

# 海南儋州普通野生稻开花习性及其育性研究

王晓玲<sup>1</sup>, 余洁<sup>1</sup>, 郭安平<sup>1\*</sup>, 庞业平<sup>2</sup>,  
彭于发<sup>1</sup>, 刘恩平<sup>1</sup>, 孔华<sup>1</sup>, 贺立卡<sup>1</sup>

(1. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所热带作物生物技术国家重点实验室,  
海口 571101; 2. 海南省儋州市农业技术推广服务中心, 海南 儋州 571737)

**摘要:** 对海南儋州普通野生稻 (*Oryza rufipogon* Griff.) 的开花习性、花粉育性和结实率进行了研究。结果表明: 海南儋州普通野生稻居群在原生境的开花时间为 10 月初到 12 月初; 晴天开花时间主要集中在 11:30-11:50, 最适开花的气温为  $29.84 \pm 2.27^\circ\text{C}$ , 相对湿度为  $53.33 \pm 6.63\%$ , 阴天开花时间要推迟 20-30 min; 每朵颖花从开颖到闭颖历时 70-100 min, 颖花开放历时 10-20 s, 50-60 s 之后开始散粉, 闭颖约需要 1 h。花时与风速呈负相关, 与温度呈正相关。单穗可育率大于 50% 的居多。结实率介于 0-45%, 其中多数小于 10%。此居群与当地常规稻的开花有一定的差异, 初步提出了对此居群普通野生稻原生境资源的合理利用和有效保护的策略。

**关键词:** 海南; 普通野生稻; 开花习性; 花粉育性; 结实率

中图分类号: Q945.64

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)01-0075-08

## Flowering Characteristics and Fertility of Common Wild Rice in Danzhou, Hainan, China

WANG Xiao-ling<sup>1</sup>, YU Jie<sup>1</sup>, GUO An-ping<sup>1\*</sup>, PANG Ye-ping<sup>2</sup>,  
PENG Yu-fa<sup>1</sup>, LIU En-ping<sup>1</sup>, KONG Hua<sup>1</sup>, HE Li-ka<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Tropical Crop Biotechnology, Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 2. Service Centre of Popularizing Agricultural Technique of Danzhou City, Danzhou 571737, China)

**Abstract:** Flowering habit, pollen fertility, seed setting of natural population of common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) was investigated in Danzhou, China. Its flowering period was approximately 2 months long (from early October to early December). In sunny days, flowers opened mainly during 11:30 am to 11:50 am, with the optimum temperature of  $29.84 \pm 2.27^\circ\text{C}$  and the relative humidity of  $53.33 \pm 6.63\%$ . In cloudy days, flowering was delayed 20-30 min. It took 70 to 100 min for each floret from opening to closing including opening stage of 10 to 20 sec, pollen scattering after 50 to 60 sec and closing stage of 1 hour. Flowering time was negatively related to wind speed and positively related to temperature. Most panicle had a fertility rate of over 50% and seed setting rate of less than 10%. Flowering habit of natural population of common wild rice has the difference with common rice in Danzhou. The Strategy of reasonably to utilize and effectly to protect natural population of common wild rice is proposed.

**Key words:** Hainan; Common wild rice; Flowering habit; Pollen fertility; Seed setting

收稿日期: 2007-03-15 接受日期: 2007-08-20

基金项目: 农业部农业结构调整重大技术研究专项(06-11-03B); 华南热带农业大学创新基金项目(RBCX-0505)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

稻属(*Oryza* L.)植物有 22 种,其中 2 种为栽培种,20 种为野生种<sup>[1]</sup>。野生稻遍布于热带和亚热带地区,在其漫长的进化过程中,形成了极其丰富的遗传多样性<sup>[1-3]</sup>。目前,已从野生稻中发掘出栽培稻不具有的或已消失了的优异遗传性状有 20 多个<sup>[1]</sup>,仅抗白叶枯病的基因就有 20 多个<sup>[4-5]</sup>,已引起水稻育种家的普遍关注。

我国有 3 种野生稻:普通野生稻(*Oryza rufipogon*)、药用野生稻(*O. officinalis*)、疣粒野生稻(*O. meyeriana*)<sup>[5-6]</sup>,其中,普通野生稻分布最广,由于其染色体组型与栽培稻均为 AA 组<sup>[6]</sup>,因此具有更高的育种价值。然而,由于近来人类的经济活动加剧,导致野生稻生境迅速丧失<sup>[7-8]</sup>;加之,目前转基因水稻大面积试种,如果存在转基因水稻中的外源基因通过花粉发生转移,将严重威胁野生稻的遗传多样性<sup>[6]</sup>。因此,1992 年,我国将这 3 种野生稻均列为国家二级保护的渐危植物。

海南儋州现在还保存有普通野生稻居群,占地近百亩。本实验借鉴已成熟的技术方法<sup>[9-11]</sup>,试图了解海南儋州普通野生稻在原生境的开花习性,以及环境对开花的影响,从而为其合理利用、为转基因水稻的试种提供科学的指导依据,更好地保护野生稻资源。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究材料及地点

以海南省儋州市和庆农场普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff.)为材料,于 2006 年 10-11 月进行原生境开花习性研究。原生境地理位置为:东经 109°20',北纬 19°14',东、南、西三面被丘陵包围,东、南面丘陵均种植橡胶树,西面丘陵种植果树,北面地势较平。野生稻占地面积约 6.67 hm<sup>2</sup>,其中核心区约 0.67 hm<sup>2</sup>,主要生长于丘陵脚下南北走向常年流水的水沟内及藤本植物和橡胶树所遮蔽的阴凉处。

### 1.2 日开花数的观察

根据普通野生稻密度及地形情况,选定 24 丛作为日开花数观察组,其中阴处 4 丛,环绕核心区向阳处 20 丛,每丛插一根标杆,标签编号。每组选尽可能多的单株单穗,在剑叶上部的茎秆上作标记。每天早上 7:00 和下午 5:00 各记录一次每丛每单穗的开花数,记录后立即将开过花的外露花药夹

去,便于下次观察记录,直到各穗连续 2 d 不开花为止。

### 1.3 开花过程的观察

根据普通野生稻居群的分布情况,每天(共 7 d)在不同的点选取 3-4 朵当天要开放的小花(尽量集中,当错过一朵之后可以在旁边立即另选一朵),挂上标签,编号。待小花开始开放时,观察记录整个开放过程,并记录开放过程关键点对应的气温、空气相对湿度和风速。

### 1.4 开花历时的观察

挑选具有代表性的 15 个单穗作为花时调查的观察组,每单穗编号,并绑上红线,以便于快速观察。待开花盛花期时,每天上午 8:00-10:30 及下午 2:00-5:00 每隔 15 min,上午 10:30-下午 2:00 每隔 10 min 对选定的 15 株单穗进行开花数记录,并记录当时的大气温度、空气相对湿度和风速,记录后立即将开过花的外露花药夹去,直到每个单穗连续 2 d 不开花为止。

### 1.5 花粉育性的观察

选取 35 个点,每个点取 1-2 株已开花 1-2 d 或第二天将开花的单穗分支的两分枝小穗,用剪刀剪下,立即浸入 70% 的乙醇溶液中,带回实验室,用 1% 的 I-KI 染色制片,用生物光学显微镜(日本 Nikon 80i)进行观察并拍照,观察花粉育性情况,用 SAS9.0 软件进行统计分析。

花粉可育率(%)= 可育花粉粒数 / 总花粉粒数 × 100%

总花粉粒数 = 可育花粉粒数 + 碘败花粉粒数 + 圆败花粉粒数 + 染败花粉粒数

花粉类型的判断依据<sup>[12]</sup>:

可育型:花粉粒呈圆形,饱满,对 I-KI 溶液反应染色。

碘败型:花粉败育主要发生在单核期,花粉粒形状不规则,呈畸形,对 I-KI 溶液反应不染色。

圆败型:花粉大部分是在双核期败育,花粉粒呈圆形,对 I-KI 溶液反应不染色或染色很浅。

染败型:花粉粒也呈圆形,花粉败育发生在三核期,对 I-KI 溶液呈染色或浅染色反应。

### 1.6 结实率的观察

另选 20 丛野生稻,每丛挂上标签并编号。从每

从中选 3-5 单穗, 套入尼龙袋内, 固定。待成熟后 (约 25 d), 将穗颈剪断, 回收套袋, 于室内考种, 统计结实率。

## 2 结果和分析

### 2.1 普通野生稻开花过程观察

#### 2.1.1 居群日开花率

儋州普通野生稻居群的开花时间在 10 月初到 12 月初 (每年会稍有几天相差), 历时约两个月, 比栽培稻的开花持续时间要长约一个多月 (与附近种有的栽培稻作比较)。居群开花的高峰期集中在 10 月下旬到 11 月上旬, 此次观察到的开花高峰期在 10 月 28 日到 11 月 6 日之间 (图 1)。单穗开花的持续时间约 7-11 d, 以 11-12 d 居多, 比栽培稻的开花持续时间要长些<sup>[13]</sup>; 每丛野生稻开花持续时间为 15-25 d, 单穗日开花数一般不超过 30 朵, 但观察到相对肥沃处个别穗粒多达 400 粒的单穗日开花数有时要多于 30 朵。同一居群, 不同丛野生稻的开花时间也有较大差别, 阴凉处比向阳处的开花时间要

晚约 15 d。

#### 2.1.2 颖花开放过程

儋州普通野生稻居群颖花开放过程需要 70-100 min (图 2), 比栽培稻延长约 10 min, 开颖速度快, 晴天约需 10-20 s。开颖后 1 min 内开始散粉, 散粉时间持续 2-3 min。有风时更利于快速散粉, 散粉后花药明显从鲜艳的淡黄色变为白色。下午开放的花至闭颖时, 花药大都一直保持淡黄色。开花过程中柱头有先于、同时、后于花药出颖壳的现象, 以同时出颖壳者居多。柱头均为两侧外露, 花药两侧外露情况完全是随机的, 与风向有很大关系。颖壳最大张角为 30°, 与一些栽培稻开花的张角基本一致<sup>[13]</sup>, 闭颖时间需要 60-90 min。我们对儋州普通野生稻开花过程的观察, 与曾晓春等<sup>[14]</sup>对水稻开花过程的观察结果是相似的, 开花是由浆片吸水膨大所启动 (如果缺水将影响其正常花时)、浆片膨大将外稃向外推开, 同时将内稃向内压挤, 而使外稃和内稃的钩合点松开, 外稃和内稃相互分开, 这时雄蕊花丝急速伸长, 使花药伸出颖壳并裂开, 花粉散落, 进行授粉。

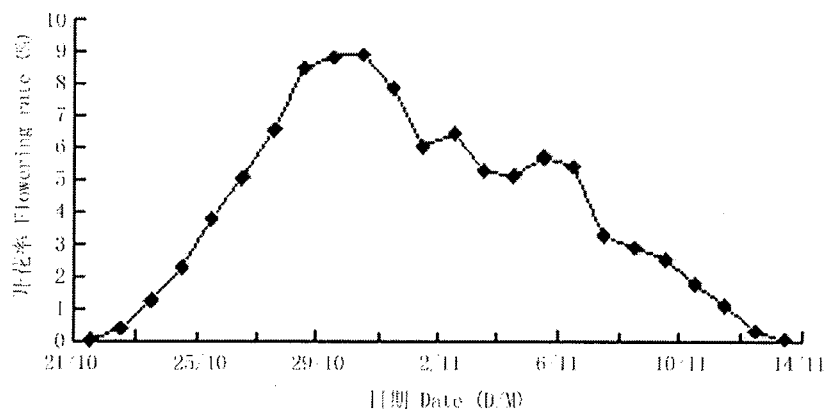


图 1 儋州居群单穗日开花率(2006 年)

Fig. 1 Flowering rate of single panicle in Danzhou population in 2006

#### 2.1.3 花时观察

儋州普通野生稻居群在晴天的开花时间主要集中在 11:30-12:30 内, 以 11:40 左右为开花盛期 (图 3), 比黄农荣<sup>[15]</sup>观察的广东光温敏核不育系水稻要迟 3 h, 而与郭武强等<sup>[16]</sup>、宗寿余等<sup>[17]</sup>观察的温敏核不育系水稻相似, 且开花高峰期也基本相似。10:00-11:00 及下午 1:00-2:00 偶尔有少量开花。阴天 (未下雨) 开花的高峰期将推迟 20-30 min, 这与黄农荣等<sup>[15]</sup>的观察结果一致。11 月 1 日之前, 下午 2:00

至次日早上 7:00 均无花开放; 11 月 1 日之后, 下午 2:00-5:00 有零星的花开放, 但此时开放的花大部分不散粉, 花药保持淡黄色至闭颖。晚上也未见有花开放。

### 2.2 开花时的环境条件

在进行开花观察的过程中, 记录了与开花的每一个关键点相对应的空气温度、相对湿度和风速, 结果表明: 儋州普通野生稻居群最适开花温度在

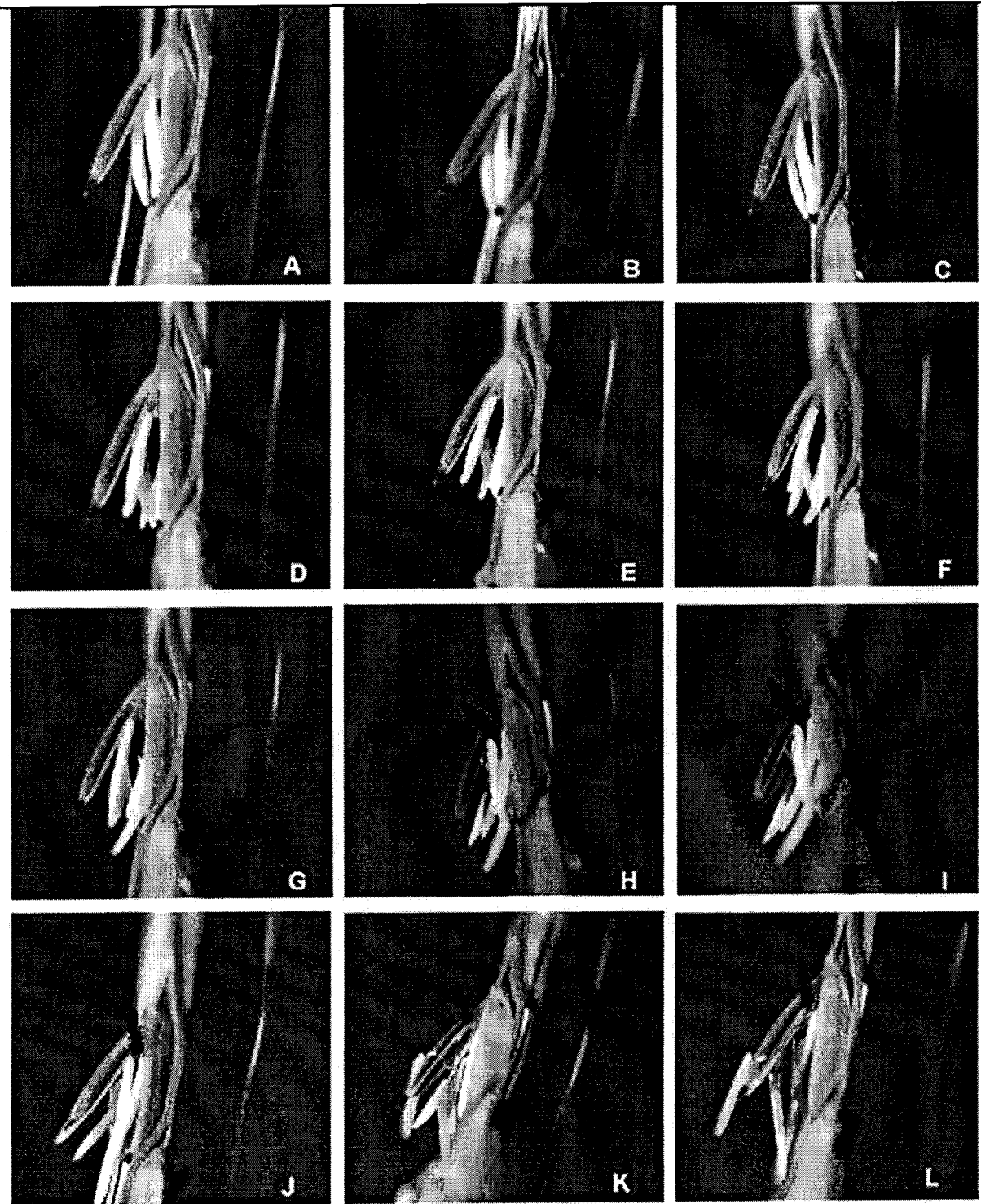


图 2 儋州普通野生稻居群开花过程

Fig. 2 Flowering process of common wild rice (*Oryza rufipogon*) in Danzhou population

A: 张颖 15° Glume open at 15°; B: 柱头开启 Stigma open; C: 张颖 20° Glume open at 20°; D: 柱头明显 Stigma emerging; E: 花药、柱头同时出颖 Anther and stigma appearing from glume at the same time; F: 张颖 30° Glume open at 30°; G: 开始散粉 Pollen beginning to spread; H: 散粉 Pollen spread out; I: 风加速散粉 Pollen spread quickly by wind; J: 柱头与颖最大夹角 120° Stigma and glume with a maxium angle of 120°; K: 花丝断裂 Faliment break; L: 开始闭颖 Glume close.

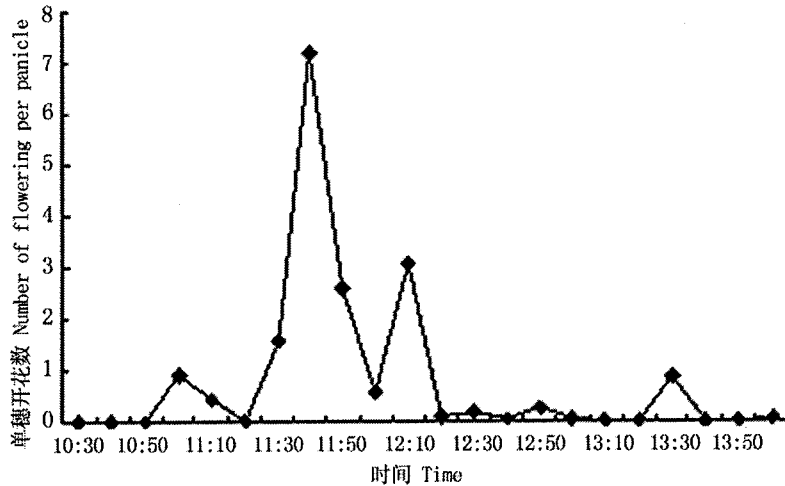


图 3 儋州居群花时

Fig. 3 The flowering time in Danzhou population

26℃–31℃ (29.84±2.27℃) 之间, 最适开花相对湿度在 55%–60%[(53.33±6.63)%] 之间(表 1), 两者的作用效应相反, 这两者过高或过低都将推迟开花的高峰期, 甚至不开花, 这与常规稻的开花最适温度和开花最适相对湿度基本一致。有风时不利于颖花的开放, 但风可加快散粉, 缩短散粉时间, 加快颖壳闭合。马启林<sup>[8]</sup>认为: 湿度对花时的影响是因温度的不同而不同。为此, 我们对花时、温度、相对湿度、风速进行了简单相关分析, 发现温度与花时的相关系数为 -0.02700, 相对湿度与花时的相关系数为 0.00993, 风速与花时的相关系数为 -0.48543, 这说

明温度、风速对花时有负作用, 而相对湿度对其有正作用, 且风速的作用效应最大, 相对湿度作用效应最小, 映证了以上观察的结果。

### 2.3 花粉育性与结实率

对儋州普通野生稻居群的花粉育性进行检测, 可育率大都大于 50%(图 4)。从选取的 35 个位点拍摄的育性图片中也可看出可育率都很高(图略), 为较高可育率。表 2 说明花粉育性类型具有一定的层次性, 除圆败、染败之间差异没有达到极显著之外, 其他均达极显著差异。结实率在 0–45% 之间(图 5A), 小于 10% 所占的比例较大(图 5B)。从我们调查整个海南省普通野生稻居群来看, 普通野生稻结实率低 是它们的共性, 文昌居群的结实率相对较高, 但具体数据还需要进一步研究。结实率除与花粉育性有关之外, 还与开花习性和开花期间环境因素有关。

表 1 开花高峰期的环境温度和相对湿度

Table 1 Air temperature and relative humidity in flowering peak stage of Hainan common wild rice

日期 Date (M/D)	气温(℃) Temperature	相对湿度(%) Relative humidity
10/28	32.6	40.6
10/29	31.3	48.1
10/30	27.9	60.9
10/31	27.8	61.6
11/1	31.5	55.9
11/2	30.3	49.2
11/3	26.1	58.7
11/4	33.0	55.4
11/5	29.0	48.6
11/6	28.9	54.3
平均 Average	29.84±2.27	53.33±6.63

表 2 花粉育性类型的多重比较

Table 2 Multiple comparison by Duncan's test of pollen fertility types in Danzhou population

花粉类型 Types	样品数 Number of samples	平均值 Mean	显著性* Significant
可育 Fertility	108	201.24	A
碘败 Idodine defeat	108	111.32	B
圆败 Circle defeat	108	12.43	C
染败 Dyes defeat	108	10.39	C

\* 不同字母表示差异极显著。Different letters indicate significant difference at P<0.01 level.

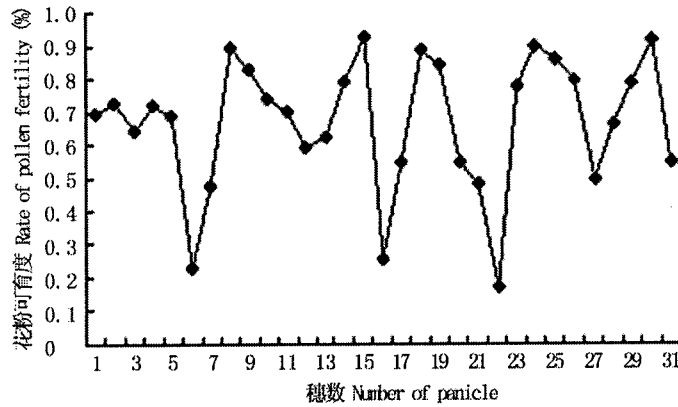


图 4 儋州居群花粉可育率分布图

Fig. 4 The rate of pollen fertility in Danzhou population

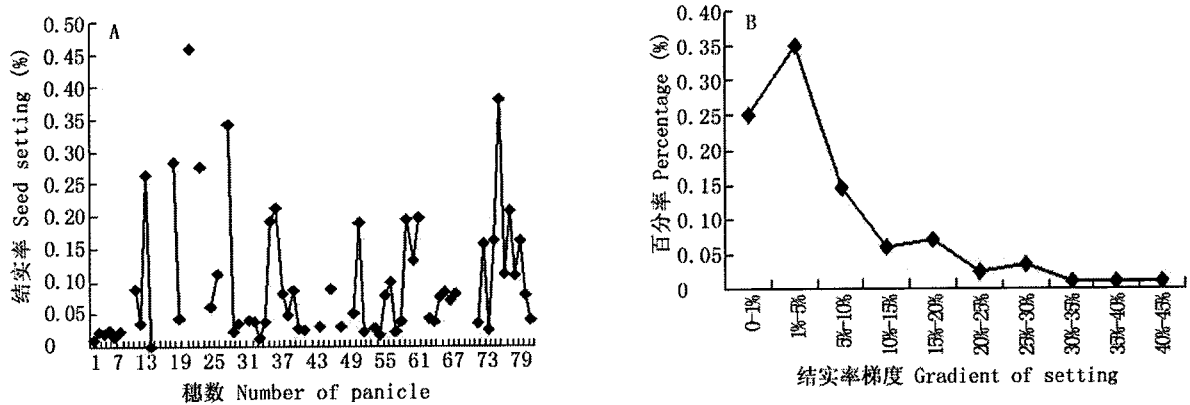


图 5 儋州居群结实率(A)和结实率梯度(B)分布图

Fig. 5 Seed setting (A) and its gradient distribution (B) in Danzhou population

### 3 结论和讨论

#### 3.1 开花特点

海南省儋州市和庆普通野生稻居群, 由于其地理位置和地形、气候的特异, 其开花习性有其自身的特点(与万宁等居群相比)。此普通野生稻居群开花时间长, 居群开花的高峰期集中在 20 d 左右, 单穗开花的持续时间在 7-11 d; 单丛开花持续时间在 15-25 d; 同一居群, 不同丛之间开花时间也相差较大。穗粒多达 400 粒的单穗开花历时并不延长, 这与王鸿昌等<sup>[19]</sup>认为穗粒数越多, 开花天数越长的结论不同。

开花过程中, 从启动到闭颖约需 1 h, 开颖速度非常快, 开颖 1 min 后开始散粉, 有风时更利于提前散粉, 散粉后花药从鲜艳的淡黄色变成白色, 下午晚些时候开的花可能由于相对湿度太高、风速减小而不易散粉, 致使花药一直保持淡黄色至闭颖。对

柱头与花药出颖的问题, 我们初步认为: 此居群颖壳内柱头与花药应该是同时出颖壳的(图 2)。我们偶尔观察到柱头有先于和后于花药出颖壳的现象, 但同时出颖壳的居多, 柱头先于和后于花药出颖壳可能与受颖壳结构的阻挡有关。柱头均两侧外露, 花药两侧外露情况完全由随机风向决定。颖壳最大张角为 30°, 闭颖持续一个多小时, 这比有些常规稻的闭颖时间长达 4.79 h<sup>[17]</sup>要短得多。

#### 3.2 开花与环境

野生稻的开花习性与环境温度、相对湿度、风速、田间水层深度等因素<sup>[20-22]</sup>有关。儋州居群普通野生稻开花最适温度为 26℃-31℃, 相对湿度为 55%-60%, 这与蔡善信<sup>[23]</sup>的研究结果非常相似。有风时不利于颖花的开放, 这可能是由于有风时, 相对湿度、气温下降不利于开花的缘故, 也可能是生物对外来侵略信号传导应答防御的原因, 但至今还

未见相关报道。

### 3.3 结实率

多年生野生稻具有遗传异质性、杂合性、常异花授粉习性和雄性不育性。此居群花粉育性检测到的可育率大于 50%，表明花粉有较高的可育度<sup>[12]</sup>，但结实率却很低。普通野生稻的结实率除与花粉育性、开花习性、降雨<sup>[24]</sup>等因素有关之外，还与开花期间的温度有关。普通野生稻在开花期间温度低可能是结实率低的原因之一。从儋州居群原生境的气温来看，10-11 月早晨 7:00 的气温仅有 13-14℃，这个温度是不利于花开放的。吕川根<sup>[25]</sup>的研究指出：日均温在 13.7-29.3℃ 的范围内时，温度每降低 1℃，亚种间杂种的花粉育性平均降低(3.42±1.6)%，结实率平均降低(6.74±1.6)%。至于结实率与柱头之间的关系研究，温圣贤等<sup>[26]</sup>的研究指出：结实率的高低主要取决于母本柱头外露率的高低。田大成<sup>[27]</sup>等的研究表明：无论花粉充足与否，柱头外露率高的母本，结实率总是比柱头外露率低的母本高，花粉量越多，结实率差别越大，但儋州普通野生稻居群均为柱头外露，结实率却不高，这可能是其雄性不育在起重要作用。

### 3.4 保护策略

随着基因工程的发展，转基因作物的种植也愈加普遍，人们也十分关注转基因作物与其野生近缘种的基因交流<sup>[28-29]</sup>。从儋州居群原生境来看，栽培稻与野生稻部分区域(非核心区)紧邻，但他们的开花时间没有相遇，栽培稻比野生稻早开花一个多月，这主要是与当地农民对栽培稻的栽培习惯有关。但附近种植转基因稻对野生稻不是没有产生基因漂移的可能性<sup>[30]</sup>，因此，根据此居群的特点对此居群的保护可采取以原位保护为主，政府部门应引导当地农民对栽培稻的种植采取原有的栽培习惯。

### 参考文献

- [1] 谭光轩, 王红星. 野生稻亲缘关系研究进展 [J]. 大自然探索, 1999, 18(67):75-80.
- [2] Sano Y R. Variation of the intergenic spacer region of ribosomal DNA in cultivated and wild rice species [J]. Genome, 1990, 33: 209-218.
- [3] Nakano M, Yoshimura A, Iwata N. Phylogenetic study of cultivated rice and its wild relatives by RFLP [J]. Rice Genet Newsl, 1992, 9: 132-134.
- [4] Tan G X(谭光轩), Ren X(任翔), Weng Q M(翁清妹), et al. Mapping of a new resistance gene to bacterial blight in rice line introgressed from *Oryza officinalis* [J]. Acta Genet Sin(遗传学报), 2004, 31(7):724-729.(in Chinese)
- [5] Wei W(魏伟), Qian Y Q(钱迎倩), Ma K P(马克平). Gene flow between transgenic crops and their wild related species [J]. Acta Bot Sin(植物学报), 1999, 41(4):343-348.(in Chinese)
- [6] Wang Y W(王玉微), Chen C B(陈成斌), Zeng H L(曾汉来), et al. Cross compatibility between cultivated rice and its wild relatives [J]. J Plant Genet Resour(植物遗传资源学报), 2005, 6(3):245-250.(in Chinese)
- [7] Gai H M(盖红梅), Chen C B(陈成斌), Shen F F(沈法富), et al. Genetic diversity and conservation strategy of *Oryza rufipogon* along the Haojiang River in Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. J Plant Genet Resour(植物遗传资源学报), 2005, 6(2):156-162.(in Chinese)
- [8] Gao L Z(高立志), Zhang S Z(张寿洲), Zhou Y(周毅), et al. A survey of the current status of wild rice in China [J]. Chin Biodiv(生物多样性), 1996, 4(3):160-166.(in Chinese)
- [9] Cai S X(蔡善信), Hu F(胡飞), Li Z Q(黎祖强). Effects of temperature on growth duration and flowering habits of the parents of Huayou 54 [J]. Hybrid Rice(杂交水稻), 2000, 15:4-6.(in Chinese)
- [10] Parzies H K, Schnaithmann F, Geiger H H. Pollen viability of *Hordeum* spp. genotypes with different flowering characteristics [J]. Euphytica, 2005, 145:229-235.
- [11] Vaknin Y, Tov Y Y, Eisikowitch D. Flowering seasonality and flower characteristics of *Loranthus acaciae* Zucc. (Loranthaceae): Implications for advertisement and bird-pollination [J]. Sex Plant Reprod, 1996, 9:279-285.
- [12] Luo L J(罗利军), Ying C S(应存山), Tang S X(汤圣祥). Rice Germplasm Resources [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Publishing House, 2002:441-444.(in Chinese)
- [13] Liu J X(刘建新), Chen J G(陈建国), Chen D L(陈冬玲), et al. Studies on flowering behavior of polyploid parents of *Indica-Japonica* hybrids in rice [J]. J Hubei Univ (Nat Sci) (湖北大学学报: 自然科学版), 2004, 26(3):248-252.(in Chinese)
- [14] Zeng X C(曾晓春), Zhou X(周燮), Wu X Y(吴晓玉). Advances in study of opening mechanism in rice florets [J]. Sci Agri Sin(中国农业科学), 2004, 37(2):188-195.(in Chinese)
- [15] 黄农荣, 张旭, 钟旭华. 水稻光温敏核不育系 GD-5S 和 GD-9S 育性特性观察 [J]. 作物杂志, 2003(6):16-18.
- [16] Guo W Q(郭武强). Preliminary observation of flowering habits of the rice TGMS line Anxiang S [J]. Hybrid Rice(杂交水稻), 2004, 19(3):38-39.(in Chinese)
- [17] Zong S Y(宗寿余), Lu C G(吕川根), Lin Y(林煜), et al. Studies on flowering habits of photo-thermo-sensitive genic male sterile lines of rice [J]. J Jinling Instit Tecihn(金陵科技学院学报), 2005, 21(4):56-62.(in Chinese)
- [18] Ma Q L(马启林). Studies on ecological and physiological principle of blooming time overslip in hybrid rice seed production

- II. Correlation of blooming time and temperature humidity ratio [J]. *J Hubei Agri Coll*(湖北农学院学报), 1999, 19(3):193-197.(in Chinese)
- [19] Wang H C(王鸿昌), Liang K Q(梁克勤), Wan B H(万邦惠), et al. Observation on flowering habits of photoperiod-temperature sensitive genic male sterile rice Pei'ai 64S [J]. *Hybrid Rice*(杂交水稻), 2000, 15:51-53.(in Chinese)
- [20] Ma Q L(马启林), Hu D M(胡达明), Wang W J(王维金). Optimum temperature and humidity ratio for hybrid rice seed production at flowering stage [J]. *Chin J Rice Sci*(中国水稻科学), 2001, 15(1):41-45.(in Chinese)
- [21] Cai S W(蔡水文), Chen L B(陈良碧). Effect of temperature on the amylase and the protein accumulation in different early-*Indica* rice during grain filling stage [J]. *Life Sci Res*(生命科学研究), 2004, 8(2):145-148.(in Chinese).
- [22] Li X Z(李训贞), Liang M Z(梁满中), Zhou G Q(周广洽), et al. Effect of environment condition on pollen vigor and seed set during flowing time of rice [J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), 2002, 28(3):417-420.(in Chinese)
- [23] Cai S X(蔡善信), Hu F(胡飞), Li Z Q(黎祖强). Effects of temperature on growth duration and flowering habits of the parents of Huayou 54 [J]. *Hybrid Rice*(杂交水稻), 2000, 15:4-6.(in Chinese)
- [24] Li M T(栗茂腾), Cai D T(蔡得田), Huang L M(黄利民), et al. Comparison of anther structure between cleistogamous rice and anthesis rice [J]. *J Huazhong Agri Univ*(华中农业大学学报), 2001, 20(5):407-412.(in Chinese)
- [25] Lü C G(吕川根), Wang C L(王才林), Zong S Y(宗寿余), et al. Effects of temperature on fertility and seed set in intersubspecific hybrid rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), 2002, 28(4):499-504.(in Chinese)
- [26] Wen S X(温圣贤), Yang S H(杨书化), Li Z B(李泽炳), et al. Studies on outcrossing characteristics of 6 *Indica* photo-thermo-sensitive genic male sterile lines [J]. *J Huazhong Agri Univ*(华中农业大学学报), 1999, 18(5):401-404.(in Chinese)
- [27] Tian D C(田大成), Huang S K(黄三奎), Duan Y G(段永国), et al. The relationship between flowering and pollination time and outcrossing rate of male sterile lines in hybrid rice seed production [J]. *Hybrid Rice*(杂交水稻), 2004, 19(3):50-54.(in Chinese)
- [28] Song X L(宋小玲), Qiang S(强胜), Liu L L(刘琳莉), et al. Assessment on gene flow through detection of sexual compatibility between transgenic rice with *bar* gene and *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* [J]. *Sci Agri Sin*(中国农业科学), 2002, 35(10):1228-1231.(in Chinese)
- [29] Chevre A M, Adamczyk K, Eber F, et al. Modelling gene flow between oilseed rape and wild radish. I. Evolution of chromosome structure [J]. *Theor Appl Gene*, 2007, 114:209-221.
- [30] Song X L(宋小玲), Qiang S(强胜), Sun M Z(孙明珠). Assessment on the possibility of gene flow between transgenic herbicide-resistant rice and *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* from the pollen vitality of *E. crusgalli* var. *mitis* [J]. *Guihaia*(广西植物), 2003, 23(4):343-346.(in Chinese)