บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 การจัดการธาตุอาหารในการผลิตมันฝรั่ง

มันฝรั่งเป็นพืชหัวที่ต้องการธาตุอาหารในระดับสูง เนื่องจากเป็นพืชที่มีการสะสมธาตุอาหารเป็นปริมาณมาก และมันฝรั่งให้มวลแห้งสูงในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าธัญพืชอื่นๆ เป็นผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในปริมาณมาก ซึ่งโดยทั่วไปดินส่วนใหญ่ไม่สามารถให้ธาตุอาหารได้เพียงพอ ดังนั้นการให้ปุ๋ยเคมีจึงเป็นกิจกรรมที่จำเป็นในการผลิตมันฝรั่ง (Imas and Bansal, 1999)

การจัดการปุ๋ยเคมีที่ถูกต้องควรพิจารณาระดับความต้องการธาตุอาหารของมันฝรั่งตามระยะพัฒนาการ สภาพกาลอากาศ (Weather) และพันธุ์มันฝรั่ง ผลผลิตที่เป็นไปได้สำหรับพันธุ์ที่คัดเลือก ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกมันฝรั่ง พื้นที่ที่เพาะปลูก และการพิจารณาถึงความสามารถในการให้ธาตุอาหารของดิน ศักยภาพการสูญเสียธาตุอาหาร ศักยภาพการเจริญเติบโตของพืช ผลการวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกมันฝรั่งช่วยการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามสภาพธรรมชาติ และใช้ในการคำนวณอัตราปุ๋ยเคมีที่ต้องเติมก่อนการปลูกมันฝรั่ง ตามความต้องการของมันฝรั่งตามระยะพัฒนาการ (Lang et al., 1997)

2.2 ระยะพัฒนาการของมันฝรั่ง

ระยะพัฒนาการของพืช (Crop Phenology or Development) หมายถึงการที่พืชเปลี่ยนจากระยะพัฒนาการหนึ่งไปสู่อีกระยะพัฒนาการหนึ่งโดยไม่สามารถย้อนกลับไปยังระยะพัฒนาการที่ผ่านมา เช่น การที่ข้าวมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนจากระยะต้นกล้าเป็นระยะแตกกอ หรือจากระยะหนุ่มสาวเป็นระยะการแทงช่อดอกหรือออกรวง เป็นต้น อัตราการเปลี่ยนแปลงระยะพัฒนาการ (Developmental rate) ขึ้นกับการจัดการผลิตพืช อุณหภูมิพืช และความยาววัน (Ritchie and NeSmith, 1991) และไม่เกี่ยวกับอัตราการเจริญเติบโตของพืช

มันฝรั่งมีระยะพัฒนาการจากเริ่มการปลูกถึงระยะเก็บเกี่ยวแบ่งออกเป็น 4 ระยะซึ่งแบ่งตามพัฒนาการของกิ่งก้านใบ พัฒนาการของหัวมันฝรั่ง และความต้องการธาตุอาหาร (Ojala et al., 1990) ดังนี้คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 ระยะพัฒนาการทางใบและกิ่งก้าน (Vegetative developmental stage)

หลังจากปลูกเมื่อมีตาผ่านพ้นระยะพักตัวและเจริญพัฒนาเป็นหน่อ เป็นระยะที่มันฝรั่งมีพัฒนาการทางใบและกิ่งก้าน เริ่มต้นการสะสมน้ำหนักแห้ง และเป็นระยะที่มีการพัฒนาการที่รวดเร็วของรากและส่วนเหนือดิน โดยช่วงพัฒนาการนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 15-30 วัน และเป็นระยะก่อนการเริ่มเกิดหัว พัฒนาการในระยะนี้มันฝรั่งมีความต้องการไนโตรเจนต่ำ โดยประมาณ 15% ของการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด ถ้าเกิดการขาดไนโตรเจนในช่วงเวลาสั้นๆ ระหว่างช่วงพัฒนาการทางลำต้น อาจจะไม่เป็นปัจจัยหลักในการลดปริมาณและคุณภาพผลผลิต อย่างไรก็ตามการดูดใช้ไนโตรเจนที่มากเกิน เป็นผลให้เกิดการเติบโตทางเถามาก ทำให้ระยะเวลาการเติบโตยาวนานออกไป และการขาดน้ำในช่วงระยะเวลานี้ จะทำให้ดัชนีพื้นที่ใบลดลง

2.2.2 ระยะเริ่มเกิดหัว (Tuber Initiation stage)

เป็นระยะที่มันฝรั่งเข้าสู่ระยะของการเปลี่ยนและมีพัฒนาการของหัวมันฝรั่ง โดยการพัฒนาที่ปลายของกิ่งแขนงจากส่วนของตาของลำต้นที่อยู่ใต้ดินหรือไหล ซึ่งระยะนี้จะใช้ช่วงเวลาประมาณ 10-14 วัน และอัตราการดูดใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างช่วงเริ่มเกิดหัว โดยประมาณ 30% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่พืชดูดใช้ การขาดไนโตรเจนในช่วงระยะเวลานี้ จะทำให้พื้นที่ใบ และการพัฒนาการของส่วนเหนือดินลดลง แต่จะทำให้เกิดการกระตุ้นในการสร้างหัวมันฝรั่งก่อน ส่วนไนโตรเจนที่มากจะกระตุ้นพัฒนาการทางเถา และอาจทำให้การเกิดหัวล่าช้า และการขาดน้ำในช่วงระหว่างการเริ่มเกิดหัวจะทำให้จำนวนหัวต่อต้นลดลง อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับพันธุ์มันฝรั่งด้วย

2.2.3 ระยะการสะสมน้ำหนักหัว (Tuber Bulking stage)

เป็นระยะพัฒนาการที่มีการเพิ่มจำนวนและเพิ่มน้ำหนักของหัวมันฝรั่ง น้ำหนักแห้งหัวจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะนี้มีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารพืชจากลำต้นและรากไปยังหัว โดยระยะพัฒนาการนี้จะมีช่วงเวลาอยู่ระหว่าง 60-120 วัน ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฤดูปลูกและโรคที่เข้าทำลายมันฝรั่งมีความต้องการไนโตรเจนสูงระหว่างช่วงการสะสมน้ำหนักของหัว โดยประมาณ 58% และ 71% ของการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด โดยเกิดขึ้นก่อนและในช่วงกลางการสะสมน้ำหนักของหัว

2.2.4 ระยะการสุกแก่ (Maturation stage)

เป็นระยะพัฒนาการที่ลำต้นและใบมีอายุมากและไม่มีการสร้างลำต้นและใบใหม่ ใบมีสีเหลืองหรือมีการสูญเสียใบ และอัตราการเจริญเติบโตของหัวในระยะการเติบโตนี้ จะต่ำกว่าระยะการสะสมน้ำหนักหัว (Tuber bulking) และมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งหัว ซึ่งได้จากการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากส่วนเหนือดินและรากมายังหัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การเติบโตของมันฝรั่ง

การเติบโตของพืช (Growth) หมายถึง การที่พืชเปลี่ยนแปลงด้านน้ำหนัก ด้านรูปร่าง ด้านขนาด ที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยมันฝรั่งมีอัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมและการจัดการ ระดับของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ ระดับธาตุอาหารในดิน และการรบกวนของโรคแมลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เช่น การเพิ่มขึ้นของขนาดพื้นที่ใบ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักลำต้น น้ำหนักหัว หรือการลดลงของน้ำหนักส่วนต่างๆ เมื่อพืชอยู่ในระยะขาดน้ำเป็นต้น

2.4 การดูดใช้ธาตุอาหารของมันฝรั่ง

มันฝรั่งเป็นพืชที่ดูดใช้ธาตุอาหารในดินเป็นปริมาณมากเนื่องจากเป็นพืชที่มีการสะสมอาหารที่สังเคราะห์ได้ไว้ในส่วนของหัวมันฝรั่ง (Lorenz et al., 1984) ในแปลงปลูกมันฝรั่งที่ให้ผลผลิตน้ำหนักหัวมันฝรั่ง 8 ตันต่อไร่ มันฝรั่งเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจำนวน 200 กก. N, 40 กก. P, และ 300 กก.K การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารโดยประมาณของมันฝรั่งพันธุ์ Russet Burbank ที่ผลผลิตระดับต่างๆ แสดงในตาราง 2.1 จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในหัวมันฝรั่งพบว่าในแต่ละตันของหัว มันฝรั่งสดมีธาตุอาหารเท่ากับ 2.72 กก. N, 0.52 กก. P, และ 4.28 กก. K และการสะสมของธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของมันฝรั่ง ดังตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 การสะสมธาตุอาหารต่างๆ ในแต่ละส่วนของมันฝรั่ง

ผลผลิต	ส่วนของมันฝรั่ง	การดูดใช้ธาตุอาหารของมันฝรั่ง		
		N	P	K
--- ตันต่อไร่---		---------- กิโลกรัมต่อไร่----------		
2.9	Vines	5.44	0.48	12.96
	Tubers	5.92	1.28	14.40
	Total	11.36	1.76	27.36
6.4	Vines	8.16	0.48	10.40
	Tubers	17.76	2.24	26.56
	Total	25.92	2.72	36.96
9.0	Vines	17.28	1.28	39.36
	Tubers	31.04	5.76	32.16
	Total	48.32	7.04	71.52
10.2	Tubers	23.52	3.52	35.20
10.8	Tubers	32.16	8.16	44.80

ที่มา :Lorenz and Maynard (1984)

ข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในมันฝรั่ง สามารถใช้ประกอบการจัดการปุ๋ยให้กับมันฝรั่งได้ โดยปริมาณธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายหรือปริมาณธาตุอาหารที่มันฝรั่งต้องการจึงมีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายของผลผลิต (Fageria and Baligar, 1997)

2.5 การจัดการธาตุอาหารต่างๆ

2.5.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีบทบาทต่อพืชโดย เพื่อการเติบโตของลำต้นและหัว ทำให้ต้นพืชแข็งแรงมีสีเขียว เพิ่มความต้านทานโรคให้แก่ต้นพืช เช่น โรค verticillium wilt และ rhizoctonia พืชจะได้รับไนโตรเจนจากไนโตรเจนที่มีอยู่ในดิน (residual soil N) ไนโตรเจนที่ได้จากขบวนการ mineralized จากแหล่งสารอินทรีย์ไนโตรเจนในดิน ไนโตรเจนที่ได้จากการชลประทานและได้จากการปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้แก่พืช (Lang et al., 1997) ซึ่งการจัดการไนโตรเจนเป็นสิ่งสำคัญต่อการผลิตพืช เนื่องจากพืชต้องการไนโตรเจนเป็นปริมาณมาก การจัดการไนโตรเจนให้แก่พืชต้องพิจารณาถึงปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในดิน พืชที่ปลูกในฤดูกาลก่อนหน้านี้ การ mineralized จาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารอินทรีย์ไนโตรเจนในดิน ดังนั้นการจัดการธาตุอาหารให้แก่พืชโดยการใช้ปุ๋ยเคมี จึงต้องพิจารณาไนโตรเจนจากแหล่งเหล่านี้ร่วมด้วย ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการเพิ่มเติม ขึ้นอยู่กับการดูดใช้ของพืช และตามเป้าหมายผลผลิตที่ต้องการ (Saluzzo et al., 1999)

พืชต้องการไนโตรเจนในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ในระยะที่พืชอยู่ในระยะที่เจริญเติบโตทางใบมาก พืชจะมีความต้องการไนโตรเจนเป็นปริมาณมาก ในระยะหลังการเจริญเติบโตทางใบแล้ว พืชต้องการไนโตรเจนในอัตราที่น้อยลง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ คือ ใส่ในระยะแรกที่พืชต้องการธาตุอาหารไปช่วยเร่งการเจริญเติบโตทางใบและกิ่งก้าน (vegetative growth) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนควรจะแบ่งใส่ 2 ถึง 3 ครั้ง เพื่อช่วยการเจริญเติบโตในระยะแรก และเพื่อช่วยเร่งการเจริญในระยะที่สอง และเพื่อรักษาระดับธาตุอาหารในระยะที่สาม (กรมวิชาการเกษตร, 2542) แต่ถ้าให้ไนโตรเจนที่ล่าช้าจนกระทั่งเริ่มสร้างหัว ผลผลิตมันฝรั่งอาจจะลดลงเนื่องจากมีจำนวนหัวน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการให้ไนโตรเจนมากในต้นฤดูกาลเพาะปลูก อาจจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตทางลำต้นมากเกินไป และทำให้การเกิดหัวล่าช้า ปริมาณไนโตรเจนที่ให้มากเกินระหว่างช่วงการสะสมน้ำหนักหัว (tuber bulking) สามารถทำให้เกิดการเติบโตของลำต้นในช่วงปลายฤดูกาลและทำให้การสุกแก่ของหัวล่าช้าไป (Joern and Vitosh, 1995a)

2.5.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีบทบาทต่อพืชโดย บทบาทต่อการพัฒนาการของราก ความแข็งแรงของพืช การต้านทานต่อโรค และหน้าที่ต่อสรีระวิทยาของพืช คือ ต่อการสังเคราะห์แสง การแบ่งเซลล์ การเคลื่อนย้ายน้ำตาลไปยังส่วนที่เก็บสะสม และการส่งต่อรหัสพันธุกรรม จากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ การให้ฟอสฟอรัส มักใส่ขณะปลูกพืชหรือเมื่อพืชขึ้นแล้ว 2 ถึง 4 สัปดาห์ เพื่อสนับสนุนการงอกและการเติบโตของลำต้นและราก ในระยะพัฒนาการทางใบและกิ่งก้าน ระยะการเริ่มเกิดหัว และระยะการสะสมน้ำหนักของหัว (กรมวิชาการเกษตร, 2542)

2.5.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียมจำเป็นต่อพืชที่เก็บสะสมแป้ง เนื่องจากโพแทสเซียมสำคัญต่อการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต หน้าที่ของโพแทสเซียมต่อสรีระวิทยาของพืช คือ เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์มากกว่า 30 ชนิด กระตุ้นการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในพืช การลำเลียงธาตุอาหารในพืช การลำเลียงคาร์โบไฮเดรต และการสะสมคาร์โบไฮเดรต กระตุ้นการสังเคราะห์แสง รักษาระดับความเต่งของเซลล์ และ ควบคุมการเปิดของปากใบเป็นต้น โพแทสเซียมที่พอเพียงมีบทบาทต่อมันฝรั่งคือ มีผลต่อการพัฒนาการของราก และช่วยเพิ่มผลผลิต เพิ่มปริมาณของหัวขนาดใหญ่ เพิ่มขนาดของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หัวมันฝรั่ง เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน อีกทั้งช่วยให้ต้านทานต่อความแล้ง และต้านทานต่อโรค ช่วยในการสร้างแป้งและเคลื่อนย้ายแป้งน้ำตาลภายในต้นพืช

โพแทสเซียมที่พืชดูดใช้ ได้จากสารละลายดินในรูปของโพแทสเซียมไอออน (K^+) ซึ่งได้รับการเพิ่มเติมจากอนุภาคดินบริเวณที่แลกเปลี่ยนได้ ดังนั้นค่าการวิเคราะห์โพแทสเซียมที่สกัดได้ (K^+) จะเป็นดัชนีบอกถึงความสามารถในการให้โพแทสเซียม ดังนั้นการพิจารณาการให้โพแทสเซียมควรขึ้นอยู่กับค่าการวิเคราะห์ดิน (Lang et al., 1997)

เวลาสำหรับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม จะใส่ก่อนหรือหลังการปลูกพืชก็ได้ สำหรับพืชไร่การใส่ปุ๋ยนี้ในขณะปลูกพืชหรือใส่เมื่อพืชเป็นต้นอ่อน ประมาณ 2 ถึง 4 สัปดาห์ ไม่ทำให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยแตกต่างกัน สำหรับดินทรายและพืชที่มีอายุยาวการแบ่งใส่หลายๆ ครั้ง จะให้ประสิทธิภาพมากกว่าการใส่จำนวนมากในครั้งเดียว (กรมวิชาการเกษตร, 2542)

2.6 การจัดการปุ๋ยเคมีแก่มันฝรั่ง

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก เพื่อการจัดการปุ๋ย ให้แก่มันฝรั่ง ได้แก่ธาตุไนโตรเจน (ตารางที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.3) ธาตุฟอสฟอรัส (ตารางที่ 2.4 และ ตารางที่ 2.5) และโพแทสเซียม (ตารางที่ 2.6 และ ตารางที่ 2.7) ซึ่งอัตราการให้แตกต่างกันตามระดับเป้าหมายผลผลิต และระดับธาตุอาหารในดิน ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 อัตราธาตุไนโตรเจนที่ต้องให้ ตามผลค่าการวิเคราะห์ดินและผลผลิตมันฝรั่ง

ค่าการวิเคราะห์ดิน	ผลผลิตมันฝรั่ง (ตันต่อเฮกแตร์)				
(แอมโมเนียมและไนเตรท)	25	38	50	62	75
---------- ppm ----------	---------- อัตราการให้ไนโตรเจน (กิโลกรัมต่อเฮกแตร์)----------				
0	112	168	224	280	36
10	67	123	179	235	291
20	22	78	135	191	247
30	0	34	90	146	202
40	0	0	45	101	157
50	0	0	0	56	112
60	0	0	0	0	0

ที่มา: http://www.raido.biosestate.edu

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 อัตราธาตุไนโตรเจนที่ต้องให้ ตามผลค่าการวิเคราะห์ดินและผลผลิตมันฝรั่ง

ค่าการวิเคราะห์ดิน	ผลผลิตมันฝรั่ง (ตันต่อเฮกแตร์)			
(แอมโมเนียมและไนเตรท)	49	62	74	86
---------- ppm ----------	---------- อัตราการให้ไนโตรเจน (กิโลกรัมต่อเฮกแตร์)----------			
0	224	280	336	392
10	179	235	291	347
20	135	191	247	303
30	90	146	202	258

ที่มา: Lang et al. (1997)

ตารางที่ 2.4 อัตราธาตุไนโตรเจนที่ต้องให้ ตามผลค่าการวิเคราะห์ดิน

ค่าการวิเคราะห์ดิน	อัตราฟอสฟอรัสที่ให้		
ระดับความลึก 0-24 ซม.	Base on free lime		
	5%	10%	15%
---------- ppm ----------	---------- กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ----------		
0	269	404	538
5	179	314	448
10	90	224	359
15	0	135	269
20	0	45	179
25	0	0	90
30	0	0	0

ที่มา: http://www.raido.biosestate.edu

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 อัตราธาตุฟอสฟอรัสที่ต้องให้ตามผลค่าการวิเคราะห์ดิน

ค่าการวิเคราะห์ดิน (Sodium bicarbonate)	อัตราฟอสฟอรัสที่ให้
---------- ppm ----------	---------- กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ----------
3	146	331
6	101	229
9	78	178
12	56	128
12-20	34	76
> 20	0	0

ที่มา: Lang et al (1997)

ตารางที่ 2.6 อัตราธาตุโพแทสเซียมที่ต้องให้ตามผลค่าการวิเคราะห์ดิน

ค่าการวิเคราะห์ดินระดับความลึก 0-24 ซม.	อัตราโพแทสเซียมที่ให้ (K_2O)
---------- ppm ----------	---------- กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ----------
0	269
55	179
110	90
> 158	0

ที่มา: http://www.raido.biosestate.edu

ตารางที่ 2.7 อัตราธาตุโพแทสเซียมที่ต้องให้ ตามผลค่าการวิเคราะห์ดิน

ค่าการวิเคราะห์ดิน	อัตราโพแทสเซียมที่ให้	
ระดับความลึก 0-30 ซม.	K	K_2O
---------- ppm ----------	---------- กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ----------	
60	448	539
120	336	405
180	224	270
240	112	135
> 240	0	0

แหล่งที่มา : Lang et al (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.1 การจัดการปุ๋ยเคมีแก่มันฝรั่งในอัตราต่างๆ

จากการศึกษาความสมดุลของธาตุอาหารของโพแทสเซียม และไนโตรเจน (Imas and Bansal, 1999) ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของมันฝรั่งในประเทศอินเดีย ที่เมือง Jalandhar โดยใช้โพแทสเซียม (KCl) 3 ระดับ คือ 0, 75 และ 150 กก. K_2O ต่อเฮกแตร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับคือ 80, 160 และ 240 กก.Nต่อเฮกแตร์ ที่เมือง Jalandhar ตามลำดับ ร่วมกับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 100 กก. P_2O_5 ต่อเฮกแตร์ โดยใช้มันฝรั่งพันธุ์ Kufri Jyoti ผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 100-206 กก. K_2O ต่อเฮกแตร์ ผลการศึกษาพบว่าผลผลิตมันฝรั่งที่เมือง Jalandhar ผลผลิตมันฝรั่งสูงสุดเท่ากับ 22.7 ตันต่อเฮกแตร์ เมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 240 กก. N ต่อเฮกแตร์ ร่วมกับ 100 กก. P_2O_5 ต่อเฮกแตร์ และ 150 กก. K_2O ต่อเฮกแตร์ อัตราการให้ปุ๋ยพิจารณาตามค่าการวิเคราะห์ดินสำหรับ alluvial soils ของ Jalandhar พบว่าค่าวิกฤตสำหรับโพแทสเซียมเท่ากับ 105 ppm

จากการศึกษาของ Meyer และ Marcum (1998) ซึ่งศึกษาการตอบสนองผลผลิตมันฝรั่งต่อปุ๋ยไนโตรเจน ประกอบด้วยอัตราของปุ๋ยไนโตรเจน 6 ระดับ ดังนี้คือ 0, 56, 112, 168, 224 และ 448 กก.ต่อเฮกแตร์ และปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 24.6 กก.ต่อเฮกแตร์ และโพแทสเซียมในอัตรา 44 กก.ต่อเฮกแตร์ พบว่าค่าผลผลิตมันฝรั่งต่ำสุดและสูงสุดคือ 41.3 และ 45.6 ตันต่อเฮกแตร์ เมื่อใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 56 และ 168 กก. N ต่อเฮกแตร์

Westermann และ Kleinkopf (1985) พบว่าการให้ไนโตรเจนก่อนปลูกมากกว่าหรือเท่ากับ 134 กก.ต่อเฮกแตร์ จะทำให้ผลผลิตมันฝรั่งลดลงเพราะทำให้การเจริญเติบโตของหัวล่าช้า

จากการศึกษาของ Robert et al. (1982) โดยการปลูกมันฝรั่งในดินร่วนทรายโดยการใช้ปุ๋ยที่อัตรา 24 48 และ 96 กก. N ต่อเฮกแตร์ ในกระถาง และในแปลงทดลอง โดยใช้ไนโตรเจนในอัตราจาก 112 ถึง 448 กก. ต่อเฮกแตร์ ซึ่งพบว่าตัวอย่างที่เก็บที่อายุ 1 เดือนของการทดลองในกระถางมีน้ำหนักส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นแต่ผลผลิตของหัวลดลงเมื่อมีการใช้ไนโตรเจนในอัตราเพิ่มขึ้นจาก 24 48 กก.ต่อไร่ และ 96 กก.ต่อเฮกแตร์ และจากการทดลองในแปลงทดลองพบว่าผลผลิตสูงสุดของมันฝรั่งที่การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 224 กก.ต่อเฮกแตร์

ในประเทศไทยมีการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตมันฝรั่งเช่นกัน ในระหว่างปี 2535-2537

กรมวิชาการเกษตร (2544) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในระดับต่าง ๆ ต่อผลผลิตของมันฝรั่ง โดยเปรียบเทียบกับพันธุ์มันฝรั่ง 3 พันธุ์คือ Kenebac, Atlantic และ Belchip พบว่ามันฝรั่งต้องการปุ๋ย $N:P_2O_5:K_2O$ ในสัดส่วน 6 ต่อ 1 ต่อ15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้ผลผลิต 4 ตันต่อไร่ เมื่อมีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กก.ต่อไร่ รวมกับยูเรีย 25 กก.ต่อไร่ และโพแทสเซียมซัลเฟต อัตรา 25 กก.ต่อไร่ ทำให้ผลผลิตสูงสุด

การศึกษาการผลิตมันฝรั่งในปีเพาะปลูก 2539 ถึงปี 2540 โดยสำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2541) พบว่าเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่ที่ทำการเพาะปลูกมันฝรั่งมีการใส่ปุ๋ยบ่อยครั้งมีอัตราการใช้ปุ๋ยปริมาณสูงเฉลี่ยไร่ละ 287 กก. หรือ 1,792 กก. ต่อเฮกแตร์ โดยปุ๋ยที่เกษตรกรนิยมใช้ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร้อยละ 35 และ ปุ๋ยสูตร 13-13-21 ร้อยละ 50 ของปริมาณที่ปุ๋ยที่ใช้ทั้งหมด

สมเกียรติ (2531) ได้ศึกษาการตอบสนองของมันฝรั่งต่อปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินนาภาคเหนือโดยการวางแผนการทดลองเป็น 4 x 3 โดยใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0, 8, 16 และ 24 กก.ต่อไร่ P_2O_5 3 อัตราคือ 0, 4, 8 กก.ต่อไร่ และใช้ K_2O อัตรา 8 กก.ต่อไร่ ซึ่งพบว่าปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 กก.ต่อไร่ ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราที่ต่ำกว่าและการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเกินกว่า 16 กก.ต่อไร่ ไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิต

จากการจัดการปุ๋ยที่ระดับต่างๆ ดังกล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า การจัดการปุ๋ยมีอัตราที่ต่างๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โดยค่าวิเคราะห์ดินเป็นตัวที่บ่งบอกถึงปริมาณธาตุอาหารที่ต้องเพิ่มเติมให้แก่พืช

2.6.2 การจัดการปุ๋ยที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการจัดการปุ๋ยเคมีให้แก่มันฝรั่ง ขึ้นอยู่กับการดูดใช้ธาตุอาหารของมันฝรั่ง ซึ่งในระหว่างช่วงแรกของการเติบโตทางลำต้น การดูดใช้ธาตุอาหารจะต่ำ เนื่องจากความต้องการของพืชต่ำ ระหว่างช่วงเวลาจากงอกจนถึงพืชเริ่มตั้งตัวได้ ในระยะแรก (Vegetative developmental stage) การดูดใช้ธาตุอาหารพืชโดยประมาณ 10% ของการสะสมอาหารทั้งหมดทั้งฤดูกาลเพาะปลูกจากทั้งหมดทุกส่วนของพืช ส่วนในระยะการเริ่มเกิดหัว (Tuber Initiation stage) อยู่ในช่วง 10-14 วัน จากระยะการเติบโตทางลำต้น การสะสมธาตุอาหาร ประมาณ 2/3 ของธาตุอาหารทั้งหมดที่ดูดใช้ในระยะ การสะสมน้ำหนักหัว (Tuber Bulking stage) ซึ่งหลังจากการเริ่มออกดอก จะมีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปยังหัวอย่างรวดเร็ว และในระยะการสุกแก่ (Maturation stage) การดูดใช้ธาตุอาหารจะมีค่าน้อยที่สุด (Robert and McDole, 1985)

จากการศึกษาของ Westermann et al. (1988) ของการจัดการปุ๋ยเคมีสำหรับมันฝรั่ง ในปี 1978 และในปี 1980 ของมันฝรั่งสายพันธุ์ Russet Burbank ลักษณะเนื้อดินเป็น silt loam มีการให้ปุ๋ยทั้งหมดก่อนปลูกโดยการหว่านและการฝังกลบ ที่ 15 ซม. และการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในฤดูกาล โดยการหว่านปุ๋ยยูเรียบนพื้นผิวก่อนการให้น้ำ ในพื้นที่ทดลอง ค่าการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่า ในปี 1978 และปี 1980 มีค่าไนเตรทในดินเท่ากับ 5 มก.ต่อกิโลกรัม และ 4 มก.ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการจัดการปุ๋ยให้แก่มันฝรั่งในปี 1978 การจัดการปุ๋ยเป็นดังนี้คือ ไม่มีการใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยก่อนปลูกทั้งหมดอัตรา 134 กก. ต่อเฮกแตร์ และการจัดการปุ๋ยระหว่างฤดูกาล โดยแบ่งใส่สามครั้ง ในอัตรา 134 กก.ต่อเฮกแตร์ ส่วนการจัดการปุ๋ยในปี 1980 มีการจัดการดังนี้คือ การใส่ปุ๋ยก่อนปลูกจำนวน 162 กก. ต่อเฮกแตร์ ให้ปุ๋ยในฤดูกาลเติบโตจำนวน 342 กก.ต่อเฮกแตร์ ซึ่งให้ก่อนปลูกจำนวน 162 กก.ต่อเฮกแตร์ และแบ่งให้ในช่วงฤดูกาล 3 ครั้ง ครั้งละ 45 กก. ต่อเฮกแตร์

ผลการศึกษาพบว่าทั้งสองการทดลองไม่มีความแตกต่างกันของผลผลิตระหว่างการให้ไนโตรเจนก่อนปลูกและระหว่างฤดูกาล ในปี 1978 ให้ผลผลิตเท่ากับ 45 และ 46.8 กก.ต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างในแปลงที่ไม่มีการให้ปุ๋ย สำหรับปี 1980 การจัดการปุ๋ยมีความแตกต่างกัน โดยการจัดการปุ๋ยระหว่างฤดูกาล ให้ผลผลิตสูงกว่าการจัดการปุ๋ยก่อนปลูก โดยให้ผลผลิตเท่ากับ 52 และ 46.6 กก. ต่อเฮกแตร์ สำหรับการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของการจัดการปุ๋ยแบบต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการจัดการปุ๋ยก่อนปลูกมีการดูดใช้ไนโตรเจนสูงกว่าการจัดการปุ๋ยระหว่างฤดูกาลเพาะปลูก ในการเก็บตัวอย่างตอนต้นฤดู ในปี 1980 พบว่าการดูดใช้ไนโตรเจนมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยการดูดใช้ไนโตรเจนของการจัดการปุ๋ยระหว่างฤดูกาลมีค่าสูงกว่าการจัดการปุ๋ยทั้งหมดก่อนปลูก ตลอดทั้งการเก็บตัวอย่าง การดูดใช้ไนโตรเจนในปี 1980 มีค่าสูงกว่าการดูดใช้ไนโตรเจนในปี 1978 เป็นผลเนื่องมาจากความอุดมสมบูรณ์ที่มากกว่า และอัตรา N mineralized ที่สูง

จากการศึกษาของ Joern และ Vitosh (1995a) ศึกษาในระหว่างปี 1988 ที่เมือง Entrican และปี 1989 ที่เมือง Entrican และ East Lansing ใช้พันธุ์ Russet Burbank โดยปลูกในดินทราย จากการทดลองโดยการใช้ $(NH_4)_2SO_4$ ที่ระดับ 0, 56 และ 112 กก. ต่อเฮกแตร์ ในการใส่ครั้งเดียวที่วันปลูกหรือการแบ่งให้ระหว่างฤดูกาลเพาะปลูก ที่ไนโตรเจนอัตรา 112 และ 168 กก. ต่อเฮกแตร์ ผลการศึกษาพบว่า ในปี 1988 ผลผลิตเพิ่มขึ้นกับระดับการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่วันปลูกที่อัตรา 112 กก.ต่อเฮกแตร์ และไม่มีความแตกต่างกันในการเพิ่มขึ้นของผลผลิต จากการจัดการปุ๋ยโดยการแบ่งให้ในฤดูกาล ผลการศึกษาปี 1989 ผลผลิตมีการตอบสนองต่อการจัดการไนโตรเจน ที่เมือง Entrican ผลผลิตทั้งหมดและผลผลิตขนาดใหญ่ มีความแตกต่างกันกับระดับไนโตรเจน ที่เพิ่มขึ้นในวันปลูก ที่ East Lansing ผลผลิตทั้งหมดและผลผลิตขนาดใหญ่ เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มไนโตรเจนที่วันปลูก และผลผลิตทั้งหมดและผลผลิตขนาดใหญ่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 112 กก.ต่อเฮกแตร์ ในการแบ่งให้ระหว่างวันปลูก และวันที่เริ่มเกิดหัว เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดที่วันปลูก และการให้ปุ๋ยที่อัตรา 168 กก.ต่อเฮกแตร์ สำหรับการเพิ่มอัตราการให้ไนโตรเจนที่วันปลูก อาจไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยการศึกษาการจัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การปุ๋ยต่อการตอบสนองของผลผลิตมันฝรั่งในดินทราย พบว่าการเพิ่มการให้อัตราไนโตรเจนที่วันปลูก ไม่มีผลต่อผลผลิตทั้งหมด แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติของผลผลิตที่ขนาดต่ำกว่าตลาดรับซื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับการทดลองในปีต่อมา คือผลผลิตทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน จากการจัดการปุ๋ยโดยการเพิ่มอัตราปุ๋ยที่วันปลูก แต่ผลผลิตขนาดเล็กมีเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ และผลผลิตขนาดใหญ่ลดลงกับการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนที่วันปลูก (Mohamed et al., 1998)

จากการศึกษาของ Joern และ Vitosh (1995b) สำหรับการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนแก่มันฝรั่งศึกษาในระหว่างปี 1988 และปี 1989 ของพันธุ์ Russet Burbank จากผลการศึกษา ในปี 1988 ประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนสำหรับทุกส่วนของพืชไม่ได้รับอิทธิพลโดยอัตราการให้ไนโตรเจนที่วันปลูก และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของส่วนเหนือดิน มีความแตกต่างกันโดยการให้ปุ๋ยที่ 112 กก.ต่อเฮกแตร์ มากกว่าการให้ปุ๋ยที่ 56 กก.ต่อเฮกแตร์ และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนโดยหัวที่ระยะเก็บเกี่ยวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งการให้ปุ๋ยที่อัตรา 112 กก.ต่อเฮกแตร์ ที่วันปลูกทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนมากกว่าการจัดการปุ๋ยโดยการแบ่งให้ที่อัตรา 112 กก.ต่อเฮกแตร์

ในปี 1989 ผลผลิตมีการตอบสนองต่อการจัดการไนโตรเจน ที่เมือง Entrican การจัดการไนไตรเจนแบบต่างๆ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจน ส่วนของพืชทั้งหมด สำหรับพืชส่วนเหนือดินไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนหัวพบว่าการแบ่งให้ไนโตรเจนที่อัตรา 112 กก.ต่อเฮกแตร์ ระหว่างวันปลูกและช่วงเริ่มเกิดหัวมีค่ามากกว่าการให้ไนโตรเจนที่วันปลูกทุกระดับ

ที่ East Lansing ประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและทั้งหมดของพืชเมื่อมีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 112 กก.ต่อเฮกแตร์ ที่วันปลูก มากกว่าเมื่อมีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 56 กก.ต่อเฮกแตร์ และไม่มีความแตกต่างกันของการให้ไนโตรเจนที่ระดับ 112 กก.ต่อเฮกแตร์ และเมื่อรวมทุกการจัดการพบว่า ประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของพืช โดยประมาณเท่ากับ 52 % และค่าเฉลี่ยการดูดใช้ไนโตรเจนของหัวที่ระยะเก็บเกี่ยว ของทุกๆ การทดลอง โดยเฉลี่ยประมาณ 34 %

จากผลการศึกษาข้างต้น ระยะเวลาสำหรับการจัดการปุ๋ย จะเห็นว่า การให้ปุ๋ยแก่มันฝรั่งโดยการจัดการ โดยการให้ทั้งหมดก่อนปลูก การจัดการปุ๋ยโดยการแบ่งให้ระหว่างฤดูกาลเพาะปลูกจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน รวมทั้งลดการสูญเสียของธาตุอาหารอีกด้วย ซึ่งการให้ไนโตรเจนทั้งหมดในต้นฤดูปลูก พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ จากธาตุอาหารที่ให้ทั้งหมดได้ โดยเฉพาะเมื่อให้ในอัตราที่สูง เนื่องจากระบบรากพืชยังมีการพัฒนาไม่เพียงพอที่ จะดูดใช้ธาตุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารที่ให้ได้ทั้งหมด อีกทั้งยังทำให้เกิดการสูญเสียธาตุโดยการชะล้างจากบริเวณรากพืช อาหารได้สูง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินทราย ที่มีฝนตกในปริมาณมาก หรือมีการชลประทาน ที่มากเกินความจำเป็น (Mohamed et al., 1998)

2.7 แบบจำลองการเจริญเติบโตพืช

แบบจำลองพืชในระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer: DSSAT) ได้รับการพัฒนาเพื่อการศึกษาและวิจัยการตอบสนองของพืชนั้นๆ ต่อสภาพแวดล้อมและการจัดการ สำหรับการคาดการณ์ผลผลิต การใช้ทรัพยากร รวมทั้งเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจช่วยการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) และช่วยในการประเมินศักยภาพการผลิตพืชในแต่ละพื้นที่ โดยการพัฒนาแบบจำลองพืชนี้มีพื้นฐานจากความเข้าใจในกระบวนการที่สำคัญของพืชหลายกระบวนการ เช่น การสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงของน้ำและธาตุไนโตรเจนในดินและพืช (อรรถชัย, 2539) ทั้งนี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด เช่น แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CERES-Rice Model) แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด (CERES-Maize Model) และแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย (CANEGRO Model) แบบจำลองข้าวสาลี (CERES-Wheat Model) แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (SOYGRO Model) แบบจำลองการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Cropsim-Cassava Model) และแบบจำลองการเจริญเติบโตมันฝรั่ง (SUBSTOR-Potato Model) เป็นต้น (Tsuji et al., 1994)

2.8 แบบจำลองมันฝรั่ง

แบบจำลองการเจริญเติบโตของมันฝรั่ง (SUBSTOR-Potato) ได้รับการพัฒนาโดย IBSNAT อยู่ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer: DSSAT) ได้จัดอยู่ในกลุ่มแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชหัว ได้แก่ มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง ซึ่งเป็นแบบจำลองพลวัตที่จำลองการเติบโต การพัฒนาการและผลผลิตในระดับการผลิต 3 ระดับคือ ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด ระบบการผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด และระบบการผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด โดยแบบจำลองใช้ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลดิน และสถานะธาตุอาหาร และการจัดการพืช แบบจำลองจะจำลองการเจริญเติบโตที่ได้รับผลกระทบโดยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและการเขตกรรม โดยแบบจำลองจะคำนวณการเติบโตโดยการใช้ความสามารถของแบบจำลองสำหรับ การจำกัดการตรึงคาร์บอนโดยรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ การขาดปริมาณน้ำในดิน การขาดไนโตรเจน โดยการจำลองเหล่านี้เป็นผลของปริมาณน้ำในดิน การชลประทาน ความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจน วันปลูก ความหนาแน่นพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะห่างระหว่างแถว และวิธีการปลูก ต่อการเจริญเติบโตของพืช การพัฒนาการ และผลผลิตพืช (Singh et al., 1998)

2.8.1 แบบจำลองพัฒนาการของมันฝรั่ง

ระยะพัฒนาการของมันฝรั่งแบ่งออกเป็น 5 ระยะพัฒนาการ (Griffin et al., 1993) ได้แก่

ISTAGE 5: ก่อนปลูก (Pre-planting)

ISTAGE 6: ปลูกจนกระทั่งเกิดหน่อ (Planting to sprout germination)

ISTAGE 7: เกิดหน่อจนกระทั่งโผล่พ้นดิน (Sprout germination to emergence)

ISTAGE 1: โผล่พ้นดินจนกระทั่งเริ่มเกิดหัว (Emergence to tuber initiation)

ISTAGE 2: เริ่มเกิดหัวจนกระทั่งสุกแก่ทางสรีระ (Tuber initiation to maturity)

ในระยะการเริ่มเกิดหัวของมันฝรั่ง (Tuber initiation) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องขึ้นอยู่กับ การตอบสนองของพันธุ์ต่อ อุณหภูมิ และ Photoperiod และขึ้นอยู่กับสถานะของไนโตรเจนในพืช และสถานะของน้ำในดิน และพันธุ์ต่างๆ มีความแตกต่างกันของค่าอุณหภูมิวิกฤต (threshold temperature) ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งการเกิดหัวของมันฝรั่ง และการเริ่มเกิดหัวของมันฝรั่ง จะได้รับอิทธิพลของค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน มากกว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวัน หรือค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ดังนั้นรูปแบบสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อการเริ่มเกิดหัวของมันฝรั่ง (RTFTI) เพื่อจำลองผลของอุณหภูมิที่สูงต่อการเริ่มเกิดหัวของมันฝรั่ง คำนวณได้จาก

$$RTFTI = 1.0 - 0.0156 * (TEMPM - TC)^2, TC < TEMPM < TC + 8 \quad \text{———} \quad (1)$$

$$RTFTI = TEMPM > TC + 8 \quad \text{———} \quad (2)$$

$$TEMPM = 0.75 * TEMPMN + 0.25 * TEMPMX \quad \text{———} \quad (3)$$

โดยที่

TEMPMN คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายวัน (°C)

TEMPMX คือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายวัน (°C)

TEMPM คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (0.75*TEMPMN+0.25*TEMPMX)

ส่วนค่าปัจจัย Photoperiod ที่มีผลต่อการเกิดหัวของมันฝรั่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อยู่ในช่วง 0.2-0.8 โดยคำนวณจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$$RDLFTI = (1.0 - P2) + 0.00694 * P2 * (24.0 - PHPER)^2 \quad \text{——————} \quad (4)$$

โดยที่

PHPER คือ ค่า photoperiod (ชม.)

ซึ่งถ้า ค่า Photoperiod มีค่าน้อยกว่า12 ชม. จะทำให้ค่า RDLFTI ของแต่ละพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกัน

และค่าดัชนีการชักนำการเกิดหัว (TII) รายวัน คำนวณโดย

$$TII = (RTFTI * RDLFTI) + 0.5 * (1.0 - AMIN1(SWADF2, NDEF2)) \quad \text{——————} \quad (5)$$

และจากการคำนวณค่าดัชนีการชักนำการเกิดหัว (TII) จะคำนวณค่าดัชนีการสะสมการชักนำการเกิดหัว (CTII) ได้โดย

$$CTII = \sum TII \quad \text{——————} \quad (6)$$

2.8.2 แบบจำลองการเติบโตของมันฝรั่ง

การเติบโตของแบบจำลองมันฝรั่งแบ่งออกเป็น

ISTAGE 7: การเติบโตก่อนงอก (Pre-emergent Growth)

ISTAGE 1: การเติบโตทางลำต้น (Vegetative Growth)

ISTAGE 2: การสะสมน้ำหนักหัว (Tuber-bulking)

การเติบโตก่อนงอก (ISTAGE 7)

เป็นการเติบโตจากการเกิดหน่อจนกระทั่งโผล่พ้นดิน โดยในระยะนี้การเติบโต สนับสนุนโดยแหล่งคาร์บอน จากหัวพันธุ์

การเติบโตทางลำต้น (ISTAGE 1)

การเติบโตทางลำต้น ได้รับคาร์บอนจาก หัวพันธุ์ การสังเคราะห์แสง และจากแหล่งสำรองคาร์โบไฮเดรต (reserved carbohydrate) ซึ่ง ความเป็นประโยชน์ของหัวพันธุ์ (seed reserve) จะลดลง เมื่อพืชมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น และการ assimilation C มีปัจจัยของการขาดน้ำและธาตุอาหารอุณหภูมิเกี่ยวข้อง

การสะสมน้ำหนักหัว (ISTAGE 2)

เมื่อมันฝรั่งเริ่มเกิดหัวจะมีการเปลี่ยนแปลงการเติบโตของมันฝรั่ง โดยประสิทธิภาพของการใช้แสง (radiation use efficiency) จะเพิ่มมากขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า และมีการเปลี่ยนแปลงการเติบโตหลังจากการเริ่มเกิดหัว ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแบ่งส่วนต่อส่วนต่างๆ ของพืช โดยจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่างจาก ISTAGE 1 ซึ่งอัตราส่วนของการ assimilate ต่อส่วนต่างๆของพืชยังคงคงที่ ภายใต้การจำกัดการเติบโตและภายใต้สภาวะที่ไม่มีการจำกัด ส่วนใน ISTAGE 2 จะได้รับอิทธิพลโดยหลายๆ ปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ช่วงแสง น้ำและธาตุอาหาร และปัจจัยเหล่ามีมีผลต่อการเริ่มเกิดหัวของมันฝรั่ง และการแบ่งมวลไปยังส่วนต่างๆ หลังจากเริ่มเกิดหัว ซึ่งในแบบจำลองมันฝรั่งกำหนดให้หัวมันฝรั่งได้รับอาหารที่สังเคราะห์ได้ก่อน (available assimilate) ซึ่งเมื่อหัวยังมีขนาดเล็ก หรือภายใต้สภาวะที่มีข้อจำกัด หรือไม่มีข้อจำกัด ซึ่งความเป็นประโยชน์มีเพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตามเมื่อมีสภาวะที่ไม่เหมาะสมซึ่งจะลดความเป็นประโยชน์ ซึ่งจะทำให้การเติบโตส่วนเหนือดินและรากลดลง และพบว่าการเกิดการขาดน้ำระหว่างการสะสมน้ำหนักหัวจะสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดการหยุดการเติบโตส่วนเหนือดินกระหันทัน ในขณะที่หัวยังคงมีการเจริญเติบโตต่อไป

2.8.3 การใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตมันฝรั่ง (SUBSTOR-Potato)

Bowen et al. (1998) ได้ทดสอบแบบจำลองมันฝรั่งในการตอบสนองของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับต่างๆ ของมันฝรั่ง 2 พันธุ์ ที่มีการปลูกแบบชลประทานและการปลูกแบบอาศัยน้ำฝนที่ประเทศ Ecuador และ Peru พบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์ผลผลิตมันฝรั่งมีในช่วง 16-56 ตันต่อเฮกแตร์ เนื่องจากความแตกต่างของภูมิอากาศ ดิน และการจัดการ และการเปรียบเทียบการจำลองการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่างๆ ด้วยแบบจำลอง SUBSTOR-Potato ซึ่งใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่ต่างกัน ที่ประเทศ Peru อีกหลายงานทดลอง ซึ่งมันฝรั่งปลูกในเดือนพฤศจิกายนและเก็บเกี่ยวเดือนเมษายน จากการใช้ข้อมูลภูมิอากาศในปี 1982-1983 Bowen et al. (1998) พบว่าค่าจากการจำลองน้ำหนักสดมันฝรั่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 55 ตันต่อเฮกแตร์ และในปี 1990-1991 ค่าจากการจำลองน้ำหนักสดมันฝรั่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 26 ตันต่อเฮกแตร์ ความแตกต่างของผลผลิตเนื่องมาจากของภูมิอากาศ ซึ่งในปี 1990-1991 มีปริมาณน้ำฝนน้อย และมันฝรั่งเกิดการขาดน้ำในช่วงการเกิดสร้างหัว แม้ว่าระดับผลผลิตจะมีความแตกต่างกันแต่ความต้องการไนโตรเจนยังมีค่าคงที่ประมาณ 16 กรัม N ต่อกิโลกรัม ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.4 ความสามารถของแบบจำลองมันฝรั่งในปัจจุบัน

จากแบบจำลองการเจริญเติบโตของมันฝรั่ง (SUBSTOR-Potato) ซึ่งเป็นแบบจำลองพลวัตที่จำลองการเติบโต การพัฒนาการ และผลผลิตใน 3 ระดับ คือ ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด ระบบการผลิตที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด และระบบการผลิตที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด ซึ่งแบบจำลองจะจำลองการเจริญเติบโต ที่ได้รับผลกระทบโดยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและทางเขตกรรม เช่น การขาดไนโตรเจน โดยแบบจำลองใช้ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลดิน และสถานะธาตุอาหาร และการจัดการพืช (Singh et al., 1998) ซึ่งจากสถานะของธาตุอาหาร จากแบบจำลองมันฝรั่งมีเฉพาะระบบการผลิตที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดเท่านั้น และเนื่องจากธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชหัว เนื่องจากพืชหัวเป็นพืชที่ต้องการโพแทสเซียมมาก (Gathing, 1991) จึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองโพแทสเซียมในดินและพืช โดยแบบจำลองโพแทสเซียมประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในรูปต่างๆ ในดิน จากปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยแบบจำลองโพแทสเซียมได้ใช้งานร่วมกับแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช จากค่า ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำชลประทาน ปริมาณน้ำที่จะสามารถไหลซึมผ่านลงไปในดิน (infiltration) ปริมาณน้ำไหลบ่า (runoff) ปริมาณน้ำที่เหลือจากการเก็บกักของชั้นดิน (drainage) จากแบบจำลองพลวัตของน้ำในดิน เพื่อคำนวณการสูญเสียโพแทสเซียมโดยการไหลบ่า และการสูญเสียโพแทสเซียมลงสู่ดินชั้นล่าง รวมทั้งค่าการสะสมน้ำหนักแห้งของมันฝรั่ง (biomass) จากแบบจำลองการเจริญเติบโตของมันฝรั่ง (SUBSTOR-Potato) เพื่อใช้ในการคำนวณการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมในพืช ซึ่งการสร้างแบบจำลองโพแทสเซียมมีจุดประสงค์เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมในดิน เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคาดการณ์โพแทสเซียมในรูปต่างๆ ในดิน เพื่อใช้ในการจัดการธาตุอาหารให้กับการผลิตพืช

2.9 โพแทสเซียมในดิน-พืช

2.9.1 หน้าที่ของโพแทสเซียมในพืช

ธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักสำหรับการเติบโตของพืช โดยธาตุโพแทสเซียมในพืชไม่รวมอยู่กับโครงสร้างสารประกอบอินทรีย์แต่จะอยู่ในรูปไอออนิก

หน้าที่ของโพแทสเซียมในพืช

เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่ การสังเคราะห์แป้ง ATP production การสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายน้ำตาล ความสัมพันธ์ของน้ำในเซลล์ ควบคุมศักยภาพน้ำในเซลล์ ความเต่งของเซลล์และการดูดน้ำของราก การหมุนเวียนของธาตุอาหารสำหรับการเติบโตต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เช่น การเคลื่อนย้ายไนโตรเจนจากรากไปยังลำต้น คาร์บอนจากลำต้นไปยังส่วนราก หัว หรืออวัยวะที่การเก็บสะสม เช่นเมล็ด ฯลฯ และการเคลื่อนย้ายโพแทสเซียมสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายไนเตรทจากไซเลมไปยังลำต้น ซึ่งการขาดโพแทสเซียมจะยับยั้งการลำเลียงไนเตรท ซึ่งจะทำให้ ไนเตรทในรากและการสะสมกรดอะมิโนลดลง โดยมีผลทำให้เกิดการยับยั้งการดูดใช้ไนโตรเจนทำให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยต่ำ (Krauss, 2000 ; Imas and Bansal, 1999)

2.9.2 แหล่งของโพแทสเซียม

แหล่งของโพแทสเซียม ได้แก่ อินทรียวัตถุ (Organic Matter) พืช โพแทสเซียมในดินรูปต่างๆ และจากปุ๋ยเคมี (Fertilizers)

2.9.3 รูปของโพแทสเซียมในดิน

โพแทสเซียมต่างๆในดิน แบ่งได้เป็น 4 รูปได้แก่ (Mutcher, 1995; Hosseinpour and Alireza, 2002; Simard et al., 1992)

โพแทสเซียมในสารละลายดิน (Soil solution K)

โพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดินพืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่มีในดินในปริมาณที่น้อยประมาณ 1-2 % ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)

โพแทสเซียมในรูปนี้ดูดซับกับอนุภาคดินเหนียวซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนได้ มีบทบาทคือเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดินลดลงโพแทสเซียมที่ดูดซับไว้จะปลดปล่อย (desorption)ไปยังสารละลายดิน ในทางตรงกันข้าม เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดินในสารละลายดินสูงก็จะเกิดการดูดซับ (adsorbtion) กลับไปที่อนุภาคดิน ซึ่งเป็นสมดุล (equilibrium) ระหว่างโพแทสเซียมทั้งสองรูปนี้ ดังนี้

Soil solution K ⟷ Exchangeable K

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้หรือโพแทสเซียมที่ถูกตรึง (Non exchangeable K, Fixation K)

โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปนี้อยู่ระหว่างหลืบของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 โดยเฉพาะแร่อิลไลต์ (Illite) โพแทสเซียมในรูปนี้มีอยู่ประมาณ 1-10 % ซึ่งเป็นโพแทสเซียมที่พืชใช้ไม่ได้ นอกจากจะถูกปลดปล่อย (release) ออกมาเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่อยู่ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปนี้ขึ้นอยู่กับความสมดุล (Equilibrium) กับส่วนของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ดังนี้

Solution soil K ⟷ Exchangeable K ⟷ Nonexchangeable K

โพแทสเซียมในแร่ (Mineral K)

โพแทสเซียมในรูปนี้มีอยู่ถึง 90-98% เป็นโพแทสเซียมที่เป็นส่วนประกอบของ แร่ปฐมภูมิ (primary mineral) ได้แก่ ไมกา (Mica) เฟลด์สปาร์ (Feldspars) และ อิลไลต์ (Illite) สามารถปลดปล่อยสู่พืชอย่างช้าๆ โดยการกษัยการ และการแตกหักของโครงสร้าง

2.9.4 ความสมดุลระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และโพแทสเซียมในสารละลาย ดิน (Equilibrium between adsorbed K and solution K)

ความสมดุลระหว่างโพแทสเซียมที่ดูดซับและโพแทสเซียมในสารละลาย เป็นลักษณะพลวัตร ของความสมดุล (equilibrium) เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายโดยต่อเนื่องระหว่างโพแทสเซียมทั้ง 2 รูป โดยขบวนการแพร่กระจาย (diffusion) ซึ่งขบวนการนี้สามารถเข้าสู่สมดุลได้อย่างรวดเร็ว และความสมดุล ระหว่างโพแทสเซียมที่ดูดซับและโพแทสเซียมในสารละลายเป็นส่วนหนึ่งของความสมดุลของไอออนทั้งหมดในสารละลายดินและมีการดูดซับโดยการแลกเปลี่ยน (Mutscher, 1995)

2.9.5 การเติมเต็มโพแทสเซียม (Potassium replenishment)

นอกจากการดูดซับ (adsorbtion) และการปลดปล่อย (desorption) ในรูปของโพแทสเซียมที่ไม่คงที่ แต่ยังมีการเชื่อมโยงระหว่างโพแทสเซียมที่ไม่คงที่กับโพแทสเซียมในโครงสร้างแร่ เมื่อมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมไปยังสารละลาย โดยการสลายตัวทางเคมี ซึ่งขบวนการนี้เรียกว่า “replenishment” หรือ การเติมเต็มโพแทสเซียม (Mutscher, 1995)

2.9.6 การตรึงโพแทสเซียม (K fixation)

การตรึงโพแทสเซียมในช่องว่างระหว่างแร่ดินเหนียว ซึ่งไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ง่ายกับไอออนบวก เช่นเดียวกับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งการตรึงโพแทสเซียมเกิดขึ้นในดินที่ประกอบด้วยชั้นแร่ซิลิเกต 3 ชั้น ได้แก่ เวอร์มิคิวไลต์ และ อิลไลต์ ซึ่งขบวนการตรึงโพแทสเซียมนี้เกิดขึ้นเมื่อมีการให้ปุ๋ยหรือการเปียกหรือการแห้งของดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรึงโพแทสเซียมและการปลดปล่อย

ชนิดแร่ดินเหนียว (Soil Clay Type)

โพแทสเซียมในแร่ ซึ่งโพแทสเซียมในรูปนี้จะมีการปลดปล่อยสู่โพแทสเซียมในรูปสารละลายดินและโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของแร่ที่ต่างๆ กัน (Ghosh and Singh, 2001) ซึ่งแร่ดินเหนียวที่มีผลต่อการตรึงโพแทสเซียม เป็นแร่ดินเหนียวที่มีการขยายตัว คือแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ได้แก่ มอนต์โมลิโลไนต์ (montmorillonite) เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) อิลไลต์ (Illite) โดยจะมีการตรึงโพแทสเซียมมากในส่วนของสารละลายดิน และโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ส่วนดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 มีการตรึงโพแทสเซียมน้อย ซึ่งแร่ดินเหนียวแบ่งได้ดังนี้คือ (Mutscher, 1995)

แร่ดินเหนียวกลุ่มแรก ได้แก่ เคโอลิไนต์ (Kaolinite) จะดูดซับโพแทสเซียมได้ที่พื้นผิวและขอบที่แตกหักของแร่ เคโอลิไนต์ดูดยึดโพแทสเซียมด้วยแรงที่ไม่มาก และไม่สามารถตรึงโพแทสเซียมได้จึงเป็นผลให้เกิดการชะล้าง โดยเคโอลิไนต์จะมีมากในดินทราย

แร่ดินเหนียวกลุ่มที่สอง ได้แก่ แร่ดินเหนียวอิลไลต์ (Illite) จะดูดยึดโพแทสเซียมที่พื้นผิวและขอบที่แตกหักของแร่และระหว่างชั้นที่ขอบของแร่ ซึ่งแร่ชนิดนี้จะมีการดูดยึดโพแทสเซียมด้วยแรงที่มากกว่าเคโอลิไนต์ ซึ่งแร่อิลไลต์ไม่มีการขยายตัว

แร่ดินเหนียวกลุ่มที่สาม ได้แก่ แร่ดินเหนียวที่ดูดยึดโพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งโพแทสเซียมสามารถเข้าไปยังระหว่างชั้นแร่เมื่อมีการขยายตัวเมื่อมีความชื้น เมื่อเกิดการแห้งจะเกิดการตรึงโพแทสเซียมระหว่างชั้นแร่ และการปลดปล่อยสู่สารละลายดินเป็นไปได้ยาก ซึ่งได้แก่ เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) เป็นแร่ที่มีการขยายตัวได้จำกัด และ มอนต์โมลิโลไนต์ (montmorillonite) เป็นแร่ที่มีการขยายตัวได้เต็มที่

ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (Potassium Concentration)

เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มมากขึ้นจะเพิ่มการตรึงโพแทสเซียมเนื่องจากมีโพแทสเซียมปริมาณมากเข้าไปยังการแลกเปลี่ยนโดยปฏิกริยามวล

การเปียกและการแห้ง (Wetting and drying)

การตรึงโพแทสเซียมได้รับอิทธิพลโดยการเปียกและการแห้งของดิน การตรึงเกิดขึ้นเมื่อระดับค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และความเข้มข้นในสารละลายดินสูง และการปลดปล่อยเกิดขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมต่ำ ดังนั้น การแห้งของดินนำไปสู่ความสมดุลในการกระจายโพแทสเซียมในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิสูงก่อให้เกิดการสูญเสียของน้ำ (dehydration) และการหดตัวของแร่ เป็นผลก่อให้เกิดการตรึงโพแทสเซียมมากขึ้น

ค่าปฏิกริยาดิน (Soil pH)

ค่าปฏิกริยาดินที่สูงขึ้นเป็นผลให้เกิดการตรึงโพแทสเซียมเพิ่มมากขึ้น

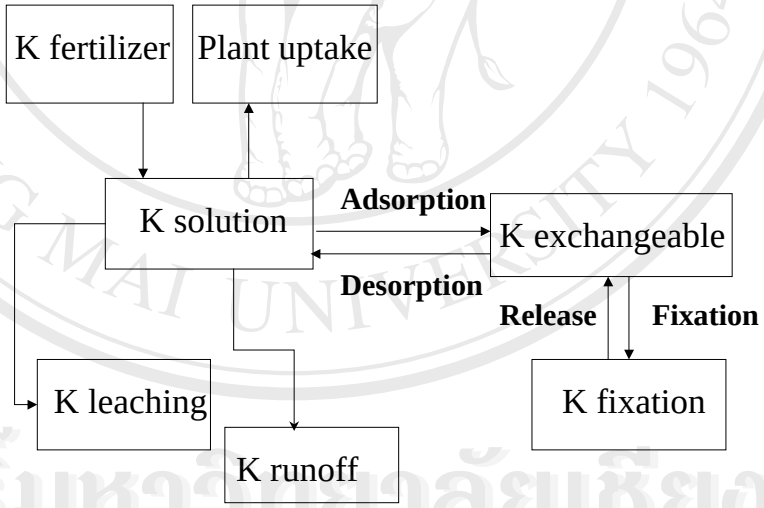
ประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cations)

ประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มีผลต่อการตรึงโพแทสเซียมซึ่งขึ้นกับขนาดไอออนโพแทสเซียมและไอออนที่เข้ามาแทนที่โพแทสเซียม ไอออนบวกที่มีขนาดของไอออน hydrated สามารถเข้าไปยังแร่ดินเนียวและแทนที่บางส่วนของโพแทสเซียมที่ถูกตรึง

เนื้อดิน

เนื้อดินที่มีขนาดเล็กมีความสามารถในการตรึงโพแทสเซียมมากขึ้น

2.10 พลวัตธาตุโพแทสเซียมในดิน



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมรูปต่างๆในดิน (Barros et al., 2004)

จากภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมในรูปต่างๆในดิน ที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยโพแทสเซียมจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากระบบโดยการดูดใช้ของพืชหรือชะล้างสู่ดินชั้นล่าง และจะได้รับการเพิ่มเติม (Replenishment) โดยการปลดปล่อยโพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) และโพแทสเซียมในรูปที่ถูกตรึง (Fixation K) และเมื่อมีโพแทสเซียมในสารละลายดินเพิ่มขึ้น หลังจากการให้ปุ๋ยเคมี โพแทสเซียมจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังโพแทสเซียมทั้ง 2 รูปนี้ คือ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การปลดปล่อยโพแทสเซียมจากโพแทสเซียมที่ถูกตรึง (Fixation K) สัมพันธ์ต่อปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) โดยเมื่อปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีปริมาณสูงเช่นเดียวกับมีการปลดปล่อย K มากจากโพแทสเซียมที่ถูกตรึง และเมื่อมีการค่อยๆ ลดลงของการดูดใช้โพแทสเซียมจากโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ การปลดปล่อยโพแทสเซียมจากโพแทสเซียมที่ถูกตรึง จะค่อยๆลดลง ซึ่งอัตราส่วนของการปลดปล่อยของโพแทสเซียมจะแตกต่างกัน ตามชนิดของดินเหนียวและการกยัยการ ฯลฯ (Krauss and Johnston, 2002) จากความสัมพันธ์ข้างต้น เป็นปฏิกิริยาสมดุลของโพแทสเซียมในดินและความรู้ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโพแทสเซียมรูปต่างๆนี้ มีความจำเป็นในการจัดการเพิ่มเติมปุ๋ยโพแทสเซียมให้กับดิน (Spark and Huang, 1985)

2.1 แบบจำลองพลวัตของธาตุโพแทสเซียม

แบบจำลองพลวัตของธาตุโพแทสเซียมต้นแบบมีการพัฒนาโดย Barros et al. (2004) ซึ่งในการจำลองการเปลี่ยนแปลงของธาตุโพแทสเซียม ในขั้นตอนแรกก่อน แบบจำลองจะประมาณค่าปริมาณของโพแทสเซียมในสารละลายดิน และปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกตรึง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวในดินนั้นๆ รวมทั้งระดับปริมาณของการกยัยการ จากนั้นแบบจำลองจะคำนวณอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมในแต่ละรูป คืออัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมในสารละลายดิน กับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมที่ถูกตรึงกับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งจะเรียกว่า อัตราส่วนสมดุล (equilibrium ratio) และสมมุติให้โพแทสเซียมทั้ง 3 รูปนี้ อยู่ในสภาพที่เกิดสมดุล ซึ่งค่าอัตราส่วนสมดุลนี้ ไม่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของไอออนบวก ซึ่งได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียม ที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนโพแทสเซียมในสารละลายดินและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ร่วมด้วย

แบบจำลองจะคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในแต่ละวัน โดยเริ่มจากในแต่ละวัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมในรูปต่างๆ โดยขบวนการต่างๆ ซึ่ง ได้แก่ การให้ปุ๋ย หรือการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากเศษซากพืช การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ จะเป็นการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และการลดลงของปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายดิน โดยเกิดจากการชะล้าง และการไหลบ่า ซึ่งโพแทสเซียมในรูปต่างๆ จะเกิดการเคลื่อนย้ายจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง เพื่อที่จะทำให้เกิดสมดุลอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะคำนวณได้โดย ปริมาณของโพแทสเซียมในแต่ละรูป และค่า parameter ของค่า velocity control ระหว่างโพแทสเซียมในสารละลายดินกับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับโพแทสเซียมที่ถูกตรึง ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่คำนวณได้เมื่อเกิดสมดุลแล้ว คือค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณโพแทสเซียมในรูปต่างๆ ของแต่ละวัน และเริ่มการคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมในรูปต่างๆ วันต่อไป โดยขั้นตอนการเดิม โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณดังนี้คือ

2.11.1 การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนย้ายระหว่างโพแทสเซียมในแหล่งต่างๆ (Transfer between the soil K pools)

รูปแบบสมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายดิน และโพแทสเซียมที่ถูกตรึง ในดินที่มี การกษัยการเล็กน้อย (slightly weathered)

$$K_{sol\,l} = 0.026 K_{exc\,l} + 0.5 \qquad \text{——— (7)}$$

$$K_{fix\,l} = 1781 + 316 Cl_{l} \qquad \text{——— (8)}$$

และสำหรับดินที่มี การกษัยการมาก (highly weathered)

$$K_{sol\,l} = 0.052 K_{exc\,l} - 0.12 \qquad \text{——— (9)}$$

$$K_{fix\,l} = 374 - 236 Cl_{l} \qquad \text{——— (10)}$$

โดยที่

$K_{sol\,l}$ คือ ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายดิน (kg ha^{-1})

$K_{exc\,l}$ คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (kg ha^{-1})

$K_{fix\,l}$ คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกตรึง (kg ha^{-1})

l คือ ความลึกของชั้นดิน (cm)

อัตราส่วนของสมดุล (Equilibrium ratios) ระหว่างโพแทสเซียมในแหล่งต่างๆ ของแต่ละวัน สามารถคำนวณได้จาก

$$KES_{l} = \frac{K_{sol\,l}}{K_{exc\,l}} \qquad \text{——— (11)}$$

$$KES_{l} = \frac{K_{fix\,l}}{K_{exc\,l}} \qquad \text{——— (12)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่

KES_l เป็นอัตราส่วนความสมดุลระหว่าง โพแทสเซียมในสารละลายดิน (K_{sol}) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_{exc}) ที่ชั้นดินนั้นๆ

KEF_l เป็นอัตราส่วนความสมดุลระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_{exc}) และโพแทสเซียมที่ถูกตรึง (K_{fix}) ที่ชั้นดินนั้นๆ

และการคำนวณปริมาณของโพแทสเซียมในรูปต่างๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายของโพแทสเซียมในรูปต่างๆ ซึ่งอัตราการเคลื่อนย้ายสามารถคำนวณได้โดย

$$K_{sol}l = K_{sol}lo \pm \left\{\left[K_{sol}lo - \left(K_{exc}l\, KES_l\right)\right]TK_{es}\right\} \text{——— (13)}$$

$$K_{fix}l = K_{fix}lo \pm \left\{\left[K_{exc}lo - \left(K_{fix}l\, KEF_l\right)\right]TK_{ef}\right\} \text{ —— (14)}$$

$$K_{excl}l = K_{excl}0 \pm \left\{\left[K_{sol}lo - \left(K_{exc}l\, KES_l\right)\right]TK_{es}\right\} \pm \left\{\left[K_{excl}lo - \left(K_{fix}l\, KEF_l\right)\right]TK_{ef}\right\} \text{—— (15)}$$

โดยที่

TK_{es} เป็น velocity control parameter สำหรับการเคลื่อนย้ายระหว่างโพแทสเซียมในสารละลายดิน และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (fraction d^{-1})

TK_{ef} คือ velocity control parameter สำหรับการเคลื่อนย้ายระหว่างโพแทสเซียมที่ถูกตรึงและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (fraction d^{-1})

$K_{sol/o}$, $K_{fix/o}$ และ $K_{exc/o}$ คือ ปริมาณเริ่มต้นของโพแทสเซียมในรูปต่างๆ ในแต่ละวัน

$K_{sol/}$, K_{fixl} และ $K_{exc/}$ คือ ปริมาณโพแทสเซียมในรูปต่างๆ ที่สิ้นสุดแต่ละวัน

ส่วนเครื่องหมาย (±) หมายถึง ถ้าการคำนวณอัตราส่วนสุดท้ายของแต่ละวันมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนสมดุล (equilibrium ratio) เครื่องหมายจะเปลี่ยนเป็นเครื่องหมายบวก ถ้าการคำนวณอัตราส่วนสุดท้ายแต่ละวัน สูงกว่าอัตราส่วนสมดุลเครื่องหมายจะเป็นเครื่องหมายลบ

อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างโพแทสเซียมในสารละลายดินและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นค่า TK_{es} จะมีค่าเท่ากับ 1.0 และอัตราความเร็วของการเคลื่อนย้าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมระหว่างโพแทสเซียมที่ถูกตรึงและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ TK_{ef} โดยประมาณมีค่าเท่ากับ 0.0018 ซึ่งกำหนดให้ดินมีการตรึงโพแทสเซียม 40% ของการให้ปุ๋ยโพแทสเซียม และในกรณีที่ดินมีชนิดของแร่ดินเหนียว 1:1 มาก ซึ่งได้แก่ แร่เคโอลิไนต์ ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดกระบวนการตรึงโพแทสเซียม จึงทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างโพแทสเซียมที่ถูกตรึงและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ น้อย จึงกำหนดให้ค่า TK_{ef} ควรจะมีค่าเท่ากับ 0

2.11.2 การให้โพแทสเซียมแก่ดิน (Mineral K applications as fertilizer)

เมื่อมีการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมแก่ดิน ปุ๋ยโพแทสเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทันทีทันใด

$$K_{excl} = K_{excl0} + K_{fert} \qquad \text{——— (16)}$$

$$K_{fert} = \left(W_{fert}\right)\left(F_k\right) \qquad \text{——— (17)}$$

โดยที่

K_{fert} คือ ปริมาณของแร่โพแทสเซียมจากปุ๋ยที่ให้ (kg ha^{-1})

K_{excl0} คือ ปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก่อนการให้ปุ๋ยโพแทสเซียม (kg ha^{-1})

K_{excl} คือ ปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้หลังการให้ปุ๋ยโพแทสเซียม (kg ha^{-1})

W_{fert} คือ ปริมาณของปุ๋ยโพแทสเซียมที่ให้ (kg ha^{-1})

F_k คือ fraction ของแร่โพแทสเซียมในปุ๋ย (kg kg^{-1})

2.11.3 การสูญเสียโพแทสเซียม การชะละลาย การไหลบ่า และการไหลสู่ด้านข้าง (K losses-leaching, surface runoff, lateral subsurface flow)

การเคลื่อนที่ของโพแทสเซียม เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน คือ กระบวนการพลวัตของน้ำในดิน ซึ่งได้แก่ปริมาตรน้ำที่จะเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นดินในชั้นที่ต่ำลงไป (QT) ซึ่งปริมาณการสูญเสียโพแทสเซียมในสารละลายดิน เป็นสัดส่วนของปริมาณน้ำที่จะเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นล่าง กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน โดยที่แบบจำลองจะไม่อนุญาตให้มีการสูญเสียโพแทสเซียมในสารละลายดิน เมื่อดินมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมน้อยกว่า 1 mg/kg soil

ปริมาณของการสูญเสียโพแทสเซียมเมื่อเกิดการไหลของน้ำตลอดชั้นดิน พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นได้จากสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$VK_{sol\,l} = (QT_l)(CK_{sol\,l}) \quad \text{——— (18)}$$

เมื่อ

$VK_{sol\,l}$ คือ ปริมาณของ K_{sol} ที่สูญเสีย (kg ha^{-1}) จากชั้นดิน

$CK_{sol\,l}$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดิน $K_{sol\,l}$ (kg kg^{-1}) ในชั้นดินระหว่างการซึมผ่านของน้ำ

QT_l คือ volume of percolated water in a soil layer (mm) ปริมาณน้ำในดินของชั้นดินที่จะไหลซึมลงชั้นดินล่าง

ซึ่งในการสิ้นสุดของแต่ละวัน ปริมาณของโพแทสเซียมที่ยังคงเหลือในชั้นดินคือ

$$WK_{sol\,l} = WK_{sol\,l_0} - VK_{sol\,l} \quad \text{——— (19)}$$

เมื่อ

$VK_{sol\,l}$ คือ ปริมาณของ K_{sol} ที่สูญเสีย (kg ha^{-1}) จากชั้นดิน

$WK_{sol\,l0}$ คือ ปริมาณของโพแทสเซียมเริ่มต้นในแต่ละวัน (kg ha^{-1}) ของชั้นดิน

$WK_{sol\,l}$ คือ ปริมาณของโพแทสเซียมในสุดท้ายของแต่ละวัน (kg ha^{-1}) ของชั้นดิน

สำหรับ $Ck_{sol\,l}$ สามารถคำนวณได้โดยสัดส่วนน้ำหนักของ Ksoll ต่อปริมาตรการเก็บกักน้ำ

$$c'_{Ksol\,l} = c_{Ksol\,l} - c_{Ksol\,l}\left(\frac{QT\,l}{(bl\,l)(PO\,l)}\right) \quad \text{——— (20)}$$

เมื่อ

$c'_{Ksol\,l}$ คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดิน $K_{sol\,l}$ ที่สุดท้ายของแต่ละวัน

PO_l คือ ค่าความพรุนรวมของดิน (mm)

bl_l คือ Fraction of storage PO occupied by percolation water (mm mm^{-1})

$$c'_{Ksol\,l} = c_{Ksol\,l}\, e^{\left[-QT/(bl\,l)(PO\,l)\right]} \quad \text{——— (21)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้น

สำหรับที่ปริมาตรใดๆ QT, Vk_{soll} สามารถคำนวณได้โดย

$$VK_{soll} = WK_{soll}\left[1 - e^{\left(-QT_l/(bl_l)(PO_l)\right)}\right] \quad \text{——— (22)}$$

เมื่อ

VK_{soll} คือ ปริมาณของ K_{soll} ที่สูญเสีย (kg ha^{-1}) จากชั้นดิน

WK_{soll} คือ ปริมาณของโพแทสเซียมในสุดท้ายของแต่ละวัน (kg ha^{-1})

PO_l คือ ค่าความพรุนรวมของดิน (mm)

bl_l คือ Fraction of storage PO occupied by percolation water (mm mm^{-1})

และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นระหว่างการซึมผ่านของปริมาตรน้ำ QT_l ของแต่ละวัน คือ

$$c_{ksoll} = \frac{VK_{soll}}{QT_l} \quad \text{——— (23)}$$

c_{Ksoll} คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นระหว่างการซึมผ่านของปริมาตรน้ำ QT_l ของแต่ละวัน

VK_{soll} คือ ปริมาณของ K_{soll} ที่สูญเสีย (kg ha^{-1}) จากชั้นดิน

QT_l คือ volume of percolated water in a soil layer (mm) ปริมาณน้ำในดินของชั้นดินที่จะไหลซึมลงชั้นดินล่าง

2.11.4 การดูดใช้โพแทสเซียมโดยพืช (K uptake by crops)

การดูดใช้โพแทสเซียมโดยพืชคำนวณโดยความต้องการและการให้ของดิน ซึ่งการดูดใช้โพแทสเซียมในแต่ละวันเป็นความแตกต่างระหว่างโพแทสเซียมที่มีและโพแทสเซียมในอุดมคติที่มีในแต่ละวัน ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมสามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$UKD_i = \left(c_{kb}\right)_i Bi - \sum_{k=1}^{i=1} UK_k \quad \text{——— (24)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ

UKD_i คือ อัตราความต้องการโพแทสเซียมของพืชสำหรับศักยภาพการเติบโตของแต่ละวัน ($kg\,ha^{-1}\,d^{-1}$)

C*kbi* คือ ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพืชที่เหมาะสม ($kg\,ha^{-1}$)

B*i* คือ การสะสมมวลพืชในแต่ละวัน ($kg\,ha^{-1}\,d^{-1}$)

UK_k คือ อัตราการดูดใช้โพแทสเซียมที่เป็นอยู่จริง ในแต่ละวัน ($kg\,ha^{-1}\,d^{-1}$)

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพืชลดลงกับระยะการเติบโตของพืช สามารถคำนวณได้จากระยะการเติบโตของพืช จาก

$$hl = 100\left(\frac{\mathrm{CK}_{\mathrm{exc}l}}{\mathrm{KSL}_l}\right) \qquad \text{——— (28)}$$

เมื่อ

bk1, bk2 และ bk3 คือ parameters ที่คำนวณจาก ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เหมาะสมในพืช ($kg\,kg^{-1}$) ที่ระยะเป็นต้นอ่อน ระยะหลังจากต้นอ่อน จนถึงระยะการสุกแก่ ซึ่งเป็นระยะสุดท้าย

HUI_i คือ heat unit index

การการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินคำนวณได้โดย

$$\mathrm{UKS}_i = \mathrm{UKD}_i \sum_{l=1}^{M} \left(\mathrm{LK}_u\right)_l \left(\frac{\mathrm{RW}_l}{\mathrm{RWT}_i}\right) \qquad \text{——— (26)}$$

เมื่อ

UKS_i คือ ปริมาณของการปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยดิน ($kg\,ha^{-1}\,d^{-1}$)

RW_l คือ น้ำหนักของราก ($kg\,ha^{-1}$) ในแต่ละชั้นดิน ($kg\,ha^{-1}$)

RWT_i คือ ปริมาณน้ำหนักของรากทั้งหมดต่อวัน ($kg\,ha^{-1}$)

Lk_{ul} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่ง Lk_{ul} สามารถคำนวณได้โดย

$$LK_{ul} = \frac{hl}{hl + e^{(5.7962 - 0.1470hl)}} \quad \text{———} \quad (27)$$

h*l* คือ ปริมาณของการให้โพแทสเซียมโดยดิน ($kg\,ha^{-1}\,d^{-1}$)

ซึ่ง h*l* คำนวณได้โดย

$$hl = 100\left(\frac{ck_{excl}}{KSL_l}\right) \quad \text{———} \quad (28)$$

เมื่อ

ck_{excl} คือ ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นดิน ($kg\,kg^{-1}$)

KSl_l คือ ระดับโพแทสเซียมที่เพียงพอ ($g\,t^{-1}$)

$$KSL_l = 2.5CEC_l + 110 \quad \text{———} \quad (29)$$

เมื่อ

CEC_l คือ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ของแต่ละชั้นดิน ($cmol\,kg^{-1}$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved