



## รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมจากข้าวเจ้าด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้  
เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก

Improvement of Aromatic Glutinous Rice from Non-glutinous Rice by  
Using Marker-assisted Backcrossing

โดย

วราภรณ์ แสงทอง และคณะ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556

รหัสโครงการวิจัย มจ. 1-55-003



## รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมจากข้าวเจ้าด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมาย  
โมเลกุลช่วยในการคัดเลือก

Improvement of Aromatic Glutinous Rice from Non-glutinous Rice by  
Using Marker-assisted Backcrossing

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย

ประจำปี 2555

จำนวน 350,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นางสาววราภรณ์ แสงทอง

ผู้ร่วมโครงการ

นายประวิตร พุทธานนท์

นายสุภกัตร์ ปัญญา

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30 / 5 / 2555

### คำนิยม

ขอขอบพระคุณสำนักวิจัย และส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้ทุนวิจัย แก่คณะผู้วิจัยในการทำการวิจัยในปีงบประมาณ 2555 และกรรมการข้าวที่มอบเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อนำมาใช้ในโครงการวิจัย จนโครงการวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี



## สารบัญ

|                    | หน้า |
|--------------------|------|
| สารบัญตาราง        | ข    |
| สารบัญภาพ          | ค    |
| บทคัดย่อ           | 1    |
| ABSTRACT           | 2    |
| คำนำ               | 4    |
| วัตถุประสงค์       | 6    |
| การตรวจเอกสาร      | 7    |
| อุปกรณ์ และวิธีการ | 14   |
| ผลการวิจัย         | 20   |
| สรุปผลการวิจัย     | 24   |
| เอกสารอ้างอิง      | 25   |



## สารบัญตาราง

|                                                                        | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 1 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวของประเทศไทย | 5    |
| ตารางที่ 2 แสดงจำนวนตำแหน่งของ background marker                       | 21   |



## สารบัญภาพ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 8    |
| ภาพถ่ายเจลภายใต้แสง UV ของลักษณะของแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องหมายโมเลกุล Glu-23 ตรวจสอบยีนโนไทป์ของต้นข้าว (M) คือแถบดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 bp ladder (1) ต้นข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่มีโนไทป์เป็น wxwx (2) ต้นข้าว F1 ที่มีโนไทป์เป็น Wxwx และ (3) ต้นข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีโนไทป์เป็น WxWx                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |
| ภาพที่ 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 8    |
| ลักษณะเมล็ดข้าวสารของพันธุ์ข้าวในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ให้เป็นข้าวเหนียวด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก (a) ข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และ (b) ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ ส่วน (c) สายพันธุ์ข้าวเจ้า (WxWx) และ (d) สายพันธุ์ข้าวเหนียว (wxwx) ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |
| ภาพที่ 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 10   |
| แสดงขนาดแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV เพื่อเปรียบเทียบแถบดีเอ็นเอจากผลผลิต PCR เมื่อใช้ ESP, IFAP, INSP และ EAPA ซึ่งเป็นเครื่องหมายโมเลกุลยีนหอมของข้าว (fragrance gene) (Bradbury <i>et al.</i> , 2005) เป็นไพรเมอร์ และมีดีเอ็นเอแม่พิมพ์ คือ ดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์ต่างๆ ถ้าข้าวพันธุ์ใดมีอัลลีลหอม ( <i>fgr</i> ) จะมีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp แต่ถ้าข้าวที่ไม่มีอัลลีล หอม ( <i>Fgr</i> ) จะไม่มีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp โดยที่ M คือแถบดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 bp ladder พบว่าเลนที่ 1 คือแถบดีเอ็นเอของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6, เลนที่ 3 ข้าวสายพันธุ์ BC <sub>3</sub> F <sub>1</sub> -501-6211, เลนที่ 4 ข้าวสายพันธุ์ BC <sub>4</sub> F <sub>1</sub> -501-6211-2320, เลนที่ 5 ข้าวสายพันธุ์ BC <sub>5</sub> F <sub>1</sub> -501-6211-2320-414, เลนที่ 6 สายพันธุ์ BC <sub>3</sub> F <sub>3</sub> -501-6211-1955 (hd1hd1), เลนที่ 7 ข้าวสายพันธุ์ BC <sub>3</sub> F <sub>3</sub> -501-6211-2008, เลนที่ 8 ข้าวสายพันธุ์ BC <sub>3</sub> F <sub>1</sub> -84-448-7237 และเลนที่ 11 ข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัลลีลหอม ( <i>fgr</i> ) เพราะมีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp แต่เลนที่ 2 คือข้าวพันธุ์ Taichung 65 เลนที่ 9 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 และเลนที่ 10 ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 ไม่มีอัลลีล หอม ( <i>fgr</i> ) จึงไม่มีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp |      |

# การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมจากข้าวเจ้าด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล ช่วยในการคัดเลือก

## Improvement of Aromatic Glutinous Rice from Non-glutinous Rice by Using Marker-assisted Backcrossing

วารารณ แสงทอง<sup>1</sup> ประวิตร พุทธานนท์<sup>2</sup> และสุภกักร์ ปัญญา<sup>2</sup>

Varaporn Sangtong<sup>1</sup>, Prawit Puddhanon<sup>2</sup>, and Supak Phanya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

<sup>2</sup>ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup>Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290

<sup>2</sup>Agronomy Department, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 57 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกข้าวเหนียว 18 ล้านไร่ซึ่งคิดเป็น 31 % ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด. พันธุ์ข้าวเหนียวไม่ไวต่อช่วงแสงต้นเตี้ยที่ชาวนานิยมปลูกมีเพียง 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ สันป่าตอง 1 กข 10 และแพร่ 1 ในขณะที่ข้าวเจ้าพันธุ์มีมากมาย ดังนั้นโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้าวเจ้าพันธุ์ดีจำนวน 2 พันธุ์ คือ ข้าวเจ้าพันธุ์ ชัยนาท 80 และ สุพรรณบุรี 1 ซึ่งมีผลผลิตสูง ต้นเตี้ย ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้านทานต่อโรคและแมลงที่สำคัญของข้าว มาเป็นพันธุ์รับ เพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้เป็นข้าวเหนียวหอมด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือกซึ่งเป็นการคัดเลือกในระดับยีนไทป์หรือยีนทำให้การคัดเลือกมีความถูกต้อง แม่นยำ และช่วยลดระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์ให้สั้นลง การทดลองเริ่มจากในฤดูแรกผลิตเมล็ด  $F_1$  โดยผสมข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 80 ซึ่งใช้เป็นพันธุ์รับกับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ซึ่งใช้เป็นพันธุ์รับ ผลการทดลองพบว่าผลิตเมล็ด  $F_1$  ของกลุ่มผสมระหว่างชัยนาท 80 กับ กข 6 ได้จำนวน 19 เมล็ด ส่วนกลุ่มผสมระหว่าง สุพรรณบุรี 1 กับ กข 6 ได้จำนวน 82 เมล็ด ในฤดูที่ 2 ผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$  ของกลุ่มผสมข้าวเจ้าชัยนาท 80 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้จำนวน 57 เมล็ด และผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$  ของกลุ่มผสมข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้จำนวน 147 เมล็ด ฤดูที่ 3 ผลิตเมล็ด  $BC_2F_1$  ของกลุ่มผสม ชัยนาท 80 x กข 6 ได้จำนวน 24 เมล็ด และ

สุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 97 เมล็ด และในฤดูที่ 4 ผลิดเมล็ด  $BC_3F_1$  ของคู่ผสม ชัยนาท 80 x กข6 จำนวน 32 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 226 เมล็ด นอกจากนี้พบว่า background markers จำนวน 8 ตำแหน่งที่สามารถแยกความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 80 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ได้ และ background markers จำนวน 7 ตำแหน่งที่สามารถแสดงความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ได้

คำสำคัญ : ข้าวเหนียว, ข้าวเจ้า, ผสมกลับ และเครื่องหมายโมเลกุล

### ABSTRACT

Thailand has about 57 million rais of land grown to rice, 18 million of which have been planted to glutinous rice, comprising about 31% of the total area. There have only been about 3 rice varieties which farmers preferred to cultivate: Sanpatong 1, RD6 and Phrae 1 among the many good varieties of non-glutinous rice varieties, This project aimed to use two good glutinous rice varieties (Chainat 80 and Suphanburi 1) which are high yielding, dwarf, non-photoperiod sensitive and high resistance to disease and pests which are considered important characteristics of the rice plant as receiver plant in order to improve the rice varieties to become sweet glutinous by molecular marker-assisted backcrossing to select genotypes or genes that would lead to proper selection of recurrent parents and at the same time, reduce the time period of improvement. The experiment was started initially with the production of  $F_1$  seeds by crossing Suphanburi 1 and Chainat 80 which were used as donor parents with glutinous RD6 as recurrent parents. Results showed that 19  $F_1$  seeds were produced by the cross between Chainat 80 and RD 6 while 82 seeds resulted from the cross between Suphanburi 1 and RD6. In the second planting season, 57  $BC_1F_1$  seeds resulted from the cross between non-glutinous Chainat 80 and glutinous RD6 while 147 seeds were produced from the cross between non-glutinous Suphanburi 1 and glutinous RD6. In the third planting season produced  $BC_2F_1$  seeds from the cross between Chainat 80 x RD6 and Suphanburi 1 x RD6 result showed that 24 and 97 seed respectively. Finally in fourth planting season, 32  $BC_3F_1$  seeds resulted from the cross between non-glutinous Chainat 80 and glutinous RD6 while 226 seeds were produced from the cross between non-glutinous Suphanburi 1 and glutinous RD6. Aside from these, results also showed that 8 background markers were located in

loci positions which could separate the genetic differences between non-glutinous Chainat 80 and glutinous RD6 and 7 background markers which were able to show the genetic difference between non-glutinous Suphanburi 1 and RD6.

Key words: glutinous rice, non-glutinous rice and molecular markers0



### คำนำ (Introduction)

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 57 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกข้าวเจ้า 39 ล้านไร่ คิดเป็น 69 % และเป็นพื้นที่ปลูกข้าวเหนียว 18 ล้านไร่ คิดเป็น 31 % ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด พันธุ์ข้าวเจ้าที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวไวแสงมีพื้นที่ปลูก 18 ล้านไร่คิดเป็น 31 % ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ดีจำนวนมากที่มีผลผลิตสูง ไม่ไวต่อช่วงแสงจึงปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง มีความต้านทานต่อโรค และแมลงศัตรูข้าว เช่น ข้าวเจ้าพันธุ์ สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 2, สุพรรณบุรี 3, สุพรรณบุรี 60, สุพรรณบุรี 90, ปทุมธานี 1, ปทุมธานี 60, ชัยนาท 1, ชัยนาท 80 และ กข 39 ฯ ซึ่งพันธุ์ข้าวเจ้าเหล่านี้ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ และผ่านการทดสอบสายพันธุ์ตามหลักวิชาการจากกรมการข้าวมาเป็นอย่างดี จึงทำให้ชาวนาที่ปลูกข้าวเจ้ามีโอกาสที่จะเลือกพันธุ์ข้าวเจ้าที่จะปลูกให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ของตนได้ ส่วนพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นข้าวไวแสงมีพื้นที่ปลูก 15 ล้านไร่ คิดเป็น 83 % ของพื้นที่ปลูกข้าวเหนียวทั้งหมด และคิดเป็น 26 % ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดของประเทศ ข้าวเหนียวที่มีพื้นที่ปลูกรองจากพันธุ์ กข 6 คือ กข 10 เป็นข้าวเหนียวไม่ไวแสงมีพื้นที่ปลูก 2 ล้านไร่ซึ่งคิดเป็น 11 % ของพื้นที่ปลูกข้าวเหนียวทั้งหมด ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์อื่นๆ มีพื้นที่ปลูกเพียงร้อยละ 6 ของพื้นที่ปลูกข้าวเหนียวทั้งหมด พันธุ์ข้าวเหนียวอื่นๆ ได้แก่ ข้าวเหนียวสันป่าตองเป็นข้าวไวแสง กข 8 เป็นข้าวไวแสง ส่วนข้าวเหนียวแพร่ 1 และสันป่าตอง 1 เป็นพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง และพันธุ์พื้นเมืองเป็นข้าวไวต่อช่วงแสง (กรมวิชาการเกษตร, 2546)

ชาวนาสวนใหญ่ในเขตภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะปลูกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ไว้เพื่อบริโภค เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวเหนียวที่ข้าวสุกอ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม แต่ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นข้าวที่ไวต่อช่วงแสงจึงปลูกได้เฉพาะฤดูนาปีเท่านั้นไม่สามารถปลูกในฤดูนาปรังได้ นอกจากนี้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ไม่ต้านต่อโรค และแมลงส่วนใหญ่ของข้าว พันธุ์ข้าวเหนียวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงที่ชาวนานิยมปลูกไว้ขายมีเพียง 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ สันป่าตอง 1, กข 10 และแพร่ 1 ดังนั้นชาวนาที่ปลูกข้าวเหนียวจึงขาดแคลนพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีผลผลิตสูง ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย และมีความต้านทานต่อโรคและแมลงของข้าว

ในอดีตมีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวทำโดยการฉายรังสี เช่น นำเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 1 มาฉายรังสีเพื่อชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ และปลูกคัดเลือกจนได้ข้าวเหนียวพันธุ์ดี คือ กข 6 และ กข 10 ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวเหล่านี้พันธุ์ละ 12 ปี จึงจะได้ข้าวเหนียวพันธุ์ดีออกมาสู่เกษตรกร ส่วนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวพันธุ์

แพร่ 1 และ สันป่าตอง 1 ใช้การปรับปรุงแบบดั้งเดิม ใช้เวลาปรับปรุงพันธุ์นานถึง 19 และ 16 ปี ตามลำดับ ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวแต่ละพันธุ์ใช้เวลาเฉลี่ย 15 ปี (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวของประเทศไทย

| ข้าวเหนียวพันธุ์ | พ.ศ. ที่เริ่มปรับปรุง | พ.ศ. ที่รับรองพันธุ์ | ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ (ปี) |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------------|
| กข 6             | 2508                  | 2520                 | 12                                     |
| กข 10            | 2512                  | 2524                 | 12                                     |
| แพร่ 1           | 2518                  | 2537                 | 19                                     |
| สันป่าตอง 1      | 2527                  | 2543                 | 16                                     |
| เฉลี่ย           | -                     | -                    | 15                                     |

แหล่งที่มา กรมการข้าว 2552

เนื่องจากในปัจจุบันการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสามารถใช้ความรู้ทางพันธุศาสตร์โมเลกุล เช่น เครื่องหมายโมเลกุล (molecular marker) มาช่วยในการคัดเลือก เป็นการคัดเลือกในระดับยีนไทป์ หรือยีน ไม่ใช่คัดเลือกฟีโนไทป์ที่มีผลจากสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องเหมือนการปรับปรุงพันธุ์อย่างดั้งเดิม การใช้เครื่องหมายโมเลกุลมาช่วยในการคัดเลือกยีนไทป์ทำให้การคัดเลือกมีความแม่นยำ และถูกต้องมากยิ่งขึ้น รวมทั้งยังเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์ให้สั้นลง

โครงการวิจัยนี้ “การปรับปรุงข้าวพันธุ์เหนียวหอมจากข้าวเจ้าด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก” เลือคนำข้าวเจ้าพันธุ์ดีจำนวน 2 พันธุ์ คือ ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ ชัยนาท 80 มาปรับปรุงพันธุ์ให้เป็นข้าวเหนียวหอมด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลมาช่วยในการคัดเลือก สาเหตุที่เลือกข้าวเจ้าพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และ ชัยนาท 80 มาเป็นพันธุ์รับ เพื่อปรับปรุงให้เป็นข้าวเหนียว เพราะข้าวเจ้าทั้ง 2 พันธุ์มีผลผลิตสูง ต้นเตี้ย ไม่ไวต่อช่วงแสง และมีลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ด้านทานต่อโรคและแมลงที่สำคัญของข้าว ซึ่งลักษณะด้านทานต่อโรค และแมลงนี้ มีความสำคัญมาก เพราะการปรับปรุงพันธุ์ในลักษณะนี้ทำได้ยากต้องใช้เวลาช้านาน และในอนาคตปัญหาโรคแมลงของข้าวก็จะกลายเป็นปัญหาสำคัญของการปลูกข้าว นอกจากนี้ข้าวเจ้าพันธุ์ ชัยนาท 80 เป็นข้าวที่มีอายุสั้นเพียง 99 วันเมื่อปลูกในฤดูนาปรัง ซึ่งจะทำให้ได้พันธุ์ข้าวเหนียวที่มีอายุสั้น ซึ่งจะทำให้เกษตรกรสามารถปลูกข้าว หรือพืชอื่นในนาได้มากกว่าครั้งยิ่งขึ้น เมื่อพันธุ์ข้าว สุพรรณบุรี 1 และ ชัยนาท 80 ถูกปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีผสม

กลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก ก็จะยังคงลักษณะอื่นๆ ของพันธุ์เดิมไว้ ยกเว้นเปลี่ยนจากข้าวเจ้าไม่หอม เป็น ข้าวเหนียวหอม

สาเหตุที่เลือกวิธีปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าให้เป็นข้าวเหนียวหอมด้วยวิธีผสมกลับ โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก เพราะวิธีนี้จะทำให้ได้สายพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีพันธุกรรมทั้งหมดเหมือนกับพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์เดิม (สุพรรณบุรี 1 และ ชัยนาท 80) แสดงว่ายังคงรักษาลักษณะผลผลิตสูง ต้านทานต่อโรคและแมลงไว้ ยกเว้นเปลี่ยนเฉพาะยีนในไทป์  $WxWx$   $FgrFgr$  ที่มีฟีโนไทป์เป็นข้าวเจ้าไม่หอม กลายเป็นข้าวเหนียวหอมที่มียีนในไทป์เป็น  $wxwx$   $fgrfgr$  นอกจากนี้การใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือกช่วยย่นระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้ถึง 3-7 ปี ซึ่งถ้าโครงการนี้ประสบผลสำเร็จจะเป็นแนวทางใหม่ที่สามารถใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวพันธุ์ดีซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อชาวนาที่ปลูกข้าวเหนียว

#### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. สร้างสายพันธุ์ข้าวเหนียวหอมจำนวน 2 สายพันธุ์จากข้าวเจ้าพันธุ์ดี คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 80 ด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก

#### ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 80 ให้เป็นข้าวเหนียวหอมด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก ทำโดยใช้ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 80 เป็นพันธุ์รับ (recurrent parent) และมีพันธุ์ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นพันธุ์ให้ (donor parent) อัลลีลค้อย  $wx$  ที่ควบคุมให้ข้าวเป็นข้าวเหนียว และ อัลลีลค้อย  $fgr$  ที่ควบคุมให้ข้าวหอม target gene คือ อัลลีลค้อย  $wx$  และอัลลีลค้อย  $fgr$  เครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้คัดเลือก  $Wx/wx$  คือไพรเมอร์ Glu-23 (Wanchana et al., 2003) เครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้คัดเลือก  $Fgr/fgr$  คือไพรเมอร์ ESP, IFAP, INSP และ EAPA (Bradbury et. al., 2005) ซึ่งไพรเมอร์ทั้ง 2 ตำแหน่งมีเรียบร้อยแล้ว แต่ยังต้องหา flanking marker 1 และ 2 ที่ขนานอยู่ทั้ง 2 ข้างของยีน  $Wx/wx$  และ  $Fgr/fgr$  เพื่อป้องกันไม่ให้ยีนอื่นๆ ที่ไม่ต้องการติดมากับ target gene และหา background marker เป็นชนิด SSR marker อีกประมาณ 60 ตำแหน่ง เฉลี่ย 5 ตำแหน่ง/โครโมโซม เพื่อใช้คัดเลือกหาต้น  $BC_nF_n$  ที่มีพันธุกรรมเหมือนพันธุ์รับมากที่สุด ขั้นตอนโดยย่อเริ่มจากการผลิตเมล็ด  $F_1$  ระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 การคัดเลือกต้น  $F_1$  ผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$  คัดเลือกต้น  $BC_1F_1$  ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล ผลิตเมล็ด  $BC_2F_1$

คัดเลือกลง BC<sub>2</sub>F<sub>1</sub> ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และ ผลิตเมล็ด BC<sub>3</sub>F<sub>1</sub> ซึ่งในโครงการนี้จะหยุดลงในช่วงตอนนี้ และจะขอโครงต่อจนทำสำเร็จ

### ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

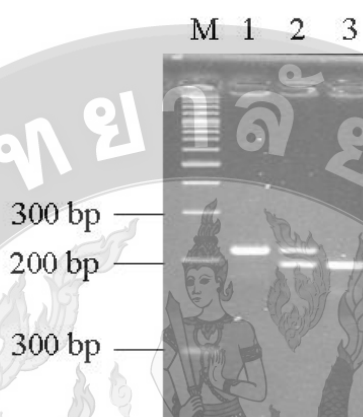
ลักษณะความเป็นข้าวเจ้า และข้าวเหนียวถูกควบคุมด้วย waxy gene (*Wx/wx*) ซึ่งอยู่บนโครโมโซมที่ 6 อัลลีลเด่น *Wx* ควบคุมความเป็นข้าวเจ้า และอัลลีลด้อย *wx* ควบคุมความเป็นข้าวเหนียว เนื่องจากมีความแตกต่างกันระหว่างอัลลีลเด่น *Wx* กับ อัลลีลด้อย *wx* คือ ในอัลลีลด้อยพบมีการเพิ่มขึ้นของเบสจำนวน 23 bp อีก 1 ชุดใน เอ็กซอนที่ 2 แต่ไม่พบการเพิ่มนี้ในอัลลีลเด่น จึงมีการออกแบบไพรเมอร์ Glu-23 ให้เฉพาะกับ 23-bp duplication นี้ ซึ่งสามารถใช้ไพรเมอร์นี้แยกความแตกต่างของอัลลีลด้อย *wx* ของข้าวเหนียว จากอัลลีลเด่น *Wx* ของข้าวเจ้าได้ (glutinous/non-glutinous alleles) (Wanchana *et al.*, 2003)

เจตศรัณย์ และคณะ (2549) ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาโทของคณะผู้วิจัย ศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะความเป็นข้าวเจ้า และข้าวเหนียว โดยศึกษาอัตราส่วนฟีโนไทป์ และอีโนไทป์ในข้าวรุ่น F<sub>2</sub> ซึ่งเกิดจากการผสมกัน ระหว่างข้าวเหนียว กับข้าวเจ้า ได้แก่ กลุ่มผสมระหว่างข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 x ข้าวเจ้าพันธุ์ Taichung 65, ข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 x ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6, ข้าวเจ้าพันธุ์ ชัยนาท 1 x ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และ ข้าวเจ้าพันธุ์ ปทุมธานี 1 x ข้าวเหนียว พันธุ์ กข6 พบว่าอัตราส่วนฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวรุ่น F<sub>2</sub> เท่ากับ 3/4 ข้าวเจ้า:1/4 ข้าวเหนียว และเมื่อศึกษาอัตราส่วนอีโนไทป์ของต้นข้าวรุ่น F<sub>2</sub> ของกลุ่มผสมข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 x ข้าวเจ้าพันธุ์ Taichung 65 ด้วยไพรเมอร์ Glu-23 ซึ่งเป็นเครื่องหมายโมเลกุลที่สามารถแยกความแตกต่างของอัลลีลเด่น *Wx* จากอัลลีลด้อย *wx* พบว่าอัตราส่วนอีโนไทป์ของต้นข้าวรุ่น F<sub>2</sub> เท่ากับ 1/4 *WxWx* : 2/4 *Wxwx* : 1/4 *wxwx* นอกจากนี้เมื่อนำต้น F<sub>2</sub> จากกลุ่มผสมข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 x ข้าวเจ้าพันธุ์ Taichung 65 ที่มีอีโนไทป์เป็น *WxWx* ผสมตัวเองได้เมล็ด F<sub>3</sub> เป็นข้าวเจ้าทุกเมล็ด เมื่อผสมตัวเองต้น F<sub>2</sub> ที่มีอีโนไทป์เป็น *wxwx* ได้เมล็ด F<sub>3</sub> เป็นข้าวเหนียวทุกเมล็ด และเมื่อผสมตัวเองต้น F<sub>2</sub> ที่มีอีโนไทป์เป็น *Wxwx* ได้เมล็ด F<sub>3</sub> มีอัตราส่วนฟีโนไทป์เท่ากับ 3/4 ข้าวเจ้า : 1/4 ข้าวเหนียว ดังนั้นอัลลีลเด่น *Wx* ข่ม อัลลีลด้อย *wx* อย่างสมบูรณ์ สรุปว่าการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะความเป็นข้าวเจ้า และข้าวเหนียวเป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของเมนเดล ดังนั้นลักษณะความเป็นข้าวเจ้า และข้าวเหนียวถูกควบคุมด้วยยีนเพียง 1 ตำแหน่ง

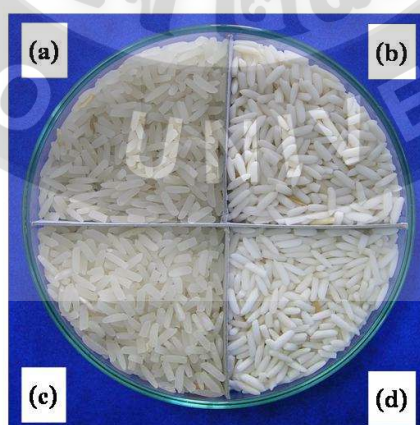
ต่อมา เจตศรัณย์ (2550) ทำการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ให้เป็นข้าวเหนียวด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก โดยใช้ไพรเมอร์ Glu-23 ช่วยในการคัดเลือก (ภาพที่ 1) ได้ข้าวเหนียวสายพันธุ์ (*wxwx*) ที่มีพันธุกรรมเหมือนข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอก

มะลิ 105 ยกเว้นเปลี่ยนจากข้าวเจ้า ( $WxWx$ ) มาเป็นข้าวเหนียว ( $wxwx$ ) (ภาพที่ 2) และพบว่า ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 เดิม กับ สายพันธุ์ข้าวเหนียว ( $wxwx$ ) ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ดีที่มีอยู่อย่างมากมายของไทยให้เป็นข้าวเหนียวพันธุ์ใหม่ได้



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายเจลภายใต้แสง UV ของลักษณะของแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องหมาย โมเลกุล Glu-23 ตรวจสอบยีนโนไทป์ของต้นข้าว (M) คือแถบดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 bp ladder (1) ต้นข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่มียีนโนไทป์เป็น  $wxwx$  (2) ต้นข้าว F1 ที่มียีนโนไทป์เป็น  $Wxwx$  และ (3) ต้นข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มียีนโนไทป์เป็น  $WxWx$

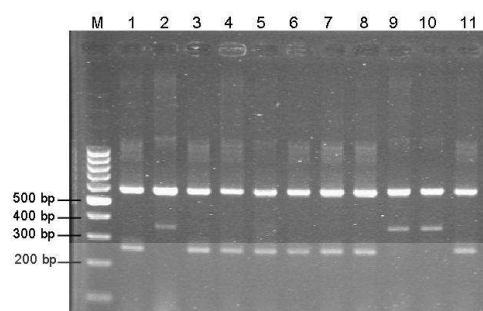


ภาพที่ 2 ลักษณะเมล็ดข้าวสารของพันธุ์ข้าวในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ให้เป็นข้าวเหนียวด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก (a) ข้าวเจ้า

พันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และ (b) ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ ส่วน (c) สายพันธุ์ ข้าวเจ้า (WxWx) และ (d) สายพันธุ์ข้าวเหนียว (wxwx) ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์

เนื่องจากข้าวหอมเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง เช่นข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องการปรับปรุงให้พันธุ์ข้าวเหนียวที่จะได้จาก โครงการวิจัยนี้มีความหอมอยู่ด้วย จากการตรวจเอกสารพบว่ายีนหอม (fragrance gene, *fgr*) เป็นรหัสพันธุกรรมของเอนไซม์ aldehyde dehydrogenase 2 (BAD2) และยีนนี้ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 8 ยีนนี้ทำให้เกิดความหอมในข้าว Jasmine และ Basmati พบว่าพันธุ์ข้าวไม่หอม (non-fragrant rice varieties) มีอัลลีลที่เป็นรหัสพันธุกรรมของ BAD2 ที่ทำงานได้ปกติ (functional allele) แต่พันธุ์ข้าวหอม (fragrant varieties) มีอัลลีลที่เป็นรหัสพันธุกรรมของ BAD2 ที่ไม่ทำงาน (non functional allele) เพราะเกิดการขาดหายของเบสจำนวน 8 bp (eight base pair deletion) และ เกิด SNPs จำนวน 3 ตำแหน่งในเอ็กซอนที่ 7 ของอัลลีลดังกล่าว (three SNPs in exon 7) เป็นสาเหตุให้เกิด premature stop codon จึงทำให้เอนไซม์ BAD2 ไม่ทำงาน มีการออกแบบไพรเมอร์ ESP, IFAP, INSP และ EAPA ที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างอัลลีลเด่น *Fgr* ที่ทำให้ข้าวไม่หอม จาก อัลลีลด้อย *fgr* ที่ทำให้ข้าวหอม (Bradbury *et al.*, 2005)

คณะผู้วิจัยได้ใช้ไพรเมอร์ ESP, IFAP, INSP และ EAPA ในการทำ PCR เพื่อเป็นเครื่องหมายโมเลกุลในการตรวจสอบสายพันธุ์ข้าวที่ได้จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ กข 6 ให้ไม่ไวต่อช่วงแสง และมีดีเอ็นเอแม่พิมพ์ คือ ดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์ต่างๆ ผลการทดลอง พบอัลลีลหอม (*fgr*) ในข้าวสายพันธุ์ BC<sub>3</sub>F<sub>1</sub>-51-501-6211 (เลนที่ 3), BC<sub>4</sub>F<sub>1</sub>-51-501-6211-2320 (เลนที่ 4), BC<sub>5</sub>F<sub>1</sub>-51-501-6211-2320-414 (เลนที่ 5), BC<sub>3</sub>F<sub>3</sub>-51-501-6211-1955 (hd1hd1) (เลนที่ 6), BC<sub>3</sub>F<sub>3</sub>-51-501-6211-2008 (เลนที่ 7) และ BC<sub>3</sub>F<sub>1</sub>-84-448-7237 (เลนที่ 8) เช่นเดียวกับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (เลนที่ 1) และข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 (เลนที่ 11) ก็มียีนหอม เพราะมีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp แต่ข้าวเจ้าพันธุ์ Taichung 65 (เลนที่ 2), ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 (เลนที่ 9) และสันป่าตอง 1 (เลนที่ 10) ไม่พบอัลลีลหอม นอกจากนี้เมื่อนำเอาเมล็ดข้าวกล้องของข้าวสายพันธุ์ BC<sub>3</sub>F<sub>3</sub>-51-501-6211-1955 (hd1hd1) (เลนที่ 6), BC<sub>3</sub>F<sub>3</sub>-51-501-6211-2008 (เลนที่ 7) ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหอม (2-acetyl-1-pyrroline, 2AP) โดยวิธี gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) ที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบสารหอมในข้าว กข 6 ไม่ไวต่อช่วงแสง ทั้ง 2 สายพันธุ์ ดังนั้นเครื่องหมายโมเลกุลนี้สามารถให้คัดเลือกต้นข้าวที่มีอัลลีลหอม (*fgr*) ได้



**ภาพที่ 3** แสดงขนาดแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV เพื่อเปรียบเทียบแถบดีเอ็นเอจากผลผลิต PCR เมื่อใช้ ESP, IFAP, INSP และ EAPA ซึ่งเป็นเครื่องหมายโมเลกุลยีนหอมของข้าว (fragrance gene) (Bradbury *et al.*, 2005) เป็นไพรเมอร์ และมีดีเอ็นเอแม่พิมพ์ คือ ดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์ต่างๆ ถ้าข้าวพันธุ์ใดมีอัลลีลหอม (*mgr*) จะมีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp แต่ถ้าข้าวที่ไม่มีอัลลีล หอม (*Mgr*) จะไม่มีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp โดยที่ M คือแถบดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 bp ladder พบว่าเลนที่ 1 คือแถบดีเอ็นเอของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6, เลนที่ 3 ข้าวสายพันธุ์ BC<sub>3</sub>F<sub>1</sub>-51-501-6211, เลนที่ 4 ข้าวสายพันธุ์ BC<sub>4</sub>F<sub>1</sub>-51-501-6211-2320, เลนที่ 5 ข้าวสายพันธุ์ BC<sub>5</sub>F<sub>1</sub>-51-501-6211-2320-414, เลนที่ 6 สายพันธุ์ BC<sub>3</sub>F<sub>3</sub>-51-501-6211-1955 (hd1hd1), เลนที่ 7 ข้าวสายพันธุ์ BC<sub>3</sub>F<sub>3</sub>-51-501-6211-2008, เลนที่ 8 ข้าวสายพันธุ์ BC<sub>3</sub>F<sub>1</sub>-84-448-7237 และเลนที่ 11 ข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัลลีลหอม (*mgr*) เพราะมีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp แต่เลนที่ 2 คือข้าวพันธุ์ Taichung 65 เลนที่ 9 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 และเลนที่ 10 ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 ไม่มีอัลลีล หอม (*Mgr*) จึงไม่มีแถบดีเอ็นเอขนาด 257 bp

ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ให้ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 80 ให้เป็นข้าวเหนียวหอมด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลในการคัดเลือกจึงจะทำให้สำเร็จโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลเหล่านี้

### การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

#### การปรับปรุงพันธุ์โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก

การปรับปรุงพันธุ์พืชแบบดั้งเดิม (conventional plant breeding) เน้นการคัดเลือกฟีโนไทป์ที่ดีที่สุดประชากรที่มีการกระจายตัวที่ได้มาจากการผสมพันธุ์ ซึ่งประสบปัญหาว่าเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (genotype x environment interaction ; G x E)

ประกอบกับการคัดเลือก และการทดสอบฟีโนไทป์ต้องใช้เงินจำนวนมาก และใช้เวลานาน การปรับปรุงพันธุ์โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลมาช่วยคัดเลือก (marker-assisted selection; MAS) เน้นการคัดเลือกที่ยีนไม่ใช่ฟีโนไทป์ ดังนั้นการคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุลไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม และสามารถคัดได้ในทุกช่วงอายุของพืช เนื่องจากการมี molecular marker และ genetic map เกิดขึ้นจึงทำให้การใช้ MAS มีความเป็นไปได้ทั้งลักษณะที่เป็นที่เชิงคุณภาพ (qualitative trait) และลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait loci) (Francia et al., 2005)

วิธีการปรับปรุงพันธุ์พืชแบบผสมกลับแบบดั้งเดิม (conventional backcrossing) เป็นการถ่ายทอดยีนที่ต้องการจากพันธุ์ให้ (donor parent) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะการเกษตรไม่ดี ไปสู่พันธุ์รับ (recipient parent) ซึ่งเป็นพันธุ์ดี (elite variety) เริ่มโดยผสมพันธุ์รับกับพันธุ์ให้เพื่อผลิต F1 ต่อจากนั้นนำ F1 ผสมกลับไปหาพันธุ์รับ ต้องทำการผสมกลับไปหาพันธุ์รับถึง 6 ครั้ง จึงจะได้เปอร์เซ็นต์จีโนมของพันธุ์รับ เท่ากับ 99.2 จึงจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ พันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์แบบผสมกลับจะมีพันธุกรรมเหมือนกับพันธุ์รับยกเว้นยีนในตำแหน่งที่ต้องการ (target gene) ที่ได้มาจากพันธุ์ให้ (Allard, 1969)

สำหรับวิธีการผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก (marker-assisted backcrossing; MAB) (Frisch et al., 1999a) เมื่อเปรียบเทียบ MAB กับวิธีการผสมกลับแบบดั้งเดิมพบว่า การใช้ marker มาช่วยในการคัดเลือกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีผสมกลับแบบดั้งเดิมได้ 3 ประการ (1) บางลักษณะการคัดเลือกด้วยฟีโนไทป์ทำได้ยาก การใช้ marker ที่ลิงก์ของ target gene ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ และความแม่นยำของการคัดเลือก (2) marker ช่วยคัดเลือkd้น BC ที่มีปริมาณจีโนมของพันธุ์รับสูง และ marker ช่วยคัดเลือkd้นที่มี linkage drag ที่มีขนาดสั้นๆ และ (3) ในการถ่ายทอดยีนด้อย (recessive gene) ถ้าใช้วิธีผสมกลับแบบดั้งเดิมต้องทำการผสมตัวเองเพิ่มอีกหนึ่งชั่วหลังจากการผสมกลับในแต่ละชั่ว แต่เมื่อใช้ marker ช่วยในการคัดเลือกไม่ต้องทำการผสมตัวเองในแต่ละชั่วของการผสมกลับอีก (Francia et al., 2005) วิธีการผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือkd้น การคัดเลือkd้น  $BC_nF_1$  ที่ต้องการด้วย marker มี 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 ใช้ target marker คัดเลือkd้นที่มียีนที่ต้องการ (target gene) โดยคัดเลือkd้นที่มียีนในไทป์เป็น heterozygous สำหรับอัลลีลของพันธุ์รับ และอัลลีลของพันธุ์ให้ ขั้นตอนที่ 2 ทำการลดจำนวนของยีนที่ไม่ต้องการที่ติดมาจากพันธุ์ให้ (linkage drag) โดยใช้ flanking marker จำนวน 2 ตำแหน่งซึ่งขนานอยู่ทั้งสองข้างของยีนที่ต้องการ โดยคัดเลือkd้นให้ marker ทั้งสองตำแหน่งเป็น homozygous สำหรับอัลลีลของพันธุ์รับ ขั้นตอนที่ 3 ใช้ background marker ซึ่งกระจายอยู่ในตำแหน่งต่างๆ (non target loci) ในจีโนมเพื่อคัดเลือkd้นที่มียีนในไทป์เป็น homozygous สำหรับอัลลีลของพันธุ์รับ ซึ่งจะทำได้ด้นที่มียีนในไทป์เหมือนพันธุ์รับมากที่สุดได้

เร็วขึ้น (Newbury, 2003) Frisch *et al.* (1999b) รายงานว่าเมื่อ MAB ในกรณีที่มี target gene เพียงหนึ่งตำแหน่งจะสามารถลดจำนวนครั้งของการผสมกลับลงถึง 2-4 ครั้ง

### การปรับปรุงพันธุ์ข้าว

ประเทศ (2526) รายงานขั้นตอนการวิจัยให้ได้ข้าวพันธุ์ดีมีดังนี้

-การอนุรักษ์พันธุ์ข้าว (rice conservation) เพื่อเก็บรักษาข้าวพันธุ์ดี และข้าวพันธุ์พื้นเมือง รวมทั้งพันธุ์ข้าวที่นำมาจากประเทศอื่นๆ เก็บรักษาไว้เพื่อใช้เป็นเชื้อพันธุกรรมสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต่อไป

-การผสมพันธุ์ (hybridization) การชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกรรมพันธุ์ (inducing mutation) และการคัดเลือก (selection) การผสมพันธุ์ เป็นการผสมระหว่างข้าว 2 พันธุ์หรือมากกว่า เพื่อรวมเอาลักษณะที่ต้องการเอามาไว้ในต้นเดียวกัน เมื่อผสมพันธุ์แล้วจะได้เมล็ดชั่วแรก ( $F_1$ ) นำไปปลูกเมื่อ  $F_1$  ผสมตัวเองได้เมล็ด  $F_2$  ต่อจากนั้นปลูกเมล็ด  $F_2$  แล้วทำการคัดเลือก แบบ bulk selection หรือ pedigree selection จะใช้แบบใดขึ้นกับลักษณะที่ต้องการคัดเลือก การคัดเลือกทำตั้งแต่  $F_2$ - $F_6$  ซึ่งลักษณะที่ต้องคัดเลือกในช่วง  $F_6$  คือ รูปแบบของทรงต้น อายุ ความต้านทานต่อโรค แมลง และลักษณะเมล็ด

-การชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกรรมพันธุ์ทำให้พันธุ์ข้าวที่ดีอยู่แล้วมีลักษณะที่ต้องการเพิ่มขึ้น โดยใช้รังสีหรือ สารเคมี การคัดเลือกทำคล้ายกับการคัดเลือกข้าวลูกผสม

-การศึกษาพันธุ์ขั้นต้น (observation) พันธุ์ข้าว  $F_6$  ที่คัดเลือกไว้ นำไปปลูกสายพันธุ์ละ 1-4 แถว และต้องปลูกพันธุ์มาตรฐานเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ลักษณะต่างๆ ที่ศึกษาคือ รูปแบบ ทรงต้น ความต้านทานโรคและแมลง อายุ และลักษณะเมล็ด คัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีไว้ ทำการปลูกและคัดเลือกอีก 2 ครั้งใน  $F_7$  และ  $F_8$

-การเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานี (intra-station trial) นำสายพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกขั้นต้นมาจัดเป็นกลุ่มตามอายุและความสูง นำมาทำการปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในสถานี โดยการทดลองหนึ่งๆ มีสายพันธุ์ข้าวประมาณ 15-25 สายพันธุ์และต้องมีพันธุ์มาตรฐานด้วย ทำการศึกษาถึงผลผลิต ขนาด คุณภาพของเมล็ด คุณภาพหุงต้มและรับประทาน

-การเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานี (inter-station trial) สายพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกจากการเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานี นำมาจัดเป็นกลุ่มตามอายุและความสูง แล้วนำไปปลูกเปรียบเทียบผลผลิตตามสถานีต่างๆ พร้อมกัน ซึ่งได้ข้อมูลการปรับตัวของสายพันธุ์ข้าวเหล่านี้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน วิธีทดสอบทำเหมือนการเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานี

-การเปรียบเทียบผลผลิตท้องถิ่น (regional trial) สายพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกจากการเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานี นำมาจัดเป็นกลุ่มตามอายุและความสูง แล้วนำไปปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในแปลงนาของเกษตรกรตามท้องถิ่นต่างๆ ซึ่งพันธุ์ที่ปลูกทดสอบในขั้นนี้คาดว่าจะพันธุ์ใหม่ ซึ่งได้ข้อมูลการปรับตัวของสายพันธุ์ข้าวเหล่านี้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันวิธีทดสอบทำเหมือนการเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานีสายพันธุ์ข้าวที่มีผลผลิตสูงและมีลักษณะที่ดี ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบผลผลิตระดับท้องถิ่น จะเสนอให้คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ของกรมวิชาการเกษตรพิจารณาว่าสมควรจะส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหรือไม่



## วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

### พันธุ์รับ

โครงการวิจัยนี้เลือกข้าวเจ้าพันธุ์ดีจำนวน 2 พันธุ์ คือ ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 80 เป็นพันธุ์รับในการปรับปรุงพันธุ์ เพราะข้าวทั้งสองพันธุ์มีลักษณะที่ดีดังต่อไปนี้ คือ

ข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้าสูงประมาณ 125 เซนติเมตร ไม้ไผ่ต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 120 วัน เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 22 วัน เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หยา =  $22 \times 7.3 \times 1.8$  มิลลิเมตร ปริมาณอมิโลส 29 % คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ผลผลิตประมาณ 806 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่น มีผลผลิตสูง ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ย ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และต้านทานโรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม ในสภาพธรรมชาติ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว (กรมการข้าว, 2552)

ข้าวพันธุ์ ชัยนาท 80 (กข 29) ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้าไม้ไผ่ต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 103 วัน ในฤดูนาปี และ 99 วันในฤดูนาปรังเมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม สูงเฉลี่ย 104 เซนติเมตร ข้าวกล้อง สีขาว เป็นท้องไข่น้อย รูปร่างเรียวยาว ยาว 7.34 มิลลิเมตร กว้าง 2.23 มิลลิเมตร หยา 1.80 มิลลิเมตร มีปริมาณ อมิโลสสูง (26.6-29.4%) ผลผลิตเฉลี่ย 876 กิโลกรัม / ไร่ ลักษณะเด่น อายุสั้น ผลผลิตสูง เฉลี่ย 876 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในภาคเหนือตอนล่าง และโรคขอบใบแห้ง มีปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้อง 15.7 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัม ในข้าวสาร 6.7 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม ข้อควรระวัง ไม่ควรปลูกในช่วงกลางเดือนกันยายนถึงปลายเดือนพฤศจิกายน ซึ่งมีอากาศเย็น ทำให้เมล็ดลีบมาก ผลผลิตต่ำ ชัยนาท 80 อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในเขตจังหวัดนครปฐม ปทุมธานี ราชบุรี และฉะเชิงเทรา (ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวชลบุรี, 2552)

### พันธุ์ให้

ในโครงการวิจัยนี้เลือกพันธุ์ให้ คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นข้าวเหนียวหอมที่มีคุณภาพ หุงต้มเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จึงทำให้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีพื้นที่ปลูกถึง 15 ล้านไร่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ให้แอลลิลด้อย *wx* ซึ่งควบคุมให้ข้าวเป็นข้าวเหนียว และนอกจากนี้ให้แอลลิลด้อย *fgr* ซึ่งควบคุมให้ข้าวหอม รายละเอียดของพันธุ์ข้าว กข 6 มีดังนี้

ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ โดยนำข้าวขาวดอกมะลิ 105 อาบรังสีแกมมาชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ ได้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีความสูงประมาณ 154 เซนติเมตร ไม้ไผ่ต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 21 พฤศจิกายน เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หยา =  $2.2 \times 7.2 \times$

1.7 มิลลิเมตร คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม ผลผลิตประมาณ 666 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่นมีคุณภาพการหุงต้มดี มีกลิ่นหอม ด้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล ข้อควรระวังไม่ด้านทานโรคขอบใบแห้ง และโรคใบไหม้ ไม่ด้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว(กรมการข้าว, 2552)

ขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชยันต 80 ให้เป็นข้าวเหนียวหอม ด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก ทำโดยใช้ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชยันต 80 เป็นพันธุ์รับ (recurrent parent) และมีพันธุ์ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นพันธุ์ให้ (donor parent) อัลลีลด้อย *wx* ที่ควบคุมให้ข้าวเป็นข้าวเหนียว และ อัลลีลด้อย *fgr* ที่ควบคุมให้ข้าวหอม target gene คือ อัลลีลด้อย *wx* และ อัลลีลด้อย *fgr* โดยที่ *Wx/wx* อยู่บนโครโมโซมที่ 6 อัลลีลเด่น *Wx* ควบคุมให้เป็นข้าวเจ้า และอัลลีลด้อย *wx* ควบคุมให้เป็นข้าวเหนียว เครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้คัดเลือก *Wx/wx* คือไพรเมอร์ Glu-23 (Wanchana et al., 2003) ซึ่งจะเรียกว่า waxy marker ส่วน *Fgr/fgr* อยู่บนโครโมโซมที่ 8 อัลลีลเด่น *Fgr* ควบคุมให้ข้าวไม่หอม และอัลลีลด้อย *fgr* ควบคุมให้ข้าวหอม เครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้คัดเลือก *Fgr/fgr* คือไพรเมอร์ ESP, IFAP, INSP และ EAPA (Bradbury et. al., 2005) ซึ่งจะเรียกว่า fragrance marker นอกจากนี้มี flanking marker 1 และ 2 ที่ขนานอยู่ทั้ง 2 ข้างของยีน *Wx/wx* และ *Fgr/fgr* เพื่อป้องกันไม่ให้ยีนอื่นๆ ที่ไม่ต้องการติดมากับ target gene นอกจากนี้มี background marker เป็นชนิด SSR marker อีกประมาณ 60 ตำแหน่ง เฉลี่ย 5 ตำแหน่ง/โครโมโซม เพื่อใช้คัดเลือกลำต้น BC<sub>n</sub>F<sub>n</sub> ที่มีพันธุกรรมเหมือนพันธุ์รับมากที่สุด

ขั้นตอนโดยย่อเริ่มจากการผลิตเมล็ด F<sub>1</sub> ระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเจ้าพันธุ์ชยันต 1 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ต่อจากนั้นผสมกลับไปหาพันธุ์รับของแต่ละกลุ่มจำนวน 5 ครั้ง แต่ละครั้งของการผสมกลับจะปลูกต้น BC<sub>n</sub>F<sub>1</sub> และคัดเลือกด้วย *wx* marker เลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น *Wxwx* และนำมาคัดเลือกต่อด้วย fragrance marker โดยเลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น *fgrfgr* ต่อจากนั้นจึงคัดเลือกด้วย flanking marker 1 และ 2 ของ *Wx/wx* ในชั่ว BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> และ BC<sub>2</sub>F<sub>1</sub> ตามลำดับ และคัดเลือกด้วย flanking marker 1 และ 2 ของ *Fgr/fgr* ในชั่ว BC<sub>3</sub>F<sub>1</sub> และ BC<sub>4</sub>F<sub>1</sub> ตามลำดับ สาเหตุที่ต้องคัดเลือกแต่ละ flanking marker ในชั่วของการผสมกลับต่างกัน เพราะจำนวนต้นที่ต้องใช้ในการคัดเลือกจะไม่มีมากเกินไป ถ้าใช้ต้นจำนวนมากจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอย่างมาก ส่วน background marker จะใช้คัดเลือกในชั่ว BC<sub>5</sub>F<sub>1</sub> เพราะจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะต้นข้าวส่วนใหญ่มีพันธุกรรมเหมือนพันธุ์รับแล้ว ต่อจากนั้นผสมตัวเองต้น BC<sub>5</sub>F<sub>1</sub> เพื่อผลิตเมล็ด BC<sub>5</sub>F<sub>2</sub> แล้วปลูก ต้น BC<sub>5</sub>F<sub>2</sub> คัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล เพื่อหาต้นที่มีอีโนไทป์ทั้งหมดเหมือนพันธุ์รับ ยกเว้นที่ตำแหน่ง *Wx/wx* มีอีโนไทป์เป็น *wxwx* ซึ่งเป็นข้าวเหนียว และที่ตำแหน่ง *Fgr/fgr* มีอีโนไทป์เป็น *fgrfgr* ซึ่งเป็นข้าวหอม ต่อจากนั้นจึงทำการศึกษาพันธุ์ 2 และ 4

แถว เพื่อคัดเลือกข้าวสายพันธุ์ที่ดี แล้วจึงนำไปทดสอบใน และระหว่างสถานีทดลอง รวมทั้งปลูกทดสอบในนาเกษตรกรต่อไป รายละเอียดของโครงการทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

### **ตอนที่ 1 การผลิตเมล็ด $F_1$ และ การหาเครื่องหมายโมเลกุลชนิดต่างๆ**

#### **การผลิตเมล็ด $F_1$**

การผลิตเมล็ด  $F_1$  จำนวน 2 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ ข้าวเจ้าพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 x ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กลุ่มที่ 2 คือ ข้าวเจ้าพันธุ์ ชัยนาท 80 x ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

#### **การหา target marker**

เนื่องจากต้องการปรับปรุงข้าวเจ้าให้เป็นข้าวเหนียว และมีกลิ่นหอมด้วย ดังนั้นจึงต้องมี target marker จำนวน 2 ตำแหน่ง

**ตำแหน่งที่ 1** คือ waxy gene ( $Wx/wx$ ) อยู่บนโครโมโซมที่ 6 โดยที่อัลลีลเด่น  $Wx$  ควบคุมความเป็นข้าวเจ้า ส่วนอัลลีลด้อย  $wx$  ควบคุมความเป็นข้าวเหนียว ใช้ไพรเมอร์ชื่อ Glu-23 (Wanchana et al., 2003) เป็น waxy marker เพื่อคัดเลือกหาต้นข้าวที่มีอัลลีลด้อย  $wx$  ของข้าวเหนียว

**ตำแหน่งที่ 2** คือ fragrance gene ( $Fgr/fgr$ ) อยู่บนโครโมโซมที่ 8 โดยที่อัลลีลเด่น  $Fgr$  ควบคุมให้ข้าวไม่หอม ส่วนอัลลีลด้อย  $fgr$  ควบคุมให้ข้าวหอม ใช้ไพรเมอร์ ESP, IFAP, INSP และ EAPA (Bradbury et al., 2005) เป็น fragrance marker เพื่อคัดเลือกหาต้นข้าวที่มีอัลลีลด้อย  $fgr$  ที่ทำให้ข้าวหอม

ซึ่งในขณะนี้คณะผู้วิจัยมีทั้ง waxy และ fragrance marker อยู่เรียบร้อยแล้ว

#### **การหา flanking marker 1 และ 2**

การหา flanking marker ทำโดยเข้าไปใน <http://www.gramene.org/> เลือกเครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR ที่ขนานอยู่ทั้ง 2 ข้างของยีน  $Wx/wx$  และยีน  $Fgr/fgr$  สังเคราะห์ไพรเมอร์นำมาทำ PCR โดยมีดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1, ชัยนาท 80 และ กข 6 เป็นแม่พิมพ์ คัดเลือกเครื่องหมายโมเลกุลที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 กับ กข 6 และระหว่าง ชัยนาท 80 กับ กข 6

#### **การหา background marker**

การหา background marker ทำโดย คัดเลือกเครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR จำนวน 200-300 ตำแหน่งที่กระจายอยู่บนโครโมโซมทั้ง 12 คู่ของข้าว สังเคราะห์ไพรเมอร์ นำมาทำ PCR โดยมี

ดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1, ชัยนาท 80 และ กข 6 เป็นแม่พิมพ์ คัดเลือกเครื่องหมายโมเลกุลที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับ กข 6 และระหว่าง ชัยนาท 80 กับ กข 6 เนื่องจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์เป็นข้าวอินดิกา ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR จำนวนมากถึง 20-25 ตำแหน่ง/โครโมโซม จึงได้ SSR ที่ให้ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวอินดิกา 2 พันธุ์ประมาณ 4-6 ตำแหน่ง/โครโมโซม

### ฤดูที่ 2 การคัดเลือกต้น $F_1$ และการผลิตเมล็ด $BC_1F_1$

ปลูกต้น  $F_1$  ของคู่ผสมทั้ง 2 คู่ คือ สุพรรณบุรี 1 กับ กข 6 และ ระหว่าง ชัยนาท 80 กับ กข 6 แล้วคัดเลือกด้วย target marker เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นต้น  $F_1$  จริง ต่อจากนั้นนำต้น  $F_1$  ผสมกลับไปหาข้าวพันธุ์รับ เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$

### ฤดูที่ 3 การคัดเลือกต้น $BC_1F_1$ ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด $BC_2F_1$

ปลูกต้น  $BC_1F_1$  คัดเลือกด้วย waxy marker เลือกต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น Wxwx (heterozygous) แล้วจึงนำต้นเหล่านี้มาคัดเลือกต่อด้วย fragrance marker เลือกต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น Fgrfgr (heterozygous) ต่อจากนั้นจึงนำต้นดังกล่าวมาคัดเลือกต่อด้วย flanking marker 1 ของ waxy gene เพื่อคัดเลือกหาต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น homozygous ของอัลลีลพันธุ์รับ นำต้นที่คัดเลือกได้ผสมกลับไปหาพันธุ์รับ เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_2F_1$

### ฤดูที่ 4 การคัดเลือกต้น $BC_2F_1$ ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด $BC_3F_1$

ปลูกต้น  $BC_2F_1$  คัดเลือกด้วย waxy marker เลือกต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น Wxwx แล้วจึงนำต้นเหล่านี้มาคัดเลือกต่อด้วย fragrance marker เลือกต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น Fgrfgr ต่อจากนั้นจึงนำต้นดังกล่าวมาคัดเลือกต่อด้วย flanking marker 2 ของ waxy gene เพื่อคัดเลือกหาต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น homozygous ของอัลลีลพันธุ์รับ นำต้นที่คัดเลือกได้ผสมกลับไปหาพันธุ์รับเพื่อผลิตเมล็ด  $BC_3F_1$

### ฤดูที่ 5 การคัดเลือกต้น $BC_3F_1$ ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด $BC_4F_1$

ปลูกต้น  $BC_3F_1$  คัดเลือกด้วย waxy marker เลือกต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น Wxwx แล้วจึงนำต้นเหล่านี้มาคัดเลือกต่อด้วย fragrance marker เลือกต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น Fgrfgr ต่อจากนั้นจึงนำต้นดังกล่าวมาคัดเลือกต่อด้วย flanking marker 1 ของ fragrance gene เพื่อคัดเลือกหาต้นที่มีฮิโนไทป์เป็น homozygous ของอัลลีลพันธุ์รับ นำต้นที่คัดเลือกได้ผสมกลับไปหาพันธุ์รับ เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_4F_1$

**ฤดูที่ 6** การคัดเลือกต้น  $BC_4F_1$  ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด  $BC_5F_1$

ปลูกต้น  $BC_4F_1$  คัดเลือกด้วย *waxy* marker เลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น  $Wxwx$  แล้วจึงนำต้นเหล่านี้มาคัดเลือกต่อด้วย *fragrance* marker เลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น  $Fgrfgr$  ต่อจากนั้นจึงนำต้นดังกล่าว มาคัดเลือกต่อ ด้วย *flanking marker* 2 ของ *fragrance* gene เพื่อคัดเลือกหาต้นที่มีอีโนไทป์เป็น homozygous ของอัลลีลพันธุ์รับ นำต้นที่คัดเลือกได้ผสมกลับไปหาพันธุ์รับ เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_5F_1$

**ฤดูที่ 7** การคัดเลือกต้น  $BC_5F_1$  ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด  $BC_5F_2$

ปลูกต้น  $BC_5F_1$  คัดเลือกด้วย *waxy* marker เลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น  $Wxwx$  แล้วจึงนำต้นเหล่านี้มาคัดเลือกต่อด้วย *fragrance* marker เลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น  $Fgrfgr$  ต่อจากนั้นจึงนำต้นดังกล่าวมาคัดเลือกต่อ ด้วย *flanking marker* 1 และ 2 ของทั้ง *waxy* marker และ *fragrance* gene เพื่อคัดเลือกหาต้นที่มีอีโนไทป์เป็น homozygous ของอัลลีลพันธุ์รับ ต่อจากนั้นนำต้นที่คัดเลือกได้ไปคัดเลือกต่อด้วย background marker เพื่อคัดเลือกหาต้นที่มีอีโนไทป์เป็น homozygous ของอัลลีลพันธุ์รับทุกตำแหน่ง ต่อจากนั้นทำการผสมตัวเองเพื่อผลิตเมล็ด  $BC_5F_2$

**ฤดูที่ 8** การคัดเลือกต้น  $BC_5F_2$  ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด  $BC_5F_3$

ปลูกต้น  $BC_5F_2$  คัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *waxy* marker และ *fragrance* marker โดยคัดเลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น  $wxwx$  และ  $fgrfgr$  ผสมตัวเองต้นที่คัดเลือกได้เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_5F_3$  ซึ่งจะได้สายพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีพันธุกรรมเหมือนกับพันธุ์รับ คือ สุพรรณบุรี 1 และชัณษาท 80 ยกเว้นเป็นข้าวเหนียว และมีกลิ่นหอมเพราะมีอีโนไทป์เป็น  $wxwx$  และ  $fgrfgr$

**ฤดูที่ 9** การศึกษาพันธุ์ 2 แถว (2 - Rows Observation) ต้น  $BC_5F_3$  ทำการคัดเลือก และผลิตเมล็ด  $BC_5F_4$

**ฤดูที่ 10** การศึกษาพันธุ์ 4 แถว (4 - Rows Observation) ต้น  $BC_5F_4$  ทำการคัดเลือก และผลิตเมล็ด  $BC_5F_5$

**ฤดูที่ 11-12** การเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานี (Intra-station Yield Trials) จำนวน 2 ฤดู และศึกษาคุณภาพหุงต้ม

**ฤดูที่ 13-18** ร่วมมือกับกรมการข้าวเพื่อการเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานี (Inter-station Yield Trials) และการทดสอบผลผลิตในนาเกษตรกร (Farmer Yield Trials or On-Farm Trials) ประมาณ 3-5 ปี

รวมเวลาปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมจากข้าวเจ้าพันธุ์ดีโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในวิธีผสมกลับใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 8-10 ปี

**หมายเหตุ** โครงการนี้จะขอทุนวิจัยในระยะเวลา 2 ปีก่อน คือ จากฤดูที่ 1-4 ต่อจากนั้นจึงขอทุนวิจัยต่อ คาดว่าจะใช้เวลาปรับปรุงพันธุ์ทั้งหมด 8-10 ปีน่าจะได้พันธุ์ใหม่ที่จะส่งเสริมให้ชาวนาปลูกได้ เมื่อเปรียบเทียบกับปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกอยู่ในปัจจุบัน เช่น กข 6, กข 10, แพร่ 1 และ สันป่าตอง 1 ใช้เวลาปรับปรุงพันธุ์เฉลี่ยถึง 15 ปี (ตารางที่ 1) ซึ่งถ้าโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมจากข้าวเจ้าพันธุ์ดีด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก ประสพผลสำเร็จก็สามารถเป็นแนวทางใหม่ที่จะใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียว ซึ่งจะลดระยะเวลาการปรับปรุงพันธุ์ได้ประมาณ 3-7 ปี

**ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย**  
การวิจัยนี้จะเริ่มในวันที่ 1 ตุลาคม 2553 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2555 ซึ่งมีแผนดำเนินการวิจัยดังนี้

| แผนงาน                                                                        | พ.ศ. 2553 | พ.ศ. 2554 |     |     |       | พ.ศ. 2555 |     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----|-----|-------|-----------|-----|-----|
|                                                                               | 10-12     | 1-3       | 4-6 | 7-9 | 10-12 | 1-3       | 4-6 | 7-9 |
| 5.1 การผลิตเมล็ด $F_1$ และการหาเครื่องหมายโมเลกุลชนิดต่างๆ                    | xxx       | xxx       |     |     |       |           |     |     |
| 5.2 การคัดเลือกต้น $F_1$ และการผลิตเมล็ด $BC_1F_1$                            |           |           | xxx | xxx |       |           |     |     |
| 5.3 การคัดเลือกต้น $BC_1F_1$ ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด $BC_2F_1$ |           |           |     |     | xxx   | xxx       |     |     |
| 5.4 การคัดเลือกต้น $BC_2F_1$ ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด $BC_3F_1$ |           |           |     |     |       |           | xxx | xx  |
| สรุปผลการทดลอง                                                                |           |           |     |     |       |           |     | x   |

### สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ผลิตเมล็ด  $F_1$ ,  $BC_1F_1$  และ  $BC_3F_1$  ที่เรือนกระจกของศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

การคัดเลือกโดยเครื่องหมายโมเลกุล และงานทางชีวโมเลกุลทำที่ห้องปฏิบัติการทางโมเลกุลของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

### ผลการทดลอง

#### 1. ผลิตเมล็ด $F_1$ และการหาเครื่องหมายโมเลกุลชนิดต่างๆ

การผลิตเมล็ดพันธุ์  $F_1$  (ชัณนาท 80 x กข6 และสุพรรณบุรี 1 x กข6)

การปลูกข้าวเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์  $F_1$  ได้เริ่มกระทำตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2553 สิ้นสุดเมื่อเดือน มีนาคม 2554 เป็นเวลา 6 เดือน โดยทำการปลูกข้าวพันธุ์ ชัณนาท 80 และสุพรรณบุรี 1 ซึ่งใช้เป็นต้นแม่ และพันธุ์ กข 6 เป็นต้นพ่อ ทำการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับพันธุ์ กข6 โดยการทำการ emasculation คือ การกำจัดเกสรตัวผู้ของต้นแม่ ซึ่งมีวิธีการ คือ นำรวงข้าวที่ยังติดอยู่กับต้นมาแช่ในน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วจะพบว่าดอกข้าวมีเกสรตัวผู้ไหลออกมาจากดอก ทำการตัดแต่งช่อดอก โดยตัดดอกที่ไม่มีเกสรตัวผู้ไหลออกมาทิ้งทั้งหมด ให้เหลือเฉพาะดอกที่มีเกสรตัวผู้ไหลออกมาจากดอก ประมาณ 15-20 ดอก จากนั้นทำการคีบเกสรตัวผู้ออกให้หมด แล้วนำถุงกระดาษมาคลุมช่อดอกไว้ ซึ่งบนถุงกระดาษจะต้องบันทึก วัน/เดือน / ปี ที่ทำการ emasculation, เวลา และชื่อพันธุ์ข้าว จากนั้นเมื่อต้นพ่อมิเกสรตัวผู้บานจึงทำการผสมพันธุ์ข้าว โดยคีบเกสรตัวผู้จากต้นพ่ามาใส่ในดอกตัวเมียที่ทำการ emasculation จนครบทุกดอก แล้วใช้ถุงกระดาษคลุมไว้เหมือนเดิม แล้วบันทึก ชื่อพันธุ์ข้าวที่ใช้เป็นพ่อพันธุ์ และเวลาที่ทำการผสมพันธุ์ จากนั้นย้ายต้นข้าวไปวางไว้ในที่ที่มีความชื้นสูงๆ เมื่อครบ 7 วันแล้วจึงตรวจดูว่าผสมติดหรือไม่ ถ้าผสมติดจะทำการเก็บเกี่ยวได้หลังจากผสมติดไปแล้ว 25-30 วัน ซึ่งในฤดูที่ 1 ได้เมล็ดของกลุ่มผสมระหว่าง ชัณนาท 80 x กข6 จำนวน 19 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 82 เมล็ด ซึ่งเมล็ดของกลุ่มผสมทั้งสองครั้งนี้คือ เมล็ด  $F_1$  ซึ่งจะปลูกเป็นต้นพ่อ แล้วนำไปผสมกลับกับพันธุ์ชัณนาท 80 และสุพรรณบุรี 1 เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$  ในฤดูต่อไป

## 2. การหา background marker

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนตำแหน่งของ background marker

| ลำดับ | ชื่อ marker | Chromosome | Position (cM)           | ชั้นนาท 80<br>x กข 6 | สุพรรณบุรี 1<br>x กข 6 |
|-------|-------------|------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| 1     | RM588       | 6          | 1,611,442 - 1,611,468   | /                    | /                      |
| 2     | RM16626     | 4          | 12,778,457 - 12,778,480 | /                    | -                      |
| 3     | RM589       | 6          | 1,380,931 - 1,380,978   | /                    | /                      |
| 4     | RM6836      | 6          | 9,320,821 - 9,320,862   | -                    | /                      |
| 5     | RM8225      | 6          | 9,320,821 - 9,320,862   | /                    | -                      |
| 6     | RM19405     | 6          | 2,839,645 - 2,839,665   | /                    | /                      |
| 7     | RM25526     | 10         | 16,496,356 - 16,496,376 | -                    | /                      |
| 8     | RM20342     | 6          | 23,347,950 - 23,347,970 | -                    | /                      |
| 9     | RM20348     | 6          | 23,506,887 - 23,506,907 | /                    | -                      |
| 10    | RM7434      | 6          | 23,552,227 - 23,552,266 | /                    | -                      |
| 11    | RM19414     | 6          | 2,941,468 - 2,941,491   | /                    | -                      |

## 3. การคัดเลือกต้น $F_1$ และการผลิตเมล็ด $BC_1F_1$

การปลูกข้าวเพื่อคัดเลือกต้น  $F_1$  และการผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$  ได้เริ่มกระทำตั้งแต่เดือน เมษายน 2554 ถึงสิ้นสุดเมื่อเดือน กันยายน 2554 เป็นเวลา 6 เดือน มีขั้นตอนดังนี้

1. ปลูกเมล็ด  $F_1$  ที่ผลิตได้ในฤดูที่แล้วในขวด หลังจากข้าวมีอายุ 2 – 4 สัปดาห์ ทำการสกัด ดีเอ็นเอใบข้าวโดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป ของบริษัท Fermentas

2. จากนั้นเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ต้องการด้วยปฏิกิริยาพีซีอาร์ (polymerase chain reaction ; PCR) โดยใช้ primer ที่จำเพาะเจาะจงกับ *Wx* gene

4. ทำวิเคราะห์การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ต้องการด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิส (electrophoresis) โดยอาศัยการเคลื่อนที่ผ่านวุ้นอะกาโรส (agarose) ในสารละลาย TBE buffer ความเข้มข้น 1 เท่า และย้อมชิ้นส่วนดีเอ็นเอด้วยสารละลาย เอทิดียมโบรมายด์ (ethidium bromide) เป็นเวลา 10 นาที ล้างสีย้อมส่วนที่เกินออกด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาที บันทึกภาพด้วย เครื่อง Gel Doc 2000 (บริษัท BIO-RAD Laboratory) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Quantity One (บริษัท BIO-RAD Laboratory)

5. คัดเลือกต้นที่มีอีโนไทป์เป็น heterozygous ทุกตำแหน่งไปปลูกในกระถาง โดยสามารถคัดเลือกกลุ่มผสมระหว่างชันนาท 80 x กข6 จำนวน 6 ต้น และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 8 ต้น

6. นำต้นที่คัดเลือกได้ในข้อที่ 5 ไปใช้เป็นต้นพ่อ โดยนำต้น  $F_1$  (ชันนาท 80 x กข6) ผสมกลับไปหาข้าวพันธุ์ชันนาท 80 และนำต้น  $F_1$  (สุพรรณบุรี 1 x กข6) ผสมกลับไปหาข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$  โดยมีขั้นตอนการผสมพันธุ์เหมือนกับการผลิตเมล็ด  $F_1$

7. ในฤดูที่ 2 นี้ สามารถผลิตเมล็ด  $BC_1F_1$  ของกลุ่มผสม ชันนาท 80 x กข6 จำนวน 57 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 147 เมล็ด

#### 4. การคัดเลือกต้น $BC_1F_1$ ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด $BC_2F_1$

การปลูกข้าวเพื่อคัดเลือกต้น  $BC_1F_1$  และการผลิตเมล็ด  $BC_2F_1$  ได้เริ่มกระทำตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 และจะสิ้นสุดเมื่อถึงเดือน มีนาคม 2555 เป็นเวลา 6 เดือน โดยในการคัดเลือกต้น  $BC_1F_1$  จะใช้เครื่องหมายโมเลกุลเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งเครื่องหมาย คือ เครื่องหมายโมเลกุลที่มีความจำเพาะเจาะจงกับความหอม

1. การปลูกข้าวเพื่อคัดเลือกต้น  $BC_1F_1$  ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่เฉพาะกับข้าวเจ้า/ข้าวเหนียว ข้าวไม่หอม/ข้าวหอม และผลิตเมล็ด  $BC_2F_1$  มีวิธีการเหมือนกับการทดลองข้างต้น

2. คัดเลือกต้น  $BC_1F_1$  ที่มีอีโนไทป์เป็น heterozygous ทุกตำแหน่งไปปลูกในกระถาง นำต้นที่คัดเลือกได้ไปใช้เป็นต้นพ่อ โดยนำต้น  $BC_1F_1$  (ชันนาท 80 x กข6) ผสมกลับไปหาข้าวพันธุ์ชันนาท 80 และนำต้น  $BC_1F_1$  (สุพรรณบุรี 1 x กข6) ผสมกลับไปหาข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_2F_1$  โดยมีขั้นตอนการผสมพันธุ์เหมือนกับการผลิตเมล็ด  $F_1$

3. ในฤดูนี้ สามารถผลิตเมล็ด  $BC_2F_1$  ของกลุ่มผสม ชันนาท 80 x กข6 จำนวน 24 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 97 เมล็ด

#### 5. การคัดเลือกต้น $BC_2F_1$ ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และการผลิตเมล็ด $BC_3F_1$

การปลูกข้าวเพื่อคัดเลือกต้น  $BC_2F_1$  และการผลิตเมล็ด  $BC_3F_1$  ได้เริ่มกระทำตั้งแต่เดือนเมษายน 2555 และจะสิ้นสุดเมื่อถึงเดือน กันยายน 2555 เป็นเวลา 6 เดือน

1. การปลูกข้าวเพื่อคัดเลือกต้น  $BC_2F_1$  ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่เฉพาะกับข้าวเจ้า/ข้าวเหนียว ข้าวไม่หอม/ข้าวหอม และผลิตเมล็ด  $BC_3F_1$  มีวิธีการเหมือนกับการทดลองข้างต้น

2. คัดเลือกต้น  $BC_2F_1$  ที่มีอีโนไทป์เป็น heterozygous ทุกตำแหน่งไปปลูกในกระถาง นำต้นที่คัดเลือกได้ไปใช้เป็นต้นพ่อ โดยนำต้น  $BC_2F_1$  (ชันนาท 80 x กข6) ผสมกลับไปหา

ข้าวพันธุ์ชัยนาท 80 และนำต้น  $BC_2F_1$  (สุพรรณบุรี 1 x กข6) ผสมกลับไปหาข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เพื่อผลิตเมล็ด  $BC_3F_1$  โดยมีขั้นตอนการผสมพันธุ์เหมือนกับการผลิตเมล็ด  $F_1$

3. การทดลองในฤดูนี้สามารถผลิตเมล็ด  $BC_3F_1$  ของคู่ผสม ชัยนาท 80 x กข6 จำนวน 32 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 226 เมล็ด



### สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมจากข้าวเจ้าด้วยวิธีผสมกลับโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือกโดยมีข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 80 เป็นพันธุ์รับ และข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ต้นเดี่ยวไม่ไวต่อช่วงแสงเป็นพันธุ์ให้ ทำการผสมพันธุ์เพื่อผลิตเมล็ด F<sub>1</sub> และคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล จากนั้นทำการผสมกลับไปหาพันธุ์รับทั้ง 2 พันธุ์ จากผลการทดลองพบว่า

สามารถผลิตเมล็ด F<sub>1</sub> ของกลุ่มสมระหว่าง ชัยนาท 80 x กข6 จำนวน 19 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 82 เมล็ด

เมล็ด BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> ของกลุ่มสม ชัยนาท 80 x กข6 จำนวน 57 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 147 เมล็ด

เมล็ด BC<sub>2</sub>F<sub>1</sub> ของกลุ่มสม ชัยนาท 80 x กข6 จำนวน 24 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 97 เมล็ด

เมล็ด BC<sub>3</sub>F<sub>1</sub> ของกลุ่มสม ชัยนาท 80 x กข6 จำนวน 32 เมล็ด และสุพรรณบุรี 1 x กข6 จำนวน 226 เมล็ด

จากการหา background marker ทั้งหมด 11 ตำแหน่งพบว่า เครื่องหมายโมเลกุล RM588, RM16626, RM589, RM8225, RM19405, RM20348, RM7434 และ RM19414 ที่อยู่บนโครโมโซมที่ 6 สามารถแสดงความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 80 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ได้ และเครื่องหมายโมเลกุล RM588, RM589, RM6836, RM19405, RM20342, RM20348 ที่อยู่บนโครโมโซมที่ 6 เครื่องหมายโมเลกุล RM25526 ที่อยู่บนโครโมโซมที่ 10 สามารถแสดงความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ได้

### เอกสารอ้างอิง (Reference of Literature cited)

- กรมวิชาการเกษตร. 2551. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา :<http://www.doa.go.th/germplasm/rice9.htm> (25 เมษายน 2551)
- กรมวิชาการเกษตร. 2546. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2544/45. เอกสารวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาวพันธุ์ดี.
- เจตสรณ์ย์ สุวรรณธานี, ณัฐดนัย ทรัพย์สมบูรณ์, วราภรณ์ แสงทอง, ประวิตร พุทธานนท์ และ ประทีป พินิตานนท์. 2549. การถ่ายทอดพันธุกรรมของลักษณะความเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยการใช้เครื่องหมายโมเลกุล. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 7 วันที่ 25-26 พฤษภาคม 2549. ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. หน้า 35-42.
- เจตสรณ์ย์ สุวรรณธานี. 2550. การศึกษาผลของยีน *Hx* และ *hx* ต่อผลผลิตของข้าว. ปริญาวิทยาสาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 131 หน้า.
- ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวชลบุรี. 2552. <http://cbr-rsc.ricethailand.go.th/Chai%20Nat%2080.htm>. (20 กรกฎาคม 2552)
- ประเทศ ลิทธิยศ. 2526. ขั้นตอนการวิจัยเพื่อให้ได้ข้าวพันธุ์ดี. ว. วิทย์. กษ. 16 (5):423-427.
- Allard RW. 1960. **Principles of plant breeding**. Wiley, New York. 485 p.
- Bradbury LMT, Henry RJ, Jin Q, Reinke RF, Waters DLE. 2005. **A perfect marker for fragrance genotyping in rice**. Molecular Breeding 16: 279–283.
- Francia E, Tacconi G, Crosatti C, Barabaschi D, Bulgarelli D, Dall’Aglia E and G Vale. 2005. **Marker assisted selection in crop plants**. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 82: 317–342.
- Frisch M, Bohn M and AE Melchinger. 1999a. **Minimum sample size and optimum positioning of flanking markers in marker-assisted backcrossing for transfer of a target gene**. Crop Sci 39:967-975.
- Frisch M, Bohn M and AE Melchinger. 1999b. **Comparison of selection strategies for marker-assisted backcrossing of a gene**. Crop Sci 39:1295-1301.
- Newbury HJ. 2003. **Marker-assisted breeding**. Plant Molecular Breeding. 320 p.

Wanchana S, Toojinda T, Tragoonrung S, Vanavichit A. 2003. **Duplicated coding sequence in the waxy allele of tropical glutinous rice (*Oryza sativa* L.)**. Plant Science 165: 1193–1199.

