

# 水稻白化突变的遗传规律及应用

## —水稻品种“吉粳813”白化性状的改良与基因鉴定

时羽, 孟维韧, 郭金瑞, 朴日花, 全东兴, 邱志刚\*

(吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心), 吉林 公主岭 136100)

**摘要:** 在苗期阶段, 水稻品种吉粳813表现出约25%的白化苗性状。本研究采用回交选育和提纯复壮两种方法, 对吉粳813的白化苗性状进行了快速改良。采用回交选育方法进行改良耗时较长, 需经历5个生育周期以获得稳定的改良材料, 但此过程中亦实现了基因重组, 从而改善了其他相关性状; 而提纯复壮方法仅需1个生育周期即可完成改良, 改良后的材料除白化苗性状外, 在其他性状上与吉粳813保持一致。此外, 本研究还证实了水稻品种吉粳813的白化苗性状是由单基因隐性遗传所控制, 这一发现与孟德尔的遗传规律相符, 并通过全基因组重测序鉴定到白化基因 *OsCAO1*。

**关键词:** 水稻; 白化; 遗传规律

中图分类号: S511.03

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)06-0001-04

## Genetic Rules and Application of Rice Albinism Mutation

—Improvement and Gene Identification of Albino Traits in Rice Variety “Jijing 813”

SHI Yu, MENG Weiren, GUO Jinrui, PIAO Rihua, QUAN Dongxing, QIU Zhigang\*

(Jilin Academy of Agricultural Sciences(Northeast Agricultural Research Center of China), Gongzhuling 136100, China)

**Abstract:** During the seedling stage, rice variety Jijing 813 had approximately 25% of the seedlings exhibiting albino traits. This study effectively improved the albino seedling trait of Jijing 813 through two methods: backcross breeding and purification and rejuvenation. Backcross breeding took a longer time for improvement, requiring five growth cycles to obtain stable improved materials; however, this process also achieved gene recombination, thereby improving other related traits. The purification and rejuvenation method only required one growth cycle to complete the improvement, and the improved material was consistent with Jijing 813 in all traits except albino seedling traits. In addition, this study confirmed that the albino seedling trait of rice variety Jijing 813 is controlled by a single recessive nuclear gene, which is consistent with Mendelian genetic rules; the albinism gene *OsCAO1* was identified through whole-genome resequencing.

**Key words:** Rice; Albinism; Genetic rule

水稻叶色突变, 也就是叶绿素突变, 在水稻的遗传变异中占据了相当大的比重。通过观察叶色的突变表型, 科学家们能够将这些叶色突变体细分为8种不同的类型, 包括白化型、黄化型、浅绿色型、白翠型、绿白型、黄绿色型及条纹型等。进一步根据这些突变是否会导致植物的死亡, 叶色突变体又可以划分为致死型和非致死型两大类<sup>[1-3]</sup>。

在非致死型的叶色突变体中, 特别值得注意的是花斑叶突变体, 部分程度失绿的突变体, 以及那些受温度和发育阶段调控的叶色突变体<sup>[4-5]</sup>。在水稻品种的苗期, 白化苗的出现是一个常见的现象, 通常发生在0~4叶期。这些白化苗在3~4叶期之后, 有的会不幸死亡, 而有的则能够自然转为正常的绿色并继续生长。那些能够自然转青的个体, 由于能够正常生长, 因此其遗传特性得以保留下来<sup>[6-8]</sup>。因此, 在水稻的育种和生产过程中, 如果忽视了这一问题, 即使育出的品种在其他性状上表现得非常优良, 也可能会因为白化苗导致的死苗问题而不被种植者和消费者所接受<sup>[9]</sup>。

本研究中采用的突变体品种是吉粳813, 它

收稿日期: 2025-06-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0100504); 吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2017ZY030)

作者简介: 时羽(1980-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事水稻育种及栽培工作。

通信作者: 邱志刚, E-mail: qiuzhigang\_dami@126.com

表现出一种显著的白化苗现象,其中,白化苗的比例大约占25%。这一比例与孟德尔遗传规律中所描述的3:1的分离比例相吻合,从而初步推断出该白化性状是由单个隐性基因所控制的。吉林省晚熟品种吉粳813生育期长达142 d,它在产量、品质及抗逆性方面表现优异,特别是其圆粒香型的特征,使其成为吉林省市场上极为受欢迎的品种之一。然而,由于在苗期阶段出现了白化苗的问题,并且这些白化苗属于致死型,导致了种子的大量浪费,这在一定程度上影响了该品种的推广效果。针对吉粳813的这些缺陷,本研究特别设计了两种试验方案。这些方案的主要目标是快速改良吉粳813的白化苗性状,同时确保在改良过程中不会影响到吉粳813所具有的其他优良性状,并且通过白化株全基因组重测序的方式找到白化基因,为后续育种工作提供了针对性靶点。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

选用吉林省大面积推广的3个无白化苗基因的水稻品种吉粳313、通禾885、吉粳816和有白化苗性状的水稻品种吉粳813作为本研究的杂交亲本。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 回交选育

采用吉粳813作为轮回亲本进行回交,后代选择与吉粳813性状相似的单株,苗期淘汰有白化苗的穗行,而后加代稳定。2019年夏,在吉林省本地做单交,2019年冬,在海南做回交,设计的组合为吉粳313/吉粳813//吉粳813、通禾885/吉粳813//吉粳813、吉粳816/吉粳813//吉粳813;2020年夏,在吉林省本地种植回交 $F_0$ 代并调查其白化苗情况, $F_1$ 代混合收获;2021年夏,在吉林省 $F_2$ 展开选拔单株;2021—2023年 $F_3$ ~ $F_6$ 代在吉林省和海南两地进行选拔淘汰,加速其稳定。

#### 1.2.2 提纯复壮

2019年夏,在吉林省本地选择具有吉粳813典型性状的50个单株进行穗行种植,苗期将有白化苗性状的穗行淘汰。

#### 1.2.3 全基因组测序

选取2020年同一亲本的后代种进行育苗,选取3株典型白化株和3株正常绿化株,取材后CTAB法提取总DNA,进行全基因组测序,将白化株3个生物学重复与绿化株进行序列比对,寻找可能的致白化基因。

## 2 结果与分析

### 2.1 回交选育后各世代白化苗情况

由表1可见,单交 $F_0$ 代杂交种无白化苗,全部正常,可以判断出白化苗性状为隐性性状。由表2可见,回交 $F_0$ 代各组合杂交种白化苗率均为25%左右,符合孟德尔遗传规律的3:1分离比例,依此判定吉粳813的白化基因为单基因隐性遗传。

表1 单交 $F_0$ 代杂交种白化苗情况调查表

Table 1 Investigation form on white seedlings of single  $F_0$  hybrid

组合 Combination	吉粳313/ 吉粳813	通禾885/ 吉粳813	吉粳816/ 吉粳813
出苗总数/个	98	115	132
白化苗数/个	0	0	0
白化苗率/%	0	0	0

表2 回交 $F_0$ 代杂交种白化苗情况调查表

Table 2 Investigation form on white seedlings of back-cross  $F_0$  hybrid

组合 Combination	吉粳313/ 吉粳813// 吉粳813	通禾885/ 吉粳813// 吉粳813	吉粳816/ 吉粳813// 吉粳813
出苗总数/个	202	199	256
白化苗数/个	49	53	61
白化苗率/%	24.3	26.6	23.8

回交 $F_1$ 代混合收获后, $F_2$ 代进行单株选拔,选拔的单株基本上与轮回亲本吉粳813的优良性状相似,选拔的穗行 $F_3$ 代在苗期进行白化苗情况调查结果如表3。苗期将有白化苗的穗行淘汰,无白化苗的穗行继续进行加代。

表3  $F_3$ 代白化苗情况调查表

Table 3  $F_3$  Whitening seedling survey form

组合 Combination	吉粳313/ 吉粳813// 吉粳813	通禾885/ 吉粳813// 吉粳813	吉粳816/ 吉粳813// 吉粳813
选拔穗行/个	12	25	9
有白化苗区/个	2	5	4

由表4可以看出,经过2代的选拔淘汰,白化苗所占比例越来越少,至 $F_4$ 代所有39个穗行里只有3个穗行有白化苗,将这3个穗行淘汰。 $F_5$ 及 $F_6$ 代所有36个穗行里已经没有白化苗出现,且2022



### 3 结论与讨论

吉粳813中的白化苗性状是由1个单基因控制的隐性性状,其在遗传过程中表现出的分离比例为3:1,这一现象完全符合孟德尔遗传规律。吉粳813产生的25%白化表型是由于*OsCAO1*突变导致的。回交育种及提纯复壮均是快速有效解决淘汰白化苗的方法。

回交育种技术,也就是通过2次回交的方式,通常需要经历大约6个世代的繁育过程,才能达到遗传性状的稳定状态。这个过程长短会受到双亲血缘关系的远近及回交代数的影响,从而导致稳定世代的出现时间存在一定的差异性。在进行回交育种时,育种者会根据自己的目标来选择合适的亲本,因此最终得到的稳定品系可能会在某些性状上与目标品种吉粳813的主要性状存在一定的差异。

提纯复壮的过程则相对快速,通常在1个生育周期内就可以通过观察和淘汰那些出现白化苗的穗行来鉴别出优良品系,到第2个生育周期,只需进一步验证是否还有白化苗出现,即可确认提纯复壮的品系是否成功。经过提纯复壮后的品系,在除了白化苗性状之外的其他方面,与原始品种吉粳813是完全一致的。

这2种育种方法各有其优势和局限性。回交选育虽然耗时较长,但它允许育种者在改良原有品种的同时,引入新的遗传变异,进行基因的重组,从而能改善品种的多个性状。而提纯复壮的方法虽然操作迅速,效率高,但其缺点是提纯后的品系在遗传性状上与原品种相比,除了特定的性状(如白化苗)之外,其他方面并没有显著的改变。

#### 参考文献:

[ 1 ] 杨转英,何小龙,郑燕丹,等.水稻白化转基因株系叶绿素合成特性研究[J].广东农业科学,2012,39(14):139-141.  
YANG Z Y, HE X L, ZHENG Y D, et al. Study on chlorophyll synthesis characteristics of rice albino transgenic lines[J]. Guangdong Agricultural Science, 2012, 39(14): 139-141. (in Chinese)

[ 2 ] 王军,杨杰,陈志德,等.水稻白化转绿突变体v13(t)的生理

特性和基因定位[J].中国农业科学,2011(10):1973-1979.

WANG J, YANG J, CHEN Z D, et al. Physiological characteristics and gene localization of rice albino green mutant v13(t)[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011(10): 1973-1979. (in Chinese)

- [ 3 ] 何婷婷,杨青青,吴杰,等.一个新的水稻白化转绿突变体的遗传分析和农艺性状研究[J].温州农业科技,2011(2):1964-1966.  
HE T T, YANG Q Q, WU J, et al. Genetic analysis and agronomic traits study of a new rice albino to green mutant[J]. Wenzhou Agricultural Science and Technology, 2011(2):1964-1966. (in Chinese)
- [ 4 ] 李瑞清,武立权,舒庆尧,等.一个新的水稻白化转绿突变体G<sub>9</sub>的特性研究[J].核农学报,2010(5):881-886  
LI R Q, WU L Q, SHU Q Y, et al. Study on the characteristics of a new rice albino to green mutant G9[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2010(5): 881-886. (in Chinese)
- [ 5 ] 史典义,刘忠香,金危危.植物叶绿素合成、分解代谢及信号调控[J].遗传,2009(7):698-704.  
SHI D Y, LIU Z X, JIN W W. Plant chlorophyll synthesis, catabolism, and signal regulation[J]. Genetics, 2009(7): 698-704. (in Chinese)
- [ 6 ] CHEN T, ZHANG Y D, ZHAO L, et al. Fine mapping and candidate gene analysis of a green-revertible albino gene gra(t) in rice[J]. Journal of Genetics, 2009(2): 117-123.
- [ 7 ] 张毅,吕俊,李云峰,等.水稻白化转绿基因对农艺性状和外观米质的影响[J].作物学报,2008(2):284-289.  
ZHANG Y, LYU J, LI Y F, et al. The effect of rice whitening to green gene on agronomic traits and appearance of rice quality[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008(2): 284-289. (in Chinese)
- [ 8 ] 张泽民,朱海涛,王江,等. T-DNA插入产生的水稻白化苗突变的遗传分析[J].华南农业大学学报,2007(3):1-5.  
ZHANG Z M, ZHU H T, WANG J, et al. Genetic analysis of rice albino seedling mutations caused by T-DNA insertion[J]. Journal of South China Agricultural University, 2007(3): 1-5. (in Chinese)
- [ 9 ] 陈涛,张亚东,赵凌,等.一个新的水稻白化转绿突变体的生理特性和基因定位[J].遗传学报,2007(4):331-338  
CHEN T, ZHANG Y D, ZHAO L, et al. Physiological characteristics and gene mapping of a new rice albino to green mutant[J]. Journal of Genetics, 2007(4): 331-338. (in Chinese)
- [ 10 ] 王昊云.长雄蕊野生稻白化苗、落粒性和剑叶长度的遗传分析[D].南宁:广西大学,2020.
- [ 11 ] 蔡中全.水稻*wpb1*突变导致枝梗白化及后代幼苗白化致死的机理研究[D].南宁:广西大学,2022.

(责任编辑:朴红梅)