

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ประวัติและการแพร่กระจายข้าวฟ่างหวานของไทย

ข้าวฟ่างหวาน (sweet sorghum) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Gramineae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sorghum bicolor* (L.) Moench มีจำนวนโครโมโซม  $2n=20$  (Al-Janabi et al., 1994) ข้าวฟ่างหวานเป็นพืช C4 ที่สามารถผลิตมวลชีวภาพได้สูงมาก สามารถสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตได้สูงเป็น 2 เท่าของข้าวโพดและซูการ์บีท (Dujue, 1997) อีกทั้งข้าวฟ่างหวานเป็นพืชชนิดเดียวกับข้าวฟ่างที่ปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากเมล็ดหรือ grain sorghum ดังนั้นลักษณะของลำต้น ใบ ราก ดอก และลักษณะอื่น ๆ จึงไม่แตกต่างกันนอกจากการใช้ประโยชน์และปริมาณน้ำกับน้ำตาลในลำต้น (จุฬี, 2536)

การปลูกข้าวฟ่างเริ่มปลูกในเอธิโอเปียเมื่อประมาณ 5,000 ถึง 7,000 ปี มาแล้ว หลังจากนั้นได้แพร่กระจายไปยังประเทศต่างๆ โดยแพร่ไปยังประเทศบอสวานา แชนเบียม แอฟริกาใต้ จีน ญี่ปุ่น และยุโรป สำหรับการปลูกข้าวฟ่างหวานเพื่อทำน้ำตาลและเป็นพืชอาหารสัตว์นั้นในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มมีการนำเอาข้าวฟ่าง Chinese amber sorgo ไปจากประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1853 และชาวอังกฤษ Leonard Wray ได้นำข้าวฟ่าง Sorgo เข้าไปปลูกจำนวน 15 พันธุ์ ในปี ค.ศ. 1875 ซึ่งบางพันธุ์ได้กลายเป็นข้าวฟ่างหวานที่นิยมปลูกกันในสมัยแรกๆ (ประสิทธิ์, 2529) สำหรับการปลูกข้าวฟ่างหวานในประเทศไทยนั้น ได้นำพันธุ์ข้าวฟ่างหวานมาจากสหรัฐอเมริกาจำนวน 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ริโอ (Rio) พันธุ์เรย์ (Wray) และพันธุ์เคลเลอร์ (Keller) โดยได้ทดลองปลูกที่จังหวัดกาญจนบุรี เมื่อวันที่ 13 เมษายน 2523 ผลปรากฏว่าสามารถเจริญเติบโตได้ดีเป็นที่น่าพอใจ (น้อม, 2524)

#### 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1) ราก (Roots) ข้าวฟ่างมีระบบรากเป็นแบบ fibrous root system รากแรกที่เกิดจาก radicle จะเจริญออกมาเป็นรากเดี่ยว ๆ เรียกว่า primary root และมีการแตกแขนงออกมาเป็น lateral root เช่นเดียวกับพืชตระกูลหญ้าอื่น ๆ รากชนิดนี้เป็นรากชั่วคราว ทำหน้าที่เลี้ยงต้นอ่อนในระยะแรกเท่านั้น ส่วนรากถาวรซึ่งเป็น adventitious root นั้น เกิดตรง coleoptilar node และส่วนของข้อต้นใต้ดิน จะแผ่กระจายออกไปเป็นจำนวนมากทางข้างอาจจะยาวถึง 1.5 เมตร และหยั่งลึกลงไปประมาณ 1 เมตร ที่ข้อของลำต้นจะมี root bands ที่มี root primordia ซึ่งเป็นจุดกำเนิดที่รากจะงอกออกมาโดยเฉพาะบริเวณส่วนโคนของลำต้นเหนือพื้นดินจะทำหน้าที่ช่วยค้ำจุนลำต้นเรียกว่า prop

root อีกด้วย ส่วนปลายของรากข้าวฟ่างมีลักษณะพิเศษคือมี silica อยู่ในชั้นของ endodermis ซึ่งจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ซึ่ง silica จะช่วยให้ปลายรากแข็งแรงสามารถแทงไปในดินได้ดีขึ้น รากของข้าวฟ่างจะมีจำนวนมากเป็น 2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด ลักษณะนี้ช่วยให้สามารถทนแล้งได้ดีกว่าข้าวโพด (ประสิทธิ์, 2529)

2) ต้น (Stem) ลำต้นจะมีลักษณะแข็ง ตั้งตรง แห้งหรืออวบน้ำ มีหรือไม่มีน้ำตาลในลำต้นแล้วแต่ชนิดพันธุ์ ขนาดของลำต้นจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 - 3 เซนติเมตร ความสูงขึ้นอยู่กับจำนวนข้อและปล้องของแต่ละพันธุ์ เนื้อ root band จะมี growth ring ซึ่งเป็น intercalary meristem เวลาลำต้นล้ม ส่วนของเนื้อเยื่อชนิดนี้จะช่วยให้ลำต้นเจริญเติบโตงอกขึ้นตั้งตรงได้อีก แต่ละข้อจะมี axillary band อยู่ในช่อง bud groove axillary bud นี้จะสามารถเจริญออกไป ซึ่งถ้าเกิดอยู่ตรงส่วนบนของลำต้นจะเรียกว่าเป็นกิ่ง (branch) และถ้าเกิดตรงส่วนโคนของลำต้นจะเรียกว่าเป็นแขนง (tiller) ส่วนของกิ่งและแขนงนั้นสามารถจะเกิดช่อดอกและให้เมล็ดเช่นเดียวกับ main stem แต่มีขนาดช่อดอกเล็กกว่า

จูพี (2536) กล่าวว่า ข้าวฟ่างหวาน มีลักษณะสำคัญ คือ น้ำในลำต้นจะหวานกว่าและมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับข้าวฟ่างชนิดอื่น ต้นก่อนข้างสูง จะสูงกว่า 2 เมตร พันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่นำเข้ามาจากสหรัฐอเมริกาและจากสถาบันวิจัยพืชในเขตร้อนขึ้นกิ่งแห้งแล้งนานาชาติมาทดลองปลูกในศูนย์ฯ และสถานีทดลองของกรมวิชาการเกษตรจะมีความสูงของต้นกว่า 2.50 เมตร สำหรับความหวานและปริมาณของน้ำในลำต้นจะแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ ฤดูปลูก อายุเก็บเกี่ยว ชนิดดิน และความชื้นของดิน ขนาดของเมล็ดข้าวฟ่างหวานส่วนใหญ่ จะเล็กกว่าข้าวฟ่างเมล็ด

3) ใบ (Leaves) ข้าวฟ่างจะมีใบประมาณ 7-24 ใบ แล้วแต่พันธุ์ เกิดสลับอยู่บนลำต้น ส่วนของใบจะมีกาบใบ (leaves sheath) ยาวประมาณ 15-35 เซนติเมตร หุ้มลำต้นและมักมีไขสีขาว (waxy bloom) ตามส่วนของกาบใบทั่วไป ส่วนแผ่นใบ (leaf blade) จะมีขนาดกว้างยาวประมาณ 1.5-13 x 30-135 เซนติเมตร จะสังเกตเห็นว่าแผ่นใบที่อยู่ส่วนกลางจะยาวกว่าใบที่อยู่ส่วนบนและส่วนล่างของลำต้น ผิวของใบเป็นมันเนื่องจากมีไขขาวอยู่ ซึ่งลักษณะนี้ต่างจากใบของข้าวโพด แผ่นใบจะมีรูใบ (stomata) ทั้งสองด้าน และจะมีเซลล์พิเศษชนิดหนึ่งเรียกว่า motor cell ช่วยในการม้วนใบเวลาข้าวฟ่างขาดน้ำหรือกระทบแล้ง เส้นกลางใบ (mid rib) ถ้าอวบน้ำจะมีสีเขียวแต่ถ้ามีเนื้อก่อนข้างแห้งจะมีสีเทาหรือเหลืองเห็นเด่นชัดเป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นกัน ตรงรอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบที่เรียกว่า blade joint จะมีเยื่อบาง ๆ ยาวประมาณ 1-3 มิลลิเมตร อยู่โดยรอบและแนบชิดกับลำต้นเรียกว่า ligule (เยื่อกั้นน้ำ) ทางด้านปลายของ blade joint ทั้งสองข้างจะมีส่วนที่เรียกว่า dewlap ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือขวารี บางและอ่อนช่วยในการไหวตัวของใบ (ประสิทธิ์, 2529)

4) ช่อดอก (Inflorescence) ช่อดอกข้าวฟ่างเป็นแบบ panicle มีก้านช่อดอกเรียกว่า peduncle ซึ่งเป็นปล้องสุดท้ายของลำต้น (uppermost internode) จะมีลักษณะตั้งตรงหรือโค้งงอแล้วแต่ชนิดของพันธุ์ แกนกลางของช่อดอกเรียกว่า rachis จะมีปล้องและข้อ ตรงข้อจะมีแขนงแยกออกไปเป็น primary branch ซึ่งจะแยกแขนงต่อไปอีกเป็น secondary branch หรือบางทีอาจจะมีถึง tertiary branch ก็ได้ แขนงที่ให้ spikelets (ดอกย่อย) มักเรียกว่า raceme รูปทรงของช่อดอกจะมีลักษณะต่าง ๆ กันเช่น ขาว รี ป้อม ทรงกระบอก หรือจะอยู่กันอย่างอัดแน่น หรือหลวม ๆ ขึ้นอยู่กับความสั้นยาวของ rachis และ branches ต่าง ๆ นั้นเอง

ดอกย่อย (spikelet หรือ floret) ของข้าวฟ่างจะอยู่เป็นคู่ ยกเว้นที่ปลายสุดของ raceme ที่จะมี 3 spikelets อยู่ด้วยกัน ที่อยู่เป็นคู่อันหนึ่งจะไม่มีก้านเรียกว่า sessile spikelet เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) คือมีทั้งเกสรตัวผู้ (stamen) และเกสรตัวเมีย (pistil) และอันหนึ่งมีก้านดอกเรียกว่า pedicelled spikelet ซึ่งจะมีเกสรตัวผู้อย่างเดียวหรือเป็นหมัน ที่ปลายสุดของ raceme ที่มี 3 spikelet นั้น จะมี sessile spikelet 1 อัน และ pedicelled spikelet 2 อัน

sessile spikelet เป็นดอกย่อยที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 3-10 มิลลิเมตร ประกอบด้วย glume 2 อัน ขนาดความยาวเท่า ๆ กันคือ lower glume ซึ่งที่ผิวด้านนอกจะมีเส้น (nerve) เป็นทางยาว 8-16 เส้น glume อันนี้จะคลุม glume อีกอันหนึ่งตรงโคนของ spikelet และเรียก glume นี้ว่า upper inner glume ซึ่งมีลักษณะแคบกว่าอันแรกและที่ปลายค่อนข้างแหลม ที่ผิวด้านนอกมีเส้นตรงกลาง (central nerve) ชัดเจน glumes ของข้าวฟ่างอาจจะมีสีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ sessile spikelet นี้จะมี 2 ดอกย่อยๆ หนึ่งจะเป็นหมันเหลือ lemma เพียงอันเดียว มีลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ มีขน (ciliate) ส่วนดอกย่อยอีกอันหนึ่งจะเป็นดอกย่อยสมบูรณ์ประกอบด้วยเยื่อ lemma บาง ๆ ตรงปลายแยกเป็น 2 แฉก ซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีหาง (awn) palea จะมีลักษณะเล็กบางซึ่งบางทีอาจจะมีไม่มีเลยก็ได้มี 2 lodicules อยู่ข้าง ๆ ของ lemma มีลักษณะกว้าง สั้น นูนขึ้นมาเล็กน้อยตรงขอบจะมีขน lodicule นี้จะมีหน้าที่เกี่ยวกับการปิดเปิดของดอก ดอกย่อยนี้จะมีเกสรตัวผู้ (stamen) 3 อัน มีอับเกสรตัวผู้ (anther) ตรงปลายแยกเป็น 4 พู (lobe) เกสรตัวเมีย (pistil) มีรังไข่ (ovary) ที่มี ovule เพียงอันเดียว บน ovary จะมีก้านเกสรตัวเมีย (style) แยกเป็น 2 แฉก ซึ่งตรงปลายจะเป็น stigma มีลักษณะเป็นพู่ (plumose) sessile spikelet โดยปกติแล้วจะให้เมล็ดเพียงเมล็ดเดียว คือได้จากดอกย่อยสมบูรณ์ (fertile floret) แต่บางพันธุ์อาจจะมี 2 เมล็ด เนื่องจากดอกย่อยอีกดอกหนึ่งซึ่งโดยทั่วไปเป็นหมันนั้น เกิดเป็นดอกย่อยสมบูรณ์นั่นเอง (ประสิทธิ์, 2529)

pedicelled spikelet เป็นดอกที่มีก้านซึ่งอาจจะยาวหรือสั้นแล้วแต่ชนิดของพันธุ์ มีขนาดเล็ก ยาว และบางกว่า sessile spikelet บางครั้ง pedicelled spikelet นี้ จะประกอบด้วย 2 glumes เท่านั้น ในกรณีที่มีดอกย่อย (floret) ก็จะมีอยู่ 2 อันเช่นเดียวกัน อันแรกอยู่ตอนบนประกอบด้วย lemma แต่

ไม่มี palea หรือมีขนาดเล็ก มี 2 lodicules มีเกสรตัวผู้ (stamen) 3 อัน ซึ่งสามารถมี pollen ตามปกติ แต่จะไม่มีเกสรตัวเมีย (pistil) บางครั้งจึงเรียกว่าดอกย่อยตัวผู้ (male floret) อีก floret หนึ่งอยู่ทางด้านล่างเป็นหมัน (sterile floret) และจะมีแต่เพียง lemma เพียงอย่างเดียว

ดอกข้าวฟ่างจะบานจากปลายช่อดอกข้างบนลงมาข้างล่าง จะบานเป็นชั้น ๆ ลงมาในระดับเดียวกัน spikelet ที่อยู่เป็นคู่ sessile spikelet จะบานก่อน pedicelled spikelet ประมาณ 2-4 วัน ตามปกติช่อดอกข้าวฟ่างจะบานหมดทั้งช่อใช้เวลาประมาณ 6-9 วัน ดอกจะบานในช่วงเวลาตั้งแต่ 20.00 นาฬิกา ถึง 08.00 นาฬิกา ดอกจะบานอยู่นานประมาณ 2 ชั่วโมง เวลาดอกเปิด anther และ stigma จะโผล่อยู่ข้างนอกตรงปลายของ glumes ที่ปิดอยู่ stigma จะมีอายุผสมติด (receptive) ตั้งแต่ก่อนดอกบานประมาณ 1-2 วัน จนกระทั่งหลังจากดอกบานแล้วประมาณ 8-16 วัน สำหรับละอองเกสรตัวผู้ (pollen) จะแตกออกจากอับละอองเกสร (anther) ทันทีที่ดอกบานและมีอายุอยู่ได้ประมาณ 3-6 วัน การผสมเกสร (pollination) อาจเกิดจาก pollen ภายในดอกเดียวกัน ดอกอื่นภายในช่อดอกเดียวกัน หรือต่างช่อดอกกันคือผสมข้ามต้นกันก็ได้ โดยธรรมชาติแล้วข้าวฟ่างเป็นพืชผสมตัวเอง (self pollinated crop) แต่อาจจะมีการผสมข้าม (cross pollination) ได้โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีรายงานว่าสูงกว่านี้ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของลม และลักษณะของช่อดอก ช่อดอกที่โปร่งมีโอกาสผสมข้ามได้มากกว่าช่อดอกที่มีลักษณะแน่น หลังจาก that pollen ตกบน stigma แล้วประมาณ 2 ชั่วโมงจึงจะเกิดการปฏิสนธิ (fertilization) (ประสิทธิ์, 2529)

5) เมล็ด (seed) หลังจากละอองเกสรตัวผู้ตกลงบนยอดเกสรตัวเมียแล้ว จะเกิดการผสมเกสร (fertilization) ภายในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นไข่ที่ได้รับการผสมเกสรก็จะพัฒนา กลายเป็นเมล็ดแก่ (mature seed) ซึ่งระยะเวลาตั้งแต่ดอกบานจนถึงเมล็ดแก่ใช้เวลาประมาณ 30 วัน เมล็ดของข้าวฟ่างที่แท้จริง คือผลชนิด caryopsis ซึ่งเป็นผลแห้ง (dry fruit) ไม่แตก มีเปลือกผลกับเปลือกเมล็ดเชื่อมติดกัน รูปร่างของเมล็ดข้าวฟ่างอาจมีลักษณะกลม รี รูปไข่ หรือรูปแบนหลังเต่า ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวฟ่าง เมล็ดข้าวฟ่างแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ เมล็ดขนาดใหญ่ เมล็ดขนาดกลาง และเมล็ดขนาดเล็ก น้ำหนักเมล็ด 1000 เมล็ด อาจมีน้ำหนักตั้งแต่ 10 ถึง 60 กรัม เมล็ดข้าวฟ่างมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ เปลือก (pericarp) 6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ต้นอ่อน (embryo) 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอาหารสะสม (endosperm) 84 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ประสิทธิ์, 2529)

### 2.3 ลักษณะพิเศษของข้าวฟ่าง

ส่วนที่อยู่เหนือดินของข้าวฟ่าง โดยเฉพาะส่วนที่มีสีเขียว ได้แก่ ใบและลำต้นจะมีสารประกอบที่เรียกว่า cyanogenic glycoside dhurrin ซึ่งถ้าถูก hydrolyse ด้วย enzyme บางชนิดแล้วก็จะให้ hydrocyanic acid (HCN) (James, 1983) ในปริมาณประมาณ 0.5 กรัม สามารถทำให้วัว

ตายได้ โดยปกติถ้ามีปริมาณ HCN อยู่ในข้าวฟ่างที่ตัดให้สัตว์กินสดมากกว่า 750 ppm. แล้วจะถือว่าอยู่ในขั้นอันตราย ปริมาณของกรด HCN นี้จะมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดหรือพันธุ์ และสภาวะการเจริญเติบโตของข้าวฟ่าง ต้นข้าวฟ่างหรือ tiller ที่ยังอ่อนอยู่มักมีสาร dhurrin ในปริมาณที่สูง ซึ่งส่วนมากจะมีอยู่ในใบ เมื่อต้นเจริญเติบโตขึ้นแล้วปริมาณของสารนี้จะลดน้อยลง ต้นข้าวฟ่างที่กระทบแล้งหรือที่เจริญขึ้นมาจากรatoon ที่ยังสดอยู่ และต้นข้าวฟ่างที่เพิ่งฟื้นขึ้นมาจากสภาพเครียด เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่าง ๆ มีส่วนที่จะทำให้มีการสะสมสารนี้มากจึงไม่ควรจะนำไปให้สัตว์กินสด นอกจากนี้การให้ปุ๋ยไนโตรเจนมักจะทำให้ HCN เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ลักษณะการเป็นพิษนี้จะถูกทำลายไปเมื่อนำส่วนต่าง ๆ ของลำต้นไปทำเป็นหญ้าแห้งหรือหมักก่อนที่จะนำไปให้สัตว์กิน

## 2.4 ประเภทของข้าวฟ่างหวาน

ประสิทธิ์ (2551) ได้แบ่งข้าวฟ่างหวานออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) พันธุ์ที่ใช้ทำน้ำเชื่อม (syrup varieties) เป็นพันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่ประกอบด้วยน้ำตาลที่ไม่ตกผลึก จึงนิยมใช้ทำน้ำเชื่อม
- 2) พันธุ์ที่ใช้ทำน้ำตาลทราย (sugar varieties) เป็นพันธุ์ข้าวฟ่างหวานที่ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส ที่ตกผลึกง่าย จึงนิยมใช้ทำน้ำตาลทราย

## 2.5 การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างหวาน

สุนทร (2525) ได้แบ่งการใช้ประโยชน์ของข้าวฟ่างหวานไว้ดังนี้

- 1) เมล็ดเป็นอาหารของคนและสัตว์ โดยใช้ผสมกับใบและฝักสดของกระถิน และมันสำปะหลังใช้เป็นอาหารสุกรและเป็ด ไก่ วัว ควาย ได้ดี
- 2) ลำต้นหลังจากคั้นเอาน้ำเชื่อมออกแล้ว ใช้สับเป็นท่อนยาว 5 เซนติเมตร ผสมกับใบกระถินยักษ์หมักเป็นอาหารวัว โดยให้อาหารชิ้นร่วมด้วย เช่น เมล็ดข้าวฟ่างหวาน ปลายข้าว และข้าวโพด เป็นต้น
- 3) เกสรใช้เลี้ยงผึ้ง โดยใช้น้ำหวานจากลำต้นข้าวฟ่างหวาน เป็นอาหารแก่ผึ้งด้วย ควบคู่กับเกสรจากต้นกระถินยักษ์ และเกสรดอกไม้ชนิดอื่นๆ
- 4) ลำต้นที่แก่เมื่อหีบเอาน้ำหวานออกแล้วหั่นเป็นท่อนผสมกับใบกระถินยักษ์ มูลวัวและน้ำปัสสาวะวัวหมักในถัง จะเป็นปุ๋ยหมักอย่างดี สำหรับใช้ปลูกผักสวนครัวหรือใช้ในไร่นาและยังสามารถผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ด้วย
- 5) ลำต้นที่แก่เมื่อหีบเอาน้ำออกแล้ว นำไปเป็นเชื้อเพลิงเคี้ยวน้ำตาลได้
- 6) น้ำหวานจากข้าวฟ่างหวานนำไปหมักทำแอลกอฮอล์ เหล้า และน้ำส้มสายชูได้

7) แอลกอฮอล์จากข้าวฟ่างหวาน สามารถใช้แทนน้ำมันเบนซิน ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์ รถจักรยานยนต์และเครื่องสูบน้ำได้

8) ลำต้นข้าวฟ่างหวานอัดให้แน่นเป็นแผ่นกันความร้อน สำหรับอาคาร ได้ดีกว่าฉนวนอื่น เพราะเปลือกอ้อยมีไขมันสูงกว่า

กฤตพลและประสิทธิ์ (2550) รายงานว่า ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ใหม่ (พันธุ์ มข. 40 ซึ่งปรับปรุงพันธุ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น) ที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 สัปดาห์ ประกอบด้วย วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้าถ่าน (ash), อินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM), เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF), เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) และลิกนิน (acid detergent lignin, ADL), โปรตีนหยาบ (crude protein) และไขมันหยาบ (ether extract) ในปริมาณแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และจากการประเมินค่าของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME, MJ/kg) ของส่วนลำต้นที่ตัดเมื่ออายุ 8-18 สัปดาห์ มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพิ่มสูงขึ้นตามอายุการตัด หากพิจารณาโดยรวมรวมกับการย่อยได้และการใช้ประโยชน์เลี้ยงโคขุนในสูตรอาหาร (ME = 10.5 MJ/kgDM); CP = 130 g/kgDM) แล้ว จะพบว่า อายุตัดไม่เกิน 10 สัปดาห์ จะให้คุณค่าทางโภชนาการสูงเทียบเคียงกับพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพสูงต่างๆ ไป (ตารางที่ 1 และ 2) โดยลำต้นข้าวฟ่างหวานสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นพืชอาหารสัตว์ได้ทั้งแบบแห้ง แบบสด และแบบหมัก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ มข. 40

อายุเก็บเกี่ยว (สัปดาห์, หลังปลูก)	องค์ประกอบทางเคมี								
	DM	Ash	OM	NDF	ADF	ADL	CP	EE	ME
	.....DM, %.....								
8	90.43	8.91	91.09	86.76	41.48	2.06	14.20	3.06	10.48
10	89.20	8.27	91.73	84.60	39.93	3.51	11.35	2.67	11.52
14	87.72	5.65	94.35	64.52	36.06	4.89	6.52	1.79	12.92
16	89.94	5.01	94.99	63.12	31.30	3.23	5.31	1.52	12.99
18	91.20	4.15	95.85	54.47	27.52	2.74	4.21	1.46	15.79

ที่มา: กฤตพลและประสิทธิ์ (2550)

ตารางที่ 2 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลองของข้าวฟ่างหวานพันธุ์มข.40

อายุการเก็บเกี่ยว (สัปดาห์, หลังปลูก)	%การย่อยได้จากวัตถุแห้ง		%การย่อยได้จากอินทรีย์วัตถุ	
	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง
8	46.63	65.09	45.09	46.80
10	45.78	65.99	44.09	65.61
14	47.49	58.82	47.02	58.74
16	48.96	62.33	48.68	62.63
18	56.64	68.09	56.78	68.74

ที่มา: กฤตพลและประสิทธิ์ (2550)

## 2.6 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวฟ่างหวาน

1) สภาพพื้นที่ ข้าวฟ่างสามารถปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวฟ่างให้ได้ผลผลิตสูง คือดินร่วนเหนียว (clay loam) หน้าดินลึก ระบายน้ำได้ดี และมีความสมบูรณ์สูง ความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่ควยกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานเท่าใดนัก ข้าวฟ่างเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH ตั้งแต่ 5.5-8.7 ทนต่อดินเค็ม แต่ดินที่ปลูกข้าวฟ่างได้ดีที่สุดคือ ดินที่เป็นกรดอ่อน ๆ pH ประมาณ 6.5

2) สภาพอากาศ ข้าวฟ่างเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ยาวนานกว่า 4 เดือนและมีปริมาณน้ำฝนตลอดช่วงฤดูปลูกไม่ต่ำกว่า 400 มิลลิเมตร โดยเฉพาะช่วงตั้งท้อง (booting stage) ไม่ควรจะมีฝนตก ในขณะที่ยอดข้าวฟ่างเปลี่ยนเป็นเมล็ดแข็งจนถึงก่อนการเก็บเกี่ยวไม่ควรจะมีฝนตก เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเชื้อราบนช่อดอก (วัชรี, 2542)

## 2.7 ลักษณะของข้าวฟ่างหวานที่ดี

กฤษฎา (2525) ได้กำหนดคุณสมบัติของข้าวฟ่างหวานที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้คือ

- 1) ควรจะมีลำต้นโตเพื่อสะดวกในการหีบนำตาล
- 2) ควรมีลำต้นที่แข็งแรง ไม่หักล้มง่ายเพราะต้นที่หักล้มจะทำให้ยุ่งยากในการเก็บเกี่ยวและเปอร์เซ็นต์น้ำตาลจะลดลงอย่างมาก
- 3) ควรมีลำต้นน่าน้ำและมีปริมาณน้ำตาลสูง
- 4) มีความต้านทานต่อโรคสูงซึ่งมีความสำคัญ โดยเฉพาะในสภาพเมืองไทยที่มีอากาศร้อนชื้น
- 5) มีอายุไม่ยาวเกินไปเพื่อให้เก็บเกี่ยวได้ก่อนฤดูฝนตกหนัก

- 6) ควรต้านทานต่อความแห้งแล้งเพราะสภาพฟ้าฝนมักไม่แน่นอน
- 7) ควรจะต้านทานต่อสภาพน้ำและกรณีที่มีฝนตกชุก
- 8) ถ้ามีวัตถุประสงค์ในการทำน้ำเชื่อม ควรจะมีคุณภาพของกลิ่นและสี ของน้ำเชื่อมที่ดี แต่ ถ้ามีวัตถุประสงค์ในการทำแอลกอฮอล์ซอ้นี้ก็ไม่จำเป็นมากนัก

## 2.8 ความก้าวหน้าทางด้านงานวิจัยของข้าวฟ่างหวาน

ข้าวฟ่างหวานจะให้ผลผลิตต้นสดสูงแต่ให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ (Coleman, 1972) จากการศึกษาของ Seetharama และ Prasada Rao ในปี 1968 พบว่าผลผลิตลำต้นของข้าวฟ่างหวานอยู่ในระหว่าง 1.66 ถึง 5.15 ตันต่อเฮกแตร์ ซึ่งในทางกลับกันข้าวฟ่างเมล็ดจะให้ผลผลิตเมล็ด (grain sorghum) สูงกว่าข้าวฟ่างหวาน (Eastin, 1972)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ทำการพัฒนาข้าวฟ่างหวานพันธุ์เคลเลอร์ (Keller) จนกระทั่งได้ข้าวฟ่างหวานสายพันธุ์ใหม่ให้ชื่อว่าพันธุ์ มข.40 ซึ่งให้ผลผลิตลำต้นสดเฉลี่ย 5-7 ตันต่อไร่ มีอายุเก็บเกี่ยว 90-100 วัน (25-35วันหลังดอกบาน) ให้น้ำหวานเฉลี่ย 2,500-3,500 ลิตรต่อไร่ สามารถนำไปผลิตเอทานอลได้ประมาณ 350-420 ลิตรต่อไร่

ประสิทธิ์และคณะ (2551) ประเมินผลผลิตข้าวฟ่างหวานในฤดูปลูกต่างๆ พบว่า ผลผลิตลำต้นสดของข้าวฟ่างหวานแตกต่างกันในแต่ละฤดู ฤดูที่ให้ผลผลิตลำต้นสูงสุดคือกลางฤดูฝนในช่วงเดือนกรกฎาคม นอกจากนี้ยังได้ศึกษาด้านต้นทุนการผลิตข้าวฟ่างหวานของเกษตรกร พบว่า ต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่เป็นค่าขนส่งข้าวฟ่างหวานจากแปลงปลูกเกษตรกรไปยังโรงงาน นิคม (2553) ได้ศึกษาด้านต้นทุนการผลิต ข้าวฟ่างหวานของเกษตรกรในสภาพไร่นา ดำเนินการทดลองที่จังหวัดอุดรธานีในฤดูฝนปี พ.ศ.2550 ใช้ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ มข.40 ซึ่งต้นทุนการผลิตข้าวฟ่างหวานของเกษตรกรมีต้นทุนรวมเท่ากับ 3,365.79 บาทต่อไร่ ผลผลิตลำต้นสดเฉลี่ย 5.13 ตันต่อไร่ ต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 656.10 บาทต่อตัน จากการวิเคราะห์โครงสร้างของต้นทุนการผลิต พบว่าค่าใช้จ่ายประกอบด้วย ค่าขนส่ง 29.27เปอร์เซ็นต์, ค่าไถเตรียมดิน 17.23 เปอร์เซ็นต์, ค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยว 14.70 เปอร์เซ็นต์, ค่าจ้างขนลำต้นสดขึ้นรถบรรทุก 11.96 เปอร์เซ็นต์, ค่าปุ๋ย 7.78เปอร์เซ็นต์, ค่าเช่าที่ดิน 5.29 เปอร์เซ็นต์, ค่าดอกเบี้ยเงินลงทุน 4.76 เปอร์เซ็นต์, ค่าแรงงานฉีดพ่นสารควบคุมวัชพืช 2.41 เปอร์เซ็นต์, ค่าเมล็ดพันธุ์ 1.97 เปอร์เซ็นต์, ค่าสารควบคุมวัชพืช 1.61 เปอร์เซ็นต์, ค่าแรงงานปลูกและใส่ปุ๋ย 1.61 เปอร์เซ็นต์, ค่าเสื่อมอุปกรณ์ทางการเกษตร 0.50 เปอร์เซ็นต์, ค่าซ่อมแซมอุปกรณ์ 0.33 เปอร์เซ็นต์, ค่าวัสดุ 0.32 เปอร์เซ็นต์, ค่าภาษีที่ดิน 0.15 เปอร์เซ็นต์ และ ค่าสารฆ่าแมลง 0.01 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนทั้งหมด ตามลำดับ

Somani and Taylor (2003) ได้รายงานผลการวิจัยในอินเดียและอัฟริกาใต้ไว้ว่า ข้าวฟ่างหวานต่างๆ ไป ให้ผลผลิตเมล็ดประมาณ 160-320 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตใบและยอดสด ประมาณ

1.6-2.4 ต้นต่อไร่ น้ำหนักลำต้น ประมาณ 6.4-8 ต้นต่อไร่ และปริมาณน้ำคั้นประมาณ 40-45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ลูกหีบ 2 ชุด แต่ถ้าหีบด้วยลูกหีบที่ใช้กับอ้อยของโรงงานน้ำตาลอาจได้ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH ของน้ำคั้นจะอยู่ระหว่าง 4.5-5.2 ขึ้นอยู่กับปริมาณ aconitic acid ค่าความหวานเท่ากับ 14-21 องศาบริกซ์ และค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.05-1.08 น้ำคั้นจะประกอบด้วยแป้งประมาณ 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของปริมาณซูโครสต่อน้ำตาลรีดิคัลเท่ากับ 10 : 1 ในข้าวฟ่างหวานพันธุ์ที่ใช้ทำน้ำตาล และเท่ากับ 3 : 1 ในข้าวฟ่างหวานพันธุ์ที่ใช้ทำน้ำเชื่อม

น้ำคั้นจากข้าวฟ่างหวานที่นำไปหมักเป็นเอทานอล สามารถคำนวณผลผลิตของเอทานอลได้จากสูตร  $(\text{brix}-3) \times \text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} \times 0.59$  (Somani and Taylor, 2003)

จากการทดลองในข้าวฟ่างหวาน Ratnavathi et al. (2003) รายงานว่าข้าวฟ่างหวานแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตต้นสดระหว่าง 30-50 ต้นต่อเฮกแตร์ ผลผลิตเมล็ด 0.8-2.0 ต้นต่อเฮกแตร์ ค่าความหวานอยู่ระหว่าง 16-23 องศาบริกซ์ แต่จากการทดสอบในข้าวฟ่างหวาน 15 สายพันธุ์ ของ National Research Center for Sorghum ที่เมือง Hyderabad รัฐ Andhra Pradesh ประเทศอินเดีย พบว่าข้าวฟ่างหวานทั้ง 15 สายพันธุ์ ให้ผลผลิตต้นสดอยู่ระหว่าง 27.85-48.44 ต้นต่อเฮกแตร์ ผลผลิตเมล็ด 1.50-2.91 ต้นต่อเฮกแตร์ ค่าความหวาน 14.2-17.7 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 3)



ตารางที่ 3 ผลผลิตเมล็ดและคุณภาพความหวานของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่างๆปลูกที่เมือง Hyderabad  
รัฐ Andhra Pradesh ประเทศอินเดีย

Genotype	Plant Height (cm)	Cane Yield (t ha <sup>-1</sup> )	Grain Yeild (t ha <sup>-1</sup> )	Extraction (%)	oBrix	TSS (%)	RS (%)	Sucrose (%)
RSSV59	317.8	48.48	2.24	50.1	17.7	15.1	1.5	13.6
RSSV46	239.9	47.68	2.80	42.5	16.2	13.1	1.7	11.3
RSSV24	343.5	45.67	1.50	46.7	16.1	13.1	1.4	11.2
RSSV45	347.6	45.48	2.01	39.1	16.8	14.1	1.8	11.9
RSSV57	317.1	45.29	2.48	45.7	16.6	13.7	1.3	12.0
RSSV44	276.4	44.49	2.63	43.1	15.9	13.2	1.3	12.3
SSV84	273.9	43.58	1.77	47.1	16.5	14.1	2.1	11.8
RSSV58	299.8	42.42	2.17	46.1	17.2	13.3	1.4	11.9
NSS219	282.2	40.51	2.05	42.3	16.6	14.4	2.0	12.0
NSS216	306.4	39.16	2.74	41.3	16.2	13.8	1.9	11.7
NSS218	279.7	38.57	2.24	39.4	16.9	13.3	2.2	10.6
NSS209	293.3	38.11	1.76	46.3	16.9	13.6	1.5	11.6
NARISS41	295.5	34.49	1.94	48.8	14.2	12.9	1.3	9.5
AKSS01-03	282.3	28.72	2.91	44.8	14.9	11.6	1.9	9.6
NARISS83	238.7	27.85	2.28	41.1	16.2	14.4	1.9	12.3

1. TSS = Total soluble sugar, 2. RS = Reducing sugar.

ที่มา: Ratnavathi et al. (2003)

Mandke and Kapoor (2003) แสดงให้เห็นว่าข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลได้ดีกว่าอ้อยเพราะว่าสามารถปลูกได้ปีละหลายครั้งในขณะที่อ้อยมีอายุการเก็บเกี่ยวนาน 1 ปี เต็ม (ตารางที่ 4)



**ตารางที่ 4** เปรียบเทียบผลผลิตของเอทานอลและคุณสมบัติด้านต่างๆ ระหว่างอ้อยกับข้าวฟ่างหวาน

องค์ประกอบ	อ้อย	ข้าวฟ่างหวาน
อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	10-11	3.5-4
ผลผลิตต้นสด (ตันต่อเฮกตาร์)	70-80	47-52 (ต่อครั้ง) (95-105 ตันต่อปี)
ปริมาณน้ำตาล	11-13	9-11
ผลผลิตเอทานอล (ลิตรต่อวัน)	68-74	55-65
ความต้องการน้ำในการเจริญเติบโต (%)	100	30-36 (%ของอ้อย)
ความต้องการปุ๋ย (%)	100	0-25 (%ของอ้อย)
ปริมาณกาก (%)	20-25	12-13 (ต่อครั้ง) (28-32 ตันต่อปี)

ที่มา: Mandke and Kapoor (2003)

## 2.9 การศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อข้าวฟ่างหวาน

จากการศึกษาเวลาปลูกข้าวฟ่างเพื่อใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ และผลผลิตต่อที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ในปี พ.ศ.2532 โดยใช้ข้าวฟ่างสีแดงพันธุ์ UT 203 B ซึ่งมีความหวานของลำต้นสูง และพันธุ์เฮกการ์หนัก (late hegari) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรใช้ปลูกโดยทั่วไป โดยกำหนดวันปลูก ต่าง ๆ กัน คือ 30 มิถุนายน 14 กรกฎาคม 2 สิงหาคม และ 16 สิงหาคม และเก็บเกี่ยวต้นข้าวฟ่างสดเมื่อข้าวฟ่างออกดอกแล้วประมาณ 1 เดือน ผลการทดลองพบว่า การปลูกแต่ละช่วงเวลาให้ผลผลิตต้นข้าวฟ่างสดแตกต่างกันอย่างชัดเจน การปลูกข้าวฟ่างในวันที่ 16 สิงหาคม ให้ผลผลิตต้นสดสูงทั้ง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ UT 203 B ให้ผลผลิต 10.35 ตัน/ไร่ และพันธุ์เฮกการ์หนักให้ผลผลิต 10.22 ตัน/ไร่ แต่ต่อจากการปลูกข้าวฟ่างที่ปลูกในวันที่ 30 มิถุนายน ยังคงได้รับน้ำฝนอย่างเพียงพอตลอดฤดูปลูก ทำให้ได้ผลผลิตต้นสดและเมล็ดสูงสุด โดยในข้าวฟ่างพันธุ์ UT 203 B และพันธุ์เฮกการ์หนัก ให้ผลผลิตต้นสด 4.33 และ 3.55 ตัน/ไร่ และให้ผลผลิตเมล็ด 309 และ 428 กก.ต่อไร่ ตามลำดับ (วัลลิภาและคณะ, 2534)

สมรรถและคณะ (2540) ศึกษาการปลูกข้าวฟ่างพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่สถานีทดลองพืชไร่สงขลา โดยปลูกในช่วงตั้งแต่กลางเดือนสิงหาคมถึงกลางเดือนตุลาคม 2537 พบว่า การปลูกกลางเดือนสิงหาคมถึงต้นเดือนกันยายน ให้ผลผลิตต้นสดรวมในข้าวฟ่างปลูกและข้าวฟ่างต่อไม่แตกต่างกันทางสถิติ และถ้าปลูกตั้งแต่กลางเดือนกันยายนจนถึงกลางเดือนตุลาคม ให้ผลผลิตต้นสดรวมข้าวฟ่างปลูกและข้าวฟ่างต่ออยู่ในระดับเดียวกัน แต่ผลผลิตยังน้อยกว่าการปลูกกลางเดือนสิงหาคมหรือต้นเดือนกันยายนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตต้นสดโดยเฉลี่ยของข้าวฟ่างปลูก

จะมากกว่าข้าวฟ่างต่อ 1 ประมาณ 44 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะความสูง ขนาดลำต้นของข้าวฟ่างปลูกตอนเก็บเกี่ยวมีขนาดสูงและใหญ่กว่าข้าวฟ่างต่อ

ประสิทธิ์และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาหาช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อปลูกข้าวฟ่างหวาน ป้อนโรงงานผลิตเอทานอลโดยทำการทดลองใน 3 สถานที่ ได้แก่ 1) พื้นที่ของโรงงานน้ำตาลขอนแก่น อำเภอสีดา จังหวัดขอนแก่น 2) พื้นที่หมู่บ้านหนองคำ ตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และ 3) พื้นที่ในหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนตุลาคม โดยปลูกข้าวฟ่างหวานพันธุ์ มข.40 ทุก 15 วัน ผลการทดลองจาก 17 วันปลูก ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 1 ตุลาคม 2548 พบว่าข้าวฟ่างหวานพันธุ์ มข.40 ที่ปลูกในช่วงดังกล่าวมีอายุดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่าง 60-73 วัน ให้ผลผลิตต้นสดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.32-8.24 ตันต่อไร่ ให้ค่าความหวานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18-21 องศาบริกซ์ ความสูงของลำต้นอยู่ระหว่าง 169-330 เซนติเมตร ขนาดลำต้นอยู่ในช่วง 1.07-1.83 เซนติเมตร ให้ผลผลิตเมล็ดอยู่ในช่วง 87-262 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ปริมาณน้ำคั้นอยู่ในช่วง 837-2,928 ลิตรต่อไร่ ผลผลิตต้นสดของข้าวฟ่างหวานจะแตกต่างกันไป 3 ช่วงคือ การปลูกในช่วงต้นปีในเดือนกุมภาพันธ์ จะให้ผลผลิตต้นสด ประมาณ 5.0-5.3 ตันต่อไร่ ต่ำกว่าการปลูกในช่วงเดือนมีนาคม ถึงต้นเดือนกรกฎาคม ซึ่งให้ผลผลิตต้นสดประมาณ 6.19-8.24 ตันต่อไร่ และจะเริ่มให้ผลผลิตต้นสดลดลงในวันปลูกตั้งแต่กลางเดือนกรกฎาคมเป็นต้นไป (3.61-6.22 ตันต่อไร่) ทั้งนี้เพราะข้าวฟ่างหวานพันธุ์นี้ไวต่อช่วงแสงการปลูกล่าช้าจะทำให้ออกดอกเร็วขึ้น ลำต้นเตี้ย ผลผลิตลำต้นสดจึงต่ำลง

## 2.10 การศึกษาการใช้ปุ๋ยกับข้าวฟ่าง

### 1) การดูใช้ธาตุอาหารของข้าวฟ่างในการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ

ประสิทธิ์ (2529) ได้แบ่งระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวฟ่างได้เป็น 10 ระยะ โดยในแต่ละระยะ มีความต้องการใช้ธาตุอาหารดังนี้

ระยะ 0 เป็นระยะงอก (emergence) ได้แก่ระยะที่พืชเพิ่งจะ โผล่พ้นดินขึ้นมา ตามปกติจะเป็นเวลา 3-10 วันหลังปลูก ระยะเวลาในการงอกขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน อุณหภูมิของดิน ความลึกในการปลูกและความแข็งแรงของต้นกล้า ในระยะนี้พืชจะอาศัยอาหารที่สะสมอยู่ในเมล็ดในการเจริญเติบโต

ระยะ 1 เป็นระยะ 3 ใบ (collar of 3 rd leaf visible) การนับให้นับใบที่ข้อต่อระหว่างตัวใบกับกาบใบ โผล่ออกมาให้เห็นแล้ว ระยะนี้เยื่อเจริญปลายยอด (growing point) ยังอยู่ใต้ผิวดิน

ระยะ 2 เป็นระยะ 5 ใบ (collar of 5 th leaf visible) ต้นข้าวฟ่างจะมีใบ โผล่ออกมาเต็มที่ 5 ใบ ใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์หลังงอก ระยะนี้รากจะเจริญอย่างรวดเร็ว ระยะนี้เยื่อเจริญยังอยู่ใต้ดิน

การสูญเสียใบจะทำให้ต้นตาย พืชจะมีการฟื้นตัวได้เร็วกว่าระยะ 3 ใบ การเจริญเติบโตที่จะเป็นไปหลังจากนี้ของต้นพืชจะกำหนดในระยะนี้

ระยะ 3 เป็นระยะเริ่มสร้างช่อดอก (growing point differentiation) หลังจากงอกประมาณ 30 วันเมื่อเจริญที่ยอดจะเปลี่ยนจากการสร้างใบและลำต้นเป็นสร้างช่อดอก ระยะนี้จะเป็นระยะที่เจริญเติบโตและดูดธาตุอาหารในอัตราสูง การมีธาตุอาหารและน้ำพอเพียง จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการทำให้พืชเจริญเติบโตเต็มที่

ระยะ 4 เป็นระยะใบธง (final leaf visible in whorl) หลังจากสร้างช่อดอก ลำต้นจะยึดตัวและใบก็จะเจริญอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งใบธงโผล่ขึ้นมาให้เห็น เมื่อถึงระยะนี้ใบจะเจริญเติบโตเต็มที่ เหลือที่ยังโผล่ไม่หมด 3-4 ใบ พื้นที่ใบจะมีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ การรับแสงจะสูงสุด การเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารยังอยู่ในอัตราสูง ช่อดอกกำลังเจริญเติบโต ใบล่างจะหลุดไป 2-5 ใบ การนับใบจากระยะนี้ควรนับจากใบธง ถึงระยะนี้การสะสมน้ำหนักแห้งจะได้ประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด แต่การดูดธาตุอาหารจะถูกดูดขึ้นมาว่านี้มาก โปแตสเซียมจะถูกดูดขึ้นมาแล้วมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์

ระยะ 5 เป็นระยะตั้งท้อง (booting stage) ระยะนี้ใบจะเจริญออกมาหมด พื้นที่ใบและการรับแสงสูงสุด ช่อดอกจะเจริญเกือบเต็มขนาดแต่ยังอยู่ในกาบใบธง ลำต้นจะไม่ยึดอีกต่อไป แต่ก้านช่อดอกจะยืดยาวขึ้นทำให้ช่อดอกแทงพ้นกาบใบธงขึ้นมา การเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารยังรวดเร็วอยู่ ฉะนั้นการขาดน้ำและอันตรายจากสารเคมีกำจัดวัชพืช อาจทำให้ช่อดอกโผล่ไม่พ้นใบธงทำให้ผสมเกสรไม่หมดทั้งช่อ

ระยะ 6 เป็นระยะดอกบาน (half-bloom) ก้านช่อดอกจะยืดยาวขึ้น ส่งผลให้ช่อดอกโผล่พ้นกาบใบธงออกมา ระยะ half-bloom ถือเป็นระยะที่ครึ่งหนึ่งของแปลงมีดอกบาน อาจจะมีบานทั้งช่อหรือบานบางส่วน ดอกข้าวฟ่างจะบานจากปลายช่อดอกมาหาโคนช่อ ปกติจะใช้เวลาประมาณ 4-9 วัน ส่วน half-bloom ของแต่ละต้น คือระยะที่ดอกบานลงมาครึ่งช่อ เมื่อถึงระยะนี้การสะสมน้ำหนักแห้ง จะได้ประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดธาตุอาหารจะมีประมาณ 70, 60, และ 80 เปอร์เซ็นต์สำหรับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมตามลำดับ

ระยะ 7 เป็นระยะนํ้านม (milky stage หรือ soft dough) ในระหว่างดอกบานจนถึงเมล็ดเป็นนํ้านม เป็นช่วงที่เมล็ดเจริญอย่างรวดเร็ว ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักแห้งของเมล็ดจะมีการสะสมใน ระยะนี้ หลังจากดอกบาน น้ำหนักต้นจะยังเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย แต่เนื่องจากอัตราการสร้างเมล็ดเป็นไปอย่างรวดเร็ว มีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากลำต้นไปยังเมล็ด ทำให้น้ำหนักของลำต้นลดลง ส่วนที่เคลื่อนย้ายไปจากลำต้นจะมีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด ระยะนี้ใบล่างจะหลุดจากต้นไปอีก เหลือใบที่ทำหน้าที่ได้ประมาณ 8-12 ใบ

ระยะ 8 เป็นระยะแป้งแข็ง (hard dough) เมื่อข้าวฟ่างเจริญถึงระยะแป้งแข็ง การสะสม น้ำหนักแห้งในเมล็ดจะเสร็จสิ้นไปแล้วประมาณ 3/4 น้ำหนักแห้งของลำต้นจะลดลงต่ำสุด การดูด ธาตุน้ำอาหารจะไม่ดำเนินต่อไปอีก ใบที่แก่แล้วจะร่วงหล่นมากขึ้น

ระยะ 9 เป็นระยะแก่ (physiological maturity) ระยะนี้เป็นระยะที่ต้นพืชมีน้ำหนักแห้งสูง ที่สุด ระยะเวลามากจากดอกบานถึงแก่เต็มที่ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม ตามปกติจะกินเวลา ประมาณ 1/3 ของเวลาจากปลูกถึงแก่เต็มที่ ความชื้นในเมล็ดจะแตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์และ สภาพแวดล้อม ปกติอยู่ระหว่าง 25-35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแก่เต็มที่แล้ว ใบที่เหลืออาจจะยังเขียวอยู่หรือ อาจจะแห้งเหี่ยวไปอย่างรวดเร็ว ถ้าอุณหภูมิหรือความชื้นเหมาะสม จะมีการแตกแขนงตามข้อบนๆ น้ำหนักของลำต้นอาจจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อใกล้จะแก่เต็มที่

การดูดธาตุน้ำอาหารจะเริ่มขึ้นก่อนการสะสมน้ำหนักแห้งเพราะธาตุน้ำอาหารเป็นสิ่งจำเป็น สำหรับการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้ง ส่วนใหญ่ของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสใน เมล็ดจะได้มาจากการเคลื่อนย้ายมาจากลำต้น แต่โพแทสเซียมจะมีเป็นส่วนน้อย ปริมาณที่ เคลื่อนย้ายมาขึ้นอยู่กับปริมาณของแต่ละธาตุที่มีอยู่ในต้นพืช

## 2) การใช้ปุ๋ยเคมีกับข้าวฟ่าง

คำริและคณะ (2532) ศึกษาการใช้หินฟอสเฟตและการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตสำหรับการปลูก พืชหมุนเวียนข้าวฟ่างกับถั่วลิสงที่สำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัดขอนแก่น ในปี พ.ศ.2529-2532 พบว่าหินฟอสเฟต อัตรา 200 กิโลกรัม ต่อไร่ ใส่พร้อมไถแปรเพียงครั้งเดียว สำหรับการปลูกข้าว ฟ่างปีแรกร่วมกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมอัตราที่แนะนำ 10 กิโลกรัมในโตรเจน และ 10 กิโลกรัม P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ต่อไร่ ทุกครั้งเมื่อปลูกข้าวฟ่าง เป็นค่ารับที่ทำการรายได้รวมทั้งสี่ปีสูงสุดถึง 5,407 บาทต่อไร่ ส่วนแปลงใส่ปุ๋ยฟอสเฟตละลายน้ำเร็ว การใส่ปุ๋ยเคมีสูตรที่ได้แนะนำ 10-10-10 เฉพาะ ข้าวฟ่าง ในปีแรกและปีที่สาม สามารถเพิ่มรายได้รวมทั้งสี่ปีสูงสุดถึง 6,897 บาทต่อไร่

การศึกษาผลตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของข้าวฟ่างสายพันธุ์ UT 31-1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี พบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ให้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 828 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าสายพันธุ์ UT 31-1 ซึ่งผลผลิตเฉลี่ย 779 กก.ต่อไร่และพบว่าข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ถึงอัตรา 20 กิโลกรัมในโตรเจน ต่อไร่ ปุ๋ยไนโตรเจนช่วย ทำให้ข้าวฟ่างมีน้ำหนักช่อเพิ่มขึ้นและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น สำหรับฟอสฟอรัส ผลการ ทดลองไม่พบว่า ข้าวฟ่างมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส (จักรินทร์และคณะ, 2535 ก)

จักรินทร์และคณะ (2535 ข) ศึกษาอัตราและวิธีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวฟ่างใน การตัดเป็นต้นสด ได้ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี โดยอัตราปุ๋ยคือ 9 และ 18 กิโลกรัม ไนโตรเจนต่อไร่ วิธีการใส่คือ 1) ใส่ทั้งหมดพร้อมปลูก 2) ใส่ปุ๋ยทั้งหมดเมื่อข้าวฟ่างอายุ 20 วัน 3) ใส่

1/2 N พร้อมปลูกและอีก 1/2 N เมื่อข้าวฟ่างอายุ 20 วัน 4) ใส่ 1/3 N พร้อมปลูก 1/3 N เมื่อข้าวฟ่างอายุ 20 วัน และ 1/3 N เมื่อข้าวฟ่างอายุ 40 วัน 5) ใส่ 1/3 N พร้อมปลูก และ 2/3 N เมื่อข้าวฟ่างอายุ 20 วัน พบว่าทั้งอัตราและวิธีการใส่ปุ๋ย ไม่ทำให้ข้าวฟ่างมีน้ำหนักดินสดแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่า การแบ่งใส่ปุ๋ยในโตรเจนออกเป็น 3 ครั้ง ตามวิธีการที่ 4 ให้น้ำหนักดินสดสูงสุดและผลการทดลอง ไม่พบว่า มีอิทธิพลของผลตกค้างของปุ๋ยต่อข้าวฟ่างต่อ

หรั่งและคณะ (2523) พบว่า ข้าวฟ่างจะแสดงผลตอบสนองต่อปุ๋ยในโตรเจน แต่สำหรับปุ๋ยฟอสเฟตนั้น ข้าวฟ่างจะแสดงอาการเมื่อดินมีฟอสฟอรัสต่ำ Narain et al. (1977) รายงานว่า การปลูกข้าวฟ่างหวานร่วมกับถั่วมะแฮะ สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีได้มาก โดยเฉพาะปุ๋ยในโตรเจน

Khan et al. (1997) รายงานว่า จำนวนลำในข้าวฟ่างหวานที่มีการไว้คอและปลูกใหม่มีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้ปุ๋ยในโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น เมื่อให้ปุ๋ย 400 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ พบว่าจำนวนลำสูงที่สุดคือ 114.8 และ 118.4 ในข้าวฟ่างที่ไว้คอ และปลูกใหม่ตามลำดับ และจำนวนลำจะลดลงเมื่อมีการตัดบ่อยมากขึ้น ส่วนความสูงก็ให้ผลในทางบวกกับการให้ปุ๋ยในโตรเจนโดยมีความสูงคือ 268.3 และ 186.6 เซนติเมตร ในข้าวฟ่างไว้คอและข้าวฟ่างปลูกใหม่ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งก็จะจะเป็นไปในทางเดียวกับผลผลิตดินสดคือผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อให้ปุ๋ยเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มความถี่ของการตัด

Raheja and Krantz (1958) พบว่าในสภาพที่มีความชื้นเหมาะสม และให้ปุ๋ยเพียงพอ ข้าวฟ่างควรใช้ปุ๋ยในโตรเจนสูงสุด 4 ปอนด์/เอเคอร์/วัน ในช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์ Roy and Wright (1969) รายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยในโตรเจนและปุ๋ยฟอสเฟตอย่างเพียงพอแล้ว ข้าวฟ่างจะควรใช้ปุ๋ยในโตรเจน 149 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 70 เปอร์เซ็นต์พบที่เมล็ด

การควรใช้ปุ๋ยฟอสเฟตของข้าวฟ่าง จะเพิ่มมากขึ้นในระยะติดเมล็ด ซึ่งตรงข้ามกับการควรใช้ปุ๋ยในโตรเจนที่จะลดลง Quinby et al. (1958) พบว่า ข้าวฟ่างมีการควรใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 57 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ นอกจากนี้ Roy and Wright (1969) พบว่า ข้าวฟ่างมีการควรใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 62 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 80 เปอร์เซ็นต์สะสมที่เมล็ด ส่วนการควรใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมจะมีมากในระยะแรก ข้าวฟ่างจะควรใช้ปุ๋ยโปแตสเซียม 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออายุ 43 วัน และที่เหลือพบในช่วงอายุ 60-70 วัน ปริมาณปุ๋ยโปแตสเซียมที่ข้าวฟ่างควรใช้ 134 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แต่อย่างไรก็ตามการควรใช้ธาตุอาหารของข้าวฟ่างหวานจะขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

### 3) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับข้าวฟ่าง

บุญอ้อม (2535) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยพืชสดต่อการผลิตข้าวฟ่างในดินร่วนทราย ที่สถานีทดลองพืชไร่มุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร พบว่าความสูง น้ำหนัก 1,000 เมล็ดและผลผลิตของข้าวฟ่างที่ปลูกตามหลังปอเทืองสูงกว่าที่ปลูกตามหลังโซนอ์ฟริกกัน และที่ปลูกโดยไม่มีปุ๋ยพืชสดข้าวฟ่างที่ปลูกตามหลังปอเทืองให้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 461.8 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าที่ปลูกตามหลังโซนอ์ฟริกกัน และไม่มีปุ๋ยพืชสด ซึ่งทั้งสองวิธีการให้ผลผลิตเมล็ดข้าวฟ่าง 360.5 และ 216.5 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ และปุ๋ยพืชสดปอเทืองร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 4 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวฟ่างใกล้เคียงกับปุ๋ยไนโตรเจน 8 กิโลกรัมต่อไร่

จากการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยพืชสดต่อผลผลิตข้าวฟ่างลูกผสม โดยใช้ปอเทืองโดกลบเป็นปุ๋ยพืชสด พร้อมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ 0-0-0, 0-10-10, 10-10-10, และ 5-10-10 พบว่าปุ๋ยพืชสดจากการโดกลบปอเทือง 1,030 กิโลกรัมต่อไร่ มีอิทธิพลช่วยในการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวฟ่างสูงกว่าที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยเคมีอัตราเพียง 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในโตรเจนร่วมกับปุ๋ยพืชสดสามารถให้ผลผลิตข้าวฟ่างสูงสุด 507 กิโลกรัมต่อไร่ แม้ว่าจะเพิ่มไนโตรเจนสูงขึ้นถึง 10 กิโลกรัมต่อไร่ ก็จะไม่ทำให้ผลผลิตสูงแตกต่างกันทางสถิติ ปุ๋ยพืชสดมีแนวโน้มช่วยลดปริมาณการใช้ธาตุไนโตรเจนได้ครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุดที่ทำการศึกษา (ประคิษฐ์และคณะ, 2532 ก)

ประคิษฐ์และคณะ (2532 ข) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับพืชตระกูลถั่วกับข้าวฟ่าง พบว่าถั่วพรางถึงแม้จะให้น้ำหนักต้นสดต่ำกว่าถั่วพุ่มแต่ให้ประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุและผลผลิตข้าวฟ่างได้ดีกว่าถั่วพุ่มและปอเทือง ส่วนการปล่อยวัชพืชหญ้าประเภทกระดุมให้เติบโตแล้วโดกลบ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวฟ่างได้สูงสุดเช่นเดียวกับถั่วพราง น้ำหนักต้นสดวัดได้สูงสุด 5-6 ต้นต่อไร่

จากการศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์ทางการเกษตรและปุ๋ยเคมีเพื่อปรับปรุงดิน การเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวฟ่าง พบว่าการใส่มูลไก่ทำให้ข้าวฟ่างมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวฟ่างเมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดินชนิดต่างๆ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ มูลไก่ ปุ๋ยเคมี มูลวัว แกลบเผา ต้นถั่วพุ่ม แกลบดิบ ฟางข้าว ตามลำดับ (สุรศักดิ์และอานวยศิลป์, 2532)

ประสารและคณะ (2532) ศึกษาถึงผลของปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยพืชสดที่มีต่อการเจริญเติบโต คุณภาพและผลผลิตข้าวฟ่าง ทำการศึกษาที่ศูนย์สาธิตไทย-เยอรมัน อ.เมือง จ.ลพบุรี พบว่าปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยพืชสดมีผลร่วมกันต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวฟ่าง ถ้าไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนการปลูกถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดในระบบการปลูกข้าวฟ่างแซมด้วยถั่วจะให้ผลผลิตข้าวฟ่างสูงกว่าการปลูกข้าวฟ่างอย่างเดียวที่ไม่ใส่ปุ๋ยพืชสด และที่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ การปลูกถั่ว

หุ่่มเป็นปุ๋ยพืชสดให้ผลผลิตข้าวฟ่างสูงสุด 732 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าข้าวฟ่างที่ไม่ใส่ปุ๋ยพืชสด ซึ่งให้ผลผลิต 611 กิโลกรัมต่อไร่ ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวฟ่างที่ไม่ใส่ปุ๋ยพืชสดและไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้ผลผลิตต่ำสุดเพียง 204 กิโลกรัมต่อไร่

หริ่งและคณะ (2524) รายงานว่าข้าวฟ่างเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิต 384 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อใช้ถั่วหุ่่มและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดจะเพิ่มผลผลิตข้าวฟ่าง 27 และ 36 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อใช้ถั่วหุ่่มและถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 5 กิโลกรัมต่อไร่ จะเพิ่มผลผลิตข้าวฟ่าง 36 และ 53 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลผลิตเมล็ดแห้งข้าวฟ่าง มีความแตกต่างกันเมื่อใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 5 และ 10 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยเคมีไนโตรเจน

ประสารและคณะ (2531) พบว่า การใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 5 และ 10 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มว่ามีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งของข้าวฟ่าง รวมทั้งมีแนวโน้มว่า มีการออกดอกเร็วขึ้น ความแตกต่างของปริมาณธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยที่อัตราต่างๆ กัน มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของผลผลิตในระยะแรก เพราะมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวฟ่าง ส่วนการสลายตัวของปุ๋ยพืชสด จะมีผลต่อองค์ประกอบของผลผลิตในช่วงท้ายๆ ของอายุข้าวฟ่าง และจะมีผลต่อผลผลิตของข้าวฟ่าง

El-Maghraby and Abou Bakr (1997) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยหมักจากขยะเพิ่มเข้าไปในการปลูกข้าวฟ่างหวานจะสามารถเพิ่มจำนวนใบต่อต้น พื้นที่ใบ ความสูง น้ำหนักแห้งของใบ ขนาดลำต้น ปริมาณราก ประสิทธิภาพการรับแสง และอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มพืช นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักจากขยะเพิ่มขึ้นจากอัตรา 0 เป็น 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลผลิตแตกต่างทางสถิติเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ลำต้น bagasse น้ำเชื่อม น้ำคั้นและ TSS % (Total Soluble Solids) ในน้ำคั้น