ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษ์เศรษฐกิจ)

ปริญญา

พฤกษ์เศรษฐกิจ	สายวิชาวิทยาศาสตร์
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและทางดินแก่มันสำปะหลังต่อปริมาณ ธาตุอาหารในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

Effect of Pig Manure Extract as Foliar Fertilizer and Soil Drench on Leaf Nutrient Content, Chlorophyll Content and Tuber Yield of Cassava *Manihot esculenta* CRANTZ cv. HUAYBONG 60

นามผู้วิจัย นางสาวอุทัยวรรณ คันโธ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D. Agr.)

กรรมการ ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์, Ph. D.)

กรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์ยงยุทธ โอสถสภา, Ph. D.)

กรรมการ ....

(อาจารย์สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(อาจารย์ลักษณา กันทะมา, Ph. D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.............. **เดือน**.................. **พ.ศ.**..............

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและทางดินแก่มันสำปะหลังต่อ ปริมาณธาตุอาหารในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และ ผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

Effect of Pig Manure Extract as Foliar Fertilizer and Soil Drench on Leaf Nutrient Content, Chlorophyll Content and Tuber Yield of Cassava *Manihot esculenta* CRANTZ cv. HUAYBONG 60

โดย

นางสาวอุทัยวรรณ คันโธ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษ์เศรษฐกิจ)
พ.ศ. 2552

อุทัยวรรณ คันโธ 2552: ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและทางดินแก่มันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษ์เศรษฐกิจ) สาขาพฤกษ์เศรษฐกิจ สายวิชาวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr. 153 หน้า

น้ำสกัดมูลสุกรจัดเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืช การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบหรือทางดินต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยเคมี ทรีตเมนต์การทดลองมีดังนี้คือ 1. ไม่ใส่ปุ๋ย (ควบคุม) 2. ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 อัตรา 40 กก./ไร่ ที่อายุ 45 วัน 3. ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ 4. ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และ 5. ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบและทางดิน การให้น้ำสกัดมูลสุกรในกลุ่มที่ 3, 4 และ 5 กระทำทุก 30 วันตั้งแต่วันที่ 45 ถึงวันที่ 245 หลังปลูก วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ ทำการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 10 เดือน

ผลการศึกษาพบว่า การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบไม่มีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของต้น ความกว้างทรงพุ่ม ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวม ดัชนีพื้นที่ใบ ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งแตกต่างจากการไม่ให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบทำให้ผลผลิตหัวสด เท่ากับ 12.73 ตันต่อไร่ รองลงมาได้แก่ การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน การไม่ใส่ปุ๋ย การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรและการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 ทางดิน ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำหนักหัวมันสดรวมเท่ากับ 12.64, 11.63, 11.07 และ 10.26 ตันต่อไร่ ตามลำดับ การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบยังให้ค่าของเปอร์เซ็นต์แป้งสูงรองจากการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน รวมถึงทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบ ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง เมื่อมันสำปะหลังอยู่ในอายุวิกฤต 4-6 เดือนมากที่สุดด้วย ปริมาณของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และทองแดงในใบดัชนีของมันปะหลังแปรผันตามอายุ เมื่ออายุมากขึ้นความเข้มข้นของธาตุอาหารดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงในทุกทรีตเมนต์ แต่ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมในใบดัชนี มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมันสำปะหลังเข้าสู่อายุเก็บเกี่ยว ในขณะที่ธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และกำมะถัน มีแนวโน้มผันแปร การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบไม่ได้ทำให้มีปริมาณธาตุอาหารต่างๆในใบดัชนีเพิ่มขึ้นจากที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ยกเว้น เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 เดือน พบธาตุทองแดงในใบดัชนีสูงขึ้น

________________ ____________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Uthaiwan Kanto 2009: Effect of Pig Manure Extract as Foliar Fertilizer and Soil Drench on Leaf Nutrient Content, Chlorophyll Content and Tuber Yield of Cassava *Manihot esculenta* CRANTZ cv. HUAYBONG 60. Master of Science (Economic Botany), Major Field: Economic Botany, Division of Science. Thesis Advisor: Associate Professor Kanapol Jutanmanee, D. Agr. 153 pages.

Pig manure extract (PME) is a source of plant nutrient. The purpose of the study was to compare the effects of PME as foliar fertilizer or soil application on cassava growth, yield and leaf nutrient content with chemical fertilizer application. The plants were subjected for five treatments as follows. 1.Control, 2.Chemical fertilizer 21-10-10, rate 40 kg/rai applied at 45 days after planting (DAP), 3. Foliar application of PME, 4. Soil application of PME, and 5. Foliar and soil application of PME. PME in both applications was done every month from 45 until 245 DAP. The plants were harvested at age 10 months.

The results showed that stem diameter, plant height, canopy size, chlorophyll a and b content, total chlorophyll content, leaf area index (LAI), fresh tuber yield and starch content of cassava with foliar application of PME was not significant different from no fertilizer treatment. Foliar and soil application of PME plants gave the fresh tuber yield of 12.73 tons/rai followed by those with soil application of PME, no fertilizer, foliar application of PME and chemical fertilizer application which produced 12.73, 12.64, 11.63, 11.07 and 10.26 tons/rai respectively. There were significantly different ($P<0.05$) in chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll content among the fertilizer treatments 4 months after planting. The plants with foliar and soil application of PME showed the highest chlorophyll a, b and total chlorophyll contents at 4 months after planting. Soil and foliar applications of PME provided higher starch content of roots ($P<0.01$) than those on the other fertilizer applications. The N, P, K and Cu concentration in index leaf trended to decrease during growth period except Ca and Mg which trended to increase toward harvesting. The concentration of Mn, Fe, Zn and S in index leaf fluctuated during growth cycle. There were no significant different in nutrient concentration in index leaf of cassava which was received foliar application compared to control treatment but Cu concentration in index leaf of this treatment was highest at 3 month after planting

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.คณพล จุฑามณี ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ โอสถสภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์ อาจารย์สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ อาจารย์ ดร.ลักษณา กันทะมา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์นาถ นาถวรานันต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้ความรู้ และแนวคิดทางด้านวิชาการตลอดจนตรวจแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์และขอขอบพระคุณอาจารย์จันทร์จรัส วีรสาร ศาสตราจารย์ ดร. สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ และรองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ คณาจารย์ และบุคลากรสาขาวิชาพฤกษ์เศรษฐกิจ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ที่ได้กรุณาให้ความรู้ให้คำแนะนำในการศึกษาเป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณ คุณสวน แผนสมบูรณ์และครอบครัว ที่ช่วยดำเนินงานจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ และคนงานในการปลูกรวมทั้งช่วยทำการปลูกด้วย ขอขอบคุณ คุณภาณุมาศ มงคลวัจน์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในแปลงทดลอง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ งานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหาร เจ้าหน้าที่ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้ความสะดวกในการทำการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ท้ายสุด ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาว ที่ให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจในการเรียนและการทำงานตลอดมา และขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทภาควิชาพฤกษ์เศรษฐกิจ และน้องๆที่คอยให้ความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ คุณค่าและสิ่งที่เป็นประโยชน์ที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้พึงมี ขอมอบความดีนี้แด่คุณพ่อ คุณแม่และผู้มีพระคุณทุกท่าน ครูบาอาจารย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และมิตรสหายทุกคนที่คอยให้การสนับสนุนและช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

อุทัยวรรณ คันโธ

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	49
อุปกรณ์	49
วิธีการ	50
ผลและวิจารณ์	60
สรุปผลการทดลอง	118
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	120
ภาคผนวก	138
ภาคผนวก ก ตารางผนวก	139
ภาคผนวก ข ภาพผนวก	144

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าวิกฤตธาตุอาหารต่างๆในเนื้อเยื่อของมันสำปะหลัง	37
2	สมบัติทางเคมีของดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง	38
3	ปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆในมูลสุกรแห้งและน้ำสกัดมูลสุกร	44
4	ตำรับการทดลองต่างๆ	52
5	สมบัติทางเคมีและความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำสกัดมูลสุกร	60
6	pH ของดินและค่าการนำไฟฟ้าขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในดินของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	61
7	ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูก (ก่อน) และ หลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	62
8	ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca and Mg) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; CEC) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	63
9	ปริมาณเหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Fe, Cu, Mn and Zn) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูก (ก่อน)และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	65
10	ค่าพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ในแปลง ณ ความลึกของดินที่ระยะ 45 เซนติเมตรหลังการเก็บเกี่ยว	67
11	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมันสำปะหลัง (เซนติเมตร) อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์	68
12	ความสูงของต้นมันสำปะหลัง (เซนติเมตร) ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลัง (เซนติเมตร) ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์	70
14	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบ (g. m^{-2}) มันสำปะหลังอายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ	72
15	ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบ (g. m^{-2}) มันสำปะหลังอายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ	73
16	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ (g. m^{-2}) มันสำปะหลังอายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ	74
17	ค่าดัชนีความเขียวของใบดัชนีมันสำปะหลังที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ	75
18	ดัชนีพื้นที่ใบของมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6 และ 9 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์	79
19	น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังรวม (g) เมื่ออายุ 3, 6 และ 9 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์	79
20	น้ำหนักสดของใบมันสำปะหลังรวม (g) เมื่ออายุ 3, 6 และ 9 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์	80
21	ความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	83
22	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	86
23	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมรวมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

24	ความเข้มข้นของแคลเซียมรวมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	91
25	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	92
26	ความเข้มข้นของกำมะถันในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	95
27	ความเข้มข้นของทองแดงรวมในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	96
28	ความเข้มข้นของเหล็กในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	99
29	ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	100
30	ความเข้มข้นของสังกะสีในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือนและในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน	102
31	ผลผลิตมันสำปะหลัง (ตัน/ไร่) ที่อายุเกี่ยวเกี่ยว 10 เดือน	104
32	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักของอวัยวะพืชต่างๆที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน	106
33	จำนวนหัว น้ำหนักหัว ใบและก้าน ลำต้นและเหง้าสดเฉลี่ยต่อต้นของมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ	107
34	ดัชนีเก็บเกี่ยวของทรีตเมนต์ต่างๆที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน	108
35	ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่สะสมในใบ หัว และลำต้น (กก. N/ไร่)	109
36	ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่สะสมในใบ หัวและลำต้น (กก. P/ไร่)	109
37	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในใบ หัวและลำต้น (กก.K/ไร่)	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
38	เปรียบเทียบปริมาณธาตุหลักที่ได้จากปุ๋ย กับปริมาณาตุหลักที่สะสมในใบ หัว และต้นมันสำปะหลัง	110
39	เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังสดที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน	111

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอและดัชนีความเขียวจากเครื่อง chlorophyll meter r = 0.8592, P < 0.01	76
2	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีและดัชนีความเขียวจากเครื่อง chlorophyll meter r = 0.8380, P < 0.01	76
3	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและดัชนีความเขียวจากเครื่อง chlorophyll meter r = 0.8812, P < 0.01	77
4	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอและปริมาณของธาตุไนโตรเจนในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน r = 0.7639, P < 0.05	83
5	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีและปริมาณของธาตุไนโตรเจนในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน r = 0.7068, P < 0.05	84
6	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณของธาตุไนโตรเจนในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน r = 0.7597, P < 0.05	84
7	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดของอวัยวะพืชต่างๆที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน	107
8	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งในหัวสดและปริมาณโพแทสเซียมในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน r = 0.7275, P < 0.05	113
9	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งในหัวสดและปริมาณโพแทสเซียมในใบรวมเมื่อมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน r = 0.7561, P < 0.05	113
10	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งในหัวสดและปริมาณโพแทสเซียมในลำต้นรวมเมื่อมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน r = 0.7050, P < 0.05	114

ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและทางดินแก่มันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และ ผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

Effect of Pig Manure Extract as Foliar Fertilizer and Soil Drench on Leaf Nutrient Content, Chlorophyll Content and Tuber Yield of Cassava *Manihot esculenta* CRANTZ cv. HUAYBONG 60

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่เป็นอันดับที่ 3 ของโลก รองจากไนจีเรีย และบราซิล ขณะเดียวกันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยในแต่ละปีประเทศไทยมีการผลิตหัวมันสำปะหลังสดได้ประมาณ 22 - 26 ล้านตัน พื้นที่เก็บเกี่ยวประมาณ 7.4 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 3.46 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

ประเทศไทยเริ่มต้นการพัฒนาการปลูกมันสำปะหลังด้วยการปลูกเพื่อการส่งออกในรูปมันอัดเม็ดไปยังสหภาพยุโรปเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากก่อนปี พ.ศ. 2540 ประเทศในสหภาพยุโรปมีการสนับสนุนทางด้านการเกษตรมีจึงทำให้ธัญพืชที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์มีราคาสูง ส่งผลให้ผู้ผลิตอาหารสัตว์ในสหภาพยุโรปต้องแสวงหาวัตถุดิบอาหารที่มีราคาต่ำกว่ามาทดแทนธัญญพืชดังกล่าว มันสำปะหลังเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ทำให้ระยะที่ผ่านมาประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปสหภาพยุโรปได้เป็นจำนวนมาก ปีละกว่า 5 ล้านตันและเป็นปัจจัยที่ทำให้ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังกันอย่างกว้างขวางทั่วประเทศ มันสำปะหลังนอกจากจะใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แล้ว ยังใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม ผงชูรส สารให้ความหวาน ยารักษาโรค เครื่องสำอาง กาว กรดมะนาว สิ่งทอ กระดาษ ไม้อัด วัสดุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ แอลกอฮอลล์ และเอทานอล จึงทำให้มันสำปะหลังเป็นพืชร่วมสมัยที่มีประโยชน์หลากหลายและมีอนาคตอันยาวไกล และสามารถเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยได้ต่อไป

แหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดของประเทศไทยในปัจจุบัน คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคตะวันตก ตามลำดับ มันสำปะหลังเป็นพืชที่ไม่ถูกจำกัดโดยฤดูกาล มีความทนทานต่อสภาวะแห้งแล้ง ขึ้นได้บนดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ยังสามารถให้ผลผลิตได้ มีโรคและแมลงศัตรูรบกวนน้อย การปลูกและดูแลทำได้ง่าย ดังนั้นจึงจัดได้ว่ามันสำปะหลังเป็นพืชไร่ที่มีความเหมาะสมมากกับเกษตรกรที่มีฐานะยากจนหรือมีทุนน้อย และยังชีพอยู่ด้วยการผลิตพืชในพื้นที่ที่สภาพฝนแปรปรวน มีปัญหาความแห้งแล้งและดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ที่ไม่สามารถจะปลูกพืชชนิดอื่นๆได้ดี ทำให้มีการปลูกมันสำปะหลังกันแพร่หลายในภูมิภาคต่างๆ

ปัจจุบันดินที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ปลูกทั่วๆไปมักเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่วนใหญ่เป็นดินทราย ดินร่วนทราย หรือดินเหนียวสีแดงที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำถึงต่ำมาก โดยเฉพาะดินในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อยกว่าร้อยละ 1 นอกจากนั้นยังมีปริมาณธาตุอาหารหรือปุ๋ยธรรมชาติในดินต่ำถึงต่ำมากเช่นกัน การอุ้มน้ำได้น้อย เกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อดินในช่วงต้นถึงกลางฤดูปลูกในปริมาณปานกลางถึงมากทุกปี โดยเฉพาะในพื้นที่ดินดอนที่ไม่มีความราบเรียบ หรือมีพื้นที่สูงๆต่ำๆที่มีความลาดชันไม่มากก็น้อย ทำให้ดินเสื่อมโทรมลงเรื่อยๆ (ปิยะและคณะ, 2545)

สาเหตุที่ทำให้ดินเสื่อมโทรมได้แก่ การปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน เกษตรกรบางกลุ่มที่ปลูกมันสำปะหลังอาจมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี หรือใช้ทั้ง 2 อย่างร่วมกัน แต่มีการใช้ในปริมาณน้อย เกษตรกรขาดความรู้ในการให้ปุ๋ยและการดูแลรักษาจึงพยายามลดค่าใช้จ่ายในการปลูกมันสำปะหลัง ส่งผลให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดที่ได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำประมาณ 2.3 – 2.5 ตันต่อไร่เท่านั้น (ปิยวุฒิ และคณะ, 2542) ดังนั้นจึงควรแนะนำให้เกษตรกรมีการปรับปรุงดินและป้องกันการสูญเสียเนื้อดิน ธาตุอาหารพืช และอินทรียวัตถุในดินพร้อมๆกันไปกับการปรับปรุงบำรุงดิน เช่น โดยการใช้ปุ๋ยพืชสดหรือปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างพอเพียงและสม่ำเสมอ (ปิยะ และคณะ, 2545)

การให้ปุ๋ยทางใบ (foliar fertilizer) เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถใช้เพิ่มผลผลิตได้ เนื่องจากเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำง่าย สามารถพ่นสารละลายนี้เป็นละอองไปยังใบและต้น เพื่อให้ส่วนเหนือดินของพืชดูดไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการให้จุลธาตุทางใบสามารถแก้ไขปัญหาการขาด

ธาตุอาหารในพืชได้ (ยงยุทธ , 2547) การให้ปุ๋ยทางใบยังถือเป็นการใช้น้ำน้อยซึ่งเหมาะกับสภาพพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังโดยทั่วไปที่มักขาดแหล่งน้ำหรือในที่ๆดินไม่อุ้มน้ำเช่น ดินทราย

น้ำสกัดมูลสุกรนับว่าเป็นแหล่งธาตุอาหารต่างๆที่มีความอุดมสมบูรณ์ (วราภรณ์, 2547) ทั้งนี้เพราะในการเลี้ยงสุกรแผนใหม่มีการประกอบสูตรอาหารให้มีโภชนะต่างๆครบตามความต้องการ รวมทั้งแร่ธาตุต่างๆซึ่งก็เป็นชนิดเดียวกับที่พืชต้องการและเมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปแล้ว แร่ธาตุจำนวนมากไม่สามารถถูกใช้ประโยชน์ได้หมดในระบบทางเดินอาหารจึงถูกขับถ่ายออกมาทางมูล ซึ่งส่วนใหญ่ก็อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้และพร้อมจะเป็นประโยชน์ต่อพืช การนำน้ำสกัดมูลสุกรมาพ่นบนใบมันสำปะหลังน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทั้งในใบและในต้น ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมอัตราการสังเคราะห์แสงและส่งผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นได้

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของการให้น้ำสกัดมูลสุกรซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบแก่ต้นมันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในใบมันสำปะหลัง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และผลผลิตมันสำปะหลังซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงวิธีการและการวางแผนการให้ธาตุอาหารพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบแก่ต้นมันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในต้นและใบมันสำปะหลัง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

2. ศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิต รวมถึงคุณภาพและปริมาณแป้งของมันสำปะหลัง

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งอาหารคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญเป็นอันดับ 4 ของประเทศเขตร้อนทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศต่างๆในทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้ ส่วนในทวีปเอเชีย เช่น ประเทศอินโดนีเซียและอินเดีย มีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก โดยพบว่ามันสำปะหลังที่ผลิตได้มีส่วนสำคัญในการช่วยเหลือในด้านอาหารและการดำรงชีพของประชากรมากกว่า 500 ล้านคนทั่วโลก โดยมันสำปะหลังที่ผลิตได้ในแต่ละปีนั้น ถูกใช้เป็นอาหารมนุษย์ประมาณร้อยละ 60 ใช้เป็นอาหารสัตว์ประมาณร้อยละ 27.5 และใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆอีกประมาณร้อยละ 12.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

แหล่งผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาใต้ ได้แก่ บราซิล ทวีปแอฟริกา ได้แก่ ไนจีเรีย ซาอีร์ และทวีปเอเชีย ได้แก่ ไทยและอินโดนีเซีย โดยประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญเป็นอันดับที่สามของโลก รองจากประเทศไนจีเรีย และบราซิล (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) และประเทศไทยยังเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นรายใหญ่ที่สุดของโลก ทั้งนี้เนื่องจากประเทศที่ผลิตมันสำปะหลังได้มาก คือ ไนจีเรีย บราซิล ผลิตมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหารของพลเมืองภายในประเทศ ส่วนประเทศไทยใช้มันสำปะหลังเพื่อการบริโภคน้อย ประกอบกับพันธุ์ที่ปลูกส่วนมากเป็นพันธุ์ที่ใช้ส่งโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตมันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์สำหรับใช้บริโภคหัวโดยตรงจะปลูกเพียงเล็กน้อย เนื่องจากประชาชนคนไทยบริโภคข้าวเป็นแหล่งอาหารแป้งหลัก

สำหรับแหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดของประเทศไทยในปัจจุบัน คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกรวมกันร้อยละ 55 ของเนื้อที่ปลูกทั้งประเทศ รองลงมาได้แก่ภาคกลาง (รวมทั้งภาคตะวันออกและภาคตะวันตก) มีเนื้อที่ปลูกประมาณร้อยละ 30 และภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 15 ส่วนภาคใต้ไม่มีการปลูกมันสำปะหลังเลย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

ลักษณะเด่นของมันสำปะหลัง คือ เป็นพืชที่ปลูกได้ตลอดทั้งปี ไม่จำกัดโดยฤดูกาล มีความทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งได้ดี ขึ้นได้บนดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและเจริญได้ในดินทุกชนิด

โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินร่วนปนทรายและดินที่มีความสมบูรณ์ปานกลาง ก็สามารถให้ผลผลิตได้ มีโรคและแมลงศัตรูรบกวนน้อย การปลูกและดูแลรักษาทำได้ง่าย มีความยืดหยุ่นในการเก็บเกี่ยวสูง เพราะในภาวะหัวมันสดมีราคาดีก็สามารถเก็บเกี่ยวหัวมาขายตั้งแต่อายุยังน้อย เมื่อราคาตกต่ำก็ยังคงทิ้งไว้ในไร่ ไม่เก็บเกี่ยว ในขณะเดียวกันผลผลิตก็เพิ่มมากขึ้นตามเวลา (เจริญศักดิ์, 2546)

หัวมันสำปะหลังที่ผลิตได้ทั้งหมด ประมาณ 40 – 45 เปอร์เซ็นต์ จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ในรูปมันเส้น มันอัดเม็ด และอีก 50 – 55 เปอร์เซ็นต์ ถูกแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) เพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เหลือจะนำไปใช้ในด้านอื่นๆเช่น นำไปบริโภคโดยตรง เป็นต้น สำหรับการใช้ภายในประเทศ พบว่ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา โดยประมาณการว่า ผลผลิตหัวมันสดที่ผลิตได้ในประเทศประมาณร้อยละ 35 มีการใช้ในประเทศ โดยการใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ ประมาณร้อยละ 15 ในรูปของมันเส้นและมันอัดเม็ด ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 19 – 20 ใช้เป็นแป้งมันสำปะหลังเพื่อการบริโภค และในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น กระดาษ อาหาร ฯลฯ (กองการค้าสินค้าข้อตกลง กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2545)

ประเทศไทยมีศักยภาพในการเพาะปลูกมันสำปะหลังเนื่องจากสภาพแวดล้อมของประเทศไทยเหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังที่ก้าวหน้า เกษตรกรไทยมีความชำนาญในการปลูกมันสำปะหลัง ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากที่สุดในโลกตลอดมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (เจริญศักดิ์, 2546)

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อสามัญหลายชื่อด้วยกัน ได้แก่ cassava, mandioca, manioc, madioc, tapioca, yuca เป็นต้น ในภาษาไทยเคยเรียกว่ามันไม้ มันสำโรง หรือมันสำปะโรง แต่ปัจจุบันนิยมเรียกว่า มันสำปะหลัง ปัจจุบันมันสำปะหลังที่ปลูกกันเป็นการค้ามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz มีจำนวนโครโมโซม 2n = 36 (El - Sharkawy, 2004) เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาโดยเฉพาะในอเมริกาใต้ แถบประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา และฮอนดูรัส ซึ่งสันนิษฐานว่ามีการปลูกมันสำปะหลังประมาณ 3,000 – 7,000 ปีมาแล้ว ต่อมาได้ขยายไปทั่วเขตร้อนของทวีปอเมริกาและได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆของโลก (คณะทำงานจัดการความรู้ กรมวิชาการเกษตร, 2550)

สำหรับประเทศไทยนั้น ไม่มีหลักฐานแน่ชัดว่า มีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใดแต่คาดว่า มีการนำมันสำปะหลังเข้าสู่ประเทศไทยจากประเทศมาเลเซีย เมื่อราวปี พ.ศ. 2329 (ดนัย, 2537) นักวิทยาศาสตร์ได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ทางพฤกษศาสตร์ดังนี้

Order : Geraniales or Euphorbiales

Class : Dicotyledonae

Sub -class : Archichlamydeae

Sub- division : Angiospermae

Family : Euphorbiaceae

Genus : Manihot

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มสูงประมาณ 1 – 5 เมตร ซึ่งสามารถจำแนกตามขนาดของทรงพุ่มใบ (canopy strength) ได้ 3 ชนิด คือ พันธุ์ที่มีทรงพุ่มใบมาก (vigorous variety) พันธุ์ที่มีทรงพุ่มใบน้อย (less vigorous variety) และพันธุ์ที่มีทรงพุ่มใบปานกลาง (intermediate variety) มันสำปะหลังมีอายุอยู่ได้นานหลายปี ลักษณะลำต้นและความสูงแตกต่างกันออกไปตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม ทุกส่วนของลำต้นมันสำปะหลังจะมียางสีขาวข้น ความสูงของลำต้นจะสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับการแตกกิ่ง บางพันธุ์อาจจะแตกกิ่งมาก แต่มักจะแตกกิ่งไม่เกิน 4 กิ่ง พันธุ์ที่มีการแตกกิ่งมากจะเตี้ย ส่วนพันธุ์ที่แตกกิ่งน้อยจะสูง ลำต้นมีสีแตกต่างกันแล้วแต่พันธุ์ เช่น เหลือง เงิน หรือน้ำตาล เป็นต้น ลำต้นที่อายุน้อยจะมีสีเขียว บนลำต้นจะมีก้านใบติดอยู่ เมื่อใบมีอายุมากขึ้นจะร่วงหลุดไป โดยใบที่อยู่บริเวณโคนต้นจะร่วงก่อนเมื่ออายุประมาณ 4 เดือนขึ้นไป ทำให้เหลือเฉพาะใบส่วนบนของลำต้น เมื่อก้านใบร่วงไปแล้วจะมีส่วนของโคนก้านใบติดอยู่บนลำต้น ทำให้ลำต้นดูขรุขระมีลักษณะคล้ายๆข้ออยู่รอบลำต้น ส่วนที่เหนือบริเวณที่เกิดก้านใบทุกก้านใบจะมีตาอยู่หนึ่งตา ซึ่งเมื่อตัดลำต้นไปปลูกตาเหล่านี้จะเจริญออกมาเป็นต้นใหม่ (คณะทำงานจัดการความรู้ กรมวิชาการเกษตร, 2550)

รากมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากหาอาหารหรือรากพิเศษ (adventitious roots) และรากสะสม (storage root) รากทั้ง 2 ชนิดนี้จะเจริญเติบโตลงไปในดิน โดยรากพิเศษจะเจริญเติบโตไปในทางด้านลึกมากกว่าด้านข้าง มีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารเลี้ยงลำต้นส่วนเหนือดิน และเป็นที่ยึดเหนี่ยวลำต้น ส่วนรากสะสมจะเจริญเติบโตไปในด้านข้างรอบๆต้นเป็นส่วนใหญ่ ทำหน้าที่สะสมแป้งในส่วนของ parenchyma cell ซึ่งรากสะสมที่มีขนาดขยายใหญ่ เนื่องจากการสะสมแป้งหรือส่วนที่เป็น

ผลผลิต คือ หัว (tuber) รากสะสมของมันสำปะหลังจะเริ่มมีการสะสมแป้งหรือมีสร้างหัวเมื่ออายุ 1.5 – 2 เดือน หลังจาก 3 เดือนไปแล้วจำนวนหัวจะไม่เพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขนาดของหัว โดยทั่วไปต้นมันสำปะหลังต้นหนึ่งๆจะมีหัวอยู่ประมาณ 5 – 20 หัวต่อต้น หัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 – 15 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับอายุและสภาพแวดล้อม มีแป้งประมาณร้อยละ 15 – 40 โดยที่จำนวนหัว รูปร่างของหัว ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้ง และปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในหัวมันสดจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ มันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวางจะพบส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ 1) เปลือกชั้นนอก (periderm) เป็นเซลล์ผิวชั้นนอก และชั้นของคอร์ก 2) เปลือกชั้นใน (cortical region) เป็นส่วนของคอร์เทกซ์และกลุ่มโฟลเอ็ม 3) ส่วนสะสมแป้ง (starchy flesh) ประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมา กลุ่มท่อน้ำ และท่อน้ำยาง ชั้นนี้เป็นชั้นที่สะสมแป้งประมาณ 20- 40 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นน้ำ

ใบมันสำปะหลังเป็นแบบใบเดี่ยว แผ่นใบจะเว้าเป็นแฉก (lobe) แบบ palmate ตามปกติจะมี 3 – 9 แฉก ยาวประมาณ 4 – 20 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1 – 6 เซนติเมตร เส้นกลางใบและเส้นใบแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ก้านใบยาวประมาณ 5-30 เซนติเมตร โดยใบใกล้ๆช่อดอกมีขนาดเล็ก ก้านใบ (petiole) ยาว 5- 30 เซนติเมตร ซึ่งยาวกว่าแผ่นใบ สีก้านใบและสีเส้นกลางใบแตกต่างกันไป เช่น เขียว แดง แดงปนเขียว หรือม่วง เส้นกลางใบและเส้นใบที่มีสีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ซึ่งลักษณะต่างๆเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการจำแนกพันธุ์ต่างๆได้ ผิวใบด้านบนของใบมันสำปะหลังปกคลุมด้วยไข ทำให้มีลักษณะเป็นมัน ผิวใบด้านล่างจะพบว่ามีปากใบจำนวนมาก แต่ส่วนผิวใบด้านบนและบริเวณเส้นใบหลัก จะพบปากใบเพียงเล็กน้อย มีมันสำปะหลังเพียงบางสายพันธุ์เท่านั้นที่มีปากใบจำนวนมากที่ผิวใบด้านบน ใบมันสำปะหลังมีความหนาใบประมาณ 100 – 120 ไมโครเมตร และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 2.18 – 2.86 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักใบสด (Ramanujam and Jos, 1984) อนึ่ง ใบมันสำปะหลังแห้งนอกจากจะมีปริมาณโปรตีนสูง ยังอุดมไปด้วยไขมันและแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัส ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารในการเลี้ยงสัตว์ได้ (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

ช่อดอกของมันสำปะหลังเป็นแบบ panicle เกิดตรงจุดที่มีการแตกกิ่ง มันสำปะหลังเป็นพืชแบบ monoecious ดอกตัวผู้กับดอกตัวเมียอยู่แยกดอกกัน แต่อยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดอกตัวผู้มีขนาดเล็กอยู่ส่วนบนของช่อดอก มีเกสรตัวผู้ 10 อันเรียงตัวเป็น 2 วงๆละ 5 อัน ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าอยู่ส่วนโคนของช่อดอก มีกลีบเลี้ยง 5 กลีบ ไม่มีกลีบดอก รังไข่มี 3 คาร์เพล แต่ละคาร์เพลมี 1

ออวุล ภายในช่อดอกเดียวกันดอกตัวเมียพร้อมผสมและบานก่อนดอกตัวผู้ประมาณ 7 – 10 วัน ดังนั้นการผสมพันธุ์ของมันสำปะหลังจึงจัดว่าเป็นพืชผสมข้ามต้น (เจริญศักดิ์, 2546)

ผลของมันสำปะหลังเป็น capsule อาจเรียบหรือขรุขระ ผลที่โตเต็มที่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 – 1.5 เซนติเมตร ผลจะแก่เต็มที่หลังจากผสมแล้วประมาณ 3 – 5 เดือน เปลือกผลจะแห้ง และแตกออกตามความยาวของผล จากนั้นอีก 2 – 3 วันผลจะแตกดีดเมล็ดกระจายไป เมล็ดมันสำปะหลังจะมีสีน้ำตาลคล้ายเมล็ดละหุ่ง แต่มีขนาดเล็กกว่า ความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ส่วนความกว้างและความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ไม่นิยมปลูกด้วยเมล็ด เพราะแต่ละเมล็ดมีความผันแปรทางพันธุกรรมสูง การปลูกด้วยเมล็ดจะกระทำเมื่อต้องการปรับปรุงพันธุ์เท่านั้น การใช้ท่อนพันธุ์จะมีพันธุกรรมเหมือนเดิม ดังนั้นการปลูกมันสำปะหลังเชิงการค้าจึงนิยมปลูกโดยใช้ท่อนพันธุ์เป็นหลัก

สารพิษในมันสำปะหลัง ในส่วนต่างๆของต้นมันสำปะหลังมักพบกรดไฮโดรไซยานิค ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบที่เรียกว่าไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์ (cyanogenic glucosides) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ สารลินามาริน (linamarin) ประมาณร้อยละ 93 และสารโลเทาอุสทราลิน (lotaoustralin) ประมาณร้อยละ 7 โดยปกติแล้วสารไซยาโนจีนิก กลูโคไซด์ทั้งสองชนิดนี้จะกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆของต้นมันสำปะหลังและไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อพืชเนื่องจากสารเหล่านี้จะถูกสังเคราะห์และเปลี่ยน ไปเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ แอสปาราจีน กรดแอสพาร์ติค กรดกลูตามิคและกลูตามีน (Nartey, 1973) ดังนั้น จากกระบวนการดังกล่าวจึงไม่พบกรดไฮโดรไซยานิกในสภาพการเจริญเติบโตปกติของพืชและไม่ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชแต่อย่างใด จนกระทั่งเมื่อส่วนของเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชถูกทำลายหรือแตกออกรวมทั้งถูกบดขยี้ จะมีผลทำให้ไปเร่งการทำงานของเอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) หรือเบต้ากลูโคซิเดส (β - glucosidase) ซึ่งในสภาวะปกติจะไม่ทำงาน การกระทบกระเทือนส่วนต่างๆของพืชดังกล่าวนี้จะทำปฏิกิริยาเร่งให้สารลินามารินสลายตัวเองออก จึงก่อให้เกิดเป็นกรดไฮโดร-ไซยานิค ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย และจากปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวนี้ยังก่อให้เกิดผลพลอยได้อื่นๆ ได้แก่ คีโตน และน้ำตาลกลูโคส (Lykkesfeld and Miller, 1994)

มันสำปะหลังเป็นพืชเขตร้อน สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิต่ำจะเจริญเติบโตได้ช้า และหากมีน้ำค้างแข็งหรือหิมะจะทำให้มันสำปะหลังตาย ดังนั้นเขตปลูกมันสำปะหลังจึงอยู่เฉพาะเขตร้อนที่อยู่ในบริเวณเขตศูนย์สูตร คือ

ประเทศที่อยู่ในระหว่างเส้นรุ้งที่ 30° เหนือและใต้ ระดับดับความสูงไม่เกิน 2,000 เมตร สามารถปรับตัวได้ดีในเขตที่มีฝนตกอยู่ระหว่าง 1,000 – 3,000 มิลลิเมตรต่อปี สามารถทนแล้งได้ดี แม้ว่ามันสำปะหลังจะเป็นพืชทนแล้งแต่บริเวณที่เหมาะสมควรมีฝนตกไม่ต่ำกว่าปีละ 1,000 มิลลิเมตรต่อปี ต้นมันสำปะหลังหลังจากการปลูกและตั้งตัวได้แล้ว จะสามารถทนทานต่อการขาดน้ำเป็นระยะเวลาติดต่อกัน 3 – 4 เดือน โดยต้นไม่ตาย แต่ถ้าเป็นบริเวณที่ฝนตกน้อยกว่า 600 มิลลิเมตรต่อปีจะไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ (เจริญศักดิ์, 2532) ลักษณะเด่นประการหนึ่งของมันสำปะหลังคือทนทานต่อสภาพดินเป็นกรดจัด เช่นดินที่มีค่า pH ต่ำถึง 4.4 ก็ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต (เจริญศักดิ์, 2532; Lancaster *et al.*, 1982) แต่ไม่สามารถขึ้นได้ดีในดินที่เป็นด่าง ซึ่งค่า pH มากกว่า 8 ขึ้นไป มันสำปะหลังเป็นพืชวันสั้น หากในช่วงแสงของวันยาวเกิน 10 – 12 ชั่วโมง จะมีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลง (โสภณ , 2526; ดนัย 2537) การปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปีโดยไม่มีการบำรุงดินจะมีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็วตลอดจนโครงสร้างของดินถูกทำลาย (Sittibusaya *et al.*, 1987 อ้างโดย โอภาษ, 2531)

3. พันธุ์มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามปริมาณกรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid, HCN) และการนำไปใช้ประโยชน์ คือ

3.1) ชนิดหวาน (sweet variety) เป็นมันสำปะหลังที่ใช้เพื่อบริโภค มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ (มีกรดไซยานิคกลูโคไซด์น้อยกว่า 100 มก.ต่อน้ำหนักหัวสด 1 กก.) (Hillock, *et al.*, 2002) ไม่มีรสขม สามารถใช้หัวสดทำอาหารได้โดยตรง เช่น นำไปเชื่อม ปิ้ง หรือเผา ที่พบในประเทศไทยมี 3 พันธุ์ ได้แก่ มันสวน พันธุ์ห้านาทีหรือก้านแดง และพันธุ์ระยอง 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงขึ้นมาใช้สำหรับทอดเป็นแผ่นบาง พันธุ์พวกนี้มีอายุเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 6 เดือนหลังปลูก ถ้าปล่อยทิ้งไว้ในดินนาน 9 -11 เดือน หัวจะเน่าเสียหายมาก

3.2) ชนิดขม (bitter variety) เป็นมันสำปะหลังที่มีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง เนื่องจากมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคสูง (มีกรดไซยา-นิคกลูโคไซด์ 100 - 500 มก.ต่อน้ำหนักหัวสด 1 กก.) (Hillock *et al.*, 2002) มีความเป็นพิษต่อร่างกาย ต้องนำไปแปรรูปเป็นมันเส้นหรือมันอัดเม็ดก่อนแล้วจึงนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ หรือต้องนำไปแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังก่อนจึงใช้บริโภคได้ ซึ่งได้แก่ พันธุ์ระยอง 1, ระยอง 3, ระยอง 5,

ระยอง 60, ระยอง 90, ศรีราชา 1, เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 60 เป็นต้น ปกติอายุเก็บเกี่ยวนาน ประมาณ 1 ปี แต่ถ้าปล่อยไว้นานประมาณ 3- 4 ปีโดยไม่เก็บเกี่ยว หัวจะเน่าเสียหายน้อย

4. ระยะการพัฒนาของมันสำปะหลัง (Cassava Development Stage)

มันสำปะหลังเป็นพืชข้ามปี (perennial shrub) มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต คือการสร้างทรงพุ่ม การสะสมแป้งในหัว รวมถึงช่วงที่มีการพักตัวอันเนื่องมาจากสภาพอากาศอุณหภูมิต่ำและขาดน้ำเป็นระยะเวลายาวนาน การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในสภาพธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 5 ระยะดังนี้ (Hillock *et al*., 2002)

1. ระยะออกรากและแตกใบจากท่อนปลูก (Emergence of sprouting) ระยะนี้อยู่ระหว่าง 0 -15 วันหลังปลูก โดย รากฝอยจะงอกมาจากรอยตัดของท่อนปลูก หรืออาจงอกมาจากตาของท่อนปลูกที่อยู่ใต้ดินประมาณ 5 -7 วัน ส่วนใบจะงอกจากตาของท่อนปลูกที่อยู่เหนือดิน ประมาณ 10 -15 วัน

2. ระยะเริ่มพัฒนาใบและระบบราก (Beginning of leaf development and formation of root system) ระยะนี้อยู่ในระหว่าง 15-90 วันหลังปลูก โดยใบที่แตกจากท่อนปลูกจะขยายเต็มที่ 30 วันหลังปลูก ในระยะเวลา 30 วัน การเจริญเติบโตของรากและลำต้นขึ้นอยู่กับอาหารที่สะสมในท่อนปลูก หลังจากนั้นรากจะแผ่กระจายลึกลงในดิน ประมาณ 40 -50 เซนติเมตร เพื่อทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารในดิน นอกจากนี้ พบว่า รากฝอยประมาณ 3-14 ราก จะเริ่มขยายใหญ่ขึ้นเพื่อทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารในช่วงอายุ 60-90 วันหลังปลูก

3. ระยะการพัฒนาลำต้นและใบ (Development of stems and leaves) ระยะนี้อยู่ระหว่าง 90 -180 วันหลังปลูก พบว่าในระยะนี้มีอัตราการเจริญเติบโตทางใบและต้นสูงสุด โดยในช่วงอายุ 120-150 วันหลังปลูก จะมีการสร้างพื้นที่ใบรับแสงได้มากที่สุด น้ำหนักแห้ง (dry matter) ที่สร้างขึ้นมานำไปเก็บสะสมที่ใบและต้นมากที่สุด และมีการนำไปสะสมแป้งในหัว

4. ระยะการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตลงหัว (High carbohydrate translocation to roots) ระยะนี้อยู่ระหว่าง 180 -300 วันหลังปลูก พบว่า น้ำหนักแห้งที่สร้างขึ้นที่ใบจะถูกนำมาเก็บสะสมหัวมากที่สุดในระยะนี้ ใบเริ่มมีประสิทธิภาพเสื่อมลง และอัตราการร่วงของใบเริ่มเพิ่มขึ้น

5. ระยะพักตัว (Dormancy) ระยะนี้อยู่ระหว่าง 300 -360 วันหลังปลูก พบว่าการเจริญเติบโตของใบและต้นชะงักหรือหยุดลง เนื่องจากความแปรปรวนของอุณหภูมิและฝน

5. ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งสร้าง (source) กับ แหล่งรับอาหาร (sink)

ช่วงที่มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโต อาหารที่สะสมได้จากการสังเคราะห์แสงจะมีการส่งจากแหล่งสร้าง คือ ใบที่มีกิจกรรมการสังเคราะห์แสง โดยจัดสรรอาหารจากการสร้างในเนื้อเยื่อพืชไปสู่แหล่งรับอาหาร คือ ใบที่กำลังเติบโต ลำต้น และรากสะสมอาหาร

Howeler (1985) รายงานว่า อาหารที่สร้างได้จะเคลื่อนย้ายไปสร้างเนื้อเยื่อแห้งที่ส่วนลำต้นและรากสะสมอาหารเป็นหลัก โดยในช่วงอายุ 60 – 75 วันหลังปลูก พบว่า มันสำปะหลังมีการสร้างเนื้อเยื่อแห้งในส่วนใบมากกว่าในส่วนลำต้นและรากสะสมอาหาร การสร้างเนื้อเยื่อแห้งของใบนั้นจะลดต่ำลงเรื่อย ๆ ตลอดชีพจักรของมันสำปะหลัง และในช่วงอายุ 120 วันหลังปลูก พบว่า มีการสะสมอาหารในรากเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณร้อยละ 50 – 60 ของเนื้อเยื่อแห้งทั้งหมด และเมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือน เนื้อเยื่อแห้งหรือมวลชีวภาพจะไปสะสมที่หัวเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาได้แก่ลำต้นและใบ ดังนั้นในระหว่างที่มันสำปะหลังมีการเติบโตนั้น การกระจายตัวของน้ำหนักแห้งค่อนข้างคงที่ และมวลแห้งรวมนั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับมวลของส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดิน

6. การสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลัง

El-Sharkawy (2006) เป็นผู้ที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังมาเป็นเวลานานได้สรุปสรีรวิทยากระบวนการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังเป็นดังนี้

6.1.1 มันสำปะหลังเป็นพืชที่จัดอยู่ในประเภท C3-C4 เนื่องจากมันสำปะหลังแสดงลักษณะของพืช C4 ไว้ถึงร้อยละ 15-25 ด้วยลักษณะที่โดดเด่นของมันสำปะหลังที่มีลักษณะของพืช C4 ได้แก่การมีเอนไซม์ที่มีชื่อว่า phosphoenol pyruvate carboxylase (PEPC) และมีเอนไซม์ชนิด NAD-malic enzyme (NAD-ME) และ NADP-malic enzyme (NADP-ME) จึงทำให้มันสำปะหลังมี

ความสามารถในการสังเคราะห์แสงสูง และสามารถให้ผลผลิตได้สูงในสภาวะแวดล้อมและพันธุกรรมต่างๆเหมือนกับพืช C4 ดังนั้นมันสำปะหลังจึงมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงที่มีความใกล้เคียงกับพืช C4 ทั่วไป ที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงสูง อย่างไรก็ตาม ส่วนลักษณะของมันสำปะหลังที่แสดงการเป็นพืช C3 ได้แก่คุณสมบัติในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจในเซลล์กลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง จึงมีค่าจุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide compensation point) สูง นั่นคือมีทั้งค่าการหายใจเชิงแสง (photorespiration) และค่าการหายใจที่เกิดขึ้นในไมโตคอนเดรีย (mitochondrial dark respiration) ดังนั้นมันสำปะหลังมีคุณลักษณะที่เป็นทั้งพืช C3 และ C4 กอปรกับมันสำปะหลังชนิดดั้งเดิมมักพบว่ามีการหายใจเชิงแสงต่ำ แม้จะมีเอนไซม์ PEPC หากแต่ไม่พบลักษณะ Kranz anatomy อย่างไรก็ตามคาดว่ามันสำปะหลังมีวิวัฒนาการไปทางพืช C4 และมีกิจกรรมการสังเคราะห์แสงไปทางวิถีที่เรียกว่า C3-C4 intermediate

6.1.2 เมื่อใดก็ตามที่มันสำปะหลังเผชิญภาวะขาดน้ำจะทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง อันเนื่องมาจากปริมาณเอนไซม์ ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase/oxygenase (RUBISCO) ลดลงอย่างมาก ในภาวะขาดน้ำจะมีผลทำให้สัดส่วนระหว่าง PEPC/RUBISCO มีสัดส่วนที่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์ PEPC ที่แสดงลักษณะของพืช C4 เปรียบเทียบกับเอนไซม์ RUBISCO ของลักษณะพืช C3 พบว่าการขาดน้ำจะมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PEPC มีผลต่อการสังเคราะห์แสงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง หากมีการลดการหายใจเชิงแสงและการหายใจระดับเซลล์ในไมโตคอนเดรีย จะมีผลต่อการดูดใช้คาร์บอนไดออกไซด์สุทธิได้มากขึ้นและช่วยส่งเสริมการสร้างผลผลิตได้ นอกจากนี้ปัจจุบันได้มีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า PEPC ที่อยู่บริเวณด้านบนๆของแพลิเซดพาเรงคิมา (palisade parenchyma) จะเป็นที่อยู่ของ PEPC ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ ทำให้ปากใบของมันสำปะหลังมากระจุกตัวอยู่บริเวณด้านท้องใบ (abaxial stomata) หรือเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่าง (lower epidermis) อย่างไรก็ตามปากใบบริเวณนี้จะปิดหากอยู่ในภาวะแล้งขาดน้ำ หรือเกิดจากภาวะได้รับแสงแดดที่จ้าเกินไป หรืออาจอยู่ในอุณหภูมิและอากาศที่แห้งมาก หรือมีค่า leaf –to –air vapour pressure deficit (VPD) สูง

6.1.3 นอกจากนี้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีความสัมพันธ์กับผลผลิตของมันสำปะหลัง ซึ่งผลผลิตดังกล่าวยังมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ หรืออาจเป็นค่า leaf area duration (LAD) ซึ่งกลไกที่ใช้ควบคุมการทนแล้งของมันสำปะหลังนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากความไวของการเปิดและปิด

ของปากใบที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและเกี่ยวข้องกับสภาพการขาดน้ำ ยังรวมไปถึงความสามารถในการหยั่งหัวของมันสำปะหลังเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ สิ่งเหล่านี้ถือเป็นกลไกหลีกเลี่ยงสภาพแห้งแล้งของมันสำปะหลัง และยังรวมไปถึงการลดขนาดทรงพุ่ม เพื่อสร้างความเพียงพอสำหรับการสังเคราะห์แสงและยืดอายุให้กับมันสำปะหลัง

การอนุรักษ์น้ำในมันสำปะหลัง

6.2.1 เมื่อเปรียบเทียบกับพืชทนแล้งชนิดอื่นๆพบว่า หากมันสำปะหลังขาดน้ำในระยะหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปแล้วมีการให้น้ำกลับคืนเพียงแค่ครั้งเดียวก็สามารถสร้างใบใหม่ขึ้นมาจนทำให้การสังเคราะห์แสงสูงขึ้นกว่าเดิมได้มาก แต่เมื่อใดก็ตามที่สภาวะแล้งอยู่ในช่วงระยะเวลานานๆ จะทำให้มวลชีวภาพของมันสำปะหลังในส่วนเหนือดิน (shoot) ลดลงมากกว่าที่จะไปลดมวลชีวภาพทางการสะสมหัว หรือ รากสะสมอาหาร

6.2.2 มันสำปะหลังมีความสามารถในการอนุรักษ์น้ำโดยพยายามที่จะใช้น้ำที่อยู่ในดินระดับลึกๆออกมาอย่างช้าๆ ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำและสามารถลำเลียงของธาตุอาหารดีขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีความสามารถในการต้านทานโรคแมลงได้ และอยู่ในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง การอยู่รอดของมันสำปะหลังจำเป็นต้องได้รับการให้น้ำกลับคืนในรอบสอง เพื่อกระตุ้นให้เกิดผลผลิตรวมถึงน้ำหนักหัวแห้ง อนึ่งในสภาวะกึ่งแห้ง การเลือกพันธุ์ควรมีการคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะต้นสั้นถึงปานกลาง

6.2.3 เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ต้องการแสงในช่วงยาวนานและเจริญได้ดีในสภาพอากาศอบอุ่น (warm climate) ดังนั้นหากมีการปลูกมันสำปะหลังในเขตอากาศเย็น ตัวอย่างเช่นในเขตร้อนชื้นบริเวณละติจูดสูง จะทำให้มีค่าการสังเคราะห์แสงที่ลดลงและโตช้าเป็นอย่างมาก จำเป็นต้องมีการปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อปลูกในที่ที่มีอากาศหนาวเย็น รวมไปถึงการทนต่อสภาวะแห้งแล้งขาดน้ำและในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

6.2.4 มันสำปะหลังเป็นพืชที่ต้องการอากาศที่อบอุ่นถึงร้อนชื้น เพื่อการพัฒนาทรงพุ่ม ทำให้มีศักยภาพในการสังเคราะห์แสง เมื่อปลูกมันสำปะหลังในเขตเย็นหรือเขตที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมาก พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใบจะลดลง และมีค่าน้อยกว่าใบมันสำปะหลังที่ปลูกในเขตอบอุ่นหรือเขตที่มีความสูงจากน้ำทะเลในระดับปานกลาง และหากปลูกในเขตร้อนชื้น

มันสำปะหลังจะให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงที่สุด อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การปลูกมันสำปะหลังในเขตร้อนคือ อุณหภูมิที่ 25 – 40 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่ให้ค่าการสังเคราะห์แสงมากที่สุดอยู่ที่ 30 -35 องศาเซลเซียส แต่ถ้าหากอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์แสงจะลดลง และจะมีเข้าใกล้ศูนย์เมื่ออุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส

6.2.5 มันสำปะหลังมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวมากกว่า 0.5 แต่จะน้อยกว่านี้เมื่อปลูกในที่พื้นที่ซึ่งให้ผลผลิตต่ำ ปัจจุบันมีการคัดเลือกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตที่คงที่ มีความสามารถในการทนต่อภาวะที่ไม่เหมาะสมทั้งที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (biotic and abiotic stress) ได้ (Kawano *et al.* 1978, Hershey 1984, Hershy *et al.* 1988, Hershy and Jennings 1992, Jennings and Iglesias 2002, Kawano 2003; El-Sharkawy, 2006)

การตอบสนองในเชิงการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบมันสำปะหลังภายใต้สภาพแวดล้อม

6.3.1 มันสำปะหลังที่ต้องเผชิญกับอากาศที่แห้งมากนั้นจะมีผลทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงได้ถึงร้อยละ 80 เนื่องจากปากใบของมันสำปะหลังเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นของอากาศได้แก่ค่าแรงดึงคายน้ำ (vapour pressure deficits ; VPD) และการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของค่าศักย์น้ำในใบ ปากใบของมันสำปะหลังจะปิดในระหว่างที่มันสำปะหลังเผชิญกับอากาศแห้งหรืออากาศที่มีค่าแรงดึงคายน้ำสูงหรือมีค่ามากขึ้น การสังเคราะห์แสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อัตราการคายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า VPD มีค่ามากขึ้นเป็น 2 kPa อย่างไรก็ตามอัตราการคายน้ำจะลดลงเมื่อค่า VPD เพิ่มมากขึ้นไปอีก กล่าวคือค่านำไหลปากใบ (stomatal conductant) จะลดลงเมื่อค่า VPD มีค่ามากกว่า 2 kPA ขึ้นไป สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังมีความไวต่อระดับความชื้นในอากาศรวมถึงตอบสนองกับปริมาณน้ำในดินด้วย

6.3.2 ดังนั้นหากมีความชื้นในอากาศสูงจะส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีการสร้างมวลชีวภาพและน้ำหนักหัวมาก อันเนื่องมาจากค่าการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงเพราะค่าความชื้นในอากาศมีผลต่อความไวของปากใบ นอกจากนี้ยังมีผลไปถึงการพัฒนาความกว้างทรงพุ่ม และการสร้างผลผลิตของต้นมันสำปะหลังด้วย หากมันสำปะหลังต้องเผชิญภาวะขาดน้ำมากกว่า 2 เดือนขึ้นไป การสังเคราะห์แสงสุทธิจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 40 ของในช่วงที่มีการได้รับน้ำปกติ หากมันสำปะหลังได้รับน้ำกลับคืนจะทำให้มันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงขึ้นมาอีก

ครั้ง ดังนั้นมันสำปะหลังจึงเลือกที่จะไม่ทิ้งใบอันเป็นประโยชน์ต่อการสะสมมวลแห้งเพื่อการรักษาทรงพุ่ม ทำให้ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังมีค่าสูง

6.3.3 มันสำปะหลังมีความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้ง สภาพอากาศที่มีค่าการคายระเหยของน้ำสูง ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำและปราศจากโรคและแมลงรบกวน นอกจากนี้มันสำปะหลังยังมีความสามารถในการแทงทะลุของรากไปได้ถึงระดับความลึกต่ำกว่าระดับ 2 เมตร เพื่อกักเก็บและหาน้ำที่อยู่บริเวณในเขตรากลึกในภาวะแห้งแล้ง ความชื้นในดินที่มันสำปะหลังสามารถใช้เป็นประโยชน์ได้มีค่าอยู่ประมาณร้อยละ 8 ถึง 12 โดยปริมาตร ด้วยเหตุนี้มันสำปะหลังสามารถอยู่ในดินที่ขาดน้ำเป็นระยะเวลายาวนานได้ สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการอนุรักษ์น้ำของมันสำปะหลัง ดังนั้นมันสำปะหลังจึงมีประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency) สูง แม้จะให้ผลผลิตจะต่ำก็ตาม เมื่อใดก็ตามที่มันสำปะหลังเข้าสู่ภาวะขาดน้ำ จะทำให้ผลผลิตน้ำหนักหัวสดและมวลชีวภาพลดลง และเมื่อใดก็ตามที่มันสำปะหลังได้รับน้ำคืนกลับ จะมีความสามารถในการพัฒนาน้ำหนักหัวให้กลับมาใกล้เคียงกับตอนที่มันสำปะหลังได้รับน้ำปกติอีกครั้ง

6.3.4 เมื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ทำการวัดหลังจากที่มันสำปะหลังอายุได้ 117 และ 160 วันหลังปลูก พบว่ามีค่าอยู่ประมาณ 4.4 และ 4.8 กรัมของมวลชีวภาพต่อน้ำหนักน้ำ 1 กิโลกรัม แต่เมื่อใดก็ตามที่มันสำปะหลังอยู่ในช่วงขาดน้ำจะทำให้ค่าของประสิทธิภาพการใช้น้ำลดลงเป็น 3.7 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวล เนื่องจากมันสำปะหลังจำเป็นต้องเติบโตในช่วงวงชีวิตที่ยาวนานดังนั้นอาจมีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ลดลงในระหว่างการเติบโต และมีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำลดลงด้วย

ด้วยเหตุที่มันสำปะหลังมีหัวหรือรากที่ยาว มีการปิดของปากใบในช่วงที่ต้องเผชิญกับในเขตดินเลว และสภาพอากาศที่ร้อน หรือในภาวะที่ขาดน้ำ ทำให้มันสำปะหลังจำเป็นต้องลดความกว้างทรงพุ่ม เพื่อลดพลังงานโฟตอนที่ถ่ายทอดลงมา ทำให้สามารถรักษาอัตราการสังเคราะห์แสงที่เหมาะสมได้

6.3.5 เมื่อเปรียบเทียบมันสำปะหลังกับพืชยืนต้นและพืชล้มลุกชนิดอื่นๆหลายๆชนิด พบว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในอากาศมาก ทั้งนี้การตอบสนองของมันปะหลังมักสัมพันธ์กับความหนาแน่นของปากใบและค่านำไหลปากใบมากที่สุด เมื่อ

พิจารณาใบมันสำปะหลังพบว่า มีปากใบมากบริเวณ abaxial epidermis (lower epidermis) กล่าวคือ มีจำนวนของปากใบมากกว่า 300 - 500 รู ต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร ดังนั้นจึงมีความสามารถในการตอบสนองต่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอย่างมาก (El-Sharkawy, 2004)

กลไกของการตอบสนองของปากใบมันสำปะหลังภายใต้การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในอากาศ

6.4.1 ปากใบมีกลไกการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในอากาศ เรียกว่า peristomatal transpiration ซึ่งหมายถึงการที่มันสำปะหลังมีการสูญเสียน้ำทางชั้นคิวติเคิลของเซลล์ที่ควบคุมการเปิดปิดของปากใบได้แก่ เซลล์คุมและเซลล์ข้างเคียงบนเนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermis)

การปิดของปากใบอาจเนื่องมาจากความชื้นในอากาศต่ำหรืออากาศแห้งทำให้มีค่าแรงดึงระเหยของน้ำสูง ส่งผลให้มีการนำน้ำต่ำโดยเฉพาะช่วงที่เกิดภาวะแห้งแล้ง การที่มีค่าการคายระเหยของน้ำ (evapotranspiration) สูงของเซลล์คุมทำให้ปากใบปิด ทำให้เกิดการต้านการเคลื่อนที่ของของเหลวในเส้นใบไปยังเซลล์คุม

สภาพของการขาดน้ำมีผลทำให้เกิดการเร่งของภาวะน้ำในต้น รวมถึงการเปิดกว้างของปากใบและชั้น epidermis ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่แห้งและขาดน้ำทำให้เกิดการลดลงของศักย์น้ำในใบมาก การสูญเสียน้ำจากการเปิดของปากใบและการเปลี่ยนแปลงของเซลล์บริเวณชั้น epidermis นั้นเป็นตัวการสำคัญของการเกิด peristomatal transpiration

6.4.2 Pereira (1977) ได้เสนอไว้ว่า หากความเข้มแสงหรือ photo photon flux density (PPFD) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 2000 μmol $m^{-2}s^{-2}$ จะมีผลทำให้ค่าการสังเคราะห์แสงของใบมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการสังเคราะห์แสงสูงที่สุดในภาคสนามของมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่า 40 μmol (CO_2) $m^{-2}s^{-2}$ เมื่อ C_i/C_a มีค่าประมาณ 0.42 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพืช C3 ถือว่ามีค่าต่ำกว่ามากจึงจัดเป็นคุณลักษณะของพืช C4 มันสำปะหลังจัดเป็นพืชที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงสูงโดยเฉพาะในเขตร้อนชื้นและเขตที่มีความเข้มแสงสูง

6.4.3 ในกรณีที่มีความเข้มแสงต่ำ และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมน้อย มันสำปะหลังจะมีค่าการสังเคราะห์แสงต่ำเช่นกัน เนื่องจากเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงมีประสิทธิภาพลดลงเช่นเดียวกับพืชที่มีการปรับตัวทางกายวิภาคของใบเพื่อปรับรับอุณหภูมิและความเข้มแสง ณ

ขณะนั้น ตลอดจนความไม่สมดุลของแหล่งรับและแหล่งจ่าย ซึ่งจะมีผลต่อการยับยั้งการสังเคราะห์แสง หากมีความเข้มของแหล่งรับมาก

การสังเคราะห์แสงที่ใบมีความแปรผันตามพันธุ์และเขตพื้นที่เพาะปลูก โดยพบว่าบริเวณเขตหนาวเย็นจะมีค่าการสังเคราะห์แสงที่ลดลงอย่างมากหากเทียบกับเขตร้อนชื้นหรือในเขตอบอุ่น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของลำต้นเทียบกับผลผลิตของหัว นั้นพบว่าความสัมพันธ์เชิงสหสัมพันธ์กัน ($r = 0.7$, $p < 0.001$) มวลชีวภาพของลำต้น สะท้อนถึงค่าดัชนีพื้นที่ใบในแต่ละฤดูกาลนั้นมีค่าสหสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าน้ำหนักหัวแห้ง

มันสำปะหลังหลายๆพันธุ์ จะมีระดับของ HCN ในหัวมากขึ้นเมื่อมันสำปะหลังเหล่านั้นอยู่สภาวะขาดน้ำยาวนาน การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมแก่ดินที่มีลักษณะดินเหนียวแต่โพแทสเซียมต่ำสามารถลดระดับของปริมาณ HCN ในหัวได้ หรือการเลือกปลูกพันธุ์มันสำปะหลังที่ให้ HCN ต่ำสามารถช่วยได้

ผลกระทบของการขาดน้ำต่อการสังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

6.5.1 ค่าศักย์ของน้ำในใบช่วงรุ่งสางในช่วงที่พืชขาดน้ำและไม่ขาดน้ำในมันสำปะหลังอาจจะไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากมันสำปะหลังมีความสามารถในการรักษาระดับน้ำในใบแม้จะขาดน้ำมากก็ตาม หรือมีความสามารถในการปรับแรงดันออสโมติก (osmotic adjustment) ในใบที่พัฒนาเต็มที่แล้ว หากวัดค่าศักย์ของน้ำในใบที่เวลาก่อนรุ่งสางและช่วงเที่ยงวัน พบว่า ค่าศักย์ของน้ำในใบถือว่ามีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อย่างไรก็ตามหากมันสำปะหลังขาดน้ำเป็นเวลาที่ติดต่อกันยาวนาน กลไกการปรับตัวของแรงดันออสโมติกในใบอาจไม่สามารถเกิดขึ้นต่อไปได้ ทำให้ค่าของตัวละลายเพิ่มขึ้นในช่วงที่มันสำปะหลังขาดน้ำมีผลให้ใบอ่อนหรือใบยอดมีการม้วนพับ นอกจากนี้ภาวะแล้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารควบคุมการเจริญเติบโตได้แก่ abscisic acid (ABA) กล่าวคือจะมีการกระจายตัวของ ABA ไปตามส่วนต่างๆของมันสำปะหลังได้แก่ ที่ราก ที่ใบ และที่ตา ซึ่ง ABA เป็นตัวการสำคัญที่จะทำให้ปากใบมีการเปลี่ยนแปลงกล่าวคือ ทำให้มีการปิดปากใบ ตลอดจนมีการเปลี่ยนแปลงของการสร้างใบหรือการยืดขยายของใบ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PEPC ทำให้คุณลักษณะที่เป็นพืช C3 ของมันสำปะหลังแสดงลักษณะเป็นพืช CAM หรือ

C4 ออกมา กลไกการปรับตัวของปากใบในลักษณะดังกล่าว ทำให้มันสำปะหลังสามารถทนแล้งได้ในระยะเวลานาน แม้ว่าสภาพอากาศจะร้อนหรือแห้งแล้งเพียงใดก็ตาม นอกจากนี้มันสำปะหลังยังเป็นพืชที่มีความสามารถในการชอนไชหาน้ำในเขตรากที่ลึกลงไปกว่า 2 เมตรได้ ทำให้พืชชนิดนี้มีความสามารถในการกักเก็บน้ำในภาวะแล้งได้เป็นอย่างดี

6.5.2 คุณลักษณะที่จัดเป็นความสามารถในการทนแล้งของมันสำปะหลังได้ในระยะเวลาที่ยาวนานได้แก่ การที่มันสำปะหลังมีการลดการรับพลังงานโฟตอนของแสง โดยลดขนาดทรงพุ่ม ทำให้ไม่มีการสร้างใบใหม่ ทำให้ขนาดใบเล็กลง ใบร่วง อย่างไรก็ตามการลดลงของทรงพุ่มมีผลต่อการลดลงของพื้นที่ใบเพื่อรักษาน้ำในใบ ทำให้มวลชีวภาพหรือผลผลิตลดลงเช่นกัน นอกจากนี้มันสำปะหลังมีความสามารถในการเข้าสู่สภาพคืนกลับปกติหรือ recover จากการขาดน้ำเป็นระยะเวลานานได้ หากขาดน้ำและได้น้ำคืนกลับเพียงครั้งเดียวก็สามารถที่จะสร้างใบใหม่ รวมถึงการเพิ่มขนาดของใบเพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ และสร้างทรงพุ่มใหม่ทำให้ชดเชยส่วนที่จะหายไปในช่วงที่มีการขาดน้ำ ทำให้มีการพัฒนาของมวลชีวภาพและผลผลิตได้อีกครั้ง

6.5.3 เมื่อมีการขาดน้ำ ทำให้ใบมันสำปะหลังมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงลดลงเหลือเพียงร้อยละ 40 – 60 ของช่วงที่ไม่มีการขาดน้ำ และเมื่อใดก็ตามที่ได้รับน้ำกลับคืน ความสามารถในการสังเคราะห์แสงจะกลับเข้าสู่สภาพปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบที่พัฒนามาใหม่หลังจากการได้รับน้ำคืนกลับยังมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่มากกว่าตอนที่ได้รับน้ำปกติเสียด้วยซ้ำ เหตุที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำคืนกลับสูงกว่านี้เนื่องจากมีค่านำไหลปากใบต่อแรงดึงระเหยของน้ำ และค่านำไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นมีโซฟิลล์เซลล์สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของ N, P, Ca , Mg ในใบมากกว่าช่วงที่ไม่ได้ขาดน้ำ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุ K ออกจากใบอ่อนที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยพบว่าในช่วงที่มีการขาดน้ำในช่วงแรกๆนั้นจะมีปริมาณของธาตุ K ในใบประมาณร้อยละ 0.7 เมื่อเทียบกับตอนที่ไม่ได้อยู่ในภาวะขาดน้ำที่มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุ K อยู่ที่ระดับร้อยละ 0.96 สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่ามีความต้องการของธาตุ K เพื่อใช้ในการขนย้ายน้ำตาลไปยังแหล่งรับอันได้แก่ หัวของมันสำปะหลัง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบจะควบคุมในเรื่องของความต้องการของแหล่งรับหรือ sink strength นั่นเอง และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมในใบสะท้อนถึงความต้องการของแหล่งรับในที่นี้คือ หัวของมันสำปะหลัง และแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายและแหล่งรับ

การรักษาใบหรือสงวนใบไว้นั้นถือเป็นประโยชน์ต่อการรักษามวลชีวภาพของมันสำปะหลัง รวมไปถึงการเคลื่อนย้ายหรือการจัดสรรผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthate) ไปยังส่วนที่เป็นหัวหรือรากมันสำปะหลัง

พื้นที่ใบในช่วงเก็บเกี่ยวมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในช่วงที่เริ่มเกิดภาวะขาดน้ำและช่วงกลางๆ ของการเกิดภาวะขาดน้ำเมื่อเทียบกับภาวะที่ได้รับน้ำปกติ อีกทั้งมีผลทำให้ความกว้างทรงพุ่มมีค่าลดลงอีกด้วย

6.5.4 มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพในการใช้ธาตุอาหารทั้งหมด (nutrient use efficiency ; NUE) สูงเนื่องจากต้องการนำไปใช้เกี่ยวกับการสร้างมวลชีวภาพและผลผลิตมันสำปะหลัง ทำให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวอยู่ในระดับสูง ในช่วงที่มันสำปะหลังขาดน้ำระยะแรก จะทำให้มีประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารอยู่ในเกณฑ์สูงโดยพบว่า เพื่อใช้ในการสร้างรากมีสูงประมาณร้อยละ 30 และเพื่อการสร้างมวลชีวภาพทั้งหมดร้อยละ 10 เมื่อมีการวัดในช่วงที่มีการขาดน้ำไปได้ช่วงกลางๆ พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการขาดน้ำระยะแรกๆ หากแต่การเพิ่มค่าของประสิทธิภาพดังกล่าวมีอัตราลดลง จนท้ายสุดของการขาดน้ำ หรือตรงกับช่วงที่มีการเติบโตไปได้ 6 เดือน หรือช่วงที่มีการลงหัวได้แก่ 2 -5 เดือน จะมีการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของการดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพื่อการสร้างหัว ยกเว้นธาตุแมกนีเซียมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 (Howeler and Cadavid, 1983, Hillock *et al.*, 2002)

6.5.5 หากมันสำปะหลังเป็นสายพันธุ์ที่ให้ความสูงของต้นมาก จะทำให้มีความสามารถหรือประสิทธิภาพในการใช้ธาตุอาหารต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่ให้ความสูงของต้นไม่สูงหรือพันธุ์เตี้ย การคัดเลือกสายพันธุ์ที่ไม่สูงมากมีผลต่อการสร้างผลผลิต ลดการชะกร่อนของดิน สามารถปลูกกับพืชชนิดอื่น (intercrops) ได้ และสามารถเพิ่มความหนาแน่นการปลูกได้ (El-Sharkawy *et al.*, 1998)

คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการทนต่อดินเลว

6.6.1 ธาตุโพแทสเซียม และธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เป็นปัจจัยจำกัดมากที่สุดในการผลิตมันสำปะหลัง ทั้งนี้เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่นำโพแทสเซียมติดไปกับผลผลิตมากที่สุด

(มากกว่าร้อยละ 60) และพบว่าในสภาวะดินเลวหรือดินที่มีสภาวะเป็นกรดจะพบธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปริมาณน้อย

6.6.2 หากมีการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมกับพืชจะมีผลต่อการสร้างผลผลิตที่มากขึ้น เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างหัวของมันสำปะหลัง ในบางครั้งพบว่า หากมันสำปะหลังอยู่ในช่วงแล้งเป็นระยะเวลายาวนานจะมีประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารได้ดีเป็นบางสายพันธุ์ สำหรับธาตุฟอสฟอรัส มันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน มันสำปะหลังตอบสนองต่อการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นตัวควบคุมสมดุลระหว่างการสร้างส่วนของมวลชีวภาพหรือส่วนเหนือดินและส่วนที่อยู่ใต้ดินหรือหัวมันสำปะหลัง ดังนั้นหากจำเป็นที่จะต้องปลูกมันสำปะหลังที่มีฟอสฟอรัสในดินต่ำจำเป็นที่จะต้องเลือกสายพันธุ์ที่มีความสูงปานกลาง มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูง

โดยสรุปมันสำปะหลังจัดเป็นพืชให้ผลผลิตของหัวและมวลชีวภาพสูง เนื่องจากมันสำปะหลังมีลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ 1) มีศักยภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงเทียบเท่ากับพืช C4 (อัตราการสังเคราะห์แสงสูงนี้อยู่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ดินเปียกอุณหภูมิของใบสูง และมีความเข้มแสงที่มากจะทำให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ระดับเกิน 40 μmol (CO_2) $m^{-2}s^{-1}$) 2) อายุของใบมีอายุยาวนาน (มากกว่า 60 วัน) 3) มีความกว้างทรงพุ่มที่ยั่งยืนและมีพื้นที่ใบสำหรับรองรับพลังงานโฟตอน และ 4) มีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูง กล่าวคือมีค่ามากกว่า 0.5

ภายใต้สภาวะที่แห้งแล้งหรือในช่วงที่อากาศแห้ง การพัฒนาในด้านส่วนเหนือดินจะลดลงเป็นอย่างมาก กล่าวคือลดลงมากกว่าการลดลงของน้ำหนักหัว สิ่งสำคัญที่เห็นได้ชัดในเรื่องของการเปิดและปิดของปากใบ นอกจากเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่อยู่ในดินแล้ว สิ่งสำคัญมากอีกอย่างคือสภาพความชื้นของอากาศ เมื่อใดที่พืชเผชิญสภาวะขาดน้ำทำให้ปากใบปิด ใบยังคงสูญเสียน้ำและการสังเคราะห์แสงยังลดลงไม่มาก เพื่อยืดให้ใบได้คงอายุได้นาน กลไกที่มันสำปะหลังสามารถทนแล้งได้แก่ การที่รากของมันสำปะหลังสามารถกักเก็บน้ำได้ในระยะลึก 2 เมตร แล้วค่อยๆนำมาใช้เพื่อการพัฒนาของหัวอย่างช้าๆ จนทำให้สามารถอยู่ในระยะแล้งได้เป็นระยะเวลายาวนานได้ กล่าวคือ มากกว่า 3 เดือน ส่งผลให้มันสำปะหลังยังสามารถให้ผลผลิต นอกจากนี้มันสำปะหลังยังมีประสิทธิภาพในการให้น้ำและธาตุอาหารดี หากมันสำปะหลังจำเป็นต้องอยู่ในภาวะแล้งเป็นเวลายาวนาน จะทำให้ความกว้างทรงพุ่มมีขนาดลดลง เนื่องจากมันสำปะหลังดูดน้ำไปใช้ได้น้อยลง แต่

เมื่อใดก็ตามที่มันสำปะหลังได้รับน้ำกลับคืนช่วงแรก มันสำปะหลังจะมีการสร้างใบใหม่ และให้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่มากกว่าเดิมเพื่อชดเชยส่วนที่น้อยไปในครั้งก่อน

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณผลผลิต และอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิใช้เป็นดัชนีสำคัญในการคัดเลือกมันสำปะหลังสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีหลักฐานยืนยันว่าความผันแปรของยีนในสปีชีส์เดียวกันและต่างสปีชีส์กันเป็นตัวทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิแตกต่างกัน (Nelson and Veierskov, 1988; Joshi, 1997) พืชต่างพันธุ์กันมีอัตราการสังเคราะห์แสงแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆเหล่านี้ ได้แก่ ลักษณะสัณฐานวิทยาและโครงสร้างทางกายภาพของใบ จำนวนปากใบ ค่านำไหลผ่านปากใบ ปริมาณเอนไซม์ RUBISCO และการทำงานของเอนไซม์ RUBISCO ที่มีส่วนช่วยในการจับคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการทางสรีรวิทยาอื่นๆ ได้แก่ อัตราการหายใจเชิงแสง (photorespiration) และอัตราหายใจในที่มืด (dark respiration)

พูนพิภพ และคณะ (2537) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งใบและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบวัดที่ความเข้มแสงสูง (P_{max}) ในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ คือ เกษตรศาสตร์ 50 ศรีราชา 1 และ ระยอง 1 โดยกำหนดให้ใบที่ขยายตัวเต็มที่และมีอายุน้อยที่สุดอยู่ที่ตำแหน่งที่ 1 พบว่า P_{max} ลดลงเมื่อตำแหน่งใบเพิ่มขึ้น (อายุมากขึ้น) ตำแหน่งใบสามารถอธิบายความแปรปรวนของ P_{max} โดยรวมในแต่ละพันธุ์ได้ประมาณร้อยละ 41 - 55 นอกจากนี้ยังพบว่า P_{max} เฉลี่ยสำหรับแต่ละตำแหน่งใบในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีแนวโน้มสูงกว่าพันธุ์ศรีราชา 1 และพันธุ์ระยอง 1

7. ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI)

ใบ คือ พื้นที่สำหรับการดูดซับพลังงานจากรังสีจากดวงอาทิตย์ เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในสภาพที่ไม่มีปัจจัยอื่นใดเป็นขีดจำกัด อาทิเช่น น้ำ อุณหภูมิ และการขาดธาตุอาหารของพืช พื้นที่ใบจัดเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ที่สำคัญที่สุดต่อการเจริญเติบโตของพืช

ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) หมายถึงสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ซึ่งพืชนั้นขึ้นอยู่ โดยทั่วไปจึงคำนวณจากค่าของพื้นที่ใบหารด้วยพื้นที่ปลูกหรือพื้นที่เก็บเกี่ยวตัวอย่าง ดัชนีนี้สามารถแสดงถึงศักยภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งของพื้นที่นั้นๆ โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นหลัก

ดัชนีพื้นที่ใบ = $\frac{\text{พื้นที่ใบทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ปลูก}}$

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างพื้นที่ใบหรือพื้นที่ใบที่ผลิตได้ในช่วงอายุ (leaf area duration) กับผลผลิตของมันสำปะหลัง แสดงว่า พื้นที่ใบจะเป็นตัวกำหนดอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการลงหัวของมันสำปะหลัง (Singha and Nair, 1971; Cock *et al.*, 1979)

สำหรับพื้นที่ใบจะถูกกำหนดโดย จำนวนยอด (number of active apices) จำนวนใบที่ถูกสร้างขึ้นต่อยอด (number of leaves per apex) ขนาดใบ (leaf size) และอายุใบ (leaf life) พันธุ์และสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการพัฒนาพื้นที่ใบ หากอยู่ในสภาวะขาดน้ำจะทำให้การพัฒนาพื้นที่ใบลดลง (Alves *et al.*, 2004) ในส่วนของขนาดใบนั้นมีความแตกต่างกันมากในระหว่างพันธุ์ ขนาดของใบขึ้นอยู่กับอายุของต้น ขนาดใบที่เกิดเมื่ออายุประมาณ 3 – 4 เดือนหลังปลูกจะมีขนาดใหญ่ที่สุด แต่พื้นที่ใบจะมีค่ามากที่สุดเมื่ออายุประมาณ 5 เดือนหลังปลูก นอกจากนี้ขนาดใบยังขึ้นอยู่กับการแตกกิ่ง การลดจำนวนกิ่งลง มีผลทำให้ขนาดของใบใหญ่ขึ้น

ใบมันสำปะหลังที่แตกมาจากตายอด มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นในสภาพแวดล้อมปกติ ใบจะมีขนาดโตเต็มที่เมื่อมีอายุประมาณ 10 -12 วันต่อมา อายุของใบหลังจากแตกออกตายอดจนถึงใบร่วงขึ้นอยู่กับพันธุ์ การบังร่มเงา การขาดน้ำ และอุณหภูมิ

ดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับอัตราการลงหัว ดัชนีพื้นที่ใบที่ให้อัตราการลงหัวสูงสุดคือ 3.0 -3.5 ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นช้ามาก ดัชนีพื้นที่ใบจะใกล้เคียงกับ 1.0 เมื่ออายุประมาณ 60 -80 วันหลังปลูก แต่จะมีค่าประมาณ 3.0 เมื่อมันสำปะลังมีอายุประมาณ 120 – 150 วันหลังปลูก การรักษาดัชนีพื้นที่ใบที่ระดับ 3 -3.5 ให้ยาวนาน มีผลให้ผลผลิตสูงสุด (Hillock *et al.*, 2002)

8. ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (Chlorophyll content)

คลอโรฟิลล์เป็นสารสี (pigment) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงโดยตรง คลอโรฟิลล์ที่พบมากมี 4 ชนิดได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ บี ซี และดี ซึ่งเป็นสารสีที่สำคัญทำหน้าที่ดูดกลืนแสง การดูดกลืนแสงจะเกิดขึ้นในเวลาเพียง 10^{-15} วินาทีเท่านั้น

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบนั้นมีความสัมพันธ์กับผลผลิตหัวมันสำปะหลัง เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์มีอิทธิพลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ในส่วนของการเป็นตัวรับพลังงานแสง หากปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลง มีผลทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงในใบพืชมีประสิทธิภาพลดลงตามไปด้วย ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์จึงมีผลทางอ้อมต่อการเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลัง (Ekanayake *et al*., 1996; Oyetunji *et al*., 1998)

ผลผลิตของมันสำปะหลังจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ, บี และเอบี เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ และเอบี ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างประมาณคลอโรฟิลล์ทั้งสามชนิดกับผลผลิตมันสำปะหลังนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมันสำปะหลัง และสภาวะของน้ำในดินของพื้นที่เพาะปลูกนั้นด้วย (Lahai *et al*., 2003)

หากสภาพอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิของอากาศและของดินมีค่าสูงในช่วงกลางวัน แต่มีค่าต่ำในช่วงกลางคืน จะมีผลต่อกระบวนการ chlorophyll fluorescence มีผลทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลง (Ekananyake *et al* ., 1996)

9. ดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index)

วัตถุประสงค์หลักในการวิจัยทางการปลูกพืชก็คือ การปลูกพืชให้ได้ผลผลิตสูง ผลผลิตในที่นี้หมายถึง ส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ (economic yield) สำหรับมันสำปะหลังจะมีผลผลิตคือส่วนของรากที่สะสมแป้ง (thickened starchy roots) ดังนั้นความสามารถในการให้ผลผลิต (economic yield) ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายน้ำหนักแห้งที่สร้างขึ้นไปสะสมในส่วนที่ใช้ประโยชน์ (economic parts) ของพืช ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพดังกล่าว คือ ค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index) เป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนของน้ำหนักแห้งที่ใช้ประโยชน์ ต่อน้ำหนักแห้งของพืช (biological yield) สำหรับมันสำปะหลัง ดัชนีเก็บเกี่ยว คือ สัดส่วนของน้ำหนักราก (root weight) ต่อน้ำหนักทั้งหมด

(total plant weight) ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์พืช เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่วัดได้ง่าย มีค่า heritability สูง (CIAT, 1974) และมีค่าสหสัมพันธ์กับ economic yield (Donald and Hamblin, 1976)

10. บทบาทธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง

ธาตุอาหารพืชจำแนกได้เป็น 2 พวก ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient elements) และธาตุอาหารจุลภาค (micronutrient elements) (Barker and Pilbeam, 2007)

ธาตุอาหารมหัพภาค คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุอาหารโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ส่วนคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนนั้น แม้พืชจะใช้และมีปริมาณมากในต้นพืช แต่เนื่องจากพืชได้รับธาตุอาหารเหล่านี้มาในรูปของน้ำและก๊าซ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน จึงมิได้รวมไว้ในกลุ่มนี้

ธาตุอาหารจุลภาคหรือจุลธาตุ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุอาหารโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ โบรอน คลอรีน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม สังกะสี และนิกเกิล

พืชต้องการธาตุอาหารชนิดต่างๆในการเจริญเติบโตและเพื่อให้กิจกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีพของพืชเป็นไปด้วยดี ซึ่งบทบาทหน้าที่และความสำคัญของธาตุอาหารต่างๆแต่ละชนิดที่พืชต้องการมีดังนี้

10.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีผลต่อการเติบโตและผลผลิตของพืชในกระบวนการสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชมากกว่าธาตุชนิดอื่น ไนโตรเจนเป็นสารประกอบที่สำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ โคเอนไซม์ ดังนั้นไนโตรเจนจึงมีบทบาทในกระบวนการเมตาบอลิซึมในหลายๆปฏิกิริยาด้วย นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างของผนังเซลล์

(Fageria, 2009) และสารประกอบที่สำคัญอื่นๆอีกหลายชนิด โดยร้อยละ 70 ของไนโตรเจนในพืชจะอยู่ในคลอโรพลาสต์ รูปแบบของไนโตรเจนที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้มีอยู่ 3 อย่าง คือ ไนเทรตไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) ในดินที่มีการระบายอากาศดี ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปไนเทรต แม้พืชจะได้รับไนโตรเจนเฉพาะรูปไนเทรตเพียงอย่างเดียว แต่พืชก็สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้ดี เมื่อไนเทรตเข้าสู่พืชจะถูกรีดิวซ์จนได้แอมโมเนียมแล้ว จึงเข้ารวมกับอินทรียสารบางชนิดสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและอะไมด์ หากพืชดูดแอมโมเนียมเข้าไปในเซลล์นำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและอะไมด์ได้ทันทีเช่นกัน (ยงยุทธ, 2546)

โดยทั่วไปพืชมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระหว่างร้อยละ 2 – 5 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำกว่าระดับปกติย่อมมีการเจริญเติบโตน้อยลง การขาดธาตุไนโตรเจนจะปรากฏอาการชัดเจนที่ใบแก่ก่อน เนื่องจากไนโตรเจนเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา ทำให้ใบแก่ร่วงหล่นเร็ว (ยงยุทธ, 2546) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบทางเคมี หากเพิ่มไนโตรเจนถึงระดับเพียงพอ จะส่งผลกระทบต่อวิถีเมแทบอลิซึมหลายด้าน เช่น มีการเพิ่มปริมาณโปรตีนในใบ การเจริญของใบ และการสังเคราะห์แสงสุทธิ เป็นต้น หากพืชมีการขาดไนโตรเจนจะมีผลทำให้ดัชนีพื้นที่ใบลดลง ขนาดทรงพุ่มลดลง ประสิทธิภาพการใช้แสงลดลง ทำให้การสังเคราะห์แสงในพืชต่ำลงตามมา (Fageria, 2009)

Curz *et al*. (2003) รายงานว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์และสัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอและบีในใบมันสำปะหลังลดลงเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบต่ำลง นอกจากนี้เมื่อมันสำปะหลังขาดธาตุไนโตรเจนจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเพียงพอและในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนโดยเมล็ดธัญพืชซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงเหมาะที่จะนำไปแปรรูปและมีคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากโปรตีนมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต

Hagens and Sittibusaya (1990) ได้รายงานว่า ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยมีการตอบสนองต่อธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก ตามด้วยธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ FAO (1980) ซึ่งทำการทดลองในประเทศอินโดนีเซีย และ Okogun *et al*., 1999 ที่พบว่า ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศแอฟริกามีการตอบสนองต่อธาตุไนโตรเจนในหลายสภาวะ

การทดลอง ในขณะที่ประเทศแถบลาตินอเมริกาไม่พบว่าผลผลิตมันสำปะหลังมีการตอบสนองต่อธาตุไนโตรเจนมากนัก เช่นเดียวกันกับประเทศโคลัมเบียซึ่งพบว่าผลผลิตมันสำปะหลังตอบสนองต่อไนโตรเจนเพียง 5 การทดลองจากทั้งหมด 22 การทดลอง (Howeler and Cadavid, 1990)

10.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรียสารที่สำคัญหลายชนิด โดยอยู่ในโครงสร้างของกรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิพิด ฟอสฟอรัสมีความสำคัญในแง่ของการเป็นตัวเก็บและการส่งต่อพลังงาน เป็นองค์ประกอบของสาร ATP (adenosine triphosphate) จึงมีส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ การสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก รวมถึงการส่งผ่านไอออนข้ามเยื่อหุ้มเซลล์ (Fageria, 2009) นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ คือ FAD, NAD^+ และ $NADP^+$ โคเอนไซม์เอ รวมทั้งเป็นสารประกอบฟอสเฟตอื่นซึ่งสารอินทรีย์ฟอสเฟตจำนวนมากเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของพืชหลายชนิด เช่น วัฏจักรคาลวิน มี ribulose bisphosphate, phosphoglyceraldehyde วัฏจักรเครปส์ มี guanosine triphosphate และกระบวนการ glycolysis มี glucose – 6 – phosphate, fructose -1,6-diphosphate เป็นต้น

สารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟต (P_i) มีบทบาทสำคัญในการควบคุมเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและการสังเคราะห์แสงตลอดจนการเมแทบอลิซึมด้านอื่นๆ ซึ่ง Marschner (1995) อ้างโดย ยงยุทธ (2546) ได้ประมวลข้อมูลไว้ซึ่งอาจสรุปประเด็นหลักได้ดังนี้

10.2.1 หากคลอโรพลาสต์ที่แยกจากเซลล์แล้วได้รับ P_i มากเกินไป จะทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และการสังเคราะห์แป้งจะลดลง เนื่องจาก P_i ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ADP – glucose pyrophosphorylase และ P_i กระตุ้นให้ไตรโอสฟอสเฟต (3 – phosphoglycerate) เคลื่อนย้ายจากสโตรมา (stroma) ของคลอโรพลาสต์มายังไซโตพลาสซึม เนื่องจากไตรโอส-ฟอสเฟตเป็นทั้งตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่สร้างแป้งและเป็น substrate ของกระบวนการดังกล่าว กระบวนการสร้างแป้งในคลอโรพลาสต์จึงลดลงเมื่อมี P_i มากเกินไป

10.2.2 อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคาลวินก็ลดลงหากมี P_i ในคลอโรพลาสต์มาก เนื่องจากไตรโอสฟอสเฟตถูกกระตุ้นให้เคลื่อนย้ายออกจากคลอโรพลาสต์ ทำให้อัตราสร้างไรบูโลสบิสฟอสเฟต (RuBP) ขึ้นมาใหม่น้อยลงกว่าปกติ เมื่อมีไรบูโลสบิสฟอสเฟต

ซึ่งเป็นตัวรับคาร์บอน-ไดออกไซด์ไม่เพียงพอ อัตราการสังเคราะห์แสงในขั้นตอนนี้ย่อมลดลงเช่นกัน

10.2.3 P_i มีบทบาทควบคุมการสังเคราะห์แป้งในแอมิโลพลาสต์ (amyloplasts) ของเนื้อเยื่อสะสม กล่าวคือ กระบวนการสังเคราะห์แป้งในแอมิโลพลาสต์จากเนื้อเยื่อหัวมันฝรั่ง และหัวมันสำปะ-หลังซึ่งถูกกระตุ้นกิจกรรมโดยเอนไซม์ ADP – glucose pyrophosphorylase จะชะงักลงเมื่อมี P_i มากเกินไป

บริเวณที่มีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดอย่างรวดเร็วนั้นมีความต้องการธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณมาก (Brady and Weil, 2008) และฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของไฟติน (phytin) ซึ่งมีความสำคัญต่อการชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ด ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต หากพืชอยู่ภาวะเค้นของฟอสฟอรัส (P stress) นั้นมีผลทำให้พื้นที่ใบ จำนวนใบและการขยายขนาดของใบลดลง (Lynch *et al*., 1991; Qui and Israel, 1992; Halsted and Lynch, 1996 อ้างโดย Fageria, 2009) เมื่อขาดฟอสฟอรัสนอกจากจะทำให้การขยายขนาดของใบลดลงแล้ว ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบมากขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพของสังเคราะห์แสงต่อหนึ่งหน่วยคลอโรฟิลล์มีค่าลดลง (Marschner, 1995)

มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้แม้อยู่ในสภาพดินที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำ (Hillock *et al*., 2002) ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของมันสำปะหลังจะมีความต้องการความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าว, ข้าวโพด, cowpeas หรือ common beans (Howeler *et al*., 1981; Howeler, 1990) แต่มันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ธาตุฟอสฟอรัสจากดินได้สูง ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อราไมคอร์ไรซาซึ่งมีอยู่ทั่วไปในดินจะทำหน้าที่ช่วยในการดูดซับและขนส่งธาตุฟอสฟอรัสให้กับระบบรากของมันสำปะหลัง เป็นลักษณะการอยู่ร่วมกันแบบ symbiosis ดังนั้นมันสำปะหลังจึงสามารถดูดซับฟอสฟอรัสจากดิน แม้ว่าจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินต่ำ

10.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ K^+ โพแทสเซียมมีบทบาทในการเติบโตของรากและช่วยปรับปรุงการดูดใช้ของน้ำและธาตุอาหาร โดยเฉพาะเพิ่มการดูดใช้และการขนส่งธาตุเหล็กในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่ เป็นตัวสร้างเซลลูโลส ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ

โพแทสเซียมทำให้การหายใจลดลงเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงาน ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับพืช แม้โพแทสเซียมจะไม่ได้เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ หากแต่การขาดธาตุโพแทสเซียมมีผลทำให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย (Fageria, 2009) นอกจากนี้โพแทสเซียมยังมีบทบาทเกี่ยวกับการขยายขนาดของเซลล์และปรับความเต่งภายในเซลล์ ควบคุมระดับ pH ของไซโทพลาสซึม ดังนั้นจึงมีส่วนในการควบคุมกลไก homeostasis ของสิ่งแวดล้อมภายในเซลล์ให้เหมาะสมสำหรับกิจกรรมต่างๆ นอกจากนี้บทบาทที่สำคัญอีกด้านหนึ่งคือช่วยปลุกฤทธิ์ (activate) เอนไซม์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งไอออนที่เยื่อและเอนไซม์อื่นๆอย่างน้อย 60 ชนิดในช่วงที่พืชมีการเติบโตเป็นต้น

โพแทสเซียมยังมีบทบาทในการปลุกฤทธิ์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง คือเอนไซม์ starch synthetase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการถ่ายโอนกลูโคสไปยังโมเลกุลของแป้ง ดังนี้

$$\text{ADP} - \text{glucose} + \text{starch} \longrightarrow \text{ADP} + \text{glucose} - \text{starch}$$

เอนไซม์จากพืชหลายชนิดและหลายอวัยวะ (ใบ, เมล็ด และหัว) ต่างต้องการโพแทสเซียมทั้งสิ้น ความเข้มข้นของโพแทสเซียมภายในอวัยวะเหล่านี้ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50 – 100 มิลลิโมลาร์ แต่ถ้าสูงกว่านี้มากเกินไปจะมีผลในเชิงยับยั้งและทำให้ปริมาณแป้งลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอวัยวะสะสมแป้ง เช่น หัว (ยงยุทธ, 2546) แม้ว่า โพแทสเซียมจะไม่ใช่องค์ประกอบพื้นฐานของโปรตีน คาร์โบไฮเดรตหรือไขมัน แต่โพแทสเซียมกลับมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของสารเหล่านี้ โดยโพแทสเซียมจะกระตุ้นกิจกรรมการสังเคราะห์แสงโดยรวมของพื้นที่ใบและเพิ่มอัตราการขนย้ายสารที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงลงสู่หัวมันสำปะหลัง ฉะนั้นมันสำปะหลังจึงเป็นพืชที่มีการเคลื่อนย้ายธาตุโพแทสเซียมติดไปกับผลผลิตค่อนข้างมากกว่าพืชไร่ชนิดอื่น (Howeler, 1991)

10.4 แคลเซียม

แคลเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการแบ่งเซลล์ การยืดยาวและมีความสำคัญในการรักษายืดหยุ่นของเยื่อหุ้มเซลล์ของพืช เนื่องจากมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างเส้นใยระยะไมโทซิส และเป็นองค์ประกอบของ calcium pectate ใน middle lamella ของ cell plate ในช่วงของการแบ่งเซลล์ แคลเซียมจะรวมอยู่กับ calmodulin ซึ่งเป็นโปรตีนขนาดเล็กในไซโทซอล

ซึ่งสันนิษฐานว่าแคลเซียมและ calmodulin เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด นอกจากนี้แคลเซียมยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้างและการทำหน้าที่เป็น second messenger ที่ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อตอบสนองต่อสัญญาณจากภายนอกเซลล์ เอนไซม์ของพืชที่ต้องการแคลเซียมเป็นโคแฟกเตอร์มีหลายชนิด โดยแคลเซียมความเข้มข้นต่ำสามารถปลุกฤทธิ์เอนไซม์ protein kinase และ α - amylase

α - amylase มีหน้าที่ย่อยแป้งโดยเติมโมเลกุลของน้ำเข้าที่พันธะ α-1,4 ทำให้โมเลกุลของแป้งถูกทอนให้สั้นลงเป็น oligosaccharides หรือ dextrin จึงนับเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งจากแหล่งสะสมไปยังส่วนอื่นของพืช นอกจากนี้ยังช่วยย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดให้มีโมเลกุลเล็กลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอก (Hanson, 1984)

แคลเซียมมีความสำคัญในการรักษาความสมดุลของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชและช่วยบรรเทาความเป็นพิษของโลหะหนักในเนื้อเยื่อพืช แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืชและพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ สาเหตุที่แคลเซียมไม่ค่อยเป็นพิษเนื่องจากพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทพลาสซึมต่ำได้ (Hanson, 1984) หากขาดแคลเซียมจะทำให้ความสามารถของการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์หายไปและทำให้เซลล์ถูกทำลายได้ง่าย แคลเซียมป้องกันความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ที่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจาก H^+ ion และภาวะความเป็นกรด นอกจากนี้แคลเซียมยังลดความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากภาวะดินเค็มของพืชได้ (Epstein and Bloom, 2005) บางครั้งพบว่า แคลเซียมทำหน้าที่คะตะลิสต์เอนไซม์บางชนิดในปฏิกิริยา hydrolysis ของ ATP รวมถึง ฟอสโฟลิพิด และสามารถทำหน้าที่แทนแมกนีเซียมในบางปฏิกิริยาได้ด้วย (Fageria, 2009) แคลเซียมยังเกี่ยวข้องการการขนส่งคาร์โบไฮเดรตข้ามผ่านผนังเซลล์ และควบคุมช่องเปิดของปากใบ (Schroeder *et al.*, 2001; Epstein and Bloom, 2005) รวมถึงมีส่วนช่วยในการงอกของหลอดละอองเรณูในพืชหลายวงศ์ (Fageria and Gheyi, 1999)

เมื่อพืชขาดแคลเซียมจะแสดงอาการที่ใบอ่อนโดยเฉพาะในส่วนของเนื้อเยื่อเจริญของรากต้นและใบ ซึ่งมีการแบ่งเซลล์เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นธาตุที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ลักษณะอาการจะเกิดการบิดเบี้ยวของใบอ่อนที่เกิดใหม่ การเจริญของปลายยอดและรากหยุดชะงัก ดินโดยทั่วไปจะมีปริมาณแคลเซียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่แล้ว

10.5 แมกนีเซียม

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญยิ่งในพืชสีเขียวเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์และจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (ยงยุทธ, 2546; Hillocks *et al*., 2002) โดยเป็นอะตอมที่อยู่กึ่งกลางของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ และมีไนโตรเจนอยู่รอบ 4 อะตอม

แมกนีเซียมมีส่วนช่วยในเมแทบอลิซึมของฟอสเฟต การหายใจของพืชและกระตุ้นเอนไซม์ในการเมแทบอลิซึมพลังงาน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำตาล น้ำมันและไขมัน รวมถึงสายโพลิเปปไทด์จากกรดอะมิโนและกระตุ้นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส รวมถึงการหายใจแบบใช้ออกซิเจนเพื่อให้ได้พลังงาน ATP ของเซลล์อ่อนด้วย (Jones and Huber, 2007)

ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์อันเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสังเคราะห์แสงนั้น พืช C3 จะใช้เอนไซม์ RUBISCO เร่งปฏิกิริยา เอนไซม์นี้ในสโตรมาของคลอโรพลาสต์ต้องใช้ Mg^{2+} เพื่อให้มีกิจกรรมเร่งปฏิกิริยาได้ โดยกิจกรรมของเอนไซม์นี้จะสูงต่อเมื่อ pH มากกว่า 6 แต่ไม่เกิน 8 ร่วมกับการมีแมกนีเซียมสูง และพบว่าเอนไซม์นี้เกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรตเมแทบอลิซึมต้องการแมกนีเซียมเป็นโคแฟคเตอร์โดยเฉพาะวิถีไกลโคไลซิสเพียงอย่างเดียวจะมีเอนไซม์ประเภทนี้ถึง 5 ชนิด คือ hexokinase, phosphofructo – kinase, phosphoglycero- mutase, enolase และ pyruvate kinase ส่วนชนิดอื่นๆที่เหลือเกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรตเมแทบอลิซึมด้านอื่นๆ

พืชปกติมีแมกนีเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.15 – 0.35 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชขาดธาตุแมกนีเซียมจะเกิดอาการใบเหลืองซีดในใบซึ่งขยายตัวเต็มที่แล้ว ใบพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงจึงสร้าง ATP ได้น้อย ขาดพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายผลผลิตของการสังเคราะห์แสงจากแหล่งจ่ายไปยังที่รับคือ ราก ผล และหัว การขาดแมกนีเซียมทำให้ปริมาณแป้งในหัวมันฝรั่งและเมล็ดธัญพืชลดลง เนื่องจากเมื่อพืชขาดแมกนีเซียมแล้วจะทำให้มีการสะสม P_i มากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้การสังเคราะห์แป้งในไซโตพลาสซึมชะงักลง

10.6 กำมะถัน

กำมะถันเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญในต้นพืช มีบทบาทในกระบวนการเมแท-บอลิซึมหลายประการ เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน cystine, cysteine และ

methionine เป็นองค์ประกอบของวิตามิน 2 ชนิด คือ thiamine และ biotin เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์และโคเอนไซม์เอ และเป็นสารประกอบที่สำคัญในกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์แสงและสลายกรดไขมันด้วย (ยงยุทธ, 2546) ดังนั้นพืชที่ขาดกำมะถันจึงมีการสังเคราะห์แสงและการสังเคราะห์โปรตีนลดลง

กำมะถันมีความสำคัญในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ถึงแม้กำมะถันจะไม่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ หากแต่กำมะถันนั้นจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ไนโตรจีเนส กำมะถันช่วยในพืชสามารถทนแล้งและทนต่อความเป็นพิษจากโลหะหนักได้ (Fageria, 2009)

หากพืชขาดกำมะถันจะทำให้การเติบโตของเมล็ดและผลช้าออกไป นอกจากนี้กำมะถันยังช่วยให้คุณภาพของธัญพืชอยู่ในเกณฑ์ดี หากเป็นพืชที่ให้น้ำมันกำมะถันช่วยให้พืชชนิดนั้นมีปริมาณน้ำมันมากขึ้นด้วย

การให้ธาตุกำมะถันในรูปปุ๋ยซัลเฟตแก่พืชที่ขาดแคลนธาตุกำมะถันจนถึงระดับที่เพียงพอ พบว่า ปริมาณซัลเฟตในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นอย่างมาก จึงถือว่าความเข้มข้นของซัลเฟตในเนื้อเยื่อพืชเป็นดรรชนีที่แสดงความเพียงพอได้ดีกว่าความเข้มข้นของกำมะถันทั้งหมด (Freney *et al*., 1978)

10.7 เหล็ก

เหล็กเป็นธาตุแรกในบรรดาจุลธาตุอาหารที่พบว่ามีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการเจริญ เติบโตของพืช ธาตุเหล็กเกี่ยวข้องอยู่กับกระบวนการทางด้านสรีรวิทยาของพืช กล่าวคือ เหล็กเป็น activator ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ peroxidase นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของไซโตโครมซึ่งเป็นสารตัวกลางในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนทั้งในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ในระหว่างการถ่ายทอดอิเลคตรอน เหล็กจะถูกรีดิวส์และออกซิไดส์กลับไปกลับมาตลอดเวลา เหล็กยังเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (ferridoxin) ที่อยู่ในคลอโร-พลาสต์ ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอนของกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (ชัยฤกษ์, 2526; สัมพันธ์, 2526; สรสิทธิ์และคณะ, 2527) มีผู้พบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์ในพืชมีความสัมพันธ์กับปริมาณของธาตุเหล็กที่พืชได้รับ กล่าวคือ เมื่อพืชได้รับธาตุเหล็กในปริมาณที่เพียงพอแล้วจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เป็นไป

ได้ดีขึ้น และเมื่อพืชเกิดการขาดเหล็กใบของพืชจะหยุดสร้างคลอโรฟิลล์ทันที อาการผิดปกติดังกล่าวนี้ เรียกว่า คลอโรซิส คือใบมีสีเหลืองซีดหรือสีขาวซีด อาการคลอโรซีสเนื่องจากขาดธาตุเหล็กแสดงออกที่ส่วนยอดอ่อนหรือใบอ่อน ทั้งนี้เพราะธาตุเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายภายในพืช (immobile element) ซึ่งพืชไม่สามารถดึงเอาเหล็กจากส่วนที่สะสมอยู่ที่ใบแก่เพื่อนำไปใช้ในใบอ่อนได้ อาการขาดธาตุเหล็กของพืชมีลักษณะแตกต่างกันไปบ้างตามชนิดของพืช ลักษณะอาการคลอโรซิสมักพบกับพืชหลายชนิดโดยเฉพาะที่ปลูกในสภาพภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้ง (semiarid climate)

เหล็กในใบพืชมีทั้งที่อยู่ในรูปเฟอริกและเฟอรัส โดยเหล็กในรูปเฟอริกเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่มีเหล็กและกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ไซโตโครมและไฟโทเฟอร์ริทิน สำหรับเหล็กในรูปเฟอรัส ใช้เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ซึ่งต้องการ Fe (II) นอกจากนี้เหล็กยังมีบทบาทร่วมกับโพแทสเซียมในการควบคุมการปิดและเปิดของปากใบ เมื่อพืชขาดเหล็ก เซลล์คุมจะไม่เต่งและปากใบปิด

เมื่อพืชขาดเหล็กจะมีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ ดังนี้

1) ลดการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เนื่องจากเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ δ - amino levulinic acid มีกิจกรรมลดลง ซึ่งส่งผลให้สร้างคลอโรฟิลล์ได้น้อยลงด้วย

2) พืชที่ขาดเหล็กจะหยุดสร้างไทลาคอยด์ ขณะที่ใบยังมีเจริญต่อไปได้ จำนวนคลอโรพลาสต์เพิ่มขึ้น แต่จำนวนไทลาคอยด์ต่อหนึ่งคลอโรพลาสต์ลดลง เกิดภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ของใบพืชขึ้น

3) การรับพลังงานแสงและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนมีน้อยลงในใบพืชที่ขาดเหล็ก

4) ลดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

Hillocks *et al.*, 2002 กล่าวว่า มันสำปะหลังเป็นพืชที่ไวต่อการขาดธาตุเหล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะเริ่มแรกของการเจริญเติบโต หากขาดธาตุเหล็กรุนแรงจะก่อให้เกิดผลเสียหายโดยที่มันสำปะหลังอาจจะตายหรือให้ผลผลิตในระดับที่ต่ำมาก

10.8 แมงกานีส

บทบาทหรือความสำคัญของธาตุแมงกานีสที่มีต่อพืชในหลายๆด้าน จะคล้ายคลึงกับธาตุเหล็ก กล่าวคือ แมงกานีสเกี่ยวข้องอยู่กับระบบคะตะลิสต์และเอนไซม์ต่างๆในพืช เช่น เกี่ยวข้องอยู่กับกระบวนการออกซิเดชัน และรีดักชันของธาตุเหล็กในพืช และเป็นตัวเร่งกิจกรรมของเอนไซม์พวก dehydrogenase และ decarboxylase ซึ่งพบว่าถ้าปราศจากแมงกานีสเป็นโคแฟกเตอร์แล้ว การลดออกซิเจนเพื่อสร้างกรดอะมิโนต่างๆจะไม่เกิดขึ้น หรือถ้าเกิดขึ้นได้จะน้อยมาก (สรสิทธิ์ และคณะ, 2527) แมงกานีสแม้จะไม่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ แต่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ แมงกานีสมีบทบาทสำคัญโดยเป็นตัวกระตุ้นการแตกตัวของน้ำในระบบแสง II ของกระบวนการสังเคราะห์แสง อาจทำหน้าที่แทนแมกนีเซียมได้ในปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ ATP บทบาทของแมงกานีสที่มีการศึกษามากที่สุดคือภายในคลอโรพลาสต์ โดยเมื่อความเข้มข้นของแมงกานีสในใบอ่อนลดลง ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์และน้ำหนักแห้งของใบจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีผลกระทบอย่างรุนแรงใน 2 เรื่อง คือ 1) การปลดปล่อยออกซิเจนของปฏิกิริยาฮิลล์ลดลงกว่าร้อยละ 50 แต่ถ้าเพิ่มธาตุแมงกานีสแก่ใบพืชจนเพียงพอ ปฏิกิริยาฮิลล์จะคืนสู่สภาพปกติภายในเวลาหนึ่งวัน และ 2) การขาดแมงกานีสยังมีผลให้โครงสร้างจุลภาคของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ชำรุดและสูญเสียอนุภาคซึ่งเป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ของกระบวนการแสง II เมื่อให้แมงกานีสจนถึงระดับพอเหมาะ อนุภาคดังกล่าวของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์กลับคืนสู่สภาพเดิม แต่ถ้าพืชขาดธาตุนี้อย่างรุนแรงจะมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลด และโครงสร้างจุลภาคของไทลาคอยด์เสียหายมาก ซึ่งความเสียหายระดับนี้แม้จะได้รับแมงกานีสเข้ามาอีกก็ยากที่จะซ่อมแซมได้ เนื่องจากมีการยับยั้งการสังเคราะห์ลิพิดและแคโรทีนอยด์แล้วโดยสิ้นเชิง

10.9 ทองแดง

ทองแดงที่พืชนำไปใช้อยู่ในรูป Cu^{2+} ซึ่งเกาะอยู่กับ humic acid ในดิน ทองแดงมีหน้าที่คล้ายกับเหล็ก คือเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในปฏิกิริยารีดอกซ์ เช่น cytochrome oxidase, plastocyanin, ascorbic acid oxidase และ superoxide dismutase ทองแดงมีหน้าที่ทางอ้อมในกระบวน การสร้างคลอโรฟิลล์ เพราะพืชที่ขาดธาตุทองแดงจะแคระแกรนแต่พืชจะไม่แสดงอาการคลอโรซิส และเมื่อฉีดพ่นทองแดงทางใบจะช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์มากขึ้น และช่วยป้องกันมิให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายเร็วจนเกินไป ทำให้พืชแก่ช้าและมีอายุยาวขึ้น (สรสิทธิ์ และคณะ, 2527) พืชที่ขาดทองแดงจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ต่ำกว่าพืชปกติมาก มี

อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (ต่อน้ำหนักคลอโรฟิลล์หรือต่อพื้นที่ผิวใบ) ลดลงประมาณร้อยละ 50 นอกจากนี้การที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ต่ำนี้ยังมีผลเสียหายต่อการพัฒนาเรณูและการถ่ายเรณู อีกทั้งมีผลต่อการเกิดปมและการตรึงไนโตรเจนในปมรากพืชตระกูลถั่วด้วย

ทองแดงเป็นธาตุอาหารที่พืชดึงดูดขึ้นไปใช้เป็นปริมาณค่อนข้างเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ปริมาณส่วนใหญ่ของทองแดงในพืชอยู่ในส่วนของคลอโรพลาสต์ และการดึงดูดธาตุทองแดงของพืชดูเหมือนว่าจะมีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับการดึงดูดธาตุเหล็ก ถ้าพืชมีธาตุทองแดงในลำต้นน้อยเกินไปจะทำให้พืชเกิดการสะสมธาตุเหล็กมากขึ้น แต่ถ้าพืชมีธาตุทองแดงมากเกินไป พืชจะแสดงอาการคลอโรซีส ซึ่งเป็นอาการขาดธาตุเหล็ก (ชัยฤกษ์, 2526)

10.10 สังกะสี

ธาตุสังกะสีมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด โดยเอนไซม์หลายชนิดมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในโครงสร้าง เช่น carbonic anhydase ใน 1 โมเลกุลมีสังกะสีถึง 6 อะตอม อยู่ร่วมกันในรูป zinc metalloenzyme และพบเอนไซม์นี้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช คือช่วยในการรักษาสมดุลระหว่างคาร์บอนไดออก-ไซด์และคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) เพื่อให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายได้ในไซโทซอลของมีโซฟิลล์เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์แสง สังกะสีทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ dehydrogenase, proteinase และ peptidase หลายชนิด การขาดธาตุสังกะสีมีผลเสียต่อการทำงานของเอนไซม์ dehydrogenase หลายชนิด ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิ-ซึมในพืชอย่างรุนแรง นอกจากนั้น สังกะสียังเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรพลาสต์ เมื่อพืชขาดสังกะสี ใบของพืชจะมีสีเหลืองหรือที่เรียกว่า เกิดคลอโรซีส เพราะการสร้างคลอโรพลาสต์จะหยุดชะงัก การสลายตัวของคลอโรพลาสต์มีมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใบได้รับแสงแดดจัด

เมื่อพืชขาดสังกะสีนอกจากกิจกรรมของเอนไซม์ carbonic anhydase จะลดลงอย่างมาก แล้วยังมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตอีก 2 ชนิดลดลงอย่างชัดเจนด้วยคือ

1) Frutose – 1,6 – bisphosphate ซึ่งเร่งปฏิกิริยานี้

Fructose -1,6- bisphosphate ⟶ fructose – 6 – phosphate

สำหรับ fructose – 6 – phosphate ที่ได้จะใช้ในการสังเคราะห์ซูโครสและแป้ง

2) Aldolase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการแยก fructose -1,6- bisphosphate เป็นสารประกอบซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 ชนิด จึงมีบทบาทสำคัญในกระบวนการไกลโคไลซีสดังนี้

Fructose -1,6- bisphosphate ⟶ 3 – phosphoglyceraldehyde

\+ dihydroxyacetonephosphate

ค่าวิกฤตธาตุอาหารของพืช (critical level of nutrient) เป็นระดับธาตุอาหารในระดับต่ำสุดที่พืชต้องการ และทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างปกติ ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารต่ำกว่าระดับวิกฤตธาตุอาหาร จะมีผลกระทบต่อศักยภาพในการเจริญเติบโตของพืชและทำให้ผลผลิตของพืชลดลง ค่าวิกฤตธาตุอาหารต่างๆในเนื้อเยื่อพืชของมันสำปะหลังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าวิกฤตธาตุอาหารต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชของมันสำปะหลัง

ธาตุอาหาร	สภาพการปลูก	เนื้อเยื่อพืช	ความเข้มข้นวิกฤต
N	Field	YFEL blade[1]	5.70 %
	Nutrient solution	shoots	4.20 %
P	Field	YFEL blade	0.41 %
	Nutrient solution	shoots	0.47 – 0.66 %
K	Nutrient solution	YFEL blade	1.10 %
	Field	YFEL blade	1.90 %
Ca	Nutrient solution	YFEL blade	0.46 %
	Field	YFEL blade	0.60 – 0.64 %
Mg	Nutrient solution	YFEL blade	0.24 %
	Field	YFEL blade	0.29 %
S	Nutrient solution	YFEL blade	0.27 %
	Field	YFEL blade	0.32 %
Zn	Nutrient solution	YFEL blade	43 – 60 $\mu g\ g^{-1}$
	Field	YFEL blade	33 $\mu g\ g^{-1}$
B	Nutrient solution	YFEL blade	35 $\mu g\ g^{-1}$
Cu	Nutrient solution	YFEL blade	6 $\mu g\ g^{-1}$
Mn	Nutrient solution	YFEL blade	50 $\mu g\ g^{-1}$

ที่มา: (ปรับปรุงจาก Hillocks *et al*., 2002)

[1] Youngest fully expanded leaf , YFEL – ใบมันสำปะหลังที่มีอายุ 3 – 4 เดือนหลังปลูก (ใบโตเต็มที่แล้ว)

11. ดินสำหรับปลูกมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังขึ้นได้ในดินทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนปนทรายเพราะจะลงหัวและเก็บเกี่ยวง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง แต่สามารถขึ้นและให้ผลผลิตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำซึ่ง

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

ธาตุอาหารในดิน	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
pH	3.5 – 4.5	4.5 -7	6 – 7
O.M. (%)	1.0 – 2.0	2.0 – 4.0	> 4.0
Al saturation (%)	-	< 75	75 – 85
Salinity (dS/m)	-	< 0.5	0.5 – 1.0
Na saturation (%)	-	< 2	2 – 10
P (mg/kg)	2 – 4	4 – 15	> 15
K (meq 100 g^{-1})	0.10 – 0.15	0.15 – 0.25	> 0.25
Ca (meq 100 g^{-1})	0.25 – 1.0	1.0 – 5.0	> 5.0
Mg (meq 100 g^{-1})	0.2 – 0.4	0.4 – 1.0	> 1.0
S (mg/kg)	20 – 40	40 – 70	> 70
B (mg/kg)	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1 – 2
Cu (mg/kg)	0.1 – 0.3	0.3 – 1.0	1 – 5
Mn (mg/kg)	5 – 10	10 – 100	100 – 250
Fe (mg/kg)	1 – 10	10 – 100	> 100
Zn (mg/kg)	0.5 – 1.0	1.0 – 5.0	5 - 50

ที่มา: Howeler (1996)

ปลูกพืชไร่อื่นๆ เช่น ข้าวโพดและถั่วต่างๆไม่ได้ผล สมบัติทางเคมีของดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังแสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยทั่วไปพบว่าเขตปลูกมันสำปะหลังจะเป็นพื้นที่ดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ จนกระทั่งมีผู้เข้าใจผิดว่าการปลูกมันสำปะหลังทำให้ดินเสื่อม (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

ปิยะและคณะ (2542) ได้รายงานไว้ว่า สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ดินเสื่อมโทรมคือ 1) การปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินไม่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีให้มากพอ 2) ปลูกมันสำปะหลังโดยมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี หรือใช้ทั้งสองอย่างแต่ใช้น้อยเกินไป 3) ไม่มีการควบคุมการสูญเสียเนื้อดินและน้ำหรือมีการควบคุมไม่ดีพอทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน

ในพื้นที่ทุกปี และเกิดการสูญเสียเนื้อดินดีๆ จากรายงานการวิเคราะห์การใช้ปุ๋ยของมันสำปะหลัง พิจารณาได้ว่าในการปลูกมันสำปะหลังเป็นการค้านั้น ต้นมันสำปะหลังได้นำหัวสดออกไปจากดินเท่านั้น ส่วนของใบก็ร่วงหล่นกลับคืนสู่ดิน ส่วนของลำต้นก็ใช้ปลูกกลับสู่ดินอีก หรือทิ้งให้แห้งไถกลับลงสู่ดิน ดังนั้นธาตุอาหารที่มันสำปะหลังนำออกไปจากดินก็คือส่วนของธาตุอาหารที่อยู่ในหัวเท่านั้น จากรายงานการดูดใช้ธาตุอาหารในหัวมันสำปะหลังสดจำนวน 1 ตัน มีพิสัย (range) ของปริมาณธาตุอาหารดังนี้คือ ธาตุไนโตรเจน 0.70 – 4.04 กก. N/ตัน ฟอสฟอรัส 0.43 – 1.66 กก. P_2O_5/ตัน และโพแทสเซียม 2.12 – 9.50 กก. K_2O/ตัน จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์แปรปรวนไปตามพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพแวดล้อมที่ปลูก มันสำปะหลังสด 1 ตัน จะมีธาตุไนโตรเจน 2.05 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 0.94 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 5.02 กิโลกรัม (เจริญศักดิ์, 2546)

12. การให้ปุ๋ยทางใบ

การให้ปุ๋ยทางใบ (foliar spray) เป็นการให้ปุ๋ยแบบพ่นทางใบให้กับต้นพืช โดยการพ่นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่ายให้เป็นละอองน้ำจับที่ใบหรือส่วนของต้นพืชเหนือดิน เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มเติมจากที่รากจะดึงดูดขึ้นมาได้จากดิน อย่างไรก็ตาม การให้ปุ๋ยทางใบหรือส่วนของต้นเหนือดินทำให้ธาตุอาหารที่พ่นสามารถเข้าสู่พืชได้เร็ว แต่ปริมาณธาตุอาหารที่ดูดซึมเข้าสู่พืชมักจะน้อย ดังนั้นการให้ปุ๋ยโดยวิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการให้ธาตุอาหารเสริมแก่พืช และพืชที่มีระบบรากถูกทำลาย (มุกดา, 2543)

วัตถุประสงค์ของการใช้ปุ๋ยทางใบ

การใช้ปุ๋ยทางใบมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเสริมการใช้ปุ๋ยทางดินใน 2 กรณีคือ

1) เป็นการเสริมการให้ปุ๋ยเมื่อการให้ปุ๋ยทางดินให้ผลช้า ในกรณีที่ปลูกพืชแล้วและทราบภายหลังว่าดินมีบางธาตุไม่เพียงพอ เป็นเหตุให้การเจริญเติบโตของพืชต่ำกว่าปรกติ การใส่ปุ๋ยซึ่งมีธาตุดังกล่าวทางดินร่วมกับการใช้ทางใบ จะเร่งให้พืชเจริญเติบโตตามปรกติได้เร็วกว่าการใช้ปุ๋ยทางดินอย่างเดียว

2) เสริมเมื่อการใช้ปุ๋ยทางดินไม่ให้ผลตามเป้าหมาย

กลไกการดูดซับธาตุอาหารทางใบพืช

ผิวใบชั้นนอกประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นคิวติเคิล 2 ชั้น คือ ชั้นนอกสุด และ ชั้นของ epicuticle wax มีคุณสมบัติเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic compound) และเป็นกลางทางไฟฟ้า มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยสารประกอบพวก cyclic และ aliphatic ที่เกิดพันธะต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่ ซึ่งได้แก่ primary alcohol, hydrocarbon, secondary alcohol, β - diketones และ triterpenoid เป็นองค์ประกอบหลัก ชั้นถัดมาคือ ชั้นของ cutin มีโครงสร้างหลักที่ประกอบไปด้วยกลุ่มโมเลกุลของ fatty acid ที่ต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (ester linkage) จากการทำปฏิกิริยาตรงหมู่ไฮดรอกซี (OH^- group) ถัดจากชั้น cutin เข้าไปเป็นส่วนของชั้น cellulose และ pectin substance ซึ่งเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ (ยงยุทธ 2547; Swietlik and Faust, 1984)

พืชดูดซึมธาตุอาหารผ่านทางชั้นของ cuticle ด้วยกระบวนการแพร่ (diffusion) โดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้น โดยทั่วไปแล้วธาตุอาหารประจุบวกมีการแพร่ผ่านชั้นของ cuticle ได้ดีกว่าประจุลบ เนื่องจากชั้นของผิวเคลือบคิวทิน (cuticle) มีสมบัติทางประจุไฟฟ้าเป็นลบ ดังนั้นธาตุอาหารประจุบวกจึงถูกดูดซับไว้ที่ผิวของ cutin ได้ดีและผ่านชั้นของ cuticle ด้วยการแทนที่ของประจุบวกตัวอื่นๆการแพร่ผ่าน cuticle ของธาตุอาหารประจุบวกนั้นขึ้นกับรัศมีของประจุที่เกาะกับโมเลกุลของน้ำเช่น ธาตุ K^+ มีขนาดรัศมีเล็กกว่าธาตุ Mg^{2+} จึงมีการแพร่ผ่าน cuticle ได้ดีกว่าและเร็วกว่า แต่ในกรณีของสารอินทรีย์การแพร่ผ่าน cuticle นั้นขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของสาร (ยงยุทธ 2524; Swietlik and Faust, 1984) หลังจากธาตุอาหารแพร่ผ่านชั้น cuticle จะมีการเคลื่อนย้ายผ่านผนังเซลล์ โดยการเคลื่อนย้ายผ่านช่องว่างระหว่าง microfibril ในชั้นผนังเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายแบบ passive transport หลังจากนั้นจึงเคลื่อนย้ายผ่าน plasma membrane เข้าสู่ cytoplasm โดยกระบวนการ active transport (ยงยุทธ, 2547; Swietlik and Faust, 1984)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดธาตุอาหารของใบ

12.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ปัจจัยดังกล่าวนี้มีอิทธิพลต่อการดูดธาตุอาหาร คือ มีผลต่อการพัฒนาของใบและการสะสมของ cutin บนผิวใบ และมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชซึ่งเชื่อมโยงกับการดูดไอออนแบบ active (Flore and Bukovac, 1972) เมื่ออุณหภูมิและความเข้มแสงไม่สูงเกินไป ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นในดินพอเหมาะ พืชจะมีความเต่งเนื่องจากอัตราการดูดน้ำของรากสมดุลย์กับ

อัตราการคายน้ำ ขณะที่ใบพืชเต่ง ไขและผิวเคลือบจะมีลักษณะฟู จึงยอมให้ละลายผ่านง่าย แต่ถ้าพืชอยู่ในภาวะขาดน้ำใบพืชย่อมสูญเสียความเต่งไขและผิวเคลือบของใบก็แฟบลงและแน่น จึงทำให้ตัวละลายผ่านยาก ดังนั้น การฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารขณะที่ใบพืชเต่ง อัตราการดูดเข้าไปใช้จึงสูง (Gray and Akin, 1984)

12.2 อายุใบ ลักษณะของผิวใบและพันธุ์พืช ใบพืชที่มีอายุน้อยการสะสมของไขและผิวเคลือบยังไม่หนาเต็มที่ ธาตุอาหารจึงเคลื่อนที่ผ่านได้เร็วกว่าใบแก่ เช่นแอปเปิลที่ปลายกิ่งจะดูดยูเรียได้เร็วกว่าใบที่โคนกิ่ง (Oosterhuis, 1999) ส่วนผิวใบด้านล่างของพืชหลายชนิดดูดยูเรียได้เร็วกว่าผิวใบด้านบน เนื่องจากผิวใบด้านล่างมีจำนวนผิวใบต่อพื้นที่สูงกว่า นอกจากนั้นอัตราการดูดธาตุอาหารของใบที่มีขนก็จะสูงกว่าใบเรียบ (Franke, 1967) และอัตราการดูดธาตุอาหารทางใบในพืชต่างชนิดก็มีความแตกต่างกันด้วย เช่น ใบท้อจะมีอัตราการดูดธาตุอาหารทางใบต่ำกว่าแอปเปิลและส้มมาก (Swietlik and Faust, 1984)

12.3 สถานภาพของธาตุอาหารในพืช มีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารอื่นบางธาตุ เช่น ข้าวบาร์เลย์ที่ขาดฟอสฟอรัสจะดูดฟอสเฟตทางใบสูงประมาณ 2 เท่าของใบปรกติ (Clarkson and Scattergood, 1982)

12.4 องค์ประกอบของปุ๋ยและความเข้มข้น ความเข้มข้น ความเป็นกรดเป็นด่างและรูปของสารเคมีที่ให้ทางใบ รูปของธาตุบางรูปอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ใบได้ง่าย เช่นการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูป $Ca(NO_3)_2$ และ $(NH_4)_2SO_4$ จะก่อให้เกิดอาการ phytotoxic ที่ผิวใบ เช่นเดียวกับการให้ปุ๋ยทางใบที่ระดับความเข้มข้นสูงเกินไป

12.5 สารเสริมประสิทธิภาพ (adjuvants) สารเสริมประสิทธิภาพที่ต้องการเป็นลำดับแรกควรมีคุณสมบัติเป็นสารจับใบ เพราะสารจับใบช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ ช่วยเพิ่มการแพร่กระจายของสาร ละลายกับผิวใบ ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ผิวใบจึงเปียกอย่างทั่วถึง และมีประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารทางใบดียิ่งขึ้น (Swietlik and Faust, 1984)

ข้อดีในการใช้ปุ๋ยทางใบ (ยงยุทธ, 2547)

1. การให้ปุ๋ยทางดินต้องคำนึงถึงการเคลื่อนย้ายของปุ๋ยในดิน การตรึงธาตุอาหาร และความเข้มข้นของธาตุเหล่านั้นในสารละลายดิน และการปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต้องใช้เวลาพอสมควร ในช่วงเวลาดังกล่าวอาจแก้ปัญหาการขาดธาตุโดยการพ่นทางใบโดยตรง

2. ในหลายกรณีการให้ปุ๋ยทางใบมีประสิทธิภาพสูงกว่าใส่ในดินโดยเฉพาะธาตุอาหารพวกจุลธาตุ

3. ถ้าพืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารในระยะวิกฤต เช่น ก่อนออกดอก ในจังหวะเช่นนี้ไม่มีวิธีใดให้ผลดีและรวดเร็วเท่าการให้ทางใบ หากใช้วิธีอื่นอาจไม่ทันท่วงทีและกระทบต่อผลผลิต การให้ปุ๋ยจุลธาตุทางใบไม่ต้องทำบ่อย เพราะการให้ในความเข้มข้นที่เหมาะสมเพียงครั้งหรือสองครั้ง ก็อาจเพียง พอตลอดชีพจักรของการปลูกพืชนั้น

4. การให้ปุ๋ยทางใบให้ผลดีกับพืชที่มีพื้นที่ผิวใบทั้งหมดสูง คือ ใบใหญ่และใบมาก เพราะรับละอองปุ๋ยไว้ได้มาก วิธีนี้ให้ผลดีกับพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น ไม้ผล ผักต่างๆ นอกจากนั้นมุมใบยังมีผลต่อการรับและจับเกาะของละอองน้ำปุ๋ยด้วย

5. การให้ปุ๋ยทางใบเพื่อเสริมการให้ทางดินจะให้ผลเด่นชัด เมื่อให้ตอนที่พืชมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าและระหว่างการออกดอก

6. นอกจากปุ๋ยทางใบจะช่วยแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารซึ่งได้ผลรวดเร็วแล้ว การใช้ปุ๋ยทางใบอย่างเหมาะสมกับพืชผักและไม้ผล ยังช่วยให้คุณภาพของผลผลิตบางลักษณะดีขึ้นด้วย

7. พืชซึ่งอยู่ในสภาพที่มีความเค้น (stress) จากธรรมชาติ เช่นอุณหภูมิและแห้งแล้ง หรือมีการจัดการผิดพลาด เช่น ขาดน้ำและขาดธาตุอาหารจะได้รับความกระทบกระเทือนด้านเมแทบอลิซึมจนกระบวนการด้านสรีรวิทยาขัดข้อง เช่นบูรณภาพ (integrity) ของเยื่อเสื่อมลง การให้ปุ๋ยทางใบช่วยซ่อมแซมความชำรุดของบางกลไก ให้บรรเทาความเสียหายจากความเค้น

ข้อจำกัดในการใช้ปุ๋ยทางใบ (ยงยุทธ, 2547)

1. การพ่นปุ๋ยน้ำให้มีละอองเล็กและรวดเร็วต้องใช้เครื่องมือพิเศษและความชำนาญของผู้ฉีด

2. พืชหลายชนิดไม่ค่อยตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยทางใบ องค์ประกอบทางเคมีและสัณฐานของใบพืช มีผลต่อการเกาะติดที่ใบและการใช้ประโยชน์จากปุ๋ย

3. หากใช้อัตราสูงเกินไปอาจเกิดอาการใบไหม้รุนแรงกว่าการให้ทางดิน

4. โดยปกติปุ๋ยที่ใช้มักเป็นอนินทรีย์สาร หรือปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมักเกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์การพ่นปุ๋ยยิ่งกว่ายาปราบศัตรูพืช

5. บางภูมิภาคของประเทศมีฝนตกชุก น้ำฝนจึงมักชะล้างปุ๋ยที่อยู่บนผิวใบ หากปลอดฝนอย่างน้อย 3 วันหลังการพ่นปุ๋ยจะได้ผลดี

13. ธาตุอาหารในมูลสุกร

ในร่างกายสุกรจะมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 40 ชนิดด้วยกัน แต่ก็มีอยู่เพียง 15 ชนิดเท่านั้นที่ร่างกายสุกรมีความต้องการและจัดอยู่ในพวกที่จำเป็น (essential elements) ซึ่งได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส สังกะสี ไอโอดีน โซเดียม โคบอลต์ กำมะถัน แมงกานีส แมกนีเซียม เหล็ก โพแทสเซียม ทองแดง คลอรีน ซีลีเนียม และโมลิบดีนัม สำหรับแร่ธาตุทั้ง 15 ชนิด ก็มีอยู่ประมาณ 10 ชนิดที่ต้องการในปริมาณมาก และปริมาณแร่ธาตุที่ติดมากับวัตถุดิบอาหารมักมีไม่เพียงพอกับความต้องการของสุกร ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม คลอรีน เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส ไอโอดีน และซีลีเนียม เนื่องจากสุกรต้องใช้ธาตุเหล่านี้เพื่อการเจริญเติบโต การ

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆในมูลสุกรแห้ง และน้ำสกัดมูลสุกร

ธาตุ	มูลสุกรแห้ง	อัตราส่วนมูล : น้ำ 1 : 10
ไนโตรเจน (%)	2.83 – 3.19	0.09 – 0.1
ฟอสฟอรัส (%)	0.88 – 4.64	0.02 – 0.03
โพแทสเซียม (%)	1.20 – 1.33	0.13 – 0.16
แคลเซียม (มก./กก.)	26300 – 91900	45 – 95
แมกนีเซียม (มก./กก.)	10900 – 16500	197 – 229
เหล็ก (มก./กก.)	3100 – 6303	8 – 19
ทองแดง (มก./กก.)	692 – 1400	14 – 20
แมงกานีส (มก./กก.)	500 – 1000	1 – 8
โซเดียม (มก./กก.)	4200 – 5700	303 – 317
สังกะสี (มก./กก.)	900 – 1700	6 – 8
โบรอน (มก./กก.)	11 - 26	1 – 2

ที่มา: สุกัญญา และคณะ (2550)

ดำรงชีวิต และการสืบพันธุ์ มากกว่าแร่ธาตุอื่นๆ ในเชิงปฏิบัติจึงมีความจำเป็นต้องเติมแร่ธาตุเหล่านี้ลงในอาหารเลี้ยงสุกรเพื่อป้องกันการขาดแร่ธาตุต่างเหล่านี้ของสุกรนั่นเอง (ไชยา, 2533)

แร่ธาตุต่างๆที่สัตว์ต้องการนั้นจะเห็นว่าเป็นชนิดเดียวกับที่พืชต้องการ (ตารางที่ 3) มีความแตกต่างกันเพียงบางธาตุเท่านั้น ในการเลี้ยงสุกรแผนใหม่มีการเติมแร่ธาตุเหล่านี้ลงไปในอาหารเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของสุกร แต่สุกรไม่สามารถย่อย ดูดซึม และใช้ประโยชน์แร่ธาตุในอาหารของสุกรโดยสมบูรณ์ ดังนั้นมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมาจึงมีแร่ธาตุอาหารส่วนที่ถูกดูดซึมไม่หมดในระบบทางเดินอาหาร รวมทั้งแร่ธาตุที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากระบบทางเดินอาหารออกมาด้วยซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้การนำมูลสุกรมาใช้ประโยชน์ทางด้านธาตุอาหารพืชไม่ว่าจะเป็นการใส่ทางดิน หรือการทำเป็นน้ำสกัดมูลสุกรเพื่อพ่นเป็นปุ๋ยทางใบ จึงเป็นแนวทางที่น่าจะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตพืช เพิ่มเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลัง

14. น้ำสกัดมูลสุกร

น้ำสกัดมูลสุกรคือ สารละลายที่ได้จากการนำมูลสุกรแห้งมาแช่น้ำในอัตราส่วน 1:10 กล่าวคือ มูลสุกรแห้ง 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร หมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำน้ำสกัดส่วนใสที่ได้มาเจือจางกับน้ำ เพื่อใช้เป็นปุ๋ยรดทางดินหรือพ่นทางใบ ส่วนกากมูลสุกรที่เหลือ สามารถนำไปทำปุ๋ยทางดินได้อีก โดยน้ำสกัดมูลสุกรที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ปฏิมาและคณะ (2548) ศึกษาปริมาณของแร่ธาตุชนิดต่างๆและการเกิดเชื้อราในน้ำสกัดมูลสุกร โดยทำการหมักมูลสุกรแห้งกับน้ำ ในอัตราส่วนมูลต่อน้ำ 1: 10 2:10 และ 2.5 : 10 ในถัง 200 ลิตร แล้วหมักทิ้งไว้ ในระหว่างการหมักให้กวนน้ำหมักด้วยเครื่องกวนมือถือวันละหนึ่งครั้ง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำหมักหลังจากการปั่นกวนแล้วในวันที่ 1, 3 , 5 และ 7 วันนำมากรองด้วยผ้าขาวบางแล้ว นำน้ำสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของมูลสุกรแห้งต่อน้ำและระยะหมักให้นานขึ้น มีผลต่อการละลายของธาตุอาหารชนิดต่างๆเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนมูลสุกรแห้งต่อน้ำ 2: 10 และ 2.5 :10 รวมทั้งการเพิ่มระยะเวลาหมักให้นานขึ้นถึง 7 วัน ไม่ได้ทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่ละลายออกมามากขึ้นตามอัตราส่วนและระยะการหมักดังกล่าว ซึ่งหากทำการหมักเป็นเวลานานน้ำสกัดที่ได้จะมีกลิ่นแรงมากขึ้นเสียเวลาในการหมัก ทำให้ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนการผลิตสูงขึ้น นอกจากนี้หากหมักมูลสุกรแห้งในน้ำเป็นเวลานานขึ้นจะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้า Electro conductivity (EC) ของน้ำสกัดเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้พืชเหี่ยวเฉาและตายได้ เนื่องจากน้ำจะถูกดูดออกจากต้นพืช ดังนั้นหากมีการหมักที่อัตราส่วนมูลแห้งต่อน้ำ 2:10 และ 2.5:10 และหมักเป็นเวลานานถึง 7 วัน น้ำสกัดที่ได้จะมีปริมาณธาตุอาหารมากขึ้นและมีระดับความเค็มสูงขึ้น หากต้องการนำน้ำสกัดมูลสุกรดังกล่าวมาใช้ต้องน้ำมาเจือจางด้วยน้ำปริมาณมากก่อน ส่วนวิธีการหมักโดยใช้เครื่องกวนมือถือ เป็นวิธีที่ช่วยในการแตกตัวของมูลสุกรที่จับตัวเป็นก้อนได้ แต่ก็เป็นการกระตุ้นให้ จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศเจริญด้วยเช่นกัน น้ำสกัดที่ได้ก็จะมีกลิ่นเหม็น ไม่น่าใช้ ดังนั้นจึงสรุปแนะนำให้หมักมูลสุกรอัตราส่วนมูลแห้งต่อน้ำ 1:10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยวิธีการบรรจุมูลสุกรแห้งลงในถุงไนลอน หมักในถังน้ำหรือภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด อันเป็นวิธีการหมักที่สามารถให้ปริมาณธาตุอาหารไม่แตกต่างกันกับการใช้เครื่องมือกวนมือถือมากนัก และสะดวกในการเก็บแยกมูลสุกรที่หมักแล้ว เนื่องจากสามารถแยกส่วนของกากและน้ำได้เลย ซึ่งการหมักด้วยวิธีดังกล่าวพบว่า น้ำสกัดมีปริมาณธาตุอาหารหลักได้แก่ N, P, K เท่ากับ 0.06, 0.02 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ธาตุอาหารรอง ได้แก่ Ca และ Mg เท่ากับ

47.05 และ 220.28 มก./กก. ส่วนจุลธาตุอาหาร ได้แก่ Na, Cu, Fe, Mn , Zn และ B เท่ากับ 312.6, 17.28, 8.88, 2.29, 6.64 และ 1.41 มก./กก. ตามลำดับ

ปฏิมาและคณะ (2548) ทำการหมักสุกรแห้งกับน้ำในอัตราส่วนมูลต่อน้ำ 1: 10 , 2: 10 และ 2.5 : 10 ในถัง 200 ลิตรแล้วหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ปี ในระหว่างการหมักเก็บตัวอย่างน้ำหมักส่วนใส ทุก 1 เดือน นำน้ำสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณ organic carbon และปริมาณกรดฮิวมิก พบว่า ความเป็นกรด-ด่างในทุกอัตราส่วนมูลแห้งต่อน้ำเมื่อเพิ่มเวลาในการหมัก ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มสูงขึ้นจัดเป็นด่างเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง ส่วนการเพิ่มมูลสุกรแห้งและเพิ่มเวลาหมักให้นานขึ้น มีผลทำให้น้ำสกัดมูลสุกรที่ได้มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แสดงถึงธาตุอาหารในรูปเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำมากขึ้น แต่ธาตุอาหารในรูปเกลือที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เพิ่มตามสัดส่วนมูลสุกรแห้งที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มอัตราส่วนมูลแห้งต่อน้ำมีผลต่อการเพิ่มปริมาณ organic carbon และเมื่อเทียบค่าเป็นปริมาณอินทรียวัตถุพบว่า น้ำสกัดมูลสุกรมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำมาก – ต่ำ และไม่พบกรดฮิวมิก ในทุกอัตราส่วนมูลแห้งต่อน้ำ

ธงชัย (2544) รายงานว่า การให้ธาตุอาหารอินทรีย์แก่พืชโดยใช้ปุ๋ยน้ำหมักเป็นปุ๋ยทางใบ ถึงแม้มีปริมาณธาตุอาหารไม่มากนัก แต่สามารถถูกดูดซึมผ่านผิวใบพืชเข้าสู่ระบบท่อลำเลียงซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้รวดเร็ว ในปุ๋ยน้ำหมักนี้มีธาตุอาหารพืชครบทุกธาตุ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืช และยังมีธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริมจำนวนหนึ่งได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โบรอน โมลิบดินัม คลอรีน และนิกเกิล ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่ท่อลำเลียงของพืชและเป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างรวดเร็ว

วิชระ (2541) ทำการทดลองใช้ปุ๋ยน้ำหมักหอยเชอรี่หรือไข่หอยเชอรี่ หรือผสมกับพืชอื่น ๆ พ่นให้ทางใบ พบว่า ไม้ผลที่ได้รับน้ำปุ๋ยน้ำหมักหอยเชอรี่มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว มีลำต้น กิ่ง ก้าน ใบ และรากสมบูรณ์แข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคและแมลงปากกัดได้หลายชนิด และติดดอกออกผลได้ตรงตามฤดูกาล

สุริยา (2542) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองของข้าวพันธุ์กู้เมืองหลวงต่อการใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ผลิตจากปลา 2 ชนิด ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 เป็นปุ๋ยรองพื้นอัตราต่าง ๆ พบว่า

การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยน้ำชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กรมวิชาการเกษตร (2544) รายงานว่า น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากปลานั้นมีปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ขึ้นกับแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของปลาซึ่งขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่ปลาอาศัยอยู่ คือ น้ำและอาหารที่ปลากิน แร่ธาตุที่พบทั้งในปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็มมี 60 ชนิด ออกซิเจน 75 % ไฮโดรเจน 10 % คาร์บอน 9.5 % ไนโตรเจน 2.5-3.0 %แคลเซียม 1.2-1.5 %ฟอสฟอรัส 0.6-0.8 % กำมะถัน 0.3 % ส่วนแร่ธาตุอื่น ๆ มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก

สุรชัย (2546) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพพืชและน้ำสกัดชีวภาพปลาต่อการเจริญเติบโตของผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดหอม และพริกยักษ์ ในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพพืชหรือปลาที่เจือจาง 1 : 1,000 และ 1: 500 ร่วมกับสารละลายที่มีธาตุอาหารครบ ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและการดูดกินธาตุอาหารเพิ่มขึ้นดีกว่าการใช้สารละลายที่มีธาตุอาหารครบแต่เพียงอย่างเดียวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใช้น้ำสกัดชีวภาพพืชและน้ำสกัดชีวภาพปลาแต่เพียงอย่างเดียว ทั้งในอัตรา 1: 1,000 และ 1: 500 จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและการดูดกินธาตุอาหารน้อยมากและไม่แตกต่างกัน

ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (2546) ได้ทำการปลูกข้าวโดยใช้น้ำสกัดชีวภาพจากพืช เช่น ผักบุ้ง หน่อไม้ หยวกกล้วย และพืชตระกูลถั่วอื่น ๆ ที่มีการเจริญเติบโตเร็ว และน้ำสกัดชีวภาพจากปลาพ่นเพื่อช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจน โดยพ่นช่วงที่ข้าวกำลังเจริญเติบโต ส่วนน้ำสกัดชีวภาพจากผลไม้ เช่น กล้วย ฟักทอง มะละกอ และขนุน มีการพ่นในช่วงข้าวตั้งท้องและออกรวง พบว่า สามารถช่วยให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงขึ้นได้

นิภาวรรณ์ (2548) ศึกษาการใช้สารสกัดพืช สารสกัดปลา ไคโตซาน และภูไมท์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60 จากการทดลองพบว่า การพ่นสารสกัดปลาเพียงอย่างเดียว จำนวน 4 ครั้ง ที่อายุ 20, 30, 40 และ 50 วันหลังงอก ในช่วงต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน ให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ โดยให้ผลผลิตสูงสุด คือ 182 และ 375 กก./ไร่ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 10 กก./ไร่ ร่วมกับภูไมท์, สารสกัดพืช, สารสกัดปลา และไคโตซาน รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 10 และ 20 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว

วราภรณ์ (2547) ได้ศึกษาการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 เริ่มทดลองเมื่อมันสำปะหลังมีอายุได้ 3 เดือน พบว่า การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทุก 1 เดือน และทุก 2 เดือน มีผลทำให้ น้ำหนักรวมทั้งต้น น้ำหนักใบ ผลผลิตต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากตำรับการทดลองอื่น ได้แก่ ตำรับควบคุมที่ไม่มีการพ่นใด ๆ เลย การพ่นน้ำเปล่าทุก 1 เดือน และ การพ่นน้ำเปล่าทุก 2 เดือน ส่วนผลการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรต่อปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส ในใบและหัวมันสำปะหลัง พบว่ามีแนวโน้มไม่ชัดเจน การตอบสนองของปริมาณธาตุอาหารต่อการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ มีความแปรปรวนสูงเมื่อมันสำปะหลังมีอายุเก็บเกี่ยวที่ 9 10 และ 11 เดือน

จักรพันธ์ (2549) ศึกษาผลของการให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำชนิดต่างๆได้แก่ ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร ปุ๋ยปลาหมัก ปุ๋ยน้ำมังกรเกษตร และพ่นปุ๋ยเคมีทางใบ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1,2 , 3 เดือน โดยเปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ทางดิน อัตรา 50 กก./ไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือน การพ่นน้ำเปล่า และการไม่ให้ปุ๋ย ในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ผลการศึกษาพบว่า การพ่นปุ๋ยอินทรีย์น้ำทุกชนิดที่ทดลอง ให้ลักษณะการเจริญเติบโตและลักษณะการผลิตไม่แตกต่างกันกับการพ่นน้ำเปล่าและไม่ให้ปุ๋ย โดยให้ลักษณะการเจริญเติบโตในส่วนของความสูงต่ำกว่าการให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 แต่การใช้ปุ๋ยเคมีทางใบให้ลักษณะการเติบโตและการให้ผลผลิตของมันสำปะหลังไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ทางดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ ห้วยบง 60
2. ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรและปุ๋ยเคมี

- ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร เตรียมโดยใช้มูลสุกรแห้ง แช่น้ำในอัตราส่วนมูลสุกรแห้ง : น้ำ เท่ากับ 1 : 10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองเอาส่วนที่เป็นกากออก เหลือส่วนที่เป็นน้ำปุ๋ยเข้มข้น และทำการหมักบ่มน้ำปุ๋ยเข้มข้นดังกล่าวต่อเป็นเวลา 3 เดือนเพื่อให้ปริมาณสารแขวนลอยลดลง จากนั้นจึงนำส่วนน้ำปุ๋ยเข้มข้นมาเจือจางกับน้ำในอัตรา น้ำปุ๋ยเข้มข้น : น้ำ = 1 : 10 เพื่อใช้เป็นปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรในการพ่นทางใบและทางดินมันสำปะหลังในการทดลองนี้

- ปุ๋ยเคมี สูตร 21-10-10

3. ถังสำหรับแช่มูลสุกรเพื่อทำปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร
4. เครื่องพ่นปุ๋ยชนิดสะพายหลัง และชนิดปั๊ม 3 สูบ
5. อุปกรณ์ในการเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน
6. อุปกรณ์ในการเก็บและเตรียมตัวอย่างพืช
7. สารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืช
8. เครื่องมือวัดปริมาณคลอโรฟิลล์และความเขียวของใบ (chlorophyll meter รุ่น SPAD – 502)
9. เครื่องชั่งน้ำหนัก
10. เครื่องวัดสภาพอากาศ (watchdog datalogger Model 450)
11. เครื่องวัดแรงดึงน้ำของดิน (tensiometer)
12. เครื่องวัดขนาดของใบ (Automatic area meter)
13. เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์แป้ง (Reimain Scale)
14. เครื่องวัดความแข็งของดิน (Penetrometer)
15. ตู้อบความร้อน

16. ไม้เมตร
17. เทปวัดระยะ
18. ป้ายไม้ปักแปลง
19. สารจับใบ
20. เวอร์เนียคาร์ลิบเบอร์
21. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ
    - pH meter
    - Block digestor
    - Atomic absorption spectrophotometer
    - Nitrogen Distillater
    - Spectrophotometer
    - Electrical conductivity meter
22. อุปกรณ์ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

วิธีการ

การทดลองเพื่อศึกษาผลของการให้ธาตุอาหารทางใบแก่ต้นมันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในต้น และใบมันสำปะหลัง ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ และผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

1. การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมแปลงทดลองโดยการไถด้วยผาล 3 ก่อน เพื่อเป็นการกำจัดเศษวัชพืชที่หลงเหลืออยู่ใต้ดิน และไถยกร่องปลูกเมื่อพร้อมปลูก เนื่องจากพื้นที่เป็นดินร่วน (loamy soil) และมีความลาดเอียง ในช่วงที่ฝนตกอาจเกิดการพัดพาท่อนพันธุ์ไป จึงต้องปลูกแบบยกร่อง ในการปลูกได้ใช้ต้นมันสำปะหลังที่มีอายุ 8 เดือนเป็นต้นพันธุ์ปลูก ตัดท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกยาวประมาณ 15 - 20 เซนติเมตร ปลูกแบบปักตรง หลุมละต้น ระยะปลูก 1 X 1 เมตร (1,600 ต้นต่อไร่) หลังจากปลูก 15 วัน ตรวจสอบความงอก แล้วปลูกซ่อมทันที กำจัดวัชพืชประมาณ 2-3 ครั้ง

2 . แผนงานวิจัย

ศึกษาผลการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรโดยการพ่นทางใบ การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และการใช้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรพ่นทางใบร่วมกับการให้ทางดิน เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีทางดิน สูตร 21 – 10 -10 แต่เพียงอย่างเดียว ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 โดยวางแผนทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (randomize complete block design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ศึกษาโดยปลูกมันสำปะหลังในช่วงฤดูหนาว (เดือนมกราคม) ในปี พ.ศ. 2550 – 2551 ณ แปลงมันสำปะหลังเกษตรกร ต.หนองโอ่ง อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ขนาดแปลง เท่ากับ 6 X 16 ตารางเมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 2 X 4 ตารางเมตร สำหรับตำรับทดลอง (treatment) มีดังนี้

ทรีตเมนต์ 1: กลุ่มควบคุม ไม่มีการใส่ปุ๋ย (control)

ทรีตเมนต์ 2: ใส่ปุ๋ยเคมีทางดิน สูตร 21 -10-10 อัตรา 40 กก. / ไร่ เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุได้ 45 วัน (1 เดือน 15 วัน) ครั้งแรกเพียงครั้งเดียว

ทรีตเมนต์ 3: พ่นด้วยปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ ในอัตรา 250 – 400 ลิตรต่อไร่ เมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุ 45 วันและให้ทุกเดือน (เดือนละหนึ่งครั้ง) จนกระทั่งต้นมันสำปะหลังมีอายุ 285 วัน (9 เดือน 15 วัน)

ทรีตเมนต์ 4: ให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน ในอัตรา 2.5 ลิตรต่อต้น (กำหนดการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินคิดเป็น 50% N ของการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21 -10 -10) เมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุ 45 วันและให้ทุกเดือน (เดือนละหนึ่งครั้ง) จนกระทั่งต้นมันสำปะหลังมีอายุ 285 วัน (9 เดือน 15 วัน)

ทรีตเมนต์ 5: ให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทั้งทางใบและทางดิน ในอัตรา 250 - 400 ลิตร/ไร่ (ทางใบ) และให้ในอัตรา 2.5 ลิตรต่อต้น (ทางดิน) (กำหนดการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินคิดเป็น 75% N ของการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21 -10 -10) เมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุ 45 วัน และให้ทุกเดือน (เดือนละหนึ่งครั้ง) จนกระทั่งต้นมันสำปะหลังมีอายุ 285 วัน (9 เดือน 15 วัน)

สามารถสรุปเป็นตารางแผนการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ตำรับการทดลองต่างๆ

Treatment	ปุ๋ยเคมี	น้ำสกัดมูลสุกร	
		รดทางดิน	ฉีดพ่นทางใบ
1	-	-	-
2	สูตร 21-10-10[1/] อัตรา 40 กก.ต่อไร่	-	-
3	-	-	250 – 400 ลิตรต่อไร่ต่อครั้ง[2/]
4	-	2.5 ลิตรต่อต้น[3/]	-
5	-	2.5 ลิตรต่อต้น[3/]	250 – 400 ลิตรต่อไร่ต่อครั้ง[2/]

หมายเหตุ 1/ จากผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.78 – 1.83 %

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับพืช 10.53- 16.56 มก. P/กก.

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน 133.95 – 224.15 มก. K/กก.

เมื่อนำมาพิจารณาการให้ปุ๋ยเคมีแก่มันสำปะหลังตามคำแนะนำการให้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร (2548) ที่ได้ระบุไว้ว่า ใช้ปุ๋ยคือ 8 กก. N /ไร่ 4 กก. P_2O_5 /ไร่ และ 4 K_2O กก./ไร่ โดยให้เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุได้ 45 วัน (1 เดือน 15 วัน) ครั้งแรกเพียงครั้งเดียว

2/ ให้เมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุ 45 วันและให้ทุกเดือน (เดือนละหนึ่งครั้ง) จนกระทั่งต้น มันสำปะหลังมีอายุ 285 วัน (9 เดือน 15 วัน) รวม 9 ครั้ง ใช้สารละลายน้ำสกัดมูลสุกรทั้งสิ้น 3,949 ลิตร/ไร่

3/ ให้เมื่อต้น มันสำปะหลังมีอายุ 45 วันและให้ทุกเดือน (เดือนละหนึ่งครั้ง) จนกระทั่งต้นมันสำปะหลังมีอายุ 285 วัน (9 เดือน 15 วัน) รวม 9 ครั้ง ใช้สารละลายน้ำสกัดมูลสุกรทั้งสิ้น 28,483 ลิตร/ไร่

การพ่นปุ๋ยน้ำมูลสุกรในการศึกษาครั้งนี้ กระทำในช่วงเวลา 7.00 – 9.00 น.ของวันที่พ่นปุ๋ยน้ำ และบันทึกปริมาณปุ๋ยน้ำที่ใช้พ่นในแต่ละครั้งต่อพื้นที่ 1 ไร่

ในระหว่างการทดลองมีการให้น้ำแก่ต้นมันสำปะหลังหากเกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงเกิน1 เดือน หรือดินของแปลงทดลองมีค่าพลังงานกำกับก้อนดินต่ำกว่า -50 kPa ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ให้น้ำในระบบสปริงเกิลเพื่อเสริมความงอกแก่มันสำปะหลังเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 1 – 15 วัน เป็นจำนวน 3 ครั้ง

3. การเก็บข้อมูลตัวอย่างและวิธีการศึกษาข้อมูล

3.1 **ข้อมูลทางด้านปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร**

3.1.1 วิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมีของปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร นำตัวอย่างปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรมาหาค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) และนำตัวอย่างปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรมา 1 มิลลิลิตร ผสมด้วย H_2SO_4 ปริมาตร 4 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง แล้วนำไปย่อย (digestion) ที่อุณหภูมิ 350 $^{\circ}$C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที นำตัวอย่างที่ย่อยแล้วมาปรับปริมาตรให้ได้เป็น 50 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดพลาสติกไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ทั้งหมด และนำตัวอย่างปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรมา 1 มิลลิลิตร มาย่อยด้วย mix acid ระหว่าง $HClO_4$ 1 ส่วน กับ HNO_3 2 ส่วน ใช้ปริมาตร 1 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง แล้วนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ย่อยแล้วมาปรับปริมาตรให้ได้เป็น 50 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดพลาสติกไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ทั้งหมด (AOAC, 1980)

3.2 **ข้อมูลทางด้านดิน**

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน (physical properties of soil) และสมบัติทางเคมีของดิน (chemical properties of soil) เก็บตัวอย่างดินเป็น 2 ระยะ คือ ก่อนปลูก และ หลังเก็บเกี่ยว ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร โดยในระยะก่อนปลูก เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงปลูก จำนวน 5 ตัวอย่าง ต่อ 1 ซ้ำ แล้วนำมารวมกันเพื่อสุ่มให้ได้ 2 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ ส่วนระยะหลังเก็บเกี่ยว เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงปลูกในแต่ละทรีตเมนต์ ซึ่งมี 5 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ

20 ตัวอย่าง (ตัวอย่างละ 500 กรัม) ต่อ 1 ซ้ำ แล้วนำมารวมกันเพื่อสุ่มให้ได้ 2 ตัวอย่าง (ตัวอย่างละ 1 กก.) ของแต่ละทรีตเมนต์ เป็นตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ ส่งวิเคราะห์ที่งานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง เพื่อหาค่าความเป็นกรด - ด่าง ความเค็ม (EC saturated paste) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) เนื้อดิน (texture) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) แลกเปลี่ยนได้ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ที่สกัดได้ รวมถึงค่า cation exchange capacity (CEC) ของดิน การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542) มีดังนี้

3.2.1 ความเป็นกรด – ด่าง โดยใช้น้ำในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 แล้ววัดค่า pH ของดินด้วยเครื่อง pH meter

3.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ใช้วิธีสกัดด้วยน้ำยา Bray –II วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.2.3 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium, calcium and magnesium) โดยสกัดด้วย 1 N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

3.2.4 อินทรียวัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkly and Black (1934)

3.2.5 ปริมาณทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (exchangeable copper, iron, manganese and zinc) โดยสกัดด้วย DTPA แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

3.2.6 ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated water extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electrical conductivity meter

3.2.7 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC) โดยชะดินด้วย 1 N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7) และแทนที่ ammonium ด้วย 10% NaCl ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาประจุแอมโมเนียม แล้วหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

3.3 **ข้อมูลทางด้านพืช**

การศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลัง โดยเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูก ข้อมูลที่ศึกษามีดังนี้ คือ

3.3.1 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น วัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ วัดที่ช่วงกลางของลำต้นจำนวน 3 จุด โดยวัดที่ช่วงกลางของลำต้นก่อน แล้ววัดที่จุดเหนือขึ้นไปและใต้ลงมาจากช่วงกลางของลำต้น 10 เซนติเมตร ที่อายุต้น 2, 4, 6 และ 8 เดือนหลังปลูก

3.3.2 ความสูงลำต้น วัดความสูงของต้น ที่อายุต้น 2, 4, 6 และ 8 เดือนหลังปลูก โดยวัดจากพื้นดินถึงปลายยอดสูงสุด

3.3.3 ความกว้างทรงพุ่ม ที่อายุต้น 2, 4, 6 และ 8 เดือนหลังปลูก ทำการวัดจำนวน 3 จุดของทรงพุ่ม โดยเริ่มวัดจากทรงพุ่มด้านหนึ่งไปจนถึงปลายทรงพุ่มอีกด้านหนึ่งก่อน แล้ววัดในแนวตั้งฉากกับการวัดที่จุดแรก และอีกจุดวัดในแนวทแยง

3.3.4 ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index) ที่อายุต้น 3, 6 และ 9 เดือนหลังปลูก โดยการเก็บตัวอย่างใบทั้งหมดทุกใบในหนึ่งต้นยกเว้นส่วนยอด แล้วชั่งน้ำหนักสดก่อนที่จะนำไปหาพื้นที่ใบโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า automatic area meter หลังจากนั้นนำใบทั้งหมดไปอบที่อุณหภูมิ 65 – 75 °C จนน้ำหนักใบคงที่ เพื่อหามวลแห้ง

3.3.5 ความเขียวของใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลัง วัดความเขียวของใบมันสำปะหลังเมื่อต้นมันอายุได้ 2, 4, 6 และ 8 เดือน การวัดแต่ละครั้งใช้วิธีสุ่ม 3 ใบ ได้แก่ ใบตำ- แหน่งที่ 6 ,7 และ 8 โดยเริ่มนับตำแหน่งจากใบที่เริ่มคลี่เป็นใบที่ 1 และใช้ใบกลางเป็นตัวแทน วัดโดยใช้ chlorophyll meter (SPAD-502) จากนั้นสกัดหาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ โดยเจาะตัวอย่างใบบริเวณที่วัดความเขียวใบด้วย cork borer จนได้แผ่นวงกลมขนาด 0.64 ตาราง

เซนติเมตร ใส่ในขวดแก้วทึบที่เติมสาร N,N – dimethylformamide (DMF) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 °C คลอโรฟิลล์จะถูกสกัดออกจากใบทั้งหมด (แผ่นใบจะมีสีขาวซีด ไม่มีสีเขียวเหลืออยู่) นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664 nm และ 647 nm นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg dm^{-2}) ตามสมการ (Moran, 1982; พรชัย , 2550)

$$Chl_a = (-2.99\, A_{647} + 12.64 A_{664}) \times Vol / (X \times Area \times 100)$$

$$Chl_b = (23.26\, A_{647} - 5.60 A_{664}) \times Vol / (X \times Area \times 100)$$

$$Chl_{total} = (20.27\, A_{647} + 7.04 A_{664}) \times Vol / (X \times Area \times 100)$$

เมื่อ Chl_a ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (g m^{-2})

Chl_b ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (g m^{-2})

Chl_{total} ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (g m^{-2})

A_{647} ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร

A_{664} ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร

Vol ปริมาตรของสาร DMF ที่ใช้สกัด (mL)

X สัดส่วนการเจือจาง (เท่ากับปริมาณสารละลายเริ่มต้นหารด้วยปริมาตรสารละลายเจือจาง ใช้เมื่อสารละลายสกัดครั้งแรกมีความเข้มข้นสูงเกินไปจนค่าการดูดกลืนแสงอ่านค่าเกิน 0.8)

Area พื้นที่แผ่นใบที่ใช้สกัด (cm^{-2})

100 คูณกับพื้นที่ใบเพื่อปรับหน่วยจาก g cm^{-2} เป็น g m^{-2}

3.3.6 ปริมาณธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6 และ 10 เดือนหลังปลูก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างใบมันสำปะหลัง ในแต่ละทรีตเมนต์ จำนวน 8 ต้น ต่อ 1 ซ้ำ ในแต่ละต้น เก็บใบตำแหน่งที่ 4 และ 5 (Hillock *et al.*, 2002) นำตัวอย่างใบมันสำปะหลังทั้งหมดมาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นปริมาณมาก นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 – 80 °C จนน้ำหนักของใบมันสำปะหลังคงที่ จากนั้นบดตัวอย่างให้ละเอียดจนสามารถลอดผ่านรูตะแกรงขนาด 40 mesh หาปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และ โบรอน (B) ในตัวอย่างต้นมันสำปะหลังบด และคำนวนหาปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดที่มีในใบมันสำปะหลัง (AOAC, 1980)

3.3.7 ปริมาณธาตุอาหารในหัว ลำต้น และใบรวมทั้งต้นมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างหัวมันสำปะหลังสด (ตัดส่วนหัวและท้ายออก) ในแต่ละทรีตเมนต์ จำนวน 1 กิโลกรัม ต่อ 1 ซ้ำ ใส่ถุงตาข่าย เพื่อหาปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และ โบรอน (B) ในเนื้อเยื่อหัว

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในส่วนต่างๆของมันสำปะหลัง โดยวิธีของ (AOAC, 1980)

3.3.7.1 ย่อยสลายตัวอย่างแบบ wet oxidation

3.3.7.2 ความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมด ย่อยตัวอย่างใบ ลำต้น หัวแห้ง ด้วย H_2SO_4-Na_2SO_4-Se โดยใช้ชุดย่อยสลายตัวอย่าง (digestion apparatus) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายดังกล่าว ไปกลั่นหาไนโตรเจนตามวิธีของ Kjeldahl (Bremner and Tabatabai, 1972)

3.3.7.3 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ย่อยตัวอย่างใบ ลำต้น หัวแห้ง ด้วย H_2SO_4-Na_2SO_4-Se โดยใช้ชุดย่อยสลายตัวอย่าง (digestion apparatus) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสีที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.3.7.4 ความเข้มข้นของโพแทสเซียม ย่อยตัวอย่างใบด้วย H_2SO_4-Na_2SO_4-Se โดยใช้ชุดย่อยสลายตัวอย่าง (digestion apparatus) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นด้วย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

3.3.7.5 ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี โดยย่อยตัวอย่างส่วนต่างๆของมันสำปะหลังด้วย HNO_3:$HClO_4$ acid mixture แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

3.3.8 จำนวนหัวมันสำปะหลัง โดยนับจำนวนหัว ทั้งหมด ในแต่ละทรีตเมนต์

3.3.9 น้ำหนักสดใบ ลำต้น เหง้า และหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว โดยสุ่มเก็บตัวอย่างต้นมันสำปะหลังในแต่ละทรีตเมนต์ จำนวน 8 ต้น ต่อ 1 ซ้ำ (เป็นต้นเดียวกับที่นำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในต้นมันสำปะหลัง)

3.3.10 น้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น เหง้า และหัว ที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก วัดโดยนำใบ ลำต้น เหง้า และหัวมันสำปะหลัง ในแต่ละทรีตเมนต์ มาชั่งหาน้ำหนักสดทั้งหมด แล้วสุ่มตัวอย่างใบจำนวน 500 กรัม ตัวอย่างลำต้นจำนวน 1,000 กรัม รวมกับตัวอย่างเหง้าที่เก็บมา และตัวอย่างหัวจำนวน 1,000 กรัม สับตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลง ใส่ถุงกระดาษนำไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสด

3.3.11 ปริมาณธาตุหลักสะสมในใบ หัวและต้น (กก.ธาตุ/ไร่) และการเปรียบเทียบปริมาณธาตุหลักที่ได้จากปุ๋ยกับปริมาณธาตุหลักที่สะสมในใบ หัว และต้นมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว โดยนำค่าน้ำหนักสดของใบ ลำต้นและหัวมันสำปะหลังในข้อ 3.3.9 และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดในข้อ 3.3.10 มาคำนวณเพื่อหาค่าน้ำหนักแห้งต่อต้น เนื่องจากระยะปลูกมีขนาด 1 X 1 ตารางเมตร ดังนั้นจึงนำค่าของน้ำหนักแห้งต่อต้นคูณด้วย 1,600 จะได้น้ำหนักแห้งของอวัยวะพืชนั้นคิดเป็นหน่วย กก./ ไร่ จากนั้นนำค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในส่วนต่างๆของพืชในข้อ 3.3.7 จะได้ปริมาณธาตุหลักที่สะสมในใบ หัวและลำต้น (กก.ธาตุ/ไร่)

3.3.12 ผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสด ที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก โดยเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังทั้งหมดในแปลงทดลอง และชั่งนำหนักหัวมันสำปะหลังสดทั้งหมด สุ่มหัวมันสำปะหลังสดมา 5 กิโลกรัม ในแต่ละตำรับทดลองเพื่อวัดปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณแป้ง (Reiman scale)

3.4 **ข้อมูลทางด้านสภาพอากาศ**

อุณหภูมิในรอบวัน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงแดด วัดจากเครื่องวัดสภาพอากาศ Watchdog datalogger Model 450 ในส่วนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน อาศัยข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจอากาศ อ. อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและตรวจสอบความแตกต่างโดยหาค่า analysis of variance หากค่า F-value ของข้อมูลชุดใด แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95 หรือ 99 เปอร์เซ็นต์ ก็นำไปตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับ .05 และ .01 ในขณะเดียวกันข้อมูลที่มีลักษณะบ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนั้นกับข้อมูลลักษณะอื่น ๆ จะนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยวิธีของ correlation analysis ด้วยโปรแกรม SAS (SAS, 2003)

5. สถานที่ทำการวิเคราะห์ดินและพืช

งานทดลองดินปุ๋ยและการประยุกต์ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ห้องปฏิบัติการวิจัย ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ ฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ห้องปฏิบัติการวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ห้องปฏิบัติการวิจัย สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

6. สถานที่ทำการทดลอง

แปลงปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร ณ ตำบลหนองโอ่ง อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

7. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เริ่มตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

การศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบแก่ต้นมันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 เมื่อปลูกมันสำปะหลังวันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2550 และเก็บเกี่ยวที่อายุต้น 10 เดือนหลังปลูกในวันที่ 23-24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 มีรายละเอียดผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร

ผลการวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร ได้เก็บตัวอย่างน้ำสกัดมูลสุกรในวันที่พ่น (ก่อนเจือจาง) ความเข้มข้น 1:10 (มูลสุกรแห้ง 1 ก.ก. ต่อน้ำ 10 ลิตร) เป็นจำนวน 5 ครั้ง

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีและความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำสกัดมูลสุกร

สมบัติทางเคมี	อัตราส่วนมูล : น้ำ (1: 10)
pH	6.8 -7.2
EC (ms/cm)	9.65 – 10.20
ไนโตรเจน (N, %)	0.05 – 0.14
ฟอสฟอรัส (P, %)	0.02 – 0.03
โพแทสเซียม (K, %)	0.12 – 0.18
แคลเซียม (Ca, มก./กก.)	38.25 – 268.81
แมกนีเซียม (Mg, มก./กก.)	48.53 – 226.29
กำมะถัน (S)	Trace
เหล็ก (Fe, มก./กก.)	0.51 – 2.66
ทองแดง (Cu, มก./กก.)	5.46 – 29.42
แมงกานีส (Mn, มก./กก.)	0.08 – 5.06
สังกะสี (Zn, มก./กก.)	0.18 – 0.79

โดยวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ผลจากการศึกษา พบว่า น้ำสกัดมูลสุกรก่อนเจือจางมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง กล่าวคือมีค่าอยู่ระหว่าง 6.8 – 7.2 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุครบทุกธาตุ ยกเว้นธาตุกำมะถัน เนื่องจากการละลายของธาตุอาหารจากมูลสุกรในระหว่างการหมักในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน ดังนั้นค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละตัวจึงมีค่าค่อนข้างกว้าง คามินทร์ (2551) รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกรมีความผันแปรระหว่างฟาร์มสุกรแต่ละฟาร์ม รวมทั้งมีความผันแปรตามปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรด้วย ในขณะที่ อุทัยวรรณ (2551) รายงานว่า ธาตุอาหารแต่ละชนิดในมูลสุกรมีความสามารถในการละลายได้ในน้ำสกัดมูลสุกรไม่เท่ากัน อีกทั้งการหมักแต่ละครั้งก็มีการละลายได้แตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามการทดลองในครั้งนี้เลือกใช้แหล่งมูลสุกรแห้งที่มาจากฟาร์มเดียวกันตลอดการทดลอง จึงน่าจะช่วยลดความผันแปรของความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำสกัดมูลสุกรไปได้ในระดับหนึ่ง

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน

2.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 6 pH ของดินและค่าการนำไฟฟ้าขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในดินของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ทรีตเมนต์	pH (1:1)		EC(sat) (dS/m)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ไม่ใส่ปุ๋ย	7.6	7.2	0.4	0.3
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	7.7	7.3	0.4	0.3
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	7.7	7.5	0.4	0.3
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	7.6	7.4	0.4	0.3
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบและดิน	7.6	7.2	0.5	0.3

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังของการศึกษาครั้งนี้ที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตร ก่อนทำการปลูก ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 - 9 ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าปฏิกิริยาดินก่อนปลูกจัดว่ามีเป็นด่างอย่างเล็กน้อย pH 7.5 – 7.7 ภายหลังเก็บเกี่ยวพบว่าดินมีค่า pH ที่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (7.2 – 7.5) กล่าวคือมีค่าความเป็นกลาง เมื่อพิจารณาตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มเพิ่มจาก 1.77 – 1.83 % เมื่อก่อนปลูกเป็น 1.83 – 1.97 % หลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากในระหว่างที่มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตจนเข้าสู่ระยะแก่นั้น ใบมันสำปะหลังมีการร่วงหล่นลงบนพื้นดิน นอกจากนี้ในดินยังมีรากและเศษวัชพืชที่เน่าเปื่อยต่างๆ ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซนี้ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ H_2CO_3 จึงเพิ่มไฮโดรเจนไอออน (H^+) ขึ้นในสารละลายดิน ในขณะเดียวกันการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินโดยกลุ่มจุลินทรีย์ยังปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาด้วยซึ่งเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ pH ลดลง (Havlin, *et al*., 2005) อย่างไรก็ตามสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ pH ของดินลดลง คือ การที่รากพืชดูด cation ไปใช้มากกว่า anion ทั้งนี้พิจารณาจากค่าการวิเคราะห์พืชด้วย ค่าการนำไฟฟ้าของดินขณะอิ่มตัวก่อน

ตารางที่ 7 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับทดลองก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ทรีตเมนต์	OM (%)		Avail P (mg/kg)*		Exchangeable K (mg/kg)**	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.83	1.93	11.44	8.12	133.95	107.49
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	1.81	1.86	13.43	10.18	158.92	117.81
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	1.77	1.83	16.56	9.91	224.15	155.06
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	1.83	1.87	10.53	7.97	171.41	141.79
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบและดิน	1.79	1.97	11.62	7.51	144.43	102.94

*สกัดด้วยน้ำยา Bray No. 2 ** สกัดด้วย NH_4OAc

ปลูกมีค่าระหว่าง 0.41 – 0.51 dS/m และภายหลังจากเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มต่ำลงอยู่ที่ประมาณ 0.3 – 0.33 dS/m ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าก่อนและหลังการทดลองไม่จัดเป็นดินเค็มเนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าที่ดินขณะอิ่มตัวอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำลงอาจเนื่องมาจากดินได้รับน้ำฝนในเดือนที่ 6 มาก ทั้งนี้จากการพิจารณาค่าของแรงดึงน้ำในดินหรือพลังงานกำกับก้อนดินมีค่าสูงในระดับความลึกที่ 35 เซนติเมตร (ภาคผนวก ข1 – ข4) ซึ่งอาจทำให้มีการชะเกลือในบริเวณหน้าดินลงไป การที่ฝนตก อย่างต่อเนื่องเหมือนเป็นการให้น้ำแก่ดิน ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินลดลงได้ (Halvin *et al.*, 2005) การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และการให้น้ำสกัดมูลสุกรทั้งทางใบและทางดินไม่ทำให้การนำไฟฟ้าของดินแตกต่างจากแปลงควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำสกัดมูลสุกรเมื่อนำมาเจือจางแล้วถือว่ามีความเข้มข้นน้อยมาก ซึ่งไม่มีผลทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนทดลองมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.77 – 1.83 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ทรีตเมนต์หลังเก็บเกี่ยวกล่าวคือมีค่าร้อยละ 1.83 – 1.97 ถือว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวอยู่ในระดับปานกลาง (ยงยุทธ, 2547) ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า ปริมาณอินทรียวัตถุที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากในระหว่างที่มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโต

ตารางที่ 8 ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca and Mg) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; CEC) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับทดลองก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ทรีตเมนต์	Exchangegable (mg/kg)*				CEC (cmol/kg)	
	Ca		Mg			
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ไม่ใส่ปุ๋ย	3,855.28	3,621.98	174.10	156.42	18.24	18.38
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	4,030.58	3,318.14	167.91	146.11	16.77	16.43
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	4,335.98	3,582.77	183.85	157.40	17.59	17.58
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	3,497.60	3,257.54	182.01	158.86	17.42	17.58
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบและดิน	3,443.98	3,280.79	172.45	142.15	16.93	18.06

* สกัดด้วย NH_4OAc

จนเข้าสู่ระยะแก่นั้น ใบมันสำปะหลังมีการร่วงหล่นลงบนพื้นดิน นอกจากนี้ในดินยังมีรากและเศษวัชพืชที่เน่าเปื่อยต่างๆ ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกมีค่าอยู่ระหว่าง 10.53 – 13.45 มก./กก. จัดว่ามีปริมาณปานกลาง แต่เมื่อวิเคราะห์หลังเก็บเกี่ยวพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มลดลงอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ กล่าวคือมีค่าอยู่ระหว่าง 7.51 – 10.18 มก./กก. (ยงยุทธ, 2547) เนื่องจากพืชมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเข้าไปในช่วงแรกที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินลดลงในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว อนึ่งในดินมีระดับของแคลเซียมค่อนข้างสูงถึงสูงมาก อาจทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ถูกตรึงด้วยธาตุแคลเซียมทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับพืชมีค่าน้อยลง เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นด่างเล็กน้อย ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกมีค่าอยู่ระหว่าง 133.95 - 224.145 มก./กก. จัดว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในเกณฑ์สูงมาก (ยงยุทธ, 2547) หากแต่เมื่อหลังเก็บเกี่ยวปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลงแต่ก็ยังจัดว่าอยู่ในเกณฑ์สูง กล่าวคือมีค่าอยู่ประมาณ 102.94 – 155.06 มก./กก. เหตุที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมันสำปะหลังจัดเป็นธาตุที่มีการดูดธาตุโพแทสเซียมติดไปกับผลผลิตหรือหัวมันสำปะหลังมากกว่าพืชไร่ชนิดอื่น (Howeler, 1991) และหากไม่มีการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมจะทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง (Hillock *et al.,* 2002)

ส่วนแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกมีค่าอยู่ระหว่าง 3,443.98 - 4,335.98 มก./กก. จัดว่ามีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในเกณฑ์สูงถึงสูงมาก และหลังจากเก็บเกี่ยวปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลงอยู่ที่ระดับ 3,257.54 – 3,621.98 มก./กก. ซึ่งยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์สูงแต่ไม่สูงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) สำหรับปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเป็นได้ในดินก่อนปลูกมีค่าอยู่ระหว่าง 167.91 – 183.85 มก./กก. จัดว่ามีปริมาณแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง และหลังเก็บเกี่ยวปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลงแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง กล่าวคือ อยู่ที่ประมาณ 142.15 – 158.86 มก./กก. สาเหตุที่ดินมีธาตุแคลเซียมและโพแทสเซียมในดินมาก และแมกนีเซียมอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากเนื้อดินจัดเป็นดินร่วน (loam) ซึ่งมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ในระดับหนึ่ง การที่ระดับของปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลงอาจเนื่องจาก 1) มีการดูดใช้โดยพืช ทั้งนี้พิจารณาตารางที่ 24 และ 25 ที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชโดยเฉพาะเนื้อเยื่อใบ ดัชนีมีค่าสูงขึ้นกว่าช่วงแรกๆ ของการเจริญเติบโตมาก 2) ในฤดูฝนที่มีฝนตกหนักอาจมีการชะไปกับน้ำหากพื้นที่มีความลาดชัน

3) ถูกดูดไว้กับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก แม้ค่า CEC จะไม่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากก่อนปลูกก็ตาม 4) ถูกดูดซับไว้กับสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดิน (Havlin *et al*., 2005) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าลดลงอาจทำให้ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลง

ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกมีค่าอยู่ระหว่าง 7.41 – 9.1 มก./กก. จัดว่าเป็นดินที่มีค่าปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Jones, 2001) หากแต่ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้หลังเก็บเกี่ยวในทุกทรีตเมนต์ยกเว้นทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยจากก่อนปลูก ปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 0.74 – 1.03 มก./กก. ถือว่ามีค่าปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง และภายหลังจากเก็บเกี่ยวปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 0.91 – 1.00 มก./กก. ถือว่ามีค่าปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง (Jones, 2001) และมีแนวโน้มไม่แตกต่างจากก่อนปลูกมากนัก ส่วนปริมาณแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 16.75 – 20.51 มก./กก. จัดเป็นดินที่มีค่าปริมาณแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนในดินได้อยู่ใน

ตารางที่ 9 ปริมาณเหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Fe, Cu, Mn and Zn) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับทดลองก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ทรีตเมนต์	Exchangeable (mg/kg)*							
	Fe		Cu		Mn		Zn	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ไม่ใส่ปุ๋ย	9.05	9.34	1.03	0.94	20.51	33.34	0.37	0.42
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	7.41	9.17	0.79	0.91	16.75	33.02	0.31	0.43
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	7.75	8.88	0.96	0.95	19.43	30.86	0.36	0.43
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	9.10	8.85	0.93	0.94	20.38	30.87	0.39	0.50
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบและดิน	8.24	9.06	0.74	1.00	19.28	27.51	0.28	0.43

* สกัดด้วย DTPA

เกณฑ์สูง เมื่อภายหลังเก็บเกี่ยวปริมาณแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าก่อนปลูกและจัดอยู่ในเกณฑ์สูงมาก เนื่องจากคีเลตที่เป็นอินทรีย์ในดินที่มาจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ รวมถึงส่วนเหลือของเศษพืชและสารที่รากหลั่งออกมานั้นสามารถเกิดโลหะเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยแคทไอออนของจุลธาตุ ด้วยเหตุนี้ปริมาณแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจึงมีความสามารถละลายและเคลื่อนที่ได้ (Barker and Pilbeam, 2007) และปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนในดินได้ก่อนปลูกอยู่ระหว่าง 0.28 – 0.39 มก./กก. จัดว่ามีค่าของปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก ภายหลังการเก็บเกี่ยวมีค่าปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนในดินได้อยู่ระหว่าง 0.42 – 0.50 มก./กก. ยังจัดว่ามีค่าของปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก (Jones, 2001) หากแต่ปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้หลังเก็บเกี่ยวนี้มีแนวโน้มสูงกว่าก่อนปลูกเล็กน้อย

ปริมาณเหล็ก สังกะสีและแมงกานีส ยกเว้นทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากก่อนปลูกเพียงเล็กน้อยเนื่องจากค่าความเป็นกรด – ด่างของดินมีค่าลดลงจากก่อนปลูก (Barker and Pilbeam, 2007) (Havlin *et al.*, 2005) ค่าความเป็นกรด - ด่างของดินในแปลงทดลองยังจัดเป็นดินด่างอย่างอ่อนทำให้ปริมาณเหล็กและสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ นอกจากนี้ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ และทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มให้ค่าของปริมาณจุลธาตุชนิดต่างๆที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากขึ้นกว่าดินในทรีตเมนต์อื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งของจุลธาตุต่างๆ นั่นเอง

2.2 สมบัติทางฟิสิกส์ของดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

2.2.1 เนื้อดิน (soil texture)

เนื้อดินมีทราย (sand) ร้อยละ 31.6 ดินเหนียว (clay) ร้อยละ 22.58 และ ทรายแป้ง (silt) ร้อยละ 45.82 จำแนกเป็นเนื้อดินร่วน (loam)

2.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งของดินในรูปของค่าพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ในแปลง ณ ความลึกของดินที่ 45 เซนติเมตรหลังการเก็บเกี่ยว

ผลการศึกษาความแข็งของดินในแปลงทดลองของการทดลองครั้งนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 10 พบว่า ค่าพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ในแปลงแต่ละทรีตเมนต์ไม่เท่ากัน แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นในแปลงของทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบมีค่าของพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด กล่าวคือมีความแข็งของดินมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ในแปลงของทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดิน ในแปลงของทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ทรีตเมนต์ที่มีการไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งค่าเฉลี่ยของพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ของแปลงที่มีการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบและในแปลงของทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีนั้นมีค่ามากกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยถึงร้อยละ 39.06 และ 33.91 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่าพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ในแปลง ณ ความลึกของดินที่ระยะ 45 เซนติเมตรหลังการเก็บเกี่ยว

ทรีตเมนต์	ค่าพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ในแปลง (MJ/m^2)
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.35
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	1.80
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	1.87
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	1.31
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	1.59
P - value	ns
CV (%)	36.43

3. ศึกษาการเจริญเติบโตในด้านต่างๆ ได้แก่ การวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงโดยเฉลี่ยของต้นมันสำปะหลัง, ความกว้างทรงพุ่ม ของมันสำปะหลังที่อายุ 2 ,4 , 6 และ 8 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

เมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้น ต้นมันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตในด้านการพัฒนาเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากขึ้น เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุ 8 เดือน ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของทุก ทรีตเมนต์อยู่ระหว่าง 2.18 - 2.45 เซนติเมตร (ตารางที่ 11) ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียวจะให้ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด กล่าวคือ มีค่า 2.45 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน ทรีตเมนต์ที่มีการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเท่ากับ 2.41, 2.37, 2.23 และ 2.18 เซนติเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ

ตารางที่ 11 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมันสำปะหลัง (เซนติเมตร) อายุ 2, 4 , 6 และ 8 เดือน ในแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ซม.)			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.06	2.02	2.07	2.37
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	1.05	1.98	2.08	2.23
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	1.08	1.93	1.95	2.18
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	1.11	2.04	2.11	2.45
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบและดิน	1.05	2.06	2.18	2.41
P- value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	17.58	9.85	12.07	9.49

มันสำปะหลังที่ทำการวัดค่าแต่ละเดือนตั้งแต่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนนั้นผลปรากฏว่าในแต่ละเดือนอิทธิพลของทรีตเมนต์นั้นไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)

ความสูงของต้นมันสำปะหลัง

เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุมากขึ้น ต้นมันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงของลำต้นมากขึ้น จนในที่สุด เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุ 8 เดือน ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นมันสำปะหลังทุกทรีตเมนต์อยู่ระหว่าง 293.38 -321.37 เซนติเมตร (ตารางที่ 12) ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 321.37 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน ทรีตเมนต์ที่มีการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ มีค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นเท่ากับ 312.95 , 298.93 และ 293.38 เซนติเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยความสูงของต้นมันสำปะหลังที่ทำการวัดค่าแต่ละเดือนตั้งแต่อายุ 2 , 4 ,6 และ 8 เดือนนั้นผลปรากฏว่าในแต่ละเดือน อิทธิพลของทรีตเมนต์นั้นไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 12 ความสูงของต้นมันสำปะหลัง (เซนติเมตร) ที่อายุ 2, 4 , 6 และ 8 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	ความสูงของต้นมันสำปะหลัง (ซม)			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	49.83	166.88	248.43	312.95
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	48.13	166.50	243.25	298.93
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	49.00	162.25	237.33	293.38
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	49.45	170.50	263.45	321.37
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	48.25	165.88	256.65	317.48
P- value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	15.60	13.75	12.59	13.72

ความกว้างทรงพุ่มของต้นมันสำปะหลัง

เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุมากขึ้น ต้นมันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตในด้านการพัฒนาความกว้างของทรงพุ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึง 6 เดือนมีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด คือมีค่าอยู่ระหว่าง

184.08 – 202.75 ซม. แต่ภายหลังจากที่มันสำปะหลังอายุ 6 เดือนไปแล้ว ความกว้างทรงพุ่มมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 13) อาจเนื่องมากจาก ใบของมันสำปะหลังเข้าสู่ระยะแก่ (senescence) โดยสังเกตจากที่ใบล่างของมันสำปะหลังเริ่มมีการหลุดร่วงไปก่อนจะเข้าสู่ระยะที่มันสำปะหลังอายุ 8 เดือนหลังปลูกพบว่ามีจำนวนใบบนเหลืออยู่เพียงแค่ 40 เปอร์เซนต์จากระยะความสูงของต้นมันสำปะหลัง ฉะนั้นความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลังในเดือนที่ 8 นี้จึงมีค่าต่ำกว่าเดือนที่ 6 ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มโดยเฉลี่ยของทุกทรีตเมนต์ในเดือนที่ 8 นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 189.43 - 193.63 เซนติเมตร ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 193.63 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว ทรีตเมนต์ที่มีการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ และทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ย 21-10-10 ทางดินที่ให้ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มเท่ากับ 189.43, 187.78 , 176.55 และ 174.90 เซนติเมตรตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยความสูงของต้นมันสำปะหลังที่ทำการวัดค่าแต่ละเดือนตั้งแต่อายุ 2 , 4 ,6 และ 8 เดือนนั้นผลปรากฏว่าในแต่ละเดือน อิทธิพลของทรีตเมนต์นั้นไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 13 ความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลัง (เซนติเมตร) อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	ความกว้างทรงพุ่ม (ซม.)			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	97.15	159.63	202.75	189.43
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	89.65	156.50	190.80	174.90
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	98.63	157.95	184.08	176.55
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	97.43	157.13	197.88	187.78
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	97.93	161.38	200.65	193.63
P – value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	18.08	10.39	8.98	10.17

การเติบโตของมันสำปะหลังในด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น ความสูงของลำต้น และความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลังในทรีตเมนต์ต่างๆไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ นั้นอาจเนื่องจากความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากในช่วงก่อนปลูกนั้น ท่อนพันธุ์นำมาจากที่เดียวกัน และอายุท่อนพันธุ์อยู่ที่ 8 เดือนเท่ากัน นอกจากนี้ก่อนทำการปลูกผู้ทดลองได้ทำการคัดเลือกท่อนพันธุ์ให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด กล่าวคือไม่อ่อนและไม่แก่จนเกินไป ดังนั้นความแปรผันในเรื่องการเติบโตด้านต่างๆ จึงไม่แตกต่างกันมากนัก

การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบไม่ได้มีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงและความกว้างทรงพุ่มที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน สูงกว่าที่ไม่มีการพ่น สอดคล้องกับการทดลองของจักรพันธ์ (2549) ที่ทำการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบความเข้มข้น 2:10 แก่ต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในดินทรายกรด แล้วพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้น และความกว้างทรงพุ่มเมื่อมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงอายุได้ 2, 4, 6 และ 8 เดือนนั้นไม่แตกต่างจากที่ไม่ให้ปุ๋ย

อย่างไรก็ตามแม้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน หรือการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบมีแนวโน้มให้ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงของลำต้นและความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลังที่ระยะ 8 เดือนมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ เนื่องจากการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเปรียบเสมือนเป็นการให้น้ำแก่ต้นมันสำปะหลังในทุกเดือนในรูปสารละลายธาตุอาหารทำให้การเจริญเติบโตในด้านต่างๆ และความแข็งแรงของลำต้นมากขึ้น

4. ศึกษาหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมของใบมันสำปะหลังอายุที่ 2 , 4 , 6 และ 8 เดือน

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุมากขึ้นคืออายุ 2 , 4 และ 6 เดือน ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบของทุกทรีตเมนต์มีความผันแปร (ตารางที่ 14, 15 และ 16) โดยในช่วงอายุมันสำปะหลัง 2 เดือนนั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบมีค่าสูงที่สุดและเมื่อมันสำปะหลังเข้าสู่เดือนที่ 4 , 6 และ 8 เดือน ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบมีแนวโน้มลดลงจากเดือนที่ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากใบเข้าสู่ระยะแก่ (senescence) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงตั้งแต่เดือนที่ 4 กระทั่งถึงเดือนที่ 8 โดยค่าเฉลี่ยของโดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบมันสำปะหลังอายุ 2 , 6 และ 8 เดือนทุกทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 4 เดือน ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในแต่ละทรีต

เมนต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยพบว่า ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกันการรดทางดิน ให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุดเท่ากับ 0.29, 0.15 และ 0.44 gm^{-2} ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบมันสำปะหลังอายุ 8 เดือนทุกทรีตเมนต์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.23 – 0.25 $g\ m^{-2}$ ปริมาณคลอโรฟิลล์บีมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.13 – 0.14 $g\ m^{-2}$ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.35 – 0.39 $g\ m^{-2}$ จากตารางที่ 14 ถึง 16 นั่นคือทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกันการพ่นทางใบนั้นให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบที่สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 ทางดิน

ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกับทางดินให้ค่าของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมมากกว่าทรีตเมนต์อื่น รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกร

ตารางที่ 14 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบ ($g\ m^{-2}$) มันสำปะหลังอายุ 2, 4 , 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ

ทรีตเมนต์	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ($g\ m^{-2}$)			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.33	0.24 ^{b}	0.25	0.24
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	0.34	0.26 ^{ab}	0.26	0.25
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.30	0.24 ^{b}	0.26	0.23
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.33	0.25 ^{b}	0.26	0.23
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	0.36	0.29 ^{a}	0.27	0.25
P – value	ns	*	ns	ns
CV (%)	7.51	8.79	4.61	6.28

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ทางดินเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 4 เดือน เนื่องจากการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเป็นการให้ธาตุอาหารในรูปของสารละลายที่มีธาตุอาหารทั้งธาตุอาหารหลัก รองและจุลธาตุ ซึ่งมีธาตุต่างๆเหล่านี้ล้วนมีความสำคัญต่อการสร้างคลอโรฟิลล์เช่น ธาตุไนโตรเจน (N) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) มากกว่าทรีตเมนต์อื่น (Barker and Pilbeam, 2008) การเข้าสู่ระยะแก่ หรือ senescence นั้นมีผลมาจากการถดถอยของกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่หลักบางชนิดเช่น คลอโรฟิลล์นั้นลดลง (Baghour *et al*., 2000) (Fu and Huang, 2003) เมื่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงลดลงนั้นมีผลต่อการลดลงของคลอโรฟิลล์ (Enanayake *et al*., 1998) ดังนั้นการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบอาจเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถชะลอการลดลงของคลอโรฟิลล์ได้อีก

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

ตารางที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบ ($g\ m^{-2}$) มันสำปะหลังอายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ

ทรีตเมนต์	ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ในใบ ($g\ m^{-2}$)			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.16	0.11 ^{b}	0.14	0.13
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	0.17	0.12 ^{b}	0.14	0.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.15	0.12 ^{b}	0.14	0.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.16	0.13 ^{b}	0.14	0.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	0.17	0.15 ^{a}	0.14	0.14
P – value	ns	**	ns	ns
CV (%)	7.58	8.73	5.60	7.84

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

ตารางที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ (g m^{-2}) มันสำปะหลังอายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ ต่างๆ

ทรีตเมนต์	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ (g/m^2)			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.49	0.34 [b]	0.39	0.37
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	0.51	0.38 [b]	0.40	0.38
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.47	0.36 [b]	0.40	0.35
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.49	0.38 [b]	0.39	0.35
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	0.53	0.44 [a]	0.41	0.39
P – value	ns	*	ns	ns
CV (%)	7.11	8.71	4.54	6.77

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

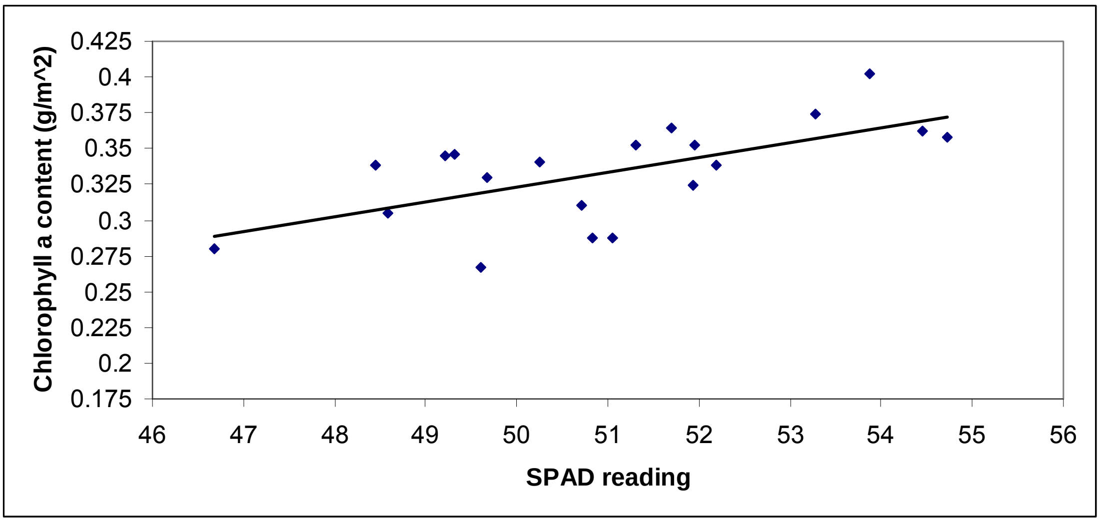
การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียวไม่ได้มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมีความแตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ย สอดคล้องกับการทดลองของ จักรพันธ์ (2549) ที่พบว่าความเขียวของใบ (SPAD reading) ในทรีตเมนต์ที่มีการฉีดสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียวไม่มีค่าแตกต่างจากการไม่ให้ปุ๋ย ทั้งนี้สันนิษฐานว่าโมเลกุลของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอินทรีย์หรือแอมโมเนียมนั้น พืชอาจมีการดูดใช้ได้ช้ากว่าที่ฉีดในรูปอนินทรีย์ เนื่องจากการพ่นปุ๋ยไนโตรเจนทางใบที่อยู่ในรูปแอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) มีผลต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ให้กับหญ้า Bentgrass (Fu and Huang, 2003) นั้นแสดงว่า ปุ๋ยมีการแตกตัวเป็นอนินทรีย์ที่พืชสามารถดูดใช้ได้เลย

ดัชนีความเขียว

ตารางที่ 17 ค่าดัชนีความเขียวของใบดัชนีมันสำปะหลังที่อายุ 2 , 4 , 6 และ 8 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ

ทรีตเมนต์	ดัชนีความเขียว (SPAD Reading)			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	51.57	40.72	43.94	41.82
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	52.00	41.73	45.66	42.69
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	49.45	39.65	46.13	40.81
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	49.63	40.03	45.08	41.15
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	52.29	42.98	45.65	44.73
P – value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3.58	5.51	2.97	4.37

การทดลองในครั้งนี้พบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเขียวที่อ่านได้จากเครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD DL 502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวม เมื่อ r = 0.8592, $P < 0.01$ (ภาพที่ 1) , r = 0.8381 , $P < 0.01$ (ภาพที่ 2) , r = 0.8812, $P < 0.01$ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 1 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอและดัชนีความเขียวจากเครื่อง chlorophyll meter r = 0.8592 , $P < 0.01$

ภาพที่ 2 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีและดัชนีความเขียวจากเครื่อง chlorophyll meter r = 0.8380 , $P < 0.01$

ภาพที่ 3 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและดัชนีความเขียวจากเครื่อง chlorophyll meter r = 0.8812 , P < 0.01

จากภาพที่ 1 ถึง 3 แสดงให้เห็นว่า เครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD DL 502 นั้นสามารถใช้ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ได้จริง ดังเช่นใช้ได้ในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ของพริกไทยหวาน (Madeira and Varennes, 2005) และในพืชกินใบชนิดต่างๆ (Wang *et al.*, 2005)

5. ศึกษาการพัฒนาใบมันสำปะหลัง ได้แก่ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบสด และน้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6 และ 9 เดือน

ผลการศึกษาการพัฒนาใบมันสำปะหลัง ได้แก่ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบสด และ น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังได้แสดงไว้ในตารางที่ 18, 19 และ 20 ผลการศึกษาพบว่า การตอบสนองของมันสำปะหลังในการพัฒนาของน้ำหนักแห้ง น้ำหนักสด รวมถึงพื้นที่ใบ พบว่า เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุมากขึ้นโดยเริ่มวัดที่อายุ 3 และ 6 เดือน ต้นมันสำปะหลังมีน้ำหนักใบสดรวม น้ำหนักใบแห้งรวม และพื้นที่ใบต่อต้นมากขึ้นตามอายุของมันสำปะหลังทุก ทรีตเมนต์ แต่เมื่อมันสำปะหลังอายุเข้าสู่ 9 เดือน พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักใบสดรวม น้ำหนักใบแห้งรวม และค่าดัชนีพื้นที่ใบกลับลดลง ยกเว้นทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 ทางดิน ซึ่งให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงขึ้นกว่าทรีตเมนต์อื่น โดยมีค่าเท่ากับ 4.28 รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน ให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 3.95 นอกจากนี้ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดิน สูตร 21-10-10

มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรวมของใบมันสำปะหลังที่อายุ 9 เดือนนี้ มากกว่าทรีตเมนต์อื่นด้วย ในส่วนของทรีตเมนต์ที่ให้ค่าน้ำหนักใบสดรวมมากที่สุดได้แก่ การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน ทรีตเมนต์ที่ให้ค่าน้ำหนักแห้ง น้ำหนักสด และดัชนีพื้นที่ใบน้อยที่สุดในเดือนที่ 9 นี้คือ ทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง และน้ำหนักสดของแต่ละทรีตเมนต์ในแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ค่าดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง รวมถึงน้ำหนักใบสดในทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกับการให้ทางดินเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 6 เดือนนั้น พบว่ามีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นมาก แม้จะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตามนั้น อาจเนื่องมาจากในทรีตเมนต์มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรในรูปสารละลายธาตุอาหารทั้งธาตุอาหารหลัก รองและจุลธาตุ ดังนั้นจึงทำให้ต้นมันสำปะหลังมีความสามารถในการสังเคราะห์ดี สอดคล้องกับมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมซึ่งเป็นตัวดูดรับพลังงานแสงเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือนนี้มีปริมาณมากกว่าทรีตเมนต์อื่น เมื่อการสังเคราะห์แสงดีเกิดทำให้มีการสร้างมวลแห้งของใบได้มากกว่าทรีตเมนต์อื่น

เมื่อพิจารณาตารางที่ 18, 19 และ 20 นั้นให้ผลที่สอดคล้องกันกล่าวคือมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือนให้ค่าของดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้งและน้ำหนักใบสดมากกว่าเดือนที่ 3 ในทุกทรีตเมนต์ เมื่อมีพื้นที่ใบและน้ำหนักใบมากนั้นสันนิษฐานว่ามีผลทำให้มีชั้นของเมโซฟิลล์ในใบ (mesophyll cell) หนา ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บีและคลอโรฟิลล์รวมในเดือนที่ 6 นี้จึงเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 4 ในระดับหนึ่ง (ตารางที่ 14, 15 และ 16) และเมื่อพิจารณาจากค่าแรงดึงน้ำในดินหรือค่าพลังงานกำกับก้อนดิน (matric potential) (ภาพผนวกข1 – ข4) นั้นพบว่าตรงกับเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นเดือนที่ฝนตกหนักมากทำให้น้ำซึมผ่านไปถึงระดับความลึกของดินที่ 35 เซนติเมตรกล่าวคือมีค่าพลังงานกำกับก้อนดินที่ระดับความลึก 35 เซนติเมตรเท่ากับ 0 kPa กอปรกับสภาพอากาศที่มีความเข้มแสง (PAR) สูงในช่วงเช้าในบางวันถึง 2,500 PPF $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ การได้รับน้ำคืนกลับมีผลทำให้เกิดการขยายตัวของพื้นที่ใบมากอีกครั้ง (Alves *et al*., 2004) (Hillock *et al*., 2002)

เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 9 เดือนทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบมากที่สุด ด้วยเหตุนี้มวลแห้งที่ได้จากการสังเคราะห์แสง กลับนำไปพัฒนาในส่วนเหนือดิน (shoot) มากกว่าส่วนใต้ดิน (root) เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การสะสมมวลชีวภาพในตารางที่ 32

ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI)

ตารางที่ 18 ดัชนีพื้นที่ใบของมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6 และ 9 เดือน

ทรีตเมนต์	ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)		
	3 เดือน	6 เดือน	9 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.72	4.78	3.31
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	1.97	3.79	4.28
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	2.46	4.62	3.11
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	2.26	4.68	3.95
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	2.44	5.20	3.59
P-value	ns	ns	ns
CV (%)	45.22	18.01	27.23

น้ำหนักใบแห้งรวม

ตารางที่ 19 น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังรวม (กรัม) ต่อต้น เมื่ออายุ 3, 6 และ 9 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	น้ำหนักใบแห้ง (กรัม)		
	3 เดือน	6 เดือน	9 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	34.23	115.48	82.40
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	41.15	93.79	91.15
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	56.88	108.24	68.22
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	53.60	116.42	86.72
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	54.63	139.05	88.20
P-value	ns	ns	ns
CV (%)	47.39	22.77	33.29

น้ำหนักใบสดรวม

ตารางที่ 20 น้ำหนักสดของใบมันสำปะหลังรวม (กรัม) ต่อต้น เมื่ออายุ 3, 6 และ 9 เดือนในแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	น้ำหนักใบสด (กรัม)		
	3 เดือน	6 เดือน	9 เดือน
ไม่ใส่ปุ๋ย	150.32	450.00	302.19
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	184.00	346.88	326.88
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	181.88	403.75	261.88
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	191.88	446.88	333.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	229.69	477.50	298.75
P-value	ns	ns	ns
CV (%)	36.38	17.91	28.99

6. การวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังใบที่ 4 และ 5 เมื่ออายุได้ 3 , 6 และ 10 เดือน และความเข้มข้นของธาตุอาหารรวมในใบ ลำต้น และหัวมันสำปะหลังระยะเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือน

ความเข้มข้นของไนโตรเจน (N)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 21 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน จนกระทั่งถึงอายุ 10 เดือน ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนี (ใบที่ 4 และ 5) มีแนวโน้มลดลงทุกทรีตเมนต์ โดยพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 เดือนหลังปลูกจะมีการสะสมไนโตรเจนในใบดัชนีมีค่าอยู่ระหว่าง 5.59 - 6.27 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ แต่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 การสะสมไนโตรเจนกลับลดลง คือ มีค่าเฉลี่ย 4.96 - 5.18 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบและเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือนความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีไม่ต่างจากเดือนที่ 6 คือมีค่าเฉลี่ย 4.89 – 5.15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบโดยทรีตเมนต์ที่มีการสะสมของไนโตรเจนในใบสูงที่สุดในเดือนที่ 3 คือ ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 6.27 เปอร์เซ็นต์ของ

น้ำหนักแห้งใบแต่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สะสมในใบในทรีตเมนต์นี้กลับต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 4.96 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งใบ สำหรับทรีตเมนต์ที่ให้ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สะสมในใบมากที่สุดในเดือนที่ 6 นี้ได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยน้ำสกัดทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ และ ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมี สูตร 21-10-10 ทางดิน กล่าวคือ มีค่าเท่ากันคือ 5.18 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบรองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ ทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีของแต่ละทรีตเมนต์ในทุกๆเดือนนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Howeler (1996) ได้ประเมินความเข้มข้นวิกฤตของไนโตรเจนที่อายุ 3 – 4 เดือน พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีที่ระดับมากกว่า 5.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ถือว่าอยู่ในระดับความเข้มข้นที่สูง สอดคล้องกับ Reuter *et al.,* 1997 ที่กล่าวว่าค่าวิกฤตความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีอยู่ที่ 5.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ จากผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่าเมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้น ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบลดลง สอดคล้องกับ Barker and Pilbeam (2007) ที่กล่าวว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ ลำต้นและรากในระหว่างที่มีการเจริญเติบโตนั้น ในช่วงเริ่มแรกที่มีการเติบโต ความเข้มข้นของไนโตรเจนมีค่าสูงตลอดทั้งต้นจนกระทั่งเมื่อพืชมีการเติบโตเต็มที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในอวัยวะต่างๆของพืชจะลดลงนอกจากนี้ยังไม่ขึ้นกับการให้ไนโตรเจนจากภายนอกในช่วงเริ่มแรก ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ความเข้นข้นของไนโตรเจนในใบในช่วงเริ่มแรกนั้นจะได้ค่าที่มีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตมาก ดังนั้นจึงนำค่าความเข้มข้นวิกฤตนี้มาพิจารณาในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตของพืชชนิดนั้น

หากมีการพิจารณาแบบแบ่งส่วน (partitioning) ของไนโตรเจนที่อายุเก็บเกี่ยว พบว่าธาตุนี้มีการสะสมที่ใบมาก กล่าวคือมีความเข้มข้น 4.21 – 4.49 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ รองลงมาได้แก่ส่วนของลำต้น 0.53 – 0.57 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งลำต้น และมีการสะสมในส่วนของหัวน้อยที่สุด 0.40 – 0.54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งหัว อย่างไรก็ตามการสะสมของธาตุอาหารในแต่ละอวัยวะของพืชในช่วงอายุเก็บเกี่ยวในแต่ละทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เหตุที่พืชมีการแบ่งส่วนของความเข้มข้นในใบมากนั้นเนื่องจากโดยปกติใบมันสำปะหลังถือว่ามีปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างสูง เจริญศักดิ์ (2531) ได้รายงานถึงระดับโปรตีนในใบมันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย 13 สายพันธุ์ พบว่ามีโปรตีนอยู่ในช่วง 21.6 – 25.3 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีน นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ หรือเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง

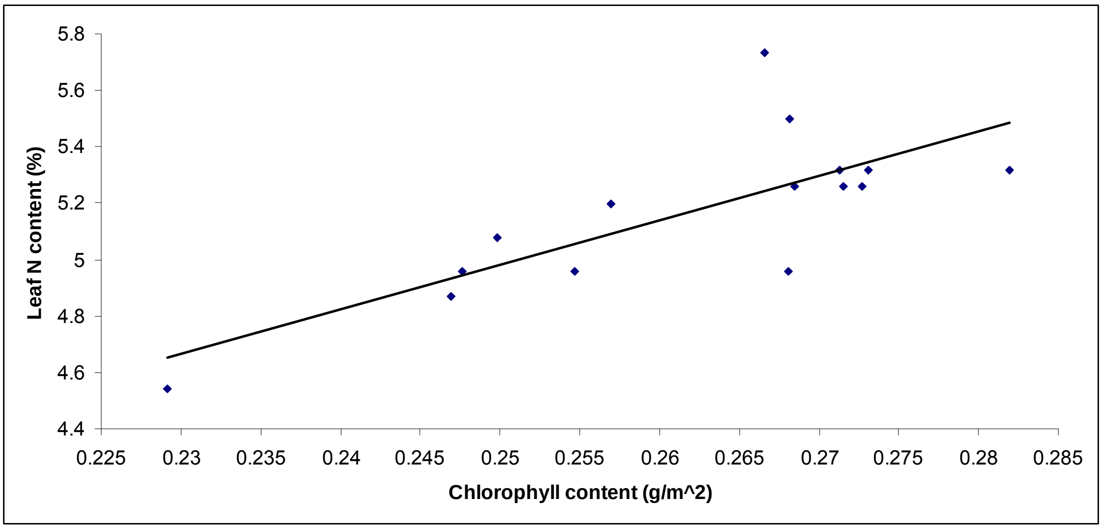
การที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีมีค่าลดลงเมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากมันสำปะหลังเข้าสู่ระยะแก่ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีความสามารถในการดูดรับพลังงานแสงมีประสิทธิภาพที่ลดลงตั้งแต่เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 4 เดือน (ตารางที่ 14, 15 และ 16) สอดคล้องกับการทดลองของ Cruz *et al.* (2003)

นอกจากนี้ไนโตรเจนเป็นธาตุที่สามารถเคลื่อนที่ได้จากใบแก่ไปยังลำต้น ผ่านไปยังใบอ่อน ทำให้ใบล่างมีปริมาณธาตุอาหารลดลง (Barker and Pilbeam, 2007) จึงสังเกตได้ว่า ใบรวมซึ่งเป็นการสุ่มซึ่งประกอบด้วยใบแก่ จึงมีค่าความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนน้อยกว่าที่วัดจากใบดัชนี (ใบอ่อน) การสะสมของไนโตรเจนในหัวหรือรากพืชในแต่ละทรีตเมนต์มีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากการได้รับปัจจัยภายนอกต่างกันในที่นี้ได้แก่ ปัจจัยเรื่องของการให้ปุ๋ยต่างกัน นอกจากนี้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบไม่ได้มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเสมอไปด้วย

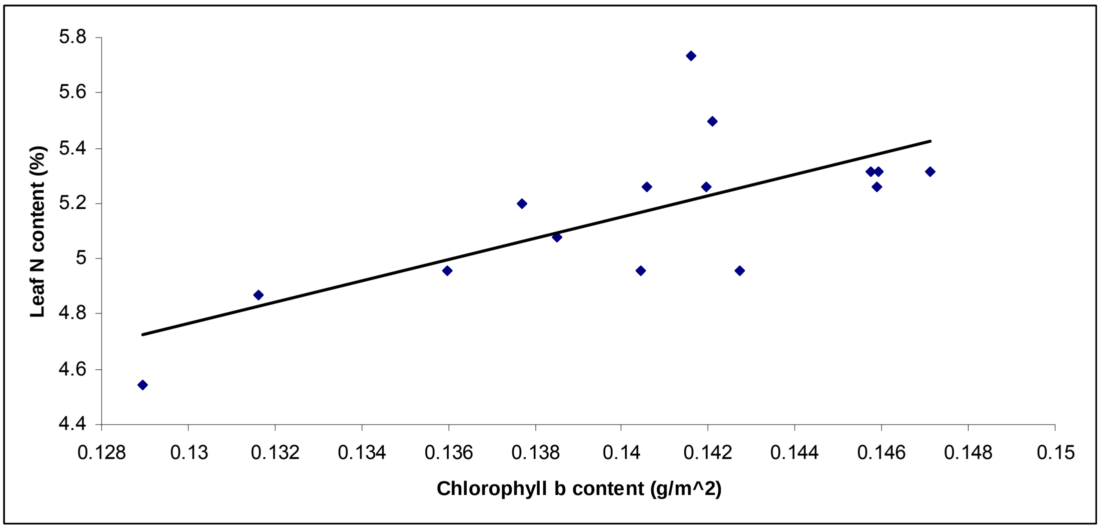
เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 6 เดือน พบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ($r = 0.7639, P< 0.05$) (ภาพที่ 4) สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนโตเจนในใบดัชนีกับปริมาณคลอโรฟิลล์บี ($r = 0.7068$, $P < 0.05$) (ภาพที่ 5) และพบสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีกับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ($r = 0.7597, P < 0.05$) (ภาพที่ 6) สอดคล้องกับการทดลองของ Curz *et al.* (2003) ที่แสดงให้เห็นว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์และสัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอและบีในใบมันสำปะหลังลดลง เมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบต่ำลง นอกจากนี้เมื่อมันสำปะหลังขาดธาตุไนโตรเจนจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ยังพบในการทดลองพริกไทยหวานของ Madeira และ Varennes (2005) และการใช้ SPAD เพื่อคาดการณ์ภาวะไนโตรเจนในต้นฟักทองของงานวิจัย Swiader and Moore (2002) หากแต่การทดลองนี้ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและค่าดัชนีพื้นที่ใบ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 21 ความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

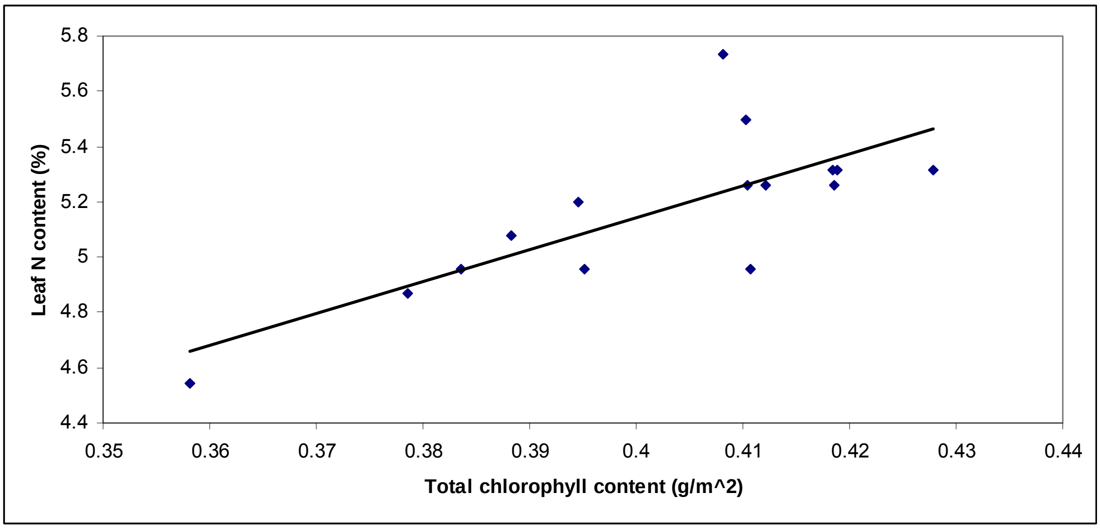
ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของไนโตรเจน (N, %)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	6.27	4.96	4.89	4.28	0.40	0.57
ปุ๋ย 21-10-10	6.12	5.19	5.00	4.21	0.54	0.58
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	5.59	5.15	5.15	4.26	0.47	0.70
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	5.91	5.03	4.87	4.21	0.44	0.53
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	5.98	5.18	5.03	4.49	0.54	0.70
P-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.02	6.29	17.08	8.99	20.30	17.62



ภาพที่ 4 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอและความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือนหลังปลูก $r = 0.7639$, $P < 0.05$



ภาพที่ 5 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีและความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือนหลังปลูก r = 0.7068 , P < 0.05



ภาพที่ 6 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือนหลังปลูก r = 0.7597, P < 0.05

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (P)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 22 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้นจาก 3 เดือนเข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจน โดยพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 เดือนหลังปลูกจะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมในใบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.36 – 0.39 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ แต่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 การสะสมธาตุฟอสฟอรัสมีแนวโน้มลดลง คือ มีค่าเฉลี่ย 0.31 – 0.33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่สะสมในใบมันสำปะหลังของแต่ละทรีตเมนต์นั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งในช่วงที่มันสำปะหลังอายุได้ 3 และ 6 เดือน แต่เมื่อมันสำปะหลังได้ระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบดัชนีลดลงอีกครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ย 0.27 – 0.29 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบดัชนีลดลงเมื่ออายุมันสำปะหลังมากขึ้นเนื่องจากมันสำปะหลังเข้าสู่ระยะแก่ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า dilution effect (Fageria, 2009) กล่าวคือเมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นแต่ธาตุอาหารที่อยู่ในใบเจือจางลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแต่ละทรีตเมนต์ของแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบดัชนีในช่วง 3 – 4 เดือน มีค่าต่ำและเมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบยิ่งต่ำลงมากขึ้น (Howeler, 1996) ทั้งนี้อาจเนื่องจากในดินมีความเข้มข้นของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ค่อนข้างสูงมาก (ตารางที่ 8) จัดเป็นดินแคลคาเรียสหรือดินด่างทำให้ฟอสเฟตในดินถูกตรึงโดยโมเลกุลของแคลเซียม ทำให้พืชมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสจากดินได้น้อย ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆของพืชจึงน้อยตามไปด้วย (Porter and Sanchez, 1992)

เมื่อพิจารณาการแบ่งส่วนของธาตุอาหารในอวัยวะต่างๆของพืชพบว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบรวมมีค่าเฉลี่ย 0.233 – 0.279 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ รองลงมาได้แก่ฟอสฟอรัสที่มีการสะสมที่ในลำต้นที่มีความเข้มข้น 0.106 – 0.132 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งลำต้น ในขณะที่การสะสมความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในหัวมีค่าน้อยที่เฉลี่ย 0.077 – 0.084 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งหัว ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแต่ละส่วนของมันสำปะหลังในแต่ละทรีตเมนต์นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

การให้น้ำสกัดมูลสุกรที่เป็นแหล่งของธาตุอาหารไม่ได้มีผลทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบมีค่ามากขึ้นอาจเนื่องจากในน้ำสกัดมูลสุกรมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่น้อยมาก Barker และ Pilbeam (2007) ได้กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส ที่มีไนโตรเจนและจุลธาตุทางใบนั้นไม่เป็นที่กระทำกันนั้นเนื่องจากใบของพืชมีข้อจำกัดในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส เช่นการทดลองของ Teubne *et al.* (1962) ได้ทดลองให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสเป็นปุ๋ยทางใบ พบว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบแก่ผักไม่ได้ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นและผลผลิตเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Upadhyay *et al.*, (1988) ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินแก่ต้นถั่วเหลืองนั้นให้ผลผลิตมากกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางที่ 22 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมในใบ (%)ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (P, %)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.36	0.33	0.27	0.28	0.08	0.12
ปุ๋ย 21-10-10	0.38	0.33	0.28	0.24	0.08	0.12
ปุ๋บน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.38	0.33	0.29	0.25	0.08	0.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.39	0.32	0.29	0.25	0.08	0.11
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	0.39	0.31	0.29	0.23	0.08	0.11
P-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9.68	5.28	10.13	7.85	10.94	20.64

ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (K)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 23 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน จนกระทั่งเมื่ออายุเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยพบว่า เมื่อมันสำปะหลัง

อายุได้ 3 เดือนหลังปลูกจะมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีมีค่าอยู่ระหว่าง 1.52 - 1.71 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ แต่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบกลับลดลง คือ มีค่าเฉลี่ย 1.38 - 1.60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ และเมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 เดือน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีมีค่าลดลงไปอีก คือ มีค่าเฉลี่ย 0.94 – 1.21 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ โดยทรีตเมนต์ที่มีการสะสมของธาตุโพแทสเซียมในใบสูงที่สุดในเดือนที่ 3 คือ ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21 -10 -10 ทางดิน กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.71 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ แต่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 ทรีตเมนต์ที่มีการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบให้ค่าการสะสมความเข้มข้นของโพแทสเซียมมากกว่าทรีตเมนต์อื่น คือมีค่าเท่ากับ 1.61 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ให้ค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สะสมในใบต่ำที่สุดทั้งในเดือนที่ 3 , 6 และ 10 เดือน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีของแต่ละทรีตเมนต์ในแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีในช่วง 3 – 4 เดือน มีค่าอยู่ในพิสัยพอเพียงและเมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบมีค่าต่ำลง และถือว่าระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Howeler, 1996) เนื่องจากในดินก่อนทำการปลูกมีค่าของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่พืชสามารถดูดใช้ได้ค่อนข้างสูง (จากตารางที่ 8) ดังนั้นจึงมีมากพอที่จะสะสมในเนื้อเยื่อพืช แต่เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้น เริ่มมีการสร้างหัว ธาตุโพแทสเซียมที่เคยสะสมในใบมากในช่วงแรกมีการเคลื่อนที่ไปสะสมในหัวและลำต้นมากขึ้น โพแทสเซียมส่งเสริมกิจกรรมการสังเคราะห์แสง ทำให้มีการพัฒนาของพื้นที่ใบมาก และดังนั้นจึงมีการส่งสารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงไปสะสมที่หัว (Kasele, 1980; Hillock *et al.*, 2002) เป็นผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีหรือใบที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูงมีค่าลดลง

การแบ่งส่วนของธาตุโพแทสเซียมในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ใบรวม ลำต้นและหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุโพแทสเซียมมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนหัว และลำต้นตามลำดับ อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนต่างๆของพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีการเคลื่อนย้ายตามท่อโฟลเอมได้ดี และมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายส่วนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง อันได้แก่ น้ำตาลซูโครสและยังเกี่ยวข้อง

กับการสร้างแป้ง (ยงยุทธ, 2543) ดังนั้นจึงพบความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวนี้มากในส่วนหัว เมื่อเทียบกับธาตุหลักตัวอื่นเช่นไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

จากตารางที่ 21, 22 และ 23 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของธาตุอาหารทั้งสามชนิดนี้ในใบดัชนีและในส่วนของใบรวม ซึ่งใบรวมได้แก่การนำส่วนของใบอ่อน ใบกลาง และใบล่างมารวมกัน ธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเป็นธาตุที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในท่อโฟลเอ็ม ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของธาตุทั้งสามในใบดัชนีและใบรวมที่อายุ 10 เดือนนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (K, %)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.62	1.43	1.10	1.11	0.66	0.65
ปุ๋ย 21-10-10	1.71	1.51	1.08	1.36	0.90	0.77
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	1.61	1.61	1.21	1.13	0.86	0.96
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	1.57	1.49	1.01	0.95	0.99	0.89
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	1.52	1.38	0.94	0.77	0.80	0.70
P-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6.83	11.35	20.69	25.45	29.56	44.81

เมื่อมันสำปะหลังอายุ 3 เดือนเข้าสู่เดือนที่ 6 นั้นให้ค่าการพัฒนาพื้นที่ใบมากขึ้นกว่าเดิมมาก ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบดัชนีมีค่าลดลงเมื่ออายุมากขึ้นนั้นอาจเนื่องจากเกิดจากปรากฏการณ์ dilution effect กล่าวคือมีการพัฒนาสะสมของมวลแห้งในอัตราสูงมากกว่าอัตราการดูดใช้ของธาตุอาหารทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบลดลง (Muchovej *et al.*, 2005)

ความเข้มข้นของแคลเซียม (Ca)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 24 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีมีแนวโน้มลดลงในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย และในทรีตเมนต์ที่พ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ โดยมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแคลเซียมในใบรวมในเดือนที่ 6 นี้เท่ากับ 0.69 และ 0.56 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 ในทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดินสูตร 21-10-10 และ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าเดือนที่ 3 คือมีค่าเท่ากับ 0.73 และ 0.72 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ตามลำดับ ส่วนทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน ให้ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีในเดือนที่ 6 ไม่แตกต่างจากเดือนที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.65 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ และเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือนพบว่ามีการสะสมธาตุแคลเซียมในใบดัชนีสูงขึ้นกว่าเดือนที่ 6 กล่าวคือมีค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีอยู่ระหว่าง 1.32 – 1.67 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ทั้งนี้อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้มีส่วนทำให้ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีในช่วง 3 – 4 เดือน มีค่าอยู่ในพิสัยพอเพียงถึงมีค่าสูงและเมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 เดือน ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีมีค่าสูงถึงขั้นเป็นพิษ (Howeler, 1996) เนื่องจากในดินก่อนทำการปลูกมีค่าของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่พืชสามารถดูดใช้ได้ค่อนข้างสูงมาก แม้หลังการเก็บเกี่ยวไปแล้ว ปริมาณแคลเซียมในดินก็ยังจัดอยู่ในระดับที่สูง จึงมีความเป็นไปได้ที่บางส่วนที่ลดลงนั้นพืชมีการดูดใช้ และโดยปกติความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อที่สูงนั้นมาจากการที่ดินมีระดับธาตุแคลเซียมสูงมากและมักมากกว่าการที่มาจากประสิทธิภาพของเซลล์รากในการดูดใช้ธาตุแคลเซียมจากดิน (จากตารางที่ 8) (Mengel and Kirkby, 2001) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีของมันสำปะหลังที่อายุ 10 เดือนหลังปลูกนี้มีค่าสูง แม้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบดัชนีช่วง 3 – 4 เดือนจะมีค่าสูงถึงขั้นเป็นพิษ หากแต่มันสำปะหลังไม่แสดงอาการผิดปกติ

การแบ่งส่วนของธาตุแคลเซียมในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ในใบรวม ลำต้น และหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุแคลเซียมมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด

รองลงมาได้แก่ส่วนลำต้น และหัวตามลำดับ โดยในใบรวมมีความเข้มข้นของแคลเซียมเท่ากับ 2.55 – 3.06 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ในลำต้นมีความเข้มข้นของแคลเซียมเท่ากับ 0.99 – 1.12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งลำต้น และในหัวมีความเข้มข้นของแคลเซียมเท่ากับ 0.15 – 0.18 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งหัว อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้ทำให้มีค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในส่วนต่างของพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ธาตุแคลเซียมเป็นธาตุที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ในท่อโฟลเอมได้ต่ำ ดังนั้นจึงพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในใบรวมที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน มีความแข้มข้นมากกว่าในใบดัชนี (ใบบน) เนื่องจากในใบแก่ (ใบล่าง) นั้นจะมีความเข้มข้นของแคลเซียมที่มากกว่าใบอ่อน ซึ่งใบดัชนีนั้นเป็นส่วนที่เก็บมาบริเวณใกล้ส่วนยอด ดังนั้นค่าความเข้มข้นของแคลเซียมที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างตั้งแต่ใบอ่อนจนถึงใบแก่จะมีค่าสูงกว่าใบที่เก็บใกล้กับส่วนยอด (ใบดัชนี) (Mengel and Kirkby, 2001)

ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (Mg)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 25 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือนเข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบดัชนีมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกทรีตเมนต์ยกเว้นทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย เมื่อมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21 – 10 -10 ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกับที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ในเดือนที่ 6 ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบจะให้ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมสะสมในใบดัชนีสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นกล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน ทรีตเมนต์ที่มีการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ ซึ่งทั้งสามทรีตเมนต์นี้ให้ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบดัชนีไม่แตกกต่างกัน สำหรับทรีตเมนต์ในกลุ่มที่ให้ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบที่ต่ำกว่าสามทรีตเมนต์แรกคือ ทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยเคมีทางดินสูตร 21-10-10 และทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ และเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือน ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบดัชนีมีค่าสูงขึ้นกว่าเมื่ออายุได้ 6 เดือนมาก กล่าวคือมีความเข้มข้นโดย

เฉลี่ยเท่ากับ 0.28 – 0.39 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ โดยในเดือนที่ 6 และเดือนที่ 10 นี้ อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบดัชนีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)

ตารางที่ 24 ความเข้มข้นของแคลเซียมรวมในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของแคลเซียม (Ca, %)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.74	0.69	1.67	3.04	0.15	0.99
ปุ๋ย 21-10-10	0.70	0.73	1.67	2.89	0.18	0.99
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.63	0.56	1.41	2.55	0.18	1.02
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.66	0.65	1.49	2.97	0.16	0.99
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	0.69	0.72	1.32	3.06	0.17	1.02
P-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	15.37	21.52	14.58	11.34	11.34	12.09

ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบดัชนีในช่วง 3 – 4 เดือน มีค่าอยู่ในพิสัยขาดแคลน (Howeler, 1996) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในเดือนที่ 3 ในใบมันสำปะหลังมีความเข้มข้นของแคลเซียมสูงมาก ซึ่งอาจเกิดภาวะแข่งขันหรือ antagonism ระหว่างธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียม เนื่องมาจากแคลเซียมมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้ายธาตุแมกนีเซียมที่ใบได้ (Morard *et al.*, 1996; Barker and Pilbeam, 2007) เช่นเดียวกับคำกล่าวของ Mengel and Kirkby (2001) ที่แสดงให้เห็นว่าการปรากฏของไอออนโพแทสเซียม แอมโมเนียม และแคลเซียมที่สูงขึ้นนั้นจะมีผลต่อการดูดใช้ของธาตุแมกนีเซียม การทดลองในครั้งนี้เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 – 4 เดือนจึงพบว่า มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบอยู่ในพิสัยขาดแคลน เนื่องจากมีความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมในใบสูง

จากตารางที่ 14 ,15 และ 16 เทียบกับ ตารางที่ 25 เห็นได้ว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบดัชนีนั้นไม่ได้มีมากตามปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวม ทั้งนี้เนื่องจากในการวัดความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบนั้น ถือเป็นการวัดความเข้มข้นของแมกนีเซียมโดยรวมในเซลล์ของใบ ซึ่งธาตุแมกนีเซียมดังกล่าวไม่จำเป็นต้องอยู่ในออร์กาเนล (organelle) ที่เป็นคลอโรพลาสต์ แต่แมกนีเซียมนี้อาจอยู่ในออร์กาเนลที่เป็นแวคิวโอล (vacuole) ด้วย โดยปกติคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นตัวดูดรับพลังงานแสงอยู่ในคลอโรพลาสต์ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าในทรีตเมนต์ที่มีค่าของปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบดัชนีมาก นั้นปริมาณคลอโรฟิลล์อาจไม่ได้มากตามนั้น

การแบ่งส่วนของธาตุแมกนีเซียมในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ในใบรวม ลำต้นและหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุแมกนีเซียมมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนลำต้น และหัวตามลำดับ โดยในใบรวมมีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียม

ตารางที่ 25 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบ (%)ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (Mg, %)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.24 [a]	0.25	0.34	0.43	0.11	0.23 [bc]
ปุ๋ย 21-10-10	0.23 [ab]	0.24	0.34	0.40	0.11	0.19 [c]
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.22 [bc]	0.25	0.35	0.42	0.14	0.31 [a]
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.22 [c]	0.25	0.40	0.50	0.13	0.33 [a]
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	0.22 [bc]	0.25	0.28	0.39	0.13	0.29 [ab]
P-value	*	ns	ns	ns	ns	*
CV (%)	3.79	9.47	15.99	11.23	16.36	16.86

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ประมาณ 0.39 – 0.50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ในลำต้นมีความเข้มข้นของแมกนีเซียม 0.19 – 0.33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งลำต้น ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียวให้ค่าของความเข้มข้นของแมกนีเซียมในลำต้นสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือมีค่าความเข้นข้นของแมกนีเซียม 0.33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งลำต้น รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียว ทรีตเมนต์ที่ให้ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมน้อยที่สุดได้แก่ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดินเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้จากตารางที่ 25 ในหัวมันสำปะหลังแห้งรวมแต่ละทรีตเมนต์มีความเข้มข้นของแมกนีเซียม 0.11 - 0.14 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งหัว อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้ทำให้มีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมในส่วนต่างของพืช ยกเว้นส่วนลำต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่า การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และการพ่นทางใบให้ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมในลำต้นสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ความเข้มข้นของกำมะถัน (S)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของกำมะถันในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 26 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของกำมะถันในใบดัชนีมีแนวโน้มลดลงในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย, ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีและทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียว หากแต่ความเข้มข้นของกำมะถันในใบดัชนีของทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบและทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว พบว่า เมื่อมันสำปะหลังเข้าสู่อายุ 6 เดือนนี้มีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าเดือนที่ 3 และมีค่าความเข้มข้นของกำมะถันในใบดัชนีของสองทรีตเมนต์นี้สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และเมื่อมันสำปะลังอายุได้ 10 เดือนหลังปลูกนั้นพบว่า ความเข้มข้นของกำมะถันในใบดัชนีของทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย, ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีและทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียว มีค่าสูงขึ้นจากเดือนที่ 6 ยกเว้น ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ และการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียวมีค่าความเข้มข้นของกำมะถันในใบลดลงจากเดือนที่ 6 มาก อนึ่งอิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของกำมะถันในใบดัชนีของมันสำปะหลังอายุ 10 เดือนหลังปลูกนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ความเข้มข้นของกำมะถันในใบดัชนีในช่วง 3 – 4 เดือน จัดว่ามีค่าอยู่ในพิสัยที่สูง (Howeler, 1996)

การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบมีผลทำให้มีการขยายขนาดของพื้นที่ใบเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 6 เดือนมีค่ามาก (ตารางที่ 18) การพัฒนาของพื้นที่ใบจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากมีธาตุไนโตรเจนและธาตุกำมะถันซึ่งเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่ทำหน้าที่ในการขยายขนาดของเซลล์ใบ เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 6 เดือนหลังปลูกมีการพัฒนาของพื้นที่ใบมาก เนื่องจากเป็นเดือนที่ฝนตกหนักและได้รับธาตุอาหารทางดินจากน้ำสกัดมูลสุกรด้วย ทำให้ตรวจพบความเข้มข้นของกำมะถันในใบดัชนีสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

การแบ่งส่วนของธาตุกำมะถันในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ในใบรวม ลำต้น และหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุกำมะถันมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนลำต้น และหัวตามลำดับ โดยในใบรวมมีค่าความเข้มข้นของกำมะถันเท่ากับร้อยละ 0.41 - 0.51 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งใบ ในลำต้นรวมมีความเข้มข้นของกำมะถันเท่ากับ 0.21 - 0.45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งลำต้น ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าความเข้มข้นของกำมะถันในลำต้นสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กล่าวคือมีค่าความเข้นข้นเท่ากับ 0.45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งลำต้น รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว ทรีตเมนต์ที่ให้ค่าความเข้มข้นของกำมะถันในลำต้นน้อยที่สุดได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดินเพียงอย่างเดียว หากแต่ ในทางกลับกันการให้ปุ๋ยเคมีทางดินเพียงอย่างเดียวให้ค่าความเข้มข้นของกำมะถันในหัวสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือมีความเข้มข้นของกำมะถันในหัวเท่ากับ 0.29 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งหัว

การสะสมของกำมะถันในใบดัชนีมีค่าสูงสอดคล้องกับ Barker and Pilbeam (2007) ที่รายงานไว้ว่า ในระหว่างที่พืชมีการเจริญเติบโต มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปร่าง และมีการขนส่งธาตุอาหารภายในต้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกำมะถันที่ขึ้นลงนั้นไม่ได้มาจากการให้กำมะถันจากภายนอก แต่มักมาจากการสะสมไปยังส่วนต่างๆของพืชและอายุของพืช ใบที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้สูง (ใบดัชนี) นั้นจะมีความเข้มข้นของกำมะถันสูงกว่าส่วนอื่นๆของพืช

ตารางที่ 26 ความเข้มข้นของกำมะถันในใบ (%) ในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของกำมะถัน (S, %)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.35	0.28[c]	0.41	0.41	0.15 [c]	0.23 [c]
ปุ๋ย 21-10-10	0.48	0.28[c]	0.42	0.51	0.29 [a]	0.21 [c]
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.39	0.31[c]	0.54	0.49	0.26 [ab]	0.27 [bc]
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.40	0.57[b]	0.50	0.44	0.21 [b]	0.36 [ab]
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	0.47	0.68[a]	0.47	0.46	0.22 [ab]	0.45 [a]
P-value	ns	**	ns	ns	**	**
CV (%)	14.77	15.23	16.52	18.38	18.92	21.57

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ความเข้มข้นของทองแดง (Cu)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของทองแดงในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 27 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของทองแดงรวมในใบดัชนีมีแนวโน้มลดลงในทุกทรีตเมนต์ยกเว้นทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 เดือน การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรให้เป็นปุ๋ยทางใบมีผลทำให้มีสารสะสมความเข้มข้นของทองแดงในใบสูงกว่า ทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ (P< 0.05) แต่เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 6 เดือนการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบกลับให้ความเข้มข้นของทองแดงในใบดัชนีน้อยลงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) ในเดือนที่ 6 ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยให้ความเข้มข้นของทองแดงสะสมในใบดัชนีสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 10.71 มก./กก.รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน,

ตารางที่ 27 ความเข้มข้นของทองแดงรวมในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3, 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของทองแดง (Cu, มก./กก.)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	13.28 [b]	10.71 [a]	6.53	7.69	1.06	5.67
ปุ๋ย 21-10-10	10.84 [b]	9.07 [ab]	6.45	7.12	1.17	6.92
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	20.45 [a]	7.44 [b]	6.92	7.66	0.52	8.95
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	11.43 [b]	10.58 [a]	7.07	7.44	0.91	9.25
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	8.707 [b]	8.95 [ab]	6.65	8.15	1.27	9.41
P-value	*	**	ns	ns	ns	ns
CV (%)	31.53	12.54	7.54	15.48	33.86	25.11

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมี 21-10-10 ทางดิน สำหรับทรีตเมนต์ที่ให้ค่าความเข้มข้นของทองแดงในใบที่ต่ำที่สุดคือ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ โดยมีค่าเท่ากับ 8.95 มก./กก. และเมื่อมันสำปะหลังเข้าสู่ระยะอายุ 10 เดือนความเข้มข้นของทองแดงในใบดัชนีมีค่าลดลงจากเดือนที่ 6 ในระดับที่ไม่สูงมากนัก กล่าวคือ มีค่าอยู่ระหว่าง 6.45 – 7.07 มก./กก.

ความเข้มข้นของทองแดงในใบมันสำปะหลังที่อายุ 3 – 4 เดือน อยู่ในเกณฑ์สูงถึงขั้นเป็นพิษ (Howeler, 1996) หากพิสัยที่อยู่ในขั้นเป็นพิษนี้ไม่ได้มีผลทำให้มันสำปะหลังแสดงอาการผิดปกติ

การแบ่งส่วนของธาตุทองแดงในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ในใบรวม ลำต้น และหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุทองแดงมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด

รองลงมาได้แก่ส่วนลำต้น และหัวตามลำดับ โดยในใบรวมมีค่าความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 7.12 - 8.15 มก./กก. ในลำต้นรวมมีความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 0.52 - 1.27 มก./กก. ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าของปริมาณความเข้มข้นของทองแดงในใบ ลำต้นและในหัวสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้ทำให้มีค่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนต่างๆของพืช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Chaignon *et al.*, (2002); Peralta-Videa *et al.*, (2002) และ Liu *et al.*, (2001) รายงานว่าโดยทั่วไปธาตุทองแดงเป็นธาตุที่มีการเคลื่อนที่ได้ในพืชค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงพบว่า ความเข้มข้นของทองแดงมักมีมากที่สุดในเนื้อเยื่อราก แต่ผลการทดลองในครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับการทดลองทั้งสามข้างต้น อย่างไรก็ตาม Marschner (1995) กล่าวว่า การให้ธาตุทองแดงกับพืชในระดับสูง ทำให้มีส่วนของทองแดงไปจับกับส่วนของผนังเซลล์ภายในเนื้อเยื่อที่มีสีเขียวนั้นอย่างมีนัยสำคัญ ธาตุทองแดงจะอยู่กับพลาสโตไซยานิน ซึ่งพบว่า ธาตุทองแดงที่อยู่กับพลาสโตไซยานินนี้มีอยู่ในคลอโรพลาสต์ถึงร้อยละ 50 หรือมากกว่า และ Kabata-Pendias and Pendias (1992) เสนอว่า ทั้งนี้ความเข้มข้นของทองแดงในพืชส่วนเหนือดินที่มีค่ามากที่สุดในระหว่างการเติบโตนั้นอาจมาจากการได้รับธาตุทองแดงที่มาก

จากข้อสังเกตของ Kabata-Pendias and Pendias (1992) ในน้ำสกัดมูลสุกรมีความเข้มข้นของทองแดงถึง 5.46 – 29.42 มก./กก. ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบจึงมีผลทำให้มันสำปะหลังมีการสะสมธาตุทองแดงไว้ในส่วนของเนื้อเยื่อใบ ลำต้นและหัวมากกว่าทรีตเมนต์อื่น (ตารางที่ 27)

ธาตุทองแดงนี้มีผลต่อการยับยั้งการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียม อาจมีความเป็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของธาตุแมกนีเซียมในใบดัชนีอย่างมากเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือน อาจมีผลทำให้การสะสมของธาตุทองแดงในใบดัชนีลดลงก็เป็นได้ ทั้งนี้ ไม่สอดคล้องกับ Cao and Tibbitts (1992) ที่ได้เสนอไว้ว่า การเพิ่มอัตราการให้ปุ๋ยแมกนีเซียมนั้นไม่มีผลทำให้การดูดใช้ธาตุทองแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของเหล็กในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 28 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของเหล็กรวมในใบดัชนีมีแนวโน้มลดลงในทุกทรีตเมนต์ โดยในเดือนที่ 6 นี้ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน ให้ค่าความเข้มข้นของเหล็กสะสมในใบสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 70.05 มก./กก. รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมี 21-10-10 , ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ตามลำดับ สำหรับทรีตเมนต์ที่ให้ค่าความเข้มข้นของเหล็กในใบที่ต่ำที่สุดคือ ทรีตเมนต์ที่มีการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเท่ากับ 57.15 มก./กก. และเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือนหลังปลูกนั้นพบว่า ความเข้มข้นของเหล็กในใบดัชนีมีค่าสูงขึ้นจากเดือนที่ 6 ในทุกทรีตเมนต์ โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียวนี้พบว่า ในเดือนที่ 10 มีความเข้มข้นของเหล็กมีค่ามากที่สุดและมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 6 ถึง 81.162 % แม้ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจะมีค่าต่ำ หมายความว่าอาจมีความเป็นไปได้ที่ การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบทำให้โมเลกุลของธาตุเหล็กทะลุผ่านชั้นคิวติเคิล เนื่องจากในช่วงที่มันสำปะหลังอายุได้ 3 - 4 เดือนนั้นความเข้มข้นของเหล็กในใบดัชนีอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงขั้นขาดแคลน (Howeler, 1996) เนื่องจากปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกอยู่ในพิสัยต่ำ (ตารางที่ 9) การให้ปุ๋ยทางใบมีความเป็นไปได้จะช่วยเสริมให้ความเข้มข้นของเหล็กในใบดัชนีเพิ่มขึ้น

ลักษณะแนวโน้มของการสะสมธาตุเหล็กในทุกๆทรีตเมนต์มีค่าลดลงในเดือนที่ 6 นั้นอาจเนื่องมาจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Piper-Steenbjerg ซึ่งหมายความว่า ในขณะที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารธาตุหนึ่งในพืช (ต่อน้ำหนักแห้ง) ลดลงการเจริญเติบโตของพืชนั้นกลับเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ, 2543) กล่าวคือ ในเดือนที่ 6 มันสำปะหลังมีการพัฒนาของพื้นที่ใบมาก (ภาพที่10) ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในใบลดลงจากเดือนที่ 3 มาก

การแบ่งส่วนการสะสมของเหล็กในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ในใบรวม ลำต้น และหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุเหล็กมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนใบ และหัวตามลำดับ โดยในลำต้นมีค่าความเข้มข้นของเหล็กระหว่าง 319.61 - 425.34 มก./กก. ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าของธาตุเหล็กสูงที่สุด ค่าความเข้มข้นของเหล็กในใบรวมของทรีตเมนต์ต่างๆมีความเข้มข้นระหว่าง

ตารางที่ 28 ความเข้มข้นของเหล็กในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 , 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe, มก./กก.)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	88.79 [a]	62.07	76.95	146.96[a]	7.99	319.61
ปุ๋ย 21-10-10	80.60 [b]	68.75	88.69	144.86[a]	5.88	358.69
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	75.05 [c]	57.15	103.53	129.14[a]	9.47	369.97
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	78.44 [bc]	70.05	84.48	77.13[b]	7.76	340.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	77.03 [bc]	68.36	74.66	63.87[b]	8.97	425.34
P-value	**	ns	ns	**	ns	ns
CV (%)	3.69	16.17	15.83	20.09	46.62	37.49

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

63.87 -146.96 มก./กก. ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบให้ค่าของความเข้มข้นของเหล็กในหัวสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้มีผลทำให้มีค่าความเข้มข้นของเหล็กในส่วนต่างๆของพืช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)

ความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของแมงกานีสในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 29 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบมีแนวโน้มลดลงในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมี 21-10-10 และทรีตเมนต์ที่ฉีดน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ โดยมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแมงกานีสในใบรวมในเดือนที่ 6 นี้เท่ากับ 54.99, 67.17 และ 56.03 มก./กก.

ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสรวมในใบมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าเดือนที่ 3 คือมีค่าเท่ากับ 63.86 และ 69.27 มก./กก. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในใบดัชนีมีค่าสูงที่สุด และเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือน ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบดัชนีมีค่าสูงขึ้นกว่าเดือนที่ 6 มากได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยเคมีทางดินและทรีตเมนต์ที่ทำการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบดัชนีของทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว และทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกันการพ่นทางใบให้ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสลดลงและไม่ต่างจากเดิมมากนัก โดยทุกๆทรีตเมนต์มีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในใบดัชนีอยู่ระหว่าง 60.55 - 72.64 มก./กก. ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบมันสำปะหลังที่อายุ 3 – 4 เดือนของการทดลองนี้อยู่ในเกณฑ์พอเพียง

ตารางที่ 29 ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 , 6 และ 10 เดือน และในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn, มก./กก.)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	68.06 [b]	54.99	65.88	94.67	1.80	20.01
ปุ๋ย 21-10-10	83.44 [a]	67.17	72.64	96.08	2.04	22.98
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	69.66 [b]	56.03	67.65	90.77	1.65	22.85
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	63.11 [b]	63.86	60.55	93.62	2.85	21.27
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	60.48[b]	69.27	69.28	119.32	2.62	29.35
P-value	**	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8.96	22.89	31.25	35.65	44.70	41.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

(Howeler, 1996) เนื่องจากปริมาณแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกอยู่ในระดับสูง พืชสามารถดูดไปใช้ได้ (ตารางที่ 9)

การแบ่งส่วนการสะสมของธาตุแมงกานีสในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ในใบรวม ลำต้น และหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุแมงกานีสมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนลำต้น และหัวตามลำดับ โดยในใบรวมมีความเข้มข้นของแมงกานีสอยู่ระหว่าง 90.77 - 119.32 มก./กก. ในลำต้นรวมมีความเข้มข้นของแมงกานีสอยู่ระหว่าง 20.01 - 29.35 มก./กก. ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบมีแนวโน้มให้ค่าของความเข้มข้นของแมงกานีสในลำต้นและในใบรวมสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้ทำให้มีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในส่วนต่างๆของพืช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ทั้งนี้อาจอธิบายได้โดย Ramani and Kannan (1987) กล่าวว่า ธาตุแมงกานีสสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายจากรากขึ้นไปยังส่วนเหนือดินหรือลำต้นภายใน xylem–sap ภายใต้เส้นทางของการคายน้ำ ในทางตรงกันข้ามการเคลื่อนที่ได้ใหม่ของธาตุแมงกานีสในท่อโฟลเอมนั้นค่อนข้างซับซ้อน ในขณะที่ในใบมีการเคลื่อนที่ได้น้อย หากแต่ธาตุแมงกานีสที่สะสมในรากและในลำต้นมีการเคลื่อนที่ได้ใหม่ได้มาก (Loneragan, 1988)

ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีในใบมันสำปะหลังที่ 4 และ 5 เมื่ออายุ 3, 6 และ 10 เดือนได้แสดงไว้ในตารางที่ 30 ซึ่งพบว่า เมื่อมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้นจาก 3 เดือน เข้าสู่อายุ 6 เดือน ความเข้มข้นของสังกะสีในใบดัชนีมีแนวโน้มลดลงในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ โดยมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสังกะสีในใบดัชนีในเดือนที่ 6 เท่ากับ 29.93, 28.85 และ 31.49 มก./กก. ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6 ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดิน 21-10-10 และ ทรีตเมนต์ที่มีการฉีดน้ำสกัดมูลสุกรทางใบให้ค่าความเข้มข้นของสังกะสีรวมในใบดัชนีมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าเดือนที่ 3 เป็นอย่างมาก คือมีค่าเท่ากับ 131.38 และ 77.95 มก./กก. ตามลำดับ เห็นได้ว่าในทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดิน 21-10-10 ให้ค่าความเข้มข้นของสังกะสีในใบสูง

กว่าทรีตเมนต์อื่นๆเป็นอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05) แต่เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือน ความเข้มข้นของสังกะสีมีค่าลดลงอย่างมากในทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดิน และในทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ ขณะที่ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว และทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าของความเข้มข้นของสังกะสีในใบดัชนีลดลงจากเดือนที่ 6 ไม่มากนัก

ความเข้มข้นของสังกะสีในใบมันสำปะหลังที่อายุ 3 – 4 เดือนของการทดลองนี้อยู่ในเกณฑ์พอเพียง (Howeler, 1996) แม้ปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกอยู่ในระดับต่ำ พืชสามารถดูดไปใช้ได้จริงในระยะแรก แต่ในที่สุดการสะสมของธาตุสังกะสีในใบดัชนีหลังเก็บเกี่ยวมีค่าต่ำมากในทุกทรีตเมนต์ เนื่องจากปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากพืชจึงมีการดูดใช้ได้น้อย (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 30 ความเข้มข้นของสังกะสีในใบในแต่ละทรีตเมนต์เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 , 6 และ 10 เดือน และ ในอวัยวะต่างๆเมื่อระยะเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn, มก./กก.)					
	ในใบที่ 4 และ 5 เดือนที่			ในอวัยวะระยะเก็บเกี่ยวที่ 10 เดือน		
	3	6	10	ใบรวม	หัวรวม	ลำต้นรวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	44.87	29.93 [b]	27.86	36.41	7.10	10.40
ปุ๋ย 21-10-10	48.08	131.38 [a]	31.15	35.48	9.29	12.71
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	45.23	77.95 [ab]	31.82	33.37	6.75	11.89
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	45.86	28.85 [b]	28.15	35.49	9.35	13.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ + ดิน	43.60	31.49 [b]	26.20	32.88	7.63	11.40
P-value	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	19.08	80.79	17.08	20.48	25.79	19.36

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ลักษณะแนวโน้มของการสะสมของธาตุสังกะสีในทุกๆทรีตเมนต์มีค่าลดลงในเดือนที่ 6 ยกเว้นในทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน และทรีตเมนต์ที่มีการฉีดพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ ซึ่งพบว่าให้ค่าความเข้มข้นของสังกะสีในใบดัชนีค่อนข้างสูงนั้น อาจเนื่องมาจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า dilution effect กล่าวคือ ในเดือนที่ 6 มันสำปะหลังมีการพัฒนาของพื้นที่ใบในทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 มีค่าต่ำที่สุด ความเข้มข้นของสังกะสีในใบดัชนีอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์นี้มีจึงค่าสูง (ยงยุทธ, 2543)

เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 10 เดือนพบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีในใบดัชนีมีค่าลดลงอย่างมากอาจเนื่องจากใบดัชนีมีการสะสมธาตุแมกนีเซียมมากซึ่ง Kim *et al*. (2002) ได้กล่าวไว้ว่าหากต้นพืแกนอยู่ในภาวะขาดสังกะสีนั้นอาจเนื่องมาจากการที่มีการสะสมของแมกนีเซียมในใบมาก นอกจากนี้ในดินมีปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยวนี้ยังมีค่าต่ำมาก ปริมาณการดูดใช้โดยต้นพืชอาจน้อยลง

การแบ่งส่วนการสะสมของธาตุสังกะสีในส่วนต่างๆของพืชอันได้แก่ ในใบรวม ลำต้น และหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนพบว่า ธาตุสังกะสีมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนลำต้นและหัวตามลำดับ โดยในใบรวมมีค่าความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ระหว่าง 32.88 - 36.41 มก./กก. ในลำต้นรวมมีความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ระหว่าง 10.40 - 13.13 มก./กก. ในหัวรวมมีความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ระหว่าง 6.75 - 9.35 มก./กก. ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ค่าความเข้มข้นของสังกะสีในลำต้นและในหัวรวมสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้ทำให้มีค่าปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในส่วนต่างๆของพืช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ใบดัชนีเป็นอวัยวะพืชที่พบความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกธาตุมากกว่าส่วนอื่นๆของพืช เนื่องจากใบดัชนีเป็นส่วนของพืชที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูง เพื่อให้ได้ผลผลิตตามศักยภาพการสังเคราะห์แสงที่พืชนั้นมีอยู่ ผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้แก่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวนำไปใช้เพื่อการเติบโต (growth respiration) เพื่อการรักษาเซลล์ (maintenance) และเพื่อการสะสมอาหาร (storage growth) ของพืช และน้ำตาลถูกนำไปเป็น backbone สำหรับการสร้างโปรตีน ไขมัน ต่างๆให้กับพืช ใบจึงเป็นแหล่งสร้าง (source) ที่ต้องอาศัยธาตุอาหารต่างๆทั้งธาตุหลัก ธาตุรองและจุลธาตุที่มาจากการดูดใช้โดยรากเพื่อเอื้อให้กับกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นจึงพบความเข้มข้นของธาตุอาหารชนิดต่างๆในใบมากกว่าส่วนอื่นๆของพืช

7. ศึกษาผลการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุ 10 เดือน (วันที่ 24-25 พ.ย. 2550)

ผลการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆเป็นแหล่งธาตุอาหารให้ต้นมันสำปะหลังต่อผลผลิตหัวมันสำปะหลังได้แสดงไว้ในตารางที่ 31 พบว่า การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการฉีดพ่นทางใบ มีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักหัวมันสดสูงที่สุด คือ 12.73 ตันต่อไร่ (P = 0.07) รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการฉีดพ่นน้ำสกัดมูลสุกรเพียงอย่างเดียว กล่าวคือให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำหนักหัวมันสดรวมเท่ากับ 12.64 , 11.63 และ 11.07 ตันต่อไร่ ตามลำดับ การให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 ทางดิน ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักหัวมันสดรวมต่ำที่สุดคือ 10.26 ตันต่อไร่ ค่าของผลผลิตในแต่ละทรีตเมนต์โดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หากแต่ความแตกต่างกันหากอธิบายด้วยความเชื่อมั่นที่ 93 เปอร์เซ็นต์ จะค้นพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของข้อมูลในชุดนี้

การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ หรือการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียวนั้นมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง เช่นเดียวกับการทดลองให้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรแก่ต้นมะเขือเทศของ Cushman และ Snyder (2002) ที่พบว่า การให้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร (swine effluent) ทางดินในระบบน้ำหยดนั้นสามารถเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศได้ดีกว่าการให้ปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจน

ตารางที่ 31 ผลผลิตมันสำปะหลัง (ตัน/ไร่) ที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	น้ำหนักหัวสดรวม (ผลผลิตรวม) ตัน /ไร่
ไม่ใส่ปุ๋ย	11.630
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	10.260
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	11.066
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	12.640
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	12.734
P-value	ns
CV (%)	9.03

8. ศึกษาค่ามวลชีวภาพส่วนต่างๆของมันสำปะหลังและดัชนีเก็บเกี่ยวที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

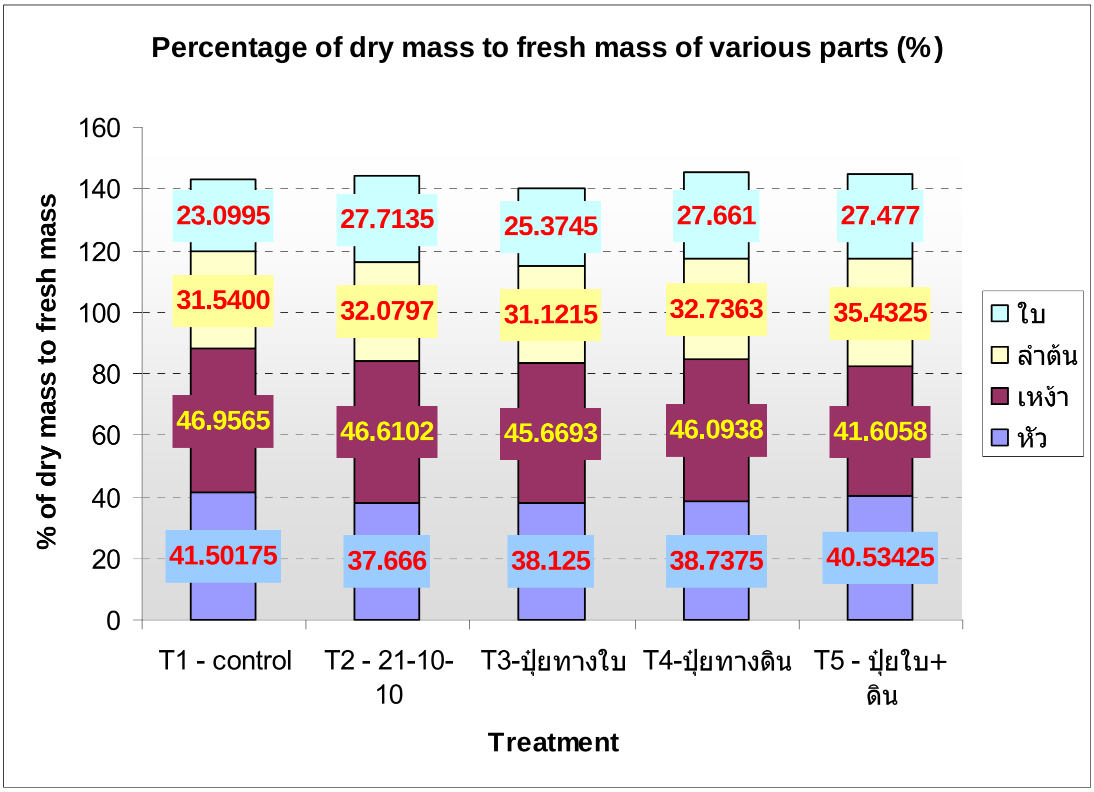
ผลการศึกษาการให้ปุ๋ยชนิดต่างๆ เป็นแหล่งธาตุอาหารแก่มันสำปะหลังต่อปริมาณการสะสมน้ำหนักแห้งชีวมวลของมันสำปะหลังได้แสดงไว้ในตารางที่ 32 และภาพที่ 7 พบว่า ทรีตเมนต์ต่างๆมีการสะสมมวลชีวภาพไว้ในส่วนต่างๆของพืชแตกต่างกัน โดยทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ยกลับมีการสะสมมวลแห้งของหัวหรือรากมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ และทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดินเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ มีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดร้อยละ 41.50, 40.53, 38.74 , 38.13 และ 37.67 ตามลำดับ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดของหัวนี้มีทิศทางที่สอดคล้องกับผลผลิตน้ำหนักหัวสด (ตันต่อไร่) ถึงแม้ในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ยจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดของหัวมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ แต่กลับมีข้อเสียคือให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเหง้าจากน้ำหนักสดสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยเคมีทางดินเพียงอย่างเดียว ทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว และทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเหง้าแห้งจากน้ำหนักสดของทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบน้อยกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ยถึงร้อยละ 12.8 นอกจากนี้ในทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวแห้งสูง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเหง้าต่ำที่สุดแล้ว ยังให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักลำต้นแห้งจากน้ำหนักสดมากที่สุด รองลงมาได้แก่ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับผลของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของแต่ละทรีตเมนต์ในเดือนที่ 8 มากนัก ทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดินสูตร 21-10-10 ให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักใบแห้งจากน้ำหนักสดสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว และทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการฉีดพ่นทางใบ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ และทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกับน้ำหนักแห้งใบรวมในเดือนที่ 9 (ตารางที่ 19)

อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่มีผลทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดในส่วนต่างๆของพืช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดของอวัยวะพืชต่างๆที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสด			
	หัว	เหง้า	ลำต้น	ใบ
ไม่ใส่ปุ๋ย	41.50	46.96	31.54	23.10
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	37.67	46.61	32.08	27.71
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	38.13	45.67	31.12	25.37
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	38.74	46.09	32.74	27.66
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	40.53	41.61	35.43	27.48
P-value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	10.05	14.97	7.81	12.25

จากตารางที่ 32 จะเห็นได้ว่า การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวแห้งสูง น้ำหนักแห้งของเหง้าต่ำที่สุด น้ำหนักลำต้นสูงที่สุด (ลำต้นแข็งแรง) และน้ำหนักใบแห้งอยู่ในระดับปานกลาง การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียวไม่ได้มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวแห้ง เหง้า ลำต้น และใบ จากน้ำหนักสดแตกต่างจากที่ไม่มีการให้ปุ๋ย



ภาพที่ 7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากน้ำหนักสดของอวัยวะพืชต่างๆที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ตารางที่ 33 จำนวนหัว น้ำหนักหัว ใบและก้าน ลำต้นและเหง้าสดเฉลี่ยต่อต้นของมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนในทรีตเมนต์ต่างๆ

ทรีตเมนต์	จำนวนหัว	น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น (กก.)			
		หัว	ใบ+ก้าน	ลำต้น	เหง้า
ไม่ใส่ปุ๋ย	12.00	7.55	1.24	3.56	1.06
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	12.33	5.99	0.92	3.15	1.03
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	13.07	6.11	0.94	3.29	1.11
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	13.63	7.25	1.12	3.10	1.07
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	14.67	7.72	1.08	3.83	1.19
P-value	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	11.33	19.33	15.82	16.17	10.27

ดัชนีเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 34 ดัชนีเก็บเกี่ยวของทรีตเมนต์ต่างๆที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ทรีตเมนต์	ดัชนีเก็บเกี่ยว
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.56
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	0.53
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.54
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	0.58
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	0.55
P-value	ns
CV (%)	6.85

ปริมาณธาตุหลักสะสมในใบ หัวและต้น (กก.ธาตุ/ไร่) และการเปรียบเทียบปริมาณธาตุหลักที่ได้จากปุ๋ยกับปริมาณธาตุหลักที่สะสมในใบ หัว และต้นมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว

ปริมาณธาตุหลักได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แสดงไว้ในตารางที่ 35, 36 และ 37 ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในใบ ลำต้นและหัวของมันสำปะหลังในทรีตเมนต์ที่ได้รับน้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกับการให้ทางดินนั้นมีแนวโน้มสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อิทธิพลของทรีตเมนต์ไม่ได้มีผลทำให้ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบ หัว ลำต้น และอวัยวะรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 35 ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่สะสมในใบ หัว และลำต้น (กก. N/ไร่)

ทรีตเมนต์	N (กก. / ไร่)			
	หัว	ลำต้น	ใบ	รวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	23.53	11.12	20.49	55.15
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	19.51	10.18	17.72	47.41
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	19.22	12.23	16.22	47.67
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	18.30	8.31	21.14	47.74
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	23.71	13.54	20.94	58.19
P-value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22.22	22.41	19.46	14.74

ตารางที่ 36 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่สะสมในใบ หัว และลำต้น (กก. P/ไร่)

ทรีตเมนต์	P (กก. /ไร่)			
	หัว	ลำต้น	ใบ	รวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	4.15	1.79	1.31	7.24
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	2.92	1.74	1.00	5.66
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	2.95	1.66	0.89	5.51
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	3.46	1.64	1.24	6.35
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	4.27	2.48	1.07	7.82
P-value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	23.70	20.02	17.94	16.30

ตารางที่ 37 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในใบ หัว และลำต้น (กก. K/ไร่)

ทรีตเมนต์	K (กก./ไร่)			
	หัว	ลำต้น	ใบ	รวม
ไม่ใส่ปุ๋ย	31.95	9.56	4.81	46.31
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	28.99	14.43	4.71	48.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	33.61	17.20	4.59	55.40
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	41.20	12.34	4.50	58.04
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	41.21	16.46	3.88	61.56
P-value	ns	ns	ns	ns
CV (%)	30.81	40.43	36.56	29.18

ตารางที่ 38 เปรียบเทียบปริมาณธาตุหลักที่ได้จากปุ๋ย กับปริมาณธาตุหลักที่สะสมในใบ หัว และต้นมันสำปะหลัง

ทรีตเมนต์	ธาตุหลักที่ได้จากปุ๋ย (กก./ไร่)			ธาตุหลักที่สะสมในใบ หัวและต้น (กก./ไร่)		
	N	P	K	N	P	K
ไม่ใส่ปุ๋ย	0	0	0	55.15	7.24	46.31
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	8.4	1.75	3.33	47.41	5.66	48.13
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	0.4	0.08	0.59	47.67	5.51	55.40
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	2.85	0.57	4.27	47.74	6.35	58.04
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	3.24	0.65	4.86	58.19	7.82	61.56

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตารางที่ 38 ที่แสดงให้เห็นถึงเปรียบเทียบปริมาณธาตุหลักที่ได้จากปุ๋ยกับปริมาณธาตุหลักที่สะสมในใบ หัวและต้นมันสำปะหลังในทรีตเมนต์ต่างๆพบว่า ปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่ได้จากปุ๋ยกับปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในใบ หัวและต้นมันสำปะหลังนั้นมีความสอดคล้องกันในทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกับทางดิน กล่าวคือ การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกับการให้ทางดิน หรือการให้น้ำ

สกัดมูลสุกรทางดินนั้น ถือเป็นการให้ธาตุโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงกว่าทรีตเมนต์อื่น จึงทำให้มีการสะสมของธาตุดังกล่าวในอวัยวะรวมมาก รวมถึงมีเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวสดมากด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 39) แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมจากน้ำสกัดมูลสุกรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าโพแทสเซียมที่ได้จากปุ๋ยเคมี กล่าวคือ มันสำปะหลังมีการตอบสนองต่อโพแทสเซียมในแง่ของการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยามากกว่านั่นเอง ในขณะที่ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ได้จากปุ๋ยกับปริมาณของธาตุทั้งสามในใบ หัวและลำต้นของทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย และทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมี 21-10-10 นั้นไม่มีความสอดคล้องกัน การไม่ใส่ปุ๋ยกลับให้ค่าของปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในอวัยวะรวมสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมันสำปะหลังในทรีตเมนต์นี้อาจได้รับธาตุอาหารจากดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ และการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 นั้นไม่ได้มีผลทำให้มีการสะสมของธาตุหลักทั้งสามในอวัยวะรวมมากกว่าทรีตเมนต์อื่น อาจเนื่องจากปัญหาการชะละลายของปุ๋ยในช่วงหลังจากที่ใส่ปุ๋ย ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตพืชที่มากนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากมีการดูดใช้จากดินมากทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ในแต่ละครั้งที่มีปริมาณธาตุอาหารติดไปกับผลผลิตเป็นปริมาณที่มากกว่าการให้ปุ๋ยหลายเท่านี้ จึงควรมีการนำธาตุอาหารกลับเข้าไปในดินในรูปของการใช้ปุ๋ยพืชสด หรือปลูกพืชหมุนเวียน

9. ผลการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังสดที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

ตารางที่ 39 เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังสดที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

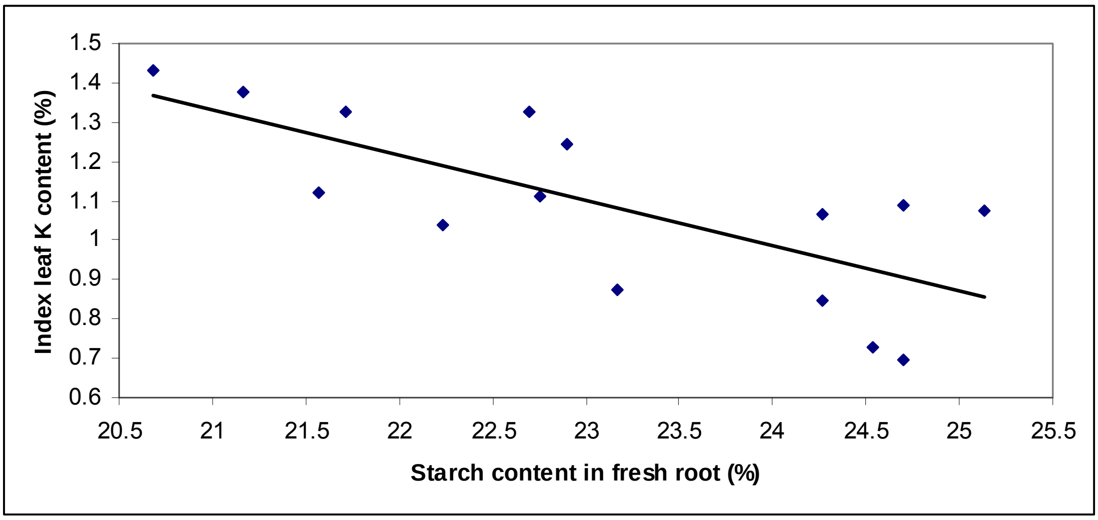
ทรีตเมนต์	เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังสด
ไม่ใส่ปุ๋ย	23.74 ^{ab}
ปุ๋ย 21-10-10 ทางดิน	22.15 ^{bc}
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ	21.36 ^{c}
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน	24.19 ^{a}
ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบ+ดิน	23.74 ^{a}
P – value	**
CV (%)	3.87

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

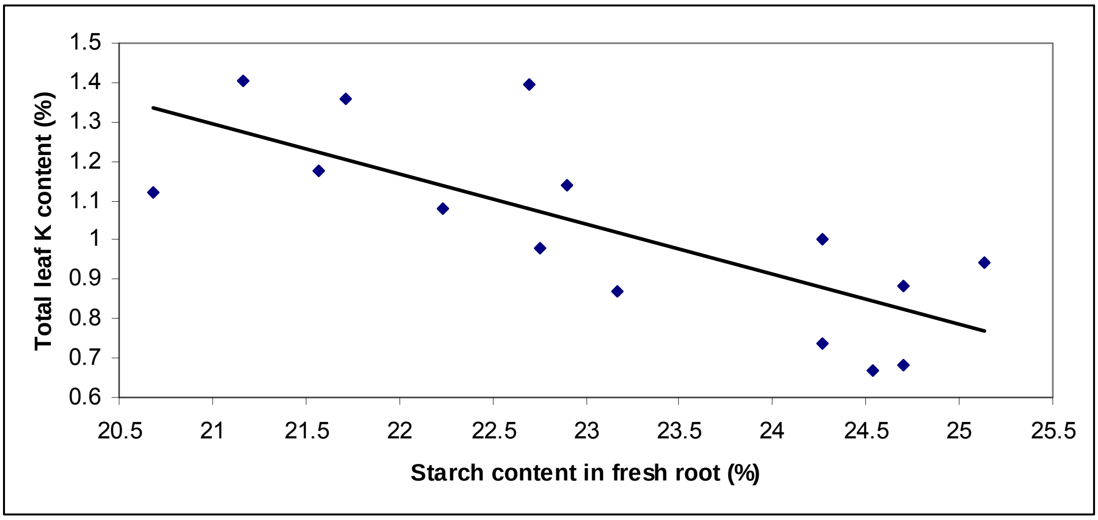
นอกจากนี้การให้ปุ๋ยเคมีทางดิน สูตร 21-10-10 ให้ค่าของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวแห้งต่ำที่สุด น้ำหนักเหง้าสูง น้ำหนักแห้งลำต้นปานกลาง และน้ำหนักใบแห้งจากน้ำหนักสดสูงที่สุดในเดือนเก็บเกี่ยว

การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียวให้ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสดสูงที่สุดคือร้อยละ 24.19 รองลงมาได้แก่ ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบ ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่มีการปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 ทางดิน กล่าวคือให้ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสดเท่ากับร้อยละ 24.05, 23.74 และ 22.15 ตามลำดับ การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียว ให้ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสดต่ำที่สุดคือร้อยละ 21.36 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์แป้งของแต่ละ ทรีตเมนต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน มีค่ามีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้งมากกว่าทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกับทางดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากว่า ทรีตเมนต์ดังกล่าวได้รับธาตุโพแทสเซียมในรูปของสารละลายในทุกๆเดือน ซึ่งธาตุโพแทสเซียมเกี่ยวข้องกับการขนส่งสารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงผ่านไปทางท่อไซเลม และโฟลเอม จากนั้นทำการ loading จากท่อไซเลมไปยังศูนย์กลางของราก ซึ่งเป็นที่อยู่ของ protoxylem และท่อไซเลมหลักใกล้ๆกับบริเวณที่เป็น xylem parenchyma celll เมื่อธาตุโพแทสเซียมมีการสะสมมากใน xylem parenchyma cell (Barker and Pilbeam, 2007) ซึ่งสำหรับมันสำปะหลังแล้ว เซลล์ parenchyma นี้เป็นส่วนของหัวสดที่รับประทานได้ และมีอยู่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหัวรวมทั้งหมด ในส่วนนี้ประกอบด้วยท่อไซเลมที่เรียงกันในแนวรัศมีกระจายในส่วนของเซลล์ที่สะสมแป้ง (Wheatley and Chuzel, 1993) เมื่อมีการสะสมของปริมาณแป้งในหัวสดมาก จะทำให้การสะสมของความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในใบดัชนี ใบรวม ลำต้นรวมและหัวสดมีค่าลดลง (ภาพที่ 8, 9 และ 10) อาจเนื่องจากมีการนำธาตุโพแทสเซียมไปใช้ในกระบวนการเคลื่อนย้ายสารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงก็เป็นได้ การทดลองในครั้งนี้เมื่อพิจารณามันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน พบค่าสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบดัชนีกับปริมาณแป้งในหัวสด ($P < 0.05$, $r = 0.7275$) (ภาพที่ 8) ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบรวมกับปริมาณแป้งในหัวสด ($P < 0.05$, $r = 0.7561$) (ภาพที่ 9) และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในลำต้นรวมกับปริมาณแป้งในหัวสด ($P < 0.05$, $r = 0.7050$) (ภาพที่ 10) ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในหัวรวมกับปริมาณ

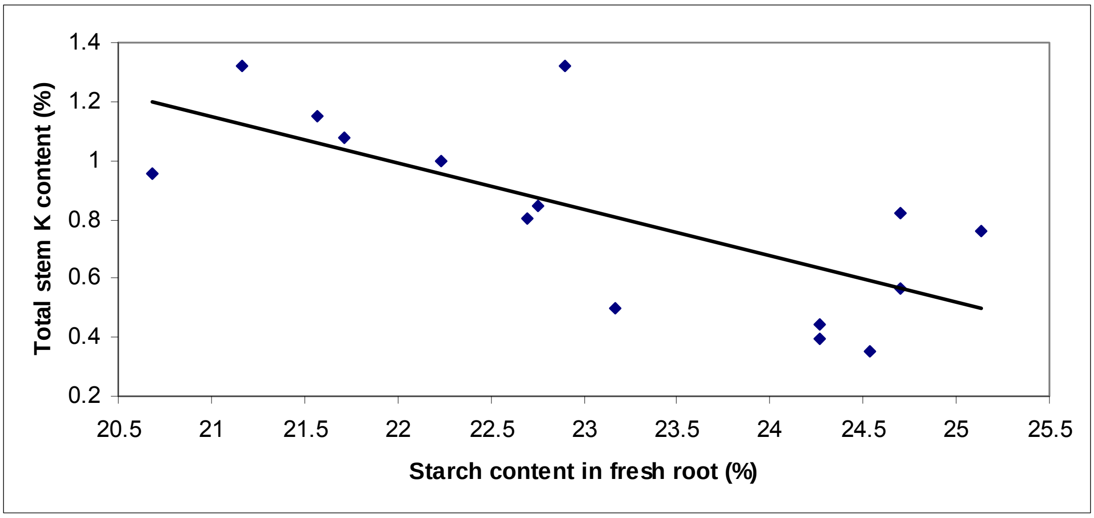
แป้งในหัวสด ผลจากการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการพบปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อมากจะทำให้มีปริมาณแป้งที่สะสมในหัวสดน้อย



ภาพที่ 8 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งในหัวสดและความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในใบดัชนี เมื่อมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก $r = 0.7275$, $P < 0.05$



ภาพที่ 9 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งในหัวสดและความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในใบรวม เมื่อมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก $r = 0.7561$, $P < 0.05$



ภาพที่ 10 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งในหัวสดและความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในลำต้นรวม เมื่อมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก r = 0.7050 , $P < 0.05$

แม้การทดลองในครั้งนี้ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตหัวสด รวมถึงสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตหัวสด ดังที่ El - Sharkawy (2006) ได้รายงานไว้ว่า ความสัมพันธ์ะหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบ และค่าของผลิตนั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวก กล่าวคือเมื่อใดก็ตามที่มันสำปะหลังให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบมากนั่นหมายความว่าผลผลิตของมันสำปะหลังจะให้ค่ามากตามนั้น (Hillock *et al.,* 2002) เนื่องจากการที่มันสำปะหลังมีพื้นที่ใบมาก สามารถมีพื้นที่ในการรับพลังงานแสงมาก และในขณะเดียวกันยังมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มากกว่าต้นที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบน้อย ผลการทดลองในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Lahai (2004) ที่รายงานว่า หากในใบมันสำปะหลังมีปริมาณของคลอโรฟิลล์ เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบมาก มักให้ค่าของผลผลิตที่สูง แต่การทดลองในครั้งนี้พบว่า ในทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทั้งทางใบร่วมกับทางดินให้ค่าของปริมาณคลอโรฟิลล์ในเดือนที่ 4 สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงที่มันสำปะหลังอายุได้ 3 – 6 เดือนนั้นเป็นช่วงวิกฤตของมันสำปะหลัง กล่าวคือเป็นช่วงที่มันสำปะหลังมีการสร้างหัว หากใบมันสำปะหลังมีพื้นที่ใบและปริมาณคลอโรฟิลล์มาก มีผลให้มีการสังเคราะห์แสงดี ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกนำไปสะสมเป็นแป้ง ทำให้มีการสร้างหัวได้มาก นอกจากนี้น้ำยังเป็นปัจจัยที่ทำให้การสังเคราะห์แสงของทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินอย่างเดียว หรือการให้ทางใบร่วมกับทางดินมีค่าของผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งที่สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ กอปรกับได้รับจุลธาตุที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงไปสะสมไว้ในลำต้นมากกว่า ทรีตเมนต์อื่นๆด้วยเช่นกัน

ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยกลับมีค่าของผลผลิตที่มากกว่าการให้ปุ๋ยเคมีและการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบจึงได้นำค่าความแข็งของดินในแต่ละแปลง (ตารางที่ 10) มาคำนวณและวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ค่า covariable) ด้วย เพื่อลดความลำเอียงเนื่องจากค่าความแข็งของดินนั้นมีความไม่เท่ากันในทุกๆแปลง โดยพบว่าทรีตเมนต์ที่ 2 และ 3 ให้ค่าของพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ในแปลงกล่าวคือ ดินมีความแข็งกว่าทรีตเมนต์ที่ 4, 5 และ 1 อย่างมาก จากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งของดินที่ให้ผลผลิตสูงสุด คือทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย มีค่าความแข็งของดิน ณ ความลึกที่ 45 เซนติเมตรน้อยกว่า กล่าวคือให้ค่าพลังงานแทงทะลุต่อหน่วยพื้นที่ต่ำกว่าทรีตเมนต์ที่ให้ค่าผลผลิตต่ำที่สุด คือทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับที่Yapa *et al.*, (1988) ได้รายงานไว้ว่า การแทงของรากถั่วจะลดลงไป 20 เปอร์เซ็นต์ หากค่าความแข็งของดินมีค่ามากกว่า 3.30 MPa

ดังนั้นจากผลการทดลองทั้งหมดในครั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบแก่ต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ในทุกๆหนึ่งเดือน ไม่ได้มีผลทำให้ การเจริญเติบโตในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และการพัฒนาพื้นที่ใบ ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุ มากกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในดินที่ปลูกมันสำปะหลังมีความอุดมสมบูรณ์ (soil fertility) อยู่ในเกณฑ์ดีแล้ว การให้ปุ๋ยทางใบจึงไม่แตกต่างจากการไม่ให้ปุ๋ย กล่าวคือ การดูดใช้ธาตุอาหารทางใบอาจลดลงเนื่องจากโภชนะในต้นดีอยู่แล้ว เมื่อพิจารณาค่าของปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า ในดินของทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยให้ค่าของปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยทางใบด้วย ขณะที่ช่วงที่มันสำปะหลังเจริญและกำลังมีการขยายของหัวมันเป็นช่วงที่มีฝนตกมาอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนที่ 9 จึงมีความเป็นไปได้ที่ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ยใช้แหล่งธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินเพียงพอต่อการเจริญเติบโต การให้ปุ๋ยทางดินถือเป็นการให้น้ำแก่ต้นมันทุกๆเดือนเพราะฉะนั้นพืชได้รับธาตุอาหารในรูปของสารละลายธาตุอาหาร ทั้งที่เป็นมหธาตุ และจุลธาตุ ทุกๆเดือน จึงมีความสามารถในการพัฒนาพื้นที่ใบ รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ ส่งผลให้ผลผลิตของมันสำปะหลังในทรีตเมนต์ที่ 4 และ 5 อันได้แก่ การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และการให้น้ำสกัดมูลสุกรทั้งทางใบร่วมกับทางดินจึงทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ในสอง ทรีตเมนต์นี้มีค่าสูงที่สุด ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากผลของวราภรณ์ (2545) ที่มีการฉีดพ่นน้ำสกัดมูลสุกรในทุกเดือนและทุกสองเดือนแก่มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ที่พบว่า การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทั้งสองทรีตเมนต์ทำให้ผลผลิตสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามสภาพและคุณสมบัติของดินที่วราภรณ์ (2545) ได้ทำการ

ฉีดพ่นน้ำสกัดมูลสุกรมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดินค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ ดินมีสภาพเป็นกรด (pH เท่ากับ 4.4) และเป็นดินทราย ปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 0.72 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 2.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 34.95 มก./กก. ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า สภาพดินนั้นมีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลังเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีโภชนะไม่เพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ของพืช

อย่างไรก็ตามช่วงเวลาของการฉีดพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบนั้น อาจยังเป็นช่วงที่ไม่เหมาะสม (ค่า VPD มีค่ามากกว่า 2.5 kPa ในบางวันที่ทำการฉีดปุ๋ย) ซึ่งมีผลต่อการปิดของปากใบอาจเป็นการไม่เอื้อประโยชน์ที่น้ำสกัดมูลสุกรจะเข้าทางปากใบ สำหรับการซึมผ่านของน้ำสกัดมูลสุกรเข้าไปทางชั้นคิวติเคิลของใบมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ดังนั้นควรศึกษาในเรื่องของสรีรวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์นี้ว่า มีการเปิดปิดของปากใบในช่วงใดบ้าง และนอกจากนี้ควรศึกษาความสามารถของสารจับใบต่อการละลายชั้นคิวติเคิลหรือ wax ของใบมันสำปะหลัง ในโอกาสต่อไป

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การให้ปุ๋ยทางดินถือเป็นการให้น้ำแก่ต้นมันทุกๆเดือน ฉะนั้นพืชจึงได้รับธาตุอาหารในรูปของสารละลายธาตุอาหารทั้งที่เป็นธาตุมหธาตุ และจุลธาตุ ทุกๆเดือน ส่งผลให้มีความสามารถในการพัฒนาพื้นที่ใบ รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ ส่งผลให้ผลผลิตของมันสำปะหลังในทรีตเมนต์ที่ 5 และ 4 อันได้แก่ การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน และการให้น้ำสกัดมูลสุกรทั้งทางใบร่วมกับทางดินจึงทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ในสองทรีตเมนต์นี้มีค่าสูงที่สุด เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในตารางที่ 14, 15 และ 16 พบว่า ทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบร่วมกันการรดทางดิน และทรีตเมนต์ที่มีการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด ซึ่งช่วงระยะเวลาก่อนที่มันสำปะหลังอายุ 4 เดือน (เดือนที่ 3) นั้น ถือเป็นช่วงระยะเวลาที่มันสำปะหลังมีการสร้างหัว (Hillock *et al.,* 2002) ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลังทั้งสองทรีตเมนต์ยังคงสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น เหตุที่ทรีตเมนต์ทั้งสองมีปริมาณของคลอโร-ฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมมากเนื่องจากในเดือนที่ 3 - 6 เป็นเดือนที่มันสำปะหลังใน ทรีตเมนต์ทั้งสองมีการพัฒนาในเรื่องของพื้นที่ใบ น้ำหนักใบสดและน้ำหนักใบแห้งสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น (แม้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม) เมื่อมีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งมากกว่า จึงมีชั้นของ มีโซฟิลล์ (mesophyll) ซึ่งเป็นชั้นที่เป็นที่อยู่ของคลอโรฟิลล์มากด้วยเช่นกัน จนเข้าสู่ระยะที่มันสำปะหลังอายุ 8 เดือนทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง และเปอร์เซ็นต์แป้ง ในสองทรีตเมนต์นี้มีค่ามากกว่าทรีตเมนต์อื่น สอดคล้องกับการ

ทดลองของ Lahai *et al*., (2003) ที่กล่าวไว้ว่า หากในใบมันสำปะหลังมีคลอโรฟิลล์เอ บีและคลอโรฟิลล์รวมสูง ผลผลิตจะสูงตามไปด้วย ดังนั้น ปริมาณคลอโรฟิลล์อาจเป็นปัจจัยโดยอ้อมที่สามารถประเมินผลผลิตของมันสำปะหลังได้ในอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้ มีข้อสังเกตว่าแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังบางส่วนอยู่ในบริเวณที่ใกล้กับแนวปลูกต้นไผ่ และ ต้นยูคาลิปตัส มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของแปลงทดลองเหล่านั้นต่ำลงไม่ว่าจะได้รับทรีตเมนต์ใดก็ตาม จึงอาจเป็นปัจจัยร่วมอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ การให้ปุ๋ยเคมีทางดินให้ผลผลิตต่ำที่สุดนั้น อาจเนื่องมาจากการเกิดปัญหาการชะละลายของดิน โดยปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งนี้คือ หลังจากที่มีการไถกลบปุ๋ยไปประมาณ 2 ถึง 3 วัน เกิดภาวะฝนตกหนัก พื้นที่ในการทดลองมีสภาพเอียงเล็กน้อย ดังนั้นอาจมีโอกาสที่ปุ๋ยเคมีจะมีการชะละลาย (leaching) เป็นไปได้สูง เมื่อพิจารณาจากปุ๋ยสูตรเคมีที่มีการให้ในการทดลองครั้งนี้คือ 21-10-10 (ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร) นั้น อาจเป็นปุ๋ยที่มีความสามารถในการละลายให้อยู่ในรูปของ soil solution ดีจนทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งหากเกิดการชะละลายขึ้น การให้ปุ๋ยเคมีทางดินอาจส่งผลให้ผลผลิตของมันสำปะหลังไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากภาพแผนที่แปลงแล้วจะพบว่า การไถพรวนของแปลงก่อนการทดลองและการสุ่มจับฉลากเพื่อเลือกบล็อกพบว่า ทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในพื้นที่ลาดเอียงลงไปจะอยู่ต่ำกว่าทรีตเมนต์ทีมีการใส่ปุ๋ยเคมี ฉะนั้นจึงมีโอกาสเป็นไปได้ที่น้ำจะพัดพานำธาตุอาหารไปลงในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอาจเกิดขึ้นได้ และทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ยนั้นมีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10

มันสำปะหลังในทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีทางดิน พบว่า มีการพัฒนาพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดรวมในช่วงอายุ 9 เดือนสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น อาจมีความเป็นไปได้ว่า ต้นมันสำปะหลังเอาผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ไปพัฒนาในส่วนของส่วนเหนือดิน (shoot) มากกว่ามาพัฒนาด้านใต้ดิน (root) ฉะนั้นผลผลิตของหัวสดในทรีตเมนต์จึงไม่ดีเท่าที่ควร

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบแก่ต้นมันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. การพ่นปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางใบแก่ต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ในทุกๆ หนึ่งเดือนไม่ได้มีผลทำให้ การเจริญเติบโตในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และการพัฒนาพื้นที่ใบ ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวสดมากกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่มีการให้ปุ๋ย

2. การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบให้ค่าของผลผลิตน้ำหนักหัวสดสูงที่สุด เปอร์เซ็นต์แป้งสูงรองจากการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบยังมีแนวโน้มทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวม ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้งเมื่อมันสำปะหลังอยู่ในอายุวิกฤต 4-6 เดือนมากที่สุดด้วย รวมทั้งให้ผลผลิตสูงกว่าทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ยเคมีและไม่ให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.07$)

3. ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และทองแดงในใบดัชนีของมันสำปะหลังในทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลงเมื่อมันสำปะหลังอายุมากขึ้น ในขณะที่ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมในใบดัชนีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมันสำปะหลังเข้าสู่อายุเก็บเกี่ยว ในขณะที่ธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และกำมะถันมีความผันแปร การฉีดพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบไม่ได้ทำให้มีปริมาณธาตุอาหารต่างๆในใบดัชนีเพิ่มขึ้นจากที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ยกเว้น เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 3 เดือน พบธาตุทองแดงในใบดัชนีสูง

4. ความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกธาตุมีการสะสมไว้ในส่วนใบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนของลำต้นและหัว ยกเว้นธาตุเหล็กที่มีการสะสมไว้ในส่วนลำต้นมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ใบ และหัว ตามลำดับ

5. การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวแห้งสูง น้ำหนักแห้งของเหง้าต่ำที่สุด น้ำหนักลำต้นสูงที่สุด (ลำต้นแข็งแรง) และน้ำหนักใบแห้งอยู่ในระดับปานกลาง การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบเพียงอย่างเดียวไม่ได้มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวแห้ง เหง้า ลำต้นและใบ จากน้ำหนักสดแตกต่างจากที่ไม่มีการให้ปุ๋ย นอกจากนี้การให้ปุ๋ยเคมีทางดิน สูตร 21-10-10 ให้ค่าของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวแห้งต่ำที่สุด น้ำหนักเหง้าสูง น้ำหนักแห้งลำต้นปานกลาง และน้ำหนักใบแห้งจากน้ำหนักสดมีแนวโน้มสูงที่สุดในเดือนเก็บเกี่ยว

6. พบสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมกับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนีเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 6 เดือน

7. พบสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณแป้งในหัวสดและความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในใบดัชนี ใบรวมและลำต้นรวมเมื่ออายุเก็บเกี่ยว 10 เดือน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการค้าต่างประเทศ. 2547. **มันสำปะหลังวัตถุดิบอรรถประโยชน์สูง.** กระทรวงพาณิชย์ ประเทศไทย, กรุงเทพฯ

กรมพัฒนาที่ดิน. 2542. **คู่มือการประเมินคุณภาพที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ**. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ

_________. 2547. **มันสำปะหลัง.** เอกสารวิชาการลำดับที่ 7/2547 , กรุงเทพฯ

_________. 2544. **การผลิตและการใช้น้ำสกัดชีวภาพ.** *ใน* รายงานเวทีเสวนาเกษตรระดับชาติ. 22-23 พ.ค. 2544. ณ โรงแรมเคพีแกรนด์ อ.เมือง, จันทบุรี.

กองการค้าสินค้าข้อตกลง กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 2545. **ยุทธศาสตร์มันสำปะหลังเพื่อการพัฒนาแบบยั่งยืน**. รายงานคณะกรรมการบริหารสมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประจำปี 2545 -2546

คณะทำงานจัดการความรู้ กรมวิชาการเกษตร. 2550. เอกสารวิชาการเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรจำกัด ,กรุงเทพฯ

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2547. **พืชเศรษฐกิจ**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 454 น.

คามินท์ ไชยมงคล. 2551. **ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของแร่ธาตุในอาหารและแร่ธาตุที่เหลือในมูลสุกร**. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จรุงสิทธ์ ลิ่มศิลา และ อัจฉรา ลิ่มศิลา. 2537. ประวัติการแพร่กระจาย ความสำคัญ และดินฟ้าอากาศที่เหมาะสม, น. 1-13. *ใน* สถาบันวิจัยพืชไร่, ผู้รวบรวม. **มันสำปะหลัง**. สถาบันวิจัยพืชไร่กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จักรพันธุ แสงกล้า. 2549. **ผลของการให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำทางใบต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จำลอง เจียมจำนรรจา. 2541. มันสำปะหลัง *ใน* **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2546. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลัง.** เอกสารประกอบการฝึกอบรมเพื่อสร้างวิทยากรมันสำปะหลังในท้องถิ่น ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 30 เม.ย. -4 พ.ค. 2546.

__________. 2532. **มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมการแปรรูปและการใช้ประโยชน์**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

__________, จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์, พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และสมยศ พุทธเจริญ. 2531. ปริมาณโปรตีนในใบมันสำปะหลัง 13 พันธุ์. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 21(3) : 176 – 181.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2526. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไชยา อุ้ยสูงเนิน. 2533. **คู่มือสุกร.** ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท, นนทบุรี.

ดนัย ศุภาหาร. 2537. พฤกษศาสตร์และพันธุ์ของมันสำปะหลัง, น. 14-30. *ใน* สถาบันวิจัยพืชไร่, ผู้รวบรวม. **มันสำปะหลัง**. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 108 น.

ธงชัย มาลา. 2544. **การผลิตน้ำปุ๋ยหมัก.** สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

นิภาวรรณ์ โพธิสุวรรณ. 2548. **ผลของการใช้สารสกัดพืช สารสกัดปลา ไคโตซาน และภูไมท์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปฏิมา อู่สูงเนิน, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ อุทัย คันโธ. 2548. *ใน* **รายงานผลการดำเนินงานโครงการร่วมส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทย ปี 2548**. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์, ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

ปิยะ ดวงพัตรา, วิจารณ์ วิชชุกิจ, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, ปิยะวุฒิ พูลสงวน, จำลอง เจี่ยมจำนรรจา, เอ็จ สโรบล และวัชรี เลิศมงคล. 2545. **ดินและปุ๋ยมันสำปะหลัง.** *ใน* รายงานคณะกรรมการบริหารสมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประจำปี 2545 -2546

__________, ____________, ____________________, ____________, ________ ________, ________, __________. 2542. **ดินและปุ๋ยมันสำปะหลัง.**เอกสารเผยแพร่วิชาการ โครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจ**.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยะดา ธีรกุลพิศุทธิ์. 2542. **สรีรวิทยาของพืช.** ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ปิยะวุฒิ พูลสงวน, วิจารณ์ วิชชุกิจ, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, เอ็จ สโรบล, จำลอง เจียมจำนรรจา, ปิยะ ดวงพัตรา และ วัชรี เลิศมงคล. 2542. **เทคนิคในการเพิ่มผลผลิตและ**

ปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลัง. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ โครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรชัย ไพบูลย์. 2550. **ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบปาล์มน้ำมันระหว่างสายต้นที่ได้จากเนื้อเยื่อและต้นที่ได้จากเมล็ด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์, เจษฎา ภัทรเลอพงษ์, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และ เพ็น สายขุนทด. 2537. **ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งใบและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบมันสำปะหลัง 3 พันธุ์.** รายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 32 . สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก, พิษณุโลก.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2547. **การให้ปุ๋ยทางใบ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

________. 2546. **ธาตุอาหารพืช** (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วราภรณ์ หม่อมงาม. 2547. **ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบมันสำปะหลังต่อผลผลิตเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลังและต่อคุณค่าทางอาหารของมันเส้น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

วิชระ พระภูจำนงค์. 2541. **ปัจจัยที่มีผลต่อความรู้ ทัศนคติและการปฏิบัติในการป้องกันหอยเชอรี่ของเกษตรจังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตการเกษตร. 2546. **ระบบการขยายผลผลิตข้าว.** คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2540. **ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร**. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ. ปีที่ 43 ฉบับที่ 488.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, ถวิล ครุฑกุล, ไพบูลย์ ประพฤติธรรม และอำนาจ สุววรณฤทธิ์. 2527. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สัมพันธ์ คัมภิรานนท์. 2526. **สรีรวิทยาของพืช.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. **มันสำปะหลังโรงงาน ; เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ ปี 2548 -2550.** ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

____________. 2551.**มันสำปะหลังโรงงาน: เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ ปี 2542 - 2551.** ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

____________. 2551.**มันสำปะหลังโรงงาน: เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ เป็นรายภาค และรายจังหวัด ปี 2549- 2551.** ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, ปฏิมา อู๋สูงเนิน และ อุทัย คันโธ. 2550. **การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่างๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ร่วมกับ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครปฐม. เอกสารโครงการพัฒนาของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่างๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจจังหวัดนครปฐม เลขที่ 2/2549.

สุรชัย พัฒนพิบูล. 2546. **ประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักบางชนิดใน**

ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุริยา สาสรักกิจ. 2542. ปุ๋ยชีวภาพ. **วารสารดินและปุ๋ย.** 21(3): 152-171.

โสภณ สินธุประมา. 2526. **ประวัติ ความสำคัญ และดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมในมันสำปะหลัง**. เอกสารเล่มที่ 7 งานประมวลและสถิติ กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ : ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยฯ, กรุงเทพฯ

อุทัยวรรณ คันโธ. 2551. **การศึกษาคุณสมบัติบางประการและปริมาณธาตุอาหารหลัก รองและจุลธาตุในน้ำสกัดมูลสุกร 5 ระยะจากแหล่งฟาร์มสุกรที่แตกต่างกัน.**ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โอภาษ บุญเส็ง. 2546. **ศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้ง ชีวเคมีในหัว และเคมีฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลัง: พันธุ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร.** รายงานผลการทดลองมันสำปะหลัง ปี 2545, ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง, สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6

__________. 2531. **การศึกษาการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Alves, A. A. C. and Setter, T. L. 2004. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: Cell proliferation, cell expansion and delayed development. **Annals of Botany.** 94: 605-613.

Angelov. M.N., J. Sun., G.T. Byrd., R.H. Brown. and C.C. Black. 1993. Novel characteristics of cassava, *Manihot esculenta* Crantz, a reputed C3-C4 intermidiate photosynthesis species. **Photosynthesis Research**. 38: 61-72.

A.O.A.C. 1980. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 16th ed., AOAC International, Gaithersburg, Maryland, U.S.A.

Baghour, M., J. M. Ruiz, and L. Romero. 2000. Metabolism and efficiency in nitrogen utilization during senescence in pepper plants: Response to nitrogenous fertilization. **Journal of Plant Nutrition** 23: 91-101.

Barker, A. V. and D. J. Pilbeam. 2007. **Handbook of Plant Nutrition**. Taylor & Francis Group, CRC Press, USA. 613 p.

Brady, N. C. and R. R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey. USA. 965 p.

Bremner, J. M. and M. A. Tabatabai. 1972. Use of an ammonia electrode for determination of ammonium in Kjeldahl analysis of soil. Comm. **Soil Science and Plant analysis** 3(2): 159 – 165.

Cao, W. and T. W. Tibbitts. 1992. Growth, carbon dioxide exchange and mineral accumulation in potatoes grown at different magnesium concentrations. **Journal of Plant Nutrition**. 15(9):1359 – 1371.

CIAT. 1974. **Cassava program**. Annual Report Centro International de Agriculture Tropical. Cali, Colombia. 260 p.

Chaignon, V., F. Bedin and P. Hinsinger. 2002. Copper bioavailbility and rhizosphere pH changes as affected by nitrogen supply for tomato and oilseed rape cropped on an acidic

and calcareous soil. **Plant and Soil**. 243: 219 – 228.

Clarkson, D. T. and C. B. Scattergood. 1982. Growth and phosphate transport in barley and tomato plant during the development of and recovery from, phosphate-stress. **Journal of Experimental Botany.** 33: 865-875.

Cock, J. H., D. Franklin, G. Sandoval and P. Juri. 1979. The ideal cassava plant for maximum yield. **Crop Science.** 19: 271-279.

Cruz, J. L, P. R. Mosquim, C. R. Pelacani, W. L. Araujo and F.M. DaMatta. 2003. Photosynthesis impairment in cassava leaves in response to nitrogen deficiency. **Plant and Soil**. 257: 417 – 423.

Cushman, K. E. and R. G. Snyder. 2002. Swine effluent compared to inorganic fertilizers for tomato production. **Journal of Plant Nutrition**. 25(4): 809 – 820.

Donald, C. M. and J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. **Advance Agronomy**. 28: 361-405.

Edwards, G.E., E. Sheta , B.D. Moore., Z. Dai, V.R. Franceschi, S.H. Cheng, C.H. Lin and M.S.B. Ku. 1990. Photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). a C3 species with chlorenchymatous bundle sheath cells. **Plant and Cell Physiology**. 31: 1199-1206

Ekanayake, I. J. U. C. Okarter and M. T. V. Adeleke.1998. Dry season dust alters photosyntheis characteristics of field grown cassava in the dry season in two agroecozones of Nigeria. *In*: **Root Crops and Poverty Alleviation**. Akoroda M. O. and Ekanayake I. J. (Eds.). Proceeding of Sixth Symposium of ISTRC-AB, Lilongwe, Malawi, 22 – 28 Oct. 1995. 420 pp.

___________., Dixon, A. G. O. and M. C. M. Porto. 1996. Performance of various cassava clones in the dry savannah region of Nigeria. *In*: **Tropical Tuber Crops: Problems, Prospects and Future Strategies**. Kump, G. T., Palaniswamy, M. S., Potty, V. R., Padmaja, G., Kabeerathumars, S. and Pillai, S. V. (Eds.), pp. 207 – 215. Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi, India.

___________. 1994. Deleterious influence of waterlogging in warm climates. **Acta Horticulture** 380: 506-510.

El- Sharkawy, M. A. 2006. Review : International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica**. 44(4): 481 – 512.

________________. 2004. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**. 56: 481-501.

________________., L. F. Cadavid and S.M. De Tafur. 1998. Nutrient use efficiency of cassava differs with genotype architecture. Acta Agron Univ. **Nacional-Palmira-Colombia.** 48:23-32

________________. and J.H. Cock. 1990. Photosynthesis of cassava (*Manihot esculenta*). **Agriculture**. 26: 325-340.

_______________ ., J.H. Cock. and G.D. Cadena. 1984. Influence of difference in leaf anatomy on net photosynthetic rates of same cultivars of cassava. **Photosynthesis Respiration**. 5: 235-242.

Epstein, E. and A. J. Bloom. 2005. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associations, Inc. Publishers.

Fageria, N. K. 2009. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. Taylor & Francis Group, CRC Press, USA. 430 p.

___________. and H. R. Gheyi. 1999. **Efficient Crop Production**. Campina Grande, Brazil: Ferderal University of Paraiba.

FAO. 1980. **Review of Data on Reponses of Tropical Crops for Fertilizers**. 1961 -1977 FAO. Rome, Italy.

Flore, J. M. and M. J. Bu kovac. 1972. Factors influencing absorption of ^{14}C (2-chloroethyl) phosphoric acid by leaves of cherry**. Journal of the American Society for Horticultural Science**. 107: 965-968.

Franke, W. 1967. Mechanism of foliar applier penetration of solution. **Annual Review of Plant Physiology.** 8: 248-300.

Freney , J. R., K. Spencer and M. B. Jones. 1978. The diagnosis of sulfer deficiency in wheat. **Agriculture Respond** 29: 727-738.

Fu, J. and B. Huang. 2003. Effects of foliar application of nutrients on heat tolerance of creeping bentgrass. **Journal of Plant Nutrition**. 26: 81-96.

Ghosh, S.P., T. Ramanujam, J.S. Jos, S.N. Moorthy and R.G. Nair. 1988. **Tuber Crops**. Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, pp. 3-146.

Gray, R. C. and G. W. Akin. 1984. Foliar fertilization. *In* : **Nitrogen in Crop Reproduction** (R. C. Dinauer et. Al. eds). American Society of Agronomy**,** Wisconsin. pp. 579-584.

Hagens, P. and C. Sittibusaya. 1990. Short and long term aspects for fertilizer applications on cassava in Thailand. In Howeler, R. H. ed**. Proceeding 8th Symposium International Society of Tropical Root Crops**, Bangkok, Thailand, 30 October – 5 November, 1988, pp. 244-259.

Halsted, M and J. Lynch. 1996. Phosphorus responses of C_3 and C_4 species. **Journal of Experimental Botany.** 47: 497 –505.

Hanson, J. B. 1984. The function of calcium in plant nutrition. *In* **Advance in Plant Nutrition**. P. B. Tinker and A. Louchli, eds. Praeger Publishers. New York. pp. 149-207.

Hershey, C. H. and D. L. Jennings. 1992. Progess in breeding cassava for adaptation to stress. **Plant Breeding Abstracts**. 62: 823 – 831.

Hershey, C. H., K. Kawano, J. C. Lozano and A. C. Bellotti. 1988. Breeding cassava for adaptation to a new ecosystem: a case study from the Colombian Llanos. *In*: **Proceeding of the 7th Symposium of the International Society of Tropical Root and Tuber Crops**. pp. 525 – 540.

___________. 1984. Breeding cassava for adaptation to stress condition: development of a methodology. *In*: **Proceeding of the 6th Symposium of the International Society of Tropical Root and Tuber Crops**. Pp. 303 – 314.

Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. **Soil fertility and fertilizers : an introduction to nutrient management**. 7th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey. USA. 515 p.

Hillocks, R.J., J.M. Thresh and A.C. Bellotti. 2002. **Cassava: Biology, Production and Utilization**. CABI Publishing, UK.

Howeler, R.H. 1996. Diagnosis of nutritional disorder and soil fertility maintenance of cassava. In Kulup, G.T., Polaniswami, M. S. and Potty, V. P., eds. **Tropical Tuber Crops: Problems, Prospects and Future Strategies.** Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, India, pp. 181-193.

___________. 1991. Long- term effect of cassava cultivation on soil productivity. **Field Crops Research**. 26: 1 -18

___________. 1990. Phosphorus requirements and management of tropical root and tuber crops. *In:* **Proceeding Symposium on Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania. IRRI**, Los Banos, Philippines. 6-10 March, 1989, pp. 427 – 444.

___________. and L. F. Cadavid. 1990. Short- and long – term fertility trials in Columbia to determine the nutrient requirements of cassava. **Fertilizer Research**. 26: 61-80.

_______. 1985. Mineral nutrition and fertilization of cassava. *In* **: Cassava Research. Production and Utilization**. UNDP-CIAT Cassava Program. Cali, Colombia, pp. 249-
320.

_______. and L. F. Cadavid. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12 – month growth cycle of cassava. **Field Crops Research**. 7: 123 – 139.

_______. , D. G. Edwards, C. J. Asher. 1981. Application of the flowering solution culture technique to studies involving mycorrhizae. **Plant and Soil**. 59:179-183.

Jennings, D. L. and C. Iglesias. 2002. Breeding for crop improvement. *In:* **Cassava: Biology, Production and Utilization**. Hillock, R. J., Tresh, J. M., Bellotti, A. C. (ed.) pp. 149-166. CABI Publ., New York.

Jones, J. B. and D. M. Huber. 2007. Magnesium and plant disease. *In*: **Mineral nutrition and plant disease**, L C. Datnoff, W. H. Elmer, and D. M. Huber, Eds., 95 -100. St. Paul, MN: The American Phytopathological Society.

_________. 2001. **Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis**. CPR Press, London.

Joshi, A.K. 1997. Genetic factors affecting photosynthesis. *In* : **Handbook of photosynthesis**. Pessarakli,M, ed .Marcel Dekker, New York-Basel-Hong Kong. pp. 751-767

Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. **Trace Elements in Soils and Plants**, 2^{nd} edition. Boca Raton, FL: CRC Press.

Kasele, I. N. 1980. **Investigation on the effect of shading, potassium and nitrogen and drought on the development of cassava tuber at the early stage o plant growth**. MSc. Thesis, University of Ibadan. Ibadan, Nigeria.

Kawano, K. 2003. Thirty years of cassava breeding for productivity –biological and social factors for success. **Crop Science**. 43: 1325 – 1335.

_________., P. Daza, A. Amaya, M. Rios and W.MF. Goncalves. 1978. Evaluation of cassava germplasm for productivity. **Crop Science**. 18: 377 – 382.

Kim, T., H. A. Mills and H. Y. Wetzstein. 2002. Studies on the effect of zinc supply on growth and nutrient uptake in pecan. **Journal of Plant Nutrition**. 25(9):1987- 2000.

Lahai, M. T., I. J. Ekanayake and J. B. George. 2003. Leaf chlorophyll content and tuberous root yield of cassava in inland valley. **African Crop Science Journal** 11: 107-117.

Lancaster, P.A., J.S. Ingram, M.Y. Lim and D.G. Coursey. 1982. Traditional cassava based foods: Survey of processing techniques. **Economic Botany**. 36 (1): 12-45.

Loneragan, J.F. 1988. Distribution and movement of manganese in plants. *In*: **Manganese in soil and plants** R.D. Graham, R.J. Hannam, N. C. Uren, eds.. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 113 – 121.

Lui, D., W. Jiang and W. Hou. 2001. Uptake and accumulation of copper by roots and shoots of maize. **Journal of Environmental Science**. 13:228 – 232.

Lykkesfeldt, J. and B.L. Miller. 1994. Cyanogenic glucoside in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Chemica Scandinavica** 48:178 -180.

Lynch, J., A. Lauchli, and E. Epstein. 1991. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. **Crop Science**. 31: 380 – 387.

Madeira, A. C. and A. de Varennes. 2005. Use of chlorophyll meter to assess the effect of nitrogen on sweet pepper development and growth. **Journal of Plant Nutrition**. 28: 1133-1144.

Mahon, J.D., S.B. Lowe and L.A. Hunt. 1976. Photosynthesis and assimilate distribution in relation to yield of cassava grown in controlled environments. **Canadian Journal of Botany** .54: 1322-1331.

___________________________________. 1977. Variation in the rate of photosynthesis CO_2 uptake in cassava cultivars and related species of *Manihot*. **Photosynthetica**. 11: 131-138.

Marschner, H. 1995. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2nd edition, Academic Press. New York. pp. 201 -312.

Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. **Principles of Plant Nutrition**. 5th edition, Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 849 p.

Morard, P., A. Pujos, A. Bernadac and G. Bertoni. 1996. Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and mineral nutrition. **Journal of Plant Nutrition.** 19: 115-127.

Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. **Plant Physiology**. 69: 1376-1381.

Muchovej, R. M., P. R. Newman and Y. Luo. 2005. Sugarcane leaf nutrient concentrations: with or without midrib tissue. **Journal of Plant Nutrition**. 28: 1271 – 1286.

Nartey, F. 1973. Biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava (*Manihot* spp.), pp. 73-87. *In* **Chronic Cassava Toxicity**. Proceeding of an Interdisciplinary Workshop, London, England, 29 – 30 January 1973. Int. Develop. Res. Center Monogr. IDRC. Ottawa, Canada.

Nelson, T.H., and B.Veierskov. 1988. Distribution of dry matter in sweet pepper plants during the juvenile and generative growth phases. **Scientia Horticulturae**. 35: 179-187.

Okogun, J. A., N. Sanginya. And E. O. Adeola. 1999. **Soil Fertility Maintenance and Strategies for Cassava Production in West and Central Africa. IITA**. Ibadan, Nigeria (mimeography)

Oosterhuis, D. M. 1999. The cotton leaf cuticle and absorption of foliar-applied fertilizer. Proceeding " **Second International Workshop on Foliar Fertilization**". 4-10 April, 1999. Bangkok, Thailand.

Oyetunji, O. J., I. J., Ekanayake, and O. Osonubi. 1998. Photosynthetic photochemical response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to water stress and mycorrhizal inoculation. **Tropical Agriculture (Trinidad)** 75 (2): 328-329.

Peralta-Videa, J. R., J. L. Gardea – Torresdey, E. Gomez, K. J. Tieman, J. G. Parsons and G. Carrillo. 2002. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfafa growth and heavy metal uptake. **Environmental Pollution**. 119 : 291 – 301.

Pereira, J.K. 1977. **Fisiologia de la yuca. Escuela de Ingenieria Agronomica**, Universidad de Oriente, Jusepin, Venezuela.

Porter, P. S. and C. A. Sanchez. 1992.The effect of soil properties on phosphorus sorption by Everglades Histosols. **Soil Science**. 154:387 – 398.

Qui, J and D. W. Israel. 1992. Diurnal starch accumulation and utilization in phosphorus deficient soybean plants. **Plant Physiology**. 98: 316 – 323.

Ramani, S. and S. Kannan. 1987. Manganese absorption and transport in rice. **Physiol. Plant** 33: 133-137.

Ramanujam, T. 1990. Effect of moisture stress on photosynthesis and productivity of cassava. **Photosynthetica**. 24: 217-224.

____________ . and R.S. Birader. 1987. Growth analysis in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Indian Journal of Plant Physiology**. 30: 144-153.

____________. 1985. Leaf density profile and efficiency in partitioning dry matter among high and low yielding cultivars of cassava (*Manihot esculenta*. Crantz.). **Field Crops Research**. 10: 291-303.

____________ and J.S. Jos. 1984. Influence of light intensity on chlorophyll distribution and anatomical characters of cassava leaves. **Turrialba**. 34: 467-471.

SAS. 2003. SAS/SAT Guide for Personal Computers. Version 9.1.3 ed. SAS Institute Inc. North Carolina.

Schroeder, J. I., G. J. Allen, V. Hugouvieux, J. M. Kwak, and D. Waner. 2001. Guard cell signal transduction. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 52: 627 – 658.

Shkolnik, M. Ya. 1984. **Trace Element in Plants**. Elsevier. New York.

Singha, S. K. and T. V. Nair. 1971. Leaf area during growth and yielding capacity of cassava. **The Indian Journal of genetics and Plant Breeding** 31: 16.20.

Sittibusaya, C., C. Narkaviroj and D. Tunmaphirom. 1987. Cassava soil research in Thailand,pp. 145-156. *In* :R.H. **Cassava Breeding and Agronomy Research in Asia**. Howeler and K. Kawano, eds. Proceeding of a Regional Workshop Held in Rayong, Oct. 26-28, 1987

Swiader, J. M. and A. Moore. 2002. SPAD-Chlorophyll meter response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**. 25(5): 1089 – 1100.

Swietlik, D. and M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. **Horticulture Review.** 6:287-399.

Teubner, F. G., M. J. Bukovac, S. H. Wittwer, B. K. Guar. 1962. The utilization of foliar-applied radiophosphorus by several vegetable crops and tree fruits under field conditions. **Michigan Agricultural Experiment Station. Quar. Bull**. 44:455 – 465.

Upadhyay, A. P., M. R. Deshmukh, R. P. Rajput, S. C. Deshmukh. 1988. Effect of sources, levels and methods of phosphorus application on plant productivity and yield of soybean. **Indian Journal of Agronomy.** 33: 14 -18.

Walkley, A. and C. A. Black. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**. 37: 29 – 38.

Wang, Q., J. Chen, R. H. Stamps and Y. Li. 2005. Correlation of visual quality and SPAD reading of green-leaved foliage plants**. Journal of Plant Nutrition**. 28: 1215 – 1225.

Wheatley, C. C., Chuzel, G. 1993. Cassava: the nature of the tuber and use as a raw material. In : Macrae, R., Robinson, R. K. and Sadler, M. J. (eds) **Encyclopedia of Food Science, Food Technology, and Nutrition**. Academic Press, San Diego, California, pp. 734-743.

Williams, C.N. 1972. Growth and productivity of tapioca (*Manihot utillisima*).Ⅲ. Crop ratio, spacing and yield. **Experimental Agriculture**. 8: 15-23.

Yapa, L. G. G., Fritton, D. D., Willatt, S. T. 1988. Effect of soil strength on root growth under different water conditions. **Plant and Soil**. 109: 9-16.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผนวก

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division and FAO Staff, 1973)

1. ขั้นมาตรฐานของปฏิกิริยาดิน (soil pH) (ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ	pH
1. กรดรุนแรงมาก (Very extremely acid)	< 4.0
2. กรดรุนแรง (Extremely acid)	4.0 – 4.4
3. กรดจัดมาก (Very strongly acid)	4.5 – 5.0
4. กรดจัด (Strongly acid)	5.1 -5.5
5. กรดปานกลาง (Medium acid)	5.6 – 6.0
6. กรดเล็กน้อย (Slightly acid)	6.1 – 6.5
7. กลาง (Neutral)	6.6 – 7.3
8. ด่างเล็กน้อย (Mildly alkaline)	7.4 – 7.8
9. ด่างปานกลาง (Moderately alkaline)	7.9 – 8.4
10. ด่างจัด (Strongly alkaline)	8.5 – 9.0
11. ด่างจัดมาก (Very strongly alkaline)	> 9.0

2. ขั้นมาตรฐานของค่าการนำไฟฟ้าสารละลายดิน (electric conductivity)

ระดับ	ความเค็ม	พิสัย (dS/m)
1. ต่ำมาก	ไม่เค็ม	> 0 - 2
2. ต่ำ	เค็ม	> 2 – 4
3. ปานกลาง	เค็มปานกลาง	> 4 – 8
4. สูง	เค็มมาก	> 8 – 16
5. สูงมาก	เค็มมากที่สุด	> 16

3. ขั้นมาตรฐานปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter)

ระดับ	อินทรียวัตถุ (% OM)
1. ต่ำมาก	< 0.5
2. ต่ำ	0.5 – 1.0
3. ค่อนข้างต่ำ	1.0 – 1.5
4. ปานกลาง	1.5 -2.5
5. ค่อนข้างสูง	2.5 – 3.5
6. สูง	3.5 – 4.5
7. สูงมาก	> 4.5

4. ขั้นมาตรฐานของความเป็นประโยชน์ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (available P) (Bray No. 2)

ระดับ	Available P (ppm)
1.ต่ำมาก	< 3
2.ต่ำ	3 – 6
3.ค่อนข้างต่ำ	6 – 10
4.ปานกลาง	10 – 15
5.ค่อนข้างสูง	15 – 25
6.สูง	25 – 45
7.สูงมาก	> 45

5. ขั้นมาตรฐานของความเป็นประโยชน์ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable K) (Ammonium Acetate)

ระดับ	Exchangeable K (ppm)
1. ต่ำมาก	< 30
2. ต่ำ	30 – 60
3. ปานกลาง	60 – 90
4. สูง	90 – 120
5. สูงมาก	>120

6. ขั้นมาตรฐานของความเป็นประโยชน์ของปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Ca and Mg) (Ammonium Acetate)

ระดับ	มก. Ca/กก.	มก. Mg / กก.
1. ต่ำมาก	< 400	< 36
2. ต่ำ	400 – 1,000	36 – 120
3. ปานกลาง	1,000 – 2,000	120 – 360
4. สูง	2,000 – 4,000	360 – 960
5. สูงมาก	> 4,000	> 960

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2542)

7. ขั้นมาตรฐานของความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (cation exchange capacity)

ระดับ	CEC (me/100g)
1. ต่ำมาก	< 3
2. ต่ำ	3 – 5
3. ค่อนข้างต่ำ	5 – 10
4. ปานกลาง	10 – 15
5. ค่อนข้างสูง	15 – 20
6. สูง	20 – 30
7. สูงมาก	>30

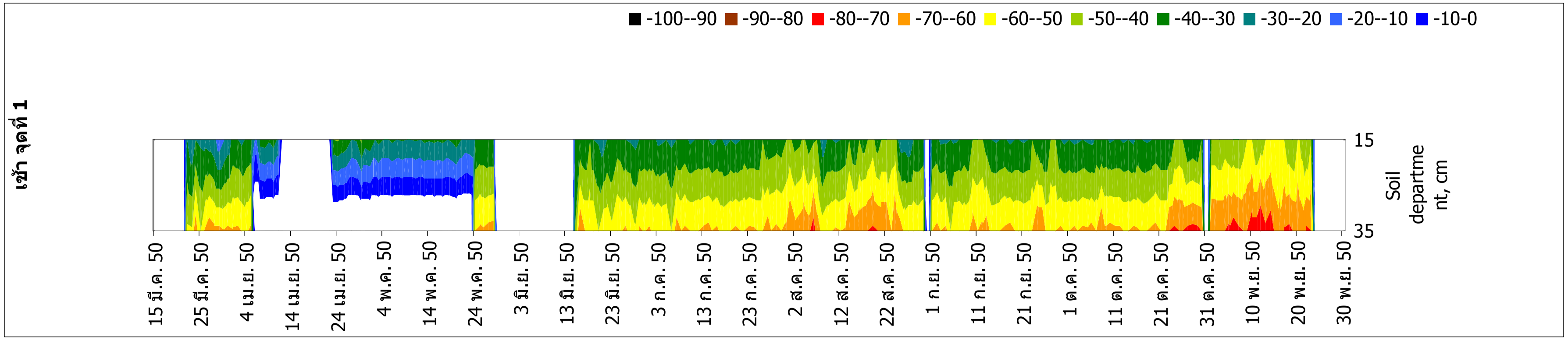
8. ขั้นมาตรฐานของจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ในดิน (มก. ธาตุ/กก.) (สกัดด้วย DTPA)

ระดับ	Cu	Fe	Mn	Zn
1. ต่ำมาก	< 0.3	< 0 – 5	< 0 – 4	< 0.5
2. ต่ำ	0.3 – 0.8	5 – 10	4 – 8	0.5 – 1.0
3. ปานกลาง	0.9 – 1.2	11 – 16	9 – 12	1.1 – 3.0
4. สูง	1.3 – 2.5	17 – 25	13 – 30	3.1 – 6.0
5. สูงมาก	> 2.5	> 25	> 30	> 6.0

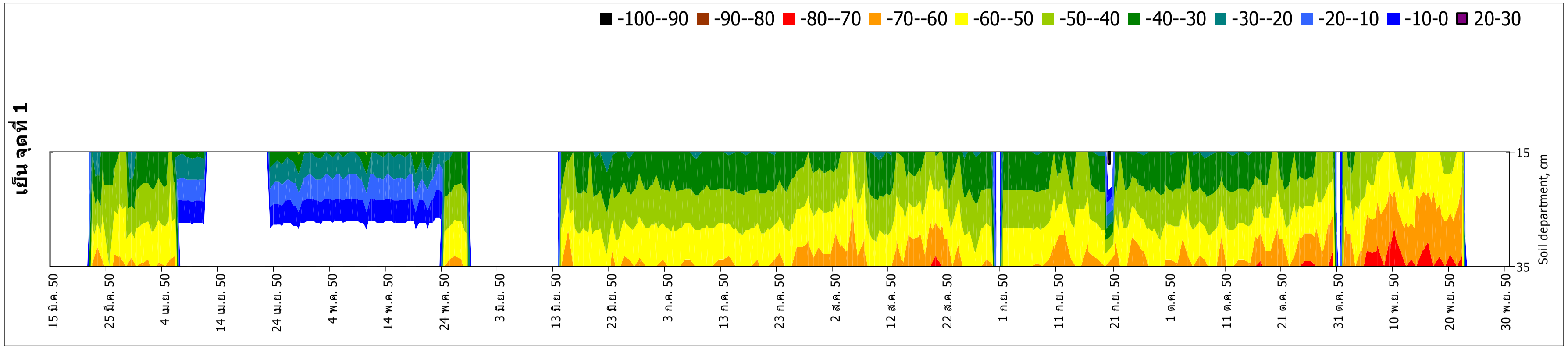
ที่มา : Jones (2001)

ภาคผนวก ข

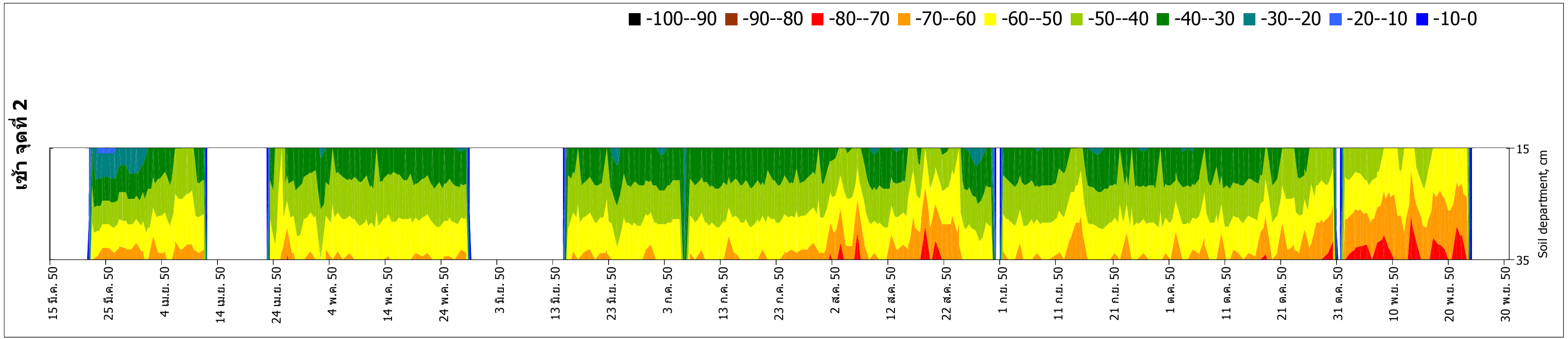
ภาพผนวก



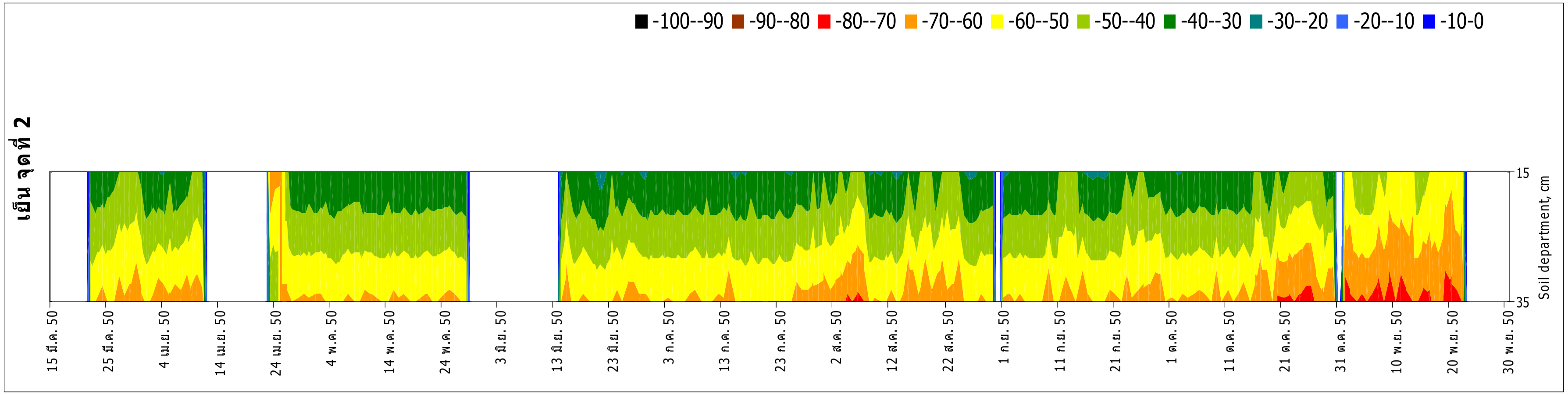
ภาพผนวกที่ ข1 ค่าแรงดึงของน้ำในดิน (matric potential, (Ψm) (kPa) ของจุดที่ 1 (หัวแปลง) ช่วงเช้า ระหว่างวันที่ 22 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



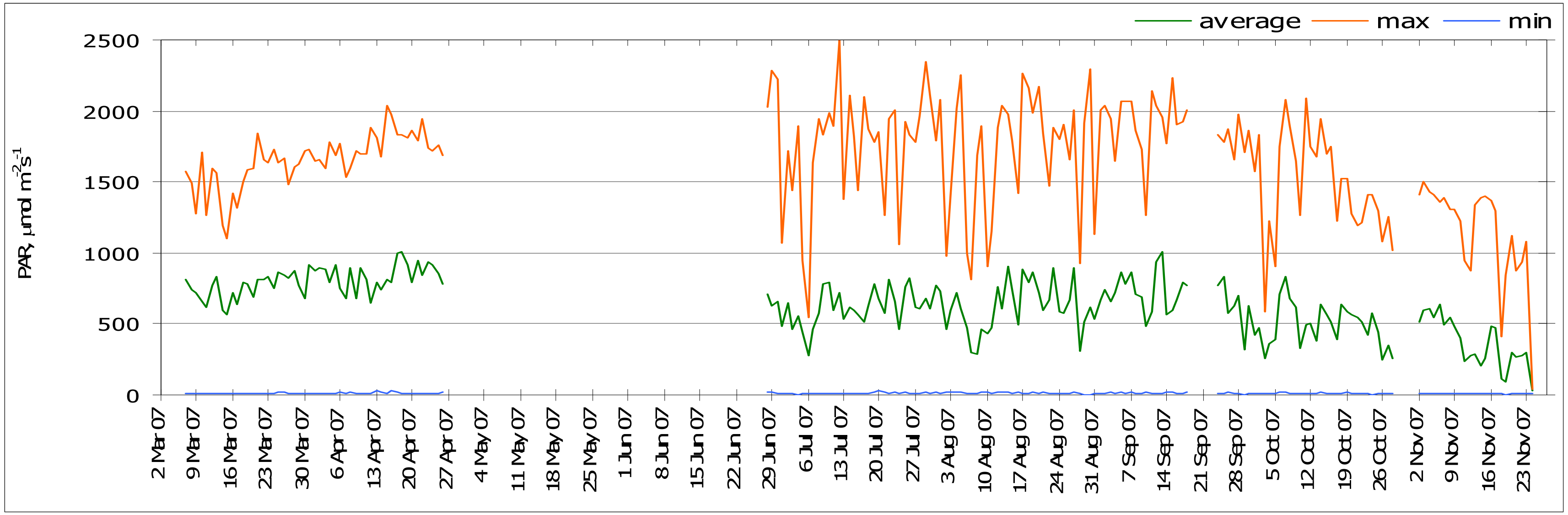
ภาพผนวกที่ ข2 ค่าแรงดึงของน้ำในดิน (matric potential, (Ψm) (kPa) ของจุดที่ 1 (หัวแปลง) ช่วงเย็น ระหว่างวันที่ 22 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



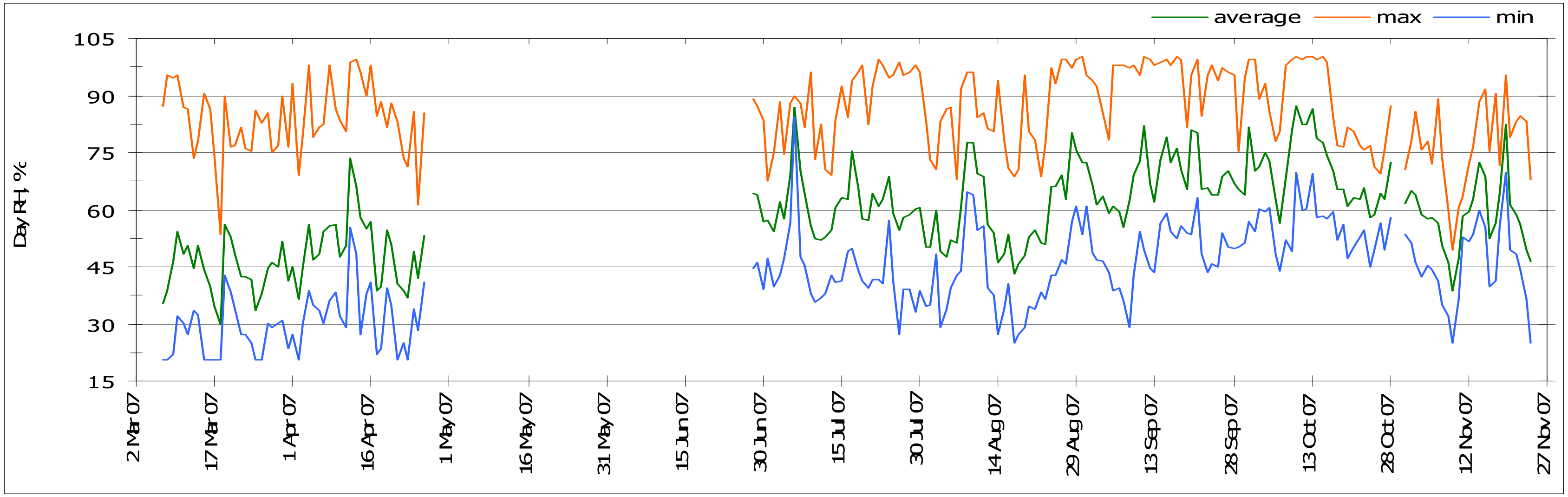
ภาพผนวกที่ ข3 ค่าแรงดึงของน้ำในดิน (matric potential, (Ψm) (kPa) ของจุดที่ 2 (ท้ายแปลง) ระหว่างวันที่ 22 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



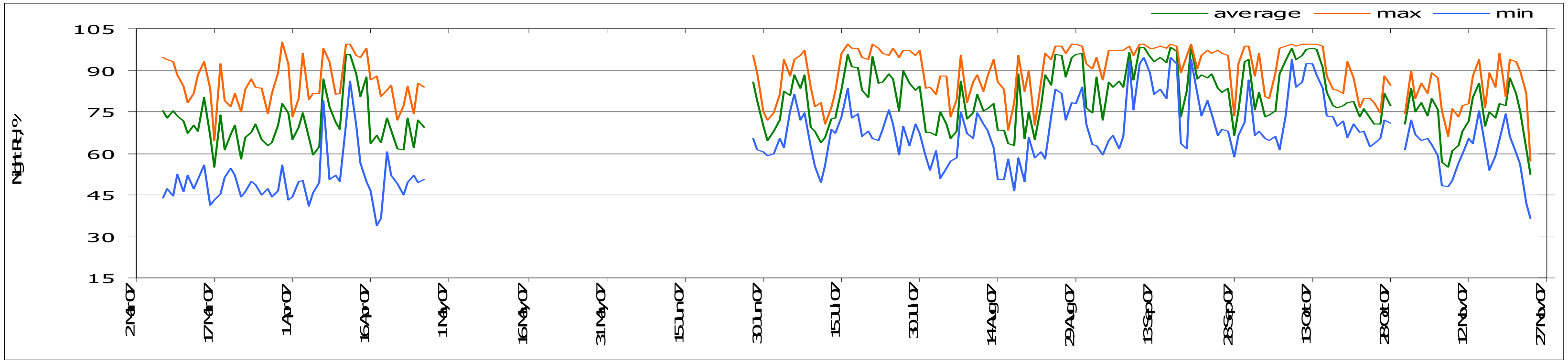
ภาพผนวกที่ ข4 ค่าแรงดึงของน้ำในดิน (matric potential, (Ψm) (kPa) ของจุดที่ 2 (ท้ายแปลง) ช่วงเย็น ระหว่างวันที่ 22 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



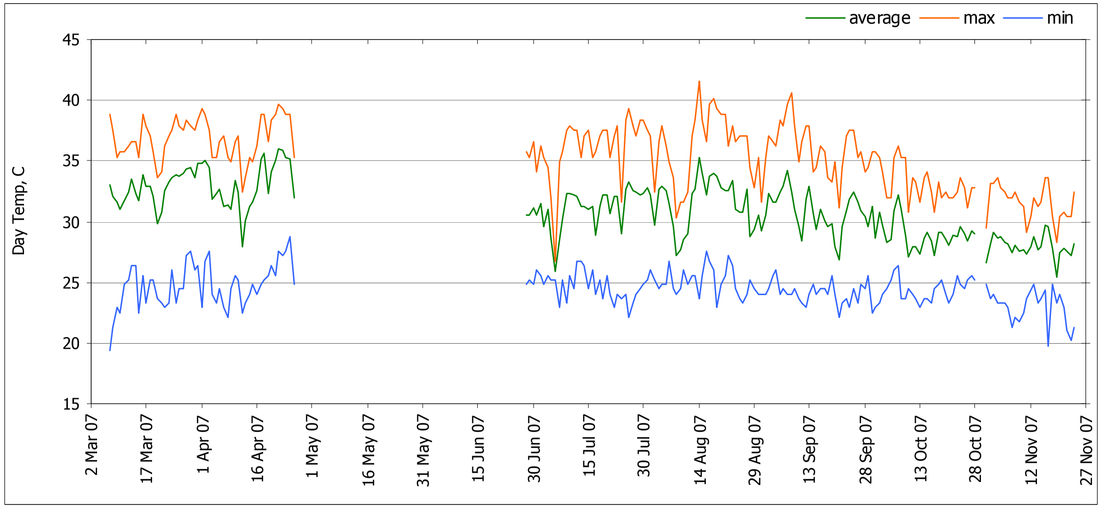
ภาพผนวกที่ ข5 ความเข้มแสงแดด (Photosynthetically Active Irradiance) μmolPPF m^{-2}s^{-1} ช่วงกลางวัน ระหว่างวันที่ 2 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



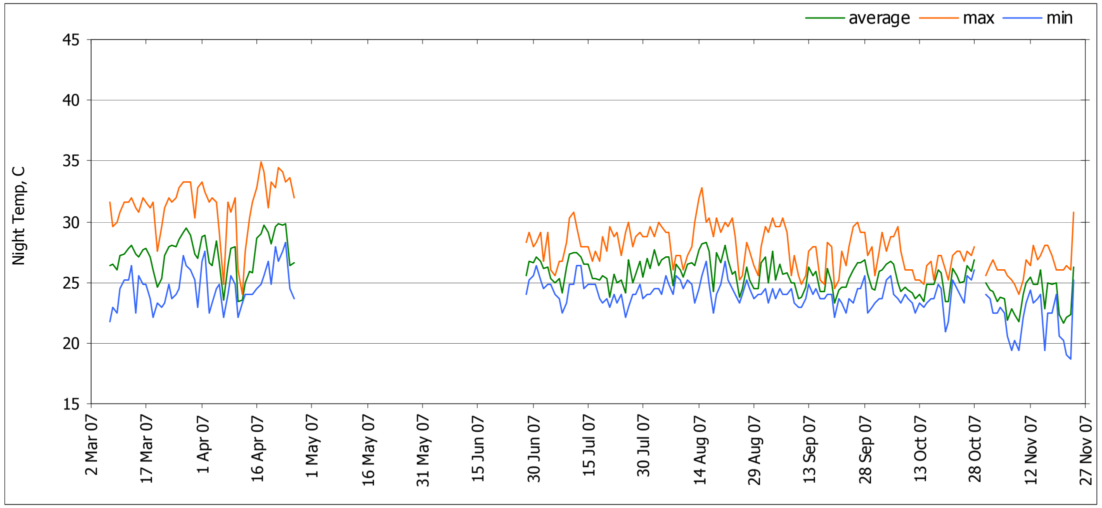
ภาพผนวกที่ ข6 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) (%)ช่วงกลางวัน ระหว่างวันที่ 2 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



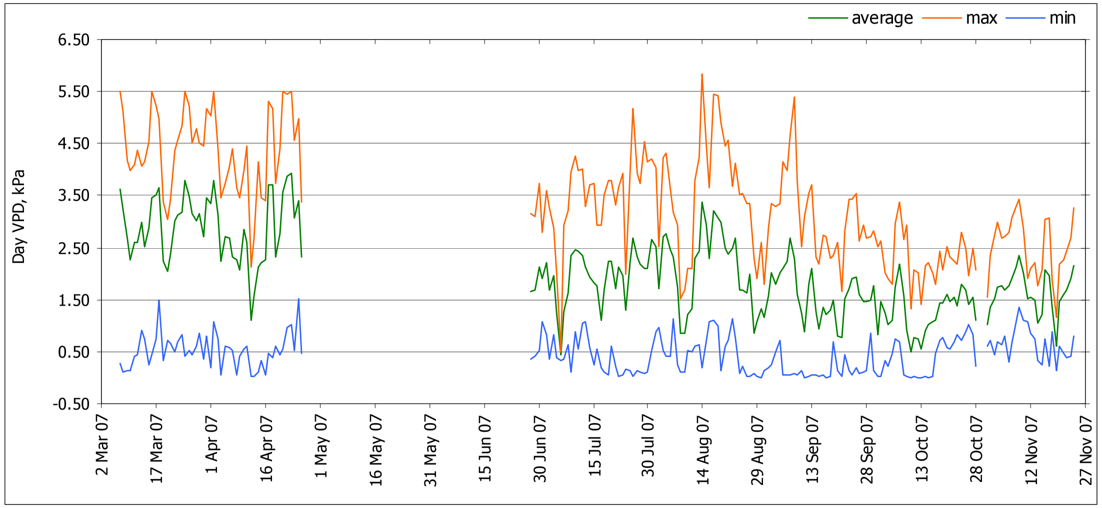
ภาพผนวกที่ ข7 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) (%)ช่วงกลางคืน ระหว่างวันที่ 2 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



ภาพผนวกที่ ข8 อุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดและเฉลี่ยในตอนกลางวัน(Celcius, °C) ระหว่างวันที่ 2 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



ภาพผนวกที่ ข9 อุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดและเฉลี่ยในตอนกลางคืน (Celcius, °C) ระหว่างวันที่ 2 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550



ภาพผนวกที่ ข10 ค่าแรงดึงระเหยของน้ำ (Vapor pressure deficit, VPD) (kPa) ในช่วงกลางวัน ระหว่างวันที่ 2 มี.ค. – 27 พ.ย. 2550

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวอุทัยวรรณ คันโธ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 มกราคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	Raleigh, North Carolina, USA
ประวัติการศึกษา	วท.บ. , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท แอดวานซ์ฟลาว จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	Effect of Pig Manure Extract as Foliar Application on Plant Growth, Chlorophyll Contents, Leaf Expansion and Yield of Cassava (Manihot esculenta CRANTZ) cv. Hauybong 60. ISSAAS 2008 Conference. (พ.ศ. 2552) ผลของกวาวเครือขาวต่อการเติบโตและระดับฮอร์โมนบางชนิดในปลาสลิด, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 38 (พ.ศ. 2542)

-