วิทยานิพนธ์

ผลของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และฤดูปลูกต่อ การสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลัง

Effects of Varieties, Harvesting Dates and Planting Seasons on Starch Biosynthesis of Cassava

นางสาวนิตยา วานิกร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๐

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พืชไร่นา)

ปริญญา

พืชไร่นา	พืชไร่นา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ผลของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และฤดูปลูกต่อการสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลัง

Effects of Varieties, Harvesting Dates and Planting Seasons on Starch Biosynthesis of Cassava

นามผู้วิจัย นางสาวนิตยา วานิกร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์วิจารณ์ วิชชุกิจ, Dr.sc.agr.)

กรรมการ .....

(ศาสตราจารย์เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, Ph.D.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์เอ็จ สโรบล, Ph.D.)

กรรมการ .....

(อาจารย์สุตเขตต์ นาคะเสถียร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ, Ph.D)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และฤดูปลูกต่อการสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลัง

Effects of Varieties, Harvesting Dates and Planting Seasons on Starch Biosynthesis of Cassava

โดย

นางสาวนิตยา วานิกร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พืชไร่นา)
พ.ศ. 2550

นิตยา วานิกร 2550: ผลของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และฤดูปลูกต่อการสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลัง ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พืชไร่นา) สาขาพืชไร่นา ภาควิชาพืชไร่นา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์วิจารณ์ วิชชุกิจ, Dr.sc.agr. 86 หน้า

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางชีวเคมีกับลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังและสภาพแวดล้อม เพื่ออธิบายผลกระทบต่อผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวอันเนื่องมาจากพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยวและฤดูปลูก จึงวางแผนการทดลองแบบ 3X7 Factorial in RCBD ประกอบด้วย 3 พันธุ์ ได้แก่พันธุ์ห้วยบง 60 (HB 60) เกษตรศาสตร์ 50 (KU 50) และระยอง 1 (R 1) และเก็บเกี่ยว 7 ครั้ง ทุก 2 เดือน โดยเริ่มเก็บที่อายุ 2 เดือนจนกระทั่งถึง 14 เดือนหลังปลูก ทดลองปลูกที่สถาบันพัฒนามันสำปะหลัง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ทั้งต้นฤดูฝนในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2546 และปลายฝนในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2546 พบว่าพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินส่งผลต่อผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งของหัวและปริมาณแป้งในหัวสด ในฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังต้องผ่านฤดูแล้งโดยที่ดินมีค่า matric potential ต่ำ แต่มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ยังคงให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งของหัวและปริมาณแป้งในหัวสดค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในเปลือกหัวของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีแถบของ small heat shock proteins (HSPs) ปรากฏขึ้น หลังจากนั้นเมื่อดินมีค่า matric potential เพิ่มสูงขึ้น ทำให้น้ำหนักแห้งของหัวและปริมาณแป้งในหัวสดลดลง แต่น้ำหนักแห้งของใบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายแป้งที่สะสมในหัวเพื่อใช้ในการสร้างใบใหม่ ส่วนในฤดูปลูกปลายฝนนั้น มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งของหัวและปริมาณแป้งในหัวสดสูงขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นเพราะหลังผ่านฤดูแล้งแล้ว ค่า matric potential ของดินสูงตลอดฤดูปลูก

มันสำปะหลังพันธุ์ ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งหัวและปริมาณแป้งในหัวสูงกว่าพันธุ์ระยอง1 ตลอดฤดูปลูก ไม่ว่าปลูกต้นหรือปลายฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากการปรับตัวทนต่อสภาวะขาดน้ำของพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ดีกว่าพันธุ์ระยอง1 โดยการกระตุ้นให้เปลือกสร้าง small HSPs ในทันทีที่ดินมีค่า matric potential ต่ำ นอกจากนี้พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีการสะสมน้ำหนักแห้งในหัวสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 แต่พันธุ์ระยอง 1 มีการสะสมน้ำหนักแห้งในลำต้นสูงกว่าพันธุ์ทั้งสอง และสำหรับการทดลองปลูกในฤดูต้นฝนนี้ถ้าเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ผลผลิตหัวสดและปริมาณแป้งในหัวสดสูงในพันธุ์ห้วยบง 60 ควรเก็บที่อายุ 10 เดือนหลังปลูก และ 8 เดือนหลังปลูกในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 แต่ในฤดูปลูกปลายฝนควรเก็บเกี่ยวที่อายุ 14 เดือนทั้งสามพันธุ์จึงได้ผลผลิตหัวสดและปริมาณแป้งในหัวสดสูง ส่วนโปรตีนที่พบในใบ เปลือกและเนื้อหัว ได้แก่ rubisco starch phosphorylase และ small HSPs ปรากฏในหลายช่วงอายุ แตกต่างตามพันธุ์ ฤดูปลูก และค่า matric potential ของดินที่ต่างกัน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Nittaya Wanikorn 2007: Effects of Varieties, Harvesting Dates and Planting Seasons on Starch Biosynthesis of Cassava. Doctor of Philosophy (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Associate Professor Vichan Vichukit, Dr.sc.agr. 86 pages.

This research focused on relationship between biochemical activity, physiological characteristic and environmental condition on yield and starch content as affected by varieties, harvesting dates and planting seasons. A 3X7 factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) was used with 4 replications having varieties and harvesting dates as treatment combinations within two planting seasons. Three varieties were Huaybong 60 (HB 60), Kasetsart 50 (KU 50) and Rayong 1 (R1) and 7 times of bimonthly harvested starting from 2 to 14 months after planting were combined. Cassava was planted at Thai Tapioca Development Institute, Dan Khun Thod district, Nakhon Ratchasima province in the rainy season (March 2003) and in the dry season (October 2003). Results of this research indicated fresh root yield, root dry weight and starch content in fresh root were affected by varieties and environmental condition especially rainfall and soil moisture. In the rainy season, three varieties grew during drought that soil matric potential was low but fresh root yield, root dry weight and starch content in fresh root did not change singnificantly because they induced small heat shock proteins (HSPs) activity in root peel. Root dry weight and starch content in fresh root were reduced by high soil matric potential after drought but leaf dry weight was increased because regrowth of new leaves. In the dry season, fresh root yield, root dry weight and starch content in fresh root increased ontogenetically in all varieties because soil matric potential was high during growth cycle.

Fresh root yield, root dry weight and starch content in fresh root of HB 60 and KU 50 were greater than R1 at all harvesting dates in both the rainy and dry seasons. HB 60 and KU 50 acclimated to drought better than R1. Almost immediately after soil matric potential dropped (more negative), HB 60 and KU 50 induced small HSPs faster and better than R1. Dry matter partition in storage root of HB 60 and KU 50 were higher than R 1 and dry matter partition in stem of R 1 was higher than HB60 and KU 50. HB 60 produced the greatest fresh root yield and starch content in fresh root at 10 months after planting but KU 50 and R 1 produced them at 8 months after planting in the rainy season while in the dry season the three varieties should be harvested at 14 months after planting. Protein in leaves, peels and pulps have been identified as rubisco, starch phosphorylase and small HSPs, respectively. The expression of those proteins depended on period of development, varieties, planting seasons and soil matric potential.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์วิจารณ์ วิชชุกิจ ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และรองศาสตราจารย์เอ็จ สโรบล กรรมการสาขาวิชาเอก อาจารย์สุตเขตต์ นาคะเสถียร กรรมการสาขาวิชารอง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการศึกษาการทดลอง ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี และขอขอบคุณศาสตราจารย์ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ ผู้แทนบัณฑิต ที่ได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ในการสอบสัมภาษณ์ครั้งสุดท้ายให้สมบรูณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณสถาบันพัฒนามันสำปะหลัง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้สถานที่สำหรับทำแปลงทดลอง และขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง สถาบันพัฒนาผลผลิตการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้สถานที่และเครื่องมือ อุปกรณ์ สำหรับการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ

ขอบคุณโครงการพัฒนาพันธุ์และเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ทุนโครงการพัฒนาอาจารย์ สาขาขาดแคลน ประจำปี 2545 สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ รวมทั้งอีกหลายท่านที่มิได้กล่าวนามได้ทั้งหมดที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

นิตยา วานิกร

มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	25
ผล	25
วิจารณ์	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	58
สรุป	58
ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide ขนาด 55 kDa จากใบมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุเก็บเกี่ยว 4 เดือนหลังปลูก	51
2	แสดงลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide ขนาด 18 kDa จากเปลือกหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และระยอง 1 เมื่อเก็บตัวอย่างที่อายุ 10 เดือนหลังปลูก	51
3	แสดงลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide ขนาด 112 kDa จากเนื้อหัวมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 1 เมื่อเก็บตัวอย่างที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก	52

ตารางผนวกที่

1	น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่)	68
2	น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)	69
3	น้ำหนักแห้งของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่)	70
4	น้ำหนักแห้งของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)	71
5	น้ำหนักแห้งของหัวมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่)	72
6	น้ำหนักแห้งของหัวมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)	73
7	อัตราการเจริญเติบโตรวมของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	74
8	อัตราการเจริญเติบโตของหัวสะสมอาหารมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	74
9	อัตราการเจริญเติบโตของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	75
10	อัตราการเจริญเติบโตของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
11	อัตราการเจริญเติบโตรวมของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	76
12	อัตราการเจริญเติบโตของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	76
13	อัตราการเจริญเติบโตของหัวสะสมอาหารมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	77
14	อัตราการเจริญเติบโตของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)	77
15	ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่	78
16	ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)	79
17	ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (%)	80
18	ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (%)	81
19	ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (%)	82
20	ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (%)	83
21	ปริมาณ amylose ในแป้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (%)	84
22	ปริมาณ amylose ในแป้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (%)	85
23	F-test ของการ combined ข้อมูลต่างๆระหว่างการปลูกในฤดูต้นฝนและปลายฤดูฝน	86

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำฝน (mm.) และค่า matric potential ของดิน (kPa) รายวันของเดือนต่างๆ ในฤดูปลูกต้นฝน	26
2	ปริมาณน้ำฝน (mm.) และค่า matric potential ของดิน (kPa) รายวันของเดือนต่างๆ ในฤดูปลูกปลายฝน	27
3	น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกต้นฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัว และ d) น้ำหนักแห้งทั้งหมด	30
4	น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกปลายฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัว และ d) น้ำหนักแห้งทั้งหมด	31
5	สัดส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกต้นฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ (%)	34
6	สัดส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกปลายฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ (%)	36
7	อัตราการเจริญเติบโตของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกต้นฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัวและ d) อัตราการเจริญเติบโตรวม	38
8	อัตราการเจริญเติบโตของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกปลายฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัว และ d) อัตราการเจริญเติบรวม	39
9	ผลผลิตหัวสด (a) และปริมาณแป้งในหัวสด (b) ของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกต้นฝน	41
10	ผลผลิตหัวสด (a) และปริมาณแป้งในหัวสด (b) ของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกปลายฝน	42
11	รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในใบมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 2 4 6 เดือนหลังปลูกในฤดูปลูกต้นฝน	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

12 รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในเปลือกหัวมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือนหลังปลูกทั้งในฤดูปลูกต้นและปลายฝน 47

13 รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในเนื้อหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆในฤดูปลูกต้นฝน a) พันธุ์ห้วยบง 60 b) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ c) พันธุ์ระยอง 1 48

14 รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในเนื้อหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆในฤดูปลูกปลายฝน a) พันธุ์ห้วยบง 60 b) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ c) พันธุ์ระยอง 1 49

15 ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนขนาดประมาณ 55 kDa (อักษรสีแดง) ที่เหมือนลำดับกรดอะมิโน ในฐานข้อมูล gi 223866 : carboxylase oxygenase L 52

16 ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนขนาดประมาณ 18 kDa (อักษรสีแดง) ที่เหมือนลำดับกรดอะมิโน ในฐานข้อมูล gi224545 : small heat shock protein 52

17 ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนขนาดประมาณ 112 kDa (อักษรสีแดง) ที่เหมือนลำดับกรดอะมิโน ในฐานข้อมูล gi 629646 : starch phosphorylase isoform L 53

ภาพผนวกที่

1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (mm.) กับค่า matric potential ของดิน (kPa) ที่ระดับความลึกของดิน 20 40 60 และ 80 เซนติเมตร เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูกจนถึงแต่ละช่วงอายุของมันสำปะหลังที่เก็บตัวอย่างในฤดูปลูกต้นฝน 87

2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (mm.) กับค่า matric potential ของดิน (kPa) ที่ระดับความลึกของดิน 20 40 60 และ 80 เซนติเมตร เมื่อมันสำปะหลังอายุ 45 วันหลังปลูกจนถึงแต่ละช่วงอายุของมันสำปะหลังที่เก็บตัวอย่างในฤดูปลูกปลายฝน 88

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADPG	=	Adenosine diphosphoglucose
ADPGase	=	Adenosine diphosphoglucose pyrophosphorylase
ATP	=	Adenosine triphosphate
CGR	=	Crop growth rate
CL	=	Average chain length
CO_2	=	Carbondioxide
^0C	=	Degrees Celsius
DHAP	=	Dihydroxyacetone phosphate
DP	=	Degree of polymerization
DWL	=	Dry weight of leaf
DWR	=	Dry weight of root
DWS	=	Dry weight of stem
FWR	=	Fresh weight of root
GBSS	=	Granule-bound starch synthase
HB 60	=	Huay Bong 60
HSPs	=	Heat shock protein
kDa	=	Kilodalton
kPa	=	Kilopascal
KU 50	=	Kasetsart 50
LAI	=	Leaf Area Index
LC-MS/MS	=	Liquid Chromatography-Mass Spectometry
O_2	=	Oxygen
M	=	Meter
mM	=	milimole
MPa	=	Megapascal
PAR	=	Photosynthetically active radiation
PEP case	=	Phosphoenolpyruvate carboxylase
PGA	=	Phosphoglyceric acid

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Pho	=	Starch phosphorylase
R 1	=	Rayong 1
Rubisco	=	Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase
S	=	Second
SBE	=	Starch branching enzyme
SDS-PAGE	=	Sodium dodecyl sulphate - polyacrylamide gel electrophoresis
SS	=	Starch synthase
SSS	=	Soluble starch synthase
UDPG	=	Uridine diphosphate glucose
μmol	=	Micromol
$ZnSO_4$	=	Zinc sulfate

ผลของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และฤดูปลูกต่อการสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลัง

Effects of Varieties, Harvesting Dates and Planting Seasons on Starch Biosynthesis of Cassava

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้เกษตรกรเป็นอันดับที่ 4 ของประเทศไทย รองจากยางพารา ข้าว และอ้อย โดยในปีการเพาะปลูก 2548 มีพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังประมาณ 6 ล้านไร่ ทำให้ได้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยประมาณ 17 ล้านตัน ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนที่เหลืออยู่ในภาคกลางและภาคเหนือ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) และประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ของโลกติดต่อกันมานานหลายปี จากผลิตภัณฑ์มันเส้นและแป้งมันสำปะหลัง สามารถทำรายได้จากมูลค่าปีละประมาณ 2 หมื่นล้านบาท จนมากกว่า 3 หมื่นล้านบาทในปี 2547 - 2548 และยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากมีการใช้ในประเทศเพิ่มมากขึ้น ทั้งใช้เป็นอาหารสัตว์ แป้งมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องใช้หัวมันสำปะหลังสดในปี 2547 เพิ่มจากประมาณ 7 ล้านตันไปเป็น 8 ล้านตันในปี 2548 (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2548) นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเอทานอล ซึ่งประเทศไทยมีความต้องการเอทานอลที่ผลิตจากมันสำปะหลังเพื่อทดแทนการนำเข้าสาร MTBE ที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซินประมาณ 2 ล้านลิตรต่อวัน ทำให้ต้องใช้หัวมันสำปะหลังสดประมาณ 4 ล้านตันต่อปี (กล้าณรงค์ และคณะ, 2546) โดยรวมแล้วสภาพอุตสาหกรรมมันสำปะหลังที่ผ่านมาต้องการหัวมันสดประมาณ 22.2 ล้านตัน เพื่อผลิตแป้งสำหรับส่งออกประมาณ 1.8 ล้านตัน ใช้ในประเทศประมาณ 1.2 ล้านตัน ทำให้ต้องใช้หัวมันสดประมาณ 12.3 ล้านตัน นอกจากนี้มีการส่งออกมันเส้น-มันอัดเม็ด และใช้ในประเทศ จึงต้องใช้หัวมันสดอีกประมาณ 9.9 ล้านตัน หากในปี 2551 จะใช้หัวมันสดเพื่อผลิตเอทานอลอีก 4.65 ล้านตัน จะทำให้ความต้องการหัวมันสดรวมประมาณ 26 – 27 ล้านตัน ถ้าพื้นที่ปลูกเท่าเดิม ประสิทธิภาพในการผลิตเท่าเดิม หัวมันสำปะหลังสดจะมีไม่พอใช้ป้อนอุตสาหกรรม (เจริญศักดิ์ และวิจารณ์, 2548) ซึ่งในปัจจุบันการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกเป็นไปได้ยากมาก มีแต่จะลดพื้นที่ปลูกลง ดังนั้นเพื่อลดปัญหานี้ในอนาคตจึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่และปริมาณแป้งเพิ่มสูงขึ้น

ในการกำหนดราคาการรับซื้อหัวมันสำปะหลังสดของโรงงานต่างๆ นั้น จะแตกต่างกันไปตามการนำหัวมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ เช่น โรงงานมันเส้นและมันอัดเม็ดจะกำหนดราคารับซื้อตามน้ำหนัก ในขณะที่โรงงานแป้งมันสำปะหลังนั้นนอกจากน้ำหนักแล้วราคาการรับซื้อยังขึ้นอยู่กับปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) ในหัวมันสำปะหลังที่วัดได้หน้าโรงงานด้วย โดยทั่วไปมักกำหนดราคาที่ปริมาณแป้ง 30 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับโรงงานผลิตเอทานอล ซึ่งเกษตรกรที่ต้องการผลิตมันสำปะหลังเพื่อส่งโรงงานประเภทนี้ จึงต้องคำนึงถึงทั้งผลผลิตและโดยเฉพาะปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังด้วยเพื่อตอบสนองต่อการซื้อขายซึ่งใช้ปริมาณแป้งเป็นเกณฑ์

ปัจจุบันการผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย เกษตรกรนิยมใช้มันสำปะหลังพันธุ์ดีปลูก แม้ว่าพันธุ์มันสำปะหลังส่วนใหญ่จะให้ผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวค่อนข้างสูงก็ตาม แต่เมื่อเกษตรกรนำมันสำปะหลังไปปลูกในพื้นที่โดยมีช่วงเวลาปลูกหรือเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ทำให้ผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวที่ได้แตกต่างกันด้วย เช่น การปลูกในช่วงต้นฤดูฝน (พฤษภาคม - มิถุนายน) ให้ผลผลิตหัวสดสูงกว่าการปลูกในช่วงอื่นๆ แต่ในดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบหรือมีเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทรายค่อนข้างสูง การปลูกในช่วงฤดูแล้งประมาณเดือนพฤศจิกายน - เมษายน ให้ผลผลิตหัวแห้งสูงสุด สำหรับปริมาณแป้งในหัวขึ้นอยู่กับฤดูเก็บเกี่ยวมากกว่าอายุของมันสำปะหลัง และการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในช่วงฤดูแล้งทำให้ได้เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวสูงกว่าการเก็บในช่วงอื่นๆ (วิจารณ์ และคณะ, 2537) นอกจากนี้ ผลผลิตหัวสด ปริมาณแป้งในหัวสด ผลผลิตพืชทั้งหมด ดัชนีเก็บเกี่ยว ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้งของมันสำปะหลังที่ปลูกต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝนจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ พันธุ์มันสำปะหลัง สภาพแวดล้อมที่ปลูก อัตราการใช้ปุ๋ยเคมี และอายุการเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลัง (โอภาษ, 2539) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลกระทบของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และอัตราปุ๋ยที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพแป้งมันสำปะหลังของไชยรัตน์ (2542) ที่รายงานว่า ผลผลิตของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอายุ ปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังและความหนืดของแป้งทุกพันธุ์ลดลงหากได้รับน้ำฝนปริมาณมาก และการใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพแป้งมันสำปะหลังที่สกัดได้ ซึ่งจากผลการศึกษาเหล่านี้ทำให้สรุปได้ว่า พันธุ์ ช่วงเวลาปลูกและการเก็บเกี่ยว และสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสร้างผลผลิตและแป้งของมันสำปะหลัง แต่ไม่ทราบว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อกลไกการสังเคราะห์แป้งได้อย่างไร จึงได้ศึกษาผลกระทบของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และฤดูปลูกต่อการสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลังเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางชีวเคมีกับลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังและสภาพแวดล้อม เพื่อใช้ในการอธิบายผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของมันสำปะหลังอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของพันธุ์ ช่วงเวลาปลูก และอายุการเก็บเกี่ยวที่มีต่อการสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลัง

2. เพื่อศึกษารูปแบบและชนิดของโปรตีนในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แป้งในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

3. เพื่อหาดัชนีชี้วัดทางสรีรวิทยาสำหรับการสังเคราะห์แป้งของมันสำปะหลัง

การตรวจเอกสาร

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชหัวที่ผลิตคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญพืชหนึ่งของประชากรโลก มีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อนในอเมริกากลางและใต้ จึงเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือถึงเส้นรุ้งที่ 30 องศาใต้ แต่บริเวณที่ปลูกมากอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15 องศาเหนือ ถึง 15 องศาใต้ และปลูกได้ในระดับความสูงเท่ากับระดับน้ำทะเลจนถึง 2,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิที่เจริญเติบโตได้ตั้งแต่ 13 - 35 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร แต่บริเวณที่มีฝนตกน้อยกว่า 500 มิลลิเมตรต่อปี ไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ และสามารถปรับตัวได้ดีในเขตที่มีฝนตกอยู่ระหว่าง 1,000 - 1,300 มิลลิเมตรต่อปี มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนสภาวะแห้งแล้งได้ดีและเป็นพืชที่สำคัญในเขตที่มีฤดูแล้งยาวนานถึง 6 เดือนต่อปี มันสำปะหลังปรับตัวได้ดีในที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และทนทานสภาพดินที่เป็นกรดจัด แต่ไม่สามารถขึ้นได้ในดินที่เป็นด่าง มี pH มากกว่า 8 ขึ้นไป และไม่สามารถทนต่อสภาพของดินที่มีน้ำขัง (กรมวิชาการเกษตร, 2547; เจริญศักดิ์, 2532 ; โอภาษ, 2531)

การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มที่มีอายุอยู่ได้หลายปี (perennial shrub) ซึ่งในการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังมีทั้งช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น การสะสมแป้งในหัว การพักตัวเมื่อมันสำปะหลังได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอุณหภูมิต่ำ การขาดน้ำเป็นเวลานาน (เจริญศักดิ์, 2532; ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง, 2537) สำหรับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมนั้น สามารถแบ่งการเจริญเติบโตได้ดังนี้

1. ระยะที่ท่อนพันธุ์งอก (emergence of sprouting) เป็นระยะที่ท่อนพันธุ์เริ่มแตกยอด ใบจริงเริ่มแตกให้เห็นเป็นใบเล็กๆ และมี adventitious root เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างและตาใต้ผิวดินของท่อนพันธุ์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 5 - 15 วันหลังปลูก

2. ระยะการเริ่มพัฒนาของใบและสร้างหัว (beginning of leaf development and formation of root system) เป็นระยะที่ใบจริงเริ่มคลี่กาง กระบวนการสังเคราะห์แสงในใบจริงเริ่มทำงานขึ้น การเจริญเติบโตของลำต้นและรากขึ้นอยู่กับอาหารที่สะสมในท่อนพันธุ์ มีรากฝอยเกิดขึ้นแทนที่

adventitious root และรากฝอยที่เกิดขึ้นเริ่มสะสมอาหารเป็นรากสะสมแป้ง ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 15 - 90 วันหลังปลูก

3. ระยะการพัฒนาของลำต้นและใบ (development of stems and leaves or canopy establishment) เป็นระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตของใบและลำต้นสูงสุด มีการแตกทรงพุ่มจนมีขนาดใหญ่ที่สุด มีการสะสมน้ำหนักแห้งที่ใบและลำต้นสูงสุด จึงเป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูงที่สุด ส่วนหัวมีการสะสมแป้งจนหัวพองโตขึ้น ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 90 - 180 วันหลังปลูก

4. ระยะการเคลื่อนย้ายและสะสมแป้งที่ราก (high carbohydrate translocation to roots) เป็นระยะที่มีการแบ่งส่วนของสารอาหารต่างๆ ที่สังเคราะห์จากใบไปยังหัว ทำให้หัวขยายขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งในหัวมีสูง ใบแก่มีจำนวนเพิ่มขึ้น การร่วงของใบเป็นไปอย่างรวดเร็ว ความแข็งของลำต้นเพิ่มขึ้น ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 180 - 300 วันหลังปลูก

5. ระยะการพักตัว (dormancy) เป็นระยะที่อัตราการสร้างใบลดลง ใบส่วนใหญ่ร่วงหล่นและลำต้นพักการเจริญเติบโต แต่มีการเคลื่อนย้ายแป้งไปสะสมที่หัว ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 300 - 360 วันหลังปลูก

มันสำปะหลังใช้เวลา 12 เดือนสำหรับ 1 รอบของการเจริญเติบโต หลังจากนั้นจะมีรอบของการเจริญเติบโตทางลำต้น การสะสมน้ำหนักแห้งที่รากและการพักตัวอีกครั้ง (Alves, 2002) เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเก็บเกี่ยวหรือมันสำปะหลังตาย

ลักษณะประจำพันธุ์ของมันสำปะหลัง

ในปัจจุบันประเทศไทยมีมันสำปะหลังพันธุ์ดีหลายพันธุ์ให้เกษตรกรเลือกใช้ปลูก มันสำปะหลังพันธุ์ดีหมายถึง พันธุ์ที่ให้ผลผลิตและปริมาณแป้งสูง (เปอร์เซ็นต์แป้งในหัว) เนื่องจากการซื้อขายมันสำปะหลัง ราคาจะถูกกำหนดโดยเปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำหนักของหัว นอกจากนี้พันธุ์ดียังต้องมีลักษณะอื่นๆ ที่ต้องการด้วย เช่น งอกดี ความอยู่รอดสูง โตเร็ว คลุมวัชพืชได้ดี ต้านทานต่อโรคและแมลง ขุดเก็บเกี่ยวง่าย และเป็นพันธุ์ที่ผู้ซื้อ (โรงงาน) ต้องการ ซึ่งมันสำปะหลังแต่ละ

พันธุ์จะมีข้อเด่นและข้อจำกัดแตกต่างกันไป และมีความสามารถในการให้ผลผลิตแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ปลูก สำหรับลักษณะประจำพันธุ์ของมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่

1. พันธุ์ห้วยบง 60 เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ระยอง 5 กับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ลักษณะเด่นของพันธุ์นี้ ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 5,751 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อยู่ 7 เปอร์เซ็นต์ และมีแป้งในหัว 25.4 เปอร์เซ็นต์สูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เล็กน้อย พันธุ์นี้มีเสถียรภาพของผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวสูง คุณสมบัติแป้งของพันธุ์นี้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งที่ละลายน้ำได้ต่ำ และมีความหนืดสูงจึงเหมาะกับอุตสาหกรรมแป้ง เป็นพันธุ์ที่งอกดี ลำต้นสูงใหญ่ สามารถคลุมวัชพืชได้ดี (วิจารณ์ และคณะ, 2546)

2. พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับพันธุ์ระยอง 90 มีลักษณะเด่นคือ ท่อนพันธุ์งอกดี มีความอยู่รอดค่อนข้างสูง ลำต้นสูงใหญ่ คลุมวัชพืชได้ดี หัวเป็นกลุ่มขุดเก็บเกี่ยวสะดวก (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2536) ให้ผลผลิตหัวสดสูงเฉลี่ย 5,382 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแป้งในหัวสูงเฉลี่ย 25 เปอร์เซ็นต์ (วิจารณ์ และคณะ, 2546)

3. พันธุ์ระยอง 1 เคยเป็นพันธุ์มันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดของประเทศ เพราะเคยเป็นพันธุ์เดียวที่ปลูกกันทั่วประเทศจำนวน 8 - 10 ล้านไร่ เป็นพันธุ์ที่มาจากที่ใด เมื่อไรไม่ปรากฏหลักฐานแน่ชัด และต่อมากรมวิชาการเกษตรได้คัดเลือกพันธุ์จากพันธุ์พื้นเมือง และตั้งชื่อพันธุ์เป็นทางการว่า พันธุ์ระยอง 1 พันธุ์นี้ให้ผลผลิตสูงปานกลางโดยให้ผลผลิตค่อนข้างสูงเฉลี่ย 3.22 ตันต่อไร่ มีปริมาณแป้งในหัวไม่สูงประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝนและ 24 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ท่อนพันธุ์งอกดี ลำต้นสูงใหญ่และตรงหัวเป็นกระจุกถอนง่าย (ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง, 2537)

อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่ประสบความสำเร็จจะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและมีปริมาณแป้งในหัวสูง หากมีลักษณะดีเพียงลักษณะใดลักษณะหนึ่งก็อาจจะไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร

การเจริญเติบโตของรากมันสำปะหลัง

รากเป็นส่วนสะสมอาหารที่ให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง สำหรับการเจริญเติบโตของรากมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ (เมล็ดหรือท่อนพันธุ์) ถ้ามันสำปะหลังขยายพันธุ์จาก

เมล็ด จะมีระบบรากแก้วที่เจริญมาจาก radicle หลังจากเมล็ดงอกและเจริญลงในแนวดิ่งลงด้านล่าง ต่อมาพัฒนาเป็นรากแก้วและมีการแตกรากแขนงด้วย และมีการสร้าง adventitious root บนลำต้นที่อยู่ใกล้ดิน

ต่อมารากแก้วและ adventitious root บางส่วนกลายเป็นรากสะสมอาหาร ซึ่งแตกต่างจากมันสำปะหลังที่เจริญมาจากท่อนพันธุ์ รากที่งอกออกมาจากรอยตัดด้านล่างและตาที่อยู่ใต้ดินของท่อนพันธุ์เป็น adventitious root ซึ่งเป็นรากหลักในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารให้แก่พืช ราก สามารถเจริญเติบโตลงในดินลึกประมาณ 50 - 100 เซนติเมตร ต่อมาเจริญเป็นรากสะสมอาหารซึ่งความสามารถในการลำเลียงธาตุอาหารและน้ำลดลง โดยมีรากฝอยระหว่าง 3 - 10 เท่านั้นที่เริ่มขยายตัวและกลายเป็นรากสะสมอาหาร ส่วนรากที่เหลือจะไม่ขยายตัวและยังคงทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและธาตุอาหารต่อไป ซึ่งรากที่ขยายใหญ่นี้เกิดขึ้นจากคาร์โบไฮเดรตในส่วนที่เหลือใช้จากการสร้างใบและลำต้น เคลื่อนย้ายไปสะสมที่ราก (Alves, 2002; Onwueme, 1978; Cock *et al.,* 1979)

เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 1 เดือนครึ่งถึง 2 เดือน จะมีการลำเลียงแป้งมาสะสมไว้ที่ราก โดยรากที่สะสมแป้งนี้จะค่อยๆ โตขึ้นตามอายุ และเฉพาะรากที่สะสมแป้งเท่านั้นจึงจะโตขึ้นมาเป็นหัว (เจริญศักดิ์, 2546) การสร้างน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับดัชนีพื้นที่ใบ เนื่องจากพื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์ใบที่จะรับแสงและการสร้างน้ำหนักแห้งของพืชเพิ่มขึ้น ซึ่งดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตสูงสุดของรากอยู่ระหว่าง 3 - 3.5 (Cock *et al.,* 1979) รวมทั้งอัตราการลงหัวขึ้นอยู่กับน้ำหนักแห้งที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ซึ่งต้องมีพื้นที่ใบพอเพียง (Wholey and Cock, 1974) อัตราการเจริญเติบโตของรากหรือการสะสมน้ำหนักแห้งของรากมันสำปะหลังส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากดัชนีพื้นที่ใบของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระยะการเจริญเติบโต แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งดัชนีพื้นที่ใบของมันสำปะหลังจะลดลงอย่างรวดเร็ว และดัชนีพื้นที่ใบกลับเพิ่มสูงขึ้นอีกเมื่อเริ่มต้นฤดูฝนอีกครั้ง และในช่วงฤดูแล้งการสะสมน้ำหนักแห้งรากจะหยุดชะงัก เนื่องจากดัชนีพื้นที่ใบที่ลดลงต่ำนั้น ทำให้เหลือใบที่สังเคราะห์แสงเพื่อสร้างน้ำหนักแห้งลดลง และอาหารที่สร้างขึ้นในช่วงนี้ไม่พอเพียงกับที่ใช้ในขบวนการหายใจ น้ำหนักแห้งที่สะสมไว้ที่รากจึงถูกลำเลียงมาใช้ในระยะนี้ (โอภาษ, 2531)

การสร้างผลผลิตในมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมแบบร้อนชื้นได้ดี ต้องการอุณหภูมิที่สูงและความเข้มแสงสูง สำหรับใช้ในการพัฒนาใบและการแสดงออกของศักยภาพการสังเคราะห์แสง ซึ่งผลผลิตที่สะสมในรากและมวลรวมทั้งหมด (biomass) มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอัตราการสังเคราะห์แสง (El-Sharkawy and Cock, 1990) ในระหว่างที่มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโต คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงในใบที่เจริญเติบโตเต็มที่กระจายไปสะสมเป็นน้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ (รากสะสมอาหาร ลำต้น และใบที่กำลังเจริญเติบโต) การเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ไปสะสมในส่วนลำต้นและรากสะสมอาหาร ส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในใบลดลงตามระยะการเจริญเติบโต ในช่วงตั้งแต่ปลูกจนถึงประมาณ 60 - 75 วันหลังปลูก มันสำปะหลังมีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนใบมากกว่าในลำต้นและรากสะสมอาหาร ยกเว้นในท่อนพันธุ์ ดังนั้นในช่วงประมาณ 120 วันหลังปลูก การสะสมน้ำหนักแห้งในรากสะสมอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งที่สะสมทั้งหมด และหลังจากปลูกมันสำปะหลังไปได้ 4 เดือน น้ำหนักแห้งไปสะสมในรากมากกว่าส่วนอื่นๆ ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือนหลังปลูก น้ำหนักแห้งส่วนใหญ่สะสมอยู่ในส่วนของราก ตามมาด้วยส่วนของลำต้นและใบตามลำดับ (Alves, 2002)

อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดอยู่ในช่วงใดของการเจริญเติบโตนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อม ถ้ามันสำปะหลังเจริญเติบโตอยู่ในสภาพแบบร้อนชื้น ระยะเวลาที่อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดอยู่ในช่วง 3 - 5 เดือนหลังปลูก ซึ่งอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งดำเนินไปอย่างรวดเร็ว (Howeler and Cadavid, 1983) ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังใช้วัดประสิทธิภาพการผลิตหัวมันสำปะหลังสด โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักหัวกับน้ำหนักพืชทั้งต้น ความแตกต่างของค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงด้วย (Alves, 2002) การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายน้ำหนักแห้งที่สร้างขึ้นไปสะสมที่หัว ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ (โอภาษ, 2531)

การสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับกิจกรรมของแหล่งผลิตอาหาร (source activity) และความจุของส่วนสะสมอาหาร (sink capacity of the storage parts) ซึ่งจำนวนรากสะสมอาหารและน้ำหนักของรากสะสมอาหารที่เป็นองค์ประกอบผลผลิตนั้น ช่วยใน

การวัดความจุของส่วนสะสมอาหาร อัตราการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตของหัวและผลผลิตมวลรวมทั้งหมด ให้ผลเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่าง LAI (leaf area index) และการรับแสงของใบพืช กับการผลิตมวลรวม (El-Sharkawy and Cock, 1990) แสดงให้เห็นว่าความต้องการอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของรากสะสมอาหารช่วยเพิ่มกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของใบ (Alves, 2002)

การสังเคราะห์แสงในมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดอยู่ในช่วง 13 - 24 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} ภายใต้สภาพเรือนทดลองหรือสภาพ growth chamber (Edwards *et al.,* 1990) และในสภาพแปลงปลูกมีปริมาณ CO_2 สุทธิที่มันสำปะหลังนำเข้าไปใช้ (uptake) เป็น 20 - 35 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (El-Sharkawy and Cock, 1990) การสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังต้องการอุณหภูมิสูง (35^0C) และมีช่วงอุณหภูมิที่กว้างสำหรับการสังเคราะห์แสงภายใต้สภาพแปลงปลูก (25 - 35 ^{0}C) (El-Sharkawy and Cock, 1990) การสังเคราะห์แสงของใบมันสำปะหลังมีค่า saturation irradiance ประมาณ 1,800 μmol PAR m^{-2} s^{-1} (El-Sharkawy *et al.*, 1992) หรือ 2,000 μmol PAR m^{-2} s^{-1} (Angelov *et al.*, 1993) และอัตรานี้ลดลงอย่างมากเมื่อเกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอ (vapour pressure) ของใบกับบรรยากาศเกิน 1.5 kPa ซึ่งการลดลงนี้มีความสัมพันธ์กับการปิดปากใบ ใบมันสำปะหลังมี photorespiration ต่ำ (ค่า CO_2 compensation point ต่ำ) เปอร์เซ็นต์การตรึง CO_2 เป็นกรด C_4 สูง และการทำงานของ phosphoenolpyruvate carboxylase (PEP case) สูง (El-Sharkawy and Cock, 1990) ลักษณะทางกายวิภาคของใบมันสำปะหลังมี bundle sheath เป็นแถบสีเขียว ขนาดเล็ก ผนังบาง แยกออกและอยู่ล่าง palisade cell ซึ่งแตกต่างจากลักษณะแบบ C_4-Kranz ที่มี bundle sheath ล้อมรอบด้วย mesophyll (Edwards *et al.*, 1990) จากลักษณะดังกล่าวจึงจัดมันสำปะหลังเป็นพืชC_3-C_4 intermediate photosynthesis เพราะมีการทำงานของ PEP case ที่สูง แต่ไม่มีลักษณะของ C_4-Kranz (El-Sharkawy *et al.*, 1992)

การสังเคราะห์แป้งและลักษณะแป้งในมันสำปะหลัง

การสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นใน plastid โดยเฉพาะใน chloroplast ที่มี chlorophyll ช่วยจับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและน้ำ ในการสร้างกลูโคส (glucose) และออกซิเจนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง ในกระบวนการสังเคราะห์แสงพืช

สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และสร้าง phosphoglyceric acid (PGA) เป็นสารอินทรีย์ที่มี 3 อะตอม โดย PGA จะผ่าน Calvin cycle ได้เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ซึ่งสาร PGA จากกระบวนการสังเคราะห์แสงหรือจากการใช้ประโยชน์จากแป้งที่อยู่ใน chloroplast จะเคลื่อนย้ายเพื่อสังเคราะห์เป็นน้ำตาลใน cytosol โดยจะผลิต fructose 6 phosphate ที่สามารถเปลี่ยนเป็น glucose 6 phosphate และเปลี่ยนเป็น glucose 1 phosphate โดยมีเอนไซม์ phosphoglucomutase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่ง glucose 1 phosphate นี้อาจนำไปผลิตแป้งโดยตรงด้วยการทำงานของ phosphorylase หรือเปลี่ยนกลับไปเป็น adenosine diphosphoglucose (ADPG) ซึ่งจะเป็นสารเริ่มต้นในกระบวนการสังเคราะห์แป้งด้วย ADPG pyrophosphorylase (ADPGase) (Iglesias and Podesta, 1997; กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

ในระหว่างการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวัน แป้งจะถูกเก็บไว้ที่ใบในรูปของเม็ดแป้ง ในช่วงเวลากลางคืน แป้งจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้เป็นน้ำตาลซูโครส (sucrose) และถูกส่งไปเก็บสะสมในรูปแป้งที่ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด รากสะสมอาหาร ลำต้น เป็นต้น ซึ่ง plastid ที่มีการสังเคราะห์และสะสมแป้งเรียกว่า amyloplast ซึ่งพัฒนามาจาก proplastid (Martin and Smith, 1995) เช่นกลไกการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตภายใน endosperm เริ่มจากการเปลี่ยนน้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม ไปเป็น dihydroxyacetone phosphate (DHAP) โดย glycolysis pathway ภายใน cytosol หลังจากนั้น DHAP จะเคลื่อนผ่าน phosphate translocator เข้าไปใน amyloplast และเกิดการสังเคราะห์แป้งขึ้น (gluconeogenesis และ starch synthesis) กระบวนการสังเคราะห์แป้งถูกควบคุมโดย ADPG ซึ่งผลิตจากการทำงานของ ADPGase ในระหว่างการตรึงคาร์บอนจะมีการสร้าง phosphoglyceric acid ใน chloroplast เพิ่มมากขึ้น สำหรับเวลากลางคืนไม่มีการสร้าง phosphoglyceric acid จึงทำให้ระดับ ADPG ลดลง การสังเคราะห์แป้งจึงหยุดลง นอกจากนี้ในเวลากลางคืนจะมีการสร้าง inorganic phosphate ใน chloroplast เพิ่มขึ้น 30 - 50 เปอร์เซนต์ และมีระดับความเป็นกรดด่างของ stroma ใน chloroplast ลดลง เป็นผลให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ย่อยแป้งเกิดเป็นน้ำตาลซูโครส ขนย้ายไปยังส่วนต่างๆได้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) ซึ่งน้ำตาลซูโครสจะเป็นสารที่เคลื่อนย้ายได้ในพืช ก่อนจะเคลื่อนย้ายเข้าสู่ amyloplast จะถูกเปลี่ยนเป็น uridine diphosphate glucose (UDPG) โดยการทำงานของเอนไซม์ sucrose synthase และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น glucose 1 phosphate ด้วยเอนไซม์ UDPG pyrophosphorylase หรืออาจถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น glucose 6 phosphate ด้วย phosphoglucomutase ทั้ง glucose 1 phosphate และ glucose 6 phosphate เข้าสู่ amyloplast ได้โดยผ่านทาง hexose-phosphate translocator เพื่อนำไปใช้สำหรับสังเคราะห์ ADPG ต่อไป (Smith *et al.*, 1995)

การสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นใน plastid เนื่องจาก plastid มีหน้าที่เฉพาะ เช่น ใน chloroplast (มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง) plastid ของเมล็ดพืชน้ำมัน (สังเคราะห์กรดไขมัน) และ chromoplast ในรากแครอท (สังเคราะห์ carotenoid) หรือในบางกรณี amyloplastในใบเลี้ยงของถั่วบางชนิด พัฒนามาจาก chloroplast เป็นต้น และมีส่วนอื่นที่สังเคราะห์แป้งได้บ้างได้แก่ meristem และ root cap (Martin and Smith, 1995)

สำหรับกระบวนการสังเคราะห์แป้งประกอบ 4 ขั้นตอน โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องหลายชนิดได้แก่ ADP-glucose pyrophosphorylase (ADPGase) starch synthase (SS) และ starch branching enzyme (SBE) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนการสังเคราะห์แป้งมีดังนี้

1. ขั้นเริ่มต้น (initiation) เป็นการสร้าง adenosine diphosphoglucose (ADPG) ที่ได้มาจาก glucose 1 phosphate ทำปฏิกิริยากับ ATP โดยมี ADPGase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ADPGase นี้ทำงานได้ดีใน plastid จึงทำให้มีทั้ง glucose 1 phosphate และ ATP ปรากฏมากใน plastid สำหรับ ATP ใน chloroplast ได้มาจากการสังเคราะห์แสง ส่วน glucose 1 phosphateได้จาก pentose phosphate pathway ใน chloroplast โดยมี phosphoglucoisomerase และ phosphoglucomutase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือสังเคราะห์ใน plastid ได้จาก glucose 6 phosphate โดยมี phosphoglucomutase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วน pyrophosphate ที่ผลิตขึ้นโดย ADPGase จะเคลื่อนย้ายออกจาก plastid ได้โดย inorganic alkaline pyrophosphate

2. ขั้นต่อสายยาว (chain elongation) มีเอนไซม์ starch synthase ทำหน้าที่ต่อเชื่อมที่ตำแหน่ง α-1,4 ระหว่างปลาย non-reducing ของสายโซ่ glucan กับ glucosyl moiety ของ ADPG เพื่อให้ได้สายโซ่ยาวของโครงสร้าง amylose หรือ amylopectin

3. ขั้นต่อกิ่งก้าน (branching) เมื่อโครงสร้าง amylose มีสายยาวพอสมควร เอนไซม์ที่สร้างพันธะกิ่ง (branching enzyme) จะตัดพันธะ α-1,4 ของสายโซ่ และสร้างพันธะ α-1,6 ระหว่างสายโซ่ที่ตัดกับหน่วยของกลูโคส เกิดเป็นกิ่งก้านของ amylopectin กิ่งก้านที่เกิดขึ้นจะมีทุก 20 หน่วยของสายโซ่

4. ขั้นการสร้างเม็ดแป้ง (granule formation) ช่วงที่เกิดต่อสายยาว จะเกิดการเรียงโมเลกุลเป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบและผลึก (crytallization) ควบคู่กัน และเกิดโมเลกุลเม็ดแป้งที่สมบูรณ์

ในขั้นการสร้างเม็ดแป้งโดยใช้เอนไซม์ starch synthase และ branching enzyme ซึ่ง starch synthase ใน amyloplast แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ติดกับเม็ดแป้ง (granule-bound starch synthase, GBSS) ที่ใช้ ADPG เป็นสารตั้งต้น ทำหน้าที่เชื่อมหน่วยของกลูโคสกับสาย amylose เท่านั้น และชนิดที่ละลาย (soluble starch synthase, SSS) ที่ใช้ ADPG เป็นสารตั้งต้นทำหน้าที่เชื่อมหน่วยของกลูโคสกับสาย amylose และ amylopectin ซึ่งมีผลต่ออัตราส่วนในการสังเคราะห์ amylose กับ amylopectin ที่แตกต่างกัน (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546; Martin and Smith, 1995)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 $(C_6H_{10}O_5)n$ แป้งเป็น polymer ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสาย polymer ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (reducing end group) แป้งประกอบด้วย polymer ของกลูโคส 2 ชนิดคือ polymer เชิงเส้น (amylose) และ polymer เชิงกิ่ง (amylopectin) (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

amylose เป็น polymer เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,4 ในธรรมชาติ amylose มีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก สำหรับแป้งมันสำปะหลังนั้นมีปริมาณ amylose 17 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ขนาดโมเลกุลเฉลี่ย 2,600 DP (degree of polymerization) จำนวนสายเฉลี่ย 7.6 NC (average number of chain) ความยาวเฉลี่ย 340 CL (average chain length) โมเลกุลกิ่ง 42 เปอร์เซ็นต์ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546; Martin and Smith, 1995)

amylopectin เป็น polymer เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็น polymer กลูโคสสายสั้นมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,6 ซึ่งมีอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซนต์ ของปริมาณหน่วยกลูโคสใน amylopectin ทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของ amylopectin ในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของ amylopectin ประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด

1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้

2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่าโครงสร้าง amylopectin ประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตรา 0.8 - 0.9 : 1

3) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ใน amylopectin แต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณ amylopectin 83 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ขนาดโมเลกุลประมาณ $2X10^6$ หน่วยน้ำตาลกลูโคส (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546; Buleon *et al.*, 1998; Martin and Smith, 1995)

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystailine) โดยโมเลกุลของ amylose และ amylopectin จะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนที่เป็นผลึก (crystailine) ในแนวที่ขนานกันโดยมีพันธะไฮโดรเจนเป็นตัวช่วยสร้างให้เข้ามาเรียงเป็นชั้น (Whistler *et al.*, 1984) หรือเกาะรวมตัวกับน้ำ (hydrate bridge) ทำให้เกิดเป็นบริเวณอัดกันแน่นเป็นผลึกเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนมาก และบริเวณที่เป็นอสัณฐานเนื่องจากมีแรงพันธะไฮโดรเจนน้อย ส่วนที่เป็นผลึกเกิดจาก amylopectin แต่ละโมเลกุลในหลายๆผลึกเชื่อมกันเป็นร่างแห 3 มิติด้วยพันธะไฮโดรเจน ความแข็งแรงของผลึกขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลที่มาเชื่อมต่อกันและการจัดเรียงโมเลกุลภายในเม็ดแป้งสลับกันไปมาโดยมี amylose แทรกอยู่บริเวณเหล่านี้ ในแป้งธรรมชาติจะมีบริเวณผลึกประมาณ 25 - 50 เปอร์เซ็นต์ แป้งจากพืชหัวและรากจะมีเพียง amylopectin เท่านั้นที่อยู่ในส่วนผลึก ส่วน amylose จะแทรกอยู่ในอสัณฐานซึ่งพร้อมจะถูกชะออกจากเม็ดแป้ง (Martin and Smith, 1995)

การควบคุมการทำงานในพืชโดยโปรตีน

ชนิดของโปรตีนในพืชแบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีนโครงสร้าง (structural protein) โปรตีนควบคุมการทำงาน (functional protein) และโปรตีนสะสม (storage protein)โปรตีนโครงสร้างเป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของสารในโครงสร้างของพืช เช่น เป็นโปรตีนที่เข้าไป inert ในปฏิกิริยาชีวเคมีและกระจายอยู่ในผนังเซลล์พืช เป็นต้น โปรตีนสะสมเป็นโปรตีนที่พืชสะสมไว้ในส่วนต่างๆ เช่นในเมล็ด เป็นต้น สำหรับโปรตีนควบคุมการทำงาน ได้แก่

เอนไซม์ชนิดต่างๆ ในพืช ซึ่งเป็นโปรตีนทั้งหมดและช่วยเร่งปฏิกิริยาชีวเคมีในพืช หรือเป็นโปรตีนที่นำสารหรือ ion จากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งในพืช เป็นต้น (Sinha, 2004)

โปรตีนควบคุมการทำงาน โดยเฉพาะเอนไซม์นั้นมีหลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติและลักษณะการทำงานแตกต่างกันไปได้แก่

เอนไซม์ที่ช่วยตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช C_3 คือ Ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) เป็นเอนไซม์ที่มีขนาดประมาณ 560 kDa ซึ่งประกอบด้วย 8 subunit ใหญ่ (แต่ละ subunit มีขนาดประมาณ 55 kDa) และ 8 subunit เล็ก (แต่ละ subunit มีขนาดประมาณ 15 kDa) โดยเรียกว่า L และ S ตามลำดับ L subunit ถูก endcode โดย chloroplast genome ส่วน S subunit โดย nuclear genome แล้วเคลื่อนย้ายเข้าสู่ chloroplast รวมตัวกับ L subunit ใน stroma ของ chloroplast แล้วจึงทำงานเป็น holoenzyme (Martin *et al.*, 2000; Buchanan *et al.*, 2000)

substrate ของ Rubisco มีอยู่ 2 ชนิดได้แก่ CO_2 และ O_2 ซึ่งแข่งขันกันจับที่ active site เดียวกัน กิจกรรมของเอนไซม์ในการจับกับ substrate ถูกกำหนดโดยปริมาณของ CO_2 และ O_2 ในสภาพแวดล้อม จากปริมาณของ CO_2 และ O_2 ในอากาศ ปฏิกิริยา carboxylation เกิดขึ้นมากกว่า oxygenation 3 เท่า แต่ใช่ว่าจะไม่เกิด oxygenation ในบางกรณี CO_2 ที่ตรึงได้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงต้องสูญเสียไปประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการ photorespiration (Buchanan *et al*., 2000)

ในปฏิกิริยา carboxylation เป็นการทำงานของ Rubisco ในรูปของ carboxylase เร่งปฏิกิริยา ribulose 1,5 bisphosphate จับกับ CO_2 ไปเป็น 2 โมเลกุลของ 3 phosphoglycerate ต่างจากขบวนการ photorespiration โดยเริ่มจากการทำงานของ Rubisco ในรูปของ oxygenase เร่งปฏิกิริยา ribulose 1,5 bisphosphate จับกับ O_2 ไปเป็น 1 โมเลกุลของ 3-phosphoglycerate และ 2 phosphoglycolate ซึ่ง 2 phosphoglycolate นั้นมีเพียง 2 คาร์บอนเท่านั้น ในการนำ 2 phosphoglycolate ไปใช้ประโยชน์ต้องนำไปสู่ขบวนการ photorespiration (Roy and Andrews, 2000; Buchanan *et al*., 2000)

เอนไซม์ที่ย่อยแป้งในปฏิกิริยา phosphorolytic cleavage ได้แก่ Pho (starch phosphorylase) พบในส่วนต่างๆของในพืชชั้นสูง เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยา phosphorolytic cleavage ของ glucose

residues ของ non-reducing end ของสายโซ่ glucan ไปเป็น glucose 1 phosphate ซึ่ง Pho ไม่สามารถย่อยเม็ดแป้งได้ การเริ่มต้นการย่อยแป้งขึ้นอยู่กับเอนไซม์ hydrolytic endoamylase ก่อน ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยของ Pho นั้น Pho เข้าจับเฉพาะ bond ในตำแหน่งที่ห่างจากจุดแตกกิ่งอย่างน้อย 4 glucose residues ปฏิกิริยา phosphorolytic เกิดต่อเนื่องโดย debranching enzyme จับบนโมเลกุลแป้ง ซึ่งย่อย (1,6) bonds ได้เป็นสายโซ่เดี่ยว หลังจากนั้น Pho เข้าทำปฏิกิริยา ดังนั้น debranching enzyme และ glucosyltransferase ทำให้ polymer ของ glucan สั้นลงเพื่อผลิตเป็น substrate ของ phosphorylase (Trethwey and Smith, 2000; Buchanan *et al.*, 2000)

ในมันฝรั่ง isoenzyme ของ Pho พบทั้งใน plastid และ cytosol ซึ่งเป็นผลผลิตของ gene เดี่ยว มี 2 plastidic isoform ที่ผลิตโดย gene *pho Ia* และ *pho Ib* ซึ่ง *pho Ia* ผลิตเอนไซม์ส่วนใหญ่ใน plastid ในหัว และ *pho Ib* ผลิตเอนไซม์ส่วนใหญ่ใน chloroplast และพบทั้ง 2 isoformในถั่ว pea (Setup and Latzko, 1979)

เมื่อสภาพแวดล้อมพืชมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพปกติ ทำให้การทำงานของโปรตีนควบคุมการทำงานผิดปกติไป โปรตีนเหล่านี้ต้องการกลุ่มของโปรตีนผู้ช่วยที่เรียกว่า molecular chaperones เข้าไปแทรกอยู่ใน functional form ของโปรตีนเหล่านั้น เพื่อให้โปรตีนเหล่านั้นทำงานต่อไปได้ ซึ่ง molecular chaperones มีส่วนช่วยในกระบวนการต่างๆ ที่สำคัญของพืชหลายขบวนการ ได้แก่ การเคลื่อนย้ายโปรตีนเข้าสู่เซลล์ การย่อยสลายโปรตีน การปรากฏของ antigen การส่งสัญญาณ การพัฒนาและการควบคุม apoptosis เป็นต้น ในการเริ่มต้นการศึกษาการแสดงออกของ molecular chaperones นั้น ได้ทดลองโดยการชักนำด้วยอุณหภูมิ ทำให้สามารถแยก heat shock protein (HSPs) ได้ ซึ่ง HSPs ที่แยกได้นั้นมีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 100 90 70 60 และอยู่ระหว่าง 15 - 25 kDa (small HSPs) (Sharkia *et al*., 2002)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างผลผลิตและปริมาณแป้งของมันสำปะหลัง

1) พันธุ์

มันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวได้แตกต่างกันไป เช่น ในแปลงปลูกของเกษตรกรทั่วประเทศนั้น (จากผลการสำรวจของปีเพาะปลูก 2539 2541 2542 และ 2545 เฉลี่ย 4 ปี) พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตเฉลี่ย (2,868 2,788 และ

2,867 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ) สูงกว่าพันธุ์เดิมระยอง 1 (2,126 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่พันธุ์ระยอง 60 ให้ผลผลิตเฉลี่ย (2,372 กิโลกรัมต่อไร่) สูงกว่า พันธุ์ระยอง 1 แต่พันธุ์ระยอง 3 ให้ผลผลิต (2,097 กิโลกรัมต่อไร่) ใกล้เคียงกับพันธุ์ระยอง 1 (Rojanaridpiched *et al.*, 2002)

ในแปลงทดลองพบว่าสายพันธุ์ MKUC 34-114-206ให้ผลผลิตหัวสดและแห้งเฉลี่ย (5,751 และ2,138 กิโลกรัมต่อไร่) สูงกว่าพันธุ์ระยอง 5 (4,988 และ 1,877 กิโลกรัมต่อไร่) และเกษตรศาสตร์ 50 (5,382 และ 2,002 กิโลกรัมต่อไร่) ส่วนปริมาณแป้งในหัวนั้น สายพันธุ์ MKUC 34-114-206 มีปริมาณแป้งในหัวสูงสุดเท่ากับ 25.4 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่มีปริมาณแป้งในหัว 25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์ระยอง 5 มีปริมาณแป้งในหัว 24.1 เปอร์เซ็นต์ (วิจารณ์ และคณะ, 2546) และในการศึกษาพันธุกรรมและปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพมันสำปะหลัง โดยทำการทดสอบการตอบสนองของมันสำปะหลังภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างเมื่อปลูกต้นฤดูฝนพบว่าผลผลิตหัวสดของพันธุ์ระยอง 1 (28.2 ตันต่อเฮกตาร์) และศรีราชา 1 (27.4 ตันต่อเฮกตาร์) ต่ำกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (33.2 ตันต่อเฮกตาร์) ระยอง 60 (32 ตันต่อเฮกตาร์) และระยอง 90 (31.4 ตันต่อเฮกตาร์) ส่วนปริมาณแป้งในหัวของพันธุ์ระยอง 1 (19.7 เปอร์เซ็นต์) และระยอง 60 (20 เปอร์เซ็นต์) ต่ำกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (24.5 เปอร์เซ็นต์) ระยอง 90 (24.4 เปอร์เซ็นต์) และศรีราชา 1 (24 เปอร์เซ็นต์) (โอภาษ, 2539)

2) ฤดูปลูก

การปลูกมันสำปะหลังในช่วงฤดูฝน (เดือนสิงหาคม - กันยายน) ให้ผลผลิตต่ำกว่าการปลูกในช่วงต้นฝน (เดือนพฤษภาคม - มิถุนายน) อาจเนื่องมาจากในช่วงที่มีฝนตกชุก เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของต้นมันสำปะหลังมีน้อย นอกจากนี้ในช่วงกลางฤดูฝนอาจมีปัญหาในการเตรียมดินด้วย ส่วนการปลูกมันสำปะหลังในช่วงต้นฤดูฝนเมื่อเริ่มมีฝนจะทำการเตรียมดินครั้งแรกและรอฝนเพื่อทำการพรวนก็สามารถปลูกได้ (เจริญศักดิ์, 2532) สำหรับการปลูกมันสำปะหลังในช่วงแล้งในดินที่มีเปอร์เซ็นต์ของทรายค่อนข้างสูง ทำให้เตรียมดินได้ละเอียดจึงสัมผัสกับท่อนพันธุ์ได้ดีกว่าดินที่มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบสูง นอกจากนี้การปลูกในช่วงฤดูแล้งสามารถลดปัญหาวัชพืช มีผลต่อการอนุรักษ์ดิน เนื่องจากช่วงแรกที่ปลูกมันสำปะหลังเจริญเติบโตช้า แต่ไม่มีฝนตกที่จะทำให้เกิดการชะล้างหน้าดิน เมื่อถึงฤดูฝนมันสำปะหลังจะเจริญเติบโตแผ่พุ่มใบทำให้ลดแรงปะทะจากฝน จึงทำให้ได้ผลผลิตหัวสดและหัวแห้งสูง (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2530)

การปลูกมันสำปะหลังต้นฤดูฝนให้ผลผลิตสูงกว่าปลายฤดูฝน เนื่องจากการปลูกปลายฤดูฝน ในระยะแรกของการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงฤดูแล้ง หรือฝนทิ้งช่วงยาวนาน 5 - 6 เดือน (โอภาษ และจักรินทร์, 2540) การขาดน้ำในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตสูงกว่าการขาดน้ำในระยะอื่นๆ ของการเจริญเติบโต (El-Sharkawy and Cock, 1987) นอกจากนี้การปลูกมันสำปะหลังต้นฤดูฝนให้ปริมาณแป้งในหัวสดสูงกว่าการปลูกปลายฤดูฝนมาก (โอภาษ และจักรินทร์, 2540)

3) ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว

ผลผลิตหัวสดและหัวแห้งของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอายุ แต่ปริมาณแป้งในหัวได้รับผลกระทบจากฤดูเก็บเกี่ยวมากกว่าฤดูปลูก (วิจารณ์ และคณะ, 2533) การปลูกมันสำปะหลังต้นฤดูฝนนั้น ถ้าเก็บเกี่ยวที่อายุ 8 เดือนหลังปลูก จะให้ปริมาณแป้งในหัวสูงที่สุด เนื่องจากระยะนี้มันสำปะหลังยังมีการสร้างและสะสมแป้งอยู่ ประกอบกับความชื้นในดินต่ำ หัวมันสำปะหลังดูดน้ำได้น้อย มีผลให้ปริมาณแป้งในหัวสูง หลังจากนั้นพื้นที่ใบลดลงต่ำมากเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้ง การสร้างแป้งจะน้อยกว่าการนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ มีผลให้ปริมาณแป้งในหัวสดลดลง และเมื่อเข้าสู่ช่วงต้นฤดูฝน คือที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก ปริมาณแป้งลดลง เนื่องจากแป้งที่สะสมไว้ในหัวสด จะถูกนำมาใช้ในการสร้างกิ่งและใบใหม่ สำหรับการปลูกปลายฤดูฝนนั้น ถ้าเก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก ให้ปริมาณแป้งในหัวสดสูงสุด เนื่องจากอายุที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงฤดูฝน มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตและสะสมแป้งต่อเนื่อง (โอภาษ, 2539)

นอกจากนี้อายุการเก็บเกี่ยวของหัวมันมีผลต่อปริมาณและขนาด amylose รวมถึงโครงสร้าง amylopectin โดยหัวมันที่มีอายุเกิน 12 เดือน จะมีปริมาณ amylose ลดลงแต่มีขนาดใหญ่ขึ้นและโครงสร้าง amylopectin จะมีจำนวนสายลดลงพร้อมๆกับความยาวของสายที่เพิ่มขึ้น (กาญจนา, 2541)

4) ปริมาณน้ำฝน

ผลผลิตหัวสดและหัวแห้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณฝนที่ได้รับ ผลผลิตหัวสดและหัวแห้งจะเพิ่มอย่างยิ่งเมื่อได้รับปริมาณน้ำฝนอย่างต่อเนื่องและคงที่เมื่อเข้าสู่ช่วงแล้ง สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในเดือนสิงหาคม ปริมาณน้ำฝนที่มันสำปะหลังได้รับมีผลต่อปริมาณแป้งในหัวสด ปริมาณ

น้ำฝนที่ได้รับในระยะแรกทำให้ปริมาณแป้งในหัวลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนน้อย มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตน้อยมาก ทำให้มันสำปะหลังนำแป้งที่สะสมในหัวมาใช้แต่ปริมาณน้อย หัวมันสำปะหลังสดจึงคงยังมีปริมาณแป้งในหัวสูง แต่เมื่อได้รับฝนปริมาณมาก มันสำปะหลังยังไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้เต็มที่เนื่องจากมีผลผลิตต้นสดต่ำจึงต้องนำแป้งที่สะสมไว้ในหัวมาใช้เพื่อการเจริญเติบโต จึงพบว่าปริมาณแป้งในหัวต่ำลง ต่อมาเมื่อมันสำปะหลังได้รับฝนอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจึงสามารถสังเคราะห์แสงและสะสมแป้งในหัวสดมากขึ้น ปริมาณแป้งในหัวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน มันสำปะหลังชะงักการเจริญเติบโตอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ช่วงแล้ง จึงต้องนำแป้งที่สะสมในหัวมาใช้ทำให้ปริมาณแป้งลดลง ส่วนมันสำปะหลังที่ปลูกเดือนพฤษภาคมนั้น ในช่วงแรกมันสำปะหลังได้รับน้ำฝนอย่างสม่ำเสมอ มีปริมาณแป้งในหัวเพียง 21.1 เปอร์เซ็นต์ แม้มันสำปะหลังมีอายุเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงแล้ง ปริมาณแป้งในหัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากมันสำปะหลังชะงักการเจริญเติบโตจึงมีแป้งสะสมในหัวมาก หลังจากนั้นมันสำปะหลังได้รับน้ำฝน มันสำปะหลังต้องนำแป้งบางส่วนในหัวมาใช้ ปริมาณในหัวลดลง จากนั้นเข้าสู่ช่วงแล้งอีกครั้งและได้รับน้ำฝนมาก ทำให้มันสำปะหลังต้องนำแป้งที่สะสมมาใช้สร้างผลผลิตอีกครั้ง ปริมาณแป้งในหัวสดจึงลดลง จากนั้นมันสำปะหลังได้รับน้ำฝนอย่างต่อเนื่องจึงสะสมปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น (ไชยรัตน์, 2542) นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนก่อนการเก็บเกี่ยว 1 เดือนจะมีผลต่อโครงสร้างขององค์ประกอบแป้ง (กาญจนา, 2541)

5) ชนิดดิน

มันสำปะหลังที่ปลูกในดินต่างชนิดกันนั้นจะส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลังแตกต่างกัน เนื่องจากดินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างของดิน ความเป็นกรด-ด่าง ความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งการปลูกมันสำปะหลังในชุดดินต่างๆ นั้นมีศักยภาพในการให้ผลผลิตแป้งที่สกัดได้และผลผลิตมันแห้งของชุดดินเรียงจากสูงสุดไปต่ำสุดเป็นดังนี้ คือ สุรินทร์ สีคิ้ว วาริน สตึก โคราช ยโสธร และโชคชัย ศักยภาพในการให้ผลผลิตของชุดดินสุรินทร์ และสีคิ้วในเกณฑ์สูงเนื่องจากหน้าดินลึกและระดับน้ำใต้ดินอยู่ตื้น (สมเจตน์ และคณะ, 2537) ทำให้มันสำปะหลังใช้ประโยชน์จากน้ำใต้ดินในรูปน้ำซับ (capillary water) ได้ในระยะที่ฝนทิ้งช่วงหรือฤดูแล้ง ส่วนชุดดินโชคชัยให้ผลผลิตต่ำทั้งที่เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากหน้าดินตื้น ในช่วงฝนทิ้งช่วงหรือฤดูแล้ง ดินขาดน้ำอย่างรุนแรง มีผลทำให้มันสำปะหลังชะงักการเจริญเติบโต ผลผลิตลดลง (โอภาษ และจักรินทร์, 2540)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับเก็บข้อมูลในแปลง

1. เครื่องมือสำหรับวัดความชื้นในดิน ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลความชื้นดินที่ความลึก 4 ระดับ ได้แก่ความลึก 20 40 60 และ 80 เซนติเมตร โดยมีเครื่องบันทึกข้อมูล (data locker)

2. สถานีตรวจอากาศ ประกอบด้วย เครื่องมือวัดน้ำฝน เครื่องมือวัดความเข้มแสง โดยมีเครื่องสำหรับบันทึกข้อมูล (data locker) และสามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วย

3. เครื่องชั่งวัดเชื้อแป้ง (Reimann balance) เครื่องมือที่ใช้ในภาคสนามสำหรับหาปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลัง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

1. เครื่อง Polarimeter (Model Schmidt+Haensch Polartronic MH) สำหรับวัดค่า total rotatory power เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแป้งจากตัวอย่างหัวมันสดอบแห้ง

2. เครื่อง Electrophoresis (Model Hoefer SE 600 series) สำหรับแยก band ของโปรตีน เพื่อวิเคราะห์ protein profile

3. เครื่องมือพื้นฐานต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

การทดลองแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการปลูกทดลองในแปลง ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองของส่วนที่ 1 ซึ่ง รายละเอียดของแต่ละส่วน มีดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ปลูกทดลองในแปลง ซึ่งปลูกที่สถาบันพัฒนามันสำปะหลัง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมาโดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกเป็นการปลูกมันสำปะหลังต้นฤดูฝน (วันที่ 28 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2546) การทดลองที่ 2 เป็นการปลูกมันสำปะหลังปลายฤดูฝน (วันที่ 9 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2546) ทั้งสองการทดลองวางแผนการทดลองแบบ 3X7 Factorial in RCBD ทำ 4 ซ้ำ ซึ่งประกอบด้วย

ปัจจัยที่ 1 คือ มันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 1

ปัจจัยที่ 2 คือ อายุเก็บเกี่ยว 7 ครั้ง ได้แก่ การเก็บเกี่ยวเมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 4 6 8 10 12 และ 14 เดือนหลังปลูก

แต่ละแปลงย่อยมีขนาด 5X8 ตารางเมตร โดยเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเฉพาะพื้นที่ 3X4 ตารางเมตรซึ่งมีแถวป้องกันรอบนอก (guard row) 1 แถว ใช้ท่อนพันธุ์ขนาด 25 เซนติเมตร ปลูกแบบปักตรง โดยใช้ระยะปลูก 1X1 เมตร เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือนหลังปลูก ใส่ปุ๋ยผสมสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยการขุดหลุมใส่เฉพาะจุดห่างจากต้นประมาณ 15 - 20 เซนติเมตรแล้วฝังกลบ กรณีที่มันสำปะหลังแสดงอาการขาดธาตุสังกะสี ฉีดพ่น $ZnSO_4$ ที่มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ทางใบ (foliar application)

สำหรับการเก็บข้อมูลในแปลงทดลองนั้น ประกอบด้วย

1. ความงอกและความอยู่รอดของท่อนพันธุ์เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 2 - 8 สัปดาห์หลังปลูก โดยการตรวจสอบจำนวนท่อนพันธุ์ที่มีการแตกตาและสามารถเจริญเป็นต้นต่อไปได้ในแต่ละแปลงย่อย

2. ความสูง เก็บข้อมูลทุก 1 เดือน ตั้งแต่ 1 - 14 เดือนหลังปลูก โดยวัดความสูงจาก 5 ต้นต่อแปลงย่อย

3. น้ำหนักแห้งและสดของส่วนต่างๆ ได้แก่ ลำต้น ราก (หัว) ใบ และเหง้า เริ่มเก็บข้อมูลเมื่อมันสำปะหลังมีอายุได้ 2 เดือนหลังปลูก เก็บข้อมูลทุก 2 เดือน จนกระทั่งมันสำปะหลังมีอายุ 14 เดือนหลังปลูก โดยการชั่งน้ำหนักสดทั้งหมดของส่วนต่างๆ ซึ่งการเก็บเกี่ยวในเดือนที่ 2 และ 4 เก็บตัวอย่าง 6 ต้น (6 ตารางเมตร) ต่อแปลงย่อย แต่ในเดือนต่อมาจนถึงเดือนที่ 14 เก็บตัวอย่าง 12 ต้น (12 ตารางเมตร) ต่อแปลงย่อย สำหรับการหาน้ำหนักแห้งนั้นให้นำส่วนต่างๆ มาอย่างละ 500 กรัม นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 ^{0}C แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนัก ข้อมูลที่ได้นำไปหาน้ำหนักแห้งทั้งหมด และนำน้ำหนักแห้งที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของพืช (Crop growth rate; CGR) คือ น้ำหนักแห้งของพืชที่เปลี่ยนแปลงไปต่อพื้นที่ต่อหน่วยเวลา (Radford, 1967) สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$CGR = dw/dt.1/A$$

$$= (W_1-W_2)/(t_1-t_2)$$

โดย W = น้ำหนักแห้งของพืช

A = พื้นที่ปลูก

T = ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง

4. ปริมาณแป้งในหัวสด โดยเก็บเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 6 - 14 เดือนหลังปลูก เก็บข้อมูลทุก 2 เดือน หลังจากชั่งน้ำหนักสดทั้งหมดของหัวแล้วแบ่งหัวสดที่ได้นำไปวัดหาปริมาณแป้ง โดยใช้เครื่องชั่งวัดเชื้อแป้ง (Reimann balance)

นอกจากนี้เก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศและความชื้นในอากาศโดยตั้งสถานีตรวจอากาศ ซึ่งบันทึกข้อมูลทุกวันตั้งแต่ 2 - 14 เดือนหลังปลูก การเก็บข้อมูลความชื้นในดินนั้นรายงานค่าเป็นพลังงานกำกับก้อนดิน (matric potential) ซึ่งพลังงานของน้ำส่วนนี้เกิดจากการที่น้ำสัมผัสกับส่วนที่เป็นของแข็งของดิน ประจุที่ผิวของอนุภาคดินและอินทรียวัตถุ มีผลในการดูดยึดโมเลกุลของน้ำ โดยกำหนดว่าดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ผิวน้ำที่สัมผัสกับบรรยากาศปรกติมีผิวเรียบ จะมีค่าพลังงานกำกับก้อนดินสูงสุด ในสภาพดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ อนุภาคดินจะมีบทบาทอย่างมากต่อค่าพลังงานของน้ำ โดยแสดงออกภายใต้แรงกระทำที่ผิวของน้ำ น้ำอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดยิ่งเล็กเท่าใดจะมีค่าพลังงานกำกับก้อนดินของน้ำยิ่งต่ำ (สุนทรี, 2535) ส่วนข้อมูลดินมีการเก็บตัวอย่างของแต่ละ

แปลงทดลองก่อนปลูกแล้ว ส่งไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารและคุณสมบัติของดินที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร วิทยาเขตบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้วิเคราะห์หา Protein profile ที่ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และปริมาณแป้งและ amylose ที่หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง สถาบันพัฒนาผลผลิตการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

สำหรับตัวอย่างสด เมื่อขุดมันสำปะหลังขึ้นจากแปลงปลูก แบ่งเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ ลำต้น ใบ และหัว (แยกเปลือกกับเนื้อ) แล้วทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ถุงเก็บตัวอย่างแล้วเติมไนโตรเจนเหลวและเก็บไว้ในตู้ลบ 20 ^{0} C จนกว่าจะนำไปสกัดและวิเคราะห์ protein profile

นอกจากนี้ตัวอย่าง flour ที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณแป้ง ได้จากการนำหัวมันสำปะหลังสดมาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นบางๆ นำไปอบที่ 50 ^{0}C จนกระทั่งแห้งและตัวอย่าง starch ที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณ amylose ได้จากการนำหัวมันสำปะหลังสดมาปอกเปลือก นำไปสกัดด้วยน้ำ อบให้แห้งที่ 50 ^{0}C

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์

ก่อนการวิเคราะห์นำตัวอย่างสดของส่วนต่างๆที่เก็บไว้ในตู้ลบ 20 ^{0}C มาสกัดหาปริมาณโปรตีนโดยดัดแปลงวิธี Cabral and Carvalho (Cabral and Carvalho, 2001) ซึ่งขั้นตอนการสกัดมีดังนี้

1. บดตัวอย่างด้วยไนโตรเจนเหลวให้ละเอียด ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในหลอดขนาด 50 มิลลิลิตร ที่มี Saline buffer ปริมาตร 15 มิลลิลิตร (25 mM NaH_2PO_4 250 mM NaCl 10 mM EDTA 10 mM Thiourea 0.5 mM PMSF และ 1.5 % PVP) นำหลอดตัวอย่างไปวางบน rotary shaker ที่ความเร็วรอบ 150 rpm ที่อุณหภูมิ 4 ^{0}C ทิ้งไว้ข้ามคืน

2. นำตัวอย่างไปตกตะกอนโดยใช้ความเร็วของ centrifuge ที่ 10,000 g เป็นเวลา 60 นาที 1 รอบ ที่อุณหภูมิ 4 ^{0}C กรองตัวอย่างด้วยกระดาษ Kimwipes ใส่ในหลอดใหม่ขนาด 50 มิลลิลิตร

3. นำตัวอย่างไปตกตะกอนโดยใช้ความเร็วของ centrifuge ที่ 10,000 g เป็นเวลา 60 นาที 2 รอบ ที่อุณหภูมิ 4 ^{0}C กรองตัวอย่างด้วยกระดาษ Kimwipes ใส่ในหลอดใหม่ขนาด 50 มิลลิลิตร

4. เติม absolute ethanol ที่แช่เย็นปริมาตร 2 เท่าของปริมาตรตัวอย่างที่เก็บได้

5. นำตัวอย่างไปตกตะกอนโดยใช้ความเร็วของ centrifuge ที่ 10,000 g เป็นเวลา 60 นาที 2 รอบ ที่อุณหภูมิ 4 ^{0}C เทส่วนใสทิ้ง เก็บตะกอนและละลายตะกอนด้วย Suspension buffer (20 mM NaH_2PO_4 100 mM NaCl 20 mM EDTA 1 mM PMSF และ 5 mM DTT)

6.. เก็บตัวอย่างที่ละลายใน Suspension buffer ไว้ใน microcentrifuge tube แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้ลบ 20 ^{0}C

เมื่อสกัดโปรตีนจากตัวอย่างได้ครบทุกตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธีของ Bradford (Bradford, 1976) ก่อนนำไปแยก profile โดยวิธีการ SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) ด้วยเครื่อง Electrophoresis ใน buffer system (Amersham Phamacia Biotech) ใช้ polyacrylamide gel 12.5 เปอร์เซ็นต์ หนา 1.5 มิลลิเมตร ใช้เวลา 6 – 7 ชั่วโมง ด้วย 20 mA ย้อม gel ด้วย 100 มิลลิลิตร ของ Coomassie stain (0.025 % Coomassie Blue R–250 40% methanol 7% acetic acid) โดยแช่ไว้ข้ามคืน และ destain ด้วย 100 มิลลิลิตร ของ destaining solution I (40% methanol 7% acetic acid) จำนวน 4 ครั้ง ๆ ละ 1 ชั่วโมง และ 100 มิลลิลิตร ของ destaining solution II (5% methanol 7% acetic acid) จำนวน 3 ครั้ง ๆ ละ 1 ชั่วโมง

การวิเคราะห์หาปริมาณแป้งในหัวแห้งนั้น ใช้วิธีโพลาริเมตริกของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516) และวิเคราะห์หาปริมาณ amylose ด้วยวิธีของ Knutson and Grove (Knutson and Grove, 1994) นั้นประกอบด้วยการหากราฟมาตรฐาน amylose และปริมาณ amylose จากตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง

- การเตรียมกราฟมาตรฐาน amylose

1. นำ amylose type III ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ^{0} C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและชั่ง amylose type III ที่อบแล้ว 0.005 กรัม ละลายในสารละลาย 1.5 mN iodine ใน 90 % dimethylsulfoxide โดยปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร นำไปเก็บในที่มืด ทิ้งไว้ข้ามคืน

2. หลังจากทิ้งไว้ข้ามคืน ปิเปต amylose type III ที่ละลายในสารละลาย 1.5 mN iodine ใน 90 % dimethylsulfoxide ดังนี้ 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย 1.5 mN iodine ใน 90 % dimethylsulfoxide ปริมาตร 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 และ 0.0 มิลลิลิตรตามลำดับ เพื่อปรับปริมาตรแต่ละหลอดให้ได้ 0.5 มิลลิลิตร

3. เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 4 มิลลิลิตรลงในทุกหลอดทดลอง นำสารละลายไปผสมให้เข้ากันด้วย vortex ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

4. นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ก่อนวัดนำไป vortex ก่อน นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณ amylose ต่อไป

- การวิเคราะห์ปริมาณ amylose จากตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.02 - 0.25 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย 1.5 mN iodine ใน 90 % dimethylsulfoxide ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ทำ 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง นำไปเก็บไว้ในที่มืด ทิ้งไว้ข้ามคืน

2. หลังจากทิ้งไว้ข้ามคืน ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 4 มิลลิลิตรลงในทุกหลอดทดลองและนำสารละลายไปผสมให้เข้ากันด้วย vortex ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

3 นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ก่อนวัดนำไป vortex ก่อน นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณ amylose ต่อไป

ผลและวิจารณ์

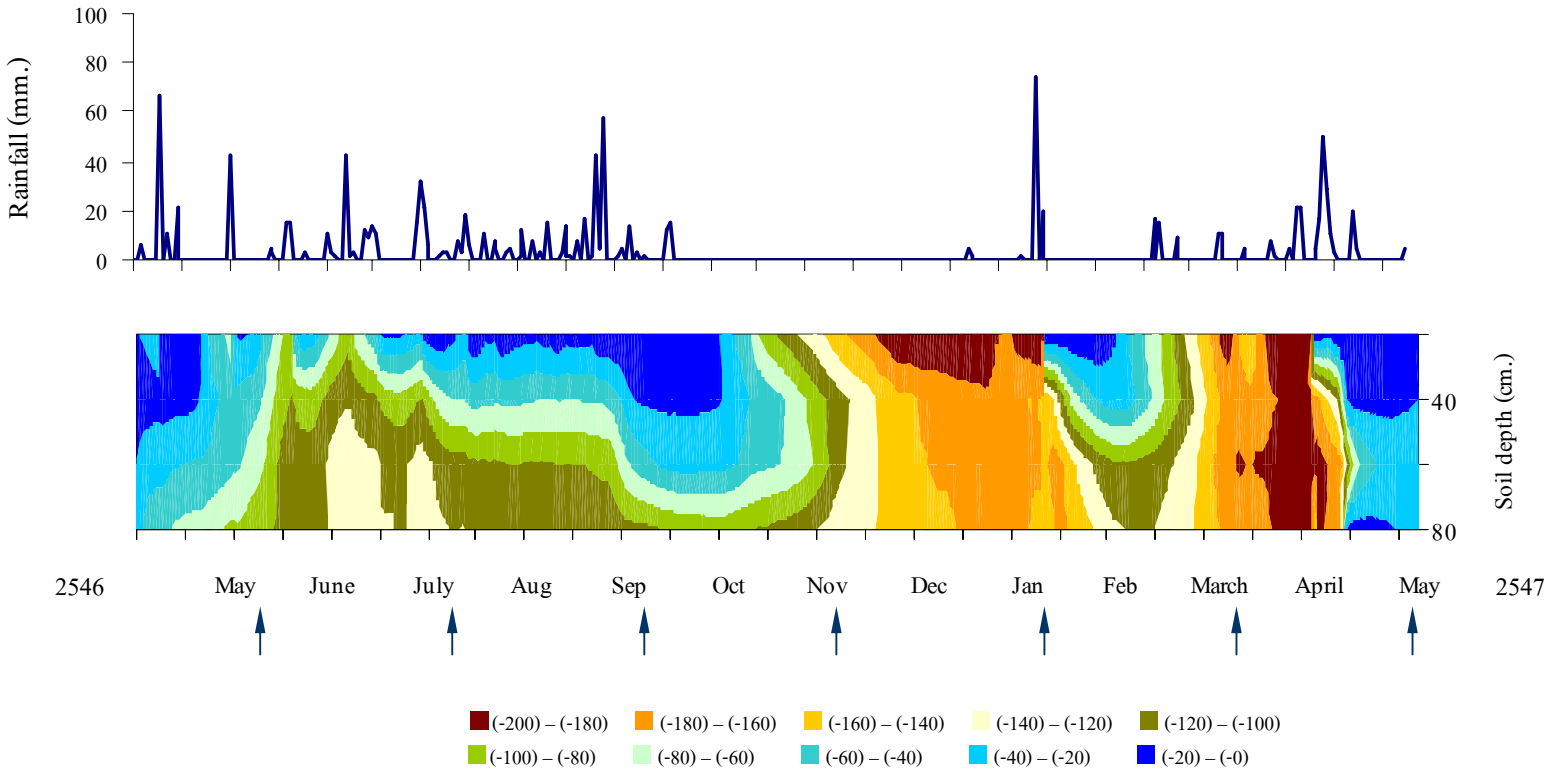
ผล

ปริมาณน้ำฝนกับค่าความชื้นในดิน

การทดลองครั้งนี้ได้มีการเก็บข้อมูลน้ำฝนและค่าความชื้นในดิน (ค่า matric potential ของดิน) ทั้งสองฤดูปลูก ซึ่งพบว่าค่า matric potential ของดินมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกกับปริมาณน้ำฝน (ภาพผนวกที่ 1และ 2) ดังนั้นค่า matric potential ของดินผันแปรตามค่าปริมาณน้ำฝนที่ดินได้รับ

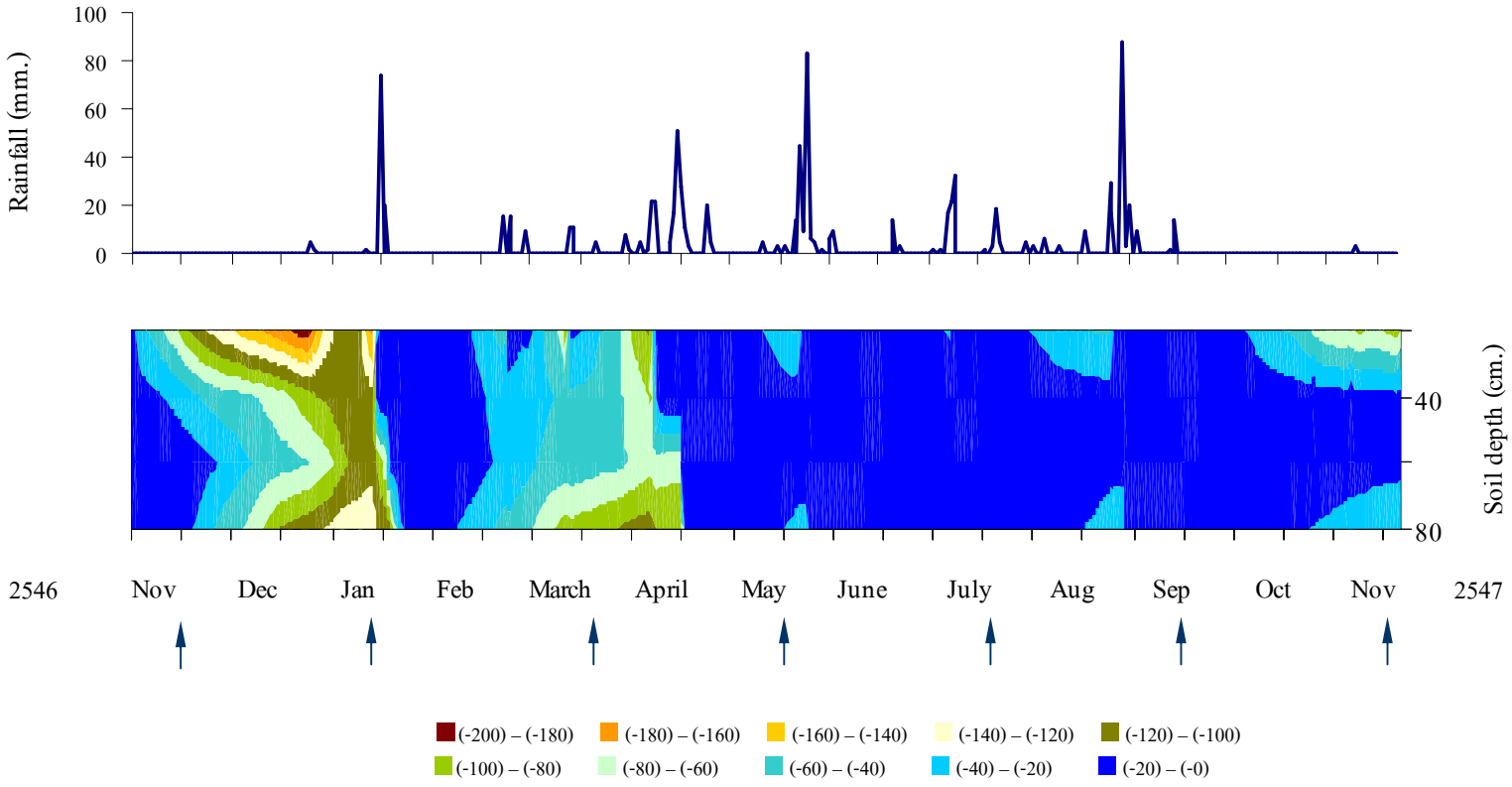
สำหรับฤดูปลูกต้นฝน ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและความชื้นดินเริ่มเก็บข้อมูลในเดือนที่ 2 หลังปลูก จากภาพที่ 1 มีฝนตกสม่ำเสมอตั้งแต่เดือนที่ 2 จนกระทั่งเดือนที่ 7 หลังปลูก ถึงแม้บางช่วงมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 20 มิลลิเมตร หลังเดือนที่ 7 หลังปลูก (เป็นช่วงฤดูแล้งไม่มีฝนตกประมาณ 3 เดือน) จนถึงเดือนที่ 10 หลังปลูก กลางเดือนที่ 11 หลังปลูก มีฝนตกในปริมาณที่สูงเป็นช่วงเวลาสั้นๆ และฝนเริ่มตกอีกครั้งกลางเดือนที่ 12 หลังปลูก มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 20 มิลลิเมตร และสูงกว่า 20 มิลลิเมตร ในช่วงต้นเดือนที่ 14 หลังปลูก ซึ่งส่งผลต่อค่า matric potential ของดิน (ภาพที่ 1) มีค่าค่อนข้างสูงในช่วงเดือนที่ 2 จนถึงกลางเดือนที่ 8 หลังปลูก ถึงแม้หลังเดือนที่ 7 หลังปลูกไม่มีฝนตกแล้วก็ตาม แต่ดินยังคงรักษาค่า matric potential ให้ลดลงอย่างช้าๆ หลังจากนั้นค่า matric potential ของดินลดต่ำมากจนกระทั่งกลางเดือนที่ 11 หลังปลูก มีปริมาณฝนตกสูงมาก (มากกว่า 70 มิลลิเมตร) เพียงพอให้ค่า matric potential กลับมีค่าสูง และลดลงอีกครั้งกลางเดือนที่ 12 หลังปลูก ปริมาณน้ำฝนสูงกว่า 20 มิลลิเมตร ในต้นเดือนที่ 14 หลังปลูก ทำให้ค่า matric potential มีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง

ส่วนฤดูปลูกปลายฝน ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและความชื้นดินเริ่มเก็บข้อมูลกลางเดือนที่ 2 หลังปลูก จากภาพที่ 2 ดินไม่ได้รับปริมาณน้ำฝนมาตั้งแต่กลางเดือนที่ 2 หลังปลูก ถึงปลายเดือนที่ 4 หลังปลูก ดินได้รับปริมาณน้ำฝนสูงกว่า 60 มิลลิเมตร หลังจากนั้นต้นเดือนที่ 6 หลังปลูก มีฝนตกอย่างสม่ำเสมอ จนถึงปลายเดือนที่ 12 หลังปลูก โดยส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 20 มิลลิเมตร มีบางช่วงที่ดินได้รับปริมาณน้ำฝนสูงได้แก่ ปลายเดือนที่ 7 ต้นเดือนที่ 9 กลางเดือนที่ 10 และกลางเดือนที่ 12 หลังปลูก โดยมีปริมาณน้ำฝนสูงกว่า 50 80 30 และ 90 มิลลิเมตรตามลำดับ



ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำฝน (mm.) และค่า matric potential ของดิน (kPa) รายวันของเดือนต่างๆในฤดูปลูกต้นฝน

หมายเหตุ ↑ หมายถึง เดือนที่เก็บตัวอย่างเมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 4 6 8 10 12 และ 14 เดือนหลังปลูก



ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำฝน (mm.) และค่า matric potential ของดิน (kPa) รายวันของเดือนต่างๆในฤดูปลูกปลายฝน

หมายเหตุ ↑ หมายถึง เดือนที่เก็บตัวอย่างเมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 4 6 8 10 12 และ 14 เดือนหลังปลูก

จึงทำให้ค่า matric potential ของดินเริ่มมีค่าต่ำลงช่วงปลายเดือนที่ 2 หลังปลูก จนถึงปลายเดือนที่ 4 หลังปลูก หลังจากนั้นค่า matric potential ของดินสูงขึ้น และกลับลดลงอีกครั้งในช่วงสั้นๆ ตั้งแต่ต้นเดือนที่ 6 หลังปลูก จนถึงกลางเดือนที่ 7 หลังปลูก ต่อมาค่า matric potential มีค่าสูงจนถึงต้นเดือนที่ 14 หลังปลูก ค่า matric potential เริ่มลดลงอีกครั้ง ซึ่งค่า matric potential ของดินตลอดฤดูปลูกนี้มีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ยกเว้นช่วงต้นเดือน 3 ถึงปลายเดือน 4 หลังปลูกเท่านั้นที่ค่า matric potential ของดินต่ำมากๆ แต่มันสำปะหลังยังสามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากน้ำในดินที่มีค่า matric potential ของดินต่าง ๆ จะมีระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืชไม่เท่ากัน ที่ค่า matric potential สูง ดินจะปลดปล่อยน้ำออกได้เป็นจำนวนมาก และเมื่อน้ำจำนวนนี้หมดไปแล้วระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำจะลดลง กล่าวคือเมื่อดินสูญเสียน้ำต่อไปอีกแม้เพียงเล็กน้อย ค่า matric potential ของดินที่เหลือจะลดลงไปอย่างมาก รากพืชต้องปรับให้ค่า potential ในเซลล์อยู่ในระดับต่ำกว่าค่า potential รวมของน้ำในดินที่อยู่ติดรากพืช จึงจะได้น้ำไป และแม้พืชจะสามารถทำให้เกิดความแตกต่างของระดับ potential ระหว่างดินกับรากพืชอย่างมากก็ตาม ปริมาณน้ำที่จะดึงจากดินได้จะเป็นจำนวนน้อยเท่านั้น หากให้ปริมาณน้ำในดินลดลงจนค่า matric potential ต่ำกว่า -0.01 MPa ระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำจะลดลงมาก ซึ่งจะมีผลให้การดูดใช้น้ำของพืชเป็นไปได้ยาก (สุนทรี, 2535)

จากภาพที่ 1 และ 2 ในฤดูปลูกปลายฝนมีค่า matric potential ของดินเฉลี่ยสูงตลอดฤดูปลูก ยกเว้นเดือนที่ 3 - 4 หลังปลูกเท่านั้นที่ค่า matric potential ของดินต่ำ ในขณะที่ในฤดูปลูกต้นฝน ค่า matric potential ของดินเฉลี่ยสูงในช่วง 8 เดือนแรกหลังปลูก และในช่วงเดือนที่ 11 และ 14 หลังปลูก นอกจากช่วงดังกล่าวข้างต้นมีค่า matric potential ของดินต่ำมาก จึงกล่าวได้ว่าในฤดูปลูกปลายฝนมีปริมาณความชื้นในดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังดีกว่าในฤดูปลูกต้นฝน

น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

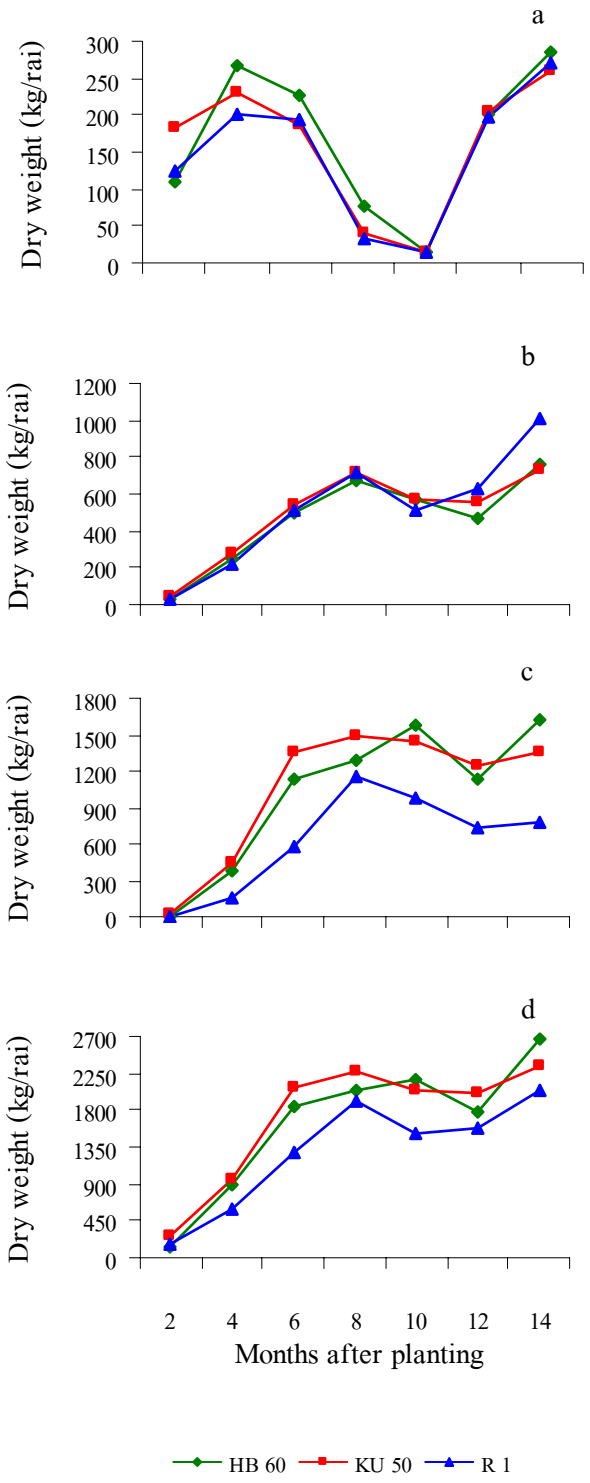
มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนใบ ลำต้น และหัว แตกต่างกันทั้งในฤดูปลูกต้นและปลายฝน โดยในฤดูปลูกต้นฝนนั้น การสะสมน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ผกผันตามการเปลี่ยนแปลงค่า matric potential ของดิน ในขณะที่ฤดูปลูกปลายฝนมีค่า matric potential ของดินเหมาะสมกับการเจริญเติบโต ทำให้มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เจริญเติบโตได้ตามปกติ

การสะสมน้ำหนักแห้งของใบ

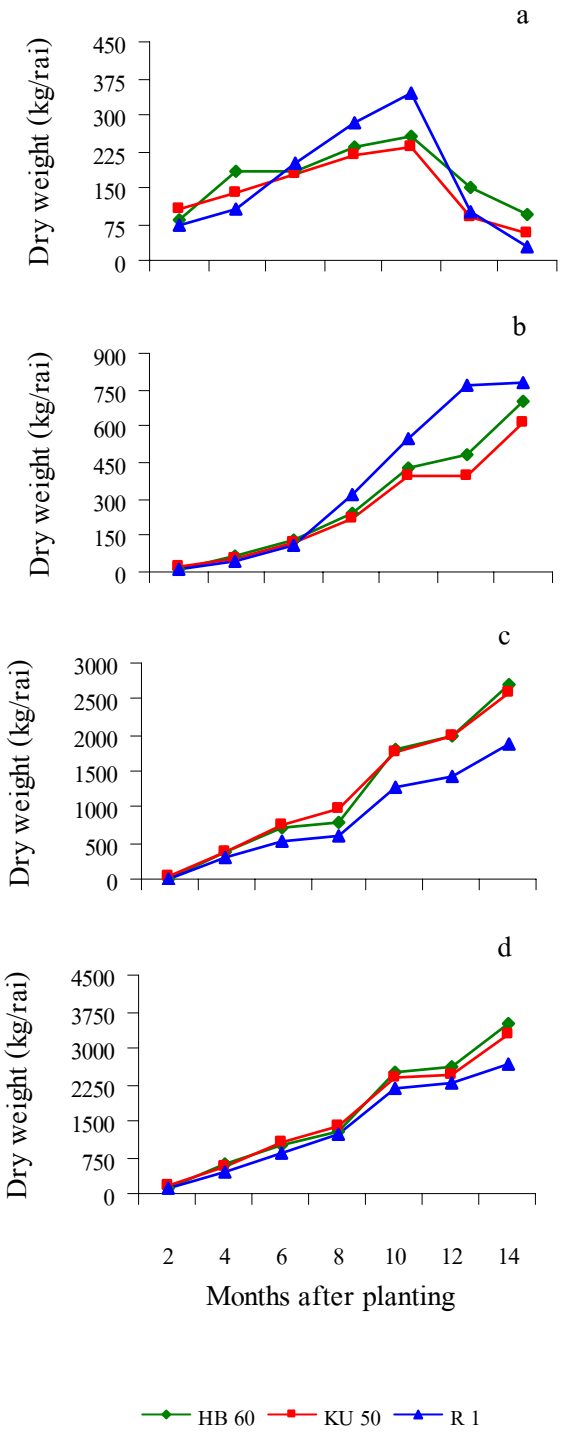
ในฤดูต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักแห้งของใบเพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น จนถึง 4 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 3 และตารางผนวกที่ 1) หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งของใบลดลงเมื่ออายุมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจนถึง 10 เดือนหลังปลูก แต่กลับเพิ่มขึ้นอีกเมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูก พันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 มีน้ำหนักแห้งของใบสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 284.7 258.1 และ 269.9 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ แต่ทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักแห้งของใบต่ำสุดเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูกโดยที่พันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 มีน้ำหนักแห้งของใบเป็น 14.2 14.3 และ 13.5 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

ส่วนในฤดูปลูกปลายฝน น้ำหนักแห้งของใบในมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น จนถึง 10 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 4 และตารางผนวกที่ 2) หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งของใบลดลงเมื่ออายุ 12 และ 14 เดือนหลังปลูก โดยพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 ให้น้ำหนักแห้งของใบสูงสุดเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูกเป็น 256.1 235.2 และ 346.5 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งในใบเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกต้นฝนไม่แตกต่างจากฤดูปลูกปลายฝน (ตารางผนวกที่ 1 2 และ 23) แต่อย่างไรก็ตามในฤดูปลูกต้นฝน เมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 เดือนหลังปลูก ทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักแห้งของใบต่ำ แต่เมื่ออายุ 12 เดือนกลับมีน้ำหนักแห้งของใบสูงเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่า matric potential ของดิน ส่วนในฤดูปลูกปลายฝน เมื่อมันสำปะหลังอายุ 12 และ 14 เดือนหลังปลูก ทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักแห้งของใบลดลง เนื่องจากมันสำปะหลังเข้าสู่ระยะพักตัว ซึ่งระยะพักตัวนี้เป็นระยะที่อัตราการสร้างใบลดลง ใบส่วนใหญ่ร่วงหล่นและลำต้นพักการเจริญเติบโต แต่มีการเคลื่อนย้ายแป้งไปสะสมที่หัว ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 300 - 360 วันหลังปลูก (Alves, 2002)



ภาพที่ 3 น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกต้นฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัว และ d) น้ำหนักแห้งทั้งหมด



ภาพที่ 4 น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกปลายฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัว และ d) น้ำหนักแห้งทั้งหมด

การสะสมน้ำหนักแห้งของลำต้น

สำหรับฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3 และตารางผนวกที่ 3) จนกระทั่ง 8 เดือนหลังปลูก หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งของลำต้นลดลงแต่กลับเพิ่มขึ้นอีกเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูก โดยพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 757.0 738.5 และ 1007.6 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

ในฤดูปลูกปลายฝน น้ำหนักแห้งของลำต้นของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4 และตารางผนวกที่ 4) โดยพันธุ์ห้วยบง60 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้น้ำหนักแห้งของลำต้นสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 697.3 และ 617.7 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ พันธุ์ระยอง 1 ให้น้ำหนักแห้งของลำต้นสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 774.2 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งของลำต้นไม่แตกต่างกับอายุ 12 เดือนหลังปลูก

น้ำหนักแห้งในลำต้นเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกต้นฝนสูงกว่าฤดูปลูกปลายฝน (ตารางผนวกที่ 3 4 และ 23) ในทุกระยะการเจริญเติบโต ยกเว้นเมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูก ซึ่งน้ำหนักแห้งในลำต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามในฤดูปลูกต้นฝน พันธุ์ระยอง 1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นสูงกว่าพันธุ์ห้วยบง 60 และในฤดูปลูกปลายฝน พันธุ์ระยอง 1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นสูงกว่าพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50

การสะสมน้ำหนักแห้งของหัว

ในฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักแห้งของหัวเพิ่มขึ้นเมื่ออายุตั้งแต่ 2 – 8 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 3 และตารางผนวกที่ 5) หลังจากนั้นมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักแห้งของหัวแตกต่างกัน พันธุ์ห้วยบง 60 มีน้ำหนักแห้งของหัวในเดือนที่ 10 และ 14 หลังปลูกเพิ่มขึ้นเป็น 1,582.1 และ 1,632.4 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีน้ำหนักแห้งของหัวไม่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น โดยมีน้ำหนักแห้งของหัวสูงสุดเมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูกเป็น 1,447.7 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งของหัวไม่แตกต่างกับอายุ 10 เดือนหลังปลูก แต่ทั้งพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีน้ำหนักแห้งของหัวลดลงเมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูก ส่วนพันธุ์

ระยอง 1 มีน้ำหนักแห้งของหัวลดลงเมื่ออายุ 12 และ 14 เดือนหลังปลูก ซึ่งให้น้ำหนักแห้งของหัวสูงสุดเมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูกเป็น 1,161.1 กิโลกรัมต่อไร่

สำหรับฤดูปลูกปลายฝน น้ำหนักแห้งของหัวของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4 และตารางผนวกที่ 6) โดยพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 ให้น้ำหนักแห้งสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 2,694.2 2,600.3 และ1,867 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

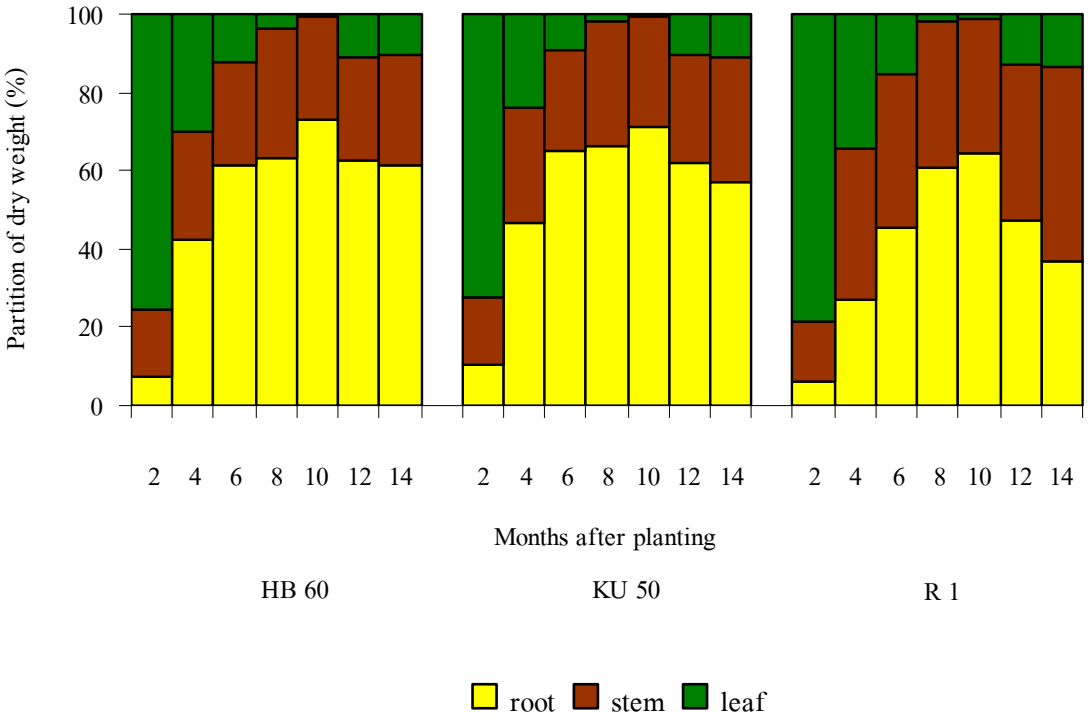
น้ำหนักแห้งในหัวเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกปลายฝนสูงกว่าฤดูปลูกต้นฝน (ตารางผนวกที่ 5 6 และ 23) โดยเฉพาะเมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 12 และ 14 เดือนหลังปลูก แต่ในเดือนที่ 6 และ 8 หลังปลูก น้ำหนักแห้งในหัวเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกปลายฝนต่ำกว่าฤดูปลูกต้นฝน อย่างไรก็ตามทั้งในฤดูปลูกต้นและปลายฝน พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีน้ำหนักแห้งในหัวเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1

สัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ และอัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

สัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งหาได้จากน้ำหนักแห้งในแต่ละส่วนเป็นร้อยละเท่าใดของน้ำหนักแห้งทั้งหมด (ผลรวมของน้ำหนักแห้งในส่วนของใบ ลำต้น และหัว) ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังนั้น เมื่ออัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังมีค่าเป็นบวก นั่นคือมีการสะสมน้ำหนักแห้งเกิดขึ้นที่ส่วนนั้นๆ ถ้าอัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังมีค่าเป็นลบ นั่นคือมีการนำน้ำหนักแห้งที่สะสมในส่วนนั้นๆ มาใช้

สัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ

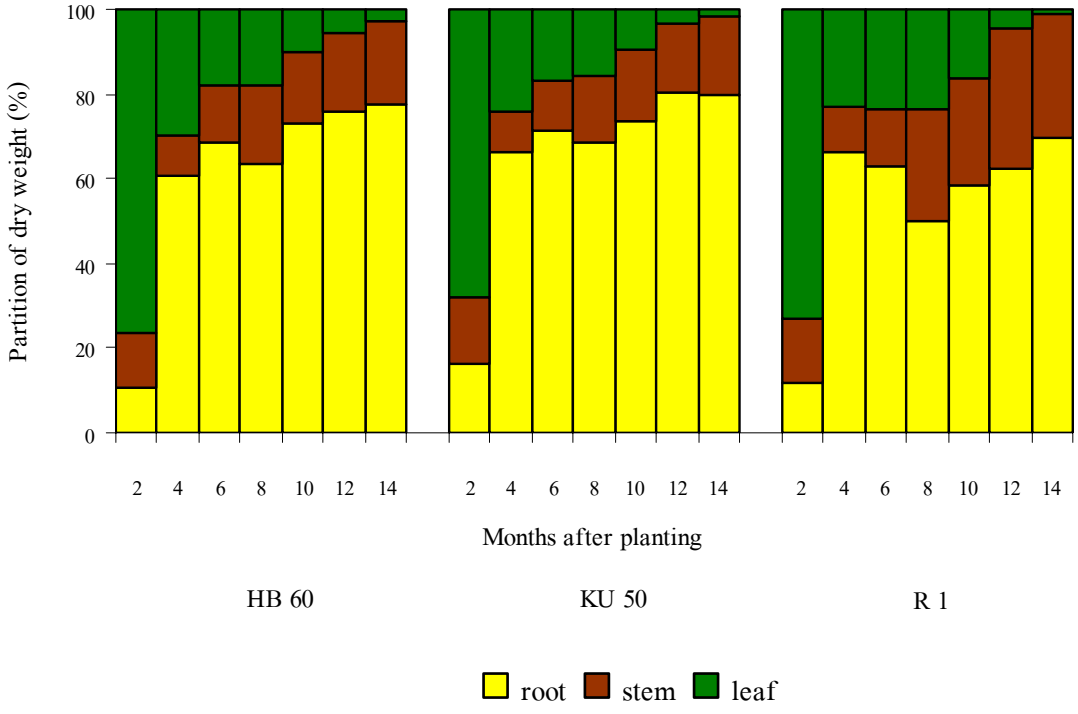
ในฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์สะสมน้ำหนักแห้งในใบมีสัดส่วนสูงสุดเมื่ออายุ 2 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 5) โดยพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 1 มีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในใบเป็นร้อยละ 75.3 72.3 และ 78.4 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ หลังจากนั้นการสะสมน้ำหนักแห้งในใบมีสัดส่วนลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น แต่สัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในใบกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อมันสำปะหลังอายุ 12 และ 14 เดือนหลังปลูก



ภาพที่ 5 สัดส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกต้นฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ (%)

มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนลำต้นเพิ่มขึ้นในช่วง 4 เดือนแรกหลังปลูก หลังจากนั้นสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนลำต้นค่อนข้างคงที่ โดยพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนลำต้นสูงสุดที่อายุ 8 เดือนหลังปลูกเป็นร้อยละ 32.8 และ 32.0 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์ระยอง 1 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้นสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็นร้อยละ 49.1 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด ซึ่งจากสัดส่วนการสะสมน้ำหนักในส่วนของใบและลำต้นนี้ การสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนหัวของทั้งสามพันธุ์จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 - 6 เดือนหลังปลูก หลังจากนั้นพันธุ์ทั้งสามพันธุ์มีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนหัวในสัดส่วนที่ค่อนข้างคงที่เมื่ออายุเพิ่มขึ้น โดยมีสัดส่วนน้ำหนักแห้งในหัวสูงสุดที่อายุ 10 เดือน ซึ่งพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 1 หลังปลูก มีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในหัวเป็นร้อยละ 73.1 71.3 และ 64.5 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ แต่สัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในหัวลดลงเมื่ออายุ 12 และ 14 เดือนหลังปลูก อย่างไรก็ตามพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนหัวสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 แต่พันธุ์ระยอง 1 มีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนใบและลำต้นสูงกว่าพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 เมื่อเปรียบเทียบที่อายุเดียวกัน ดังเช่นเมื่อมันสำปะหลังอายุ 12 เดือนหลังปลูก พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งในส่วนของหัวเป็นร้อยละ 62.8 และ 61.7 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ที่มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งในส่วนหัวเป็นร้อยละ 47.0 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด ในขณะที่พันธุ์ระยอง 1 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งในส่วนลำต้นและใบรวมกันเป็นร้อยละ 53.0 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด สูงกว่าพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ที่มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งในส่วนลำต้นและใบรวมกันเป็นร้อยละ 37.3 และ 38.3 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ

สำหรับฤดูปลูกปลายฝน สัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในใบของทั้งสามพันธุ์สูงสุดเมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 6) โดยพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 1 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งในส่วนใบเป็นร้อยละ 76.5 68.1 และ 73.0 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งในส่วนใบลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่ออายุ 12 และ 14 เดือนหลังปลูกมีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในใบต่ำมาก การสะสมน้ำหนักแห้งในลำต้นของทั้งสามพันธุ์มีสัดส่วนลดลงเมื่ออายุ 4 เดือนหลังปลูก ซึ่งพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 1 มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 9.8 9.4 และ 10.6 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ หลังจากนั้นสัดส่วนน้ำหนักแห้งในส่วนลำต้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น สัดส่วนน้ำหนักแห้งในหัวของทั้งสามพันธุ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 4 เดือนหลังปลูก หลังจากนั้นมีสัดส่วนเพิ่ม



ภาพที่ 6 สัดส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกปลายฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ (%)

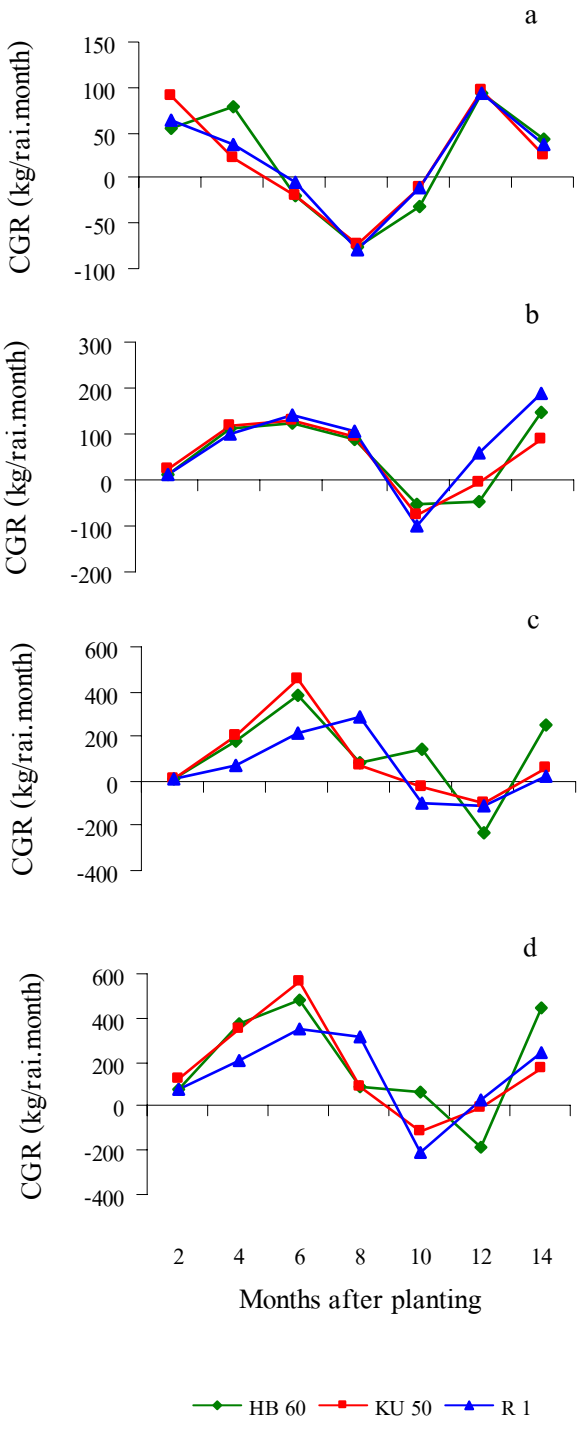
ขึ้นเมื่อมันสำปะหลังมีอายุเพิ่มขึ้น ยกเว้นเดือนที่ 8 หลังปลูกในพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 สัดส่วนน้ำหนักแห้งในหัวลดลงเป็นร้อยละ 63.0 และ 68.8 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์ระยอง 1 สัดส่วนน้ำหนักแห้งในหัวลดลงเมื่ออายุ 8 และ 11 เดือนหลังปลูกเป็นร้อยละ 49.6 และ 58.5 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามลำดับ

สัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ในฤดูปลูกปลายฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีการสะสมน้ำหนักแห้งในหัวสูงกว่าส่วนอื่น ยกเว้นในเดือนที่ 2 หลังปลูกมีการสะสมน้ำหนักแห้งในใบสูงกว่าส่วนอื่น ส่วนฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนหัวสูงกว่าส่วนอื่น ยกเว้นในเดือนที่ 2 หลังปลูก แต่พันธุ์ระยอง 1 มีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนหัวสูงกว่าส่วนอื่นเฉพาะในเดือนที่ 6 8 10 และ 12 หลังปลูก

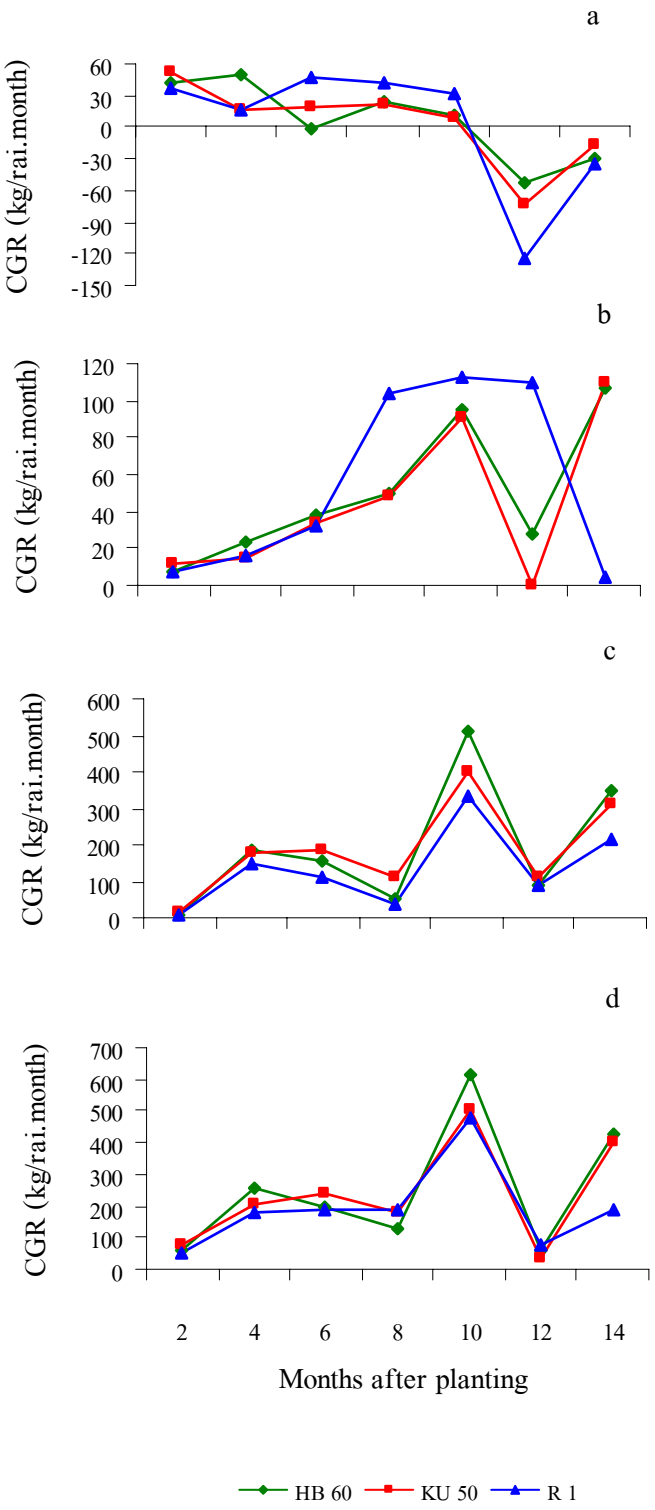
อัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

ในฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีอัตราการเจริญเติบโตรวมเป็นบวกเมื่ออายุเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 6 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 7 และตารางผนวกที่ 7) หลังจากนั้นทั้งสามพันธุ์มีอัตราการเจริญเติบโตรวมแตกต่างกัน โดยพันธุ์ห้วยบง 60 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตรวมเป็นลบเมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูกเนื่องมาจากอัตราการเจริญเติบโตของหัวและลำต้นมีค่าติดลบ (ภาพที่ 7 ตารางผนวกที่ 8 และ 9) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตรวมเป็นลบเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูกเนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของส่วนต่างๆ มีค่าเป็นลบทั้งหมด และ 12 เดือนหลังปลูก ยังมีค่าติดลบเนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของหัวและลำต้นมีค่าเป็นลบ พันธุ์ระยอง 1 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตรวมเป็นลบเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูกเนื่องมาจากอัตราการเจริญเติบโตของทุกส่วนมีค่าเป็นลบ และถึงแม้ว่าอัตราการเจริญเติบโตรวมของพันธุ์ระยอง 1 เมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูกมีค่าเป็นบวกก็ตามเป็นผลเนื่องมาจากอัตราการเจริญเติบโตของใบ (ภาพที่ 7 และตารางผนวกที่ 10) และลำต้นเป็นบวก แต่อัตราการเจริญเติบโตของหัวมีค่าติดลบมาก

ในฤดูปลูกปลายฝน อัตราการเจริญเติบโตรวมของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีค่าเป็นบวกตลอดฤดูปลูก (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 11) แต่อัตราการเจริญเติบโตของใบมีค่าเป็นบวกในช่วง 10 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 12) หลังจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตของใบลดลงจนถึงเดือนที่ 14 หลังปลูก ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของหัวและลำต้นมีค่าเป็นบวกตลอดฤดูปลูก (ภาพที่ 8 ตารางผนวกที่ 13 และ 14) ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตรวมมีค่าเป็นบวกเป็นผลเนื่องมาจาก



ภาพที่ 7 อัตราการเจริญเติบโตของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกต้นฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัว และ d) อัตราการเจริญเติบโตรวม



ภาพที่ 8 อัตราการเจริญเติบโตของส่วนต่างๆ ในฤดูปลูกปลายฝนของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ a) ใบ b) ลำต้น c) หัว และ d) อัตราการเจริญเติบโตรวม

อัตราการเจริญเติบโตของหัวเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นในพันธุ์ระยอง 1 บางระยะการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของลำต้น

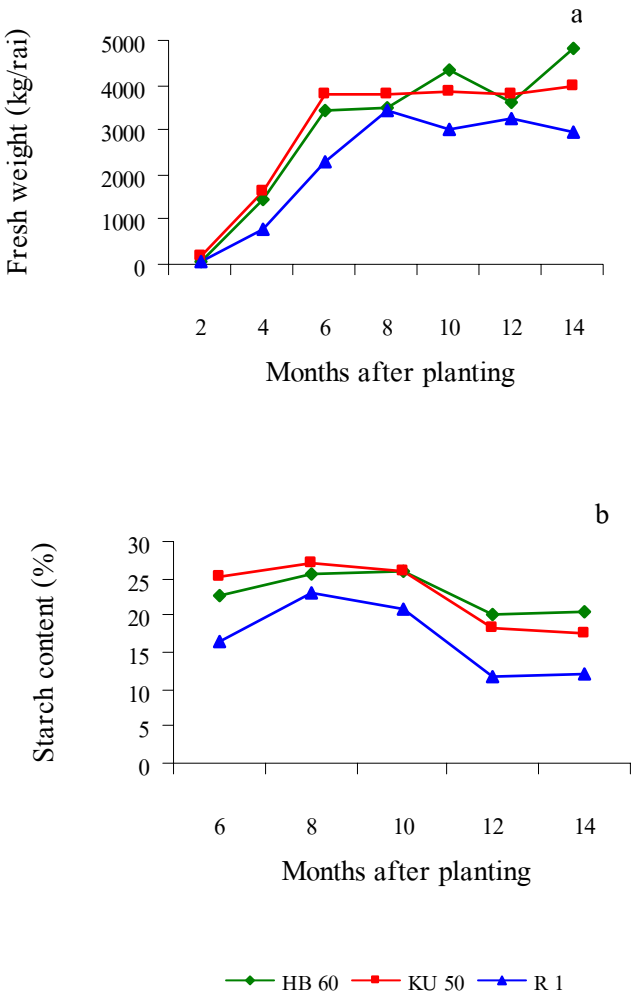
ผลผลิตหัวสด ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตให้ผลสอดคล้องกับน้ำหนักแห้งในส่วนหัวในแต่ละฤดูปลูก

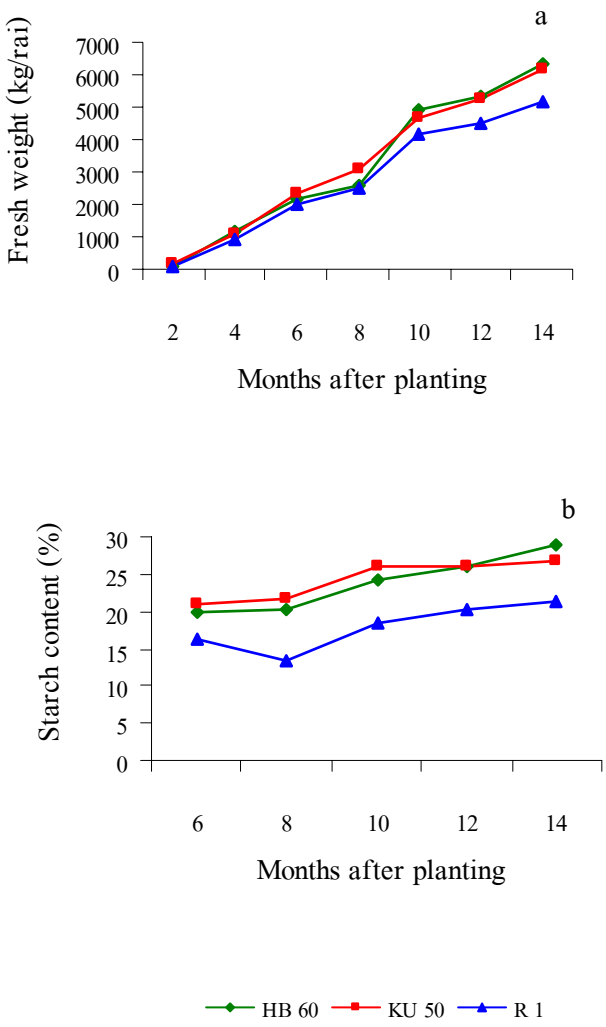
สำหรับฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ให้ผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้น เมื่ออายุเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึง 6 เดือนหลังปลูก (ดังภาพที่ 9 และตารางผนวกที่ 15) หลังจากนั้นทั้งสามพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน พันธุ์ห้วยบง 60 นั้นมีผลผลิตหัวสดในเดือนที่ 8 หลังปลูกไม่แตกต่างจากเดือนที่ 6 หลังปลูก และผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 และ 14 เดือนหลังปลูก ในขณะที่พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ผลผลิตหัวสดไม่แตกต่างจาก 6 เดือนหลังปลูกเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ยกเว้นเดือนที่ 14 หลังปลูก ผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้น ส่วนพันธุ์ระยอง 1 ผลผลิตหัวสดไม่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มลดลง โดยเดือนที่ 14 หลังปลูก ผลผลิตหัวสดลดลง พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตหัวสดสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 4,826.7 และ 3,946.4 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ระยอง 1 ให้ผลผลิตหัวสดสูงสูดเมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูกเป็น 3,453.3 กิโลกรัมต่อไร่

ส่วนฤดูปลูกปลายฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ให้ผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ 16) โดยทั้งสามพันธุ์ให้ผลผลิตหัวสดสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูก ซึ่งพันธุ์ห้วยบง 60 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 ให้ผลผลิตหัวสดเป็น 6,327.3 6,136.7 และ 5,130.0 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกปลายฝนสูงกว่าฤดูปลูกต้นฝน (ตารางผนวกที่ 15 16 และ 23)โดยเฉพาะเมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 12 และ 14 เดือนหลังปลูก แต่ในเดือนที่ 6 และ 8 หลังปลูก ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกปลายฝนต่ำกว่าฤดูปลูกต้นฝน อย่างไรก็ตามทั้งในฤดูปลูกต้นและปลายฝน พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1



ภาพที่ 9 ผลผลิตหัวสด (a) และปริมาณแป้งในหัวสด (b) ของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกต้นฝน



ภาพที่ 10 ผลผลิตหัวสด (a) และปริมาณแป้งในหัวสด (b) ของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกปลายฝน

ปริมาณแป้งในหัวสดและในตัวอย่างแห้ง และปริมาณ amylose ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

ส่วนปริมาณแป้งในหัวสดและในตัวอย่างแห้ง และปริมาณ amylose เริ่มเก็บตัวอย่างเมื่ออายุ 6 เดือนหลังปลูก โดยปริมาณแป้งในหัวสดเก็บข้อมูลในแปลงทดลองทันทีหลังขุดหัวมันสำปะหลังขึ้นจากดิน ส่วนปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งและปริมาณ amylose วิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ พบว่าปริมาณแป้งในหัวสดและในตัวอย่างแห้งให้ผลสอดคล้องกับน้ำหนักแห้งในหัวมันสำปะหลัง

ปริมาณแป้งในหัวสด

สำหรับฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีปริมาณแป้งในหัวสดเพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น จนถึงอายุ 10 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 9 และตารางผนวกที่ 17) และลดลงเมื่ออายุ 12 และ 14 เดือนหลังปลูก ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า matric potential ของดินตลอดฤดูปลูก โดยที่พันธุ์ห้วยบง 60 ให้ปริมาณแป้งในหัวสูงสุดเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูกเป็น 26.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณแป้งในหัวสดเมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูก พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณแป้งในหัวสูงสุดเมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูกเป็น 26.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณแป้งในหัวสดเมื่ออายุ 6 และ 10 เดือนหลังปลูก ส่วนพันธุ์ระยอง 1 ให้ปริมาณแป้งในหัวสูงสุดเมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูกเป็น 23.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณแป้งในหัวสดเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูก

ส่วนฤดูปลูกปลายฝน ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น จนถึง 10 เดือนหลังปลูก (ภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ 18) หลังจากนั้นพันธุ์ห้วยบง 60 มีปริมาณแป้งในหัวสดเพิ่มเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ปริมาณแป้งในหัวสดสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 28.8 เปอร์เซ็นต์ แต่พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณแป้งในหัวสดค่อนข้างคงที่ตั้งแต่อายุ 10 - 14 เดือนหลังปลูก ซึ่งให้ปริมาณแป้งในหัวสดที่สูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 26.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ระยอง 1 ให้ปริมาณแป้งสูงสุดเมื่ออายุ 14 เดือนหลังปลูกเป็น 21.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างจากปริมาณแป้งในหัวสดเมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูก

ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ในฤดูปลูกปลายฝนสูงกว่าฤดูปลูกต้นฝน (ตารางผนวกที่ 17 18 และ 23) โดยเฉพาะเมื่ออายุ 12 และ 14 เดือน แต่ปริมาณแป้งในหัวสดใน

พันธุ์เดียวกันไม่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะปลูกในฤดูต้นหรือปลายฝนก็ตาม และพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีปริมาณแป้งในหัวสดสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1

ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้ง

ในฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งที่แตกต่างกัน ดังตารางผนวกที่ 19 โดยพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งตลอดฤดูปลูกค่อนข้างคงที่อยู่ประมาณ 83.3 – 86.5 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในเดือนที่ 12 หลังปลูกให้ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งลดต่ำลง ในขณะที่พันธุ์ระยอง 1 ให้ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งค่อนข้างต่ำตลอดฤดูปลูก ยกเว้นในเดือนที่ 8 หลังปลูกที่มีปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งสูงสุดเป็น 84.8 เปอร์เซ็นต์ และให้ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งต่ำสุดในเดือน 12 หลังปลูกเป็น 69.5 เปอร์เซ็นต์

ในฤดูปลูกปลายฝน ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (ตารางผนวกที่ 20) โดยเฉพาะในเดือนที่ 10 12 และ 14 หลังปลูกให้ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งสูง ซึ่งพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณแป้งทั้งหมดในตัวอย่างแห้งอยู่ในช่วง 86.8 – 90.2 เปอร์เซ็นต์ แต่พันธุ์ระยอง 1 ให้ปริมาณแป้งทั้งหมดในตัวอย่างแห้งอยู่ในช่วง 79.1 – 84.5 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณ amylose

ในฤดูปลูกต้นฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ให้ปริมาณ amylose แตกต่างกันเล็กน้อยตลอดฤดูปลูก (ตารางผนวกที่ 21) โดยมีปริมาณ amylose อยู่ระหว่าง 21.8 – 25.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณ amylose ต่ำสุดเมื่ออายุ 6 เดือนหลังปลูกเป็น 21.8 เปอร์เซ็นต์

ส่วนในฤดูปลูกปลายฝนมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ให้ปริมาณ amylose ไม่แตกต่างกันตลอดฤดูปลูก (ตารางผนวกที่ 22) โดยมีปริมาณ amylose อยู่ในช่วง 21.2 – 24.1 เปอร์เซ็นต์

มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณ amylose อยู่ในช่วง 20 - 24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ว่าจะปลูกในฤดูปลูกต้นหรือปลายฝนก็ตาม

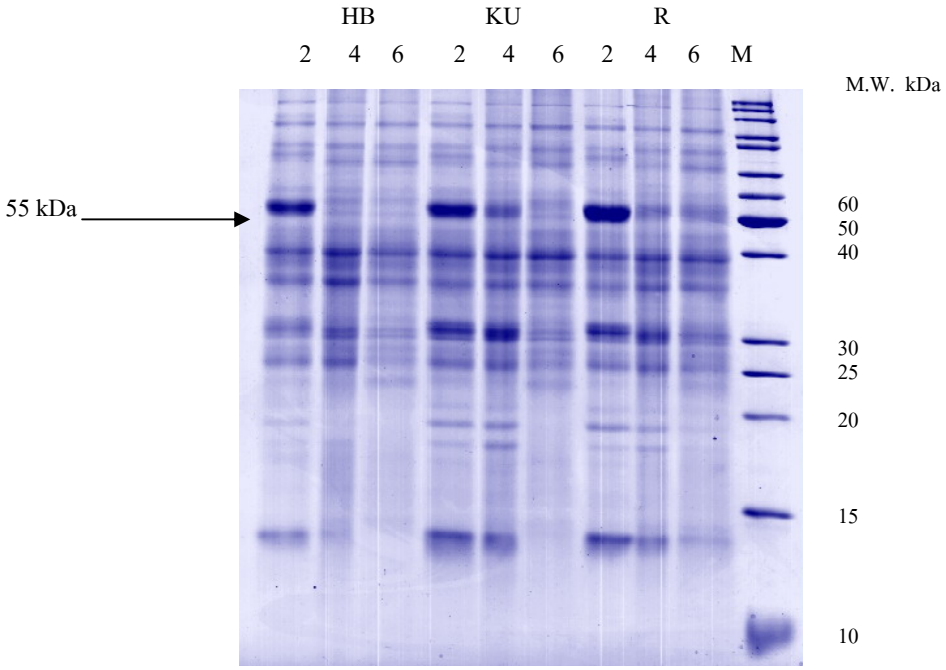
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับการแสดงออกของโปรตีน

การศึกษาระดับการแสดงออกของโปรตีนส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ ที่เก็บเกี่ยวอายุต่างๆ กัน ซึ่งปลูกในฤดูปลูกต้นและปลายฝนนั้น เพื่อใช้อธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงภายในมันสำปะหลัง อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม เพราะโปรตีนควบคุมการทำงานซึ่งควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ ภายในมันสำปะหลังให้ดำเนินต่อไป และโปรตีนบางชนิดช่วยรักษาการทำงานของโปรตีนอีกชนิดหนึ่งให้ดำเนินต่อไปได้แม้ประสบสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยการทำ SDS - PAGE ซึ่งจากการศึกษานี้พบการเปลี่ยนแปลงระดับการแสดงออกของโปรตีนในส่วนของใบเปลือกและเนื้อหัวมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์โดยมีแถบของ polypeptide ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป

แถบของ polypeptide ขนาด 55 kDa ที่สร้างขึ้นในใบมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีความแตกต่างกันในตัวอย่างที่ปลูกในฤดูปลูกต้นฝน (ภาพที่ 11) โดยพันธุ์ห้วยบง 60 มีแถบชนิดนี้ในเดือนที่ 2 หลังปลูก พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีแถบชนิดนี้ในเดือนที่ 2 และ 4 หลังปลูก และพันธุ์ระยอง 1 มีแถบชนิดนี้ตั้งแต่เดือนที่ 2 4 และ 6 เดือนหลังปลูก ส่วนในฤดูปลูกปลายฝนทั้งสามพันธุ์มีแถบของ polypeptide ชนิดนี้ในเดือนที่ 2 หลังปลูกเท่านั้น (ส่วนเดือนที่ 4 หลังปลูกนั้นมีข้อมูลสูญหาย)

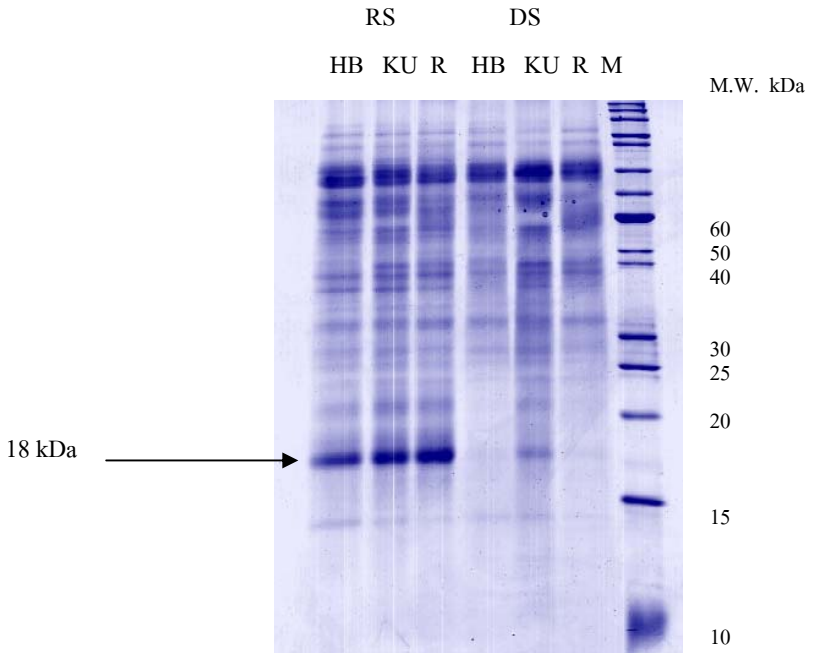
แถบของ polypeptide ขนาด 18 kDa ที่สร้างขึ้นในเปลือกหัวมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ โดยเฉพาะการปลูกในฤดูปลูกต้นฝนเห็นเด่นชัดเมื่อเก็บตัวอย่างที่อายุ 10 เดือนหลังปลูก แต่ไม่พบเมื่อเก็บตัวอย่างในฤดูปลูกปลายฝนดังภาพที่ 12

แถบของ polypeptide ขนาดประมาณ 112 kDa ที่มีการสร้างขึ้นในเนื้อหัวของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์นั้น ในฤดูปลูกต้นฝน (ภาพที่ 13) พันธุ์ห้วยบง 60 มีแถบ polypeptide ชนิดนี้ให้เห็นเมื่อเก็บตัวอย่างที่ 4 6 12 และ 14 เดือนหลังปลูก ส่วนพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีแถบ polypeptide ชนิดนี้ตั้งแต่ 2 4 6 12 และ14 เดือนหลังปลูก แต่พันธุ์ระยอง 1 มีแถบ polypeptide ชนิดนี้ในเดือนที่ 6 12 และ14 เดือนหลังปลูก แต่เมื่อเก็บตัวอย่างในฤดูปลูกปลายฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีแถบ polypeptide ชนิดนี้ปรากฏให้เห็นในอายุการเก็บเกี่ยวที่ 4 6 10 12 และ 14 เดือนหลังปลูกเหมือนกัน (ภาพที่ 14)



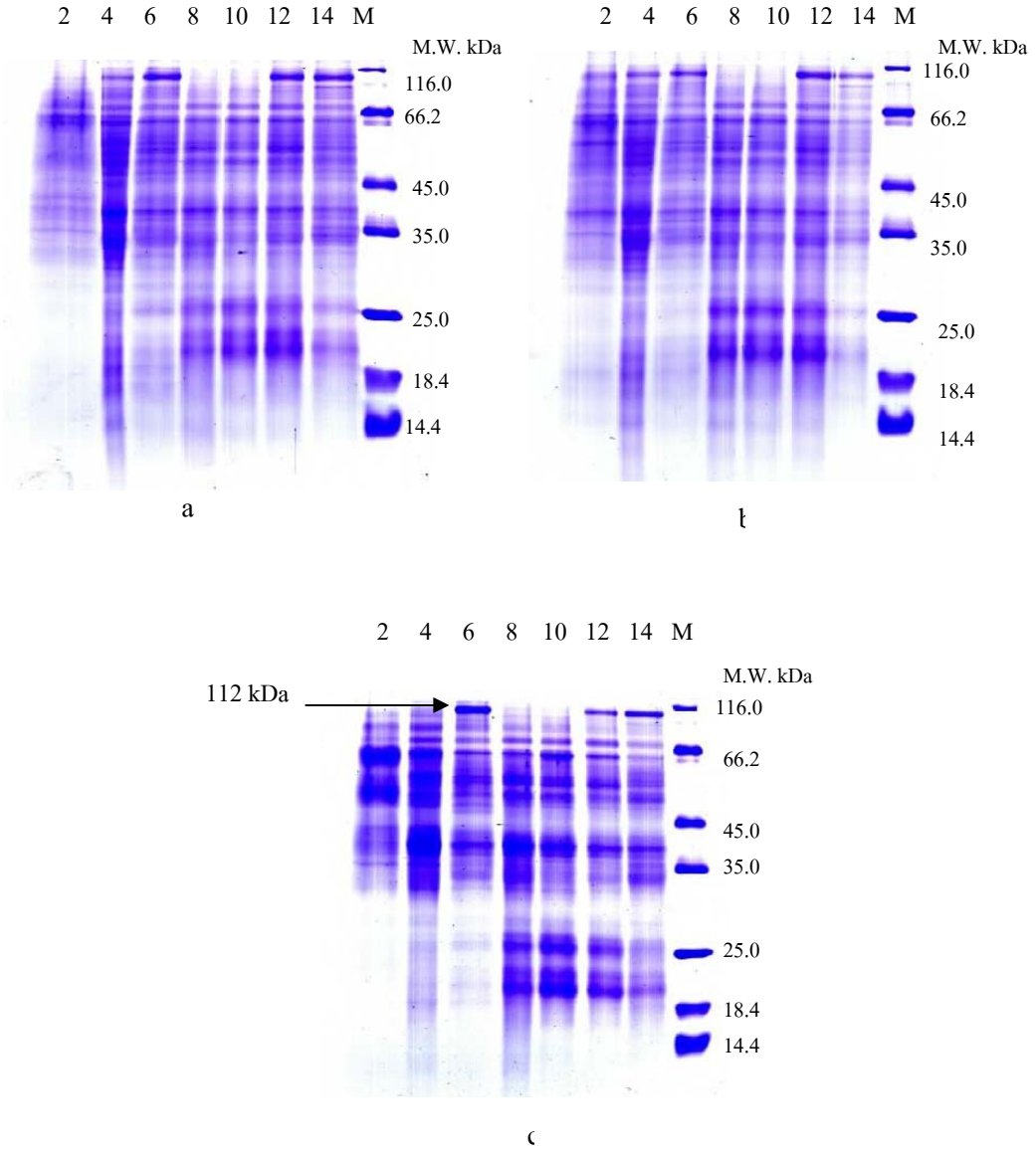
ภาพที่ 11 รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในใบมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยว 2 4 และ 6 เดือนหลังปลูกในฤดูปลูกต้นฝน

หมายเหตุ HB หมายถึง พันธุ์ห้วยบง 60 KU หมายถึง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50
R หมายถึง พันธุ์ระยอง 1 M หมายถึง Molecular weight marker
2 4 6 หมายถึง อายุเก็บเกี่ยวที่ 2 4 และ 6 เดือนหลังปลูก



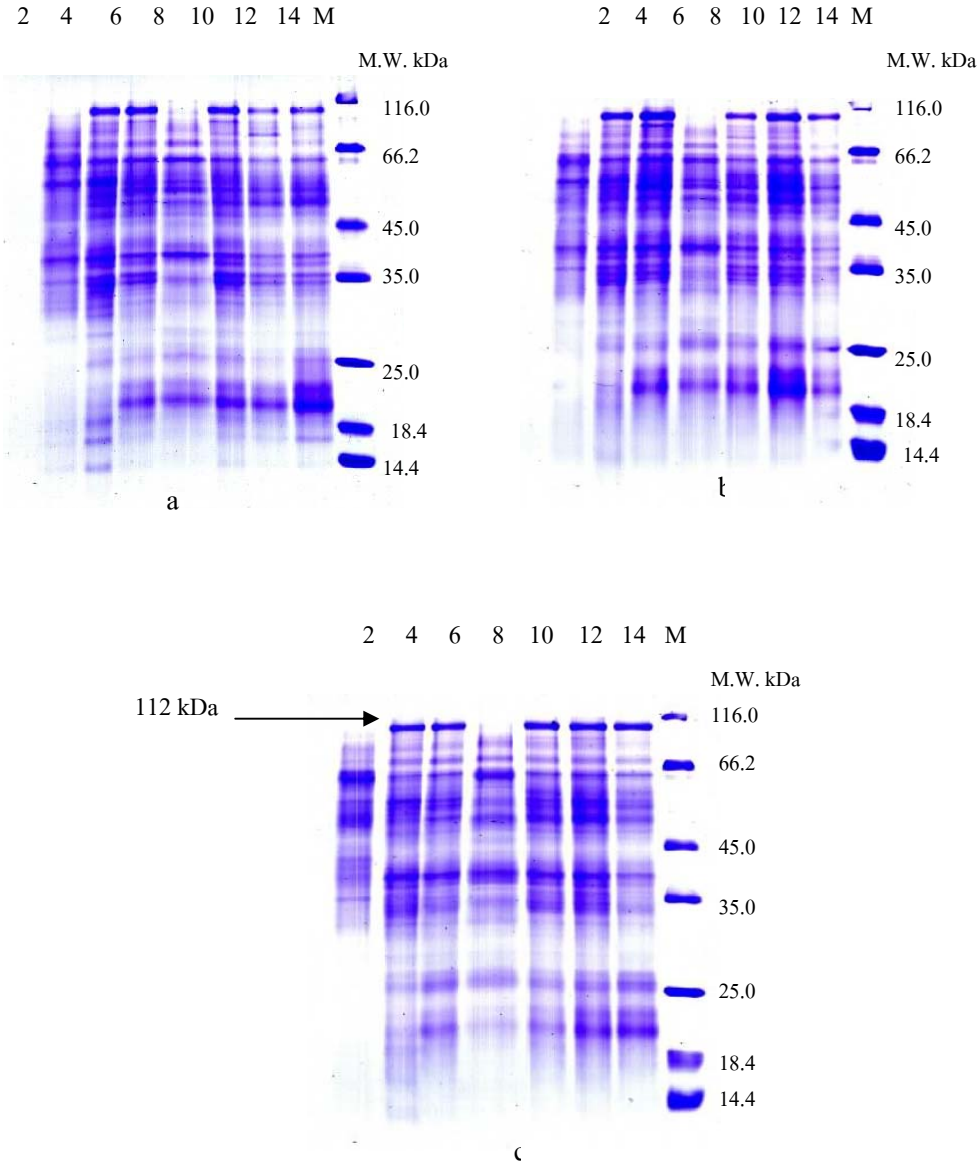
ภาพที่ 12 รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในเปลือกหัวมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูกในฤดูปลูกต้นและปลายฝน

หมายเหตุ HB หมายถึง พันธุ์ห้วยบง 60 KU หมายถึง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50
R หมายถึงพันธุ์ระยอง 1 M หมายถึง Molecular weight marker
RS หมายถึง ฤดูปลูกต้นฝน DS หมายถึง ฤดูปลูกปลายฝน



ภาพที่ 13 รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในเนื้อหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆในฤดูปลูกต้นฝน a) พันธุ์ห้วยบง 60 b) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ c) พันธุ์ระยอง 1

หมายเหตุ 2 4 6 8 10 12 และ 14 หมายถึง อายุเก็บเกี่ยวที่ 2 4 6 8 10 12 14 เดือนหลังปลูก
M หมายถึง Molecular weight marker



ภาพที่ 14 รูปแบบของโปรตีน โดยการทำ SDS-PAGE ในเนื้อหัวมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆในฤดูปลูกปลายฝน a) พันธุ์ห้วยบง 60 b) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ c) พันธุ์ระยอง 1

หมายเหตุ 2 4 6 8 10 12 และ 14 หมายถึง อายุเก็บเกี่ยวที่ 2 4 6 8 10 12 14 เดือนหลังปลูก M หมายถึง Molecular weight marker

เมื่อนำแถบของ polypeptide ทั้งสามไปวิเคราะห์หาลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide โดยวิธี Liquid Chromatography-Mass Spectometry (LC-MS/MS) พบว่า แถบของ polypeptide ขนาดประมาณ 55 kDa (ตารางที่ 1) 18 kDa (ตารางที่ 2) และ 112 kDa (ตารางที่ 3) สามารถวิเคราะห์ลำดับกรดอะมิโนได้จำนวน 5 6 และ 4 fragment ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide ทั้งสามแถบ ในฐานข้อมูลโปรตีน nrFASTA พบว่า polypeptide ขนาด 55 kDa ที่สร้างขึ้นในใบมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูกนั้นเป็น carboxylase oxygenase L (Rubisco) (ดังภาพที่ 15) ซึ่งใน chloroplast ของพืชนั้น Rubisco ประกอบด้วย 8 L subunit ที่มีขนาด 56 kDa และ 8 S subunit ที่มีขนาด 15 kDa (Buchanan *et al*, 2000)

สำหรับ polypeptide ขนาด 18 kDa ที่สร้างขึ้นในเปลือกหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และระยอง 1 ที่อายุ 10 เดือนหลังปลูกนั้นเป็น small heat shock protein (small HSPs) (ดังภาพที่ 16) เช่นเดียวกับ 20 kDa ที่เป็น predominantในเนื้อเยื่อด้านในของหัวมันสำปะหลัง เมื่อนำไปวิเคราะห์ลำดับกรดอะมิโน อาจเป็นสมาชิกของกลุ่ม small heat shock family โดยเฉพาะมันสำปะหลังที่ปลูกในบริเวณ arid ของทวีปอัฟริกาและอเมริกาใต้ (Souza *et al.*, 2002)

ส่วน polypeptide ขนาด 112 kDa ที่สร้างขึ้นในเนื้อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 1 ที่อายุ 10 เดือนหลังปลูกนั้น เหมือนกับ starch phosphorylase isoform L (Pho2) (ดังภาพที่ 17) ซึ่งอาจพบทั้งในรูป cytosolic และ amyloplastic โดยที่ isoform L อยู่ใน amyloplast และมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 112 kDa (Hsu *et al.*, 2004; Yu *et al.*, 2001)

ตารางที่ 1 แสดงลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide ขนาด 55 kDa จากใบมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุเก็บเกี่ยว 4 เดือนหลังปลูก

fragment	Amino acid sequences
1	DTDILAAFR(Asp-Thr-Asp-Ile-Leu-Ala-Ala-Phe-Arg)
2	GGLDFTKDDENVNSQPFMR (Gly-Gly-Leu-Asp-Phe-Thr-Lys-Asp-Asp-Glu-Asn-Val-Asn-Ser-Gln-Pro-Phe-Met-Arg)
3	DDENVNSQPFMR (Asp-Asp-Glu-Asn-Val-Asn-Ser-Gln-Pro-Phe-Met-Arg)
4	AQAETGEIK (Ala-Gln-Ala-Glu-Thr-Gly-Glu-Ile-Lys)
5	DITLGFVDLLR (Asp-Ile-Thr-Leu-Gly-Phe-Val-Asp-Leu-Leu-Arg

ตารางที่ 2 แสดงลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide ขนาด 18 kDa จากเปลือกหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และระยอง 1 เมื่อเก็บตัวอย่างที่อายุ 10 เดือนหลังปลูก

fragment	Amino acid sequences
1	ADIPGLK (Ala-Asp-Ile-Pro-Gly-Leu-Lys)
2	VLQISGER (Val-Leu-Gln-Ile-Ser-Gly-Glu-Arg)
3	FRLPENAK (Phe-Arg-Leu-Pro-Glu-Asn-Ala-Lys)
4	ASMENGVLTVTVPK (Ala-Ser-Met-Glu-Asn-Gly-Val-Leu-Thr-Val-Thr-Val-Pro-Lys)
5	ASMENGVLTVTVPKEEVK(Ala-Ser-Met-Glu-Asn-Gly-Val-Leu-Thr-Val-Thr-Val-Pro-Lys Glu-Glu-Val-Lys)
6	AIEISG (Ala-Ile-Glu-Ile-Ser-Gly)

ตารางที่ 3 แสดงลำดับกรดอะมิโนของ polypeptide ขนาด 112 kDa จากเนื้อหัวมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 1 เมื่อเก็บตัวอย่างที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก

fragment	Amino acid sequences
1	YHAEFTPLFSPEK (Tyr-His-Ala-Glu-Phe-Thr-Pro-Leu-Phe-Ser-Pro-Glu-Lys)
2	DGQEEVAEDWLEMGNPWEIVR (Asp-Gly-Gln-Glu-Glu-Val-Ala-Glu-Asp-Trp-Leu-Glu-Met-Gly-Asn-Pro-Trp-Glu-Ile-Val-Arg)
3	TGYSVSPDSMFDIQVK (Thr-Gly-Tyr-Ser-Val-Ser-Pro-Asp-Ser-Met-Phe-Asp-Ile-Gln-Val-Lys)
4	FITDVGATVNHDPEIGDLLK (Phe-Ile-Thr-Asp-Val-Gly-Ala-Thr-Val-Asn-His-Asp-Pro-Glu-Ile-Gly-Asp-Leu-Leu-Lys)

1 MSPQTETKAS VGFKAGVKEY KLTYYTPEYQ TKDTDILAAF RVTPQPGVPP EEAGAAVAAE
61 SSTGTWTTVW TDGLTSLDRY KGRCYRIERV VGEKDQYIAY VAYPLDLFEE GSVTNMFTSI
121 VGNVFGFKAL RALRLEDLRI PPAYVKTFQG PPHGIQVERD KLNKYGRPLL GCTIKPKLGL
181 SAKNYGRAVY ECLRGGLDFT KDDENVNSQP FMRWRDRFLF CAEALYKAQA ETGEIKGHYL
241 NATAGTCEEM IKRAVFAREL GVPIVMHDYL TGGFTANTSL AHYGRDNGLL LHIHRAMHAV
301 IDRQKNHGIH FRVLAKALRM SGGDHIHSGT VVGKLEGERD ITLGFVDLLR DDFVEQDRSR
361 GIYFTQDWVS LPGVLPVASG GIHVWHMPAL TEIFGDDSVL QFGGGTLGHP WGNAPGAVAN
421 RVALEACVKA RNEGRDLAQE GNEIIREACK WSPELAAACE VWKEIVFNFA AVDVLDK

ภาพที่ 15 ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนขนาดประมาณ 55 kDa (อักษรสีแดง) ที่เหมือนลำดับกรดอะมิโน ในฐานข้อมูล gi 223866 : carboxylase oxygenase L

1 MSLIPGFFGG RRSNVFDPFS LDMWDPFKDF HVPTSSVSAE NSAFVSTRVD WKETPEAHVF
61 KADIPGLKKE EVKVQIEDDR VLQISGERNV EKEDKNDTWH RVERSSGKFT RRFRLPENAK
121 VNEVKASMEN GVLTVTVPKE EVKKPNVKAI EISG

ภาพที่ 16 ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนขนาดประมาณ 18 kDa (อักษรสีแดง) ที่เหมือนลำดับกรดอะมิโน ในฐานข้อมูล gi224545 : small heat shock protein

1 MTMRFHPNST AVTESVPRRG SVYGFIGYRS SSLFVRTNVI KYRSVKRNLE FRRRSAFSVK
61 CGSGNEAKQK VKDQEVQQEA KTSPSSFAPD TTSIVSSIKY HAEFTPLFSP EKFELPQAFI
121 ATAQSVRDAL IINWNATYDY YEKLNVKQAY YLSMEFLQGR ALLNAIGNLE LTGPYAEALS
181 QLSYKLEDVA HQEPDAALGN GGLGRLASCF LDSLATLNYP AWGYGLRYKY GLFKQRITKD
241 GQEEVAEDWL EMGNPWEIVR NDVSYPVRFY GKVVSGSDGK KHWVGGEDIK AVAHDVPIPG
301 YKTRSTINLR LWSTKAASEE FDLNAFNSGR HTEASEALAN AEKICYILYP GDESIEGKTL
361 RLKQQYTLCS ASLQDIIARF ERRSGASVNW EDFPEKVAVQ MNDTHPTLCI PELMRILIDI
421 KGLSWKDAWN ITQRTVAYTN HTVLPEALEK WSMDLMEKLL PRHVEIIEMI DEELIRTIIA
481 EYGTADSDLL DKKLKEMRIL ENVELPAEFA DILVKTKEAT DISSEEVQIS KEGGEEEETS
541 KEGGEEEEEK EVGGGREEGD DGKEDEVEKA IAEKDGTVKS SIGDKKKKLP EPVPVPPKLV
601 RMANLCVVGG HAVNGVAEIH SEIVKDDVFN AFYKLWPEKF QNKTNGVTPR RWIRFCNPDL
661 SKIITQWIGT EDWILNTEKL AELRKFADNE DLQTQWREAK RNNKVKVAAF LRERTGYSVS
721 PDSMFDIQVK RIHEYKRQLL NIFGIVYRYK KMKEMNAAER KENFVPRVCI FGGKAFATYV
781 QAKRIVKFIT DVGATVNHDP EIGDLLKVIF VPDYNVSVAE MLIPASELSQ HISTAGMEAS
841 GTSNMKFAMN GCLQIGTLDG ANVEIREEVG ADNFFLFGAK AREIVGLRKE RARGKFVPDP
901 RFEEVKKFVR SGVFGSYNYD ELIGSLEGNE GFGRADYFLV GQDFPSYLEC QEEVDKAYRD
961 QKKWTRMSIL NTAGSSKFSS DRTIHEYARE IWNIEPVKLE

ภาพที่ 17 ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนขนาดประมาณ 112 kDa (อักษรสีแดง) ที่เหมือนลำดับกรดอะมิโน ในฐานข้อมูล gi 629646 : starch phosphorylase isoform L

วิจารณ์

ในฤดูปลูกต้นฝนเมื่อมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีอายุ 8 เดือนหลังปลูก สามารถให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งหัวและปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4 และ 5 ตารางผนวกที่ 7 8 และ 9) ถึงแม้ว่าดินไม่ได้รับปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปลายเดือนที่ 6 หลังปลูกก็ตาม (ภาพที่ 1) แต่ค่า matric potential ของดินลดลงในช่วงปลายเดือนที่ 7 โดยพันธุ์ระยอง 1 มีน้ำหนักแห้งของหัว ผลผลิตหัวสด และปริมาณแป้งในหัวเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากพันธุ์ระยอง 1 มีอัตราการเจริญเติบโตของหัวเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 3) ในขณะที่พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีอัตราการเจริญเติบโตของหัวค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบของโปรตีนของพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 เมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูก เริ่มมีแถบของ polypeptide ของ small HSPs ในเปลือกหัวปรากฏขึ้นถึงแม้ไม่ชัดเจนนัก เมื่อการขาดน้ำของดินยังต่อเนื่องต่อไปจนกระทั่งมันสำปะหลังอายุ 10 เดือนหลังปลูก มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์มีแถบของ polypeptide ของ small HSPs ในเปลือกหัวปรากฏขึ้นอย่าง

ชัดเจน (ภาพที่ 12) ซึ่งมีรายงานว่า small heat shock protein เป็นกลุ่มของโปรตีนที่เกี่ยวพันกับการทนทานต่อการขาดน้ำ (Coca *et al.*, 1994) และทำหน้าที่เป็น chaperones ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โปรตีนส่วนใหญ่ในเซลล์พืชต้องการการช่วยเหลือของกลุ่มโปรตีนที่เรียกว่า chaperones เพื่อ fold เข้าไปใน functional form โดยเชื่อมต่อกับ folding ในการแปลข้อมูล (translated) การนำเข้า (imported) และ stress-denatured ของโปรตีน chaperones จึงมีความจำเป็นต่อกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์พืช ได้แก่ การเคลื่อนย้ายโปรตีนเข้าไปในเซลล์พืช การ degradation ของโปรตีน การปรากฏของ antigen การแปลสัญญาณ (signal transduction) การเจริญเติบโต การควบคุม apoptosis เป็นต้น (Heldt, 2005; Sharkia *et al.*, 2002) ดังนั้นเมื่อดินมีค่า matric potential ต่ำ มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ได้กระตุ้นให้มีการสร้าง small HSPs ขึ้นเพื่อการปรับตัวทันทีที่ดินเกิดสภาพการขาดน้ำและสร้างได้เร็วกว่าพันธุ์ระยอง 1 จึงทำให้พันธุ์ห้วยบง 60 เมื่ออายุ 10 เดือน ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาวะการขาดน้ำ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของหัวและผลผลิตหัวสดเพิ่มสูงขึ้น พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ได้รับผลกระทบเล็กน้อย จึงมีน้ำหนักแห้งของหัว ผลผลิตหัวสด และปริมาณแป้งในหัวสดค่อนข้างคงที่ แต่พันธุ์ระยอง 1 ได้รับผลกระทบค่อนข้างมาก ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของหัวลดต่ำลง น้ำหนักแห้งของหัว ผลผลิตหัวสด และปริมาณแป้งในหัวสดมีแนวโน้มลดลง

เมื่อดินได้รับปริมาณน้ำฝนกลางเดือนที่ 11 หลังปลูก ทำให้ค่า matric potential ของดินสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์อายุ 12 เดือนหลังปลูก น้ำหนักแห้งของหัว ผลผลิตหัวสดและปริมาณแป้งในหัวสดลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการเจริญเติบโตของหัวลดต่ำลง แต่อัตราการเจริญเติบโตของใบเพิ่มสูงขึ้น นั้นคือมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์สลายแป้งที่สะสมไว้ในหัว เพื่อนำไปสร้างใบใหม่ หลังจากอัตราการเจริญเติบโตของใบมีค่าติดลบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเห็นได้จากแถบของ polypeptide ของ Pho ในเนื้อหัว (ภาพที่ 13) เมื่อมันสำปะหลังอายุ 12 เดือนหลังปลูก ซึ่ง Pho เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายแป้ง (Hsu *et al.*, 2004) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมันสำปะหลังอายุ 14 เดือนหลังปลูก มีแถบของ polypeptide ของ Pho ในเนื้อหัวปรากฏในมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ แต่พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีผลผลิตหัวสดและน้ำหนักแห้งของหัวเพิ่มขึ้น โดยที่พันธุ์ทั้งสองมีอัตราการเจริญเติบโตของหัวเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่า Pho อาจมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แป้ง โดยโซ่สั้นๆ ของ maltooligosaccharides ที่อยู่อย่างอิสระในปฏิกิริยา trimming ถูกผันแปรให้เป็นโซ่ยาวของโมเลกุล glucan โดยการทำงานของเอนไซม์ย่อย glucan ซึ่งได้แก่ isoamylase Pho และ debranching-enzyme ซึ่งทั้ง Pho และเอนไซม์ debranching อาจมีส่วนร่วมอยู่ด้วยในการ recycle ของ maltooligosaccharides สำหรับใช้ในการสังเคราะห์แป้ง

โมเลกุลของโซ่ยาวของ glucan ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้ในทันทีในปฏิกิริยา phosphorolytic โดย Pho ทำให้ได้ glucose 1 phosphate ซึ่ง glucose 1 phosphate ถูกนำไปใช้ประโยชน์โดย ADPGase สำหรับสังเคราะห์แป้ง (Yu *et al.*, 2001; Mu *et al.*, 2001) ส่วนพันธุ์ระยอง 1 นั้น Pho ที่ปรากฏขึ้นน่าจะให้ผลเช่นเดียวกับพันธุ์ทั้งสอง แต่พันธุ์ระยอง 1 มีอัตราการเจริญเติบโตของลำต้นสูงจึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของหัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น นั้นคืออาหารที่ได้จากการสังเคราะห์นำไปสะสมในส่วนของลำต้นมากกว่าในหัว

แถบของ polypeptide ของ Rubisco ที่ปรากฏขึ้นในใบของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ ในฤดูปลูกต้นฝนและปลายฝนนั้นมีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 11) แม้แต่ในมันสำปะหลังพันธุ์เดียวกัน โดยในฤดูปลูกต้นฝนนั้น พันธุ์ห้วยบง 60 มีแถบของโปรตีนชนิดนี้ปรากฏขึ้นในเดือนที่ 2 หลังปลูก ส่วนพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีแถบของโปรตีนชนิดนี้ปรากฏขึ้นในเดือนที่ 2 และ 4 หลังปลูก ในขณะที่พันธุ์ระยอง 1 มีแถบนี้ปรากฏขึ้นในเดือนที่ 2 4 และ 6 หลังปลูก แต่ในฤดูปลูกปลายฝนนั้น ทั้งสามพันธุ์มีแถบของ polypeptide ของโปรตีนชนิดนี้ปรากฏขึ้นในเดือนที่ 2 หลังปลูกเท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากในฤดูปลูกต้นฝน ดินมีค่า matric potential มีค่าสูงตั้งแต่ปลูกถึงประมาณปลายเดือนที่ 7 หลังปลูก (ภาพที่ 1) มีความชื้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง แต่ในฤดูปลูกปลายฝนนั้น ดินมีค่า matric potential ต่ำมากตั้งแต่ต้นเดือนที่ 3 ถึงต้นเดือนที่ 5 หลังปลูก (ภาพที่ 6) และจากการศึกษาการขาดน้ำในแปลงปลูกมันสำปะหลังในช่วง 3 เดือนแรกหลังปลูกโดยขาดนานมากกว่า 2 เดือนนั้น กิจกรรมของเอนไซม์ Rubisco ในใบมันสำปะหลังที่ขาดน้ำมานาน 8 สัปดาห์ลดลงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพเดียวกันแต่ไม่ขาดน้ำ และในทางตรงกันข้ามกิจกรรมของเอนไซม์ PEP case ในใบของมันสำปะหลังที่ขาดน้ำเพิ่มขึ้น 13 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพเดียวกันแต่ไม่ขาดน้ำ ดังนั้นเมื่อการขาดน้ำยาวนานออกไปกิจกรรมของเอนไซม์ PEP case ในมันสำปะหลังเกิดขึ้นมากกว่า Rubisco (El-Sharkawy, 2004) จึงมีผลทำให้ในฤดูปลูกปลายฝนมีแถบของ Rubisco ในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 ปรากฏขึ้นน้อยครั้งกว่าในฤดูปลูกต้นฝน

ในฤดูปลูกปลายฝนตั้งแต่ต้นเดือนที่ 5 หลังปลูก ดินมีค่า matric potential สูงตลอดจนกระทั่งเดือนที่ 14 หลังปลูก มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์จึงมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของหัวมีค่าเป็นบวก (ภาพที่ 8) จึงทำให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งของหัว และปริมาณแป้งในหัวสดเพิ่มขึ้นตลอดฤดูปลูก โดยมีแถบของ Pho ในเนื้อหัวเกิดขึ้น (ภาพที่ 14) ตลอด

ฤดูปลูก ยกเว้นในช่วงเดือนที่ 2 และ 8 หลังปลูก ซึ่ง Pho อาจเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แป้ง (Yu *et al.*, 2001; Mu *et al.*, 2001)

เมื่อเปรียบเทียบการปลูกในต้นฝนและปลายฤดูฝนนั้น โดยพิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำฝน ค่า matric potential ของดินร่วมกับน้ำหนักแห้งของหัว ผลผลิตหัวสด และปริมาณแป้งในหัวสด ในฤดูปลูกต้นฝนมีข้อได้เปรียบในแง่ของดินมีความชื้นให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในระยะแรกจนกระทั่งสะสมแป้งในหัวได้ แต่หลังจากนั้นมันสำปะหลังต้องผ่านฤดูแล้งสลับกับสภาพที่ดินมีความชื้นสูงอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งของหัวและปริมาณแป้งในหัวสดลดต่ำลงอย่างมาก ซึ่งถ้าต้องการให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักแห้งของหัวเพิ่มขึ้นนั้นต้องใช้ระยะเวลา ขึ้นอยู่กับพันธุ์ จากการทดลองนี้พบว่าพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ใช้เวลาอย่างน้อย 2 เดือน ในการเพิ่มน้ำหนักแห้งของหัว และผลผลิตหัวสด แต่พันธุ์ระยอง 1 ต้องใช้เวลามากกว่านี้ ส่วนในการปลูกปลายฝนนั้น มันสำปะหลังต้องผ่านสภาวะขาดน้ำในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ดังนั้นในการเลือกช่วงเวลาในการปลูกมันสำปะหลังจึงมีความสำคัญ ต้องให้มันสำปะหลังได้รับความชื้นที่เพียงพอต่อการงอกและเจริญเติบโตในช่วงแรกอย่างน้อย 2 เดือนหลังปลูก ดังเช่นการทดลองนี้มันสำปะหลังเริ่มขาดน้ำตั้งแต่ต้นเดือนที่ 3 หลังปลูกและขาดน้ำอย่างน้อย 2 เดือน (ฤดูแล้ง) มันสำปะหลังยังสามารถเจริญเติบโตได้ ให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักแห้งของหัวเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งหลังจากผ่านฤดูแล้งไปแล้ว ดินมีความชื้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ถึงแม้ว่ารูปแบบการกระจายน้ำหนักแห้งไปยังส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังแตกต่างกันไปตามระยะการเจริญเติบโต ซึ่งมีการแบ่งน้ำหนักแห้งไปสะสมที่ลำต้นและใบในช่วง 3 - 5 เดือนแรก หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งไปสะสมที่หัวเป็นหลัก อย่างไรก็ตามรูปแบบการกระจายน้ำหนักแห้งไปยังส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการปลูก โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุอาหารในดิน น้ำ ความเข้มแสง ความยาวนานของวัน และอุณหภูมิ (El-Sharkawy, 2004) จากการทดลองนี้ถ้าต้องการให้ได้ให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งของหัวและปริมาณแป้งในหัวสดสูง ในการปลูกต้นฤดูฝนควรเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือนหลังปลูกสำหรับพันธุ์ห้วยบง 60 และอายุ 8 เดือนหลังปลูกสำหรับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 ส่วนในฤดูปลูกปลายฝนนั้นควรเก็บเกี่ยวทั้งสามพันธุ์ที่อายุ 14 เดือนหลังปลูก

เมื่อเปรียบเทียบมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ โดยนำข้อมูลปริมาณน้ำฝน ค่า matric potential ของดิน ร่วมกับสัดส่วนของน้ำหนักแห้ง น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ และปริมาณแป้ง รวมทั้งโปรตีนที่ควบคุมการทำงานในมันสำปะหลังมาพิจารณาร่วมกัน พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์

50 ให้น้ำหนักแห้งหัวและปริมาณแป้งในหัวสดสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ตลอดฤดูปลูก ไม่ว่าจะปลูกในฤดูปลูกต้นและปลายฝนก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีสัดส่วนในการแบ่งน้ำหนักแห้งไปสะสมในหัวสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 และพันธุ์ระยอง 1 มีสัดส่วนในการสะสมน้ำหนักแห้งในลำต้นสูงกว่าพันธุ์ทั้งสอง และพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 มีความสามารถในการกระตุ้นให้มีการสร้าง small HSPs ในทันทีที่ดินมีค่า matric potential ต่ำ เพื่อรักษาระบบทำงาน (กระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมี) ภายในยังคงดำเนินต่อไป ในขณะที่พันธุ์ระยอง 1 มีการกระตุ้นให้สร้าง small HSPs ได้ช้ากว่าพันธุ์ทั้งสอง (ภาพที่ 12) แสดงว่าพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ทนต่อสภาพการขาดน้ำได้ดีกว่าพันธุ์ระยอง 1 จึงทำให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งหัวและปริมาณแป้งในหัวสดของพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ได้รับผลกระทบจากสภาวะขาดน้ำน้อยกว่าของพันธุ์ระยอง 1 ด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งหัว และปริมาณแป้งในหัวสดสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ตลอดฤดูปลูก ไม่ว่าปลูกในฤดูปลูกต้นและปลายฝนก็ตาม

2. การปลูกมันสำปะหลังฤดูปลูกปลายฝนให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งหัว และปริมาณแป้งในหัวสดสูงกว่าฤดูปลูกต้นฝน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและค่า matric potential ของดินทั้งสองฤดูปลูกที่แตกต่างกัน

3. ในฤดูปลูกปลายฝน มันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักแห้งหัว และปริมาณแป้งในหัวสดเพิ่มขึ้นเมื่อมันสำปะหลังอายุเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินมีความชื้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตตลอดฤดูปลูก ถึงแม้ดินมีความชื้นต่ำบ้าง แต่ก็เพียงช่วงสั้น ๆ เท่านั้น

4. การปลูกมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝนนั้น ควรเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือนหลังปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตหัวสด และปริมาณแป้งในหัวสูงสำหรับพันธุ์ห้วยบง 60 และที่อายุ 8 เดือนหลังปลูกสำหรับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 1 ส่วนในการปลูกปลายฝนนั้น ควรเก็บเกี่ยวที่อายุ 14 เดือนหลังปลูก เพื่อให้ได้ผลผลิตหัวสดและปริมาณแป้งในหัวสูงสำหรับทั้งสามพันธุ์

5. จากการศึกษารูปแบบของโปรตีนในส่วนต่างๆ ที่อายุต่างๆ กันของมันสำปะหลังทั้งสามพันธุ์ พบหลากหลายชนิด แต่ที่เลือกมาศึกษา ได้แก่ small HSPs มีปรากฏในทั้งสามพันธุ์เมื่อดินมีค่า matric potential ต่ำมาก Pho ซึ่งพบในเนื้อหัวและ Rubisco ในใบปรากฏในหลายช่วงอายุแตกต่างตามพันธุ์ ฤดูปลูก และค่า matric potential ของดินที่ต่างกัน

6. เมื่อดินค่า matric potential ต่ำมาก พันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 กระตุ้นให้สร้าง small HSPs ในเปลือกหัวได้เร็วกว่าพันธุ์ระยอง 1

7. มันสำปะหลังแต่ละพันธุ์มีการกระจายน้ำหนักแห้งไปสะสมในส่วนต่างๆ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน อันเนื่องจากพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดิน

ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับเกษตรกรที่ปลูกมันสำปะหลังต้นฤดูฝน ในการเลือกเวลาปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตหัวสดและปริมาณแป้งในหัวค่อนข้างสูงนั้น ต้องมีระยะเวลาให้มันสำปะหลังเจริญเติบโตอย่างน้อย 8 เดือนก่อนฤดูแล้ง และถ้าเป็นไปได้ควรเก็บเกี่ยวทันทีที่มีฝนแรกตกหลังฤดูแล้ง ไม่เช่นนั้นผลผลิตหัวสดและปริมาณแป้งลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าเก็บเกี่ยวช้าออกไป

2. สำหรับการปลูกมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝนนั้น เกษตรกรควรปลูกมันสำปะหลังก่อนเข้าฤดูแล้งอย่างน้อย 2 เดือน เพื่อให้มันสำปะหลังตั้งตัวได้ก่อนจะเข้าสู่ฤดูแล้ง

3. รูปแบบของโปรตีนในส่วนต่างๆของมันสำปะหลัง ช่วยอธิบายการทำงานภายในของมันสำปะหลังได้ทั้งในสภาพปกติและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมด้วย จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยเฉพาะในใบ เปลือกและเนื้อหัว

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2547. **มันสำปะหลัง.** เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 7/2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 124 น.

กาญจนา กู้โรจนวงศ์. 2541. **ความสัมพันธ์ทางโครงสร้างและสมบัติของแป้งมันเปรียบเทียบสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303 น.

_____ , เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, วิจารณ์ วิชชุกิจ, เอ็จ สโรบล, พิพัฒน์ วีระถาวร และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. การศึกษาสถานภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแก๊สโซฮอล์, น. 151-159. *ใน* **การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านพลังงาน.** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพ.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง : การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูป และการใช้ประโยชน์**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ. 439 น.

_____ . 2546. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลัง, น. 1-1-1-34. *ใน* **มันสำปะหลัง เอกสารประกอบการฝึกอบรมเพื่อสร้างวิทยากรมันสะปะหลังในท้องถิ่น** ในวันที่ 30 เมษายน – 4 พฤษภาคม 2546 ณ.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

_____ และวิจารณ์ วิชชุกิจ . 2548. เอทานอล : ผลกระทบการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมมันสำปะหลังไทย, น. 36-43. *ใน* **รายงานประจำปี 2548**. สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, กรุงเทพ.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, ปิยะวุฒิ พูลสงวน, จำลอง เจียมจำนรรจา, สมยศ พุทธเจริญ, ธีรวัฒน์ กษิรวัฒน์, วิจารณ์ วิชชุกิจ, เอ็จ สโรบล, ปิยะ ดวงพัตรา, นิพนธ์ ทวีชัย, ชาญ ถิรพร, K. Kawano, อัจฉรา ลิ่มศิลา และดนัย ศุภาหาร. 2536. มันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ .....เกษตรศาสตร์ 50, น. 1-12. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 30 สาขาพืช.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

_____ , ปิยะวุฒิ พูลสงวน, สมยศ พุทธเจริญ, จำลอง เจียมจำนรรจา และวิทยา แสงแก้วสุข. 2530. การศึกษาฤดูปลูกมันสำปะหลัง. **ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย.)** 21 : 119-125.

ไชยรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์. 2542. **ผลกระทบของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และอัตราปุ๋ยที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพแป้งมันสำปะหลัง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิจารณ์ วิชชุกิจ, ปิยะวุฒิ พูลสงวน, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, เอ็จ สโรบล, จำลอง เจียมจำนรรจา,ปิยะ กิตติภาดากุล, ประภาส ช่างเหล็ก, นิพนธ์ ทวีชัย, กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. มันสำปะหลังสายพันธุ์ MKUC 34-114-206, น. 264-273. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 41 สาขาพืช เล่มที่ 1** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

_____ , สมยศ พุทธเจริญ, เอ็จ สโรบล และไชยรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์ 2537. ฤดูปลูกและฤดูเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลัง, น.47-59. *ใน* **รายงานการสัมมนาเรื่อง ปัญหาการผลิตการใช้มันสำปะหลังและการลดต้นทุนการผลิตในวันที่ 1-3 กันยายน 2537.** โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีช พัทยา, ชลบุรี.

_____ , _____ , _____ และ R. H. Howeler. 2533. การศึกษาฤดูปลูกและฤดูเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 1 และระยอง 3. *ใน* **รายงานประจำปี 2532** สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ

สมเจตน์ ประทุมมินทร์, ปราโมทย์ สุวรรณมงคล, ยุทธกร ธรรมศิริ, ประสาน บุญมรกต, อารักษ์ จันทุมา และเสมอ สมนาค. 2537. การศึกษารูปแบบการเจริญเติบโตจำลองของยางอ่อนในจังหวัดมหาสารคาม. *ใน* **รายงานผลงานวิจัยปี 2537**. ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สุนทรี ยิ่งชัชวาล. 2535. **ชลศาสตร์ในระบบดิน-พืช.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 200 น.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2516. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง**. มอก. 52-2516.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. **รายงานผลการสำรวจมันสำปะหลังโรงงาน ปี 2548.** เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 412. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ. 66 น.

ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. 2537. **มันสำปะหลัง.** เอกสารวิชาการ. สถาบันพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 210 น.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2548. **สถิติการค้าสินค้าเกษตรกรรมไทยกับต่างประเทศ ปี 2548.** เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 404. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ. 373 น.

โอภาษ บุญเส็ง. 2531. **การศึกษาการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2539. **พันธุกรรมและปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพมันสำปะหลัง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____ และ จักรินทร์ ศรัทธาพร. 2540. อิทธิพลของพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพแป้งมันสำปะหลัง, น.330-359. *ใน* **รายงานการวิจัยประจำปี 2540**. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Alves, A .A. C. 2002. Cassava botany and physiology, pp. 67-89. *In* R. J. Hillockss, J. M Thresh and A. C. Bellotti, eds. **Cassava : Biology, Production and Utilization**. CABI Publishing, New York.

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 C_3-C_4 intermediate photosynthesis species. **Photosynth. Res**. 38 : 61-72.

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem**. 72 : 248-254.

Buchanan, B. B., W Gruissem and R. L. Jones. 2000. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants.** J/B Woolsey Associates, Inc., California. 1367 p.

Buleon, A., P. Colonna, V. Planchot and S. Ball. 1998. Starch granules : strcture and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**. 23 : 85-112.

Cabral, G. B. and L. J. C. B.Carvalho. 2001. Analysis of protein associated with storage root formation in cassava using two-dimensional gel electrophoresis. **R. Bras. Fisiol. Veg.** 13(1) : 41-48.

Coca, M. A., C. Almoguera and J. Jordano. 1994. Expression of sunflower low-molecularweight heat-shock protein during embryogenesis and persistence after germination : localization and possible function implication. **Plant Mol. Biol**. 25 : 479-492.

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

Edwards, G. E., E. Sheta, B. D. Moore, Z. Dai, V.R. Franceschi, S. Cheng and C. Lin. 1990. Photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz), a C_3 species with chlorenchymatous bundle sheath cells. **Plant Cell Physiol.** 31(8) : 1199-1206.

El-Sharkawy, M. A.. 2004. Cassava biology and physiology. **Plant Mol. Biol.** 56 : 481-501.

_____. and J.H. Cock. 1987. Response of cassava to water stress. **Plant and Soil** 100 : 345-360.

_____ and _____ 1990. Photosynthesis of cassava (*Manihot esculenta*). **Expl. Agric.** 26:325-340.

_____, S. M. D. Tafur and L. F. Cadavid. 1992. Potential photosynthesis of cassava as affected by growth conditions. **Crop Sci**. 32 : 1336-1342.

Heldt, H.-W. 2005. **Plant Biochemistry**. Elsevier Academic Press, California. 630 p.

Howeler, R. H. and L. F. Cadavid. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12 month growth cycle of cassava. **Field Crops Res**. 7:123-139.

Hsu, J.-H., C.-C. Yang, J.-C. Su and P.-D. Lee. 2004. Purification and characterization of a cytosolic starch phosphorylase from etiolated rice seedling. **Bot. Bull. Acad. Sin**. 45 : 187-196.

Iglesias, A. A. and F. E. Podesta. 1997. Photosyntate formation and partition in crop plants, pp.681-698. *In* M. Pasarikli, eds. **Handbook of Photosynthesis**. Marcel Dekker Inc., New York.

Knutson, C. A. and M. J. Grove. 1994. Rapid method for estimation of amylase in maize starches. **Cereal Chem.** 71(5) : 469-471.

Martin, C. and A. M. Smith. 1995. Starch biosynthesis. **The Plant Cell** 7 : 971-985.

Martin, W. and R. Scheibe and C Scharrenberger. 2000. The Calvin cycle and its regulation, pp. 9-51. *In* R.C. Leegood, T.D. Sharkey and S.von Caemmerer, eds. **Photosynthesis : Physiology and Metabolism.** Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Mu, H. H., Y. Yu, B. P. Wasserman and G. M. Carman. 2001. Purification and characterization of the maize amyloplast stromal 112-kDa starch phosphorylase. **Arch. Biochem. Biophys.** 388 : 155-164

Onwueme, I. C. 1978. **The tropical tuber crop : yams, cassava, sweet potato and cocoyams**. John Wiley & Sons Ltd., New York. 467 p.

Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae – their use and abuse. **Crop Sci.** 7 : 171-175.

Rojanaridpiched, C., V. Vichukit, E. Sarobol and P. Changlek. 2002. Breeding and disseminstion of new cassava varieties in Thailand. **Paper presented at the 7th Regional Cassava Workshop, held in Bangkok, Thailand, Oct.28-Nov. 2, 2002**.

Roy, H. and T. J. Andrews. 2000. Rubisco : Assemly and Mechanism, pp. 53-83. *In* R.C. Leegood, T.D. Sharkey and S.von Caemmerer, eds. **Photosynthesis : Physiology and Metabolism.** Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Setup, M. and E. Latzko. 1979. Intracellular localization of phosphorylase in spinach and pea leaves. **Planta** 145 : 69-75.

Sharkia, R., P. Viitanen, G. Levy-Rimler, C. Weiss, A. Niv and A. Azem. 2002. The higher plant chaperonins, pp. 181-203. *In* M. T. McMannus, W. A. Laing and A. C. Allan, eds. **Protein-Protein Interactions in Plant Biology.** Sheffield Academic Press, New Zealand.

Sinha, R. K. 2004. **Modern Plant Physiology.** Alpha Science International Ltd., England. 620 p.

Smith, A. M., K. Denyer and C. R. Martin. 1995. What control the amount and structure of starch in storage organs?. **Plant Physiol.** 107 : 673-677.

Souza, C. R. B. D., L. J. C. B. Carvalho, E. R. P. D. Almeida and E. S. Gander. 2002. Identification of cassava root protein genes. **Plant Foods for Human Nutrition**. 57: 353-363

Trethwey, R. N. and A. M. Smith, 2000. Starch metabolism in leaves, pp. 205-231. *In* R.C. Leegood, T.D. Sharkey and S.von Caemmerer, eds. **Photosynthesis : Physiology and Metabolism.** Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Whistler, R. L., J. Bemiller and E. F. Paschall. 1984. **Starch : Chemistry and technology.** Academic Press, Inc., New York. 718 p.

Wholey, D. W. and J. H. Cock. 1974. Onset and rate of root bulking in cassava. **Expl. Agric.** 10 : 193-198.

Yu, Y., H. H. Mu, B. P. Wasserman and G. M. Carman. 2001. Identification of the maize amyloplast stromal 112-kD protein as a plastidic starch phosphorylase. **Plant Physiol.** 125 : 351-359.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	111.4 e [1]	183.3 d	126.1 e	140.3 D
4	267.4 a	228.9 b	201.6 bcd	232.6 B
6	225.5 bc	187.9 d	194.2 d	202.5 C
8	76.0 f	38.6 g	32.9 g	49.2 E
10	14.2 g	14.3 g	13.5 g	14.0 F
12	200.2 bcd	205.9 bcd	197.6 cd	201.0 C
14	284.7 a	258.1 a	269.9 a	270.9 A
ค่าเฉลี่ย [3]	168.5 A	159.6 A	148.0 B	

CV (%)	12.03
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	85.6 ij[1]	104.9 i	74.9 jk	88.5 F
4	185.6 fg	136.9 h	106.0 i	142.8 D
6	181.7 fg	175.2 g	198.0 ef	185.0 C
8	231.2 d	218.1 de	281.6 b	243.6 B
10	256.1 c	235.2 d	346.5 a	279.3 A
12	150.9 h	88.5 ij	99.3 i	112.9 E
14	92.8 ij	55.3 k	29.8 j	59.3 G
ค่าเฉลี่ย[3]	169.1 A	144.9 B	162.3 A	

CV (%)	9.24
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักแห้งของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	25.4 h [1]	43.4 h	25.2 h	31.3 E
4	248.2 g	276.4 g	22.1 g	248.9 D
6	494.3 ef	540.7 def	508.0 ef	514.3 C
8	670.0 bc	723.4 b	723.7 b	705.7 B
10	566.7 de	568.6 de	519.1 ef	551.5 C
12	467.9 f	562.4 de	631.4 cd	553.9 C
14	757.0 b	738.5 b	1007.6 a	834.4 A
ค่าเฉลี่ย [3]	461.3 B	493.3 A	519.6 A	

CV (%)	11.91
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 4 น้ำหนักแห้งของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	14.4 j[1]	23.9 j	15.3 j	17.9 G
4	61.1 j	53.0 j	48.8 j	54.3 F
6	136.1 i	121.4 i	112.5 i	123.3 E
8	236.5 h	218.0 h	321.7 g	258.7 D
10	427.1 f	398.4 f	545.9 d	457.1 C
12	482.4 e	399.2 f	764.7 a	548.8 B
14	697.3 b	617.7 c	774.2 a	696.4 A
ค่าเฉลี่ย[3]	293.6 B	261.7 C	369.0 A	

CV (%)	10.87
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 5 น้ำหนักแห้งของหัวมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	11.1 i [1]	26.9 i	9.6 i	15.8 D
4	377.6 h	440.2 h	157.6 i	325.1 C
6	1135.9 de	1357.2 bcd	580.4 hg	1024.5 B
8	1297.8 bcd	1496.9 ab	1161.1 de	1318.6 A
10	1582.1 a	1447.7 abc	968.3 ef	1332.7 A
12	1125.5 de	1239.3 cd	735.4 g	1033.4 B
14	1632.4 a	1345.0 bcd	776.0 fg	1251.1 A
ค่าเฉลี่ย [3]	1023.2 A	1050.4 A	626.9 B	

CV (%)	15.99
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 6 น้ำหนักแห้งของหัวมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	11.8 m[1]	25.3 m	12.3 m	16.5 G
4	376.4 kl	376.2 kl	304.6 l	352.4 F
6	694.1 hi	740.2 hi	520.2 jk	651.5 E
8	797.2 h	960.4 g	594.8 ij	784.1 D
10	1816.2 cd	1765.6 d	1258.8 f	1613.5 C
12	1992.5 b	1981.3 bc	1439.3 e	1804.4 B
14	2694.2 a	2600.3 a	1867.0 bcd	2387.2 A
ค่าเฉลี่ย[3]	1197.5 A	1207.0 A	856.7 B	

CV(%)	10.30
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 7 อัตราการเจริญเติบโตรวมของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน
(กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	พันธุ์		
(เดือนหลังปลูก)	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	73.94	126.79	80.47
4	372.64	345.99	210.19
6	481.27	570.11	350.66
8	94.02	86.53	317.56
10	59.61	-114.15	-208.39
12	-184.72	-11.48	31.66
14	440.29	167.03	244.62

ตารางผนวกที่ 8 อัตราการเจริญเติบโตของหัวสะสมอาหารมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน
(กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	พันธุ์		
(เดือนหลังปลูก)	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	5.54	13.43	4.79
4	183.27	206.68	74.00
6	379.14	458.47	211.43
8	80.94	69.84	290.35
10	142.16	-24.60	-96.43
12	-228.32	-104.17	-116.46
14	253.49	52.84	20.31

ตารางผนวกที่ 9 อัตราการเจริญเติบโตของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน
(กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	พันธุ์		
(เดือนหลังปลูก)	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	12.70	21.68	12.62
4	111.38	116.53	98.44
6	123.06	132.11	142.96
8	87.85	91.36	107.85
10	-51.67	-77.40	-102.29
12	-49.40	-3.10	56.11
14	144.58	88.08	188.14

ตารางผนวกที่ 10 อัตราการเจริญเติบโตของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน
(กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	พันธุ์		
(เดือนหลังปลูก)	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	55.70	91.67	63.06
4	77.99	22.79	37.76
6	-20.92	-20.48	-3.73
8	-74.77	-74.67	-80.63
10	-30.89	-12.16	-9.67
12	93.00	95.79	92.02
14	42.23	26.12	36.17

ตารางผนวกที่ 11 อัตราการเจริญเติบโตรวมของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์		
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	55.90	77.03	51.30
4	255.70	206.03	178.40
6	194.33	235.35	185.67
8	126.53	179.87	183.67
10	617.18	501.28	476.59
12	63.26	34.91	76.03
14	429.27	402.17	183.83

ตารางผนวกที่ 12 อัตราการเจริญเติบโตของใบมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์		
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	42.78	52.44	37.47
4	50.03	16.00	15.53
6	-1.98	19.18	46.00
8	24.77	21.45	41.78
10	12.43	8.50	32.49
12	-52.60	-73.34	-123.62
14	-29.01	-16.60	-34.76

ตารางผนวกที่ 13 อัตราการเจริญเติบโตของหัวสะสมอาหารมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์		
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	5.91	12.63	6.16
4	182.31	175.49	146.14
6	158.82	181.97	107.82
8	51.55	110.11	37.30
10	509.49	402.61	331.98
12	88.18	107.83	90.27
14	350.85	309.50	213.81

ตารางผนวกที่ 14 อัตราการเจริญเติบโตของลำต้นมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์		
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1
2	7.20	11.96	7.66
4	23.36	14.55	16.73
6	37.49	34.19	31.86
8	50.21	48.31	104.59
10	95.26	90.17	112.12
12	27.68	0.41	109.38
14	107.43	109.27	4.79

ตารางผนวกที่ 15 ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	69.3 k[1]	176.7 k	73.3 k	106.4 E
4	1454.0 i	1635.3 i	801.3 j	1296.9 D
6	3455.2 def	3772.7 cd	2307.0 h	3178.3 C
8	3503.3 cde	3786.7 cd	3453.3 def	3581.1 B
10	4327.0 b	3877.7 cd	3035.0 fg	3746.6 AB
12	3608.3 cde	3767.3 efg	3267.3 efg	3547.6 B
14	4826.7 a	3946.4 bc	2962.7 g	3911.9 A
ค่าเฉลี่ย[3]	3034.8 A	2994.7 A	2271.4 B	

CV (%)	10.84
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 16 ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (กิโลกรัมต่อไร่)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
2	54.3 l[1]	133.7 l	66.0 l	84.7 G
4	1142.0 k	1054.7 k	926.0 k	1040.9 F
6	2198.0 ij	2312.7 hi	1972.0 j	2160.9 E
8	2589.7 h	3079.7 g	2513.0 h	2727.4 D
10	4945.0 cd	4651.3 de	4199.3 f	4598.6 C
12	5370.3 b	5285.9 b	4524.3 e	5060.2 B
14	6327.3 a	6136.7 a	5130.0 bc	5864.7 A
ค่าเฉลี่ย[3]	3232.4 A	3236.4 A	2761.5 B	

CV (%)	6.86
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (%)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
6	22.8 cd[1]	25.3 ab	16.5 f	21.5 B
8	25.2 a	26.9 a	23.0 bc	25.1 A
10	26.1 a	25.8 a	21.0 cd	24.3 A
12	20.3 de	18.3 ef	11.7 g	16.7 C
14	20.6 cde	17.5 f	12.0 g	16.7 C
ค่าเฉลี่ย[3]	23.0 A	22.8 A	16.8 B	

CV (%)	8.06
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (%)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
6	19.7 de[1]	21.0 d	16.2 f	18.9 D
8	20.4 d	21.6 d	13.5 g	18.5 D
10	24.2 c	26.1 bc	18.3 e	22.9 C
12	25.9 bc	26.1 bc	20.2 de	24.1 B
14	28.2 a	26.9 b	21.5 d	25.7 A
ค่าเฉลี่ย[3]	23.8 A	24.3 A	17.9 B	

CV (%)	5.83
F test var	**
F test har	**
F test var*har	*

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (%)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
6	86.2 a[1]	85.1 ab	76.9 d	82.7 B
8	86.5 a	85.9 a	84.8 ab	85.7 A
10	83.7 abc	84.7 ab	80.6 c	83.0 B
12	81.9 bc	82.3 bc	69.5 e	77.9 C
14	85.1 ab	83.3 abc	76.1 d	81.5 B
ค่าเฉลี่ย[3]	84.7 A	84.2 A	77.6 B	

CV (%)	2.30
F test var	**
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณแป้งในตัวอย่างแห้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (%)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
6	81.1ef[1]	81.1 ef	75.6 g	79.2 B
8	83.1 de	82.6 de	75.2 g	80.3 B
10	90.2 a	89.3 ab	79.1 f	86.2 A
12	90.1 a	89.7 ab	82.9 de	87.6 A
14	88.9 ab	86.8 bc	84.5 cd	86.7 A
ค่าเฉลี่ย[3]	86.7 A	85.9 A	79.5 B	

CV (%)	2.02
F test var	**
F test har	**
F test var*har	*

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[3]In a row, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณ amylose ในแป้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกต้นฝน (%)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย [2]
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
6	23.41 abc[1]	21.84 c	22.41 bc	22.55 C
8	23.59 abc	24.71 ab	22.56 bc	23.92 BC
10	23.33 abc	23.75 abc	24.22 ab	23.77 B
12	25.17 a	25.47 a	25.41 a	25.35 A
14	24.33 ab	24.38 ab	23.62 abc	24.11 B
ค่าเฉลี่ย	23.97	24.03	23.64	

CV (%)	4.95
F test var	ns
F test har	**
F test var*har	**

หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

[1]In rows and columns, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

[2]In a column, means followed by different letters are significantly different at P<0.05 by DMRT

ตารางผนวกที่ 22 ปริมาณ amylose ในแป้งของมันสำปะหลังในฤดูปลูกปลายฝน (%)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (เดือนหลังปลูก)	พันธุ์			ค่าเฉลี่ย
	ห้วยบง 60	เกษตรศาสตร์ 50	ระยอง 1	
6	21.47	21.98	21.99	21.81
8	21.17	22.56	24.12	22.62
10	23.18	22.86	21.47	22.50
12	23.45	22.69	22.96	23.03
14	22.49	22.16	23.72	22.79
ค่าเฉลี่ย	22.35	22.45	22.85	

CV (%)	7.02
F test var	ns
F test har	ns
F test var*har	ns

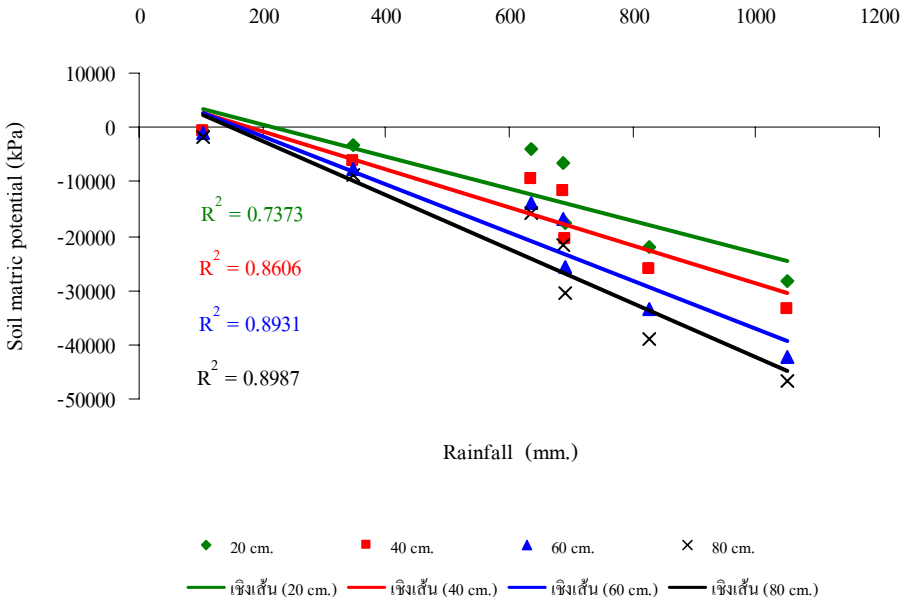
หมายเหตุ var หมายถึง พันธุ์

har หมายถึง ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

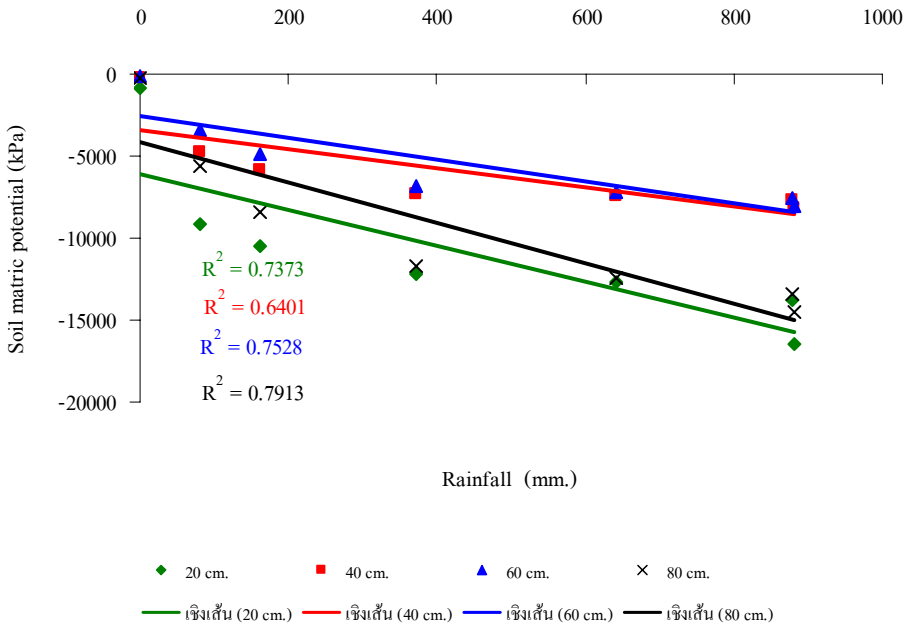
ตารางผนวกที่ 23 F-test ของการ combined ข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างการปลูกในฤดูต้นฝนและปลายฤดูฝน

SOV	F-test				
	DWR	DWL	DWS	FWR	% starch
Season	**	ns	**	**	**
Rep(season)	**	ns	**	ns	*
HAR	**	**	**	**	**
VAR	**	**	**	**	**
HAR X VAR	**	**	**	**	**
Season X HAR	**	**	**	**	**
Season X VAR	ns	**	**	**	ns
Season X HAR X VAR	*	**	**	**	**

หมายเหตุ SOV หมายถึง Source of variance
DWR หมายถึง dry weight of roots
DWL หมายถึง dry weight of leaves
DWS หมายถึง dry weight of stems
FWR หมายถึง fresh weight of root
HAR หมายถึง harvesting times
VAR หมายถึง varieties



ภาพผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (mm.) กับค่า matric potential ของดิน (kPa) ที่ระดับความลึกของดิน 20 40 60 และ 80 เซนติเมตร เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูกจนถึงแต่ละช่วงอายุของมันสำปะหลังที่เก็บตัวอย่างในฤดูปลูกต้นฝน



ภาพผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (mm.) กับค่า matric potential ของดิน (kPa) ที่ระดับความลึกของดิน 20 40 60 และ 80 เซนติเมตร เมื่อมันสำปะหลังอายุ 45 วันหลังปลูกจนถึงแต่ละช่วงอายุของมันสำปะหลังที่เก็บตัวอย่างในฤดูปลูกปลายฝน