



รายงานผลการวิจัย
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน
RESEARCH AND DEVELOPMENT ON ETHANOL PRODUCTION
FROM SWEET SORGUM

โดย

ดร.เศรษฐา ศิริพิณฑุ์ รศ. ประวิตร พุทธานนท์ และ รศ.ดร.วีรชัย พุทธวงศ์



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การวิจัยและพัฒนาการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน
RESEARCH AND DEVELOPMENT ON ETHANOL PRODUCTION
FROM SWEET SORGUM

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2552

จำนวน 320,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

ดร.เศรษฐา ศิริพิณฑุ์

ผู้ร่วมโครงการ

รศ. ประวิตร พุทยานนท์

รศ.ดร. วีรชัย พุทธวงศ์

รายงานเสร็จสมบูรณ์

31 กรกฎาคม 2553

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน RESEARCH AND DEVELOPMENT ON ETHANOL PRODUCTION FROM SWEET SORGHUM

ดร. เสธฐา สิริพินธุ์¹ รศ. ประวิตร พุทธานนท์¹ และ รศ.ดร. วีรชัย พุทธวงศ์²

Dr. SETTHA SIRIPIN , Assoc. Prof. PRAWIT PUDDHANON
and Assoc. Prof. WERACHAI PHUTDHAWONG

¹ ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

² ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

บทคัดย่อ

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนา เเปอร์เซ็นต์บrikซ์ ปริมาณน้ำหวาน และผลผลิตเอทานอลของข้าวฟ่างหวาน 9 พันธุ์ พบว่า พันธุ์ต่างกันมีความแตกต่างกัน และสามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาของข้าวฟ่างหวานได้เป็น 9 ระยะดังนี้ Emergence, Three-leaf stage, Five-leaf stage, Seven-ten-leaf stage, flag leaf, Boot, Half-bloom, Soft dough, Hard dough และ Physiological maturity ซึ่งพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 105 วัน นับจากวันปลูกถึงวันสุกแก่ทางสรีรวิทยา ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 120 วัน สำหรับความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น น้ำหนักต้นสด เเปอร์เซ็นต์บrikซ์ และปริมาณน้ำหวานในข้าวฟ่างหวาน 9 พันธุ์ พบว่า มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพันธุ์ ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Wray เป็นพันธุ์ที่มีความสูงของต้นมากที่สุด (278.00 เซนติเมตร ที่อายุ 105 วัน) และมีจำนวนใบมากที่สุด (12.25 ใบที่อายุ 75 วัน) พันธุ์ KKU 40 มีน้ำหนักต้นสดสูงที่สุด 885.44 กรัม/ต้น ที่อายุ 105 วัน สำหรับค่าความหวาน (% brix) ของน้ำหวานจากลำต้นที่อายุ 75 วัน พันธุ์ที่ให้ความหวานมากที่สุด คือ พันธุ์ Keller และ Cowley มีค่าเฉลี่ย % brix 13.1 และ 13.0 % ตามลำดับ เมื่อข้าวฟ่างหวานอายุได้ 90 วัน พันธุ์ที่หวานมากที่สุดได้แก่ Keller และ Wray มีค่าเฉลี่ย % brix 16.3 และ 16.2 % ตามลำดับ และเมื่อข้าวฟ่างหวานมีอายุ 105 และ 120

วัน พันธุ์ที่ให้หวานมากที่สุด คือ พันธุ์ BS 281 มีค่าเฉลี่ย % brix 17.4 และ 17.3 % ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำหวานที่หีบจากลำต้นพบว่าพันธุ์ Wray มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยสูงสุด เมื่อเก็บเกี่ยวระยะ 75 และ 90 วัน ให้ปริมาณน้ำหวาน 3,126 และ 3,288 ลิตร/ไร่ แต่เมื่อเก็บเกี่ยว ที่ 105 วัน พันธุ์ Kku 40 ให้ปริมาณน้ำหวานสูงสุด เฉลี่ย 4,439 ลิตร/ไร่ และเมื่อเก็บเกี่ยวที่ข้าว ฟางหวานอายุ 120 วัน พันธุ์ Payao ให้ปริมาณน้ำหวานสูงสุดคือ 3,478 ลิตร/ไร่ ข้าวฟางหวาน พันธุ์ต่างกันสามารถผลิตเอทานอลโดยให้ผลผลิตต่อไร่(ลิตร)ในปริมาตรที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 300 ถึง 440 ลิตร ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ข้าวฟางหวานพันธุ์ WRAY มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น พันธุ์ Kku40 มี อายุเก็บเกี่ยวปานกลาง ส่วนพันธุ์ PAYAO มีอายุเก็บเกี่ยวยาวที่สุดสำหรับการผลิตเอทานอล



ABSTRACT

The results of growth & development, % brix and juice accumulation from stalk of nine sweet sorghum cultivars were found the growth and development of sweet sorghum performed 9 stages included: Emergence stage, Three-leaf stage, Five-leaf stage, Seven-leaf stage, Flag leaf stage, Boot stage, Half-bloom stage, Soft dough stage, Hard dough stage and Physiological maturity stage. KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio and Keller had the harvesting date 105 days. SPB-1, Dale and Payao harvesting date were 120 day after planting date. Plant high, leaf per plant, weight of stalk, % brix and juice volume from stalks of nine sweet sorghum cultivars were significantly different. Wray had the highest plant high 278.00 cm. at 105 days and it also had the highest leaf number per plant 12.25 leaf at 75 day. KKU 40 has the best stalk average weight 885.44 g/plant at 105 days. Keller and Cowley had high % brix at 75 days 13.1 and 13.0 % brix. Keller and Wray had the highest % brix at 90 days 16.3 and 16.2 % brix, respectively. While BS 281 had the highest % brix 17.4 and 17.3 % brix, respectively, when it was harvested at 105 and 120 days. High juice volumes from stalks of Wray sweet sorghum cultivar produced 3,126 and 3,288 liters/rai when harvested at 75 and 90 days. The KKU 40 produced the highest juice volume (4,439 liters/rai) when harvested at 105 days. PAYAO cultivar was the highest produced juice volume (3,478 liter / rai) at 120 days. The ethanol yields were depended on the selected cultivars which had produced 310 to 440 liter per Rai, WRAY cultivar performed short harvesting date cultivar, KKU40 were the moderated harvesting cultivar while as PAYAO were the lately harvesting cultivar.

กิตติกรรมประกาศ

ผลการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานได้รับการสนับสนุน
เงินงบประมาณวิจัยจากงบประมาณสภาวิจัยแห่งชาติปี พ.ศ. 2551 และ 2552

ดังนั้นหากผลการวิจัยฯ มีคุณค่าสำหรับการวิจัยต่อยอดยิ่งขึ้นไปอีก คณะทีมงานวิจัยฯ
จึงขอยกเครดิตนั้นให้กับสภาวิจัยฯ และ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัย
แม่โจ้ อย่างยิ่ง การทำงานที่ผ่านมาเจอปัญหามากมาย ที่ยิ่งใหญ่คือสภาวะแห้งแล้งช่วงปี พ.ศ.
2551 – 2552 ทำให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างหวานเสียหายอย่างมาก ประกอบกับการเข้าทำลาย
เมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างหวานในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ทั้งนกเขา และนกพิราบ แต่ก็เพียงพอสำหรับการ
ปลูกเพื่อผลิตเอทานอล ส่วนเทคนิคการกลั่นเอทานอลยังต้องทำการวิจัยพัฒนาต่อไปอีก เครื่องมือ
อุปกรณ์สำหรับการหมัก การต้มกลั่นแอลกอฮอล์ยังต้องพัฒนาอีกเช่นกัน

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญเรื่อง	(7)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทนำ	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
ความเป็นมา ถิ่นกำเนิดข้าวฟ่างหวาน	3
พันธุ์กรรมของข้าวฟ่างหวาน	4
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	7
การจำแนกชนิดของข้าวฟ่างตามลักษณะการใช้ประโยชน์	10
การปลูกและการดูแลรักษาข้าวฟ่างหวาน	12
พืชพลังงาน	13
เอทานอล	13
ข้าวฟ่างหวานกับการผลิตเอทานอล	14
ข้าวฟ่างหวาน: พืชที่มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอล	15
การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างหวานในประเทศ	19
อัตราการเจริญเติบโต และการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชปลูก	20
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
วิธีการทดลอง	21

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
การปลูกและการดูแลรักษา	22
การบันทึกข้อมูล	22
สถานที่ดำเนินงานวิจัย	23
ระยะเวลาดำเนินการทดลอง	23
ผลการวิจัยและวิจารณ์	24
ผลการศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันหลังปลูก	25
ผลการศึกษาความสูงของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	28
ผลการศึกษาขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	29
ผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	30
ผลการศึกษาน้ำหนักต้นสดต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	31
ผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	32
ผลการศึกษาค่าความหวานของน้ำหวานจากลำต้น (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	33
ผลการศึกษาปริมาณน้ำหวานต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	34
ผลการผลิตเอทานอลต่อไร่ (ลิตร)ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	35
วิจารณ์ผลการทดลอง	45
สรุปและข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	51

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	อธิบาย growth stage ของข้าวฟ่างหวาน	25
2	แสดงจำนวนวันที่ใช้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน	26
3	แสดงผลการศึกษาความสูงต้น(ซม.) และขนาดลำต้น(ซม.) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน	36
4	แสดงผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักต้นสด (กรัม) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน	37
5	แสดงผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้น (กรัม) และค่าความหวาน (% brix) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน	38
6	แสดงผลการศึกษาปริมาณน้ำหวานต่อ และต่อไร่ ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน	39
7	แสดงผลการผลิตเอทานอลต่อไร่ (ลิตร) ของข้าวฟ่างหวานที่ 75, 90, 105 และ 120 วัน	40

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	แสดงระยะการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวาน	27
2	แสดงความสูงของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	41
3	แสดงขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	41
4	แสดงจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	42
5	แสดงน้ำหนักต้นสดของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	42
6	แสดงน้ำหนักต้นแห้งของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	43
7	แสดงค่าความหวาน (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	43
8	แสดงปริมาณน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก	44

บทนำ

จากการที่ประเทศไทยและทุกประเทศทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาด้านพลังงานในเรื่องของต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยล่าสุดเมื่อวันที่ 9 มิถุนายน 2551 ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกพุ่งสูงกว่า 135 ดอลลาร์/บาร์เรล และหากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงรวมถึงปริมาณการใช้น้ำมันยังอยู่ในระดับที่สูงต่อไปเช่นนี้ ประเทศไทยซึ่งอยู่ในฐานะพึ่งพานำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างชาติ ต้องสูญเสียเงินตราปีละกว่า เก้าแสนล้านบาท ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาวิจัยและพบว่า ข้าวฟ่างหวาน (Sweet sorghum) เป็นพืชที่มีศักยภาพสูง เหมาะที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยใช้ลำต้นที่มีความหวานหมักเป็นเอทานอล สามารถทดแทนการผลิตเอทานอลจากอ้อย และมันสำปะหลังได้ ซึ่งพืชเศรษฐกิจหลักทั้งสองชนิดนี้ใช้เวลาปลูกถึง 1 ปี จึงจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้และยังมีระยะเวลาเก็บเกี่ยวใกล้เคียงกัน คือ ประมาณปลายตุลาคมจนถึงเมษายน ซึ่งหลังจากช่วงที่เก็บเกี่ยวอ้อย และมันสำปะหลังแล้วนั้นโรงงานผลิตเอทานอลจะขาดแคลนวัตถุดิบที่จะมาใช้ในการผลิต ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลไม่เต็มกำลัง ถือเป็นการเสียโอกาสในเชิงเศรษฐกิจ แต่จุดเด่นของข้าวฟ่างหวานคือสามารถให้ผลผลิตได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวเพียง 100-120 วันเท่านั้น เมื่อเทียบกับอ้อยแล้ว ข้าวฟ่างหวานให้ผลผลิตสูงกว่าถึง 3 เท่าตัว ดังนั้น ในรอบระยะเวลา 1 ปีข้าวฟ่างหวาน จะให้ผลผลิตได้ 2 ถึง 3 ครั้ง ดังนั้นข้าวฟ่างหวานจึงเหมาะที่จะ ปลูกเพื่อส่งเข้าโรงงานผลิตเอทานอลในช่วงที่อ้อยและมันสำปะหลังไม่มีผลผลิตตั้งแต่เดือน พฤษภาคมจนถึงตุลาคม ซึ่งโรงงานที่ผลิตเอทานอลสามารถปรับเครื่องจักรเพียงเล็กน้อย ก็สามารถนำต้นข้าวฟ่างหวานมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ด้วยเหตุที่ข้าวฟ่างหวานมีศักยภาพที่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นพืชพลังงานทางเลือกชนิดใหม่ จึงได้มีการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางการเกษตร ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต การสะสมปริมาณน้ำตาล ความหวาน ตลอดจนช่วงอายุในการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน เพื่อให้ได้ทราบถึงลักษณะเด่นของแต่ละพันธุ์ที่ทำการศึกษา และหาพันธุ์ที่ให้ลักษณะทางการเกษตรที่ต้องการ ให้ปริมาณน้ำตาลและความหวานที่ดีที่สุด รวมไปถึงช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลเพื่อเป็นข้อมูลให้กับเกษตรกร หรือผู้ที่สนใจศึกษาใช้ในการประกอบการพิจารณาในการเลือกปลูกข้าวฟ่างหวานพืชพลังงานทดแทนทางเลือกใหม่ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาของข้าวฟ่างหวาน ลักษณะทางการเกษตร การให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์
2. เพื่อศึกษาการสร้าง ความหวานและการผลิตเอทานอลในแต่ละช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวาน ในแต่ละพันธุ์
3. เพื่อศึกษาการสร้างและสะสมมวลชีวภาพของข้าวฟ่างหวานในช่วงการเจริญเติบโตจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ในพันธุ์ต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงพันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่มีการสะสมความหวาน (% Brix) และปริมาณน้ำหวาน รวมถึงการให้ลักษณะทางการเกษตรที่ดีที่สุด
2. ทราบถึงช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยวข้าวฟ่างหวานเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล
3. ทำให้สามารถเลือกพันธุ์ข้าวฟ่างหวานตามความเหมาะสมของความต้องการใช้ประโยชน์จากพันธุ์ข้าวฟ่างหวานในอนาคต
4. ทำให้ทราบถึงระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน

ขอบเขตการวิจัย

1. ปลุกและสุ่มเก็บตัวอย่างของต้นข้าวฟ่างหวานเพื่อศึกษาข้อมูลหาค่าความหวาน (% Brix) ปริมาณน้ำหวานและน้ำหนักต้นสดและน้ำหนักต้นแห้ง
2. เก็บตัวอย่างข้าวฟ่างหวาน เพื่อศึกษาข้อมูลลักษณะทางการเกษตร ผลผลิต และ องค์ประกอบผลผลิต ที่น่าสนใจ เช่น จำนวนใบต่อต้น, ความกว้างใบธง, ความยาวช่อ, ขนาดลำต้น, ความยาวของปล้อง, จำนวนปล้องต่อต้น, ความสูงต้น, น้ำหนักเมล็ดทั้งช่อ และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด
3. วิเคราะห์หาการสร้างมวลชีวภาพของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างๆ
4. หมักและกลั่นเอทานอลจากน้ำหวานที่หีบจากต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน

การตรวจเอกสาร

ความเป็นมาถิ่นกำเนิดข้าวฟ่างหวาน

สันนิษฐานว่า ข้าวฟ่างหวานมีถิ่นกำเนิดอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปแอฟริกา โดยพิจารณาจากหลักฐานทางโบราณคดี (Doggett, 1970) สำหรับข้าวฟ่างหวานพันธุ์ปลูกสันนิษฐานว่ามีถิ่นกำเนิดอยู่ใน Abyssinia เช่นเดียวกับพืชไร่สำคัญอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น ข้าวฟ่างไร่ ข้าวฟ่างมือ ปาน งา ถั่วพุ่ม และละหุ่ง เป็นต้น

จากหลักฐานทางโบราณคดี พบว่าข้าวฟ่างหวานได้แพร่กระจายเข้าสู่เอเชียในต้นต้นคริสต์ศตวรรษโดยแพร่กระจายเข้าสู่จีน ญี่ปุ่น ในศตวรรษที่ 17 ได้แพร่กระจายเข้าสู่ยุโรปโดยพวกทาส ส่วนในสหรัฐอเมริกาหลักฐานว่าครั้งแรกมีการนำข้าวฟ่างหวานจากฝรั่งเศสไปปลูกเพื่อทำน้ำตาลและเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

สำหรับการแพร่กระจายของข้าวฟ่างมาในประเทศไทยนั้นไม่มีหลักฐานปรากฏแน่ชัด ที่พบคือข้าวฟ่างพันธุ์พื้นเมืองของประเทศไทย คือ ข้าวฟ่างหางช้าง ซึ่งชาวบ้านปลูกตามขอบไร่ รอบไร่ ปลายนา เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เลี้ยงภายในครัวเรือน ซึ่งในปี พ.ศ. 2494 ได้มีการนำข้าวฟ่างพันธุ์ต่างๆ จากสหรัฐอเมริกาเข้ามาทดลองปลูกเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ ที่สถานีบำรุงพันธุ์สัตว์ ทบกวาง จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2500 นักวิชาการของกองค้นคว้าและทดลอง กรมกสิกรรมได้นำข้าวฟ่างสายพันธุ์ต่างๆ เข้ามาทดสอบและศึกษาเพิ่มเติม ในปีพ.ศ. 2509 มูลนิธิรีคกี้เฟลเลอร์ได้สนับสนุนโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่างโดยการนำข้าวฟ่างจากประเทศอินเดียและสหรัฐอเมริกาเข้ามาศึกษาและปรับปรุงพันธุ์ภายในประเทศ และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 ได้มีการนำเมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างลูกผสมมาจากต่างประเทศโดยบริษัทเอกชน ปีพ.ศ. 2525 จากโครงการของมูลนิธิรีคกี้เฟลเลอร์ ทำให้ได้พันธุ์ข้าวฟ่างสายพันธุ์ใหม่ ซึ่งต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น พันธุ์อุทอง 1 และได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก (ถาวรศิลป์, 2531)

ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้แบบอเนกประสงค์ทั้งในรูปของอาหารพลังงาน และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ข้าวฟ่างหวานนอกจากจะให้พลังงานสูง จนกระทั่งได้ชื่อว่าเป็น “high-energy crop” แล้วยังเป็นพืชที่ปรับตัวได้ดี ทนทานต่อความแห้งแล้ง ทนน้ำท่วมขัง ทนดินเค็ม และทนดินต่าง จนกระทั่งได้ชื่อว่าเป็น “the camel among crops” (Dajue, 1997) สามารถให้ผลผลิตต้นสดได้สูงถึง 5-15 ตัน/ไร่ น้ำคั้นมีความหวานอยู่ระหว่าง 15-24°บrix ข้าวฟ่างหวานอาจแบ่งตามองค์ประกอบของน้ำตาลได้เป็น 2 ชนิด คือ sucrose type

ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนใหญ่ และนิยมนำไปผลิตเป็นน้ำตาลทราย อีกชนิดหนึ่งคือ syrup type ซึ่งมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบ จึงไม่ตกผลึก นิยมนำไปทำน้ำเชื่อม

พันธุกรรมของข้าวฟ่างหวาน

ข้าวฟ่างหวาน (sweet sorghum: *Sorghum bicolor* L.) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Gramineae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sorghum bicolor* (L.) Moench มีจำนวนโครโมโซม $2n=20$ (Garber, 1950) เป็นพืชที่ใช้ประโยชน์จากน้ำคั้นในลำต้นเป็นหลัก ซึ่งมีรสชาติหวานคล้ายอ้อย แต่ในขณะเดียวกันก็ใช้ประโยชน์จากเมล็ดได้เช่นเดียวกับข้าวฟ่างเมล็ด (grain sorghum) ข้าวฟ่างหวานเป็นพืช C4 ที่สามารถผลิตมวลชีวภาพได้สูงมาก สามารถสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตได้สูงเป็น 2 เท่า ของข้าวโพดและซูการ์บีท (Dajue, 1997) และเนื่องจากที่ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชชนิดเดียวกันกับข้าวฟ่างที่ปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากเมล็ดหรือ grain sorghum ดังนั้นลักษณะของลำต้น ใบ ราก ดอก และลักษณะอื่นๆ จึงไม่แตกต่างกัน นอกจากการใช้ประโยชน์และปริมาณน้ำกับน้ำตาลใน ลำต้น (ประสิทธิ์, 2529; จุฬี, 2536)

การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมของข้าวฟ่างมีผู้ศึกษาไว้มากมายโดยเฉพาะ (Schertz and Stephens, 1966) ได้รวบรวมลักษณะต่างๆ ที่มีผู้ศึกษาไว้พร้อมทั้งให้สัญลักษณ์ของยีนที่ควบคุมกำกับไว้ด้วย การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อใช้พิจารณาประกอบการวางแผนงานปรับปรุงพันธุ์ เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์ พ่อและแม่ การคัดเลือกต้นพืชในประชากรที่กระจายตัวในช่วงที่ 2, 3, 4 และ 5 รวมถึงการหาเชื้อพันธุกรรมจากแหล่งต่างๆ เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ด้วย

1. พันธุกรรมของอายุนอกดอกข้าวฟ่าง อายุนอกดอกของข้าวฟ่างมียีนควบคุมอยู่ 4 ตัวคือ Ma1 Ma2 Ma3 และ Ma4 ข้าวฟ่างที่มียีนเด่นอยู่หลายตัวจะออกดอกช้ากว่าพวกที่มียีนด้อยอยู่ แต่ยีนด้อย Ma1 สามารถข่มยีนเด่นในลำดับถัดไปได้คือ Ma1 Ma2 Ma3 ซึ่งเป็นปฏิกิริยา ระหว่างยีนแบบข่มข้ามคู่ (epitasis) (Quinby, 1967)

ข้าวฟ่างเป็นพืชวันสั้น ยีนที่เกี่ยวข้องกับการออกดอกของข้าวฟ่างมี 4 loci คือ Ma1 Ma2 Ma3 และ Ma4 ยีนเด่น Ma1 ทำให้ข้าวฟ่างมีอายุนอกดอกช้า โดยเฉพาะยีน Ma1 ซึ่งมักพบในข้าวฟ่างเขตร้อน เป็นยีนที่ทำให้ข้าวฟ่างออกดอกช้า ส่วนข้าวฟ่างที่มีอายุนอกดอกเร็ว เช่น ข้าวฟ่างที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวฟ่างเขตร้อนกับข้าวฟ่างเขตอบอุ่น (tropical to temperate conversion) นั้นยีน Ma1 เมื่อเป็นยีนด้อยจะทำให้ข้าวฟ่างมีอายุนอกดอกเร็ว ถึงแม้จะมียีนที่ loci อื่นๆ เป็นยีนเด่นก็ตาม (House, L. R., 1980)

ข้าวฟ้างเป็นพืชวันสั้นดังนั้นอายุวันออกดอกข้าวฟ้างจึงขึ้นอยู่กับช่วงแสง (photoperiod) ถ้าหากช่วงแสงยาวกว่า critical photoperiod แล้วข้าวฟ้างจะไม่สร้างตาออก ซึ่งข้าวฟ้างแต่ละสายพันธุ์จะมี critical photoperiod ที่แตกต่างกัน จากการศึกษ QTLs ของลักษณะของการตอบสนองต่อช่วงแสงของข้าวฟ้างที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวฟ้างที่ไวต่อแสง (guinea landrace) จาก Buikina Faso กับข้าวฟ้างที่ไม่ไวแสง (caudatum race) จาก Zimbabwe พบว่าการที่ข้าวฟ้างมีอายุวันออกดอกช้าขึ้นนั้น เกี่ยวข้องกับ major gene เพียงไม่กี่ตัว และตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับอายุวันออกดอกของข้าวฟ้างสอดคล้องกับตำแหน่งของยีน Ma1 ซึ่ง link อยู่กับยีนที่ควบคุมลักษณะความสูงต้น Dw2 ด้วย (Trouche, G.et.al., 1998) อย่างไรก็ตามสภาพแวดล้อมอื่น ๆ รวมทั้งการปฏิบัติดูแลรักษา ก็มีผลต่ออายุวันออกดอกของข้าวฟ้างด้วย เช่น การให้น้ำชลประทานและการใส่ปุ๋ย ซึ่ง Sudhakar, K.R.and G.W.L. Jayakumar, 1996. รายงานว่า การให้ปุ๋ยทางใบจะ ทำให้ข้าวฟ้างมีอายุวันออกดอกเร็วขึ้น

2. พันธุกรรมความสูงของข้าวฟ้าง ยีนที่ควบคุมความสูงของข้าวฟ้างมี 4 ตัว คือ Dw1 Dw2 Dw3 และDw4 และลักษณะการข้ามข้ามของยีนเหล่านี้เป็นแบบ partially dominant

3. พันธุกรรมของสีเมล็ดข้าวฟ้าง พันธุกรรมของสีเมล็ดข้าวฟ้างมียีนที่เกี่ยวข้องมากมายเช่น ในเปลือกของเมล็ด (seed coat) ซึ่งเป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดนั้นคือชั้นเซลล์ที่เรียกว่า pericarp ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ชั้นนอกเรียกว่า epicarp เซลล์ชั้นกลาง เรียกว่า mesocarp และเซลล์ชั้นในเรียกว่า endocarp ข้าวฟ้างที่มี pericarp สีขาวจะถูกควบคุมโดยยีน RRyyii ขณะที่ชั้นได้เปลือกก่อนถึงเนื้อในเมล็ด (subcoat หรือ testa) ถูกควบคุมโดยยีน RRYyII ส่วนข้าวฟ้างที่มีสีแดงนั้น pericarp จะถูกควบคุมโดยยีน RRYyII ขณะที่ subcoat ถูกควบคุมโดยยีน b1 b2 B2 B2 นอกจากนี้แล้วยังมียีนที่ทำให้เกิดสีต่างๆอีกเช่น tptp ทำให้เกิดสีม่วง เช่นในข้าวฟ้างพันธุ์เฮกการี่ และยีน tp- ทำให้เกิดสีน้ำตาลซึ่งมีส่วนสัมพันธ์ กับปริมาณแทนนินในเมล็ด นอกจากนี้แล้วยังมี spreader gene และ intensifier gene ทำให้สีของเมล็ดเปลี่ยนแปลงได้อีกด้วย เช่น ทำให้สีเข้มขึ้นกว่าเดิม เป็นต้น (ประสิทธิ์, 2529)

4. พันธุกรรมการเป็นหมันของเกสรตัวผู้ของข้าวฟ่าง การเป็นหมันของเกสรตัวผู้ของข้าวฟ่างนี้ถูกควบคุมโดยยีน ms ซึ่งถ้ายีนนี้เป็นยีนด้อยทั้งคู่ก็จะทำให้เกสรตัวผู้ของข้าวฟ่างนี้เป็นหมัน ในปัจจุบันนี้พบว่ายีน ms มีอยู่หลายชนิดเช่น

ms 1 ทำให้ละอองเกสรตัวผู้ผสมไม่ติด

ms 2 ทำให้ละอองเกสรตัวผู้ผสมไม่ติด

ms 3 ทำให้ละอองเกสรตัวผู้ผสมไม่ติด

ms 4 ไม่มีละอองเกสรตัวผู้

ms 5 ละอองเกสรตัวผู้ผสมไม่ติด (เกิดจากการใช้รังสีทำให้กลายพันธุ์)

ms 6 อับละอองเกสรตัวผู้มีขนาดเล็กมาก (micro anther) ได้จากการฉายรังสี

ms 7 ไม่มีละอองเกสรตัวผู้

ยีนที่ใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงประชากรของข้าวฟ่างมากที่สุดคือ ms 3 และ ms 7 โดยการผสมข้ามพันธุ์เพื่อรวมยีนต่างๆไว้ในประชากร นอกจากนี้แล้วการเป็นหมันของเกสรตัวผู้ของข้าวฟ่างยังมีอีกแบบหนึ่งเรียกว่า cytoplasmic genetic male sterility ซึ่งการเป็นหมันแบบนี้ข้าวฟ่างจะต้องมียีนแบบ ms ms (ยีนด้อยทั้งคู่) ในขณะที่ไซโตพลาสซึมก็จะต้องมียีนแบบ ms (sterile) การเป็นหมันของข้าวฟ่างแบบนี้มีประโยชน์มากในการใช้ผลิตข้าวฟ่างลูกผสม

5. พันธุกรรมลักษณะการต้านทานโรคของข้าวฟ่าง ได้มีการศึกษายีนที่ควบคุมลักษณะการต้านทานโรคต่างๆในข้าวฟ่างมากมายเช่น โรค kernel smut ยีนที่ต้านโรค คือ Ss1, Ss2 และ Ss3 ซึ่งเป็น incomplete dominant โรค head smut พันธุ์ข้าวฟ่างที่ต้านทานต่อโรคจะถูกควบคุมโดยยีนเด่น โรค milo disease พันธุ์ข้าวฟ่างที่ต้านทานต่อโรคนี้ถูกควบคุมโดยยีน Pc โรค rust ข้าวฟ่างพันธุ์ที่ต้านทานโรคนี้ถูกควบคุมด้วยยีนด้อย pc เป็นต้น

6. พันธุกรรมของลักษณะการต้านทานแมลงของข้าวฟ่าง จากการศึกษาพันธุกรรมของลักษณะการต้านทานแมลงของข้าวฟ่างนั้นพบว่ามีความปฏิกิริยาที่ค่อนข้างซับซ้อน และไม่ทราบอย่างแน่ชัด นอกจากนี้แล้วลักษณะการต้านทานแมลงอย่างสมบูรณ์ก็พบได้น้อยมาก (ประสิทธิ์, 2529)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ข้าวฟ่างมีระบบรากเป็นรากฝอย (fibrous root system) มีรากที่เกิดจากเมล็ดโดยตรงเพียงรากเดียวเรียกว่า seminal root และมีรากเล็ก ๆ แตกออกมาจาก seminal root เรียกว่า lateral root เมื่อต้นอ่อนใช้อาหารจากเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ของเมล็ดจนเกือบจะหมด ก็จะเริ่มมีรากแตกออกมาจากข้อใต้ดินเรียกว่า clonal root (adventitious root) ซึ่งมีความสามารถในการแผ่ออกไปอย่างมาก ทั้งในแนวราบและแนวลึก บางครั้งลึก 6 ฟุต รากของข้าวฟ่างหวานมีมากกว่ารากของข้าวโพดประมาณ 2 เท่า (ถาวรศิลป์, 2531) ปลายรากของข้าวฟ่างหวานมีสารประกอบพวก ซิลิกาติดอยู่ในชั้นเอนโดเดอร์มิสทำให้รากข้าวฟ่างแข็งแรงสามารถชอนไชไปในดินได้ดีกว่าข้าวโพด จึงทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดีกว่า

ลำต้น ลำต้นของข้าวฟ่างมีความสูงตั้งแต่ 45 เซนติเมตร ถึง 4 เมตรหรือมากกว่า ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมีตั้งแต่ 0.5 ถึง 3 เซนติเมตร บนลำต้นจะมีข้อ (node) ปล้อง (internode) เหมือนพืชตระกูลหญ้าชนิดอื่น ๆ ตรงรอยต่อระหว่างกาบใบกับข้อจะเห็นวงของ root band ซึ่งมีจุดกลม ๆ ของ root primordia เรียงอยู่รอบข้อซึ่งพร้อมจะเจริญออกมาเป็นรากในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และช่วยค้ำจุนลำต้นไม่ให้ล้ม

ใบ ใบของข้าวฟ่างหวานจะเกิดตามข้อสลับกันไปบนลำต้น รูปร่างคล้ายใบหอกหรือใบหอกเรียว ๆ ความกว้างของใบอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 3 เซนติเมตร ความยาวของใบยาวตั้งแต่ 30 ถึง 130 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับพันธุ์ พันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจะมีใบประมาณ 14 ถึง 17 ใบ ส่วนพันธุ์ที่ปรับตัวไม่ได้อาจจะมีใบมากกว่า 30 ใบ (ประสิทธิ์, 2529) ผิวของใบเป็นมันเนื่องจากมีไขมันฉาบอยู่ซึ่งแตกต่างจากใบข้าวโพด แผ่นใบจะมีรูใบ (stomata) ทั้ง 2 ด้านและจะมีเซลล์พิเศษชนิดหนึ่งเรียกว่า motor cells ช่วยในการม้วนใบเวลาข้าวฟ่างขาดน้ำหรือกระທပ်แล้ง เส้นกลางใบ (mid rib) ถ้าอบน้ำจะมีสีเขียว แต่ถ้ามีเนื้อค่อนข้างแห้งจะมีสีขาวหรือเหลืองเห็นเด่นชัดซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นกัน ตรงรอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบที่เรียกว่า blade joint จะมีเยื่อบาง ๆ ยาวประมาณ 1-3 มิลลิเมตรอยู่โดยรอบและแนบชิดกับลำต้น เรียกว่า ligule (เยื่อกันน้ำ) ทางด้านปลายของ blade joint ทั้ง 2 ข้างจะมีส่วนที่เรียกว่า dewlap ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม หรือยาวรีบางและอ่อนช่วยในการไหวตัวของใบ

Ravi *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษารากข้าวฟ่างหวาน 139 พันธุ์ ที่ปลูก 4 ฤดู ปลูกที่ประเทศอินเดียพบว่าลักษณะต่าง ๆ เช่น ความสูง เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักลำต้น ปริมาตร

น้ำคั้น ค่าบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลที่หมักได้ และน้ำตาลที่มีอยู่ในลำต้น พบว่าลักษณะต่าง ๆ ในพันธุ์ดังกล่าวมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูปลูก โดยข้าวฟ่างหวานพันธุ์ SSV84 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ใช้เปรียบเทียบให้ผลผลิตต้นสด 37.5 ตัน/เฮกเตอร์ หรือกิโลกรัม/ไร่ และค่าความหวาน 18.6° บริกซ์

ช่อดอก ช่อดอกของข้าวฟ่างเป็นแบบ panicle แต่นิยมเรียก head อยู่บนก้านช่อ ซึ่งเป็นปล้องสุดท้ายเหนือใบธง ช่อดอกประกอบด้วยก้านช่อ (peduncle) ส่วนของก้านช่อที่อยู่ระหว่างฐานของใบธงถึงฐานช่อเรียกว่า exertion ก้านที่เป็นแกนกลางของช่อที่ติดกับก้านช่อ (peduncle) เรียกว่า rachis จาก rachis มีแขนงแยกออกไปเรียกว่า primary branch จาก primary branch มี กิ่งแขนงแยกออกไปเรียกว่า secondary branch และจาก secondary branch มีแขนงแยกย่อยออกไปอีกเรียกว่า tertiary branch หรือ raceme ซึ่งเป็นที่ตั้งของดอกย่อย (spikelet) ดอกย่อยมี 2 ชนิดคือ sessile spikelet และ pediceled spikelet ซึ่งเกิดเป็นคู่กันเสมอ pediceled spikelet เป็นดอกที่เป็นหมันมีแต่เปลือกหุ้มดอกเท่านั้นไม่มีทั้งเกสรตัวผู้และตัวเมีย

ดอกย่อย ดอกย่อยของข้าวฟ่างประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (glume) มีสองอันเรียกว่า upper glume และ lower glume เป็นแผ่นคล้ายกลีบดอกอยู่ชั้นนอกสุด ทำหน้าที่ในการป้องกันส่วนประกอบภายในและสามารถสังเคราะห์แสงได้ ถัดจากเปลือกหุ้มดอกก็มีแผ่นบางๆ สองอันเรียกว่า lemma มีหน้าที่ในการป้องกันส่วนประกอบภายในของดอก ถัดจาก lemma ก็จะเป็น palea มีลักษณะเป็นแผ่นบางใสอันหนึ่ง ทำหน้าที่ป้องกันส่วนประกอบภายในของดอก เช่นเดียวกันกับ lemma ภายในดอกย่อยจะมีเกสรตัวผู้ (stamen) ซึ่งในเกสรตัวผู้ประกอบด้วย อับละอองเกสร(anther) สามอัน บนก้านชูเกสร (filament) ที่ตรงส่วนปลายของอับละอองเกสรจะมีรูเปิดเพื่อปล่อยละอองเกสร (pollen) เรียกว่า apical pore เกสรตัวเมียมีลักษณะคล้ายกับแปรงเล็กๆ สองอันแยกออกจากกันทำหน้าที่รับละอองเกสรตัวผู้ โดยมีก้านชูเกสรตัวเมีย (style) ช่วยชูยอดเกสรตัวเมีย (stigma) ขึ้นมารับการผสมและมี lodicucule ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะกลมมีขนตรงปลายตั้งอยู่บนฐานดอกติดกับรังไข่ ทำหน้าที่ในการปิดเปิดเปลือกหุ้มดอกเมื่อดอกบาน

การบานของดอกข้าวฟ่างนั้นจะสังเกตได้จากอับเรณู (anther) สีเหลืองโผล่ห้อยออกมานอกกลีบหุ้มดอก พร้อมทั้งมียอดเกสรตัวเมียมีลักษณะคล้ายขนนก แยกเป็น 2 แฉก ดอกข้าวฟ่างจะเริ่มบานในเวลา 22.00 นาฬิกา เป็นต้นไป จนถึงเวลาบ่ายถ้าลมสงบ แต่ถ้ามีลมพัดแรงดอกข้าวฟ่างจะหยุดบานเร็วขึ้น การบานของดอกข้าวฟ่างจะเริ่มบานจากปลายช่อดอกลงมาที่

โคน ช่อดอกข้าวฟ่าง 1 ช่อ จะใช้เวลาบานประมาณ 6-9 วัน แล้วแต่ขนาดของดอก อุณหภูมิ และ พันธุ์ สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลสำคัญต่อการบานของดอก ถ้าสภาพอากาศเย็นและชื้นดอกข้าวฟ่างจะบานช้า อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการบานของดอกข้าวฟ่างอยู่ระหว่าง 21 ถึง 35 องศาเซลเซียส ในตอนกลางคืนถ้าอุณหภูมิลดต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส ดอกข้าวฟ่างจะไม่บานในวันต่อมา ในสภาพอากาศของประเทศไทยนั้น ดอกข้าวฟ่างจะหยุดบานในช่วงเวลาประมาณ 9.00 ถึง 10.00 นาฬิกา (ประสิทธิ์, 2529) ละอองเกสรตัวผู้ (pollen) ที่แตกออกมานั้น จะมีประสิทธิภาพในการผสมเกสรสูงสุดภายใน 30 นาที หลังจากแตกออกมาจากอับเรณู และจะมีอายุอยู่ได้นาน 3 ถึง 4 ชั่วโมงเท่านั้น ยกเว้นถ้าเก็บไว้ในตู้เย็นจะสามารถมีอายุได้นาน 3 ถึง 4 วัน (Ayyangar, 1963) ละอองเกสรของข้าวฟ่างจะออกได้ก็ต่อเมื่อได้รับแสงสว่าง สำหรับเกสรตัวเมียนั้นจะสามารถรับการผสมได้ตั้งแต่ 1-2 วันก่อนดอกบาน และสามารถมีชีวิตรอรับการผสมจากละอองเกสรตัวผู้ได้นานถึง 7-10 วัน แต่จะมีประสิทธิภาพสูงสุด ภายใน 72 ชั่วโมงหลังดอกบานเท่านั้น

เมล็ด หลังจากละอองเกสรตัวผู้ตกลงบนยอดเกสรตัวเมียแล้วจะเกิดการผสมเกสร (fertilization) ภายในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นไข่ที่ได้รับการผสมเกสรจะพัฒนา กลายเป็นเมล็ดแก่ (mature seed) ซึ่งระยะเวลาดอกบานจนถึงเมล็ดแก่ใช้เวลาประมาณ 30 วัน เมล็ดของข้าวฟ่างที่แท้จริงคือผลชนิด caryopsis ซึ่งเป็นผลแห้ง (dry fruit) ไม่แตก มีเปลือกผลกับเปลือกเมล็ดเชื่อมติดกัน รูปร่างของเมล็ดข้าวฟ่างอาจจะมีลักษณะกลม รี รูปไข่ หรือรูปแบบหลังเต่า ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวฟ่าง เมล็ดข้าวฟ่างแบ่งออกได้เป็น 3 ขนาด คือ เมล็ดขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก น้ำหนัก 1,000 เมล็ดจะหนักตั้งแต่ 10 ถึง 60 กรัม เมล็ดข้าวฟ่างประกอบด้วย ส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ เปลือก (pericarp) 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต้นอ่อน (embryo) 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอาหารสะสม (endosperm) 84 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ข้าวฟ่างหวานจะให้ผลผลิตต้นสูงสุดแต่ให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ (Coleman, 1970) จากการศึกษาของ Seetharama และ Prasada Rao ในปี 1988 พบว่าผลผลิตของเมล็ดข้าวฟ่างหวานอยู่ในระหว่าง 1.66-5.15 ตัน/เฮกเตอร์ แต่ข้าวฟ่างเมล็ดจะให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่ามาก (Eastin, 1972)

ลักษณะพิเศษของข้าวฟ่างคือ ส่วนที่อยู่เหนือดินของข้าวฟ่างโดยเฉพาะส่วนที่มีสีเขียว ได้แก่ ใบและลำต้นจะมีสารประกอบที่เรียกว่า Cyanogenic glycoside และ dhuririn ซึ่งถ้าถูก hydrolyse ด้วยเอนไซม์บางชนิดแล้วจะให้ hydrocyanic acid (HCN) ซึ่งถ้าได้รับสารพิษชนิด

นี้ในปริมาณ 0.5 กรัม สามารถทำให้โคที่กินเข้าไปตายได้ โดยปกติถ้ามี HCN นี้อยู่มากกว่า 750 ppm แล้วจะถือว่าอยู่ในขั้นอันตราย ถ้าเป็นข้าวฟ่างที่ตัดให้สัตว์กินสด ปริมาณของกรด HCN นี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดหรือพันธุ์ และสภาวะการเจริญเติบโตของข้าวฟ่าง ต้นข้าวฟ่างหรือ tiller ที่ยังอ่อนอยู่มักมีสาร dhurrin ในปริมาณสูงซึ่งส่วนมากจะมีอยู่ในใบ เมื่อต้นเจริญเติบโตขึ้นแล้วปริมาณของสารนี้ก็จะลดน้อยลง ต้นข้าวฟ่างที่กระทบแล้งหรือที่เจริญขึ้นมาจากท่อนพันธุ์ (ratoon) ที่ยังสดอยู่ และต้นข้าวฟ่างที่ฟืนขึ้นมาจากสภาพเครียด เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม ต่าง ๆ จะมีการสะสมสารนี้มาก จึงไม่ควรนำไปให้สัตว์กินสด นอกจากนี้การให้ปุ๋ยไนโตรเจนมักจะทำให้ HCN เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ลักษณะการเป็นพิษนี้จะถูกทำลายเมื่อนำส่วนต่างๆ ของลำต้นไปทำเป็นหญ้าแห้งหรือหมักก่อนที่จะนำไปให้สัตว์กิน

การจำแนกชนิดของข้าวฟ่างตามลักษณะการใช้ประโยชน์

แบ่งได้ 5 ชนิด คือ

1. **ข้าวฟ่างเมล็ด** (grain sorghum) หรือข้าวฟ่างที่ปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากเมล็ด มีขนาดเมล็ดใหญ่ ลำต้นเตี้ย และผลผลิตเมล็ดมากกว่าข้าวฟ่างชนิดอื่น ๆ ข้าวฟ่างเมล็ดมีความสำคัญมากเป็น 1 ใน 5 ของธัญพืชในโลก ที่เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์และเป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ในประเทศที่มีธัญพืช เช่น ข้าวสาลี และข้าว เป็นอาหารหลักเพียงพอแล้ว จะนำข้าวฟ่างเมล็ดไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

2. **ข้าวฟ่างหวาน** (sweet sorghum) เป็นข้าวฟ่างที่มีปริมาณน้ำในลำต้นมาก และมีรสชาติหวานกว่า และมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับข้าวฟ่างชนิดอื่น ๆ ลำต้นค่อนข้างสูงสำหรับปริมาณน้ำในลำต้นและความหวานจะแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ ฤดูปลูก อายุเก็บเกี่ยว ชนิดและความชื้นของดิน ขนาดของเมล็ดส่วนใหญ่จะเล็กกว่าข้าวฟ่างเมล็ด ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้จากทุกส่วน น้ำหวานที่คั้นหรือหีบจากลำต้นนำไปผลิตแอลกอฮอล์ได้ดี นำไปผลิตน้ำตาลทราย หรือน้ำเชื่อม ส่วนซากลำต้นที่หีบน้ำออกแล้วสามารถนำไปเลี้ยงสัตว์ หรือนำไปหมักก่อนให้สัตว์กิน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปทำเชื้อเพลิง และกระดาษได้

พันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่พัฒนาในต่างประเทศ ได้แก่

- 1) Dale เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวปานกลาง ได้รับการพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกา เมล็ดมีขนาดเล็ก สีม่วงน้ำตาล ความงอกดี ทนต่อโรคแอนแทรกโนส และไส้แดง ลำต้นขนาดกลางให้คุณภาพน้ำคั้นดี

- 2) M8IE เป็นพันธุ์นัก พัฒนาโดยสถาบันน้ำตาลของสหรัฐอเมริกา มีลำต้นสูง
ทนทานต่อการหักล้ม ทนต่อโรคแอนแทรกคโนส และไส้แดง
- 3) Brandes เป็นพันธุ์นักของสหรัฐอเมริกา มีรากที่แข็งแรง ทนต่อโรคแอนแทรก-
โนส และไส้แดง เมล็ดมีสีขาว ขนาดเล็ก และมีความงอกดี
- 4) Theis เป็นพันธุ์นักของสหรัฐอเมริกา ทนต่อการหักล้มได้ดี ทนต่อโรคแอน
แทรกคโนส ไส้แดง และโรคราน้ำค้าง
- 5) Sugar Drip เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ขนาดเมล็ดปานกลาง สีสน้ำตาล
ทนทานต่อโรคได้ดี
- 6) Georgia Blue Ribbon เป็นพันธุ์ดั้งเดิม ไม่ทนต่อโรค เมล็ดมีสีน้ำตาลขนาด
ปานกลาง
- 7) Honey หรือ Honey Drip ปลูกมาก่อนปี ค.ศ.1900 ความสูงของต้น 7-10 ฟุต ไม่
ทนต่อการหักล้ม
- 8) Tracy เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวปานกลาง พัฒนาจากอเมริกา ลำต้นสูง 9-12
ฟุต ทนต่อโรคแอนแทรกคโนส และไส้แดง แต่ให้ผลผลิตน้ำเชื่อมต่ำ

3. ข้าวฟ่างไม้กวาด (broom corn) เป็นข้าวฟ่างที่มีก้านช่อดอกยาวและแข็ง
จำนวนใบและเมล็ดน้อย เนื่องจากช่อมีก้านดอกยาว จึงนิยมนำมาทำไม้กวาดในประเทศแถบ
ยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น

4. ข้าวฟ่างคั่ว (pop sorghum) เป็นข้าวฟ่างที่ใช้ประโยชน์จากเมล็ดในลักษณะ
เดียวกันกับข้าวโพดที่นำไปคั่ว หลายประเทศนิยมรับประทาน ลักษณะเด่นคือ มีคุณค่าทางอาหาร
สูง เมล็ดมีสีเหลืองนวลใส เปลือกหนา ทนต่อสภาพแห้งแล้ง และสามารถต้านทานการหักล้มได้ดี
ปัจจุบันนำเมล็ดมาใช้เพื่อเป็นอาหารนก

5. ข้าวฟ่างหญ้า (grass sorghum) เป็นข้าวฟ่างที่มีขนาดของเมล็ดเล็กกว่าข้าว
ฟ่างเมล็ดมาก ต้นและใบมีขนาดเล็ก สามารถแตกหน่อได้ดี จึงใช้ปลูกเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ หรือ
นำมาทำเป็นหญ้าหมัก (silage)

การปลูกและการดูแลรักษาข้าวฟ่างหวาน

ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชเขตร้อนและเขตอบอุ่น สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีเช่นเดียวกับข้าวฟ่างเมล็ด ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศที่ร้อนและแห้งแล้ง แต่ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตที่ฝนตกชุก ทนต่อสภาพน้ำขังในระยะสั้นๆ ได้ ข้าวฟ่างหวานเจริญได้ดีในดินเกือบทุกชนิด ตั้งแต่ดินเหนียวจนถึงดินทราย ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่เหมาะสม จะอยู่ระหว่าง 5-8 มีความทนทานต่อสภาพดินเค็มได้ดีกว่าข้าวโพด ข้าวฟ่างหวานปรับตัวได้ดีกับสภาพเขตร้อนถึงแห้งแล้งที่มีฝนตกอย่างน้อยปีละ 350-400 มิลลิเมตร และให้ผลผลิตสูงมากในพื้นที่ที่มีน้ำหรือระบบชลประทาน อุณหภูมิดินต่ำสุดที่เมล็ดข้าวฟ่างหวานสามารถงอกได้ อยู่ระหว่าง 7-10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่ข้าวฟ่างหวานสามารถเจริญเติบโตได้คือ 15 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 27-30 องศาเซลเซียส (Quinby *et al.*, 1958)

การปลูกข้าวฟ่างหวานโดยทั่วไปนั้น ถ้าจะให้ได้ผลผลิตสูงควรจะปลูกตามหลักวิชาการที่ผ่านการทดสอบและวิจัยมาแล้ว วิธีการปลูกมีหลายวิธีเช่น การปลูกแบบเป็นแถว การปลูกเป็นหลุม และการปลูกโดยใช้เครื่องปลูก

1. การปลูกแบบเป็นแถวใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 65 เซนติเมตร หลังจากเตรียมดินก็ทำการปลูกเป็นร่อง ลึกประมาณ 5 เซนติเมตร โรยเมล็ดแล้วไถกลบ เมื่อข้าวฟ่างหวานอายุได้ 20 วัน ถอนแยกออกให้ได้ระยะระหว่างต้น 10 เซนติเมตร
2. การปลูกแบบเป็นหลุม หยอดลึกประมาณ 5 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุม 10 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแถว 60 เซนติเมตร ปลูกหลุมละ 3 เมล็ด แล้วใช้ดินกลบ
3. การปลูกโดยใช้เครื่องปลูก ดัดทำยกรถแทรกเตอร์ซึ่งมีจานปลูกเป็นตัวกำหนดอัตราของเมล็ดที่หยอดลงในดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับการปลูกในแปลงขนาดใหญ่

การกำจัดวัชพืชมีความสำคัญต่อการปลูกข้าวฟ่างหวานเป็นอย่างมาก การปล่อยให้ต้นวัชพืชขึ้นแข่งขันจะทำให้ผลผลิตลำต้นลดลงอย่างมาก กลุ่มงานวิจัยกำจัดวัชพืชได้รายงานว่า การแข่งขันของวัชพืชจะมีผลต่อการให้ผลผลิตของข้าวฟ่างหวาน ในช่วงสัปดาห์ที่ 3-4 หลังงอก รณชัย (2541) รายงานว่า ถ้าไม่มีการกำจัดวัชพืชเลย ผลผลิตต้นสดของข้าวฟ่างหวานจะลดลงถึง 79.02 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักช่อดอกลดลง 73.02 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่มีการกำจัดวัชพืชตลอดฤดูปลูก ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำตาลมีแนวโน้มว่าการกำจัดวัชพืชโดยตลอดจะทำให้ข้าวฟ่างหวาน มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงปล่อยให้วัชพืชขึ้นในแปลงนานๆ สำหรับการกำจัดวัชพืชโดยใช้สารเคมี ข้าวฟ่างหวานที่ปลูกปลายฤดูฝนโดยไม่มีการ

กำจัดวัชพืชจะให้ผลผลิตลดลง 67.93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกำจัดวัชพืชด้วยมือ 2 ครั้ง สำหรับในฤดูฝนการใช้ atrazine ในอัตรา 160 กรัม/ไร่ และสาร metholachlor ในอัตรา 240 กรัม/ไร่ หรือ การผสมสาร atrazine และ metholachlor ในอัตราส่วน 160+240 กรัม/ไร่ ฉีดพ่นก่อนวัชพืชงอก ให้ผลดีในการควบคุมวัชพืชให้ผลผลิตสูงไม่แตกต่างกับการกำจัดวัชพืชด้วยมือ 2 ครั้ง เมื่ออายุ 3 และ 6 สัปดาห์หลังปลูก การใช้สาร atrazine ผสมกับ 2, 4-D ในอัตรา 160 และ 240 กรัม/ไร่ ฉีดพ่นหลังวัชพืชงอก ให้ผลไม่ค่อยดีในการควบคุมวัชพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งหญ้าตีนนก การใช้ paraquat ในอัตรา 80 กรัม/ไร่ ฉีดพ่นในระหว่างแถว 2 ครั้งหลังปลูกข้าวฟ่างหวานเมื่ออายุ 3 และ 6 สัปดาห์หลังปลูกให้ผลผลิตสูงไม่แตกต่างจากการกำจัดวัชพืชด้วยการไถพรวนในระหว่างแถว 2 ครั้ง เมื่ออายุ 3 และ 6 สัปดาห์หลังปลูกการใช้สาร metolachlor ก่อนวัชพืชงอก ในอัตรา 240 กรัม/ไร่ ทำให้ต้นกล้าข้าวฟ่างหวานงอกช้ากว่าปกติ และใบแรกมีลักษณะม้วนเป็นหลอดไม่แผ่กางออก แต่เมื่อใบจริงแทงโผล่ออกมาก็เจริญต่อไปได้ตามปกติถ้าไม่มีการกำจัดวัชพืชเลยในฤดูฝนข้าวฟ่างหวานจะให้ผลผลิตลดลง 55.82 เปอร์เซ็นต์

สำหรับโรคและแมลงศัตรูของข้าวฟ่างหวานที่พบคือ โรคทางใบแต่ก็ไม่ใช่ปัญหาร้ายแรงมากนักยกเว้นโรคราบนซ่อข้าวฟ่างหวานที่ทำให้เมล็ดสูญเสียคุณภาพ ถ้าต้องการผลิตเมล็ดพันธุ์ต้องจัดวันปลูกให้ข้าวฟ่างหวานสุกแก่ในช่วงที่ไม่มีฝนตก สำหรับแมลงศัตรูของ ข้าวฟ่างหวานที่มีความสำคัญได้แก่ หนอนแมลงวันเจาะยอดข้าวฟ่าง ซึ่งแมลงชนิดนี้จะเข้าทำลายข้าวฟ่างในระยะต้นกล้าทำให้ข้าวฟ่างเกิดอาการยอดแห้ง ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ป้องกันโดยใช้คาร์โบซัลแฟน ฉีดพ่นเมื่อข้าวฟ่างอายุ 7 และ 14 วันหลังงอก

พืชพลังงาน

พืชพลังงานหมายถึง พืชที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นพลังงานได้ไม่ว่าจะผลิตเป็นเอทานอล หรือ ไบโอดีเซล รวมทั้งพืชที่ให้ชีวมวลสูงซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง ด้วยพืชที่มีคุณสมบัติดังกล่าวมีความหลากหลายมากในประเทศไทย แต่ในกรณีของข้าวฟ่างหวานนั้นมีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

เอทานอล

พืชผลทางการเกษตรที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลนั้น อาจจะเป็นพืชที่ให้น้ำตาลโดยตรง เช่น อ้อย ข้าวฟ่างหวาน ชูการ์บีท และน้ำตาลที่ได้มาจากต้นมะพร้าวหรือต้นตาล รวมทั้งกากน้ำตาล (molasses) ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย การหมัก (fermentation) วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ดังกล่าว เพื่อให้ได้เอทานอลนั้นสามารถทำได้สะดวกโดย

ใช้ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) หรือถ้าเป็นพืชที่ให้แป้ง เช่น มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด มันฝรั่ง มันเทศ และพืชที่ให้แป้งทั่ว ๆ ไป จะต้องใช้เอนไซม์ maltase จากเชื้อราพวก Phycomycetes และ Ascomycetes เพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลก่อนนำไปผ่านกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอลต่อไป หรืออาจใช้กรดเกลือต้มกับแป้งให้เกิดปฏิกิริยา hydrolysis เพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลก็ได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้เอนไซม์ย่อย cellulose หรือ hemicellulose จากฟางข้าว กระดาษ ไม้เนื้ออ่อน และไม้เนื้อแข็งให้เป็นเอทานอลได้ แต่การใช้วัตถุดิบประเภทนี้มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าวัตถุดิบประเภทแป้งและน้ำตาล เอทานอลหรือแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้จะแบ่งเป็น 3 ชนิด (grade)

1. แอลกอฮอล์ที่รับประทาน (Edible alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นต่ำ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสุรา ยา เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับอาหาร
2. แอลกอฮอล์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรม (industrial alcohol หรือ technical alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต กรดน้ำส้ม (acetic acid) พลาสติกที่ย่อยสลายได้ (biodegradation plastic) สารผสมในน้ำมันเครื่องยนต์ชนิดต่าง ๆ (additives)
3. แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง (fuel alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการกลั่นหลายครั้งจนมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 99.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซิน

ข้าวฟ่างหวานกับการผลิตเอทานอล

เมื่อพิจารณาวัตถุดิบที่เป็นไปได้ในการผลิตเอทานอล พบว่ามีเพียง 3 ชนิดเท่านั้น คือ ข้าว มันสำปะหลัง และอ้อย เพราะมีจำนวนมากและเป็นพืชที่มีปัญหาในด้านการตลาดเสมอ แต่เมื่อพิจารณามูลค่าของเอทานอลที่จะผลิตได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิด ก็พบว่ามีเพียงมันสำปะหลังและกากน้ำตาลเท่านั้นที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ เพราะต้นทุนการผลิตเอทานอลจากข้าวราคาสูงเกินไป และการขายข้าวเป็นข้าวสารจะให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าการนำไปใช้ผลิตเป็นเอทานอล ส่วนในกรณีข้าวโพดนั้นจะเห็นว่าในปัจจุบันผลผลิตไม่พอใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ในประเทศและราคาวัตถุดิบมีต้นทุนสูงไม่คุ้มค่า ส่วนการนำอ้อยมาใช้ผลิตนั้นต้องขึ้นอยู่กับราคาน้ำตาลในตลาดโลก

จากการศึกษาของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นมาเป็นเวลา 10 ปี พบว่าข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเอทานอลเพราะน้ำคั้นในลำต้นมีความหวานใกล้เคียงกับอ้อย สามารถนำไปหีบเพื่อเอาน้ำคั้นมาหมักเป็นเอทานอล

ได้โดยตรง และยังมีข้อได้เปรียบคือ เป็นพืชอายุสั้นสามารถเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลา 100 – 120 วัน ในขณะที่อ้อยต้องใช้เวลา 1 ปีเต็ม ข้าวฟ่างหวานมีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5 – 6 ตัน สามารถปลูกได้อย่างน้อยปีละ 3 ครั้ง ในขณะที่อ้อยให้ผลผลิตทั้งปี 9 – 10 ตัน/ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับกันภายใน 1 ปี พบว่าข้าวฟ่างหวานให้ผลผลิตเอทานอลของโรงงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และข้าวฟ่างหวานก็เป็นพืชที่ทนแล้ง สามารถปลูกได้ทั่วไป จึงเป็นพืชใหม่ที่น่าสนใจสำหรับเกษตรกรในอนาคตอันใกล้ (ประสิทธิ์, 2548)

ข้าวฟ่างหวาน: พืชที่มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอล

ในด้านการใช้ประโยชน์เป็นพืชพลังงานนั้น Dajue (1997) รายงานว่า ข้าวฟ่างหวานสามารถผลิตเอทานอลได้สูงถึง 7.68 ลิตร/ไร่/วัน ในขณะที่ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวฟ่างเมล็ดสามารถผลิตได้เพียง 2.40, 0.48 และ 1.44 ลิตร/ไร่/วัน เท่านั้น ข้าวฟ่างหวานสามารถผลิตเอทานอลได้สูงถึง 977 ลิตร/ไร่/ปี ในขณะที่อ้อยผลิตได้เพียง 749 ลิตร/ไร่/ปี นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั้งในดินที่มีสภาพเป็นกรด (pH 5.0) ถึงสภาพเป็นด่าง (pH 8.5) ต้องการน้ำ 250-350 ลิตร ต่อการผลิตน้ำหนักแห้ง 1 กิโลกรัม ในขณะที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองต้องการน้ำสูงถึง 500-700 ลิตร ต่อการผลิตน้ำหนักแห้ง 1 กิโลกรัม

ข้าวฟ่างหวานมีบทบาทสำคัญในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตน้ำตาลในประเทศจีน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ต้องนำไปใช้ผลิตธัญพืชสำหรับเป็นอาหารมนุษย์ก่อน ทำให้ไม่มีพื้นที่พอที่จะขยายการผลิตอ้อยและซังการบีบ ในปีค.ศ.1991 ชาวจีนจึงมีอัตราการบริโภคน้ำตาลทรายต่ำมาก ประมาณ 5.6 กิโลกรัม/คน/ปี เท่านั้น แม้ในปัจจุบันชาวจีนก็ยังคงมีอัตราการบริโภคน้ำตาลเฉลี่ยเพียง 8-9 กิโลกรัม/คน/ปี ซึ่งนับว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับคนไทย และออสเตรเลียที่มีอัตราการบริโภคน้ำตาลประมาณ 30.5 และ 54 กิโลกรัม/คน/ปี ประเทศจีนสามารถผลิตน้ำตาลได้ประมาณ 5-8 ล้านตัน/ปี ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ ทำให้ยังต้องพึ่งการนำเข้าน้ำตาลและใช้สารเพิ่มความหวานในผลิตภัณฑ์อาหาร

Somani and Taylor (2003) รายงานผลการวิจัยในอินเดียและอัฟริกาใต้ไว้ว่า ข้าวฟ่างหวานทั่ว ๆ ไป ให้ผลผลิตเมล็ดประมาณ 160-320 กิโลกรัม/ไร่ ผลผลิตใบและยอดสดประมาณ 1.6-2.4 ตัน/ไร่ และน้ำหนักต้นประมาณ 6.4-8 ตัน/ไร่ ปริมาณน้ำคั้นประมาณ 40-45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ลูกหีบ 2 ชุด แต่ถ้าหีบด้วยลูกหีบที่ใช้กับอ้อยของโรงงานน้ำตาลอาจได้ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH ของน้ำคั้นจะอยู่ระหว่าง 4.5-5.2 ขึ้นอยู่กับปริมาณ aconitic acid ค่าความหวานเท่ากับ 14-21 %บrix และค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.05-1.08 น้ำคั้นจะประกอบด้วยแป้งประมาณ 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของปริมาณซูโครส : น้ำตาลรีดิคัล

เท่ากับ 10 : 1 ในข้าวฟ่างหวานพันธุ์ที่ใช้ทำน้ำตาล และเท่ากับ 3 : 1 ในข้าวฟ่างหวานที่ทำน้ำเชื่อม การผลิตน้ำตาลทรายจากข้าวฟ่างหวานจะยากกว่าผลิตจากอ้อย เพราะข้าวฟ่างหวานมี aconitic acid และแป้ง ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการจัดการชนิดนี้เพื่อให้ทำน้ำตาลทรายได้แต่ก็ไม่คุ้มทุน ควรใช้น้ำเชื่อมเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เช่น เครื่องดื่ม ขนม ไอศกรีม เป็นต้น จะคุ้มกว่า

น้ำคั้นจากข้าวฟ่างหวานที่นำไปหมักเป็นเอทานอล สามารถคำนวณผลผลิตของเอทานอลได้จากสูตร $(\text{brix}-3) \times \text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} \times 0.59$ (Somani and Taylor, 2003) ผลพลอยได้จากการคั้นน้ำหวานแล้วจะได้กากข้าวฟ่างหวาน (bagasse) ซึ่งสามารถนำไปผลิตไม้อัดได้โดยใช้กระบวนการผลิตที่พัฒนาโดย Carlsberg Research Laboratory ประเทศเดนมาร์ก นอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า หรือผลิตอาหารสัตว์ได้ โดยนำกากข้าวฟ่างหวานปริมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกากน้ำตาล 40 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดธัญพืชและถั่วบด 5 เปอร์เซ็นต์ และแร่ธาตุ 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำส่วนผสมนี้ไปอัดเป็นก้อนเพื่อสะดวกในการเก็บ นอกจากนี้ยังสามารถนำกากข้าวฟ่างหวานไปหมักกับยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้เช่นกัน

ข้าวฟ่างหวานเริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 25-35 วัน หลังดอกบานซึ่งเป็นช่วงที่เมล็ดเริ่มสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) และเป็นช่วงที่ลำต้นสะสมน้ำหนักแห้งสูงที่สุด ดังนั้นจึงใช้ประโยชน์ได้ทั้งเมล็ด และลำต้นในเวลาเดียวกัน ลำต้นที่จะตัดส่งโรงงานเพื่อเข้าหีบเอาน้ำคั้นจะต้องตัดข้อดอกออก และดึงใบทิ้งก่อน

ในประเทศบราซิลและสหรัฐอเมริกามีการปลูกข้าวฟ่างหวานเพื่อผลิตน้ำเชื่อมและใช้ต้นเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์มานาน (ประสิทธิ์, 2548) ส่วนในอินเดียมีการใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างหวานมากมาย และข้าวฟ่างก็เป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 รองจาก ข้าวและข้าวสาลี น้ำในลำต้นใช้ทำน้ำเชื่อมและน้ำตาล หรือหมักทำแอลกอฮอล์ ชานของต้นข้าวฟ่างหวานยังนำไปหมักทำเป็นอาหารสัตว์ เมล็ดนำไปทำเป็นแป้งที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์เรียกว่า จาปาตี (จุฬี, 2536)

ในยุโรปมีการศึกษาเกี่ยวกับข้าวฟ่างหวานในหลายประเทศพบว่าเป็นพืชที่ปรับตัวได้ดีในพื้นที่ทางยุโรป โดยให้ผลผลิตต้นสด 38-45 ตัน/เฮกเตอร์ ข้าวฟ่างหวานปรับตัวได้ดีในเขต ที่มีอากาศอบอุ่น แต่ไม่ทนต่อความหนาวเย็น ถ้าไม่มีการให้น้ำชลประทานลำต้นข้าวฟ่างจะมี ความสูงเพียง 2 เมตร แต่ถ้ามีการให้น้ำจะมีลำต้นสูงถึง 4 เมตร แสดงให้เห็นว่าข้าวฟ่างหวานตอบสนองต่อน้ำได้ดีมาก การทดสอบผลผลิตข้าวฟ่างหวานที่ประกอบด้วย พันธุ์ Keller,

Wray, Mn 1500, Cowley, Dale, Sofra, Theis และ Koral พบว่า Keller มีความสามารถในการปรับตัวได้กว้าง ให้ผลผลิตลำต้นและน้ำตาลสูง โดยเฉพาะการปลูกในประเทศกรีซ แต่ในอิตาลีตอนเหนือ พันธุ์ Wray ดีกว่า สำหรับในสเปนตอนใต้ พันธุ์ Dale และ Theis ให้ผลดี แสดงว่า พันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่เหมาะสมในแต่ละท้องถิ่นจะแตกต่างกันไป (Curt *et al.*, 1996) ส่วนปัญหาที่สำคัญ คือ การหักล้มทำให้สูญเสียผลผลิตไปมาก และการเก็บเกี่ยวก็ยากลำบากยิ่งขึ้น

Ratnavathi *et al.* (2003) ได้ทดสอบข้าวฟ่างหวานพันธุ์ SSV84 พบว่าให้ผลผลิตต้นสด 6.5 ตัน/ไร่ ค่าความหวาน 18.4 เปอร์เซ็นต์บrix ผลผลิตเมล็ด 220 กิโลกรัม/ไร่ น้ำคั้นจากข้าวฟ่างหวานพันธุ์นี้มีค่า pH เท่ากับ 5 น้ำตาลซูโครส 12-13 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลรีดิคัล 0.8-1.8 เปอร์เซ็นต์ และแป้ง 0.6-1.8 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการนำลำต้นข้าวฟ่างหวานมาคั้นน้ำจะได้ น้ำคั้นประมาณ 50-65 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการหีบ ข้าวฟ่างหวานที่ปลูกในเขตร้อนชื้นทั่ว ๆ ไป จะมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 95-125 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ซึ่งช่วงเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือ ช่วงเดียวกับเมล็ดเริ่มแก่ ทางสรีรวิทยา (ประมาณ 30-35 วัน หลังดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์)

จากการทดลองในข้าวฟ่างหวาน Ratnavathi *et al.* (2003) รายงานว่า ข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตต้นสดอยู่ระหว่าง 4.8-8.0 ตัน/ไร่ ผลผลิตเมล็ด 128-320 กิโลกรัม/ไร่ ค่าความหวานอยู่ระหว่าง 16-23 %บrix แต่จากการทดสอบในข้าวฟ่างหวาน 15 พันธุ์ ของ National Research Center for Sorghum ที่เมือง Hyderabad รัฐ Andhra Pradesh ประเทศอินเดีย พบว่า ข้าวฟ่างหวานทั้ง 15 พันธุ์ ให้ผลผลิตต้นสดอยู่ระหว่าง 4.5-7.8 ตัน/ไร่ ผลผลิตเมล็ด 240-466 กิโลกรัม/ไร่ ค่าความหวาน 14.2-17.7 %บrix ข้อดีของข้าวฟ่างหวานที่เหนือกว่าอ้อยคือเป็นพืชที่ทนแล้งและใช้น้ำน้อยกว่าอ้อย สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวได้ปีละอย่างน้อย 3 ครั้ง ในขณะที่อ้อย เก็บเกี่ยวได้เพียงครั้งเดียว ต้นทุนการผลิตของข้าวฟ่างหวานก็ต่ำกว่าอ้อยมาก

ได้มีการทดลองในข้าวฟ่างหวาน 5 พันธุ์คือ Keller, SSV84, BJ248, Wray และ NSSH104 เพื่อประเมินน้ำตาลทั้งหมด แอลกอฮอล์ และประสิทธิภาพในการหมัก พบว่า ข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์ให้ปริมาณน้ำคั้นและปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน ปริมาณน้ำคั้นต่อ 5 ตัน มีความแปรปรวนอยู่ระหว่าง 1,080 มิลลิลิตร (พันธุ์ Wray) ถึง 1,790 มิลลิลิตร (ในพันธุ์ SSV84) ปริมาณน้ำตาลอยู่ระหว่าง 746-1176 กิโลกรัม/ไร่ ในจำนวนนี้พันธุ์ SSV84 ให้ปริมาณน้ำคั้นสูงที่สุด (5,500 ลิตร/ไร่) พันธุ์ Keller ให้ค่าความหวานสูงที่สุด ซึ่งจะให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุด

ด้วย เมื่อนำไปผ่านกระบวนการหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าอยู่ระหว่าง 1.10-2.80 เปอร์เซนต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) (Ratnavathi *et al.*, 2003)

Schaffert and Gourley (1982) ได้เปรียบเทียบองค์ประกอบด้านต่าง ๆ ระหว่าง ข้าวฟ่างหวานกับอ้อย พบว่าปริมาณน้ำคั้นและค่าความหวานต่ำกว่าอ้อยไม่มากนัก ยกเว้นน้ำคั้น จากข้าวฟ่างหวานจะมีปริมาณน้ำตาลที่ไม่แตกผลึก (invert sugars) สูงกว่าในน้ำอ้อยซึ่งเป็นสาเหตุ ให้ การแตกผลึกน้ำตาลจากข้าวฟ่างหวานทำได้ยากกว่าน้ำตาลจากอ้อย

Mandke and Kapoor (2003) แสดงให้เห็นว่าข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่มีศักยภาพ ในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลได้ดีกว่าอ้อย เพราะสามารถปลูกได้ปีละหลายครั้ง ในขณะที่ อ้อยมีอายุเก็บเกี่ยวนาน 1 ปีเต็ม

ถวิล และคณะ (2538) ได้ทำการทดสอบผลผลิตข้าวฟ่าง 2 ชุด คือ การทดสอบ พันธุ์ข้าวฟ่างลูกผสมจากบริษัทเอกชน และการทดสอบผลผลิตข้าวฟ่างจากต่างประเทศร่วมกับ ICRISAT ประเทศอินเดีย คือ International Sorghum Variety and Hybrid Adaptation Trial 1995 (ISVHAT-95) ผลการทดสอบปรากฏว่าในชุดที่ 1 ข้าวฟ่างลูกผสมพันธุ์ KU.Hi9501 ให้ ผลผลิตสูงที่สุดคือ 7.02 ตัน/เฮกเตอร์ รองลงมาคือพันธุ์ Pac. 88002 และ KU.Hi 9502 ซึ่งให้ผล ผลิต 6.95 และ 6.49 ตัน/เฮกเตอร์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามข้าวฟ่างลูกผสมที่นำมาปลูกทดสอบ ทั้งหมดให้ผลผลิตสูงเป็นพันธุ์เบา ต้นเตี้ย ต้านทานต่อโรคทางใบและการหักล้มได้ดี ส่วนในชุดที่ 2 พบว่า ข้าวฟ่างลูกผสมพันธุ์ ICSH 93107, ICSH 92036 และ ICSH 93072 จาก ICRISAT ให้ ผลผลิตสูงที่สุดคือ 10.07, 9.45 และ 9.35 ตัน/เฮกเตอร์ตามลำดับ แต่ข้าวฟ่างทั้ง 3 พันธุ์นี้เป็นข้าว ฟ่างพันธุ์หนัก ต้นสูง และเมล็ดเป็นสีชาครีมน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกรไทยที่ต้องการพันธุ์เบา ต้นเตี้ย และเมล็ด สีแดงเข้ม หรือสีขาว

ถวิล และคณะ (2542) ได้ทำการคัดเลือกพันธุ์แบบจุดประวัติ (pedigree selection) ได้ข้าวฟ่าง KU.series 900 ที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 9 พันธุ์ คือ KU.901, KU.902, KU.908, KU.910, KU.913, KU.915, KU.916, KU.920, และ KU.927 นำมาปลูกทดสอบ เปรียบเทียบกับ ข้าวฟ่างพันธุ์ KU.630 ซึ่งเป็นพันธุ์ส่งเสริมของโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่าง โดย ปลูกทดสอบ ในต้นฤดูฝน (เมษายน-กรกฎาคม 2541) พบว่าข้าวฟ่างพันธุ์แท้ KU.series 900 มี ความแข็งแรง ของต้นกล้าดี ได้คะแนนเฉลี่ย 1.78 คะแนน อายุวันออกดอก 64-73 วัน หรือมีอายุ วันออกดอก เฉลี่ย 69.89 วัน มีความสูงต้นเฉลี่ย 169.11 เซนติเมตร จำนวนใบต่อต้น 14-17 ใบ มี ความยาวข้อตั้งแต่ 26-35 เซนติเมตร ก้านข้อมีความยาวเฉลี่ย 6.11 เซนติเมตร โดยมีความยาว

ก้านช่ออยู่ระหว่าง 2-15 เซนติเมตร ต้านทานต่อโรคทางใบได้ดีปานกลาง ได้คะแนนการเกิดโรคเฉลี่ย 3.78 คะแนน ให้ผลผลิตตั้งแต่ 4.43-8.30 ตัน/เฮกเตอร์

กรีก และคณะ (2529) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดปรัซซิคในน้ำคั้นของข้าวฟ่างหวานโดยวิธีไตเตรทวิเคราะห์หาปริมาณกรดปรัซซิคหรือไฮโดรไซยานิคในน้ำคั้นของ ข้าวฟ่างหวาน 5 พันธุ์ พบว่าข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Rio, Roma และ Ramada มีปริมาณกรดปรัซซิคเท่ากับ 13.50, 6.07 และ 5.13 ppm ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ Keller และ Wray นั้นตรวจไม่พบ แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์กรดปรัซซิคในน้ำคั้นที่ได้จากส่วนต่างๆ ของต้นข้าวฟ่างหวาน พันธุ์ Rio ปรากฏว่า ส่วนปลายของลำต้นมีปริมาณกรดปรัซซิคมาก รองลงมาได้แก่ส่วนกลางของลำต้นและส่วนโคนมีน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อข้าวฟ่างหวานมีอายุมากขึ้นกลับมีปริมาณกรดปรัซซิคลดลง

นพพร (2528) นำข้าวฟ่างหวาน 5 พันธุ์ ได้แก่ Ramada, Rio, Roma, Keller และ Wray มาทำการทดสอบหาระยะปลูกที่เหมาะสม พบว่าการใช้ระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุม 40 เซนติเมตร ปลูก 6 ต้นต่อหลุม มีแนวโน้มจะให้ผลผลิตน้ำตาลต่อพื้นที่ สูงที่สุด และได้ทำการทดลองสมทบอีกเรื่องหนึ่งจนทราบว่า การปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่างหวานให้มีเมล็ดและช่อเมล็ดขนาดใหญ่อาจทำให้ปริมาณน้ำตาลในลำต้นลดลงได้

การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างหวานในประเทศ

ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชชนิดเดียวกับข้าวฟ่างเมล็ดมีลักษณะของราก ใบ ต้น ดอกเหมือนข้าวฟ่างเมล็ด แต่แตกต่างกันตรงที่มีปริมาณน้ำและน้ำตาลในลำต้นสูงกว่าข้าวฟ่างเมล็ด ให้ผลผลิตเมล็ด 100- 150 kg/mu (1 ha = 15 mu) (จุฬี และ ลาวัณย์, 2532) ให้ผลผลิตต้นประมาณ 3,000 – 5,000 kg/mu (Dajue,1997) ปริมาณน้ำตาลและน้ำคั้นในข้าวฟ่างหวานจะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ค่าความหวานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15 - 23 เปอร์เซนต์ ชนิดของน้ำตาลในข้าวฟ่างหวานเป็นน้ำตาล sucrose และ syrup sucrose ใช้ผลผลิตเป็น refining crystal sugar syrup เป็นวัตถุดิบในการทำเครื่องดื่มเช่น ไวน์ และแอลกอฮอล์

ข้าวฟ่างเริ่มปลูกในประเทศไทยเมื่อประมาณ 40 ปีมาแล้ว โดยการนำข้าวฟ่างพันธุ์เฮกการี่ต้นเตี้ยจากสหรัฐอเมริกาเข้ามาปลูกครั้งแรกที่สถานีบำรุงสัตว์ทับกวาง จังหวัดสระบุรี มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อใช้ต้นเลี้ยงสัตว์ เมื่อปลูกแล้วปรากฏว่าให้ผลผลิตเมล็ดดี จึงใช้เมล็ดในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ระหว่างปี พ.ศ. 2494 ถึง พ.ศ. 2506 ได้มีการนำข้าวฟ่างพันธุ์ต่างๆ ที่มีสีของเมล็ดต่างกันเข้ามาทดสอบ ได้แก่ เฮกการี่ซึ่งมีเมล็ดสีขาวหรือเทา ข้าวฟ่างเมล็ดสีเหลือง เช่น เยลโล่ คาร์โซ และข้าวฟ่างเมล็ดสีแดง มาทดลองปลูกเปรียบเทียบหาพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดี

และศึกษาช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสมกับสภาพของประเทศไทย การทดลองส่วนใหญ่ทำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามสถานีทดลองของ กรมกสิกรรม (กรมวิชาการเกษตรในปัจจุบัน) ปรากฏว่าพันธุ์เฮกการีให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ และเมื่อมีตลาดต่างประเทศให้ความสนใจนำเข้าเมล็ดข้าวฟ่างจากประเทศไทย การแนะนำส่งเสริมให้ปลูกข้าวฟ่าง เพื่อผลิตเมล็ดขายจึงเริ่มต้น (ประสิทธิ์, 2548)

อัตราการเจริญเติบโต และการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชปลูก

อัตราการเจริญเติบโต (Growth) (เฉลิมพล, 2535)

การเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพ หรือน้ำหนักแห้ง (ΔW) หรือการเปลี่ยนแปลงของขนาด จำนวน ฯลฯ ของพืช 1 ต้น (plant) หรือ ในพื้นที่หนึ่ง (m^2) ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ($t_2 - t_1$)

$$\text{Growth} = (W_2 - W_1) \text{ หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ } \Delta W$$

ใน ค.ศ. 1919 Blackman ก็ได้นำเอาวิธีการทางคณิตศาสตร์เสนอแนวคิดในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช โดยเสนอว่าน้ำหนักแห้งของพืชขณะใดขณะหนึ่งจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือขนาดเริ่มต้น อัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้ง และระยะเวลา ดังสมการ

$$W = W_0 e^{rt}$$

การเจริญเติบโตของพืชหรือสิ่งมีชีวิตตลอดช่วงอายุพืชตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงสุกแก่ มักมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัว S หรือเรียกว่า Sigmoid curve (Balls and Glaszion, 1975)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างหวาน 9 พันธุ์ได้แก่

1.1 KELLER	1.4 BS 281	1.7 PAYAO
1.2 RIO	1.5 SPB-1	1.8 WRAY
1.3 COWLEY	1.6 KCU 40	1.9 DALE
2. ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่
3. ปูนขาว อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่
4. สารกำจัดแมลง (ฟูราดาน 3% จี)
5. เครื่องวัดค่าความหวาน (hand refractometer)
6. เครื่องหีบน้ำข้าวฟ่างหวาน
7. มีดตัดลำต้นข้าวฟ่างหวาน
8. กรรไกรตัดกิ่ง
9. เครื่องชั่งน้ำหนัก ถังหมัก
10. เครื่องปั่นเหวี่ยง เครื่องกลั่นเอทานอล
11. เครื่องอบเมล็ดพันธุ์
12. อุปกรณ์ในการบันทึกและเก็บข้อมูลเช่น ตลับเมตร เวอร์เนีย กระดาษ ปากกา และถุงตาข่ายคลุมช่อ

วิธีการทดลอง

การศึกษากการสะสมปริมาณน้ำตาลในข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวฟ่างหวาน เริ่มดำเนินการทดลองตั้งแต่ เดือน กรกฎาคม 2551 ถึงเดือน กรกฎาคม 2553 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 9 สิ่งทดลอง (9 Treatment) 4 ซ้ำ (4 replication) รวม 36 หน่วยทดลอง โดยมีพันธุ์ข้าวฟ่างหวานทั้งสิ้น 9 พันธุ์ คือ KCU 40, COWLEY, RIO, SPB-1, KELLER, BS 281, WRAY, DALE, และพันธุ์ PAYAO

การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมแปลงโดยการทำการไถตะ 1 ครั้ง ไถแปร 1 ครั้ง และไถพรวน 1 ครั้ง ใส่ปุ๋ยขี้วัวอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนทำการไถพรวนเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดต่างของดิน ปลูกข้าวฟ่างโดยใช้ระยะปลูก 50×10 ซม. หยอดหลุมละ 5 เมล็ด และให้น้ำหลังวันปลูก 1 วัน ถอนแยกข้าวฟ่างให้เหลือหลุมละ 1 ต้น เมื่ออายุได้ 7 วัน พร้อมกับใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการกำจัดวัชพืชเมื่ออายุได้ 15 วัน พร้อมใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่อีกครั้งเมื่อข้าวฟ่างหวานอายุได้ 1 เดือน ในอัตราเดียวกัน ในช่วงเดือนแรกจะให้น้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ยกเว้นในช่วงที่มีฝนตก และหลังจากข้าวฟ่างมีอายุได้ 1 เดือน จะให้น้ำตามสมควรจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ไม่มีการใช้สารป้องกันกำจัดโรคแต่มีการใช้ฟูราดาน 3% จะให้อัตรา 3 กิโลกรัมต่อไร่ โรยตามแถวปลูกเพื่อป้องกันหนอนแมลงวันเจาะยอดข้าวฟ่างในช่วงเดือนแรก

การบันทึกข้อมูล

- 1 วันปลูก (planting date)
- 2 วันงอก (นับจากวันปลูก) (germination date)
- 3 วันถอนแยก (นับจากวันงอก) (thinning date)
- 4 วันออกดอก (tasseling date)
- 5 ระยะการเจริญเติบโต
- 6 ความสูงต้น (plant height, cm) หลังปลูก 75, 90, 105 และ 120 วัน
- 7 จำนวนใบต่อต้นข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน หลังปลูก
- 8 ขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน หลังปลูก
- 9 น้ำหนักสดลำต้นของต้นข้าวฟ่างหวาน (กรัม) ที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน หลังปลูก
- 10 น้ำหนักต้นแห้งหลังจากเข้าเครื่องอบแห้งของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน หลังปลูก
- 11 ปริมาณน้ำหวานที่คั้นจากลำต้นและผลผลิตเอทานอลของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน หลังปลูก
- 12 ค่าความหวาน(% brix) ของน้ำหวานจากลำต้น โดยเครื่องมือวัด hand refractometer เมื่อข้าวฟ่างหวานมีอายุ 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

ฟาร์มทดลองพืชไร่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย
จังหวัดเชียงใหม่

ระยะเวลาดำเนินการทดลอง

เวลา เริ่มดำเนินการ เดือน ตุลาคม 2551

สิ้นสุด เดือน กรกฎาคม 2553



ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันหลังปลูก

จากการศึกษาจำนวนวันที่ใช้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์ พบว่าข้าวฟ่างหวานทุกพันธุ์ ใช้เวลาในการงอก 4 วันหลังปลูก ในระยะที่ 1 เป็นระยะที่มีใบจริงจำนวน 3 ใบ พบข้าวฟ่างหวานทุกพันธุ์ใช้เวลา 10 วัน ระยะที่ 2 มีใบจริงจำนวน 5 ใบ ใช้ระยะเวลา 20 วัน ระยะที่ 3 ใบจริงจำนวน 7-10 ใบ ข้าวฟ่างหวานทุกพันธุ์ใช้ระยะเวลา 40 วัน ระยะที่ 4 เมื่อเปิดปลายยอดดอกจะเริ่มเห็นใบธง ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 50 วัน ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 60 วัน ระยะที่ 5 ก้านช่อดอกเริ่มยืดตัวแต่ช่อดอกยังอยู่ในกาบของใบธง พบว่าข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 60 วัน ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 70 วัน ระยะที่ 6 ช่อดอกเริ่มบานจากปลายช่อดอกมายังโคน ช่อดอกข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 70 วัน ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 80 วัน ระยะที่ 7 เป็นระยะที่เมล็ดเริ่มสะสมแป้งในระยะนี้ม ใบล่างเริ่มแห้งตาย พบว่า ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 80 วัน ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 90 วัน ระยะที่ 8 เมล็ดเริ่มสะสมน้ำหนักแห้ง แป้งแข็งขึ้น ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 95 วัน ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 105 วัน และระยะสุดท้ายระยะที่ 9 เป็นระยะที่ เมล็ดสุกแก่มีความชื้นประมาณ 25-35 % พบว่า ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 105-110 วัน ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 120 วัน (ตาราง 1,2 และภาพ 1)

ตาราง 1 อธิบาย growth stage ของข้าวฟ่างหวาน

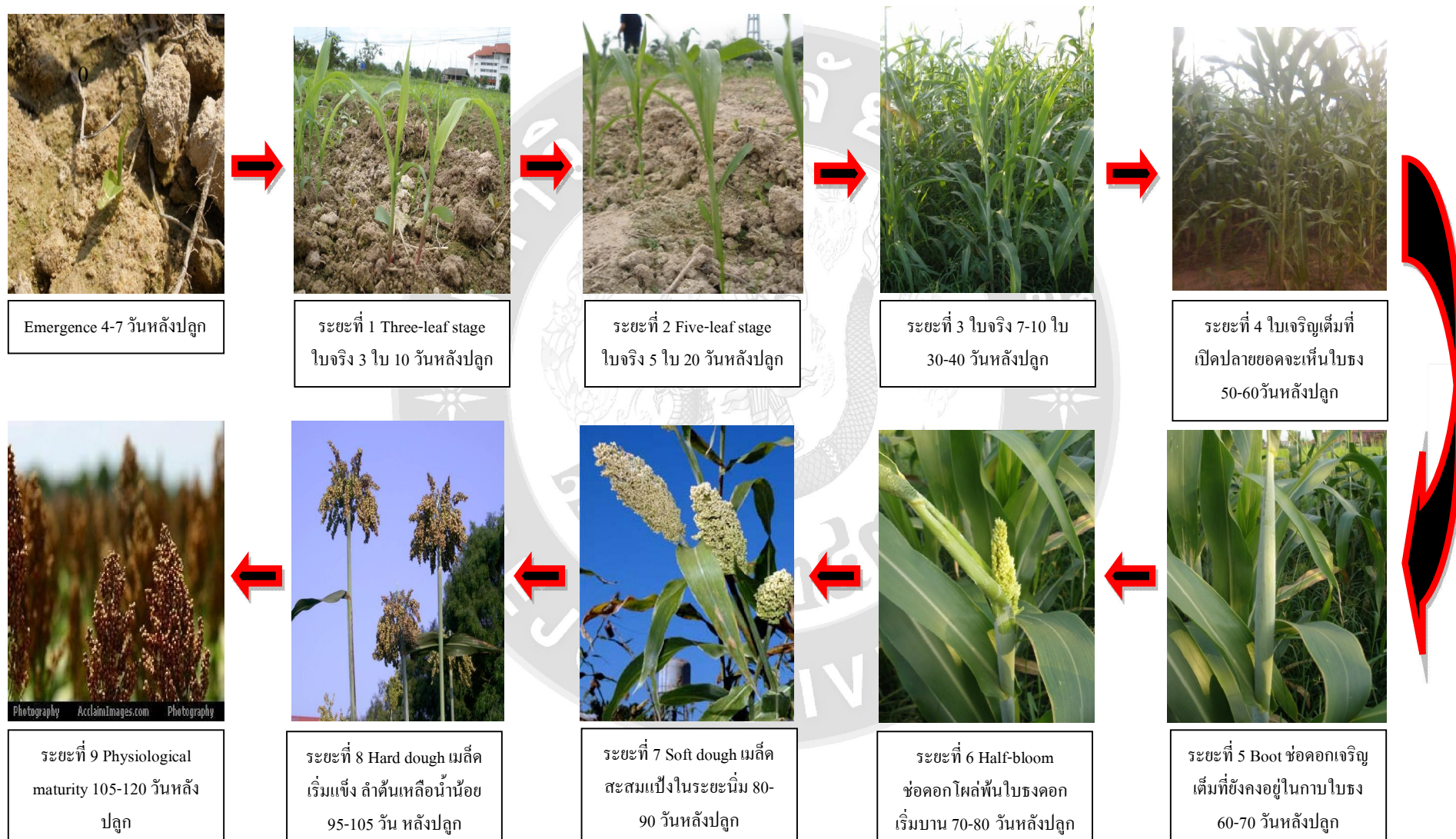
stage	Days after emergence	Growth stage	Description
0	4	Emergence	ระยะเวลา 3-4 วันหลังปลูก
1	10	Three-leaf stage	ใบจริงจำนวน 3 ใบพัฒนาและเห็น collar ชัดเจน จุดเจริญ (growing point) ยังคงอยู่ใต้ดิน
2	20	Five-leaf stage	ใบจริงจำนวน 5 ใบ ระบบรากพัฒนาอย่างรวดเร็ว
3	30-40	Seven-leaf stage	ใบจริงจำนวน 7-10 ใบ ตายอดเริ่มเปลี่ยนเป็น ตาดอก (initiation) ลำต้นและกอเจริญอย่างรวดเร็ว
4	50-60	Flag-leaf stage	เปิดปลายยอด (whorl) ออกจะเห็นใบธง (flag leaf) ใบกว่า 80% ได้พัฒนาเต็มที่แล้ว การนับใบควรนับ จากยอดลงมา โดยให้ใบธงเป็นใบแรก เนื่องจากจะ พบว่าใบข้าวฟ่างที่อยู่ด้านล่างแห้งตายไปก่อนแล้ว
5	60-70	Boot	ใบพัฒนาเต็มที่ทุกใบ ช่อดอกเจริญเกือบเต็มที่แต่ ยังคงอยู่ในกาบของใบธง เมื่อลำต้นยืดตัวเต็มที่ ช่อดอกจะเริ่มบาน
6	70-80	Half-bloom	ก้านช่อดอก (peduncle) เติบโตเต็มที่และช่อดอก โผล่พ้นกาบใบธง และดอกเริ่มบานจากปลายช่อ ลงมายังโคนช่อดอก
7	80-90	Soft dough	เมล็ดสะสมแป้งในระยะนี้ (dough) ใบล่างแห้ง ตาย เหลือใบเพียง 8-10 ใบ
8	95-105	Hard dough	เมล็ดสะสมน้ำหนักร้อยละประมาณ 75% แป้งเริ่ม แข็งขึ้น ลำต้นและกอเหลือน้ำหนักร้อยละน้อยที่สุด
9	110-120	Physiological maturity	เมล็ดสุกแก่ โดยมีความชื้นประมาณ 25-35%

อ้างอิง : Jones, J. B. Jr.2003. Agronomic Handbook : Management of crops, soil, and
Their fertility. New York , CRC Press.

ตาราง 2 แสดงจำนวนวันที่ใช้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวฟางหวานพันธุ์ต่างกัน

พันธุ์	ระยะการเจริญเติบโตของข้าวฟางหวาน									
	0 Emergence	1 Three- leaf stage	2 Five- leaf stage	3 Seven- leaf stage	4 Flag- leaf stage	5 Boot stage	6 Half- bloom stage	7 Soft dough stage	8 Hard dough stage	9 Physiological maturity
KKU 40	4	10	20	40	50	60	70	80	95	105
WRAY	4	10	20	40	50	60	70	80	95	105
SPB-1	4	10	20	40	60	70	80	90	105	120
DALE	4	10	20	40	60	70	80	90	105	120
PAYAO	4	10	20	40	60	70	80	90	105	120
COWLEY	4	10	20	40	50	60	70	80	90	105
BS 281	4	10	20	40	50	60	70	80	95	105
RIO	4	10	20	40	50	60	70	80	95	105
KELLER	4	10	20	40	50	60	70	80	95	105

ภาพ 1 แสดงระยะการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวาน



ผลการศึกษาความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พันธุ์ที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 264.25 เซนติเมตร รองลงมาคือ KKU 40, Rio, Dale, Keller, Payao, BS 281, Cowley และ SPB-1 ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 260.75, 258.50, 243.50, 225.75, 197.50, 193.25, 191.50 และ 142.50 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 90 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พันธุ์ที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 279.75 เซนติเมตร รองลงมาคือ KKU 40, Dale, Keller, Rio, Payao, BS 281, Cowley และ SPB-1 ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 261.25, 259.50, 254.00, 250.00, 233.75, 227.00, 195.50 และ 143.00 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 105 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พันธุ์ที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 278.00 เซนติเมตร รองลงมาคือ KKU 40, Payao, Keller, Dale, Rio, Cowley, BS 281 และ SPB-1 ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 261.25, 250.00, 244.25, 234.25, 230.00, 197.75, 197.50 และ 129.50 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของต้นข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พันธุ์ที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 275.25 เซนติเมตร รองลงมาคือ KKU 40, Payao, Keller, Rio, Dale, BS 281, Cowley และ SPB-1 ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 261.25, 246.75, 244.50, 228.75, 227.75, 197.00, 196.75 และ 142.50 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของลำต้นของข้าวฟ่างหวานที่ทำการวัดสูงขึ้นมาจากพื้น 1 เมตร ทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พันธุ์ที่มีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุดคือพันธุ์ KCU 40 ซึ่งมี ขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.38 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์ Wray, Payao, Rio, Dale, Keller R, Cowley, BS 281 และ SPB-1 ซึ่งมีขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.30, 2.13, 2.10, 1.95, 1.71, 1.70, 1.62 และ 1.62 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 90 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของลำต้นของข้าวฟ่างหวานที่ทำการวัดสูงขึ้นมาจากพื้น 1 เมตร ทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พันธุ์ที่มีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุดคือพันธุ์ Keller ซึ่งมี ขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.25 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์ Wray, Payao, Dale, Cowley, Rio, KCU 40, BS 281 และ SPB-1 ซึ่งมีขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.10, 2.10, 2.10, 2.03, 2.00, 2.00, 1.95 และ 1.50 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 105 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของลำต้นของข้าวฟ่างหวานที่ทำการวัดสูงขึ้นมาจากพื้น 1 เมตร ทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พบพันธุ์ที่มีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุดคือ พันธุ์ KCU 40 ซึ่งมีขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.68 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์ Payao, Dale, Wray, Cowley, Keller, BS 281, Rio และ SPB-1 ซึ่งมีขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.40, 2.30, 2.28, 2.10, 2.00, 1.96, 1.95 และ 1.53 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของลำต้นของข้าวฟ่างหวานที่ทำการวัดสูงขึ้นมาจากพื้น 1 เมตร ทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 3) พันธุ์ที่มีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุดคือพันธุ์ KCU 40 ซึ่งมีขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.38 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์ Payao, Wray, Dale, Cowley, Keller, Rio, BS 281 และ SPB-1 ซึ่งมีขนาดลำต้นเฉลี่ย 2.28, 2.28, 2.23, 2.10, 2.00, 1.95, 1.93 และ 1.68 เซนติเมตรตามลำดับ

ผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 75 วัน หลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า จำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีจำนวนใบมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 12.25 ใบ รองลงมาคือพันธุ์ Keller, KKU 40, Rio, BS 281, Cowley, Dale, SPB-1 และพันธุ์ Payao ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 10.50, 10.50, 10.13, 9.75, 9.50, 9.50, 9.25 และ 6.25 ใบ ตามลำดับ

ผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 90 วัน หลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า จำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีจำนวนใบมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 11.25 ใบ รองลงมาคือพันธุ์ KKU 40, Payao, BS 281, Keller, Dale, Rio, Cowley, และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 9.50, 9.50, 9.50, 9.25, 8.50, 8.25, 6.75, และ 4.25 ใบ ตามลำดับ

ผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 105 วัน หลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า จำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีจำนวนใบมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 11.25 ใบ รองลงมาคือพันธุ์ Payao, Rio, Keller, BS 281, Cowley, Dale, KKU 40, และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 9.75, 9.50, 9.25, 7.25, 7.00, 6.50, 6.50 และ 5.75 ใบตามลำดับ

ผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุ 120 วัน หลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า จำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบต่อต้นมากที่สุดคือพันธุ์ Wray ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 11.00 ใบ รองลงมาคือพันธุ์ Payao, Rio, Keller, BS 281, Dale, Cowley, SPB-1 และพันธุ์ KKU 40 ซึ่งมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 9.25, 8.75, 8.50, 7.00, 6.75, 6.50, 6.25 และ 6.00 ใบ ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นสดต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นสดต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักต้นสดของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยสูงที่สุดคือพันธุ์ KKU 40 มีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 775.31 กรัม รองลงมาคือพันธุ์ Wray, Rio, Payao, BS 281, Dale, Keller, Cowley, และ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 682.19, 675.19, 625.13, 537.19, 530.13, 450.13, 390.25 และ 212.13 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นสดต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 90 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักต้นสดของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยสูงที่สุดคือพันธุ์ Wray มีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 750.50 กรัม รองลงมาคือพันธุ์ Keller, BS 281, Dale, Payao, Rio, KKU 40, Cowley และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 702.50, 597.38, 567.38, 565.56, 527.63, 507.13, 485.44 และ 250.34 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นสดต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 105 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักต้นสดของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยสูงที่สุดคือพันธุ์ KKU 40 มีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 885.44 กรัม รองลงมาคือพันธุ์ Wray, Dale, Payao, Keller, Rio, BS 281, Cowley และ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 682.50, 625.25, 615.38, 532.38, 457.44, 385.19, 335.44 และ 200.38 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นสดต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักต้นสดของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 4) พันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยสูงที่สุดคือ พันธุ์ KKU 40 มีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 737.38 กรัม รองลงมาคือพันธุ์ Payao, Wray, Dale, Keller, Rio, BS 281, Cowley และ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นสดต่อต้านเฉลี่ย 705.25, 700.25, 650.38, 532.38, 455.38, 385.25, 337.48 และ 252.38 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตน้ำหนักต้นแห้งข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นแห้งมากที่สุดคือพันธุ์ Rio มีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ย 125.25 กรัม รองลงมาคือ พันธุ์ Wray, KKU 40, Dale, Keller, Payao, Cowley, BS 281, และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านเฉลี่ย 125.13, 120.19, 110.13, 100.13, 82.44, 77.13, 75.19 และ 50.13 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 90 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตน้ำหนักต้นแห้งข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นแห้งมากที่สุดคือพันธุ์ Wray มีน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านเฉลี่ย 207.50 กรัม รองลงมาคือพันธุ์ Keller, Rio, BS 281, Dale, Cowley, KKU 40, Payao, และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ย 172.50, 150.38, 130.56, 125.50, 100.64, 100.25, 80.38 และ 67.38 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 105 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตน้ำหนักต้นแห้งข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นแห้งมากที่สุดคือพันธุ์ KKU 40 มีน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านเฉลี่ย 180.38 กรัม รองลงมาคือพันธุ์ Wray, Rio, Keller, Dale, BS 281, Payao, Cowley และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านเฉลี่ย 177.63, 132.50, 125.38, 125.38, 110.50, 110.25, 100.38, และ 50.44 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตน้ำหนักต้นแห้งข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พบว่าพันธุ์ที่มีน้ำหนักต้นแห้งมากที่สุดคือพันธุ์ Wray มีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ย 177.25 กรัม รองลงมาคือพันธุ์ KKU 40, Rio, Dale, Payao, Keller, BS 281, Cowley และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีน้ำหนักต้นแห้งต่อต้านเฉลี่ย 160.38, 131.44, 127.38, 127.38, 125.38, 110.38, 100.44 และ 75.25 กรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าความหวานของน้ำหวานจากลำต้น (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาค่าความหวานของน้ำหวานจากลำต้น (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พันธุ์ที่มีความหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ Cowley มีความหวานเฉลี่ย 13.08 %brix รองลงมาคือ พันธุ์ Keller, SPB-1, Dale, BS 281, Rio, KKU 40, Wray และพันธุ์ Payao ซึ่งมีความหวานเฉลี่ย 12.95, 12.00, 12.00, 11.05, 10.55, 10.50, 10.50 และ 8.25 %brix ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าความหวานของน้ำหวานจากลำต้น (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 90 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พันธุ์ที่มีความหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ Keller มีความหวานเฉลี่ย 16.25 %brix รองลงมาคือพันธุ์ Wray, Rio, BS 281, SPB-1, Cowley, Dale, KKU 40 และพันธุ์ Payao ซึ่งมีความหวานเฉลี่ย 16.20, 15.08, 15.08, 14.25, 12.15, 11.05, 7.00 และ 6.10 %brix ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าความหวานของน้ำหวานจากลำต้น (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 105 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พันธุ์ที่มีความหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ BS 281 มีความหวานเฉลี่ย 17.40 %brix รองลงมาคือพันธุ์ Wray, KKU 40, Keller, Rio, Payao, SPB-1, Cowley, และพันธุ์ Dale ซึ่งมีความหวานเฉลี่ย 16.00, 15.00, 14.10, 13.00, 12.15, 12.00, 10.00 และ 10.00 %brix ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าความหวานของน้ำหวานจากลำต้น (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 5) พบว่าพันธุ์ที่มีความหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ BS 281 มีความหวานเฉลี่ย 17.33 %brix รองลงมาคือพันธุ์ Rio, Keller, Cowley, KKU 40, Payao, Wray, Dale, และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีความหวานเฉลี่ย 15.25, 15.20, 15.00, 14.30, 14.00, 13.18, 12.00 และ 12.00 %brix ตามลำดับ

ผลการศึกษาปริมาณน้ำหวานต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาปริมาณน้ำหวานต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 6) พันธุ์ที่มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือ พันธุ์ Wray มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้าน 195.37 มิลลิลิตร รองลงมาคือพันธุ์ KKU 40, Payao, Rio, Dale, Keller, BS 281, Cowley และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้าน 192.25, 182.50, 175.07, 150.19, 90.19, 85.00, 62.75 และ 45.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ผลการศึกษาปริมาณน้ำหวานต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 90 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 6) พันธุ์ที่มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือ พันธุ์ Wray มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้าน 205.50 มิลลิลิตร รองลงมาคือพันธุ์ Payao, Keller, Dale, BS 281, Cowley, KKU 40, Rio และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้าน 185.50, 170.50, 160.44, 131.44, 127.50, 105.38, 90.50 และ 32.50 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ผลการศึกษาปริมาณน้ำหวานต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 105 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 6) พันธุ์ที่มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือ พันธุ์ KKU 40 มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้าน 277.44 มิลลิลิตร รองลงมาคือพันธุ์ Payao, Wray, Dale, Keller, Rio, BS 281, Cowley และพันธุ์ SPB-1 ซึ่งมีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้าน 181.13, 177.50, 140.31, 133.75, 93.69, 80.50, 30.44 และ 30.44 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ผลการศึกษาปริมาณน้ำหวานต่อต้านของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 120 วันหลังปลูก

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตาราง 6,) พบว่าพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยมากที่สุดคือพันธุ์ Payao มีปริมาณน้ำหวาน เฉลี่ยต่อต้าน 217.38 มิลลิลิตร รองลงมาคือพันธุ์ KKU 40, Wray, Dale, Keller, Rio, BS 281, SPB-1 และพันธุ์ Cowley ซึ่งมีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้าน 205.44, 186.50, 147.31, 131.44, 90.19, 80.13, 50.31 และ 29.44 มิลลิลิตร

ผลการผลิตเอทานอลต่อไร่ (ลิตร) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

ผลการผลิตเอทานอลต่อไร่(ลิตร)ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75 วันหลังปลูก

ผลการผลิตเอทานอลจากน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานต่างพันธุ์ มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 7 พบว่าเมื่ออายุเก็บเกี่ยว 75 วัน พันธุ์ Wray ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดคือ 310.5 ลิตรต่อไร่ รองลงไปได้แก่พันธุ์ KCU40, PAYAO, RIO, DALE, KELLER, BS281, COWLEY และ SPB-1 ซึ่งผลิตเอทานอลได้ 301.4, 275.6, 270.5, 231.2, 140.5, 126.6, 97.8 และ 70.5 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ

ผลการผลิตเอทานอลต่อไร่(ลิตร)ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 90 วันหลังปลูก

ผลการผลิตเอทานอลจากน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานต่างพันธุ์ มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 7 พบว่าเมื่ออายุเก็บเกี่ยว 90 วัน พันธุ์ Wray ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดคือ 320.7 ลิตรต่อไร่ รองลงไปได้แก่พันธุ์ PAYAO, KELLER, DALE, BS281, COWLEY, KCU40, RIO และ SPB-1 ซึ่งผลิตเอทานอลได้ 276.1, 267.3, 235.6, 201.5, 198.2, 160.1, 141.5 และ 50.4 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ

ผลการผลิตเอทานอลต่อไร่(ลิตร)ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 105 วันหลังปลูก

ผลการผลิตเอทานอลจากน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานต่างพันธุ์ มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 7 พบว่าเมื่ออายุเก็บเกี่ยว 105 วัน พันธุ์ KCU40 ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดคือ 440.4 ลิตรต่อไร่ รองลงไปได้แก่พันธุ์ WRAY, PAYAO, DALE, KELLER, RIO, BS281, SPB-1 และ COWLEY, ซึ่งผลิตเอทานอลได้ 280.6, 269.5, 220.5, 208.4, 142.1, 118.6, 45.8 และ 35.6 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ

ผลการผลิตเอทานอลต่อไร่(ลิตร)ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 120 วันหลังปลูก

ผลการผลิตเอทานอลจากน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานต่างพันธุ์ มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 7 พบว่าเมื่ออายุเก็บเกี่ยว 120 วัน พันธุ์ PAYAO ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดคือ 330.6 ลิตรต่อไร่ รองลงไปได้แก่พันธุ์ KCU40, WRAY, DALE, KELLER, RIO, BS281, SPB-1 และ COWLEY ซึ่งผลิตเอทานอลได้ 325.5, 290.7, 221.8, 201.3, 140.7, 117.8, 80.5 และ 34.2 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ

ตาราง 3 แสดงผลการศึกษาความสูงต้น(ซม.) และขนาดลำต้น(ซม.) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน

พันธุ์	ความสูงต้น (ซม.)				ขนาดลำต้น (ซม.)			
	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน
KKU 40	260.75 a	261.25 b	261.25 ab	261.25 b	2.38 a	2.00 ab	2.68 a	2.38 a
WRAY	264.25 a	279.75 a	278.00 a	275.25 a	2.30 ab	2.10 ab	2.28 bc	2.28 ab
SPB-1	142.50 d	143.00 e	129.50 e	142.50 f	1.62 d	1.50 c	1.53 e	1.68 d
DALE	243.50 ab	259.50 b	234.25 c	227.75 d	1.95 bcd	2.10 ab	2.30 bc	2.23 ab
PAYAO	197.50 c	233.75 c	250.00 bc	246.75 c	2.13 ab	2.10 ab	2.40 b	2.28 ab
COWLEY	191.50 c	195.50 d	197.75 d	196.75 e	1.70 d	2.03 ab	2.10 cd	2.10 bc
BS 281	193.25 c	227.00 c	197.50 d	197.00 e	1.62 d	1.95 b	1.96 d	1.93 c
RIO	258.50 a	250.00 b	230.00 c	228.75 d	2.10 abc	2.00 ab	1.95 d	1.95 c
KELLER	225.75 b	254.00 b	244.25 bc	244.50 c	1.71 cd	2.25 a	2.00 d	2.00 c
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
Mean	219.72	233.75	224.72	224.50	1.994	2.00	2.13	2.10
CV %	4.87%	2.39 %	4.28 %	1.18 %	8.73 %	6.44 %	5.49 %	4.93 %

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่าง (DMRT) อักษรเหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 4 แสดงผลการศึกษาจำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักต้นสดต่อต้น (กรัม) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน

พันธุ์	จำนวนใบ/ต้น				น้ำหนักต้นสด/ต้น (กรัม)			
	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน
KKU 40	2.38 a	9.50 b	6.50 c	6.00 d	775.31 a	507.13 g	885.44 a	737.38 a
WRAY	2.28 ab	11.25 a	11.25 a	11.00 a	682.19 b	750.50 a	682.50 b	700.25 c
SPB-1	1.68 d	4.25 e	5.75 c	6.25 cd	212.13 i	250.34 i	200.38 i	252.38 i
DALE	2.23 ab	8.50 bc	6.50 c	6.75 cd	530.13 f	567.34 d	625.25 c	650.38 d
PAYAO	2.28 ab	9.50 b	9.75 ab	9.25 b	625.13 d	565.56 e	615.38 d	705.25 b
COWLEY	2.10 bc	6.75 d	7.00 c	6.50 cd	390.25 h	485.44 h	335.44 h	337.48 h
BS 281	1.93 c	9.50 b	7.25 c	7.00 c	537.19 e	597.38 c	385.19 g	385.25 g
RIO	1.95 c	8.25 c	9.50 b	8.75 b	675.19 c	527.63 f	457.44 f	455.38 f
KELLER	2.00 c	9.25 b	9.25 b	8.50 b	450.13 g	702.50 b	532.38 e	532.38 e
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
Mean	2.10	8.53	8.10	7.78	541.96	550.42	524.38	528.46
CV %	5.97 %	5.47 %	9.44 %	5.74 %	1.16 %	18.72 %	0.34%	0.47 %

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่าง (DMRT) อักษรเหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 5 แสดงผลการศึกษาน้ำหนักต้นแห้งต่อต้น (กรัม) และค่าความหวาน (%brix) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน

พันธุ์	น้ำหนักต้นแห้ง/ต้น (กรัม)				ค่าความหวาน (% brix)			
	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน
KKU 40	120.19 b	100.25 f	180.38 a	160.38 b	10.50 c	7.00 f	15.00 c	14.30 d
WRAY	125.13 a	207.50 a	177.63 b	177.25 a	10.50 c	16.20 a	16.00 b	13.18 f
SPB-1	50.13 h	67.38 h	50.44 g	75.25 h	12.00 b	14.25 c	12.00 g	12.00 g
DALE	110.13 c	125.50 e	125.38 d	127.38 d	12.00 b	11.05 e	10.00 h	12.00 g
PAYAO	82.44 e	80.38 g	110.25 e	127.38 d	8.25 d	6.10 g	12.15 f	14.00 e
COWLEY	77.13 f	100.64 f	100.38 f	100.44 g	13.08 a	12.15 d	10.00 h	15.00 c
BS 281	75.19 g	130.56 d	110.50 e	110.38 f	11.05 c	15.08 b	17.40 a	17.33 a
RIO	125.25 a	150.38 c	132.50 c	131.44 c	10.55 c	15.08 b	13.00 e	15.25 b
KELLER	100.13 d	172.50 b	125.38 d	125.38 e	12.95 a	16.25 a	14.10 d	15.20 b
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
Mean	95.14	128.78	122.62	123.25	11.21	12.57	13.30	14.25
CV %	2.47 %	11.30 %	4.10 %	0.94 %	3.21 %	1.10 %	0.49 %	0.69 %

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่าง (DMRT) อักษรเหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

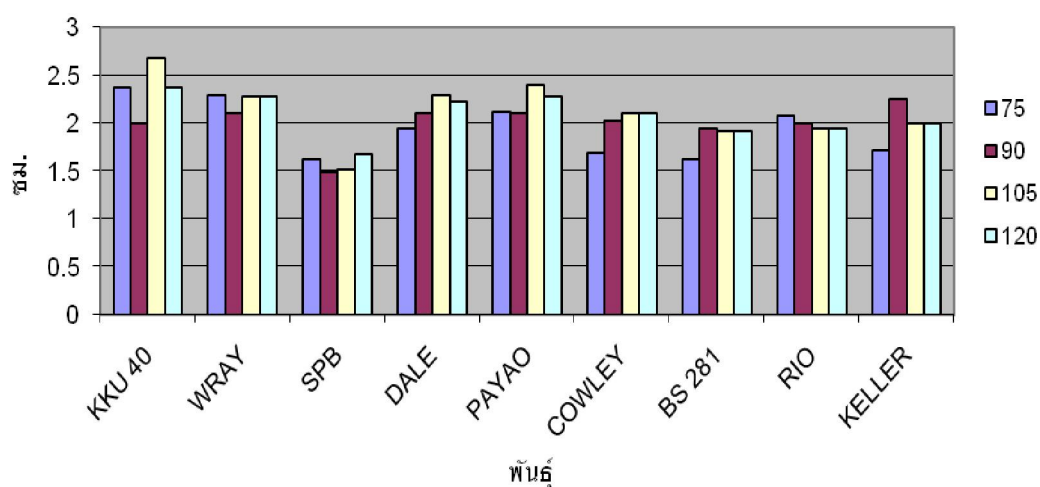
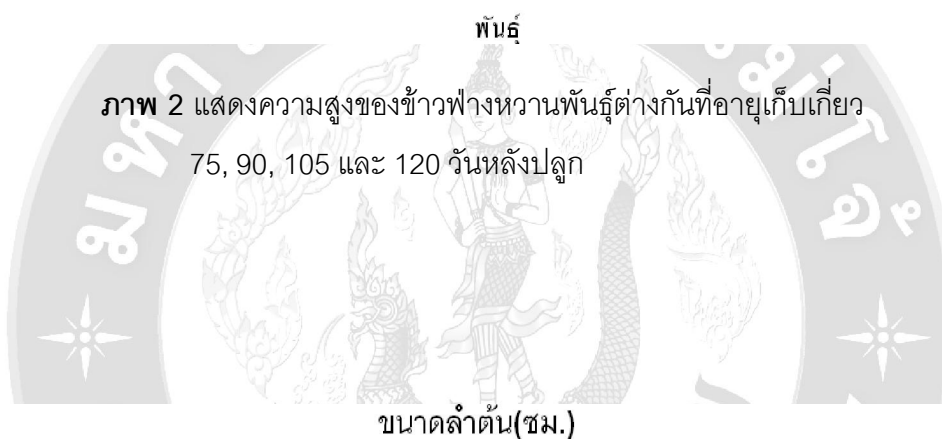
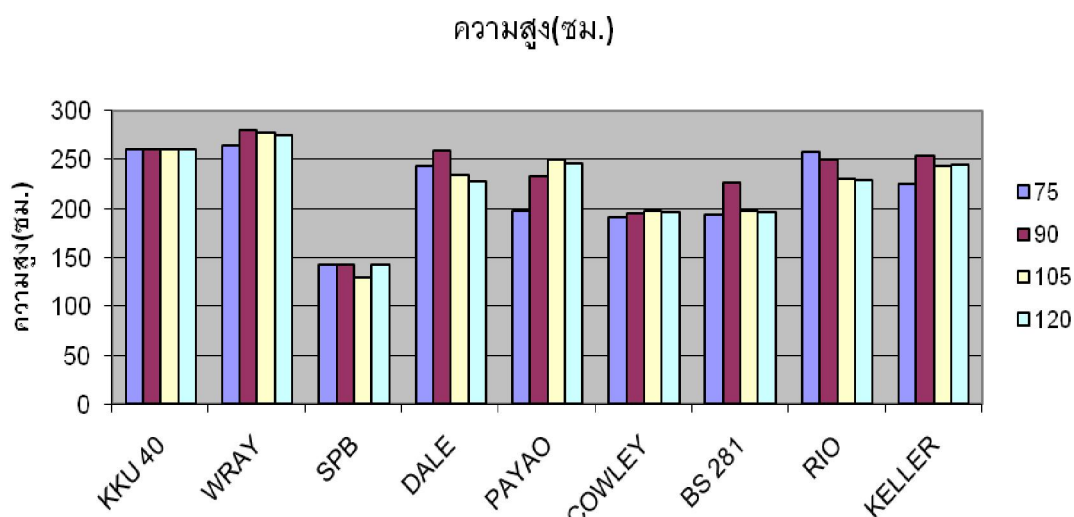
ตาราง 6 แสดงผลการศึกษ ปริมาณน้ำหวานต่อต้น (มล.) และปริมาณน้ำหวานต่อไร่ (ลิตร) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน

พันธุ์	ปริมาณน้ำหวาน/ต้น (มล.)				ปริมาณน้ำหวาน/ไร่ (ลิตร)			
	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน
KKU 40	192.25 a	105.38 g	277.44 a	205.44 b	3,076.00	1,686.08	4,439.04	3,287.04
WRAY	195.37 a	205.50 a	177.50 c	186.50 c	3,125.92	3,288.00	2,840.00	2,984.00
SPB-1	45.25 h	32.50 i	30.44 h	50.31 h	724.00	520.00	487.04	804.96
DALE	150.19 d	160.44 d	140.31 d	147.31 d	2,403.04	2,567.04	2,244.96	2,356.96
PAYAO	182.50 b	185.50 b	181.13 b	217.38 a	2,920.00	2,968.00	2,898.08	3,478.08
COWLEY	62.75 g	127.50 f	30.44 h	29.44 i	1,004.00	2,040.00	487.04	471.04
BS 281	85.00 f	131.44 e	80.50 g	80.13 g	1,360.00	2,103.04	1,288.00	1,282.08
RIO	175.07 c	90.50 h	93.69 f	90.19 f	2,801.12	1,448.00	1,499.04	1,443.04
KELLER	90.19 e	170.50 c	133.75 e	131.44 e	1,443.04	2,728.00	2,140.00	2,103.04
F-test	**	**	**	**	-	-	-	-
Mean	130.95	134.36	127.24	126.46	2095.24	2149.80	2035.91	2023.36
CV %	2.23 %	0.32 %	1.31 %	0.28 %	-	-	-	-

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่าง (DMRT) อักษรเหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

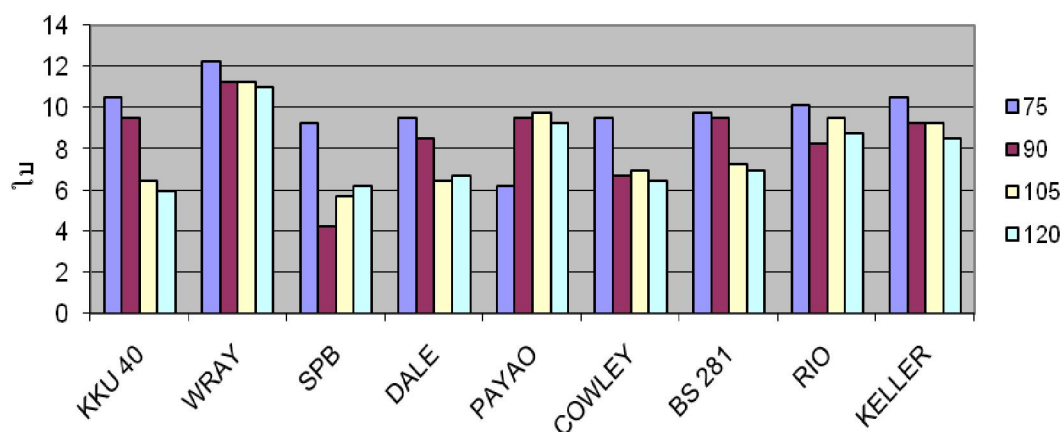
ตาราง 7 แสดงผล การผลิตเอทานอลต่อไร่ (ลิตร) ของข้าวฟ่างหวานที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน

พันธุ์	ปริมาณน้ำหวาน/ไร่ (ลิตร)			
	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน
KKU 40	301.4	160.1	440.4	325.5
WRAY	310.5	320.7	280.6	290.7
SPB-1	70.5	50.4	45.8	80.5
DALE	231.2	235.6	220.5	221.8
PAYAO	275.6	276.1	269.5	330.6
COWLEY	97.8	198.2	35.6	34.2
BS 281	126.5	201.5	118.6	117.8
RIO	270.5	141.5	142.1	140.7
KELLER	140.5	276.3	208.4	201.3



ภาพ 3 แสดงขนาดลำต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

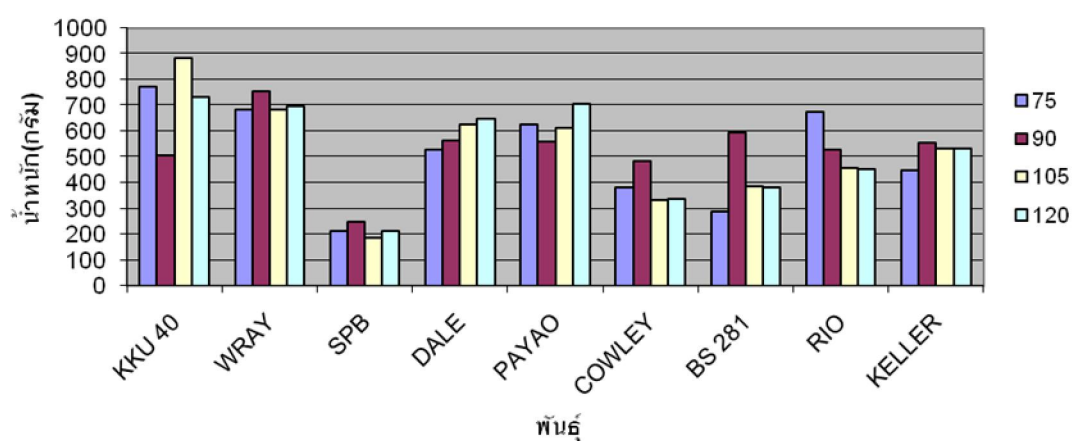
จำนวนใบ/ต้น



พันธุ์

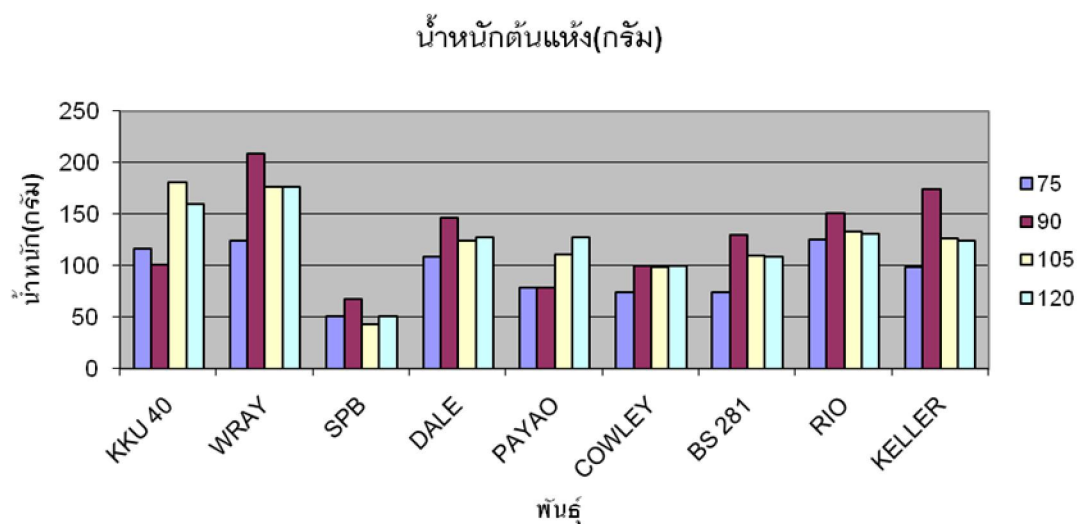
ภาพ 4 แสดงจำนวนใบต่อต้นของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

น้ำหนักต้นสด(กรัม)

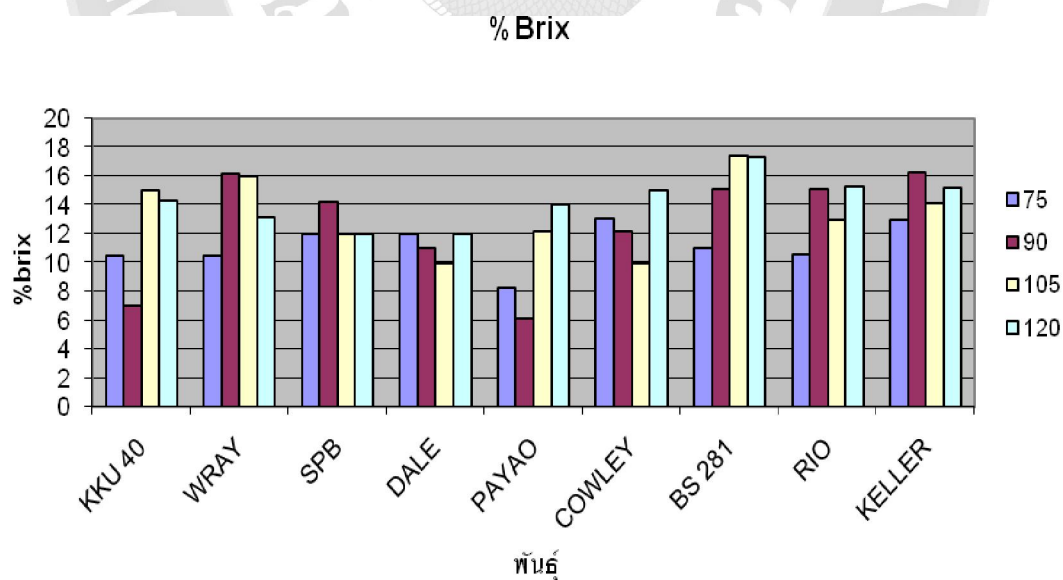


พันธุ์

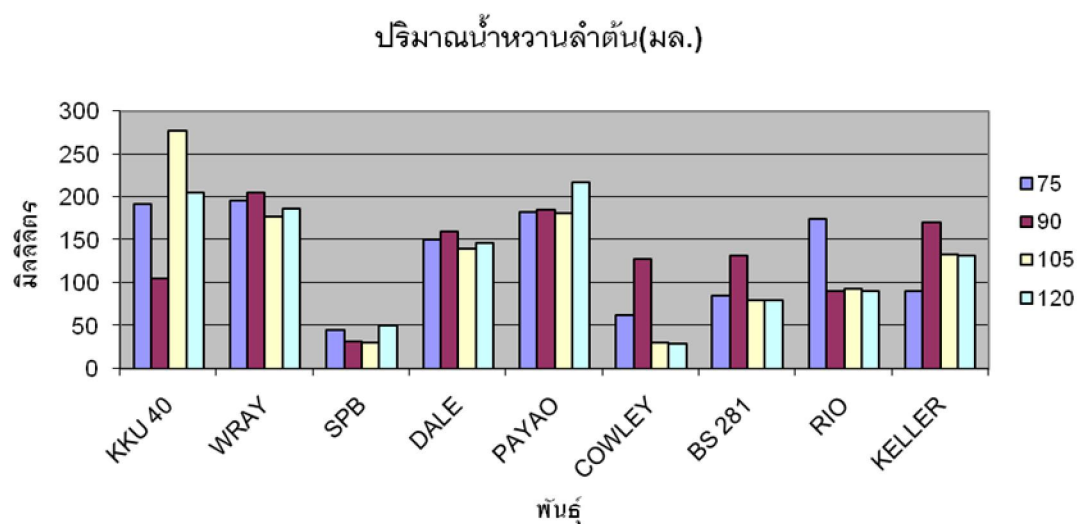
ภาพ 5 แสดงน้ำหนักต้นสดของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก



ภาพ 6 แสดงน้ำหนักต้นแห้งของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก



ภาพ 7 แสดงค่าความหวาน (% brix) ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก



ภาพ 8 แสดงปริมาณน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาด้านการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ พบว่า สามารถแบ่งการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานได้ทั้งหมด 9 ระยะ ซึ่งข้าวฟ่างหวานเริ่มออก 4 วันหลังปลูก ระยะที่ 1-3 เป็นช่วงการสร้างการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ข้าวฟ่างหวานจะมีใบจริง 7-10 ใบ ในระยะที่ 3 ข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ ใช้ระยะเวลาเท่ากันคือ 10, 20 และ 40 วันหลังปลูก ระยะที่ 4 เป็นระยะที่เมื่อเปิดปลายยอดดอกจะมีใบธงให้เห็น ระยะที่ 5 เริ่มสร้างช่อดอก ระยะที่ 6 ช่อดอกเริ่มบาน ระยะที่ 7 เมล็ดมีการสะสมแป้งในระยะนี้ ระยะที่ 8 เมล็ดเริ่มแข็ง และระยะที่ 9 เป็นระยะที่เมล็ดมีความสุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่ง ตั้งแต่ระยะที่ 4 ถึงระยะที่ 9 สามารถแยกข้าวฟ่างหวานได้ 2 กลุ่ม คือพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ได้แก่ ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 50, 60, 70, 80, 95 และ 105 วันหลังปลูก (ระยะที่ 4-9) และพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวที่ยาวกว่า ได้แก่พันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 60, 70, 80, 90, 105 และ 120 วันหลังปลูก (ระยะที่ 4-9) ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างด้านพันธุกรรม ซึ่งชัดเจนเมื่อเข้าสู่ระยะการออกดอกของข้าวฟ่างหวาน ซึ่งอายุวันออกดอกของข้าวฟ่างจะมีพื้นที่ควบคุมอยู่ 4 ตัว และข้าวฟ่างที่มียืนเด่นอยู่หลายตัว จะออกดอกช้ากว่าพวกที่มียืนด้อยอยู่ (Quinby, 1967) เมื่อข้าวฟ่างหวานพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao มีอายุวันออกดอกที่ช้ากว่าพันธุ์อื่นๆ ส่งผลให้ยืดอายุวันเก็บเกี่ยว หรือช่วงที่เมล็ดสุกแก่ทางสรีรวิทยาช้ากว่าพันธุ์อื่นๆ นั้นเอง

จากการศึกษาเพื่อวัดค่าความหวานและปริมาณน้ำหวานในลำต้นของข้าวฟ่างหวาน 9 พันธุ์ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 75, 90, 105 และ 120 วัน พบว่า ความหวานของข้าวฟ่างหวานทั้ง 9 พันธุ์ แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 3) ข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์ให้ค่าความหวานที่ไม่คงที่ เช่น จากการศึกษพันธุ์ BS281 ให้ค่าความหวานเฉลี่ยสูงสุด (17.4 % brix) ที่อายุ 105 วัน ส่วนพันธุ์ Wray มีความหวานเฉลี่ยสูงสุด ที่อายุ 90 วัน แต่พันธุ์ Payao เป็นพันธุ์ที่มีความหวานต่ำสุด (คือ 6.10 % brix) ซึ่งเป็นค่าความหวานที่ต่ำกว่า Somani and Taylor (2003) ได้ทำการทดลองในอินเดีย และพบว่าค่าความหวานต่ำสุดอยู่ที่ 14 % brix เช่นเดียวกับ Ratnavathi *et al.* (2003) ที่ได้ค่าความหวานจากการทดลอง ต่ำสุดอยู่ที่ 14.2 % brix ปริมาณน้ำหวานในลำต้นของข้าวฟ่างหวาน 9 พันธุ์ต่างกันในแต่ละอายุเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับที่ Ratnavathi *et al.* (2003) รายงานว่า ปริมาณน้ำตาลและน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานที่ได้ทำการศึกษาข้าวฟ่างหวาน 5 พันธุ์ ซึ่งต่างกัน และแตกต่างกันไปในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยช่วงที่เหมาะสมที่สุดที่จะเก็บเกี่ยวข้าวฟ่างหวาน คือช่วงที่เมล็ดสุกแก่ทางสรีรวิทยาที่อายุ 110-

120 วัน ซึ่งในเรื่องของอายุการเก็บเกี่ยวนี้ต่างจากผลการศึกษาที่ได้ เนื่องจากระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อผลผลิตน้ำหวานของ ข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์แตกต่างกันไปในแต่ละช่วงอายุ กล่าวคือ พันธุ์ KKU 40 มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยสูง (277.4 มิลลิลิตรต่อต้น) ที่อายุ 105 วัน เมื่ออายุ 120 วัน จะลดลงเหลือ 205.4 มิลลิลิตร ต่อต้น จึงควรเก็บเกี่ยวที่อายุ 105-110 วัน พันธุ์ Wray ให้ปริมาณน้ำหวานสูงที่สุดเมื่ออายุได้ 90 วัน 205.5 มิลลิลิตรต่อต้น และลดลงเหลือ 177.5 มิลลิลิตรต่อต้น ที่อายุ 105 วัน ฉะนั้นควรเก็บเกี่ยวที่อายุ 90-95 วัน มิฉะนั้นจะทำให้ปริมาณน้ำหวานลดลง เช่นเดียวกับข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Cowley ให้ปริมาณน้ำหวานสูงสุด 127.5 มิลลิลิตรต่อต้น ที่อายุ 90 วัน ถ้าเก็บเกี่ยวที่ 105 และ 120 วัน ปริมาณน้ำหวานจะลงเหลือเพียง 30.4 และ 29.4 มิลลิลิตรต่อต้น จึงควรเก็บเกี่ยวที่อายุ 90 วัน

พันธุ์ Wray ให้ปริมาณน้ำหวานและค่าความหวาน (% brix) สูงสุดตั้งแต่ช่วงอายุ 90 วัน หลังออก เนื่องจากข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Wray มีลักษณะทางสรีรวิทยาที่ดี กล่าวคือ มีจำนวนใบต่อต้นมาก ลำต้นมีขนาดใหญ่ สูง ตั้งแต่อายุ 75 – 90 วัน ทั้งนี้ การที่มีจำนวนใบต่อต้นมากจะช่วยให้สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เกิดการสร้างและสะสมสารอาหารได้สูง (เฉลิมพล 2535.) ทำให้ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Wray มีขนาดลำต้นที่สูงใหญ่ ให้ค่าความหวาน (%brix) และปริมาณน้ำหวานในลำต้นสูงในเวลาที่รวดเร็วกว่าพันธุ์อื่นๆ จึงเป็นพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวได้เร็ว หากต้องการผลิตข้าวฟ่างหวานเพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เลี้ยงแล้ว พันธุ์ Wray ก็เหมาะสม เช่นเดียวกับพันธุ์ KKU 40 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะนำไปใช้ประโยชน์ จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของพื้นที่และพันธุ์ของข้าวฟ่างหวานด้วย ดังที่ Curt et al., (1996) ได้ทำการทดสอบพันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่ประกอบด้วย พันธุ์ Keller, Wray, Mn 1500, Cowley, Dale, Sofra, Theis และ Koral พบว่า Keller มีความสามารถในการปรับตัวได้กว้าง ให้ผลผลิตลำต้นและน้ำตาลสูง โดยเฉพาะการปลูกในประเทศกรีซ แต่ในอิตาลีตอนเหนือ พันธุ์ Wray ดีกว่า สำหรับในสเปนตอนใต้ พันธุ์ Dale และ Theis ให้ผลดี แสดงว่าพันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่เหมาะสมในแต่ละท้องถิ่นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในท้องถิ่นนั้นๆ ประสิทธิ์ (2529) กล่าวว่า การปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจะมีใบประมาณ 14 ถึง 17 ใบ ส่วนพันธุ์ที่ปรับตัวไม่ได้อาจจะมีใบมากกว่า 30 ใบ

ทั้งนี้เมื่อเราทราบถึงลักษณะที่ดีเด่นของข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์ ไม่ว่าจะเป็น ระยะออกดอก ระยะเก็บเกี่ยว ขนาดลำต้น ปริมาณน้ำหวาน และค่าความหวาน (%brix) แล้ว ก็สามารถทำให้เลือกใช้พันธุ์ให้เหมาะสมกับความต้องการ หรือตามวัตถุประสงค์ของการใช้

ประโยชน์ได้ เช่นถ้าต้องการใช้ทำอาหารสัตว์ ก็สามารถเลือกพันธุ์ Wray และ KKU 40 มาปลูกได้ เนื่องจาก โตเร็ว ลักษณะลำต้นสูงใหญ่ ให้ผลผลิตได้ไวในระยะเวลาที่สั้น และถ้าหากต้องการใช้เพื่อทำเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล ก็สามารถเลือกทั้งสองพันธุ์นี้ได้เช่นกัน เพราะให้ค่าความหวาน (%brix) และปริมาณน้ำหวานที่มากพอในระยะเวลาอันสั้นเช่นกัน แต่ถ้าหากต้องการที่จะใช้ผลผลิตของข้าวฟ่างหวานให้คุ้มทุกส่วนของลำต้น ก็สามารถที่จะเลือกใช้ได้ทุกพันธุ์ และเก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดมีความสุกแก่ทางสรีรวิทยา เนื่องจากจะได้ใช้น้ำหวานจากลำต้นเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล และน้ำเชื่อม กากของลำต้นที่เหลือจากการหีบเป็นอาหารสัตว์ร่วมกับไบโอสต แล้วยังได้เมล็ดเพื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ หรือใช้ในการทำแบ่งเพื่อประกอบอาหารได้อีก ในช่วงระยะการเก็บเกี่ยว 75 และ 90 วันหลังปลูก ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ WRAY ให้ผลผลิตเอทานอลสูงถึง 310 และ 320 ลิตรต่อไร่ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพการผลิตเอทานอลของพันธุ์นี้อย่างมาก แม้ว่าจะมีการเก็บเกี่ยวที่ค่อนข้างสั้น เพียง 3 เดือนเท่านั้น จึงเป็นทางเลือกที่ดีมากสำหรับการผลิตเอทานอลในระบบการปลูกพืชพลังงานในอนาคต ในเวลา 1 ปีสามารถผลิตเอทานอลได้มากกว่า 3 ครั้ง ส่วนการเก็บเกี่ยวข้าวฟ่างหวานที่อายุ 105 วันนั้น ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU40 ให้ผลผลิตเอทานอลสูงที่สุดถึง 440 ลิตรต่อไร่ แสดงว่าพันธุ์นี้สามารถคัดเลือกให้เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวปานกลางสำหรับผลิตเอทานอล พันธุ์ KKU40 ถูกคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์โดย ดร.ประสิทธิ์ ใจศีล มหาวิทยาลัยขอนแก่น ว่าเหมาะสมสำหรับการปลูกในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ของประเทศไทย ผลการทดลองครั้งนี้สามารถยืนยันได้ว่าพันธุ์ KKU40 สามารถปรับตัวและให้ผลผลิตที่สูงในเขตเกษตรกรรมของจังหวัดเชียงใหม่ด้วยเช่นกัน สำหรับการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 120 วัน ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ PAYAO และ KKU40 ให้ผลผลิตเอทานอลสูงมากถึง 330 และ 325 ลิตรต่อไร่ตามลำดับ ทั้ง 2 พันธุ์จึงเหมาะสมสำหรับการผลิตเอทานอลที่อายุ 4 เดือน นั้นแสดงว่าหากเลือกข้าวฟ่างหวานพันธุ์ที่มีอายุค่อนข้างยาวนี้ปลูกในพื้นที่การเกษตร การผลิตเอทานอลก็สามารถได้ผลผลิตไม่น้อยกว่า 2 ครั้งต่อปี ประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากน้ำเชื่อมข้าวฟ่างหวานนั้นยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ยีสต์ สภาพแวดล้อม และภาวะเงื่อนไขขณะทำการหมัก 7 -14 วัน ว่าสามารถเปลี่ยนแปลงให้น้ำตาลเป็นปริมาณเอทานอลได้มากมายเพียงใด การหมักในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ถังพลาสติกชนิดปิดฝาแน่น ขนาด 200 ลิตรเป็นอุปกรณ์ มีการเติมอากาศช่วยให้ออกซิเจนเจือปน และขยายจำนวน เมื่อ 24 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะปิดฝาทันทีให้สนิท แล้วจึงเก็บเกี่ยวน้ำหมักเพื่อกลั่นเอทานอลโดยเครื่องต้มกลั่นแบบต่อเนื่อง ให้มีอุณหภูมิต้มกลั่นที่ 65 – 70 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที แล้วจึงวัดปริมาตรผลผลิตเอทานอลที่ต้มกลั่นได้ นี่เป็นเพื่อการพัฒนา ดัดแปลงเบื้องต้นแบบไม่ยุ่งยาก แม้ว่าเอทานอลที่ได้จะมีปริมาณความเข้มข้นอยู่บ้าง

การพัฒนาในอนาคตต้องอาศัยเครื่องต้มกลั่นแบบหอสูง หรือ คอสูงทั้งนี้เพื่อช่วยแยกเอาเอทานอลออกมาโดยให้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด และเมื่อทดสอบผลิตเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 95 และ 90 (เอทานอล : เบนซิน อัตราส่วนผสม 5 : 95 และ 10 : 90 ส่วน) แล้วทดลองใช้กับเครื่องสูบน้ำ เบนซิน 4 จังหวะพบว่าสามารถเดินเครื่องทำงานได้เช่นเดียวกับการใช้น้ำมันเบนซิน 91 จึงเป็นความก้าวหน้าอีกระดับหนึ่ง สำหรับการผลิตเอทานอล จากข้าวฟ่างหวานสายพันธุ์ที่ปลูกและคัดเลือกได้จากงานวิจัยและพัฒนาครั้งนี้ การขยายเมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างหวานเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่ต้องดำเนินการให้ได้ปริมาณมาก แม้ว่าอุปสรรคเรื่องนกจิกกินเมล็ดข้าวฟ่างหวาน ต้องได้รับการแก้ไข เช่นใช้ปูนจุยยิงระเบิดแบบตั้งเวลาให้ถึขึ้น 1 ถึง 2 นาทีต่อครั้งในช่วงที่เมล็ดข้าวฟ่างกำลังสุกแก่ แม้จะรบกวนสัตว์ประสาทย่างมาก หากแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์อยู่ไม่ไกลจากสถานที่ทำงาน หรืออาจต้องคัดเลือกแปลงขยายเมล็ดพันธุ์ให้ห่างไกลจากชุมชน หรือเลือกผลิตเมล็ดพันธุ์ให้ตรงกับ การปลูกข้าวนาปี หรือนาปรัง ทั้งนี้เพื่อลดความสูญเสียเมล็ดพันธุ์จากนกจิกกินเมล็ดข้าวฟ่างหวาน จนจะได้มีอาหารทางเลือกมากขึ้นนั่นเอง



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสะสมความหวานและปริมาณน้ำหวานในข้าวฟ่างหวาน 9 พันธุ์ ร่วมกับการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงอายุ พบว่า สามารถแบ่งการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานได้ทั้งหมด 9 ระยะ ซึ่งข้าวฟ่างหวานเริ่มออก 4 วันหลังปลูก ระยะที่ 1-3 เป็นช่วงการสร้างการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ใช้ระยะเวลา 10, 20 และ 40 วันหลังปลูก ระยะที่ 4 เป็นระยะที่มีใบธงให้เห็น ระยะที่ 5 เริ่มสร้างช่อดอก ระยะที่ 6 ช่อดอกเริ่มบาน ระยะที่ 7 เมล็ดมีการสะสมแป้งในระยะนี้ม ระยะที่ 8 เมล็ดเริ่มแข็ง และระยะที่ 9 เป็นระยะที่เมล็ดมีความสุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่ง ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40, Wray, Cowley, BS 281, Rio และ Keller ใช้เวลา 105 วันหลังปลูก ส่วนพันธุ์ SPB-1, Dale และ Payao ใช้เวลา 120 วันหลังปลูก พันธุ์ Wray เป็นพันธุ์ที่ให้ค่าเฉลี่ยความสูงต้นและ มีจำนวนใบต่อต้นสูงสุดที่อายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน พันธุ์ KKU 40 มีขนาดลำต้น (เส้นผ่านศูนย์กลาง) เฉลี่ยและน้ำหนักต้นสดต่อต้นสูงสุดที่อายุเก็บเกี่ยว 75, 105 และ 120 วัน เมื่อเก็บเกี่ยวที่ 90 วัน พันธุ์ Wray มีขนาดลำต้น(เส้นผ่านศูนย์กลาง) และน้ำหนักต้นสดต่อต้นสูงสุด พันธุ์ Wray ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักต้นแห้งต่อต้นสูงสุด (กว่าพันธุ์อื่นๆ) เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 75, 90 และ 120 วัน ส่วนพันธุ์ KKU 40 ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่ 105 วัน ค่าความหวาน (% brix) ของน้ำหวานจากลำต้นที่อายุ 75 วัน พันธุ์ที่ให้ความหวานดีที่สุด คือ พันธุ์ Keller และ Cowley ที่อายุเก็บเกี่ยว 90 วัน พันธุ์ที่ให้ความหวานดีที่สุด ได้แก่พันธุ์ Keller และ Wray และเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 105 และ 120 วัน พันธุ์ที่ให้ความหวานสูงสุด คือ พันธุ์ BS 281 ส่วนปริมาณน้ำหวานที่หีบ จากลำต้น ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Wray มีปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้นสูงสุด เมื่อเก็บเกี่ยวอายุ 75 และ 90 วัน พันธุ์ KKU 40 ให้ปริมาณน้ำหวานเฉลี่ยต่อต้นสูงสุด เมื่อเก็บเกี่ยวที่ 105 วัน และที่อายุ การเก็บเกี่ยว 120 วัน พันธุ์ Payao ให้ปริมาณน้ำหวานจากลำต้นเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด การผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างกันให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 75 และ 90 วันข้าวฟ่างหวานพันธุ์ WRAY ให้ปริมาณเอทานอลสูง มากกว่า 300 ลิตรต่อไร่ ในขณะที่อายุเก็บเกี่ยว 105 วันพันธุ์ KKU40 ให้ผลผลิตเอทานอล 440 ลิตรต่อไร่ ส่วนพันธุ์ PAYAO ให้ผลผลิตเอทานอลมากที่สุดคือ 330 ลิตรต่อไร่ เมื่ออายุเก็บเกี่ยว 120 วันหลังปลูก

ข้อเสนอแนะ

การปลูกข้าวฟ่างหวานในการศึกษาค้างนี้เป็นการปลูกตามวัตถุประสงค์ของ การวิจัย เพื่อคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์ข้าวฟ่างหวานให้เป็นพืชพลังงานทดแทนทางเลือกใหม่ให้กับ เกษตรกรและประเทศชาติในอนาคต ดังนั้นการเก็บเกี่ยวข้าวฟ่างหวานที่เหมาะสม จึงควรเก็บเกี่ยวในช่วงที่ลำต้นมีการสะสมปริมาณน้ำหวาน และมีน้ำหนักต้นสดดีที่สุด ดังปรากฏผลการทดลองข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KCU 40 ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 105-110 วันหลังปลูก ซึ่งจะเป็นช่วงที่มีน้ำหนักต้นสด และปริมาณน้ำหวานสูงที่สุด พันธุ์ Wray ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 75 - 90 วันหลังปลูก ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ SPB-1 ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 120 วันหลังปลูก พันธุ์ Dale สามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 90-120 วันหลังปลูก พันธุ์ Payao ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 120 วันหลังปลูก พันธุ์ Cowley ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 90 วัน พันธุ์ BS 281 ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 90 วัน พันธุ์ Rio ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 90 วัน และข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Keller ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 90 วันหลังปลูก แต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องการการปลูกทดลองอีกหลายฤดูกาล เพื่อให้ได้ข้อมูลการปรับตัว การมีเสถียรภาพในการให้ผลผลิตน้ำหวาน เอทานอลของพันธุ์ข้าวฟ่างหวาน กับสิ่งแวดล้อม ฤดูกาล แต่ถ้าหากปลูกเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้เป็นอาหารสัตว์ ทั้งแบบสดหรือทำอาหารหมักสามารถเก็บเกี่ยว ข้าวฟ่างหวานได้ตั้งแต่อายุ 60 วันเป็นต้นไป เนื่องจากจะทำให้ปริมาณ hydrocyanic acid (HCN) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์มีปริมาณต่ำ และหากต้องการใช้ประโยชน์จากต้นทั้งหมดรวมทั้งเมล็ด ควรทำการเก็บเกี่ยวข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์ เมื่อข้าวฟ่างหวานอยู่ในช่วงที่เมล็ดสุกแก่ทางสรีรวิทยาแล้ว ซึ่งสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของสีเมล็ด ซึ่งจะมีสีขาวน้ำตาลแดง และขาวปนน้ำตาล เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าวฟ่างหวานซึ่งจะแตกต่างกันไป

บรรณานุกรม

- กรีก นฤทุม, ทิพย์วดี อรรถธรรม, นพพร สายัมพล และเพิ่มพงษ์ ศรีประเสริฐศักดิ์. 2529. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดปรัซซิดในน้ำคั้นของข้าวฟ่างหวานโดยวิธีไตเตรท. **การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 4 เทคนิคของวิธีการทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 12-13 พ.ย. 2529
- คู่มือบันทึกข้อมูลพืชไร่.** 2540. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- จุฬี ทิพย์รักษ์. 2536. ข้าวฟ่างและการใช้ประโยชน์. นสพ. **กสิกร** ปีที่ 66 ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์. หน้า 59-62
- เฉลิมพล แซมเพชร. 2535. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่.** ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.
- ถวิล นิลพยัคฆ์, สมชาย ปิยพันธุ์วานนท์, สุธี ระย้าแก้ว และอำรงค์ศิลป์ โพธิ์สูง. 2538. โครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่าง (ศ. 2.1). **รายงานผลการวิจัยปี พ.ศ. 2538.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ
- ถวิล นิลพยัคฆ์, สมชาย ปิยพันธุ์วานนท์, สุธี ระย้าแก้ว และอำรงค์ศิลป์ โพธิ์สูง. 2542. การทดสอบพันธุ์ข้าวฟ่าง KU series 900. **หนังสือรวมบทความคัดย่อ ผลงานวิจัยของคณาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษาไทย ในระหว่างปี 2540-2542.** สำนักงานปลัดทบวงมหาวิทยาลัย สำนักมาตรฐานอุดมศึกษา ส่วนวิจัยและพัฒนา.
- อำรงค์ศิลป์ โพธิ์สูง. 2531. **การปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่าง.** ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นพพร สายัมพล . 2528. ปรับปรุงวิธีการเพิ่มผลผลิตข้าวฟ่างหวานการใช้ male sterile ในการผสมพันธุ์ข้าวฟ่างหวาน: **รายงานผลการวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนากรุงเทพฯ
- ประสิทธิ์ ใจศิลป์. 2529. **ข้าวฟ่าง** ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- _____. 2548. พืชทดแทนพลังงานที่มีศักยภาพ. 2548. **เอกสารประกอบการสัมมนาระดมความคิดเห็น.** ณ ห้องประชุมกวี จิตติกุล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- รณชัย ช่างศรี. 2541. **การแข่งขันของข้าวฟ่างหวานแบะวัชพืชในปลายฤดูฝน.** ปัญหาพิเศษ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ลาวันย์ ไกรเดช และจุฬี ทิพย์รักษ์. 2532. ข้าวฟ่าง/ ข้าวฟ่างหวาน เพื่อผลิตแอลกอฮอล์หรือเลี้ยง
 ด้ตัว รายงานการวิจัย ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ayyanger, G.N.R. 1963. Study in sorghum: The great millet III. Anther, pollen and
 stigma. Indian J. Agric. Sci. 6: 1299-1322

Bull, T.A., and K.T. Glaszion (1975) In L.T. Evans (ed) : Crop Physiology. Cambridge
 Univ. Press, Cambridge : 51

Coleman, O.H. 1970. **Sorghum Production and Utilization**. AVI Publ. Co.Inc.416p.

Curt, M.D., Fernandez,J.,and M .Martinez, 1996. Effect of Nitrogen Fertilization on
 Biomass Production and Macronutrients Extraction of Sweet Sorghum cv.
 Keller.*Presented at the 9th EU Biomass Conference*. Copenhagen 24-27
 June.(underpress)

Dajue, Li (ed.). 1997. **Proceedings of the First International Sweet Sorghum Conference**.
 September 14-19, 1997 held at Beijing, China, 793 p.

Doggett, H. 1970. Sorghum. In **Evolution of Crop Plants** edited by N.W. Simmonds.
 Longman,London.P.112-117.

Estin,1972. Photosynthesis and translocation in relation to plant development. In
Sorghum in Seventies (eds.N.G.P.Rao and L.R.House), pp214-246,Oxford IBH
 Publ.Co.,New Delhi,India.

Garber, E.D. 1950. **Cytoaxonomic studies in the genus Sorghum**. Univer. California Pub.
 Bot., 23,283-362.

House, L.R. 1980. **A guide to sorghum breeding**. ICRISAT. Anehra Pradesh.238 p.

Jones, J. B. Jr.2003. Agronomic Handbook : **Management of crops, soil, and their
 Fertility** . New York: CRC Press.

Mandke, A.D. and M.Kapoor.2003. Cereals in alcohol industry: An industry perspective.
In **Alternative uses of sorghum and pearl millet in Asia**. Proceedings of the
 Expert Meeting, ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India, 1-4 July 2003.
 Common Fund for Commodities. DFD Technical Paper No. 34.p. 326-332.

- Quinby, JR.; N.W.Kramer, J.C. Stephens, L.A. Lahr and R.E.Karper. 1958. **Grain sorghum production in Texas.** Bull.Tex.Agric.Exp.stn,912,35pp.illustr.
- Quinby, J.R. 1967. The maturity genes of sorghum. In **A.G. Norman** (ed.). Advance In Agronomy. Academic Press, New
- Ratnavathi, C.V.; P.K. Biswas; M. Pallavi; M. Maheswari; B.S. Vijay Kumar and N. Seetharama. 2003. Alternative uses of sorghum-Methods and feasibility : Indian perspective. In **Alternative uses of sorghum and pearl millet in Asia.** Proceedings of the Expert Meeting, ICRUSAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India, 1-4 July 2003. Common Fund for Commodities CFC Technical paper No. 34.p. 188-200.
- Ravi, Bala S.,P.K. Biswas, and M. Elangovan .1997.Advance in the Improvement of Sweet Sorghum in India. In Li,D. (ed.) **Proceeding of the First International Sweet Sorghum Conference.**Institute of Botany Chinese Academy of Sciences **September 14-19, 1997,Beijing, China.**P.304-311.
- Schaffert, R.E. and L.M. Gourley. 1982. Sorghum as an energy source. In **Sorghum in the eighties. Proceedings of the International Symposium Sorghum Volume 2.** 2-7 **November 1981, ICRISAT Center, Patancheru, A.P. India.** P. 605-623.
- Schertz, K.F. and J.C.Stephens. 1966. Compilation of gene symbols recommended reversion and summary of linkages for inherited characters of sorghum vulgare Pers Texas A&M Technical Monograph,
- Somani, R.B. and J.R.N Taylor.2003. Sorghum:Apotential source of raw material for agroindustries. In **Alternative uses of sorghum and pearl millet in Asia.** Proceedings of the Expert Meeting, ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India, 1-4 July 2003. Common Fund for Commodities. CFC Technical Paper No. 34.p. 146-168
- Sudhakar, K.R., and G.W.L.Jayakumar. 1996. Influence of nitrogen on seed production of Sorghum hybrid. **International Sorghum and Millets Newsletter.** SICNA and ICRISAT.P.63-65.

Trouche, G.,J.F.Ram and J.Chantereau.1998. QTLs for photoperiod response in sorghum hybrid. **International Sorghum and Millets Newsletter**. SICNA and ICRISAT.P.63-65

