บทที่ 3

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปุ๋ย

3.1 ความรู้เบื้องต้น

ปุ๋ยคือสารใด ๆ ก็ตามที่ใส่ลงไปในดินเพื่อให้มีธาตุอาหารตามความต้องการของพืช สารนั้น ๆ อาจจะเป็นสารอินทรีย์, สารอนินทรีย์, หรือสารสังเคราะห์ก็ได้ ธาตุที่พืชต้องการเพื่อเสริมสร้างความเจริญเติบโตพบว่ามีอยู่ 16 ธาตุ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช

มหธาตุอาหาร		คาร์บอน
		ไฮโดรเจน
		ออกซิเจน
	ธาตุปฐมภูมิ	ไนโตรเจน
		ฟอสฟอรัส
		โพแทสเซียม
	ธาตุทุติยภูมิ	แคลเซียม
		แมกนีเซียม
		กำมะถัน
จุลธาตุอาหาร		โบรอน
		คลอรีน
		ทองแดง
		เหล็ก
		แมงกานีส
		โมลิบดินัม
		สังกะสี

จากตารางที่ 3.1 9 ธาตุแรกเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณสูงซึ่งเรียกว่ามหธาตุอาหาร (macronutrients) ในจำนวนทั้ง 9 ธาตุนั้น ธาตุคาร์บอน, ไฮโดรเจนและออกซิเจนได้มาจากอากาศและน้ำ ส่วนธาตุอื่นอีก 6 ธาตุได้มาจากปุ๋ยซึ่งแบ่งออกได้เป็น ธาตุปฐมภูมิ (primary element) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมและธาตุทุติยภูมิ (secondary element) ซึ่งได้แก่ธาตุแคลเซียม, แมกนีเซียมและกำมะถัน ธาตุที่เหลืออีก 7 ธาตุ เป็นธาตุที่พืชต้องการเป็นปริมาณเล็กน้อยเรียกว่าจุลธาตุอาหาร (micronutrients) หรือธาตุปริมาณน้อย (trace element)

3.1.1 เกรดปุ๋ย (Fertilizer grade) หมายถึงเปอร์เซนต์ของธาตุอาหารพืชในปุ๋ย ซึ่งระบุเป็นจำนวนไนโตรเจนทั้งหมด ,จำนวน P_2O_5 ที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้และโพแทสที่ละลายน้ำ เช่นเกรดปุ๋ยผสมเกรด 13-13-21 ประกอบด้วยไนโตรเจนทั้งหมด 13 เปอร์เซนต์, P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ 13 เปอร์เซนต์ และโพแทชที่ละลายน้ำ 21 เปอร์เซนต์ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารครบทั้ง 3 ธาตุเรียกว่าปุ๋ยสมบูรณ์ ส่วนปุ๋ยที่มีธาตุอาหารเพียง 2 ธาตุเรียกว่า ปุ๋ยไม่สมบูรณ์ เช่นปุ๋ยผสมเกรด 16-20-0 แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยผสมชนิดนี้ไม่มีโพแทสเซียม ในทำนองเดียวกันปุ๋ยผสมเกรด 16-0-20 ไม่มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ในกรณีปุ๋ยเดี่ยวจะแสดงเฉพาะเปอร์เซนต์ของธาตุอาหารนั้นแต่เพียงอย่างเดียว เช่น 21%N แทนที่จะเขียนเป็น 21-0-0 เป็นต้น

3.1.2 การจำแนกชนิดของปุ๋ย การจำแนกชนิดของปุ๋ยอาจทำได้หลายวิธีแล้วแต่จะยึดถือเอาอะไรเป็นหลัก ถ้าจำแนกชนิดของปุ๋ยโดยถือเอาชนิดของสารประกอบเป็นหลักก็สามารถแยกได้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) เช่นปุ๋ยยูเรีย, ปุ๋ยมูลสัตว์ เป็นต้น และปุ๋ยอนินทรีย์ (inorganic fertilizer) ได้แก่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต, ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต เป็นต้น บางครั้งการจำแนกชนิดของปุ๋ยโดยถือเอาหลักเกณฑ์อื่น ๆ ก็มีอีกมากมาย แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงปุ๋ยอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งใช้ประกอบกันเป็นปุ๋ยผสม โดยจะกล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมีและการผลิตปุ๋ยแต่ละชนิดให้ทราบพอสังเขป

3.2 ปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic nitrogen fertilizers)

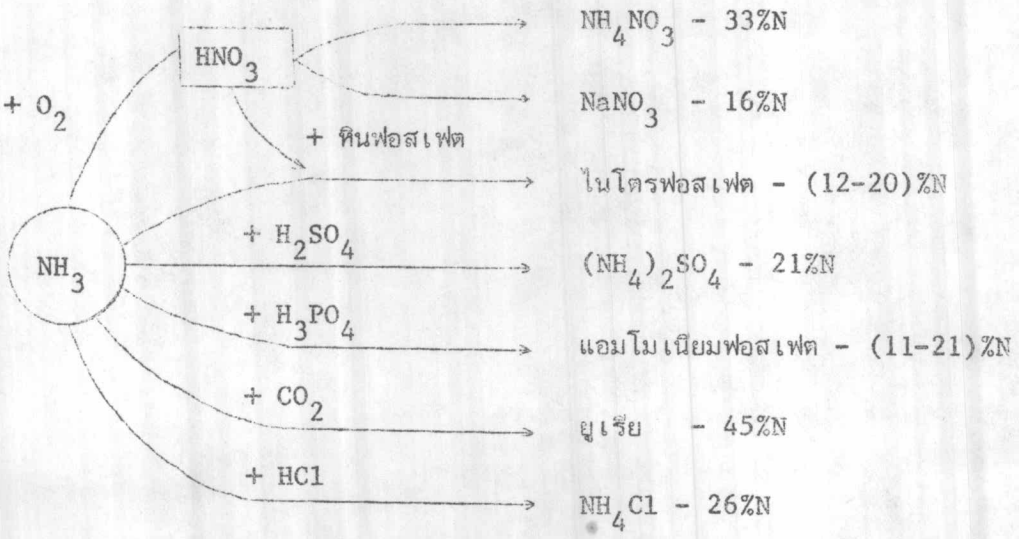
ปุ๋ยชนิดนี้หมายถึงสารประกอบเคมีที่มีธาตุไนโตรเจน ปกติธาตุไนโตรเจนในปุ๋ยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไนเตรตหรือแอมโมเนียม ส่วนน้อยที่จะอยู่ในรูปของยูเรีย ปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจนมีอยู่มากมายหลายชนิดด้วยกัน แต่จะขอกล่าวเฉพาะที่สำคัญเท่านั้น

3.2.1 แอมโมเนียและสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia and its solutions) การผลิตแอมโมเนียทำได้โดยการรวมตัวโดยตรงของธาตุไนโตรเจนและไฮโดรเจน ดังสมการ

$$N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2NH_3 \qquad (3 - 1)$$

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นช้าต้องใช้ออสเมียมและเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิระหว่าง 400° c - 500° c และความดัน 200 ถึง 1000 บรรยากาศ แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวได้นำไปใช้ได้ 3 ทางคือ ทางแรกจะทำให้เป็นของเหลวโดยใช้ความดันสูง ๆ เรียกว่า แอนไฮดรัส แอมโมเนีย (anhydrous ammonia) ซึ่งถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแอมโมนิเอเตด ซูเปอร์ฟอสเฟต (ammoniated superphosphate) และปุ๋ยผสม ในบางครั้งแอนไฮดรัสแอมโมเนียอาจถูกนำไปใช้ในการเกษตรโดยตรง ทางที่สองกาซแอมโมเนียที่ได้นำไปละลายน้ำได้น้ำแอมโมเนีย ซึ่งอาจเติม NH_4NO_3 หรือยูเรียลงไปรวมเรียกว่าสารละลายแอมโมเนีย ทางที่สาม โดยการนำกาซแอมโมเนียไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจนอื่น ๆ

3.2.2 อนุพันธ์ของแอมโมเนีย (Ammonia derivatives) คือสารประกอบไนโตรเจนซึ่งเตรียมจากกาซแอมโมเนียซึ่งได้แก่ แอมโมเนียมไนเตรต, แอมโมเนียมซัลเฟต, แอมโมเนียมฟอสเฟต, ไนโตรฟอสเฟต, แอมโมเนียมคลอไรด์ และยูเรีย ปฏิกิริยาการเตรียมสารประกอบของไนโตรเจนดังกล่าวแสดงดังแผนภาพรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการผลิตปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจนจากแอมโมเนีย

3.2.3 ปุ๋ยไนโตรเจนอื่น ๆ นอกเหนือจากปุ๋ยไนโตรเจนที่กล่าวมาแล้วยังมีปุ๋ยไนโตรเจนบางชนิดที่ใช้กันได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรตซึ่งในกรณีที่ต้องการใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยที่มี คลอไรด์ผสมอยู่ แต่ปุ๋ยชนิดนี้ใช้กับพืชที่เจาะจงบางชนิดเท่านั้น เพราะปุ๋ยมีราคาแพง ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรตผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไนเตรตกับโพแทสเซียมคลอไรด์แล้วแยกโพแทสเซียมไนเตรตโดยวิธีการตกตะกอนและกรอง บางปฏิกิริยาอาจใช้กรดไนตริกกับโพแทสเซียมคลอไรด์ก็ได้

ปุ๋ยไนโตรเจนอื่น ๆ นอกเหนือจากโพแทสเซียมไนเตรตได้แก่ แคลเซียมไซยานาไมด์ (calcium cyanamide, $CaCN_2$) ปุ๋ยชนิดนี้เตรียมได้จากการเผากาซไนโตรเจนกับแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิสูง แต่เริ่มต้นต้องเตรียมแคลเซียมออกไซด์โดยการเผาแคลเซียมคาร์บอเนต

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{เผา}} CaO + CO_2 \qquad (3-2)$$

CaO ทำปฏิกริยากับโคกที่อุณหภูมิ 2200° c จะได้แคลเซียมคาร์ไบด์

$$CaO + 3C \xrightarrow{\text{เผา}} CaC_2 + CO \qquad (3-3)$$

CaC_2 ทำปฏิกิริยากับกาซไนโตรเจนที่บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 1100° c

$$CaC_2 + N_2 \xrightarrow{\text{เผา}} CaCN_2 + C \qquad (3-4)$$

แคลเซียมไซยานาไมด์ที่บริสุทธิ์มีไนโตรเจน 35 เปอร์เซ็นต์และมีสีขาว แต่ปุ๋ยชนิดนี้ในปัจจุบันไม่นิยมใช้กันเพราะเมื่อปุ๋ยชนิดนี้รวมตัวกับน้ำเกิดเป็นแคลเซียมไฮโดรเจนไซยานาไมด์ $\{Ca(HCN_2)_2\}$ กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยที่ $Ca(HCN_2)_2$ เมื่อทำปฏิกิริยาต่อไปกับน้ำจะทำให้เกิดเป็น $(H_2CN_2)_2$ ซึ่งเป็นพิษต่อพืช ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชนิดนี้ต้องดูแลและระมัดระวังเป็นอย่างมาก

3.3 ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีสัญญลักษณ์ทางเคมีว่า P เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชเพื่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบจะทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคพืชสูงและช่วยให้ผลไม้สุกเร็ว ฟอสฟอรัสที่พืชดูดเอาไปใช้จะอยู่ในรูปของฟอสเฟตอิออน ($H_2PO_4^-$ หรือ HPO_4^{2-}) มากกว่าที่จะอยู่ในรูปของธาตุ ฟอสฟอรัสในธรรมชาติไม่ได้อยู่ในรูปของธาตุเดี่ยวหรือธาตุที่บริสุทธิ์หรือในลักษณะของกาซเนื่องจากเสถียรภาพทางเคมี แหล่งกำเนิดเริ่มแรกของฟอสฟอรัสในวงการอุตสาหกรรมก็คือ กระดูกสัตว์ แต่ในปัจจุบันการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีปริมาณสูงจึงได้พยายามหาแหล่งฟอสฟอรัส

อื่น ๆ มาใช้ที่สำคัญก็คือ หินฟอสเฟต (phosphate rock) ซึ่งเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย เมื่อนำหินฟอสเฟตมาบดให้ละเอียดและนำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกหรือกรดไนตริกซึ่งจะเปลี่ยนรูปของฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำให้ไปเป็นซูเปอร์ฟอสเฟตซึ่งละลายน้ำได้ ในที่นี้จะได้กล่าวถึงแหล่งแร่ฟอสเฟตและขบวนการผลิตปุ๋ยฟอสเฟต

ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในปุ๋ยฟอสเฟตทุกชนิดจะบอกเป็นเปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักของฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) ก่อนที่จะกล่าวถึงปุ๋ยฟอสเฟตทั้งในเรื่องสมบัติและการผลิตในทางอุตสาหกรรม จำเป็นที่จะต้องเข้าใจความหมายของคำบางคำซึ่งใช้อยู่เสมอเกี่ยวกับปริมาณของฟอสเฟตที่มีอยู่ในปุ๋ย ซึ่งได้แก่ P_2O_5 ที่ละลายน้ำ (water soluble P_2O_5), P_2O_5 ที่ไม่ละลายในซิเตรต (citrate insoluble P_2O_5), P_2O_5 ที่ละลายในซิเตรต (citrate soluble P_2O_5) P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available P_2O_5) และ P_2O_5 ทั้งหมด (total P_2O_5)

P_2O_5 ที่ละลายน้ำ หมายถึงปริมาณของ P_2O_5 ที่ละลายในน้ำ ระบุเป็นเปอร์เซนต์ของ P_2O_5 ในตัวอย่างทั้งหมด

P_2O_5 ที่ละลายในซิเตรต หมายถึงปริมาณ P_2O_5 ที่ละลายในสารละลายแอมโมเนียมซิเตรตที่อยู่ในสภาพสะเทินและมีความเข้มข้น 1 นอร์มัล ระบุเป็นเปอร์เซนต์ของ P_2O_5 ในตัวอย่างทั้งหมด

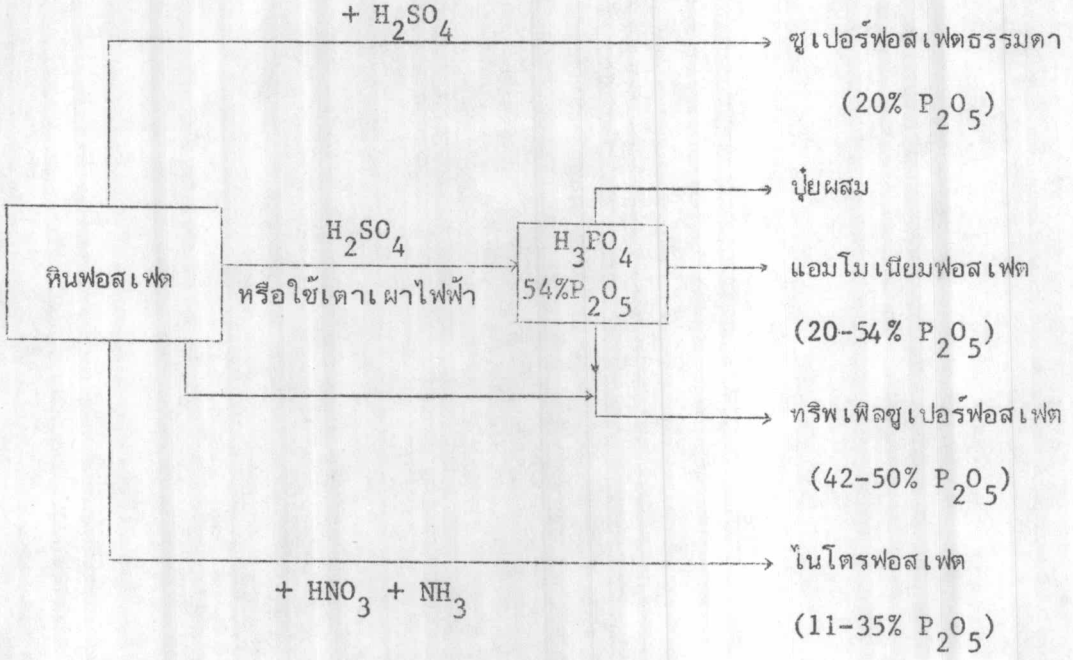
P_2O_5 ที่ไม่ละลายในซิเตรต หมายถึงปริมาณ P_2O_5 ที่วิเคราะห์จากกากที่เหลือจากการสะกัดด้วยน้ำและสารละลายซิเตรต

P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หมายถึงปริมาณ P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งเป็นผลบวกของ P_2O_5 ที่ละลายน้ำกับ P_2O_5 ที่ละลายในซิเตรต

P_2O_5 ทั้งหมด หมายถึงปริมาณของ P_2O_5 ซึ่งเป็นผลบวกของ P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์กับ P_2O_5 ที่ไม่ละลายในซิเตรต

3.3.1 หินฟอสเฟต แร่ (mineral) ที่มีหินฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบเรียกว่าแร่ - อะพาไตต์ (apatite) ซึ่งเกิดจากการเย็นตัวและตกผลึกออกมาของแมกมาที่กำลังละลาย (molten magma) ซึ่งเป็นสารประกอบของแคลเซียมฟอสเฟต แต่มี $CaCl_2$ และ CaF_2 เจือปนอยู่ในแร่นั้น เท่าที่ทราบกันอยู่ในเวลานี้ แร่อะพาไตต์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดซึ่งแสดงด้วยสูตรทางเคมีเป็น $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH, CO_3)$ อะพาไตต์ที่พบกันมากได้แก่ ฟลูออราพาไตต์ (*fluora-*

patite), $Ca_5(PO_4)_3F$ หินฟอสเฟตชนิดนี้เมื่อมีความบริสุทธิ์มีเปอร์เซนต์ P_2O_5 ถึง 40.9 - 42.26 ซึ่งมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสสูงกว่าหินฟอสเฟตชนิดอื่น ๆ และนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่าง ๆ ได้ดังแผนภาพรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตที่สำคัญจากหินฟอสเฟต

3.3.2 ปุ๋ยฟอสเฟต ดังได้กล่าวมาแล้วว่าปุ๋ยฟอสเฟตที่สำคัญนั้นได้มาจากหินฟอสเฟต ดังนั้นกรรมวิธีในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตจึงใช้หินฟอสเฟตเป็นสารตั้งต้นโดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตนั้น ๆ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงปุ๋ยฟอสเฟตบางตัวซึ่งมีความสำคัญในวงการอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยในปัจจุบัน

3.3.2.1 กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) กรดชนิดนี้ในปัจจุบันมีความสำคัญมาก เพราะใช้ได้ทั้งเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำแล้วใส่ให้กับพืชโดยตรง และที่สำคัญก็คือเป็นกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยชนิดอื่น ๆ เช่น ทริพเพิลซูเปอร์ฟอสเฟต หรือแอมโมเนียมฟอสเฟต การเตรียมกรดฟอสฟอริกจากหินฟอสเฟตทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกเป็นวิธี เตรียมปุ๋ยจากการทำปฏิกิริยาในสารละลาย (wet process) โดยใช้หินฟอสเฟต $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$ ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกเข้มข้นดังสมการ

$$Ca_5(PO_4)_3F + 5H_2SO_4 + 10H_2O \longrightarrow 5(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + HF + 3H_3PO_3 \quad (3\text{-}5)$$

วิธีที่สองเป็นการเผาหินฟอสเฟตด้วยเตาเผาไฟฟ้า (electric furnace) โดยเผาธาตุฟอสฟอรัสให้เป็นฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ แล้วจึงทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้กรดฟอสฟอริกซึ่งจะมีฟอสฟอรัส 24 เปอร์เซนต์ (55% P_2O_5) สามารถจะใช้กรดชนิดนี้ใส่ลงไปในดินโดยตรงโดยละลายกรดชนิดนี้ร่วมไปกับน้ำชลประทานที่ทดให้แก่พืชที่ปลูก

3.3.2.2 ซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา (Ordinary superphosphate) ฟอสฟอรัสในหินฟอสเฟตส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไตรแคลเซียมฟอสเฟต, $Ca_3(PO_4)_2$ ซึ่งละลายน้ำได้ยาก ต่อมาได้มีผู้พบว่าถ้าต้องการให้หินฟอสเฟตให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นหรือให้ละลายน้ำได้มากขึ้นก็ต้องทำให้หินฟอสเฟตเปลี่ยนรูปเสียก่อน ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมทำกันและเป็นวิธีที่ต้นทุนการผลิตต่ำก็คือ นำหินฟอสเฟตมาทำปฏิกิริยากับกรดเช่น กรดไนตริก, กรดไฮโดรคลอริก, กรดซัลฟูริก และกรดฟอสฟอริก ทำให้หินฟอสเฟตในรูปของ $Ca_3(PO_4)_2$ ซึ่งละลายน้ำได้ยากก็จะเปลี่ยนไปเป็นไดแคลเซียมฟอสเฟต, $CaHPO_4$ และโมโนแคลเซียมฟอสเฟต $Ca(H_2PO_4)_2$ ซึ่งฟอสเฟตทั้ง 2 รูปนี้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

กรดซัลฟูริกเป็นกรดที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา โดยผสมกรดซัลฟูริกกับหินฟอสเฟต ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ดังสมการ

$$2Ca_5(PO_4)_3F + 7H_2SO_4 \longrightarrow \underset{\text{โมโนแคลเซียมฟอสเฟต}}{3Ca(H_2PO_4)_2} + 7CaSO_4 + 2HF \quad (3\text{-}6)$$

ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นภายใน 2-3 ชั่วโมง แต่ต้องปล่อยให้ผลผลิตที่ได้อยู่ในถังประมาณ 24 ถึง 36 ชั่วโมงเพื่อทำการบ่ม (curing process) ในระหว่างการบ่มปริมาตรอาจลดลงอย่างน้อย 10 เปอร์เซนต์ เนื่องจากการระเหยของน้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบฟลูออรีน แคลเซียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะทำหน้าที่เป็นตัวกระทำแห้ง (drying agent) จะรวมอยู่กับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งรวมเรียกว่า ซูเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งมี P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณ 18-22 เปอร์เซนต์ และมีกำมะถันประมาณ 10-12 เปอร์เซนต์ นอกนั้นเป็นสิ่งเจือปนอื่น ๆ

3.3.2.3 ทริพเพิล ซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple superphosphate) ทริพเพิล ซูเปอร์ฟอสเฟตมี P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ 43 ถึง 48 เปอร์เซนต์ ซึ่งประกอบด้วยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเช่นเดียวกับซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา ผิดกันตรงที่ทริพเพิลซูเปอร์ฟอสเฟตประกอบด้วยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่ ส่วนซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดามีแคลเซียมซัลเฟตในปริมาณสูง กรดที่ใช้ในปฏิกิริยาคือ กรดฟอสฟอริก ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ

$$Ca_5(PO_4)_3F + 7\ H_3PO_4 \longrightarrow 5Ca(H_2PO_4)_2 + HF \qquad (3\text{-}7)$$

โมโนแคลเซียมฟอสเฟต

3.3.2.4 แอมโมนิเอดเตด ซูเปอร์ฟอสเฟต (Ammoniated superphosphate) วัตถุประสงค์ของการผลิตปุ๋ยชนิดนี้เพื่อทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตดีขึ้น คือไม่จับตัวแข็งเป็นก้อนเมื่อทิ้งไว้ในที่มีความชื้นสูง และในเวลาเดียวกันก็จะได้เพิ่มธาตุไนโตรเจนด้วย ปุ๋ยชนิดนี้เตรียมได้โดยการผ่านกาซแอมโมเนีย หรือน้ำแอมโมเนียลงในปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต ปกติในปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตจะมีสารประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ชนิดคือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตและแคลเซียมซัลเฟต ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน

ปฏิกิริยาขั้นแรกจะเปลี่ยนโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ละลายน้ำไปเป็นไดแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งละลายในสารละลายซิเตรตกับโมโนแอมโมเนียม ฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (water soluble monoammonium phosphate, MAP) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ

$$Ca(H_2PO_4)_2 + NH_3 \longrightarrow CaHPO_4 + NH_4H_2PO_4 \qquad (3\text{-}8)$$

ไดแคลเซียมฟอสเฟต

เมื่อผ่านแอมโมเนียลงในซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นปริมาณมาก (มากกว่า 2.5%) แอมโมเนียที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อไปได้ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (diammonium phosphate, DAP) ซึ่งละลายในน้ำ, ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (ซึ่งไม่ละลายในน้ำและสารละลายซิเตรต) และแอมโมเนียมซัลเฟตดังสมการ

$$NH_4H_2PO_4 + NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2HPO_4 \qquad (3\text{-}9)$$

$$2CaHPO_4 + CaSO_4 + 2NH_3 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + (NH_4)_2SO_4 \qquad (3\text{-}10)$$

ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับแคลเซียมซัลเฟตได้ไดแคลเซียมฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟตดังสมการ

$$(NH_4)_2HPO_4 + CaSO_4 \longrightarrow CaHPO_4 + (NH_4)_2SO_4 \qquad (3\text{-}11)$$

จะเห็นว่าเมื่อผสมปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต เข้ากับแอมโมเนีย ปริมาณของไนโตรเจนและ P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแอมโมเนียที่ใช้ในปฏิกิริยา โดยทั่วไปปุ๋ยชนิดนี้จะมีไนโตรเจน 3-4 เปอร์เซนต์ และ P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ 15-18 เปอร์เซนต์ ปุ๋ยพวกนี้เรียกว่าปุ๋ยแอมโมฟอส ปุ๋ยแอมโมฟอสอาจจะทำให้มีไนโตรเจนสูงขึ้นถึง 11 เปอร์เซนต์ และ P_2O_5 ที่เป็นประโยชน์ถึง 48 เปอร์เซนต์ได้โดยผ่านกาซแอมโมเนียลงในทริพเพิลซูเปอร์ฟอสเฟต

3.3.2.5 แอมโมเนียมฟอสเฟต ปุ๋ยชนิดนี้เตรียมได้โดยใช้แอมโมเนียทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 ชนิดคือ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (11-48-0) และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (16-48-0)

ในบางกรณีจะใช้กรดฟอสฟอริกผสมกับกรดซัลฟูริก ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียได้โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตกับแอมโมเนียมซัลเฟต กรรมวิธีนี้ใช้ในการผลิตปุ๋ยเกรด 16-20-0, 18-22-0 และ 13-39-0 ในขณะเดียวกันอาจจะใช้สารละลายของแอมโมเนียมไนเตรตทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกและแอมโมเนียได้โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตผสมกับแอมโมเนียมไนเตรต เช่นปุ๋ยเกรด 20-20-0 และ 30-30-0 ในกรณีที่ต้องการผลิตปุ๋ยสมบูรณ์ทำได้โดยการเติมแร่โพแทสลงไปในปุ๋ยผสมนั้น ๆ

3.3.2.6 ไนตริกฟอสเฟต (Nitricphosphate) กรรมวิธีผลิตปุ๋ยไนตริกฟอสเฟตทำได้โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างหินฟอสเฟตกับกรดไนตริกแล้วสะเทินด้วยแอมโมเนีย ปุ๋ยชนิดนี้ประกอบด้วยแอมโมเนียมไนเตรต, ไดแคลเซียมฟอสเฟต, โมโนแคลเซียมฟอสเฟต, ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต, แคลเซียมฟลูออไรด์และแคลเซียมซัลเฟต ปุ๋ยที่ผลิตโดยกรรมวิธีนี้ได้แก่ปุ๋ยเกรด 20-20-0, 26-14-0 และ 14-28-0 และเติมแร่โพแทสในกรณีที่ต้องการปุ๋ยสมบูรณ์

3.4 ปุ๋ยโพแทสเซียม (Potash fertilizers)

วัตถุดิบที่นำมาทำปุ๋ยที่ให้ธาตุโพแทสเซียมนั้นส่วนมากผลิตแร่โพแทสเซียมต่าง ๆ ซึ่งส่วนมากเป็นแร่ที่ละลายน้ำ แร่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่โพแทสเซียม คลอไรด์ (muriate of potash) และโพแทสเซียมซัลเฟต เปอร์เซนต์ของโพแทสเซียมแสดงได้ในเทอมของ K_2O แหล่งแร่ที่สำคัญของโพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมซัลเฟต แสดงไว้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งแร่โพแทสเซียม

แร่	สูตรเคมี	เปอร์เซนต์ K_2O
ซิลไวต์ (sylvite)	KCl	63.1
คาร์นาลไลต์ (carnallite)	$KCl.MgCl_2.6H_2O$	17.0
เคไนต์ (kainite)	$KCl.MgSO_4.3H_2O$	18.9
โพลีเฮไลต์ (polyhalite)	$K_2SO_4.MgSO_4.2CaSO_4.2H_2O$	15.5
แลงบีไนต์ (langbeinite)	$K_2SO_4.2MgSO_4$	22.6

สินแร่เหล่านี้ปกติจะไม่อยู่ในสภาพบริสุทธิ์มักจะมีเกลืออื่น ๆ ปนอยู่ด้วยไม่มากก็น้อยรวมทั้งดิน, ทราย และอินทรีย์วัตถุเจือปนมาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าสินแร่เหล่านี้มีเปอร์เซนต์สูงพอสมควร บางครั้งอาจจะขุดสินแร่เหล่านั้นมาบดให้ละเอียดใช้ทำเป็นปุ๋ยได้ทันที แต่ทว่าสินแร่บางอย่างอาจจะมีเกลือพวก NaCl, $MgCl_2$ และเกลือของอลูมิเนียมอยู่มาก เมื่อนำแร่นี้มาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงอาจทำให้พืชตายได้ เนื่องจากความเป็นพิษของเกลือดังกล่าวเมื่อสะสมอยู่ในดินเป็นปริมาณมากๆ ในระยะต่อมาจึงได้มีการแยกเอาโพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมซัลเฟตออกจากสินแร่เหล่านี้และทำให้บริสุทธิ์ขึ้น

3.4.1 ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ แร่ชนิดนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก แหล่งแร่ส่วนใหญ่มาจากแร่ซิลไวต์ วิธีทำให้แร่ชนิดนี้บริสุทธิ์ส่วนใหญ่ใช้วิธีการลอยตัว (flotation process) และการตกตะกอน วิธีนี้ทำได้โดยการเติมสารที่ทำให้ลอยตัว (flotation agent) เช่น อลิเฟติก เอมีน อะซีเตต (aliphatic amine acetate) ซึ่งจะทำให้โพแทสเซียมคลอไรด์

ลอยตัวแยกออกมาได้

3.4.2 โพแทสเซียมซัลเฟต ตามปกติแร่นี้มี K_2O ระหว่าง 48 ถึง 50 เปอร์เซนต์ ซึ่งเตรียมได้จากแร่โพแทสเซียมเช่นเดียวกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยการทำสินแร่ให้บริสุทธิ์ แร่ที่นำมาทำปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟตส่วนมากได้แก่ แร่แลงบีไนต์ ($K_2SO_4.2MgSO_4$) โดยนำมาละลายที่อุณหภูมิ 50^o c ให้เข้มข้นที่สุด แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่เข้มข้นลงไป โพแทสเซียมซัลเฟตจะตกผลึกและแยกเอาตะกอนออกมาปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้

$$K_2SO_4.2MgSO_4 + 4KCl \longrightarrow 3K_2SO_4 + 2MgCl_2 \qquad (3\text{-}12)$$

โพแทสเซียมซัลเฟตอาจจะเตรียมได้จากการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก ซึ่งจะได้โพแทสเซียมซัลเฟตบริสุทธิ์มากกว่าวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นดังสมการ

$$2KCl + H_2SO_4 \longrightarrow K_2SO_4 + 2HCl \qquad (3\text{-}13)$$

3.4.3 โพแทสเซียมไนเตรต ปุ๋ยชนิดนี้ไม่นิยมใช้กันมากนักเพราะมีราคาแพง เนื่องจากต้องเตรียมขึ้นจากสารเคมีเพราะแหล่งแร่ชนิดนี้มีน้อย โพแทสเซียมไนเตรตผลิตได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไนเตรตกับโพแทสเซียมคลอไรด์ดังสมการ

$$NaNO_3 + KCl \longrightarrow KNO_3 + NaCl \qquad (3\text{-}14)$$

โซเดียมคลอไรด์จะตกผลึกและแยกตัวออกมา จากนั้นทำสารละลายให้แห้งจะได้โพแทสเซียมไนเตรต

3.5 ปุ๋ยผสม (Mixed fertilizers)

ปุ๋ยผสมหมายถึงปุ๋ยวิทยาศาสตร์ที่ประกอบขึ้นจากการนำเอาปุ๋ยที่มีธาตุอาหาร N, P_2O_5 และ K_2O มาผสมกันเข้าเพื่อให้เป็นปุ๋ยอันเดียวกัน โดยมีธาตุอาหารอยู่เป็นปริมาณและสัดส่วนที่ต้องการ ปุ๋ยผสมนี้ไม่จำเป็นจะต้องมีครบทั้ง 3 ธาตุ ซึ่งอาจจะมีเพียง NP, NK หรือ PK ก็ได้ ซึ่งเรียกปุ๋ยผสมนี้ว่า ปุ๋ยผสมที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนปุ๋ยผสมที่มีธาตุอาหารครบทั้ง 3 ธาตุ เรียกว่าปุ๋ยผสมที่สมบูรณ์ แต่ถ้าแบ่งชนิดของปุ๋ยผสมตามกรรมวิธีการผลิตแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. ปุ๋ยผสมแบบแห้ง (Dry mixed fertilizers) เป็นปุ๋ยผสมที่ทำขึ้นโดยการนำเอาวัตถุดิบของธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดซึ่งอยู่ในลักษณะเป็นเม็ด นำมาบดเข้าด้วยกันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

2. ปุ๋ยผสมแบบเปียก (Wet mixed fertilizers) ปุ๋ยผสมชนิดนี้ได้จากการนำเอาวัตถุดิบของธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยากันในสารละลาย เช่น ปุ๋ยแอมโมนิเอตเตด ซูเปอร์ - ฟอสเฟต ซึ่งเกิดปฏิกิริยาขึ้นในสารละลาย

วิธีการผลิตปุ๋ยผสมในปัจจุบันทำกันได้หลายวิธีซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่จะนำมาใช้โดยแบ่งออกได้ดังนี้คือ

1. การผลิตปุ๋ยผสมแบบแห้งที่เป็นผง เป็นวิธีที่ใช้ตั้งแต่เริ่มแรก โดยการนำปุ๋ยแต่ละชนิดที่มีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบซึ่งอยู่ในรูปของของแข็งและบดอย่างละเอียด จากนั้นนำมาผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่ต้องการ ปุ๋ยที่ผสมกันแล้วจะถูกทำให้ชื้นแล้วทำให้เป็นเม็ดอบให้แห้ง วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยผสมแบบนี้ได้แก่ ซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดาและทริพเพิลซูเปอร์ฟอสเฟต, โพแทสเซียมคลอไรด์ หรือโพแทสเซียมซัลเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟต ข้อเสียของการผลิตปุ๋ยชนิดนี้ก็คือ ไม่สามารถที่จะนำปุ๋ยที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ เช่นแอมโมเนียหรือน้ำแอมโมเนียมาใช้ได้

2. การผลิตปุ๋ยผสมแบบแห้งที่เป็นเม็ด วิธีผลิตแบบนี้ใช้วัตถุดิบที่เป็นปุ๋ยเม็ดของแต่ละชนิดมาผสมกันโดยมีข้อแม้ว่า ปุ๋ยเม็ดที่นำมาผสมของแต่ละชนิดจะต้องมีขนาด พอ ๆ กัน เพราะจะได้ปุ๋ยผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน

3. การผลิตปุ๋ยผสมในสารละลาย การผลิตวิธีนี้ใช้แอมโมเนียทำปฏิกิริยากับซูเปอร์ฟอสเฟต โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นในสารละลาย (ได้อธิบายไว้ใน 3.3.2) จากนั้นจึงเติมปุ๋ยโพแทส - เซียมลงไปเพื่อให้ครบธาตุอาหารพืช ปุ๋ยชนิดนี้มีต้นทุนการผลิตต่ำ จึงเป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

3.6 อุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยผสมในประเทศไทย

ในประเทศไทยแหล่งแร่ที่เป็นวัตถุดิบซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยมีน้อย เช่นแหล่งแร่ของหินฟอสเฟตซึ่งพบไม่กี่แห่ง และแต่ละแห่งก็มีปริมาณน้อยไม่เพียงพอที่จะทำเป็นอุตสาหกรรมได้ ส่วนแหล่งแร่โพแทสเซียมในประเทศไทยพบว่ามีมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำทะเลในดึกดำบรรพ์ แร่ที่พบได้แก่ แร่คาร์นาลไลต์เป็นส่วนมากและแร่ซิลไวต์เป็นส่วนน้อย (7) นอกจากนี้ยังพบแร่แทกไฮไดรต์ (tachyhydrite, $CaCl_2 . 2MgCl_2 . 12H_2O$) แร่เหล่านี้พบว่าเกิดรวมอยู่กับแร่เกลือหิน ($NaCl$) ซึ่งในชั้นของเกลือหินบางบริเวณพบว่าหนามาก

แร่คาร์นาลไลต์มีปริมาณของ K_2O ต่ำกว่า 10 เปอร์เซนต์ในขณะนี้ยังไม่มีการขุดแร่นี้มาใช้ เพราะว่ามีปริมาณโพแทสเซียมต่ำและเกิดรวมอยู่กับเกลือหิน การขุดนำมาใช้ต้องใช้ต้นทุนการผลิตสูงแต่ในอนาคตอันใกล้นี้อาจจะมีการขุดนำมาใช้เนื่องจากความต้องการแร่ชนิดนี้กำลังทวีคูณขึ้นทุกขณะ

เนื่องจากในประเทศไทยยังขาดแหล่งแร่ในการผลิตปุ๋ย ดังนั้นปุ๋ยที่ใช้ในประเทศทั้งหมดจึงต้องสั่งมาจากต่างประเทศ จากอเมริกา, ออสเตรเลีย, เยอรมัน, นอร์เวย์, รูเมเนีย, อิตาลี, และญี่ปุ่น ซึ่งปุ๋ยที่นำเข้ามาจะอยู่ในรูปของปุ๋ยเม็ด วัตถุประสงค์ของการสั่งปุ๋ยเข้ามาในประเทศนี้มี 2 ประการคือ ประการแรกเพื่อนำไปใช้ในการเกษตรโดยตรง ปุ๋ยที่สั่งเข้ามาส่วนใหญ่จะเป็นปุ๋ยผสมเกรดต่าง ๆ และปุ๋ยเดี่ยว ประการที่สองเพื่อนำไปใช้ในการผลิตปุ๋ยผสม ในประเทศไทยมีโรงงานผสมปุ๋ยแบบแห้งเพียงแห่งเดียวได้แก่ บริษัทไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด โดยสั่งปุ๋ยเดี่ยวและปุ๋ยผสมเข้ามาเช่น $(NH_4)_2SO_4$, NH_4Cl, KCl, K_2SO_4, MAP (11-48-0), DAP(16-48-0) และยูเรีย เป็นต้น กรรมวิธีการผลิตใช้วิธีแบบแห้งที่เป็นผง โดยนำวัตถุดิบดังกล่าวบดให้ละเอียดแล้วผสมเข้าด้วยกันตามเกรดปุ๋ยที่ต้องการ ทำให้เป็นเม็ด บรรจุกระสอบ

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าการผลิตปุ๋ยผสมในประเทศไทยยังมีน้อยเนื่องจากขาดปัจจัยหลาย ๆ อย่าง และปุ๋ยส่วนใหญ่ที่ใช้กันภายในประเทศต้องสั่งมาจากต่างประเทศทั้งสิ้น ราคาปุ๋ยในประเทศจึงค่อนข้างสูง