

水稻芽鞘紫线遗传分析

张毅¹, 李云峰¹, 刘晓锋¹, 林茂祥², 沈福成¹, 何光华¹, 杨正林¹, 杨光伟³

(¹西南农业大学农学系, 重庆 400716; ²重庆中药研究所, 重庆 408400; ³西南农业大学生物技术中心, 重庆 400716)

摘要: 以不同芽鞘紫线基因型亲本相互杂交, 共获得 77 个 F₁ 代、51 个 F₂ 代和 1 个 BF₁ 代。调查各世代芽鞘紫线的表现及其分离情况, 共获得 9(10) 种比例 (有紫线: 无紫线): 全无、27:37(108:148)、117:139、1:1、9:7、39:25、3:1、13:3、全有, 其中 13 (有紫线):3 (无紫线) 为首次发现。分析表明, 在本研究所涉及的亲本范围内, 控制水稻芽鞘紫线表达的基因有 4 对, 结合前人研究结果, 提出了芽鞘紫线遗传的 C₁A₁P₁I₁A_{1(t)} 模型。芽鞘紫线将在杂交稻种子纯度的及早和快速鉴定中发挥其独特的作用。

关键词: 水稻; 芽鞘紫线; C₁A₁P₁I₁A_{1(t)}; 遗传; 纯度鉴定

Analysis on the Inheritance of Coleoptile Purple Line in Rice

ZHANG Yi¹, LI Yun-feng¹, LIU Xiao-feng¹, LIN Mao-xiang², SHEN Fu-cheng¹, HE Guang-hua¹,
YANG Zheng-lin¹, YANG Guang-wei³

(¹Department of Agronomy, South-west Agricultural University, Chongqing 400716;

²Chinese Traditional Medicine Institute of Chongqing, Chongqing 408400;

³Biotechnology Research Center, South-west Agricultural University, Chongqing 400716)

Abstract: Seventy-seven F₁ combinations and 51 F₂ populations were obtained by crossing among parents with different genotypes of purple line in coleoptile, and 1 BF₁ was produced in backcross XNA×(XNA×21A150). Nine(ten) segregation ratios (purple line : no-purple line) emerged in those combinations like: none(all individuals are no-purple line), 27 : 37(108 : 148), 117 : 139, 1 : 1, 9 : 7, 39 : 25, 3 : 1, 13 : 3, all(all individuals are purple line), and the ratio of 13 purple line : 3 no-purple line was reported for the first time. The analysis indicated that 4 pairs of genes control the performance of coleoptile purple line in the rice materials used in study. Combining the other researchers' results, a genetic system of C₁A₁P₁I₁A_{1(t)} was recommended to explain the inheritance of coleoptile purple line in rice. The trait of coleoptile purple line must be a particular role in identifying the purity of hybrid rice seed quickly and early.

Key words: Rice; Purple line in coleoptile; C₁A₁P₁I₁A_{1(t)}; Inheritance; Purity identification

杂交稻之所以比常规稻产量高, 关键在于杂种一代整齐一致的强大的杂种优势。杂交稻易发生混杂退化^[1], 削弱杂种优势的增产作用, 由此引发的纠纷时有发生。因此杂种纯度鉴定历来受到人们的重视, 所鉴定的杂株成分主要是不育系、保持系和恢复系 (所占比例从大到小)^[1~3]。目前人们主要是通过异地或异季种植鉴定, 这种方法不但费钱, 而且费时, 一般要 4 个多月才能获得结果。由于时间长, 对当年生产的

杂交种子纯度难以确定^[2], 等到鉴定结果出来时, 大部分种子已流入市场甚至已播种栽插, 要采取措施已为时过晚。加上环境变化, 使粒形、穗形、株形、生育期等性状发生变化难以区分真假杂种^[2,4], 以及田中自生苗的影响, 鉴定的准确度不高。为节省费用和时间, 人们往往根据估计仅送少部分样品去鉴定, 从而埋下严重隐患。人们曾研究利用生物化学、分子生物学手段进行纯度鉴定, 但由于其可行性太差而未能得

收稿日期: 2003-07-29

作者简介: 张毅(1971-), 男, 四川南充人, 助理研究员, 硕士, 主要从事水稻遗传与育种与教学工作。Tel:023-8250569; E-mail: zy03392002@yahoo.com.cn。杨光伟为通讯作者, Tel:023-68251608; E-mail: yanggw@swau.edu.cn

到实际运用^[2]。因此,快速、准确、经济的纯度鉴定仍是人们长期努力的目标,是杂交稻研究的一个重要领域。

水稻芽鞘紫线是在种子出芽后,胚芽鞘两侧各出现的1条清晰可见的紫色线条。由于该性状表达时期极早(出芽期),引起了许多学者的注意和研究,国内很多育种家试图将其运用于杂种的纯度鉴定。席建民1996重新发现并报道了该性状,对该性状的描述和表达条件研究得较为清楚,并得到了一些F₂的分离比例^[5]。1985年,沈又佳、陆作楣曾研究利用芽鞘红色来进行化杀杂交水稻的纯度鉴定,但其父本本身具有该性状^[6],仅凭芽鞘红色不能将F₁和父本区分开来;1996年,曾运华曾研究胚芽鞘“八”字形紫色线和不完全叶紫色作标记性状进行纯度鉴定,但其母本本身具有该性状^[7],仅凭该性状不能将F₁和母本区分开来。要完全鉴别F₁及两种亲本还要借助粒形及芽鞘色表现程度,这就决定了其鉴定标准模糊,结果不准确,从而未能被大家广泛采用。国外对该性状的研究较早,称之为:胚芽鞘紫色(purple colour in the coleoptile)^[8],胚芽鞘中紫色线状排列(purple lining in the coleoptile)^[9],紫色胚芽鞘(purple coleoptile)^[10]。印度的Dhulappanavar认为该性状受2个显性重叠基因*Pc1*、*Pc2*和1个显性抑制基因*I-Pc*、1个显性反抑制

基因*A_{i(t)}-Pc*共4个基因控制^[8];印度的Prasada Rao则认为该性状仅受与褐飞虱抗性连锁的2个显性互补基因*Pc-1*、*Pc-2*控制^[9,10];日本学者提出了C、A、P基因和1个偶尔参与的抑制基因以解释水稻的色素遗传^[11]。综上所述,国内外研究的实为同一性状,国内对其遗传规律研究十分缺乏,导致其应用受到局限,而国外对其遗传研究较多,得出多种不同的结论,而对其在杂交种纯度鉴定中的应用研究尚属空白。笔者曾观察到双亲芽鞘无紫线但其F₁有紫线的现象(图1),于是有可能利用芽鞘紫线,在种子收后几天之内就可作出简便准确的纯度鉴定结论。不仅节约人、财、物、时,还能及时避免不合格种子进入市场,因而具有极大的经济效益和社会效益。为了摸清其遗传规律,为实际应用和进一步的理论研究提供依据,笔者通过连续4季的跟踪研究,配制大量的杂交组合,进行了细致的调查和分析,下面报告主要研究结果。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

芽鞘有紫线亲本9个,芽鞘无紫线亲本11个,及其杂交、自交和回交所获得的F₁代、F₂代和BF₁代。亲本21A150和21A151为近等基因系,XNA为不育系。各亲本的相关情况如表1。

表1 亲本性 状记载¹⁾

Table 1 The list of parents traits

| 亲本名称 Parents name | 紫线 Purple line | 其它紫色器官 Purple color of some organs | 亲本名称 Parents name | 紫线 Purple line | 其它紫色器官 Purple color of some organs |
|---|-------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------------------------|
| II-32B | + | +(柱头等 S stigma etc) | 墨稻 Modao | - | +(叶鞘等 Leaf sheath etc) |
| D62B | + | +(柱头等 S stigma etc) | 白粳紫 Baijingzi | - | +(叶鞘等 Leaf sheath etc) |
| K17B | + | +(柱头等 S stigma etc) | 20A99 | - | - |
| G46B | + | +(柱头等 S stigma etc) | 意大利 Yidali | - | - |
| 21A150 | + | +(柱头等 S stigma etc) | H1345 | - | - |
| JH ₁ 天杂 JH ₁ tianza | + | +(柱头等 S stigma etc) | 21A138 | - | - |
| 西昌香谷 Xichangxiangu | + | +(柱头等 S stigma etc) | 缙恢一号 Jinhuiyihao | - | - |
| 珍汕 97B Zhenshan97B | + | +(柱头等 S stigma etc) | 科 3-1 Ke3-1 | - | - |
| 20A179 | + | +(叶鞘等 Leaf sheath etc) | 明恢 63 Minghui63 | - | - |
| XNA | - | +(柱头等 S stigma etc) | 21A151 | - | - |

¹⁾ +表示有紫线,-表示无紫线。下同

+ Means purple line in the coleoptile, - Means no-purple line in the coleoptile. The same as below

1.2 试验设计

1.2.1 杂交方式 主要以芽鞘无紫线材料为母本与芽鞘有紫线材料为父本杂交得F₁并令其自交得F₂代,同时在芽鞘无紫线的亲本内、芽鞘有紫线的亲本内分别获得了一些F₂代。为检测有无细胞质效应,在白粳紫和II-32B、缙恢一号和21A150、20A179和II-32B 3对亲本内做了正反交。对F₂代紫线有无比例为13:3,

且无紫线亲本为不育系的组合XNA/21A150做了回交,XNA为回交母本,F₁为回交父本。

1.2.2 调查和统计方法 将各世代催芽后均匀植播于泥盘,保持充分的光照、水分和适宜的温度,2~3 d后统计芽鞘紫线的表现情况。亲本、F₁播20粒,全部调查;F₂播800粒,连续调查768粒;BF₁播300粒,连续调查256粒。记载各分离世代的紫线有无数

据，对所有的数据进行卡方测验，以验证观测值与理论值是否吻合。

2 结果与分析

各组合的 F₁、F₂ 和 BF₁ 代紫线有无及比例见表 2。

2.1 F₁ 代的芽鞘紫线性状的表现

所有有紫线和无紫线亲本的 F₁ 代全部表现出紫线性状，表明有紫线对无紫线为完全显性。无紫线和无紫线亲本的 F₁ 代有一部分组合表现无紫线，另一部

分有紫线：XNA / 墨稻、XNA / 意大利、意大利/墨稻、意大利/20A99 表现无紫线；而 XNA / 21A151、XNA / 明恢 63、H1345/20A99、缙恢一号/白粳紫、缙恢一号/20A99、科 3-1/20A99 表现紫线性状；两个无紫线亲本的杂交 F₁ 代表现有紫线，表明两亲本基因之间存在着互补或更复杂的抑制与反抑制关系（图 1）。有紫线和有紫线亲本杂交的 F₁ 代表现有紫线。白粳紫和 II-32B、缙恢一号和 21A150、20A179 和 II-32B 3 对亲本内的正反交的 F₁ 代均表现为有紫线。

表 2 各组合后代紫线情况

Table 2 The behaviors of all combinations' progenies

| 组合名称 Name of combination | F ₁ | F ₂ 或 BF ₁ (+ : -) | | | 组合名称 Name of combination | F ₁ | F ₂ 或 BF ₁ (+ : -) | | |
|--|----------------|--|------------------|----------|---|----------------|--|------------------|----------|
| | | F ₂ or BF ₁ (purple line : no-purple line) | | | | | F ₂ or BF ₁ purple line : no-purple line | | |
| | | 观测值 Obs ratio | 理论比 Exp ratio | χ^2 | | | 观测值 Obs ratio | 理论比 Exp ratio | χ^2 |
| XNA/21A150 | + | F ₂ 616 : 152 | 13 : 3 | 0.481 | 21A138/21A150 | + | F ₂ 585 : 183 | 3 : 1 | 0.502 |
| XNA/XNA/21A150 | | BF ₁ 35 : 121 | 1 : 1 | 0.660 | 21A138/西昌香谷 21A138/Xichangxiangu | + | F ₂ 565 : 203 | 3 : 1 | 0.766 |
| XNA/21A151 | + | F ₂ 456 : 312 | 39 : 25 | 0.723 | 21A138/珍汕 97B 21A138/Zhenshan97B | + | F ₂ 585 : 183 | 3 : 1 | 0.502 |
| XNA/明恢 63 XNA/Minghui63 | + | F ₂ 476 : 292 | 39 : 25 | 0.308 | 缙恢一号/D62B Jinhuiyihao/D62B | + | F ₂ 562 : 206 | 3 : 1 | 1.266 |
| XNA/墨稻 XNA/Modao | - | F ₂ 全无 none | 全无 none | / | 缙恢一号/21A150 Jinhuiyihao/21A150 | + | F ₂ 581 : 187 | 3 : 1 | 0.141 |
| XNA/意大利 XNA/Yidali | - | F ₂ 全无 none | 全无 none | / | 21A150/缙恢一号 21A150/Jinhuiyihao | + | F ₂ 569 : 199 | 3 : 1 | 0.293 |
| 墨稻 II-32B Modao/ II-32B | + | F ₂ 610 : 158 | 13 : 3 | 1.558 | 缙恢一号/西昌香谷 Jinhuiyihao/Xichangxiangu | + | F ₂ 564 : 204 | 3 : 1 | 0.918 |
| 白粳紫 II-32B Baijingzi/ II-32B | + | F ₂ 612 : 156 | 13 : 3 | 1.130 | 缙恢一号/白粳紫 Jinhuiyihao/Baijingzi | + | F ₂ 453 : 315 | 39 : 25 | 1.150 |
| II-32B/白粳紫 II-32B/Baijingzi | + | F ₂ 623 : 145 | 13 : 3 | 0.002 | 缙恢一号/20A99 Jinhuiyihao/20A99 | + | F ₂ 463 : 305 | 39 : 25 | 0.111 |
| 20A99/D62B | + | F ₂ 605 : 163 | 13 : 3 | 2.925 | 科 3-1/II-32B Ke3-1/II-32B | + | F ₂ 578 : 190 | 3 : 1 | 0.016 |
| 20A99/21A150 | + | F ₂ 629 : 139 | 13 : 3 | 0.173 | 科 3-1/D62B Ke3-1/D62B | + | F ₂ 569 : 199 | 3 : 1 | 0.293 |
| 意大利 II-32B Yidali/II-32B | + | F ₂ 355 : 413 | 117 : 139 | 0.064 | 科 3-1/K17B Ke3-1/K17B | + | F ₂ 594 : 174 | 3 : 1 | 2.127 |
| 意大利/D62B Yidali/D62B | + | F ₂ 361 : 407 | 117 : 139 | 0.474 | 科 3-1/21A150 Ke3-1/21A150 | + | F ₂ 565 : 203 | 3 : 1 | 0.141 |
| 意大利/K17B Yidali/K17B | + | F ₂ 357 : 411 | 117 : 139 | 0.159 | 科 3-1/JH ₁ 天杂 Ke3-1/JH ₁ tianza | + | F ₂ 577 : 191 | 3 : 1 | 0.002 |
| 意大利/G46B Yidali/G46B | + | F ₂ 346 : 422 | 117 : 139 | 0.106 | 科 3-1/西昌香谷 Ke3-1/Xichangxiangu | + | F ₂ 580 : 188 | 3 : 1 | 0.085 |
| 意大利/21A150 Yidali/21A150 | + | F ₂ 364 : 404 | 117 : 139 | 0.820 | 科 3-1/珍汕 97B Ke3-1/Zhenshan97B | + | F ₂ 591 : 177 | 3 : 1 | 1.460 |
| 意大利/JH ₁ 天杂 Yidali/JH ₁ tianza | + | F ₂ 347 : 421 | 117 : 139 | 0.064 | 科 3-1/20A99 Ke3-1/20A99 | + | F ₂ 481 : 287 | 39 : 25 | 0.855 |
| 意大利/珍汕 97B Yidali/Zhenshan97B | + | F ₂ 310 : 458 | 27 : 37 | 0.973 | 明恢 63/II-32B Minghui63/II-32B | + | F ₂ 591 : 177 | 3 : 1 | 1.460 |
| 意大利/墨稻 Yidali/Modao | - | F ₂ 全无 none | 全无 none | / | 明恢 63/D62B Minghui63/D62B | + | F ₂ 581 : 187 | 3 : 1 | 0.141 |
| 意大利/20A99 Yidali/20A99 | - | F ₂ 全无 none | 全无 none | / | 明恢 63/珍汕 97B Minghui63/Zhenshan97B | + | F ₂ 578 : 190 | 3 : 1 | 0.016 |
| H1345/II-32B | + | F ₂ 581 : 187 | 3 : 1 | 0.141 | 21A151/II-32B | + | F ₂ 560 : 208 | 3 : 1 | 1.668 |
| H1345/D62B | + | F ₂ 588 : 180 | 3 : 1 | 0.918 | 21A151/D62B | + | F ₂ 553 : 215 | 3 : 1 | 3.516 |
| H1345/西昌香谷 H1345/Xichangxiangu | + | F ₂ 567 : 201 | 3 : 1 | 0.502 | 21A151/21A150 | + | F ₂ 575 : 193 | 3 : 1 | 0.002 |
| H1345/20A99 | + | F ₂ 441 : 327 | 9 : 7 | 0.382 | II-32B/20A179 | + | F ₂ 全有 all | 全有 all | / |
| 21A138/D62B | + | F ₂ 568 : 200 | 3 : 1 | 0.391 | 20A179/II-32B | + | F ₂ 全有 all | 全有 all | / |
| 21A138/G46B | + | F ₂ 567 : 201 | 3 : 1 | 0.502 | JH ₁ 天杂/II-32B JH ₁ tianza/II-32B | + | F ₂ 全有 all | 全有 all | / |

¹⁾ χ^2 (0.05, ν)=3.84

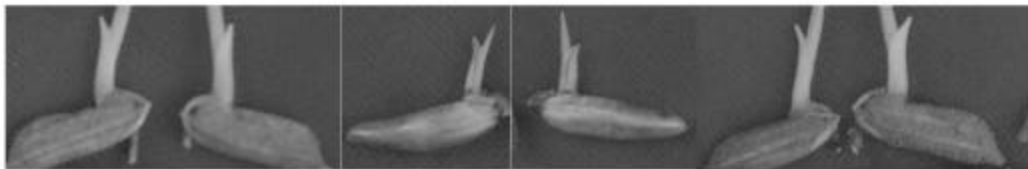


图 1 水稻芽鞘紫线现象（双亲芽鞘无紫线（左、右）但其 F₁ 代（中）有紫线）

Fig. 1 Coleoptile purple line in rice (exist in F₁ (midst) but not in parents (left and right))

2.2 F₂代和BF₁代紫线性状的分离情况

在F₂代中紫线有无比例共出现了8(9)种: 全无、27:37(108:148)、117:139、9:7、39:25、3:1、13:3、全有。其中紫线有无比例为13:3的组合有6个: XNA/21A150、墨稻/II-32B、白粳紫/II-32B、II-32B/白粳紫、20A99/D62B、20A99/21A150。该种紫线有无比例为首次报道。在这6个组合中选无紫线亲本为不育系的组合XNA/21A150做回交, XNA为回交母本, F₁为回交父本, BF₁代的分离比例符合1:1。所有正反交组合各自的正交和反交F₂代的分离比均表现一致。

2.3 结果分析和C₁A₁P₁I₁A_{i(t)}模型的建立

综合亲本及其后代的表现, 至少可得出如下结论:

(1) 芽鞘紫线受核基因控制, 无细胞质效应; (2) 在本研究所涉及亲本中, 影响芽鞘紫线表达的基因有4对, 这些基因通过互补、抑制和反抑制等复杂的相互作用来决定紫线是否在胚芽鞘中表现; (3) 上述复杂的比例用现有的芽鞘紫线遗传规律无法全部解释: 日本学者的C₁A₁P₁(I₁)系统无法说明紫线有无比例117:139、39:25、13:3; 印度Dhulappanavar的重叠-抑制-反抑制模型(Pc1-Pc2-I-Pc₁A_{i(t)}-Pc₂)不能出现紫线有无比例117:139、27:37; 印度U.PRASADARAO互补假设(Pc-1-Pc-2₁)对紫线有无比例27:37、117:139、39:25、13:3解释不通。综合前人对芽鞘及其它器官色素遗传的研究^[8-15], 联系本研究的复杂情况, 发现只有将上述三者的模型结合起来才能较完整地说明芽鞘紫线的遗传规律。假设为: 芽鞘紫线的表现除受3个独立的显性主效基因C(色素原基

因)、A(色素原转化基因)、P(表现部位基因)的共同控制(互补)外, 还受一个显性抑制基因I-P_{cpl}(简称为I)和一个反抑制基因A_{i(t)}-P_{cpl}(简称为A_{i(t)})的影响, 即C₁A₁P₁I₁A_{i(t)}模型。芽鞘紫线的表达C、A、P缺一不可, I抑制P的作用, A_{i(t)}抑制I的作用。在这种假设下, 可推论出: (1) 有紫线个体的基因型为C₁A₁P₁ii₁和C₁A₁P₁I₁A_{i(t)}, 其余基因型为无紫线。(2) 所有基因型充分杂交, 可获得211种杂合基因型(资料备案), F₂有14(15)种紫线有无比例: 全无、27:229、9:55、3:13、1:3、81:175、351:673、108:148(27:37)、27:37、117:139、9:7、39:25、3:1、13:3、全有。BF₁的分离比例依亲本的对基因是相引相还是相斥相以及回交亲本的不同而出现1:1、1:3、1:7、3:5、3:1、1:15、3:13、5:27、3:29、7:25等比例(资料备案)。F₁代基因的组合方式和F₂代紫线的分离比例如表3所示。该模型的14(15)种比例包含了作者研究中出现的所有类型, 以及其他研究者所发现的比例, 能合理地解释芽鞘紫线的遗传行为。C₁A₁P₁I₁A_{i(t)}模型下几种可能的杂交方式及其F₁代、F₂代的可能的表现见表4。

2.4 亲本基因型的推导

根据亲本芽鞘和其它器官有无紫色及其相互杂交、自交和回交的F₁、F₂和BF₁代的表现, 结合C₁A₁P₁I₁A_{i(t)}模型的理论推导, 可得出各亲本的基因型。现以XNA和21A150为例, 说明推导过程: 由于两亲本柱头有紫色, 可知它们的C、A基因均为显性, 因为21A150有紫线, 则它的P也为显性, 再根据F₂代

表3 C₁A₁P₁I₁A_{i(t)}基因系统F₂代紫线有无比

Table 3 The F₂ segregation ratio of purple line within genetic system of C₁A₁P₁I₁A_{i(t)}

| (1) | 至少一对纯合隐性基因 I pair of homozygous recessive gene | | 无纯合隐性基因 No homozygous recessive gene | | |
|---------------------------------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| | 零对杂合基因 No heterozygous genes | 一对杂合基因 One heterozygous genes | 二对杂合基因 Two heterozygous genes | 三对杂合基因 Three heterozygous genes | |
| (2) | CCAApp,Ccaapp,Ccaapp,Ccaapp 等 CCAApp,Ccaapp,Ccaapp,Ccaapp etc | CCAAPP | CCAAPp,CCAaPP, CcAAPP | CCAaPp,CcAAPp, CcAaPP | CcAaPp |
| iiA _{i(t)} a _{i(t)} | 全无 none | 13:3 | 39:25 | 117:139 | 351:673 |
| iiA _{i(t)} A _{i(t)} | 全无 none | 全有 all | 3:1 | 9:7 | 27:37(108:148) |
| IIA _{i(t)} a _{i(t)} | 全无 none | 3:1 | 9:7 | 27:37 | 81:175 |
| IIA _{i(t)} A _{i(t)} | 全无 none | 全有 all | 3:1 | 9:7 | 108:148 |
| IiA _{i(t)} a _{i(t)} | 全无 none | 1:3 | 3:13 | 9:55 | 27:229 |
| IIA _{i(t)} A _{i(t)} | 全无 none | 全有 all | 3:1 | 9:7 | 27:37 |
| IIa _{i(t)} a _{i(t)} | 全无 none | 全无 none | 全无 none | 全无 none | 全无 none |
| iiA _{i(t)} A _{i(t)} | 全无 none | 全有 all | 3:1 | 9:7 | 27:37 |
| iiA _{i(t)} a _{i(t)} | 全无 none | 全有 all | 3:1 | 9:7 | 27:37 |

¹⁾ (1) 表示 F₁ 代主效基因的组合方式; (2) 表示 F₁ 代 I 和 A_{i(t)} 的组合方式

(1) Means the assembling mode of C, A and P in F₁; (2) Means the assembling mode of I and A_{i(t)} in F₁

表 4 不同杂交方式的遗传行为¹⁾

Table 4 Genetic behavior of different crossing mode

| 杂交方式 Crossing mode | | F ₁ 的表现型 Phenotype of F ₁ combinations | F ₂ 的表现 Behavior of F ₂ generations | 例子 Examples | | | |
|-----------------------|-------------------|---|--|--|--|--|--|
| 母本 Female parent | 父本 Male parent | | | 母本基因型 Genotype of female parent | 父本基因型 Genotype of male parent | F ₁ 的基因型 Genotype of F ₁ combinations | F ₂ 的分离比 Segregation ratio of F ₂ |
| - | + | + | S | CCAAPPii A ₀ A ₀ | CcAaPPII a ₀ a ₀ | CCAaPPII A ₀ a ₀ | 9 : 7 |
| | | - | S | CCAAPPii a ₀ a ₀ | ccAaPPII A ₀ A ₀ | CcAaPPIi a ₀ a ₀ | 9 : 55 |
| + | + | + | S | CCAAPPii A ₀ A ₀ | CCAAPPii a ₀ a ₀ | CCAAPPii A ₀ a ₀ | 13 : 3 |
| | | + | NS | CCAAPPii A ₀ A ₀ | CCAAPPii A ₀ A ₀ | CCAAPPii A ₀ A ₀ | AY |
| | | + | S | ccAAPPii a ₀ a ₀ | CcAaPPIi a ₀ a ₀ | CcAaPPIi a ₀ a ₀ | 27 : 37 |
| - | - | - | S | CCAAPPii a ₀ a ₀ | ccAAPPii a ₀ a ₀ | CcAAPPii a ₀ a ₀ | 3 : 13 |
| | | - | NS | CCAAPPii a ₀ a ₀ | ccAAPPii a ₀ a ₀ | CcAAPPii a ₀ a ₀ | AN |

¹⁾ AY 表示全有紫线，AN 表示全无紫线；S 表示 F₂ 分离，NS 表示 F₂ 不分离。F₂ 的分离比为有紫线：无紫线

AY means all F₂ individuals behave purple line in the coleoptile, and AN means all F₂ individuals behave no-purple line in the coleoptile; S means F₂ generations segregate and NS means F₂ generations don't segregate. Segregation ratio of F₂ is described as purple line: no-purple line

的分离比为 13 : 3，可知 F₁ 中杂合基因为 *liA_{i(t)}a_{i(t)}*，则 XNA 的 P 也为显性，所以二者的基因型可表示为 CCAAPP____，由于 XNA 无紫线，那么它的基因型只能是 CCAAPPii a_{i(t)}a_{i(t)}，从而 21A150 的基因型只能是 CCAAPPii A_{i(t)}A_{i(t)}。如果推导是正确，那么 BF₁ 代的紫线有无比例应为：

$$\begin{matrix} \text{CCAAPPii } a_{i(t)}a_{i(t)} & \times & \text{CCAAPPii } A_{i(t)}A_{i(t)} \\ \text{XNA} & & \text{F}_1 \\ & \downarrow & \\ \text{BF}_1 & & \end{matrix}$$

BF₁ 有(1/4II A_{i(t)}a_{i(t)}+1/4Ii A_{i(t)}a_{i(t)}) : 无(1/4II a_{i(t)}a_{i(t)}+1/4Ii a_{i(t)}a_{i(t)})=1 : 1

实际比例为 135 : 121，卡方值为 0.660，非常符合 1 : 1 的理论比例，这从另一方面说明了推导过程和 C_A_P_I_A_{i(t)}模型的正确性。

按上述过程，推出全部供试亲本的基因型。由于杂交组合未能穷尽，有些亲本基因型不是惟一的。在我们的实验数据中，只有全无、27 : 37(108 : 148)、117 : 139、9 : 7、39 : 25、3 : 1、13 : 3、全有，对于 C_A_P_I_A_{i(t)}模型，仅当 C 或 A 为显性纯合基因，才会出现这种情况。假设所有亲本的 A 为显性纯合，各亲本的基因型如表 5。

表 5 亲本基因型

Table 5 Genotypes of parents

| 亲本名称 Name of parent | 基因型 Genotype | 亲本名称 Name of parent | 基因型 Genotype |
|------------------------|--|------------------------|--|
| II-32B | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 墨稻 Modao | CCAAPPii a ₀ a ₀ |
| D62B | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 白稷紫 Baijingzi | CCAAPPii a ₀ a ₀ |
| K17B | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 20A99 | CCAAPPii a ₀ a ₀ |
| G46B | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 意大利 Yidali | ccAappII a ₀ a ₀ |
| 21A150 | CCAAPPii A ₀ A ₀ | HI345 | ccAAPPii A ₀ A ₀ |
| JH ₁ 天杂 | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 21A138 | ccAAPP_ _ _ _ |
| JH ₁ tianza | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 缙恢一号 Jinhuiyihao | ccAAPPii A ₀ A ₀ |
| 西昌香谷 Xichangxianggu | CCAAPP_ A ₀ A ₀ | 科 3-1ke3-1 | ccAAPPii A ₀ A ₀ |
| 珍汕 97B Zhenshan97B | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 明恢 63Minghui63 | ccAAPPii A ₀ A ₀ |
| 20A179 | CCAAPPii A ₀ A ₀ | 21A151 | ccAAPPii A ₀ A ₀ |
| XNA | CCAAPPii a ₀ a ₀ | | |

3 讨论

3.1 在 C_A_P_I_A_{i(t)}系统的控制下，芽鞘紫线性状在 F₂ 代的分离比共有 14 (15) 种之多，本试验虽然运用了大量的杂交组合，但只发现了其中的 8 (9) 种，估计原因是亲本材料遗传背景不够广泛。在本研究中，部分组合 F₂ 代的分离比虽然符合互补作用的理论比例，但其卡方值更接近重叠作用的理论比例，如：45 : 19、132 : 121、195 : 61 等。前人曾报道 195 : 61^[8]，15 : 1，63 : 1^[5]等有重叠基因存在的分离比，估计芽鞘紫线性状还受到重叠基因的作用。

3.2 根据前人的研究，水稻大多数器官的色素遗传具有相似的规律^[11]，因此 C_A_P_I_A_{i(t)}模型可以推广到其它器官的色素遗传研究中去。

3.3 选育出像 XNA (CCAAPPii a_{i(t)} a_{i(t)}) 这样的不育系，则可利用芽鞘紫线，实现快速、准确、及时、经济地进行杂交稻种子的纯度鉴定：当父本芽鞘有紫线时，可按照沈又佳、陆作楣^[6]的方法，根据芽鞘紫线的有无和粒型便可知道真杂种率；当父本无紫线时仅根据芽鞘紫线的有无就可知道真杂种率。在严格执行杂交稻种子生产的技术规程和排除人为因素的情况下，真杂种率就是我们想得到的杂种纯度。对于上述第一种情况当父本的抑制和反抑制基因为纯合隐性 ii a_{i(t)} a_{i(t)}时该方法无效，第二种情况当父本的反抑制基因为纯合隐性 a_{i(t)} a_{i(t)}时该方法无效。但是，根据遗传学知识，这两种不利假设出现的机率相对较小。因此，选育的关键是获得芽鞘无紫线而其它器官有紫色的不育系，恢复系照通常方法进行即可。

3.4 在工业生产中，产品质量的自检是一个必不可少的环节。随着市场体系的逐步完善和我国成为 WTO

中的一员,农产品市场的竞争必将越来越激烈,种子市场尤其如此。种子质量将大大影响种子生产单位的竞争力。而影响种子质量的因素主要为杂种纯度,因此杂交稻种子纯度的全面自检是一个大趋势,也是种子质量监督部门的一贯要求。鉴于因杂交稻纯度引起的诸多严重问题和芽鞘紫线在杂交稻纯度鉴定中的独特作用,完全有必要将其作为杂交稻组合选育的一个重要要求,芽鞘紫线的利用研究有可能成为杂交稻纯度鉴定研究领域中的新的内容。

References

- [1] 陆作楦,赵霭林,马崇云. 杂交水稻混杂退化问题研究. 中国农业科学, 1982, 3(15):8-15.
Lu Z M, Zhao A L, Ma C Y. Studies on problems of mixing and degeneration in hybrid rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 1982, 3(15):8-15. (in Chinese)
- [2] 张光恒,钱前,罗玉坤,朱智伟. 试论杂交水稻种子纯度分析技术及其研究进展. 种子, 1999, 1:31-33.
Zhang G H, Qian Q, Luo Y K, Zhu Z W. Expound on the analysis technique of hybrid rice seed purity and its research headway. *Seed*, 1999, 1:31-33. (in Chinese)
- [3] 李成德,张文庆,邓汉庆. 水稻杂交种纯度与制种产量和不育系纯度的关系研究. 种子, 1994, 1:48-49.
Li C D, Zhang W Q, Deng H Q. Studies on the relationship among hybrid rice seed purity, yielding of seed production and the purity of sterile line. *Seed*, 1994, 1:48-49. (in Chinese)
- [4] 胡少奇,李稳香. 杂稻种子纯度海南种植鉴定中若干问题探讨. 种子, 1998, 1:57-58.
Hu S Q, Li W X. Discussion on series problems of purity identification of hybrid rice seed by planting in Hainan. *Seed*, 1998, 1: 57-58. (in Chinese)
- [5] 席建民. 水稻芽鞘紫线的发现与研究. 中国农业科学, 1998, 31(1):96.
Xi J M. Discovery and studies of the purple line of rice bud. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998, 31(1): 96. (in Chinese)
- [6] 沈又佳,陆作楦. 种子纯度鉴定方法研究. 种子, 1985, 3:17-18.
Shen Y J, Lu Z M. Studies on methods of seed purity identification. *Seed*, 1985, 3:17-18. (in Chinese)
- [7] 曾运华. 籼型水稻杂交种子真实性和纯度检验方法的研究. 江西农业大学学报, 1996, 18(1):119-123.
Zeng Y H. Studies on the identification method of authenticity and purity of indica rice hybrid seed. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1996, 18(1):119-123. (in Chinese)
- [8] hulappanavar C V. A linkage group in rice (*Oryza sativa* L.) involving anti-inhibitory genes. *Euphytica*, 26, 1977: 427-432.
- [9] Rao U P, Seetharaman R, and Kalode M B. Inheritance of brown planthopper resistance in rice. *India Journal of Genetics & Plant Breeding*, 1980, 40(3): 558-560.
- [10] Rao U P, Kalode M B. Genetics and linkage between genes for purple coleoptile and leaf with brown planthopper resistance in rice. *India Journal of Genetics*, 1987, 47(3): 333-336.
- [11] Shigesaburo Tsunoda, Norindo Takahashi. *Biology of Rice*, 1984, 187- 273.
- [12] Dhulappanavar C V, Hiremath A K, and Sathyavathi G P. Linkage between a basic gene for anthocyanin pigmentation and a complementary gene for purple septum. *Euphytica*, 1975, 24: 633-638.
- [13] Dhulappanavar C V. Linkage studies in rice (*Oryza Sativa* L): Flowering, growth habit and pigmentation. *Euphytica*, 1979, 28: 435-443.
- [14] Nagai I, Suzushino G, Tsuboki Y. Genetic variation of anthocyanins in *Oryza sativa*. *Japanese Journal of Genetics*, 1962, 37(6): 441-450.
- [15] D' Cruz R, Dhulappanavar C V. Inheritance of pigmentation in rice. *India Journal of Genetics and Plant Breeding*, 1963, 23(1): 3-6.

(责任编辑 孙雷心)