บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยที่ผสมแบบคลุกเคล้าในช่วงระยะเวลาการจัดเก็บ ผู้วิจัยขอนำเสนอแนวคิดและทฤษฎี ดังนี้

1. ความหมายของปุ๋ยเคมี
2. การจำแนกปุ๋ยเคมี
3. มาตรฐานของปุ๋ยเคมี
4. แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชบางชนิด
5. การผลิตแอมโมเนียมซัลเฟต
6. การผสมปุ๋ยแบบคลุกเคล้า (Bulk blending)

1. ความหมายของปุ๋ยเคมี

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 ให้ความหมายของปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบและปุ๋ยอินทรีย์เคมี แต่ไม่รวมถึง (1) ปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์ ยิปซัม โดโลไมต์ หรือสารอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา (2) สารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามที่มุ่งหมายสำหรับใช้ในการอุตสาหกรรมหรือกิจการอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ปุ๋ยเคมีเกือบทั้งหมดในปัจจุบัน (พ.ศ. 2555) เป็นสารอนินทรีย์ ยกเว้นปุ๋ยยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) และแคลเซียมไซยานาไมด์ (calcium cyanamide หรือ nitro - lime, $CaCN_2$) ที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติด้านการละลายน้ำและความเป็นประโยชน์ต่อพืชคล้ายคลึงกับปุ๋ยอนินทรีย์มากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ทั่วไป ดังนั้น จึงรวมปุ๋ยอนินทรีย์กับปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์เข้าด้วยกันเรียกว่า “ปุ๋ยเคมี”

2. การจำแนกปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีอาจจำแนกโดยยึดถือแนวทางที่แตกต่างกัน 3 แนวทางคือ 1) จำแนกตามชนิดของธาตุอาหารที่มีในปุ๋ย 2) จำแนกตามธาตุอาหารหลักในปุ๋ยและธาตุอาหารรอง และ 3) จำแนกตามสถานะของปุ๋ย ดังนี้

2.1 จำแนกตามชนิดของธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยเคมี

การจำแนกตามชนิดของธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือปุ๋ยธาตุอาหารหลัก (ปุ๋ยธาตุหลัก) ปุ๋ยธาตุอาหารรอง (ปุ๋ยธาตุรอง) และปุ๋ยจุลธาตุ (ปุ๋ยธาตุอาหารเสริม) ดังนี้

2.1.1 ปุ๋ยธาตุหลัก คือ ปุ๋ยที่มีธาตุหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีธาตุอาหารหลักเดี่ยวๆ และกลุ่มที่มีธาตุหลักมากกว่าหนึ่งธาตุดังนี้

1) กลุ่มที่มีธาตุอาหารหลักเดี่ยวๆ มี 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือปุ๋ยฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมหรือปุ๋ยโพแทช

(1) ปุ๋ยไนโตรเจน หมายถึง ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจนเป็นสำคัญ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์และยูเรีย

(2) ปุ๋ยฟอสฟอรัสและปุ๋ยฟอสเฟต หมายถึง ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสเป็นสำคัญ เช่น ทริปเปอร์ซูเปอร์ฟอสเฟต และดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต

(3) ปุ๋ยโพแทสเซียมหรือปุ๋ยโพแทช หมายถึง ปุ๋ยที่ให้ธาตุโพแทสเซียมเป็นสำคัญ เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมซัลเฟต

2) ปุ๋ยที่มีธาตุหลักมากกว่าหนึ่งธาตุ หมายถึง ปุ๋ยที่ให้ธาตุหลักเป็นองค์ประกอบมากกว่าหนึ่งธาตุ เช่น ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต มีไนโตรเจนกับฟอสฟอรัสและโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต มีฟอสฟอรัสกับโพแทสเซียม

2.1.2 ปุ๋ยธาตุรอง คือ ปุ๋ยที่มีธาตุรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน) เป็นองค์ประกอบอาจมีธาตุรองหนึ่งธาตุหรือมากกว่าหนึ่งธาตุ เช่น แคลเซียมซัลเฟต มีแคลเซียมและกำมะถัน แมกนีเซียมซัลเฟต มีแมกนีเซียมและกำมะถัน เป็นต้น

2.1.3 ปุ๋ยจุลธาตุหรือปุ๋ยธาตุอาหารเสริม คือ ปุ๋ยที่มีจุลธาตุเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแบ่งเป็นปุ๋ยจุลธาตุอนินทรีย์ และปุ๋ยคีเลต ดังนี้

1) ปุ๋ยจุลธาตุอนินทรีย์ เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ให้จุลธาตุ เช่น โซเดียมบอเรต (มีโบรอน) เฟอรัสซัลเฟต (มีเหล็ก) และสังกะสีซัลเฟต (มีสังกะสี) เป็นต้น

2) ปุ๋ยคีเลต เป็นสารคีเลตที่มีจุลธาตุพวกโลหะเป็นองค์ประกอบ เช่น เหล็กอีดีทีเอ (Fe-EDTA, EDTA คือ ethylenediaminetetraacetic acid) เป็นต้น

2.2 จำแนกจากจำนวนธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมี

การจำแนกจากจำนวนธาตุอาหารหลักในปุ๋ย สามารถจำแนกตามจำนวนธาตุอาหารหลักได้เป็น 3 ประเภท คือ ปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงประกอบ และปุ๋ยเชิงผสม ดังนี้

2.2.1 ปุ๋ยเชิงเดี่ยว คือ ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุหลักธาตุเดี่ยว ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทช ดังแสดงใน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ปุ๋ยเชิงเดี่ยวที่พบโดยทั่วไป (common straight fertilizers)

ปุ๋ย	ปริมาณธาตุอาหารรับรอง (%)		
	N	**P_2O_5**	**K_2O**
ปุ๋ยไนโตรเจน			
ยูเรีย	46.6	-	-
แอมโมเนียมซัลเฟต	21.2	-	-
แอมโมเนียมไนเตรท	35.0	-	-
แลเซียมไนเทรต	11.9	-	-
แอนไฮดรัสแอมโมเนีย	82.2	-	-
ปุ๋ยฟอสเฟต			
ซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมดา	-	20	-
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	-	46	-
ปุ๋ยโพแทส			
โพแทสเซียมคลอไรด์	-	-	60.0
โพแทสเซียมซัลเฟต	-	-	54.0

ที่มา : Morvedt and Sine (1995)

2.2.2 ปุ๋ยเชิงประกอบ คือ ปุ๋ยเคมีที่ทำขึ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมี และมีธาตุหลักอย่างน้อยสองธาตุ เช่น ปุ๋ยโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตและโพแทสเซียมไนเทรต เป็นต้น

2.2.3 ปุ๋ยเชิงผสม คือ ปุ๋ยเคมีที่ได้จากการผสมปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามที่ต้องการ สำหรับปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดที่นำมาผสมเข้าด้วยกันเรียกว่าแม่ปุ๋ย (fertilizer materials หรือ fertilizer carriers) เช่น การผสมปุ๋ยยูเรีย ไดแอมโมเนียฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้าด้วยกันแบบคลุกเคล้า

ปุ๋ยผสมมีสูตรต่างๆ หลายสูตร และปุ๋ยผสมสูตรเดียวกันก็อาจมีรูปของธาตุอาหารเหมือนกันถ้าใช้แม่ปุ๋ยแบบเดียวกัน หรือแตกต่างกันก็ได้หากใช้แม่ปุ๋ยต่างกัน

2.2.4 ประเภทของปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงผสมแบ่งตามวิธีผลิตได้ 3 ประเภท คือ ปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้า ปุ๋ยผสมปั้นเม็ดแบบคอมแพก และปุ๋ยผสมปั้นเม็ดด้วยไอน้ำ/น้ำ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

1) ปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้า (bulk blending) เป็นปุ๋ยเชิงผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ปุ๋ยเชิงผสมประกอบด้วย แม่ปุ๋ยแต่ละชนิดซึ่งคลุกเคล้ากันอย่างง่ายๆ โดยสภาพและรูปทรงของเม็ดปุ๋ยเหมือนกับก่อนที่จะนำมาผสม ซึ่งเกษตรกรสามารถผสมใช้เองได้

2) ปุ๋ยเชิงผสมปั้นเม็ดแบบคอมแพก (compaction granulation) เป็นการผลิตโดยนำแม่ปุ๋ยชนิดผงที่แห้งมาผสมกันให้ได้สูตรปุ๋ยที่ต้องการ แล้วอัดให้เป็นเม็ดโดยกระบวนการที่ใช้แรงเชิงกล ปุ๋ยเชิงผสมแต่ละเม็ดมีส่วนผสมสม่ำเสมอ รูปทรงของเม็ดปุ๋ยคล้ายเม็ดทราย

3) ปุ๋ยเชิงผสมปั้นเม็ดด้วยไอน้ำหรือน้ำ (steam/water granulation) เป็นการผลิตโดยนำแม่ปุ๋ยที่เข้ากันได้ทางเคมีชนิดผงมาผสมกันให้ได้สูตรปุ๋ยตามที่ต้องการ หลังจากนั้นเติมไอน้ำหรือน้ำในถังผสมเพื่อให้ปุ๋ยผสมมีความชื้นพอเหมาะสำหรับการเกิดเม็ดแล้วส่งไปยังเครื่องปั้นเม็ด โดยปุ๋ยเชิงผสมแต่ละเม็ดมีส่วนผสมสม่ำเสมอ รูปทรงของเม็ดปุ๋ยค่อนข้างกลม

2.3 จำแนกตามสถานะของปุ๋ย

สามารถจำแนกปุ๋ยเคมีได้เป็น 3 ประเภท คือ ปุ๋ยเคมีในรูปของแข็ง ปุ๋ยเคมีในรูปของเหลวและปุ๋ยเคมีในรูปก๊าซ

2.3.1 ปุ๋ยเคมีในรูปของแข็ง แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1) ปุ๋ยเคมีผง คือ ปุ๋ยที่มีเนื้ออยู่ในรูปผงละเอียด ส่วนใหญ่ได้จากการนำปุ๋ยเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ยที่จะใช้ปุ๋ยผสมมาบดให้มีขนาดของเม็ดเล็กลงไปกว่าเดิม ยกตัวอย่างเช่น ปุ๋ยเคมีธรรมชาติที่รู้จักคือหินฟอสเฟตที่นิยมใช้กับพืชปลูกในดินกรดและพืชยืนต้น ส่วนมากมักจะบดให้อย่างน้อยร้อยละ 80 มีความละเอียดประมาณ 100 เมช (mesh) (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.149 มิลลิเมตร) เพื่อให้ปุ๋ยละลายได้ง่ายและปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เร็วขึ้น

2) ปุ๋ยผลึก หรือ ปุ๋ยเกล็ด (crystal) มีสภาพเป็นผลึกซึ่งเกิดขึ้นจากการตกผลึกในกระบวนการผลิตปุ๋ย หรือโดยการแยกผลึกออกจากสิ่งเจือปนในสินแร่ ปุ๋ยเกล็ดที่มีการผลิตออกมา

ขายกันในท้องตลาด มีทั้งปุ๋ยเคมีใช้ทางดินและทางใบ ทั้งในรูปปุ๋ยเดี่ยวและปุ๋ยผสม ตัวอย่างปุ๋ยเกล็ดที่นิยมใช้กับพืชโดยทางดินมากที่สุด ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต

3) ปุ๋ยเม็ด เกิดจากการนำปุ๋ยที่มีสภาพเดิมเป็นผงมาปั้นเม็ด เพื่อให้เป็นเม็ดตามขนาดที่ต้องการ

2.3.2 ปุ๋ยเคมีในรูปของเหลว แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) ปุ๋ยเหลวใส คือ ปุ๋ยเหลวที่ตัวละลายมีการละลายน้ำสมบูรณ์จึงใสไม่มีตะกอน ปุ๋ยน้ำในรูปสารละลายที่มีการผลิตใช้กันมีทั้งปุ๋ยเดี่ยวและปุ๋ยผสม เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียเหลว (aqua ammonia) และยูเรียแอมโมเนียมไนเทรต (urea - ammonium nitrate) ปุ๋ยเหลวใสสามารถให้กับพืชโดยการฉีดพ่นทางใบหรือให้พร้อมกับระบบชลประทาน (fustigation) ก็ได้

2) ปุ๋ยเหลวมีตะกอนแขวนลอย ปุ๋ยเหลวประเภทนี้มีแม่ปุ๋ยที่เป็นของแข็งบางส่วนละลายน้ำในรูปสารละลายและบางส่วนไม่ละลายน้ำ โดยปกติจะมีการเติมบางอย่างทำให้เกิดความเสถียรของการแขวนลอย เช่น แร่ดินเหนียวบางอย่าง ซึ่งทำให้ส่วนผสมในรูปของเหลวที่มีความหนืดสูงขึ้นและเหนียวข้น ทำให้ปุ๋ยอยู่ในสภาพแขวนลอยและจะตะกอนช้าลง เช่น ปุ๋ยสูตร 15-5-20 + 2MgO และ15-0-0+26CaO เป็นต้น

2.3.3 ปุ๋ยเคมีในรูปก๊าซ ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปก๊าซ (gaseous type) แต่มีสถานะเป็นของเหลว ได้แก่ แอนไฮดรัสแอมโมเนีย (anhydrous ammonia) อยู่ในรูปก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ที่ถูกเปลี่ยนสภาพทางกายภาพให้เป็นของเหลวโดยการบีบอัดด้วยแรงดันสูง อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยประเภทนี้ยังมีข้อจำกัดในการใส่ในดิน เพราะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เฉพาะ

3. มาตรฐานของปุ๋ยเคมี

ในพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 ปุ๋ยเคมี หมายความว่า ปุ๋ยเคมีที่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประกาศกำหนดสูตร ปริมาณขั้นต่ำหรือขั้นสูงของธาตุอาหารหรือสารเป็นพิษและลักษณะจำเป็นอย่างยิ่งอื่นของปุ๋ยเคมีดังกล่าวแต่ละชนิด ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องกำหนดปุ๋ยเคมีมาตรฐานตาม ลงวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ.2535 ข้อ 2 กำหนดให้ปุ๋ยเคมีมาตรฐานมี 7 ชนิด โดยแต่ละชนิดมีลักษณะจำเป็นของปุ๋ยและความชื้นในปุ๋ย ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สำหรับปุ๋ยเคมีทั้ง 7 ชนิดนี้ไม่ต้องขออนุญาตขึ้นทะเบียนปุ๋ยเคมี (มาตรา 35) จึงไม่มีเลขทะเบียนที่ภาชนะหรือที่หีบห่อบรรจุเหมือนกับปุ๋ยเคมีชนิดอื่นๆ และต้องระบุในฉลากว่า “ปุ๋ยเคมีมาตรฐาน” ในขณะที่ปุ๋ยเคมีทั่วไประบุในฉลากว่า “ปุ๋ยเคมี” ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ลงวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2526

ตารางที่ 2.2 ลักษณะที่สำคัญของปุ๋ยเคมีมาตรฐาน

ปุ๋ย	เกณฑ์เรื่องธาตุอาหาร		ลักษณะ	ปริมาณสารพิษ (%โดย น.น.)	ความชื้นไม่เกิน (%)
	ธาตุ	ไม่ต่ำกว่า (%)			
1.แอมโมเนียมซัลเฟต	N	20	ผลึกสีขาวหรือขาวหม่น ไม่เติมสีปรุงแต่ง	-	3
2.ยูเรีย	N	44	เม็ดหรือผลึกสีขาวหรือขาวหม่น ไม่เติมสีปรุงแต่ง	ไบยูเร็ต ≤ 1	3
3.ซูเปอร์ฟอสเฟต	P_2O_5	20	เม็ดหรือผงสีน้ำตาลเทา ไม่เติมสี	สารหนู ≤ 0.5	9
4.ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต	P_2O_5	40	เม็ดหรือผงสีน้ำตาลอ่อนหรือน้ำตาลเทา ไม่เติมสี	สารหนู ≤ 0.5	9
5.ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	P_2O_5	45		สารหนู ≤ 0.5	3
6.โพแทสเซียมคลอไรด์	K_2O	60	ผงหรือเกล็ดสีขาว/น้ำตาลแดง ไม่เติมสี	-	3
7.โพแทสเซียมซัลเฟต	K_2O	48		-	3

3.1 มาตรฐานด้านธาตุอาหารของปุ๋ยเคมี ปริมาณธาตุอาหารรับรองที่ผู้ผลิตปุ๋ยเคมี ผู้นำหรือสั่งปุ๋ยเคมีเข้ามาในราชอาณาจักรระบุไว้ในฉลาก เพื่อยืนยันว่าปุ๋ยเคมีในภาชนะหรือหีบห่อบรรจุนั้น มีไนโตรเจนทั้งหมด (N) ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และโพแทชที่ละลายน้ำ (K_2O) คิดเป็นจำนวนร้อยละของน้ำหนักสุทธิของปุ๋ย ต้องไม่ต่ำกว่าที่ระบุไว้ในฉลาก หากต่ำกว่านี้จะมีความผิดตามกฎหมาย ซึ่งมี 2 ลักษณะดังนี้

3.1.1 ปุ๋ยเคมีปลอม หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง ต่ำกว่าร้อยละสิบจากเกณฑ์ต่ำสุด ตามที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือระบุไว้ในฉลาก

3.1.2 ปุ๋ยเคมีผิดมาตรฐาน หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง ต่ำกว่าเกณฑ์ต่ำสุดตามที่ขึ้นทะเบียนไว้แต่ไม่ถึงขนาดตามข้อ 1)

3.2 เกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมี สำหรับการผลิตปุ๋ยแบบอุตสาหกรรม แม้จะมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ แต่ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างปุ๋ยอาจต่ำกว่าที่ระบุไว้ในฉลาก เนื่องจากความแปรปรวนอันเกิดจากการเก็บตัวอย่างปุ๋ยและการวิเคราะห์ปุ๋ย ดังนั้น ทางราชการจึงกำหนดเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีทุกชนิด กล่าวคือ อนุญาตให้คลาดเคลื่อนหรือแตกต่างในการทำการเตรียมการและการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมี เพื่อตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารรับรอง ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารรับรองในปุ๋ยเคมี ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ลงวันที่ 30 กรกฎาคม 2528

ธาตุหลัก	ปริมาณธาตุอาหารรับรอง (%โดยน้ำหนัก)	เกณฑ์การคลาดเคลื่อนขั้นต่ำจากที่ระบุไว้ในฉลาก (%โดยน้ำหนัก)	
		ปุ๋ยเชิงเดี่ยว/เชิงประกอบ	ปุ๋ยเชิงผสม
ไนโตรเจน	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4
	8.0 ถึง 16.0	0.5	0.6
	16.1 ถึง 24.0	0.6	0.8
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0
ฟอสเฟต	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4
	8.0 ถึง 16.0	0.5	0.6
	16.1 ถึง 24.0	0.6	0.8
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0
โพแทช	น้อยกว่า 8.0	0.5	0.5
	8.0 ถึง 16.0	0.7	0.8
	16.1 ถึง 24.0	0.8	1.0
	มากกว่า 24.0	1.0	1.0

การใช้เกณฑ์คลาดเคลื่อนขั้นต่ำจากที่ระบุไว้ในฉลากของปริมาณธาตุอาหารรับรองในปุ๋ยเคมี ในการประเมินผลการวิเคราะห์ปุ๋ยเชิงผสม ให้ทำดังนี้คือ

3.2.1 นำค่าไนโตรเจนทั้งหมด (% N) ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (% P_2O_5) โพแทชที่ละลายน้ำ (% K_2O) ซึ่งวิเคราะห์ได้ มาบวกกับเกณฑ์คลาดเคลื่อนขั้นต่ำ ของปริมาณธาตุอาหารรับรอง (ตารางที่ 2.3)

3.2.2 หาผลรวมของไนโตรเจนทั้งหมด (% N) ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (% P_2O_5) หรือโพแทชที่ละลายน้ำ (% K_2O) กับเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารรับรงต่ำกว่าปริมาณธาตุอาหารรับรองที่ระบุในฉลากถือว่าไม่ผ่าน แต่ถ้าเท่ากับหรือมากกว่าถือว่าผ่าน ยกตัวอย่างเช่น ปุ๋ยเชิงผสมสูตร 15-15-15 ดังแสดงวิธีการคำนวณในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการคำนวณเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมี

รายการ	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
1) สูตรปุ๋ย	15	15	15
2) ผลการวิเคราะห์ปุ๋ย	14.8	12.0	14.3
3) เกณฑ์คลาดเคลื่อน (ตารางที่ 2.2)	0.6	0.6	0.8
4) ผลรวม =(2) + (3)	15.4	12.6	15.1
5) ผลต่างจากสูตร = (4) – (1)	+0.4	-2.4	+0.1
6) ร้อยละ 10 ของสูตร (15 × 10/100)	1.5	1.5	1.5
7) การตัดสินรายธาตุ	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน

สำหรับการตัดสินโดยรวมนั้น พิจารณาแม้มีเพียงผลการวิเคราะห์ค่าเดียว คือ ค่าฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์(% P_2O_5) ไม่ผ่าน (ผิดเกินร้อยละ 10 เข้าเกณฑ์ปุ๋ยเคมีปลอม) ขณะที่อีกสองค่า คือไนโตรเจนทั้งหมด (% N) และโพแทชที่ละลายน้ำ (% K_2O) ผ่าน สรุปได้ว่า ปุ๋ยสูตรนี้ไม่ผ่านการประเมินและเป็นปุ๋ยเคมีปลอม (ยงยุทธ โอสถสภาและคณะ 2551)

4. แหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชบางชนิด

แหล่งที่มาของธาตุอาหารในที่นี้จะกล่าวถึงธาตุอาหารพืช 4 ชนิด คือ 1) ปุ๋ยไนโตรเจน 2) ปุ๋ยฟอสฟอรัส 3) ปุ๋ยโพแทสเซียม 4) ปุ๋ยแมกนีเซียม

4.1 ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งตามสถานะได้ 3 ประเภท คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งมีทั้งปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นธาตุหลักเพียงธาตุเดียว และปุ๋ยที่มีไนโตรเจนกับธาตุหลักอีกธาตุหนึ่งเป็นองค์ประกอบ ปุ๋ยไนโตรเจนที่สำคัญมีดังนี้

4.1.1 ยูเรีย (urea) เป็นอินทรีย์สารซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $CO(NH_2)_2$ มีไนโตรเจนร้อยละ 46 มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ละลายน้ำได้ดีและดูดความชื้นได้ง่ายมาก เป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่นิยมใช้กันมาก และนิยมนำมาใช้เป็นแม่ปุ๋ยในการผลิตปุ๋ยผสม ปุ๋ยยูเรียเมื่อใส่ลงไปในดินจะให้ผลตกค้างเป็นกรด แต่ถ้าใส่ในดินด่างอาจสูญเสียจากดินไปได้ง่ายในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ปุ๋ยยูเรียนอกจากจะใส่ทางดินแล้วยังนิยมนำมาผสมน้ำฉีดพ่นให้กับพืชทางใบอีกด้วย ข้อควรระวังคือในปุ๋ยยูเรียอาจมีสารไบยูเรต (Biuret) ผสมอยู่ด้วย ซึ่งสารนี้เป็นพิษกับพืชอาจทำให้ใบไหม้ไปอย่างไรก็ตาม ปุ๋ยยูเรียที่สั่งเข้ามาขายในประเทศ ขณะนี้กฎหมายกำหนดให้มี ไบยูเรตผสมอยู่ได้ไม่เกินร้อยละ 1.0

4.1.2 แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) สูตรทางเคมีคือ $(NH_4)_2SO_4$ มีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 21 และมีกำมะถัน (S) ประมาณร้อยละ 24 เป็นผลึกสีขาวคล้ายน้ำตาลทรายละลายน้ำได้ดี ดูดความชื้น เมื่อใส่ลงไปในดินจะให้ผลตกค้างเป็นกรด ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นปุ๋ยเดี่ยวไนโตรเจนที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย

4.1.3 แอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium choride) สูตรทางเคมีคือ NH_4Cl มีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 25 เป็นผลึกสีขาวละลายน้ำได้ง่ายและดูดความชื้นได้ดี ปุ๋ยนี้เมื่อใส่ลงไปในดินจะให้ปฏิกิริยาเป็นกรด ปุ๋ยแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตโซดาแอชหรือโรงงานผลิตผงชูรส ปุ๋ยที่ได้จากโรงงานผลิตโซดาแอชจะมีสีขาว ส่วนผงที่ได้จากโรงงานผลิตผงชูรสจะมีสีคล้ายน้ำตาลทรายแดง ปุ๋ยชนิดนี้ไม่นิยมใช้กับยาสูบเพราะคลอรีน (Cl) ส่งผลต่อคุณภาพของยาสูบ

4.1.4 แคลเซียมไนเทรต (Calcium nitrate) สูตรทางเคมีคือ $Ca(NO_3)_2$ มีไนโตรเจนร้อยละ 15 และมีแคลเซียม (Ca) ประมาณร้อยละ 20 เป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ดี ดูดความชื้นได้ง่ายมากเมื่อลงไปในดินให้ผลตกค้างเป็นด่าง

4.1.5 โซเดียมไนเตรท (Sodium nitrate) สูตรทางเคมีคือ $NaNO_3$ มีไนโตรเจนร้อยละ 16 เป็นผลึกสีขาวมันไวไฟ ละลายน้ำได้ดีเมื่อใส่ลงไปในดินจะให้ผลตกค้างเป็นด่าง

4.1.6 แอนไฮดรัสแอมโมเนียม (anhydrous ammonia) สูตรทางเคมี NH_3 มีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 82 เป็นปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูงที่สุด แอนไฮดรัสแอมโมเนียมเป็นก๊าซ แต่จะกลายเป็นของเหลวเมื่อเก็บภายใต้ความดันสูงและต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการอัดหรือฉีดลงไปในดินหรืออาจผสมกับน้ำชลประทานก็ได้ แต่ไม่ผสมลงไปในน้ำที่ใช้กับพืชด้วยการฉีดพ่นเพราะ

จะทำให้สูญเสียได้มาก การใส่ปุ๋ยแอนไฮดรัสแอมโมเนียมจะทำให้ดินเป็นด่างในระยะแรก และจะเปลี่ยนเป็นกรดในระยะต่อไป ปุ๋ยชนิดนี้ยังไม่ปรากฏว่ามีการใช้ในประเทศไทยมากนักแต่เป็นที่นิยมกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 2.5 ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ

ปุ๋ย	สูตรเคมี	สูตรปุ๋ย
ของแข็ง		
1. ยูเรีย	$CO(NH_2)_2$	46-0-0
2. แอมโมเนียมไนเทรต	NH_4NO_3	33-0-0
3. แอมโมเนียมซัลเฟต	$(NH_4)_2SO_4$	21-0-0 (24% S)
4. แอมโมเนียมคลอไรด์	NH_4Cl	25-0-0 (66% Cl)
5. แคลเซียมไนเทรต	$Ca(NO_3)_2$	15-0-0 (22% Ca)
6. โซเดียมไนเทรต	$NaNO_3$	16-0-0
7. ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	$(NH_4)_2HPO_4$	18-46-0, 21-53-0
8. โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต	$NH_4H_2PO_4$	11-55-0, 12-61-0
9. ไนทริกฟอสเฟต หรือ ไนโตรฟอสเฟต	$NH_4NO_3 + CaHPO_4 + NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$	20-20-0 และสูตรอื่นๆ ขึ้นกับการปรับกระบวนการผลิต
10. โพแทสเซียมไนเทรต	KNO_3	13-0-46
ของเหลว		
11. แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต	$(NH_4)_3HP_2O_7 + NH_4H_2PO_4$	10-34-0
12. ยูเรีย–แอมโมเนียมไนเทรต	$CO(NH_2)_2 + NH_4NO_3$	28-0-0 ถึง 32-0-0
ก๊าซ		
13. แอนไฮดรัสแอมโมเนีย	NH_3	82-0-0

ที่มา : Mortvedt et al. (1999)

4.2 ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือปุ๋ยฟอสเฟต คือปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปฟอสเฟต ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีทั้งปุ๋ยที่เป็นฟอสฟอรัสเป็นธาตุหลักเพียงธาตุเดียวและปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสกับธาตุหลักอีกธาตุหนึ่งเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 2.6) เช่น ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสเป็นธาตุหลัก ในขณะที่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตมีทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นต้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สำคัญมีดังนี้

4.2.1 ซูเปอร์ฟอสฟอรัสธรรมดา (ordinary superphosphate) สูตรทางเคมี คือ $Ca(H_2PO_4).2H_2O$ มีแคลเซียม (Ca) ประมาณร้อยละ 20 P_2O_5 มีแคลเซียม (Ca) ประมาณร้อยละ 20 และมีกำมะถัน (S) อยู่ประมาณร้อยละ 12 มีคุณสมบัติเป็นกรด (พีเอชประมาณ 3) มีลักษณะเป็นเม็ดสีเทาหรือน้ำตาลละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 85

4.2.2 ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (triple superphosphate) หรือทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (treble superphosphate) ฟอสเฟตในปุ๋ยชนิดนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ $Ca(H_2PO_4).2H_2O$ ปุ๋ยนี้มีฟอสเฟตร้อยละ 46 P_2O_5มีแคลเซียม (Ca) ประมาณร้อยละ 12 - 16 และมีกำมะถัน (S) อยู่ประมาณร้อยละ 1 - 2 มีสีขาว เทา หรือน้ำตาลละลายน้ำได้ดี ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่างหินฟอสเฟตกับกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) สูตรทางเคมีคือ (H_3PO_4) ซึ่งเป็นกรดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 54 P_2O_5

4.2.3 แคลเซียมเมตาฟอสเฟต (calcium metaphosphate) มีชื่อทางการค้าว่า เมตาฟอส (metaphos) สูตรทางเคมีคือ $Ca(PO_3)_2$ มีฟอสเฟตประมาณร้อยละ 63 P_2O_5มีปฏิกิริยาเป็นด่างละลายน้ำได้น้อยมาก แต่จะละลายได้ดีขึ้นในดินที่เป็นกรด

4.2.4 แอมโมเนียมฟอสเฟต (ammonium phosphate) เป็นปุ๋ยที่ให้ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเวลาเดียวกันปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตมี 3 ชนิด คือ

1) โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (monoammonium phosphate) สูตรทางเคมีคือ $NH_4H_2PO_4$นิยมเรียกชื่อย่อว่า MAP มีไนโตรเจนร้อยละ 11 และมีฟอสฟอรัสร้อยละ 55 P_2O_5มีผลตกค้างเป็นกรด เป็นแม่ปุ๋ยที่นิยมใช้ในการผสมปุ๋ยอื่นๆ

2) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (diammonium phosphate) สูตรทางเคมีคือ $(NH_4)_2HPO_4$นิยมเรียกชื่อย่อว่า DAP มีไนโตรเจนร้อยละ 18 และมีฟอสฟอรัสร้อยละ 46 P_2O_5มีผลตกค้างเป็นกรด เป็นแม่ปุ๋ยที่นิยมใช้ในการทำปุ๋ยผสมอื่นๆ

3) แอมโมฟอส (amorphous) เป็ยปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับกรดฟอสฟอริก และกรดกำมะถันฟสมกัน ซึ่งจะได้สาร 2 ชนิด คือ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตผสมกับแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) มีไนโตรเจนร้อยละ 16 และมี

ฟอสฟอรัสร้อยละ 20 P_2O_5(ปุ๋ยที่ได้มีเกรด 16-20-0)

4.2.5 หินฟอสเฟต (Phosphate rock) เป็นหินที่มีแร่พวกฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น ฟลูออแอปปาไตต์ (fluorapatite สูตรทางเคมี $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) หรือ ไฮดรอกซีแอปปาไตต์ (hydroxyl apatite สูตรทางเคมี $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) เป็นต้น มีสีไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสารที่เจือปน นอกจากนี้ ยังมีปริมาณฟอสเฟต (P_2O_5) ที่เป็นองค์ประกอบไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ หินฟอสเฟตในประเทศไทยอาจจะมีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 20-40 และอาจจะมีฟอสเฟต ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชร้อยละ 4-5 เมื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยจะบดหินฟอสเฟตให้ละเอียด โดยทั่วไปจะบดให้ละเอียดจนร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.149 มิลลิเมตร) หินฟอสเฟตบดจะปลดปล่อยฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาได้ช้ามาก ถ้ามีขนาดละเอียดจะปลดปล่อยได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม โดยธรรมชาติแล้วหินฟอสเฟตจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาได้น้อยในดินที่เป็นกรดเพียงเล็กน้อยหรือค่อนข้างเป็นด่าง (พีเอชสูงกว่า 6.0) จากการทดลองของกรมวิชาการเกษตรพบว่า สามารถใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยให้ฟอสเฟตในนาดินกรดจัดภาคกลาง (ดินกรดกำมะถัน) อย่างได้ผล นอกจากจะนำมาทำเป็นปุ๋ยใส่ในดินโดยตรงแล้วหินฟอสเฟตยังเป็นวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยฟอสเฟตอื่นๆ อีกหลายชนิด

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 ได้ควบคุมคุณภาพของหินฟอสเฟตที่ใช้เป็นปุ๋ยไว้ดังนี้คือ จะต้องมีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3 P_2O_5และต้องมีฟอสเฟตทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 P_2O_5

ตารางที่ 2.6 ปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ

ปุ๋ย	ชื่อย่อ	สูตรเคมี	% N	% P_2O_5
1. แอมโมเนียมฟอสเฟต				
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	DAP	$(NH_4)_2HPO_4$	18 - 21	46 - 53
โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต	MAP	$NH_4H_2PO_4$	10 - 12	50 - 61
แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต	APP	$(NH_4)_3HP_2O_7 + NH_4H_2PO_4$	10 - 11	34 - 37
2. แคลเซียมฟอสเฟต				
ซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมดา	OSP	$Ca(H_2PO_4)_2 + CaSO_4.2H_2O$	0	18 - 20
ทริปเปอร์ซูเปอร์ฟอสเฟต	TSP	$Ca(H_2PO_4)_2$	0	40 - 46
หินฟอสเฟต	PR	$[Ca_3(PO_4)_2]_3.CaF_2$	0	25 - 40

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ปุ๋ย	ชื่อย่อ	สูตรเคมี	% N	% P_2O_5
3. อื่นๆ				
ไนทริกฟอสเฟต หรือ	NP	$NH_4NO_3 + CaHPO_4 +$	20	20
ไนโตรฟอสเฟต		$NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$		
กรดฟอสฟอริก		H_3PO_4	0	54

ที่มา : Mortvedt et al. (1999)

4.3 ปุ๋ยโพแทสเซียม ปุ๋ยโพแทสเซียมโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปเกลือที่ละลายน้ำได้ โดยเรียกว่า “ปุ๋ยโพแทช (potash fertilizer)” ในประเทศไทยมีแหล่งแร่โพแทชที่ค่อนข้างใหญ่ 2 แหล่ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ 1) ในแอ่งโคราช (Khorat) ที่อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ พบทรัพยากรสินแร่ (ore resource) ประมาณ 366 ล้านตัน K_2O และ 2) ในแหล่งสกลนคร (SakhonNakhon basin) บริเวณจังหวัดอุดรธานี พบทรัพยากรสินแร่ 250 ล้านตัน K_2O (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ 2551)

ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นโพแทสเซียมคลอไรด์ หรือเรียกว่า “ม๊อบ” (MOP, Muriat of Potash) นอกจากนี้ ยังมีปุ๋ยโพแทชชนิดอื่น เช่น โพแทสเซียมซัลเฟต (Sulfate of potato, SOP) โพแทสเซียมไนเทรตและโพแทสเซียมฟอสเฟต องค์ประกอบทางเคมี และสูตรปุ๋ยโพแทชชนิดต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.7 ปุ๋ยโพแทสเซียมที่สำคัญมีดังนี้

4.3.1 โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) หรือมิวริเอทออฟโพแทช (murial of potash) สูตรทางเคมีคือ KCI มีโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 60 K_2O มีลักษณะคล้ายเกลือแกง (NaCl) เป็นแม่ปุ๋ยที่นิยมใช้ในการทำปุ๋ยผสมอื่นๆ

4.3.2 โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulphate) สูตรเคมีคือ K_2SO_4 มีโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 50 K_2O มีสีขาวขุ่น ละลายน้ำได้น้อยกว่าโพแทสเซียมคลอไรด์

4.3.3 โพแทสเซียมไนเทรต (potassium nitrate) มีสูตรเคมีคือ KNO_3 ปุ๋ยชนิดนี้ให้ไนโตรเจนประมาณร้อยละ 13 และให้โพแทสเซียมประมาณร้อยละ 44% K_2O

4.3.4 โพแทสเซียม แมกนีเซียมซัลเฟต (potassium maganesiumsulphate) มีสูตรเคมีคือ $K_2SO_4 2MgSO_4$ มีโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 22 K_2O และมีแมกนีเซียมประมาณร้อยละ 11 Mg

4.3.5 โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (monopotassium hosphate) มีสูตรเคมีคือ KH_2PO_4 ปุ๋ยชนิดนี้มีฟอสเฟตประมาณร้อยละ 52 P_2O_5และโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 34 K_2O

ตารางที่ 2.7 ปุ๋ยโพแทชชนิดต่างๆ

ปุ๋ย	องค์ประกอบทางเคมี	สูตรปุ๋ย (และธาตุรอง)
โพแทสเซียมคลอไรด์	KCI	0 - 0 – 60
โพแทสเซียมซัลเฟต	K_2SO_4	0 - 0 - 50 , 0 - 0 - 0 - 52 (18% S)
โพแทสเซียมไนเทรต	KNO_3	13 - 0 – 46
โพแทสเซียม – แมกนีเซียมซัลเฟต	K_2SO_4 .2$MgSO_4$	0 - 0 - 22 (22% S, 11% Mg)
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต	KH_2PO_4	0 - 52 – 34
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	KOH	0 - 0 – 75
โพแทสเซียมไทโอซัลเฟต	$K_2S_2O_3$	0 - 0 - 0 - 25 (17% S)

ที่มา : Mortvedt et al. (1999)

4.4 ปุ๋ยแมกนีเซียม ปุ๋ยแมกนีเซียมได้แก่

4.4.1 แมกนีเซียมซัลเฟต ใช้เป็นปุ๋ยทางดินหรือละลายน้ำฉีดพ่นทางใบ เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนแมกนีเซียม

4.4.2 แมกนีเซียมไนเทรต ใช้เป็นปุ๋ยแมกนีเซียมได้เป็นอย่างดี

4.4.3 แมกนีเซียมคลอไรด์ ถ้านำไปใช้ทางใบให้เลือกใช้กับพืชที่ทนต่อคลอไรด์เท่านั้น

4.4.4 เกลือซึ่งมีทั้งแมกนีเซียมและโพแทสเซียม เช่น แลงไบไนต์ (langbeinite, K_2SO_4 .2$MgSO_4$) (ตารางที่ 2.7) นอกจากพืชจะได้รับแมกนีเซียมจากปุ๋ยที่ใส่ในดินแล้ว ยังได้รับจากปูนที่เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมที่ใช้ใส่ดินเพื่อลดสภาพกรดอีกเช่นเดียวกับแคลเซียม ยกตัวอย่าง เช่น หินโดโลไมต์แมกนีไซต์และแมกนีเซียม เป็นต้น

ตารางที่ 2.8 สารประกอบที่ให้ธาตุแมกนีเซียม

วัสดุ	องค์ประกอบทางเคมี	% Mg	สภาพละลายน้ำ
แมกนีเซียมคลอไรด์	$MgCl_2$	25	ละลายน้ำง่าย
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	50 - 55	ละลายน้ำง่าย
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปไฮเดรต	$MgSO_4 .7H_2O$	10	ละลายน้ำง่าย
คีเซอร์ไรต์	$MgSO_4H_2O$	18	ละลายน้ำง่าย
แลงโบไนต์ (โพแทสเซียม – แมกนีเซียมซัลเฟต)	$K_2SO_4.2MgSO_4$	11	ละลายน้ำง่าย

ที่มา : Mortvedt et al. (1999)

5. การผลิตแอมโมเนียมซัลเฟต

5.1 กระบวนการที่ใช้แอมโมเนียกับกรดซัลฟิวริก โดยแอมโมเนียมซัลเฟตผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียมกับกรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ดังสมการ

$$2NH_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

การผลิตแอมโมเนียมซัลเฟตโดยกระบวนการนี้มีขั้นตอนหลักอยู่ 5 ขั้นตอน คือ

1) การทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับกรดซัลฟิวริกซึ่งให้ความร้อนสูงมาก ทำให้สารละลายร้อยจัดแล้วระเหยน้ำ จนได้ของเหลวข้นของแอมโมเนียมซัลเฟต

2) การตกผลึกใช้ถังตกผลึกที่ควบคุมการระเหยน้ำด้วยสุญญากาศ

3) ล้างผลึกที่ได้ขนาดแล้วด้วยน้ำหรือนำแอมโมเนีย (ammonia liquor) เพื่อลดกรดที่เกาะบนผิวของผลึก

4) อบแห้งในท่ออบ (Drier)

5) คัดขนาดโดยใช้ตะแกรงให้ได้ขนาดผลึกที่ต้องการส่วนที่เล็กเกิดไปก็หมุนเวียนกลับไปตกผลึกใหม่

5.2 กระบวนการแอมโมเนียมคาร์บอเนต – ยิปซัม (ammonium carbonate – gypsum process) หลักสำคัญของกระบวนการ คือ ปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ ได้

แอมโมเนียมคาร์บอเนต ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อไปกับยิปซัม หรือแอนไฮไดรต์ (จากธรรมชาติ หรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอื่น) ได้แอมโมเนียมซัลเฟตกับแคลเซียมคาร์บอเนต ดังสมการ

$$NH_3 + N_2O \longrightarrow NH_4OH$$

$$2NH_4OH + CO_2 \longrightarrow (NH_4)_2CO_3 + H_2O$$

$$CaSO_4.2H_2O + (NH_4)_2CO_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 + 2H_2O$$

การผลิตแอมโมเนียมซัลเฟตด้วยกระบวนการนี้ เหมาะสำหรับประเทศที่มีแหล่งยิปซัม หรือแอมไฮไดรต์ตามธรรมชาติ หรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาไม่แพง สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอมโมเนียมซัลเฟตได้ กระบวนการนี้มีข้อด้อยที่สำคัญประการหนึ่ง คือ สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตที่ได้จากปฏิกิริยา มีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ จึงสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนในการระเหยน้ำและตกผลึก

5.3 ผลพลอยได้จากการผลิตสารคาโปรแลกแทม (caprolacltam) คาโปรแลกแทม ($NH(CH_2)_5CO$) เป็นสารที่ใช้ในการผลิตไนลอนบางชนิดสำหรับกระบวนการผลิตมี 5 หน่วยคือ

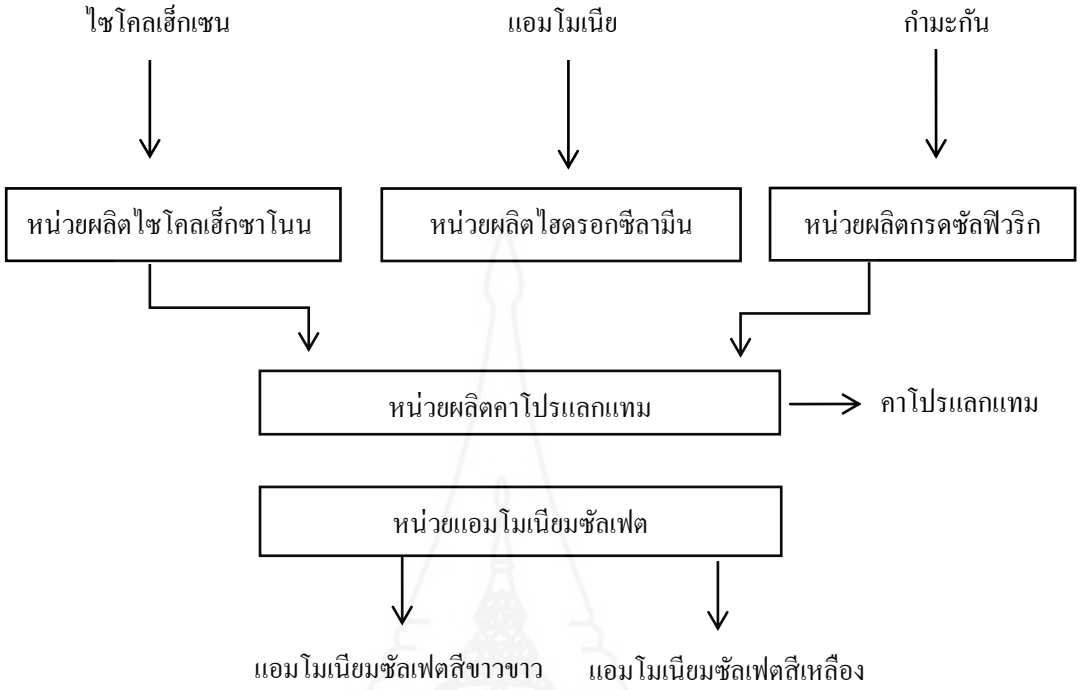
1) หน่วยผลิตไซโคลเฮ็กซาโนน (cyclohexanone) จากไซโคลเฮ็กเซน (cyclohexane, C_6H_{12})

2) หน่วยผลิตไฮดรอกซีลามีนจากแอมโมเนีย

3) หน่วยผลิตกรดซัลฟิวริกจากกำมะถัน

4) หน่วยผลิตคาโปรแลกแทม ใช้สารตั้งต้นซึ่งผลิตจากหน่วยที่ 1-3

5) แอมโมเนียมซัลเฟต โดยแยกออกจากหน่วยผลิตคาโปรแลกแทมมาตกผลึก (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตคาโปรแลกแทม มีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นผลพลอยได้

6. การผสมปุ๋ยแบบคลุกเคล้า (bulk blending)

การผสมปุ๋ยแบบคลุกเคล้า (bulk blending) คุณภาพของปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้าขึ้นกับแม่ปุ๋ยที่นำมาผสมกัน โดยแม่ปุ๋ยต้องมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ มีปริมาณธาตุอาหารรับรองตรงตามฉลากและที่สำคัญ คือ ไม่แยกตัวกันหลังจากทำการผสมแล้ว ดังนั้น แม่ปุ๋ยที่นำมาผสมกันจะต้องมีความเข้ากันได้หรือความเข้าคู่ (compatibility) ทั้งทางเคมีและด้านขนาดเม็ดปุ๋ย ดังนี้

6.1 ความเข้ากันได้หรือความเข้าคู่ทางเคมีของปุ๋ย แม่ปุ๋ยที่มีความเข้ากันได้หรือความเข้าคู่ทางเคมี คือแม่ปุ๋ยที่นำมาผสมกันแล้วไม่ทำปฏิกิริยากันจนเป็นเหตุให้คุณภาพของปุ๋ยผสมต่ำ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตต่ำลง จนเป็นเหตุให้ปุ๋ยชื้นและจับตัวกันเป็นก้อนแข็งได้ง่าย สภาพละลายได้ลดลง หรือมีการสูญเสียธาตุอาหารในรูปแก๊ส แม่ปุ๋ยที่ไม่ควรผสมกันเนื่องจากไม่เข้ากันทางเคมี คือ

6.1.1 ยูเรียกับแอมโมเนียมไนเทรต เนื่องจากยูเรียมีความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต 72.50%Z 1) ในขณะที่แอมโมเนียมไนเทรตมีความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต 59.40% 2) แต่เมื่อนำปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้มา

ผสมกันเป็นปุ๋ยผสม พบว่า มีความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตเพียง 18% 3) เท่านั้น แสดงว่า ปุ๋ยผสมที่เกิดขึ้นดูดความชื้นได้ง่ายมาก

6.1.2 ยูเรียกับทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต เนื่องจากนำมาผสมกันจะทำให้เกิดน้ำที่เป็นอิสระออกมา จึงทำให้ปุ๋ยผสมชื้นและมีแนวโน้มจะจับตัวกันเป็นก้อน

6.1.3 ไดแอมโมเนียมฟอสเฟตกับทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต เนื่องจากกรดในทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีแนวโน้มที่จะทำปฏิกิริยากับไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งผลของปฏิกิริยาส่งเสริมให้ปุ๋ยจับกันเป็นก้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อบรรจุแล้วเก็บไว้ (ตามตารางที่ 2.9)

ตารางที่ 2.9 ค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตของปุ๋ยเคมีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
และค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตที่เกิดขึ้นหลังจากการผสมปุ๋ยเคมีในแต่ละคู่

แคลเซียมไนเทรต	แอมโมเนียมไนเทรต	โซเดียมไนเทรต	ยูเรีย	แอมโมเนียมคลอไรด์	แอมโมเนียมซัลเฟต	ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	โพแทสเซียมคลอไรด์	โพแทสเซียมไนเทรต	โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต	โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	โพแทสเซียมซัลเฟต
40.07											
23.50	59.40										
37.70	46.30	72.40									
-	18.10	45.60	72.50								
-	51.40	51.90	57.90	77.20							
-	62.30	-	56.40	71.30	79.20						
-	59.00	-	62.00	-	72.00	82.50					
22.00	67.90	66.90	60.30	73.00	71.30	70.00	54.00				
31.40	59.90	64.50	65.20	67.90	69.20	-	78.60	90.30			
52.80	58.00	53.80	65.20	-	75.80	78.00	72.80	59.80	91.60		
4.20	52.80	68.10	65.10	73.90	87.70	78.00	-	87.80	88.80	93.60	
76.10	69.20	73.30	71.50	71.30	81.40	77.00	81.00	87.80	79.00	-	96.30

แม่กันปุ๋ยทั้ง 3 คู่นี้ทุกคนในวงการทราบทั่วแล้วว่าไม่ควรผสม อย่างไรก็ตาม ยังมีวัสดุปุ๋ยอย่างอื่น เช่น ปุ๋ยจุลธาตุบางอย่าง เมื่อใส่ลงในปุ๋ยผสมก็อาจทำปฏิกิริยากับแม่ปุ๋ยชนิดใดชนิดหนึ่ง และเป็นสาเหตุของปัญหาบางประการได้ ผู้ประกอบการจึงควรทดสอบให้แน่ชัดก่อนที่จะนำมาใช้ในการผลิต

6.2 ความเข้ากันได้หรือความเข้าคู่กันของขนาดเม็ดปุ๋ย ปัญหาใหญ่ประการหนึ่งของการผลิตปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้าก็คือ ต้องพยายามรักษาคุณภาพด้านธาตุอาหารให้อยู่ในเกณฑ์ที่คลาดเคลื่อนที่รัฐกำหนดไว้ จากผลการวิจัยด้านข้อบกพร่องของปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้า พบว่า ปุ๋ยผสมแต่ละส่วนมีค่าวิเคราะห์ของธาตุอาหารแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุจากการแยกตัวของปุ๋ย (segregation) ขณะโยกย้ายถ่ายเท ดังนั้น แม่ปุ๋ยทุกชนิดที่นำมาผสมกัน ควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้ปุ๋ยผสมที่ได้มีความสม่ำเสมอ (homogeneous blends) ไม่แยกตัวกัน ดังนั้น หากผู้จำหน่ายมีข้อมูลด้านขนาดเม็ดของแม่ปุ๋ยชนิดต่างๆ ลูกค้าก็สามารถเลือกเฉพาะชนิดที่มีขนาดเม็ดใกล้เคียงกันมาผสม

6.2.1 ขนาดของเม็ดปุ๋ย ปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้าคือปุ๋ยที่ได้จากการนำแม่ปุ๋ยที่มีขนาดเม็ดไล่เลี่ยกัน ผสมในสัดส่วนที่พอเหมาะให้ได้สูตรปุ๋ยตามต้องการ ดังนั้นขนาดของเม็ดปุ๋ยจึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของปุ๋ยผสมแบบนี้เป็นอย่างมาก ความสำคัญของขนาดเม็ดปุ๋ย Hoffmeister (1978) ได้รายงานไว้ว่าขนาดของเม็ดปุ๋ยมีความสำคัญอย่างน้อย 3 ประการ คือ ซึ่งกล่าวในรายละเอียดได้ดังนี้

6.2.2 ผลในแง่ของการตอบสนองของพืช ความสำคัญของขนาดเม็ดปุ๋ย อิทธิพลในแง่ของการตอบสนองของพืช ปุ๋ยแต่ละชนิดจะมีขนาดเม็ดหรือขนาดอนุภาคขนาดใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ และวัตถุประสงค์ในการใช้กล่าวคือ วัสดุที่มีความสามารถในการละลายในน้ำน้อยโดยทั่วไปต้องบดให้ละเอียด เพื่อให้มีความสามารถในการละลายได้สูง Khasawneh & Doll (1978) กล่าวว่าประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตจะสูงขึ้นเมื่อบดให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 150 μm. Hoffmeister (1978) กล่าวว่าวัสดุปุ๋ยชนิดอื่นที่ละลายได้น้อยจำเป็นต้องบดให้มีขนาดเล็กด้วย ได้แก่ Basic slag, limestone, dolomite, dicalcium phosphate, fused phosphate เป็นต้น นอกจากนั้นวัสดุปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมที่ละลายน้อย เช่น sulfur, metallic oxides และ frits ก็ต้องบดให้ละเอียดด้วย

6.2.3 ผลต่อการเก็บรักษาและการขนย้าย Hoffmeister (1978) กล่าวว่า ขนาดของเม็ดปุ๋ยมีความจำเป็นและสำคัญต่อคุณสมบัติของการเก็บรักษาและการขนย้าย ก่อนปี ค.ศ. 1950 วัสดุปุ๋ยเกือบทั้งหมดได้ผลิตขึ้นมาในรูปฝุ่นผงหรือผลึกเล็กๆ ซึ่งเป็นผลให้ปุ๋ยมีสภาพเป็นฝุ่นละอองเมื่อชื้นจับตัวเป็นก้อนแข็ง (caking) ในระหว่างการเก็บเป็นกองหรือในกระสอบ ต้องใช้แรงงานทุบ

และทำให้เล็กลง ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าอนุภาคของปุ๋ยขนาด 1.00 ถึง 3.35 มม. เป็นปุ๋ยเม็ด (Granular) ซึ่งสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อน No. 6 แต่ไม่ผ่าน No. 18 ของตะแกรง U.S. Standard แม้หลักเกณฑ์นี้ไม่มีกฎหมายรองรับแต่ก็เป็นเกณฑ์ทั่วไปนิยมใช้ในการควบคุมขนาดเม็ดปุ๋ยของผู้ผลิต การจัดซื้อปุ๋ยขององค์การ AID ประเทศสหรัฐอเมริกา จะกำหนดให้จัดซื้อปุ๋ยที่มีเม็ดขนาด 1.00 ถึง 3.35 มม. อยู่ร้อยละ 90 Brook (1957) ได้รายงานว่าในประเทศอังกฤษปุ๋ยเม็ดจะผลิตขนาด 1.5 ถึง 4.00 มม. (U.S. ขนาด No.5 ถึง 12 mesh) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าของประเทศสหรัฐอเมริกา ปุ๋ยที่มีลักษณะที่ดีในแง่ของผู้ผลิตและเกษตรกรผู้ใช้นั้นจะต้องปราศจากอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นฝุ่นเมื่อใช้หรือขนย้าย

6.2.4 ผลต่อการผสมต่อการผสมปุ๋ย Hoffmeister (1978) ได้กล่าวว่า ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1958 ซึ่งได้เริ่มมีการผลิตปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้า การควบคุมขนาดเม็ดปุ๋ยมีความสำคัญสำหรับการผสมและการกระจายปุ๋ยออกไปสู่ท้องถิ่นต่างๆ เพราะเป็นวิธีการลดการแยกตัวของปุ๋ย แต่อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติ การผสมปุ๋ยตอนเริ่มแรกวัสดุปุ๋ยที่นำมาผสมขนาดไม่ไล่เลี่ยกัน จึงทำให้เกิดการแยกตัวในระหว่างการขนย้าย

หลังจากที่ได้มีการค้นคว้าวิจัยของ TVA Hoffmeister, และคณะ (1964) ได้รายงานว่าขนาดของแม่ปุ๋ยที่ไล่เลี่ยกันมีความสำคัญต่อการต่อต้านการแยกตัว ความแตกต่างของสมบัติทางฟิสิกส์ในประเด็นอื่น เช่น ความหนาแน่นและรูปร่าง ไม่มีความสำคัญมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลความแตกต่างของขนาดเม็ด นอกจากนั้นวัสดุแม่ปุ๋ยที่นำมาผสมต้องมีการกระจายของเม็ดปุ๋ยเป็นไปแนวทางเดียวกันด้วย Hoffmeister (1973) ได้รายงานว่า size distribution curve ที่แตกต่างกันขนาด ± 10% เป็นเกณฑ์ที่ดี ที่แนะนำให้ใช้กัน

6.2.5 การวัดขนาดของเม็ดปุ๋ย ระบบของการวัดขนาดเม็ดปุ๋ยที่มีลักษณะเป็นของแข็งไม่ว่าจะอยู่ในรูปลักษณะเป็นผง เกร็ด (ผลึก) หรือเม็ดกลม ย่อมมีขนาดของมันเอง ซึ่งจะสามารถวัดได้โดยการใช้ตะแกรงหรือที่เรียกว่า sieve analysis หรือ screen analysis

Hoffmeister (1978) ได้ทำการศึกษาพบว่าประเทศที่พัฒนาเจริญแล้ว เช่น อังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมัน อิตาลี และสหรัฐอเมริกาจะมีมาตรฐานตะแกรงของแต่ละประเทศ ซึ่งช่องของตะแกรงอาจจะบอกขนาดเป็นนิ้ว มิลลิเมตร sieve no. Module no. หรือเม็ช (mesh) แม่ปุ๋ยแต่ละปุ๋ยที่จะใช้เสร็จเรียบร้อยแล้วทำการคำนวณหาน้ำหนักแม่ปุ๋ยแต่ละชนิดที่จะใช้ ตัวอย่างในตารางที่ 1 สำหรับระบบที่ใช้กันในประเทศสหรัฐอเมริกาแพร่หลายมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบ Tyler และ U.S. Standard ประเทศแคนาดาก็ใช้ทั้ง 2 ระบบนี้ด้วย ขนาดของตะแกรงที่ใช้ในการวัดขนาดของปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้าอยู่ระหว่างเบอร์ 6 ถึง เบอร์ 20 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบขนาดเบอร์ตะแรงของสหรัฐอเมริกาทั้ง 2 ระบบ แล้วแต่ความจำเป็นหรือวัตถุประสงค์ของการใช้ สำหรับการวัด

ขนาดเม็ดปุ๋ยของประเทศไทยนั้นเท่าที่ได้มีการปฏิบัตินิยมใช้ตามระบบของประเทศสหรัฐอเมริกา

6.2.6 วิธีการวัดขนาด ปุ๋ยเม็ดแต่ละชนิดมีขนาดและเปอร์เซ็นต์การกระจายของเม็ดปุ๋ยไม่เท่ากัน แต่อาจจะมีปริมาณของแต่ละขนาดใกล้เคียงกัน การศึกษาหรือการปฏิบัติการวัดขนาดตามวิธีของ TFI 500 โดย Perrin & Mather (1975) ได้ให้แนวทางการดำเนินการ ดังนี้

1) การชักตัวอย่างปุ๋ย ก่อนนำตัวอย่างปุ๋ยมาวิเคราะห์หาขนาดของเม็ด ต้องทำการชักตัวอย่างปุ๋ยจากกระสอบปุ๋ยเพื่อให้ได้ตัวแทนของปุ๋ยตามหลักการโดยวิธีการปฏิบัติทั่วไป นำกระสอบปุ๋ยของปุ๋ยที่ต้องการชักตัวอย่างวางนอนราบลงกับพื้น ใช้หลาวแทงตรงมุมกระสอบปุ๋ยในแนวเส้นทแยงมุม ดึงเอาปุ๋ยออกมาใส่ภาชนะที่จัดเตรียมไว้โดยเฉพาะ ทำการแทงทั้งสองข้างให้ได้ปุ๋ยขนาด 1 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้ากัน ใส่ถุงพลาสติกปิดปากให้สนิท (วิธีการชักตัวอย่างนั้นดำเนินการตามคำแนะนำของกลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตรได้เช่นกัน)

2) การชั่งตัวอย่างปุ๋ย ชั่งตัวอย่างปุ๋ยที่ได้จากการสุ่มและชักตัวอย่างดังกล่าวแล้วขนาดจำนวน 200 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งจานเดี่ยวซึ่งมีความแม่นยำขนาด 0.1 กรัม

3) นำปุ๋ยที่ชั่งแล้วไปใส่ในชุดของตะแกรงร่อนขนาด 6, 8, 10, 14, 20 เมช (ระบบ Tyler) ปากกว้าง 8 นิ้ว สูง 2 นิ้ว ซึ่งวางซ้อนกันตามลำดับในแนวดิ่งพร้อมกับปิดฝาบนและมีถาดรองด้านล่างสุด ถัดจากนั้นนำชุดตะแกรงไปเขย่าด้วยเครื่อง shaker โดยมีความแรงของการเขย่าที่ระดับ 8 เป็นเวลานาน 5 นาที

4) นำเอาปุ๋ยที่เหลือด้านบนตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง นำไปคำนวณหาปริมาณของขนาดเม็ดปุ๋ยที่ค้างอยู่ในตะแกรงแต่ละเบอร์เป็นเปอร์เซ็นต์ เรียกว่า Weight Percent on Sieve (WPS) ซึ่งมีสูตรการคำนวณคือ

$$\text{สูตร} \qquad WSP = \frac{\text{น้ำหนัก (g) บน Sieve}}{\text{น้ำหนักทั้งหมด (g) ของตัวอย่าง}} \times 100$$

5) บันทึกผลการวิเคราะห์ที่ได้ สำหรับการบันทึกขนาดของเม็ดปุ๋ยทั้งหมดจะบอกเพียงว่าผ่านหรือไม่ผ่านตะแกรง หากไม่ผ่านใช้เครื่องหมาย + หน้าเบอร์ตะแกรงและถ้าผ่านใช้เครื่องหมาย – หน้าเบอร์ตะแกรง เช่น -6+8 M อ่านว่าผ่านตะแกรงเบอร์ 6 แต่ไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 เป็นต้น

6.3 การแยกตัวของปุ๋ย (Segregation) การแยกตัวของปุ๋ยเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ประการหนึ่งโดยเฉพาะปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้าซึ่งหมายถึงลักษณะของปุ๋ยผสมที่มีส่วนผสมไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันตลอด เนื่องจากถูกชักนำ (induce) ด้วยการขนถ่าย (handling) หรือปัจจัยอื่น Hoffmiester, (1962 & 1973)

6.4 ความแข็งของปุ๋ย ความแข็งของเม็ดปุ๋ยเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญประการหนึ่ง เพราะเม็ดปุ๋ยที่เม็ดแข็งไม่แตกหรือถลอกเป็นฝุ่นได้ง่ายเป็นคุณสมบัติที่ดี Hoffmeister (1978) ได้กล่าวว่าความแข็งที่นิยมศึกษามีอยู่ด้วยกัน 3 ประการคือ 1) Crushing strength 2) Resistance to abrasion (sloughing) 3) Impact

การทดสอบความแข็งของเม็ดปุ๋ยด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งก็เป็นการเพียงพอแก่การรับรองแล้วโดยทั่วไปที่ใช้กันกว้างขวางและง่ายแก่การปฏิบัติคือ crushing strength ซึ่งระดับของการวัดมีตั้งแต่ง่ายสุด คือใช้แรงกดนิ้วมือจนถึงการใช้เครื่องมือกล สำหรับการวัดความแข็งประเภทนี้ในเชิงปริมาณนั้นใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่เรียกว่า compression testers ซึ่งมีหลายแบบด้วยกัน เม็ดปุ๋ยที่นำมาทดสอบต้องมีขนาดเท่ากับจำนวนตั้งแต่ 10 เม็ดขึ้นไป แล้วหาค่าเฉลี่ย การที่ต้องนำเม็ดปุ๋ยขนาดเท่ากันมาหาความแข็งเพราะว่าความแข็งจะเพิ่มเมื่อขนาดใหญ่ขึ้น เช่น มีการทดลองของ TVA พบว่า triple superphosphate จากโรงงานต่างๆ 4 โรงงาน crushing strength จะเพิ่มจาก 2 เท่าเป็น 3 เท่า เมื่อขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มจากขนาด 1.5 มม. (-10 + 10 mesh) เป็นขนาด 3.0 มม. (-6+7 mesh) TVA (1970) ได้เสนอวิธีการมาตรฐานของ TVA ในการหา crushing strength โดยทำการใช้ตะแกรงร่อนให้ช่วงของขนาดแคบลง ขนาด -7+8 mesh ก่อนที่จะนำไปทดสอบ จากทดลองพบว่าเม็ดปุ๋ยที่แตกง่ายคือ ยูเรียเม็ดกลม ซึ่งมี crushing strength ระหว่าง 2 ถึง 2.8 lb เท่านั้น เป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่ายูเรียเม็ดกลม แตกตัวและกลายเป็นฝุ่นในระหว่างขนย้ายได้ง่าย

จากข้อมูลนี้พบว่า Granular urea มีความแข็งแรงมากกว่า (มากกว่า 7.5 lb) ซึ่งประเด็นนี้เป็นข้อได้เปรียบของปุ๋ยชนิดนี้ สำหรับปุ๋ย DAP นั้นมีความแข็งตั้งแต่ 6 lb กว่าจนถึง 11.5 lb จากข้อมูลนี้สรุปได้ว่า ปุ๋ยที่มีความแข็งน้อยกว่า 3 lb (ขนาด -7+8 mesh) จะแตกหักได้ง่ายในระหว่างการขนย้าย

ความแข็งของปุ๋ยตั้งแต่ 5 lb ขึ้นไปจะมีความเหมาะสมหรือสรุปได้ว่าวัสดุปุ๋ยที่นำมาผสมเป็นปุ๋ยผสมและปุ๋ยแบบคลุกเคล้าควรมีความแข็งขนาดนี้จึงจะทนทานต่อการกระทบกระเทือนจากการขนย้ายได้ดี สำหรับการหาความแข็งโดยใช้นิ้วมือนั้น Fruhstorfer (1961) ได้อธิบายวิธีหาความแข็งของเม็ดปุ๋ยและให้ระดับความแข็งไว้ดังนี้

6.4.1 Soft hardness หมายถึง เม็ดปุ๋ยที่แตกเมื่อกดด้วยแรงระหว่างนิ้วชี้และหัวแม่มือ

6.4.2 Medium hardness หมายถึง เม็ดปุ๋ยที่แตกเมื่อใช้นิ้วชี้กดเม็ดปุ๋ยลงบนพื้นผิวแข็ง

6.4.3 Hard hardness หมายถึง ขนาดเม็ดปุ๋ยที่ดำเนินการใส่นิ้วชี้กดเม็ดปุ๋ยลงบนพื้นผิวแข็งแล้วเม็ดปุ๋ยไม่แตก

6.5 สมบัติที่สำคัญของแม่ปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า

ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดมีสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน สมบัติเหล่านี้เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมี เช่น ใช้ปุ๋ยให้เหมาะกับสภาพของดิน พืชที่ปลูก และสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ การรู้จักถึงคุณสมบัติของปุ๋ยยังทำให้เราสามารถเก็บรักษาปุ๋ยอย่างถูกวิธีอีกด้วย

6.5.1 ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต (critical relative humidity) เป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงการที่ปุ๋ยเคมีจะดูดความชื้นได้ง่ายหรือยาก ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตของปุ๋ยชนิดหนึ่ง หมายถึง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรอบๆอนุภาคหรือเม็ดปุ๋ยนั้นซึ่งหากเพิ่มให้สูงกว่าค่านี้แล้วปุ๋ยจะเริ่มดูดความชื้น ดังนั้น เมื่อปุ๋ยชนิดหนึ่งอยู่ในบริเวณที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตของปุ๋ยนั้นเพียงเล็กน้อย ปุ๋ยนั้นก็จะดูดความชื้น

ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิด มีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต ณ อุณหภูมิที่กำหนดแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.10) ปุ๋ยใดมีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตต่ำจะชื้นง่ายกว่าปุ๋ยที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตสูง ยกตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 30˚C ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต 46.7 จะดูดความชื้นได้ง่ายกว่าปุ๋ยโพแทสเซียมไนเทรตที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต 90.50 เป็นต้น

สำหรับปุ๋ยที่ชื้นง่าย ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตของปุ๋ย จะทำให้ความชื้นในอากาศแทรกซึมเข้าไปในเนื้อปุ๋ยทำให้ชื้น ประกอบกับมีแรงกดจากปุ๋ยด้านบนและด้านข้าง จึงทำให้ผิวของอนุภาคหรือเม็ดปุ๋ยข้างเคียงซึ่งชื้นมีเนื้อเชื่อมกัน เมื่ออากาศแห้งปุ๋ยจึงจับเป็นปึกหรือจับเป็นก้อน เป็นเหตุให้มีสภาพไม่ร่วนเหมือนเดิม หากนำมาหว่านในแปลงปลูกพืชขณะเป็นก้อน การกระจายของปุ๋ยในพื้นที่ย่อมไม่สม่ำเสมอ

การป้องกันมิให้ปุ๋ยจับเป็นก้อน ทำได้ 2 วิธีคือ 1) ผสมสารปรับสภาพปุ๋ย (conditioner) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สารต้านการจับเป็นก้อน (anticaking agent) ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต และ 2) บรรจุในภาชนะหรือหีบห่อที่กันความชื้น เช่น การบรรจุกระสอบ ก็ใช้ถุงชั้นในที่ป้องกันการแทรกซึมของความชื้นได้ดี

ตารางที่ 2.10 ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตของปุ๋ยที่อุณหภูมิ 3 ระดับ

ปุ๋ย	ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตของปุ๋ย		
	20 ˚C	**30 ˚C**	**40 ˚C**
ยูเรีย	80.0	72.5	68.0
แอมโมเนียมไนเทรต	66.9	59.4	52.5
แอมโมเนียมคลอไรด์	79.3	77.2	73.7
แอมโมเนียมซัลเฟต	81.1	79.2	78.2
แคลเซียมไนเทรต	54.4	46.7	35.5
โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต	91.7	91.6	90.3
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	94.1	94.7	94.5
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต	96.2	92.9	92.9
โพแทสเซียมไนเทรต	92.7	90.5	87.9
โพแทสเซียมคลอไรด์	85.7	84.0	81.2
โพแทสเซียมซัลเฟต	98.5	96.3	95.7

ที่มา : Mortvedt et al. (1999)

6.5.2 การละลายน้ำได้ (solubility) สภาพละลายน้ำได้ของปุ๋ย หมายถึง น้ำหนักของปุ๋ยที่ละลายในน้ำ 100 กรัมได้สารละลายที่อิ่มตัว ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดมีสภาพละลายน้ำได้แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.11 ยกตัวอย่างเช่น ยูเรียมีสภาพละลายน้ำได้ 78.0 (5°**C**) กรัม/น้ำ 100 กรัม หมายความว่าในน้ำ 100 กรัม (10 มิลลิลิตร) ยูเรียสามารถละลายน้ำได้ 78.0 กรัม ที่อุณหภูมิ 5°**C** ปุ๋ยเคมีที่มีสภาพละลายน้ำได้สูง เมื่อนำมาละลายน้ำก็จะได้สารละลายที่สมบูรณ์ สามารถใช้เป็นปุ๋ยฉีดพ่นทางใบได้ดี หรือถ้าต้องการเตรียมปุ๋ยเคมีเพื่อใช้ในการฉีดพ่นทางใบ ก็สามารถคำนวณน้ำหนักปุ๋ยที่ต้องการใช้ได้จากค่าสภาพละลายน้ำได้เช่นกัน เช่น ต้องการเตรียมปุ๋ยโพแทสเซียมไนเทรต ซึ่งมีสภาพละลายน้ำได้ 31.6 (20°**C**) กรัม/น้ำ 100 กรัม แสดงว่า ถ้าต้องการปุ๋ยโพแทสเซียมไนเทรตละลายได้อย่างสมบูรณ์ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ต้องชั่งปุ๋ยมา 31.6 กรัม เป็นต้น

ตารางที่ 2.11 สภาพละลายน้ำของปุ๋ยเคมีบางชนิด (ที่อุณหภูมิในวงเล็บต่อท้าย)

ปุ๋ยเคมี	ปริมาณธาตุอาหาร	สภาพละลายน้ำได้ (กรัม/น้ำ 100 กรัม)
ยูเรีย	46.6 % N	78.0 (5 °C)
แอมโมเนียมไนเทรต	35.0 % N	118.3 (0°C)
แอมโมเนียซัลเฟต	21.2 % N	70.6 (0°C)
โมโนแอมโมเนียฟอสเฟต	12.2 % N, 61.7 % P_2O_5	22.7 (0°C)
ไดแอมโมเนียฟอตเฟต	21.2 % N, 53.8 % P_2O_5	57.5 (10°C)
โพแทสเซียมเทรต	13.8 % N, 46.6 % K_2O	31.6 (20°C)
โพแทสเซียมคลอไรด์	60.0 % K_2O	34.7 (20°C)
โพแทสเซียมซัลเฟต	54.0 % K_2O	11.1 (20°C)

ที่มา : Mortvedt et al. (1999)

6.6 การคำนวณสูตรปุ๋ยเพื่อการผลิตปุ๋ยผสม การคำนวณสูตรปุ๋ยมี 2 แบบ คือ 1) คำนวณสูตรปุ๋ยเพื่อการผสมปุ๋ยใช้เอง ให้คำนวณให้ตรงตามสูตรปุ๋ย และ 2) คำนวณสูตรปุ๋ยเพื่อผลิตปุ๋ยผสมเพื่อการค้า ให้คำนวณเผื่อปริมาณธาตุอาหารเล็กน้อย เช่น ต้องการผสมสูตร 15-15-15 ก็ต้องกำหนด 15.1-15.1-15.1 หรือมากกว่านี้ เพื่อชดเชยความบกพร่องซึ่งอาจเกิดจากการผสม ทำให้ปุ๋ยผสมยังคงเป็นสูตรซึ่งไม่ต่ำกว่า 15-15-15 ตามที่ระบุไว้ในฉลาก หากไม่เผื่อไว้ตั้งแต่ต้นและเกิดความผิดพลาดในการผสม อาจทำให้ปุ๋ยผสมที่นำไปจำหน่าย เป็นปุ๋ยเคมีผิดมาตรฐานหรือปุ๋ยปลอม ซึ่งผิดกฎหมาย

สำหรับแม่ปุ๋ยซึ่งนิยมใช้ในการผลิตปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้า ได้แก่ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ยูเรีย (ปุ๋ยเม็ด) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (ปุ๋ยเม็ด) เมื่อกำหนดสูตรปุ๋ยและปริมาณที่ต้องการกับชนิดของแม่ปุ๋ยที่จะใช้ผสมแล้ว ก็คำนวณหาปริมาณแม่ปุ๋ยแต่ละชนิด ซึ่งมี 3 ขั้นตอนคือ

6.3.1 หาน้ำหนักของแม่ปุ๋ยแต่ละชนิด ที่ให้ธาตุอาหารตรงตามสูตรปุ๋ยผสม

6.3.2 รวมน้ำหนักของแม่ปุ๋ยเข้าด้วยกันและ

6.3.3 หากน้ำหนักรวมของแม่ปุ๋ยยังไม่ตลบตามน้ำหนักของปุ๋ยผสมที่ตั้งไว้ ก็ใส่สารเติมน้ำหนักลงไปจนครบ

สำหรับสารเติมน้ำหนักไม่ใช่ปุ๋ย แต่เป็นสารที่มีเม็ดขนาดใกล้เคียงกับเม็ดปุ๋ย นำมาใส่เพื่อให้ได้น้ำหนักครบตามที่กำหนด

6.7 ควบคุมมาตรฐานปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้า

ปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้าจะมีคุณภาพดีก็ต่อเมื่อ ปริมาณธาตุอาหารถูกต้องตามสูตรและสมบัติทาง กายภาพดี ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบ 3 ประการ คือ วัตถุดิบดี กระบวนการผลิตมีความถูกต้องและการ โยกย้ายถ่ายเทถูกวิธี ดังนั้นจึงต้องใช้ความระมัดระวังให้เกิดความถูกต้องในทุกขั้นตอน เพื่อให้ปุ๋ยผสมที่ ผลิตมีคุณภาพด้านธาตุอาหารถูกต้อง การปฏิบัติที่จะช่วยให้ปุ๋ยผสมมีสมบัติทางกายภาพดีอยู่เสมอนั้น มีอยู่ ดังนี้

1) พยายามป้องกันมิให้ปุ๋ยที่ดูดความชื้นง่าย สัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงในระหว่างเก็บและขนย้ายถ่ายเท

2) หลีกเลี่ยงการผสมแม่ปุ๋ยที่ไม่เข้ากันทางเคมี

3) ในทุกขั้นตอนของ การปฏิบัติและในทุกส่วนของกระบวนการผลิต ควรหลีกเลี่ยงการใช้แรงกระทำต่อปุ๋ยมากเกินไปจนเม็ดปุ๋ยแตก

ในระหว่างการผลิตควรสุ่มเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปุ๋ยที่ผลิตในแต่ละคราว เพื่อส่งไปวิเคราะห์ปริมาณ ธาตุอาหาร นำผลการวิเคราะห์มาใช้ประโยชน์ 2 ด้าน คือ 1) ประเมินผลการทำงานว่ามีความถูกต้องหรือไม่ หากบกพร่องในส่วนใดจะได้รีบแก้ไข ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพ (quality control, QC) ขององค์กร และ 2) เป็นหน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตเกี่ยวกับปุ๋ย ในพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 หมวด 3 ซึ่งกำหนดอย่างชัดเจนในมาตรา 21 เรื่องให้ผู้รับใบอนุญาตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้าปฏิบัติ ดังข้อความในวรรค 3 ว่า “จัดให้มีการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีทุกครั้งที่ผลิตขึ้น ก่อนนำออกจากสถานที่ผลิต โดยมีหลักฐาน แสดงรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ทุกครั้ง ซึ่งต้องเก็บรักษาไว้ไม่น้อยกว่าสิบปี

6.8 วัตถุดิบ ปุ๋ยผสมแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกันจะผ่านเกณฑ์ด้านคุณภาพทั้งสองประการได้ก็ต่อเมื่อ ผู้ประกอบการได้รับแม่ปุ๋ยคุณภาพสูงจากผู้ผลิต สำหรับโรงงานผสมปุ๋ยบางแห่งมีห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ก็สามารถตรวจสอบคุณภาพด้านธาตุอาหารของแม่ปุ๋ยได้ แต่ส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาผลการวิเคราะห์จากผู้ผลิต หรือ ห้องปฏิบัติการของส่วนราชการสำหรับความถูกต้องด้านเกรดของปุ๋ยผสมที่ผลิตออกมาขึ้นอยู่กับความซื่อตรงของผลการวิเคราะห์ที่รายงานมาพร้อมกับการส่งมอบแม่ปุ๋ยนั้น

6.9 กระบวนการผลิต การควบคุมมาตรฐานการผลิตเริ่มจากความถูกต้องของการคำนวณหาปริมาณของแม่ปุ๋ยแต่ละอย่างอันเป็นส่วนผสม (formulation) ความถูกต้องของการชั่งแม่ปุ๋ย ความสมบูรณ์ของการผสม และ ความสำเร็จของการป้องกันการแยกตัวภายหลังการผสม

ปัญหาใหญ่ประการหนึ่งของการผลิตปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้าก็คือ ต้องพยายามรักษาคุณภาพด้าน ธาตุอาหารให้อยู่ในเกณฑ์คลาดเคลื่อนที่รัฐกำหนดไว้ ผลการวิจัยด้านข้อบกพร่องในการผสมพบว่า ความคลาดเคลื่อนในด้าน การชั่งน้ำหนักปุ๋ย อันเนื่องจากการทำงานของตาชั่ง และเครื่องผสม แม้จะมีบ้างแต่ก็ไม่มีความสำคัญเท่าใดนัก กล่าวคือ ในส่วนของระบบการชั่งปุ๋ยนั้น ถ้าทำความสะอาดให้ ดี และตรวจสอบความเที่ยงตรงเป็นครั้งคราว ก็สามารถเชื่อถือผลการชั่งได้แล้ว สำหรับการผสมแทบจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาใดๆ เลย เนื่องจากเวลาที่ใช้เพียง 2-3 นาทีนั้น เครื่องผสมมาตรฐานโดยทั่วไปก็สามารถ คลุกเคล้าแม่ปุ๋ยทั้งหมดให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ