นบนมูลสัตว์ ตามทุ่งหญ้า มีพิษร้ายแรง กินมากอาจถึงตายได้ ถ้ากินน้อยทำให้เกิดอาการมึนเมาและประสาทหลอน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. แหล่งอาหารของเห็ด

เห็ดเป็น พืชชั้นต่ำจำพวกรา (Fungi) ไม่สามารถสังเคราะห์แสงสร้างอาหารเหมือนพืชที่มีสีเขียวทั่วไป อาหารและพลังงานของเห็ดที่ใช้ในการเจริญเติบโตจะได้จากการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่ได้มาจากซากพืชที่เป็นปุ๋ยผุพัง โดยมีแบคทีเรียเป็นผู้ทำหน้าที่ย่อยสลายก่อนแล้วเห็ดจึงนำไปใช้ นั่นคือเห็ดจะสร้างอาหารด้วยตัวเองไม่ได้ จะได้อาหารและพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เท่านั้น อาหารที่เห็ดได้จากเศษซากพืชคือน้ำตาลในรูปน้ำตาลกลูโคส เซลลูโลส แป้ง น้ำตาล เห็ดบางชนิดมีเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี โดยอาหารจะถูกดูดซึมเข้าไปทางผนังเซลล์ นอกจากน้ำตาลแล้วยังมีโปรตีน และธาตุอาหารอื่นๆอีก ดังต่อไปนี้

2.1 แหล่งอาหารคาร์บอน (Carbon) เห็ดต้องการอาหารประเภทคาร์บอนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะเกี่ยวกับการสร้างเซลที่เป็นโครงสร้างของเห็ด และเป็นแหล่งให้พลังงานแก่เห็ด แหล่งอาหารประเภทคาร์บอนได้แก่ น้ำตาลต่างๆ เช่น กลูโคส ไซโลส อะราบิโนสซึ่งเป็น

170679

คาร์โบไฮเดรทที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรทที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่ต้องอาศัยจุลินทรีย์ย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กก่อนที่เห็ดจะนำไปใช้

2.2 แหล่งอาหารไนโตรเจน (Nitrogen) เห็ดต้องการอาหารประเภทไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน แหล่งอาหารประเภทไนโตรเจนได้แก่ ยูเรีย เกลือแอมโมเนียม ทั้งแอมโมเนียมซัลเฟท ($(NH_4)_2SO_4$) และแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) ในกรดอะมิโน เช่น แอสพาราจิน (asparagine) อะลามิน (alanine) และไกลซีน (glycine) ในกองปุ๋ยหมักที่ใช้เพาะเห็ดจะได้โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในกองปุ๋ยเหล่านั้นนั่นเอง แหล่งของไนโตรเจนนอกจากจะได้รับจากแหล่งต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงแล้วยังได้รับจากปุ๋ยธรรมชาติ

2.3 แหล่งอาหารประเภทธาตุอาหาร (Element) เห็ดต้องการธาตุอาหารหลักในการเจริญเติบโต ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) โปแตสเซียม(K) แมกนีเซียม(Mg) และซัลเฟอร์(S) เห็ดต้องการธาตุอาหารหลักในปริมาณไม่มากแต่จำเป็นเพื่อใช้ในขบวนการทางสรีวิทยา และทำให้การเจริญเติบโตของเห็ดเป็นไปตามปกติ และเห็ดต้องการจุลธาตุในการเจริญเติบโต ได้แก่ เหล็ก(Fe) สังกะสี(Zn) แมงกานีส(Mn) ทองแดง(Cu) โมลิบดินัม(Mo)

ดังนั้นในการทำปุ๋ยหมักของเห็ดจึงต้องมีการเพิ่มสารประกอบเหล่านี้ยิปซัม ($CaSo_4.2H_2O$) เพื่อให้เป็นแหล่งของ Ca ดีเกลือ ($MgSO_4$) เป็นแหล่งของ Mg ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เป็นแหล่งของ P (ในรูปของ calcium superphosphate) และK (ในรูปของ potassium sulfate)

2.4 แหล่งอาหารประเภทวิตามิน (Vitamin) วิตามินที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของเห็ด เช่น ไบโอติน ไธอามีน มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเส้นใย

2.5 แหล่งอาหารประเภทกระตุ้นการเจริญเติบโต (Growth Promoting Activity) สารที่มีผลต่อการกระตุ้นหรือเร่งการเจริญเติบโตของเห็ดมีหลายชนิด คือ Indole acetic acid (IAA) สารพวก ester ของ oleic acid และ linoleic acid และสารกลุ่มอะมิโนหลายชนิด ได้แก่ เฟนิลอลานิน (Phenylalanine) เมทไธโอนีน (Methionine)

3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของเห็ด

3.1 อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 22- 26 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของดอกเห็ด คือ 8-16 องศาเซลเซียส

3.2 น้ำหรือความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ในการออกดอกเห็ดอยู่ระหว่าง 80-90% เมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงเกินไปทำให้ดอกเห็ดมีขนาดใหญ่แต่คุณภาพต่ำ หากเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำลงมาทำให้ดอกเห็ดมีขนาดเล็กแต่คุณภาพสูงขึ้น

3.3 แสง การเจริญของเส้นใย ดอกเห็ดต้องการแสงจากธรรมชาติอย่างเพียงพอเพราะมีผล

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ต่อการกระตุ้นการรวมตัวกันของเส้นใย แล้วพัฒนาเป็นดอกเห็ดที่สมบูรณ์ต่อไป แต่ในช่วงการเจริญเติบโต

3.4 อากาศ ถ้าการระบายอากาศในโรงเห็ดไม่ดี อาจทำให้เห็ดผิดปกติ ผิดรูปร่างได้

3.5 พีเอช การเลือกวัสดุเพาะเห็ดต้องคำนึงถึง พีเอชด้วย เพราะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเส้นใย พีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดควรอยู่ในช่วง 5 - 6

3.6 สภาพอากาศ เห็ดจัดเป็นฟังไจที่ต้องการกาซออกซิเจนในการเจริญเติบโตทั้งในระยะเส้นใย และระยะการพัฒนาเป็นดอก ดังนั้นจึงควรมีการถ่ายเทอากาศที่ดี
(ปัญญา โพธิ์ติรัตน์. 2538)

4. คุณค่าทางอาหารของเห็ด

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเห็ดหลายชนิด พบว่าเห็ดจัดเป็นอาหารที่มีปริมาณของโปรตีนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชผัก นอกจากนี้เห็ดยังมีกรดอะมิโน (Amino acid) เป็นส่วนประกอบมากกว่า 20 ชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งมีความสำคัญต่อการสร้างโปรตีนในร่างกายมนุษย์ ตามปกติแล้วโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์จะมีปริมาณสูงกว่าพืช ในเมล็ดธัญพืชมีกรดอะมิโนพวก Lysine ในปริมาณที่น้อยมาก ส่วนในพืชตระกูลถั่วมักจะขาดกรดอะมิโนพวก Methionine และ Tryptophan แต่ในเห็ดจะมีกรดอะมิโนที่สำคัญต่อร่างกายมนุษย์ครบทั้ง 9 ชนิด นอกจากนี้ เห็ดยังมีคุณค่าทางอาหารอีกหลายอย่าง ได้แก่ ไขมัน ฟอสฟอรัส, เหล็ก, Thiamin (B_4), Riboflavin (B_2) และ Niacin เห็ดจัดเป็นอาหารที่มีปริมาณของแคลอรี่ คาร์โบไฮเดรต, และแคลเซี่ยมต่ำ แต่มีปริมาณ Ascorbic acid (Vitamin C) สูงในเห็ดสกุล Agaricus (เห็ดแชมปิญอง) และมี Ergosterine สูงในเห็ดสกุล Lentinus (เห็ดหอม) และเห็ดสกุล Volvariella (เห็ดฟาง) ส่วนปริมาณโปรตีนและคุณค่าทางอาหารของเห็ดแต่ชนิด จะแตกต่างกัน

สถาบัน The Institute of Mushroom Research รัฐ Massachusetts ประเทศสหรัฐอเมริการายงานว่า มีเห็ดหลายชนิดที่มีสรรพคุณทางยารักษาโรค สามารถที่จะบำบัดโรคมะเร็งอย่างได้ผล ชาวจีนเชื่อว่าถ้ารับประทานเห็ดหอม และเห็ดหูหนูขาวเป็นประจำแล้วจะช่วยป้องกันการสะสมไขมันในเส้นเลือด เห็ดหลินจือ (เห็ดหมื่นปี) สามารถใช้รักษาผู้ที่เป็นโรคมะเร็งได้ จึงทำให้ประชาชนหันมาสนใจเห็ดและนิยมรับประทานเห็ดกันมากขึ้นและเห็ดยังจัดเป็นอาหารที่เหมาะสำหรับผู้ที่นิยมรับประทานมังสวิรัติ ตลอดจนผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจ โรคตับ โรคความดันโลหิต เป็นต้น นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการจะลดน้ำหนักอีกด้วย

จากการวิเคราะห์หาปริมาณคุณค่าทางอาหารของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2535) แสดงดังตารางที่ 2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2 แสดงคุณค่าทางอาหารของอาหารบางชนิด

ชนิด	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เยื่อใย	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก
	ก.	ก.	ก.	ก.	ม.ก.	ม.ก.	ม.ก.
เห็ดเผาะ	2.2	0.4	6.3	2.3	39	85	3.6
เห็ดหูหนู	1.4	0.1	9.1	1.8	60	น้อย	6.1
เห็ดเป๋าฮื้อ	1.6	0.4	4.8	1.2	3	78	1.1
เห็ดขมิ้น	2.7	0.5	2.3	1.0	2	17	1.6
เห็ดนางรม	2.1	0.3	4.3	0.5	4	61	0.3
เห็ดบัว (เห็ดฟาง)	3.0	1.8	3.8	1.4	8	20	1.1
เห็ดหอม	2.3	0.04	2.9	1.3			
เห็ดนางฟ้า	3.4	0.07	4.8	0.5			
เห็ดโคน	6.3	0.3	5.3	1.9			
เห็ดฟาง	3.2	0.07	4.8	0.6			

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2535)

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารจากเห็ดพื้นบ้านบางชนิดปรากฏผลดังตาราง 3 และ 4

ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้า เป็นร้อยละของเห็ดพื้นบ้านจากน้ำหนักแห้ง

ชนิดเห็ด	% โปรตีน	% คาร์โบไฮเดรต	% เยื่อใย	% ไขมัน	% เถ้า
1. เห็ดเกลือ	20.78	21.02	7.33	9.09	0.99
2. เห็ดขลำหมา	10.67	12.20	25.25	2.15	0.62
3. เห็ดขอนขาว	30.79	14.66	16.79	13.89	3.71
4. เห็ดไค	27.30	19.15	9.82	5.70	1.35
5. เห็ดโคน	37.31	14.97	11.08	20.63	1.28
6. เห็ดแดงดง	23.42	15.13	10.34	4.93	1.30
7. เห็ดตีนแฮด	36.61	14.77	16.62	5.34	2.81
8. เห็ดเผาะ	18.70	12.57	20.52	9.76	2.47

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ปริมาณแคลเซียม เหล็ก และสังกะสี เป็นร้อยละของ เห็ดพื้นบ้านจากน้ำหนักแห้ง

ชนิดของเห็ด	แคลเซียม (mg/100g)	เหล็ก (mg/100g)	สังกะสี (mg/100g)
1. เห็ดขอนขาว	24.70	60.14	22.50
2. เห็ดไค	13.05	4.47	17.83
3. เห็ดโคน	18.67	12.30	7.03
4. เห็ดแดงดง	3.23	6.53	5.60
5. เห็ดตีนแฮด	11.91	6.67	10.75
6. เห็ดผึ้ง	3.55	4.19	15.85
7. เห็ดเผาะ	29.69	5.23	7.30
8. เห็ดเพ็ก	6.27	8.57	9.76
9. เห็ดระโงกขาว	6.61	7.07	6.23
10. เห็ดหาด	5.07	5.13	10.58

ที่มา : อรุณ โมนะตระกูล และคณะ (2548)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของเห็ดกับอาหารชนิดอื่น

ชนิด	แคลอรี่ใน 100 กรัม	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เกลือแร่
เห็ด	25	92	3.5	0.3	4.5	1.0
นม	62	87	3.5	3.7	4.8	0.7
มันฝรั่ง	85	75	2.0	0.1	21.0	1.1
เนื้อ	189	68	18.0	13.0	0.5	0.5

ที่มา : **"ฟาร์มเห็ดขจรวิทย์"** (2550). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก. http://www2.tat.or.th.

5 คุณค่าทางยาของเห็ด

เห็ดพื้นบ้าน ทั้งที่รับประทานได้และรับประทานไม่ได้ มีประโยชน์ทางยา สรรพคุณทางยาที่สำคัญ สรุปดังตารางที่ 6

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 6 เห็ดพื้นบ้านและสรรพคุณทางยา

ชื่อเห็ด	ประเทศที่อ้างอิงการใช้ประโยชน์ทางยา	สรรพคุณ
เห็ดกินได้		
เห็ดชิ่น (อีสานเรียก เห็ดหูช้าง)	จีน ญี่ปุ่น	ยับยั้งเนื้องอก กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ช่วยให้เลือดหมุนเวียน ต้านมะเร็ง หลอดอาหาร
เห็ดชิ่นเหลี่ยม (เห็ดหลินจือ)	จีน ญี่ปุ่น อเมริกา อินเดีย	สร้างภูมิคุ้มกัน ยับยั้งเนื้องอก บำรุงกำลัง ขับเสมหะ ระงับไอ ต่อต้านเชื้อหวัด
เห็ดหิ่งห้อย	จีน	มีสาร coprine ใช้รักษาโรคประสาท
อยู่ในกลุ่มเห็ดน้ำหมึก	สวีเดน	เรื้อรัง (จีนใช้เป็นยาต้านการอักเสบ แก้มะเร็งที่ผิวหนังฝี หนอง แผลฟกช้ำ) ใช้รักษาอาการเจ็ดปวดจากแผลไฟไหม้
เห็ดหูหนู (กะตั่น)	อเมริกา จีน และญี่ปุ่น	แก้เจ็บปวด ริดสีดวงทวารหนัก บำรุงกำลัง
เห็ดกะตั่นขน (หูหนูช้าง)	อเมริกา จีนญี่ปุ่น	แก้อาการเจ็บปวด เลือดออกใน ริดสีดวงทวารหนัก บำรุงกำลัง
เห็ดกะตั่นขาว (หูหนูขาว)	อเมริกา จีน	ปรับสมดุลร่างกาย ทำยาลดไข้ ยับยั้งเนื้องอก
เห็ดนกกะบา (เห็ดชานหมาก 2 ชั้น)	กลิ่นคล้ายยี่หร่า อเมริกา จีน	ต่อต้านแบคทีเรียและยับยั้งเนื้องอก
เห็ดทาทุ่ง (กระดุม,ทองแดง,ขจร)	อเมริกา ญี่ปุ่น จีน	ต่อต้านแบคทีเรีย ยับยั้งเนื้องอก
เห็ดปลวกขี้ไก่	ญี่ปุ่น	แก้โรคหนองใน
เห็ดทา (กลุ่มเดียวกับเห็ดแชมปิญอง)	เยอรมัน อังกฤษ	ต้านแบคทีเรีย และยับยั้งเนื้องอก รักษาเบาหวาน
เห็ดก้ามปูหรือเห็ดขมิ้น	อีสาน	แก้ปวดตา ตาอักเสบ มองไม่เห็นกลางคืน
	อเมริกา จีน	ยับยั้งเนื้องงอก แก้ผิวหนัง ขับเสมหะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ชื่อเห็ด	ประเทศที่อ้างอิงการใช้ประโยชน์ทางยา	สรรพคุณ
มันปูดำ	เยอรมัน	ขับเสมหะ และลดน้ำมูก
เห็ดหน้าเส้า	พื้นบ้านอีสาน	ลดความร้อนในตับ
	อเมริกา จีน	ยับยั้งเนื้องอก ต่อต้านเชื้อไข้ บำรุงสายตา
เห็ดปลวกใหญ่ เห็ดโคน เห็ดกินไม่ได้	อเมริกา จีน	บำรุงกำลัง
เห็ดขอนขน	อเมริกา จีน	ยับยั้งเนื้องอก ระบายและดับความร้อนในร่างกาย
เห็ดหิ้งชั้นน้ำตาลเทา	อเมริกา ญี่ปุ่น	ยับยั้งการก่อเนื้องอก ปรับไฟธาตุพิการให้เข้าที่
เห็ดหิ้งครีมผิวขรุขระ	จีนและญี่ปุ่น	ยับยั้งเนื้องอก กระตุ้นการไหลเวียนโลหิต
เห็ดหิ้งเกือกม้าขุรขระ	อเมริกา เยอรมัน และจีนอีสาน	รักษาแผลไม้จากพิษงู เป็นยาพื้นบ้านต่อต้านมะเร็ง มีฤทธิ์ขจัดแบคทีเรีย

ที่มา : วินัย กลิ่นหอม และอุษา กลิ่นหอม. (2548).

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยภายในประเทศ

กิตติมา ยี่ยวนและจารุณี ศรีจัด (2544) ศึกษาปริมาณโปรตีนและแคลเซียมในเห็ดฟางที่ใช้วัสดุต่างชนิดกัน ได้แก่ เปลือกมันสำปะหลัง ขี้ฝ้าย เปลือกถั่วเขียว ผักตบชวา และ ต้นกล้วย ซึ่งการหาปริมาณโปรตีนและแคลเซียม จะใช้เทคนิคเจดาห์ล และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตโฟโตเมตตรี ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณโปรตีนในเห็ดฟางที่ใช้เปลือกมันสำปะหลังเป็นวัสดุเพาะจะมีโปรตีนเท่ากับ 32.57 % ซึ่งมากกว่าวัสดุเพาะชนิดอื่น ๆ ส่วนปริมาณแคลเซียมในเห็ดฟางที่ใช้ผักตบชวาเป็นวัสดุเพาะจะมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 13.47 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าวัสดุเพาะชนิดอื่น ๆ

พิทักษ์ รุ่งสว่าง และ ศักดิ์ดา ภูกองชนะ (2546) ศึกษาปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อใยในผักพื้นบ้าน 8 ชนิด ได้แก่ เห็ดเกลือ เห็ดโคน เห็ดตะไคหรือเห็ดหล่มขาว เห็ดน้ำแป้ง

เห็ดเพ็ก เห็ดมันปู เห็ดไข่ห่านหรือเห็ดระโงกขาว เห็ดไข่ห่านเหลืองหรือเห็ดระโงกเหลือง ซึ่งการหาปริมาณโปรตีนจะใช้เทคนิคเจดาห์ล ผลการวิเคราะห์พบว่าโปรตีนในเห็ดทั้ง 8 ชนิด พบว่า เห็ดโคนมีปริมาณโปรตีน 37.17 % ซึ่งมากกว่าเห็ดชนิดอื่น ๆ ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเห็ดเพ็กมี 44.44 % มากกว่าเห็ดชนิดอื่น สำหรับการหาเยื่อใยเห็ดตะไค มี 12.85% ซึ่งมีปริมาณเยื่อใยมากกว่าเห็ดทั้งหมดที่ทำการทดลอง

กรรณิกา นาริโส (2547) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเกิดดอกของเห็ดกระด้าง *Lentinus Polychous* Lev. 5 สายพันธ์ คือ KPM1-KPM5 พบว่าสามารถเจริญได้ดีในอาหารมันฝรั่งเด็กโตรสโดยมีภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส พีเอช 5.0 นอกจากนี้การเกิดดอกเห็ดกระด้างยังได้รับอิทธิพลอย่างมากเมื่อกระตุ้นด้วยแสงที่ความเข้ม 4000 ลักซ์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

นิภาพร อามัสสา (2549) ทำการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ และแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ ของเห็ดจาก 4 อำเภอ ในเขตเทือกเขาภูพาน จังหวัดสกลนคร โดยใช้เห็ดหิ้งจำนวน 21 ชนิด และเห็ดที่เพาะเลี้ยงในเชิงการค้า 2 ชนิด มาศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโตบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่างๆ ทั้งอาหารแข็งและอาหารเหลว พบว่าเห็ดหิ้งเจริญได้ดีบนอาหารเหลวรำข้าว (RbDMPA) มันสำปะหลัง(CDMPA) มันเทศ(SpDMPA) มันฝรั่ง(FMPA) และอาหารพีดีเอ(PDA) และเจริญในบนอาหารเหลวรำข้าว(RbDMPA) และมันฝรั่ง(FMPA) ดีที่สุดโดยในเห็ดที่เลี้ยงบนอาหารเหลวรำข้าว(RbDMPA) มีเส้นใยสูงกว่าเลี้ยงบนอาการเหลวมันฝรั่ง(FMPA)

2. งานวิจัยในต่างประเทศ

Mustafa Y. และคณะ (2006a) ทำการศึกษาปริมาณ Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Cu, Cr และ Ni ในเห็ด 15 ชนิด ในบริเวณ Anatolia ประเทศตุรกี ปริมาณที่พบสูงสุดต่อน้ำหนักแห้งเป็นดันนี้ Pb 11.72 mg/kg Fe 11460 mg/kg Mn 480 mg/kg Cu 144.2 mg/kg ซึ่งพบใน *Lepista nuda* Cd และ Cr พบสูงสุดใน *Gymnopus dryophilu* ปริมาณ 3.24 และ 73.8 mg/kg ตามลำดับ Zn พบสูงสุดใน *Tricholoma equestre* 173.8 mg/kg และ Ni พบสูงสุดใน *Coprinus comatus* 58.60 mg/kg

Mustafa Y. และคณะ (2006b) ทำการศึกษาปริมาณ Cd, Zn, Fe, Mn, Cu และSe ในเห็ดบริเวณทะเลดำ ประเทศตุรกี ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอบชันเสปกโตสโคปี (AAS) พบว่า Cu พบมากที่สุดใน *Entoloma sinuatum* 18.9–64.8 μg/g Mn พบมากที่สุดใน *Leucoagaricus leucothites* 53.5–130 μg/g Zn พบมากที่สุดใน *Entoloma sinuatum* 44.7–198 μg/g Fe พบมากที่สุดใน *Amanita pantherina* 187–985 μg/g Se พบมากที่สุดใน *Amanita pantherina* 0.54–10.8 μg/g Cd พบมากที่สุดใน *Agaricus arvensis* 0.9–2.5 μg/g

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Luigi C. และคณะ (2006) ทำการศึกษาปริมาณ As, Cd, Pb, Hg, Se โดยสำรวจเห็ด 1194 ตัวอย่างจาก 60 ชนิด ในประเทศอิตาลีและศึกษาด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอบชันเสปกโตสโคปี (AAS) พบว่าปริมาณ As พบใน *Sarcosphaera eximia* 1000 mg/kg Cd พบใน *Amanita caesarea, Boletusedulis* และ *Boletus pinophilus* ในปริมาณสูงมากเกินที่WHO กำหนด 50 เท่า และพบ Pb เฉลี่ยต่ำกว่าที่ WHO กำหนด พบว่าใน *Agaricus bitorquis, Agaricus arvensis, Agaricus essettei, Agaricus albertii, B. pinophilus,Clitocybe geotropa, Macrolepiota rachodes* มีปริมาณ Hg อยู่ในช่วง 5–10 mg/kg ของน้ำหนักแห้ง Se พบมากในกลุ่ม B. *edulis*

Durali M. และคณะ (2006) ทำการศึกษาปริมาณFe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni ในเห็ดจากประเทศตุรกีโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอบชันเสปกโตสโคปี (AAS) ปริมาณธาตุที่พบมากที่สุดเป็นดังนี้ Fe พบ 628 mg/kg ใน *Mycena inclinata* Mn พบ 103 mg/kg ใน *Coprinus comatus* Cu พบ 86.2 mg/kg ใน M. *inclinata* Pb พบ 11.4 mg/kg ใน P. *stipticus* Cd พบ 1.6 mg/kg ใน *Panaeolus campanulatus* Cr พบ 4.4 mg/kg ใน C. *comatus* และ Ni พบ 21.6 mg/kg ใน M. *inclinata* Zn พบ 162 mg/kg ใน *Panellus stipticus*

Mohammed B. และคณะ (2006) ศึกษาปริมาณ As, Cd, Cu, Hg, Pb, Se และZn ในเห็ดและบริเวณดินที่มีเห็ดขึ้นใน 6 พื้นที่ป่าในฝรั่งเศส พบว่าคุณสมบัติและปริมาณธาตุในดินเป็นดังนี้ pH 3.9-4.2 สารอินทรีย์ (OM) 13.8 – 21.1 g kg^{-1} อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) 21 – 31 As 0.1 – 0.5 mg kg^{-1} Cd 0.04 – 0.02 mg kg^{-1} Cu 0.09 – 2 mg kg^{-1} Hg 0.02 mg kg^{-1} Pb1.3 – 3.6 mg kg^{-1} Zn 0.1 – 6.2 mg kg^{-1} และปริมาณธาตุในเห็ดบริเวณต่างๆเป็นดังนี้ As 0.04 – 0.11 mg kg^{-1} Cd 1-12 mg kg^{-1} Cu 31-48 mg kg^{-1} Hg 0.61 mg kg^{-1} Pb 4.7 mg kg^{-1} Zn 56-260 mg kg^{-1} พบว่าธาตุ As, Cu, Se, Zn ความเข้มข้นในดินไม่มีผลต่อปริมาณธาตุที่พบในเห็ด และ Cd, Hg, Pb ความเข้มข้นในดินมีผลต่อปริมาณธาตุที่พบในเห็ด

Maria R. และ **Tomasz L.** (2004) ศึกษาปริมาณ Al, Mn, Fe, Zn, Cd, Pb ในดินป่าที่พบเห็ดธรรมชาติจากป่า 3 บริเวณ และในเห็ด123 ตัวอย่างจาก 16 ชนิด ในประเทศโปแลนด์ พบว่าในดินบริเวณ Lubon มีปริมาณ Al, Mn, Fe, Zn, Cd, Pb 102.6, 11, 51.2, 0.5, 0.08, 2.5 mg/kg ตามลำดับ ดินบริเวณ Kormik มีปริมาณ Al, Mn, Fe, Zn, Cd, Pb 62.6, 33.6, 75.7, 2.55, 0.04, 4.8 mg/kg ตามลำดับ ดินบริเวณ Notecka มีปริมาณ Al, Mn, Fe, Zn, Cd, Pb 115, 18.9, 49.6, 1.56, 0.08, 2.9 mg/kg ตามลำดับ

Maria R. และ **Tomasz L.** (2006) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลัก(N, P, K, S, Ca, Mg) และธาตุอาหารรอง (Al, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb) ในเห็ด 160 ตัวอย่างจาก 8 ชนิด และในดิน 15 ตัวอย่าง จากป่าทางตะวันตกของโปแลนด์ โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอบชันเสปกโตสโคปี (AAS) พบว่าลักษณะดินเป็นดินปนทรายมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในปริมาณต่ำ พบธาตุอาหารในเห็ดดังนี้ ธาตุ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อาหารหลัก N 40.0 g kg^{-1}, K 33.0 g kg^{-1}, P 5.4 g kg^{-1}, S 2.2 g kg^{-1}, Ca 1.0 g kg^{-1}, Mg 0.7 g kg^{-1} ธาตุอาหารทั้งหมดยกเว้น Ca พบในเห็ดมากกว่าในดิน N, P, K, S, Mg พบบริเวณหมวกเห็ดมากกว่าบริเวณขา Ca พบที่ขาเห็ดมากกว่าหมวก ปริมาณธาตุอาหารรองเรียงลำดับปริมาณที่พบดังนี้ Al > Zn > Fe > Mn > Pb > Cd ปริมาณที่พบในหมวกและขาของเห็ดจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของเห็ด

Jordan S.N., Mullen G.J. และ Murphy M.C. (2006) ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตเห็ดใน Ireland 63 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าพีเอช 6.8 ± 0.48 อัตราส่วน คาร์บอนต่อไนโตรเจน 18 ± 2.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมที่มีประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม ปริมาณแมกนีเซียม ปริมาณโซเดียม 654 ± 58.6, 4.0 ± 3.8, 18 ± 5.8, 13 ± 2.9,20 ± 6.2, 21 ± 2.0, 28 ± 49.1, 18 ± 19.4, 1.68 ± 2.7 g/kg ตามลำดับ และปริมาณทองแดง สังกะสี แมงกานีส เหล็ก ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิเกิล 54 ± 21.2, 143 ± 39.2, 164 ± 36.5, 47 ± 0.95,10.4 ± 1.69, 6.2 ± 1.18, 0.21 ± 0.01, 5.8 ± 0.02 mg/kg ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY