

# 田间杂交水稻单年单点5种不同逆境的批量 筛选及聚类分析\*

李霞 孙志伟 吕川根 任承刚 曹昆 王超

(江苏省农业科学院粮食作物研究所 江苏省优质水稻工程技术研究中心 南京 210014)

**摘要** 以48个杂交水稻组合(sz744~sz791)为供试材料,分别以三系杂交稻“汕优63”和两系杂交稻“两优培九”为对照材料,在单年水稻生育后期,在同一实验田中,分别对其耐高光强、耐低光强、耐水分匮乏、耐高肥及抗早衰等特性进行筛选,并在收获后考察其结实率。结果表明:供试水稻材料对不同逆境的耐性表现不同,结合叶绿素含量、植株干重、穗期田间晒田时叶片  $Fv/Fm$ 、茎伤流、硝酸还原酶活性等逆境筛选指标以及后期结实率的联合筛选,通过联合聚类分析,可将供试水稻对上述5种逆境的耐性分为5类型,其中结实率与高光强下叶绿素含量变化、叶片硝酸还原酶活性及孕穗期剑叶叶绿素含量的相关系数分别为0.426\*\*、0.295\*和0.566\*\*,水稻当年的结实率也可作为水稻广适性筛选的参考指标。

**关键词** 水稻 生态逆境 广泛生态适应性 批量筛选 聚类分析 结实率

中图分类号: S511.01 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2010)03-0528-07

## Mass screening and cluster analysis for tolerance to stress of hybrid rice variety under field conditions

LI Xia, SUN Zhi-Wei, LU Chuan-Gen, REN Cheng-Gang, CAO Kun, WANG Chao

(Institute of Food Crop, Jiangsu Academy of Agriculture Sciences; Jiangsu High Quality Rice R & D Center, Nanjing 210014, China)

**Abstract** Using 2 high-yield hybrid rice varieties (the 3-line hybrid rice variety “Shanyou 63” and 2-line hybrid rice variety “Li-angyoupeijiu”) as the control (CK), selected growth and physiological parameters including chlorophyll content, dry-weight,  $Fv/Fm$ , stem bleeding and nitrate reductase activity (NRA) of 48 rice materials (sz744~sz791) were measured at flowering stage in a one-year field experiment to determine the material's tolerance to high light intensity, low light intensity, drought, high nitrogen application and early aging. Seed-setting rates of the rice plants were also observed after harvesting. The results show different tolerance performances to above mentioned stresses of the tested materials. Clustering analysis on different performance combinations of the rice to the stresses classifies the materials into 5 types. Based on the indices, the correlation coefficient of seed-setting rate to change in chlorophyll content under high light intensity, leaf NRA at heading stage, and chlorophyll content of flag leaf at booting stage are respectively 0.426\*\*, 0.295\* and 0.566\*\*. Rice seed-setting rate in one year may also be an important eurytropic adaptability index.

**Key words** Rice, Ecological stress, Eurytropic adaptability, Mass screening, Cluster analysis, Seed-setting rate

(Received June 19, 2009; accepted Sept. 11, 2009)

水稻高产育种的推广成功解决了我国13亿人口的吃饭问题,但目前培育和推广的超级杂交稻组合存在熟期不能满足多样化需求、对高肥存在依赖性以及生态适应性不强等问题,严重限制了一些主推水稻品种的推广和产量潜力的发挥。

水稻有其内在的生理特性,一个品种的遗传特

性总在某些生理特性和指标上得到体现,即使其处于非逆境条件下<sup>[1]</sup>。大量研究表明,水稻生育后期是决定水稻产量的关键时期,开花后光合作用的70%都用于形成产量,其中剑叶的光合作用占整个叶片光合作用的50%以上,与水稻植株地上和地下部分的生理表现有着密不可分的关系<sup>[2]</sup>。本课题组根据

\* 国家自然科学基金项目(30871459)、转基因生物新品种培育科技重大专项(2008ZX08001-004)、江苏省农业科技创新基金(CX[07]603)和江苏省农业科学院基金项目(6510707, 6110704)资助

李霞(1970~),女,博士,副研究员,从事水稻逆境生理育种研究。E-mail: jspllx@jaas.ac.cn

收稿日期: 2009-06-19 接受日期: 2009-09-11

江淮稻区水稻生育后期生态特点, 通过长期观察, 已观察到几种重要的影响该地区水稻产量的生态逆境, 如水稻生育后期的连绵阴雨(低光强)、梅雨过后的乍晴(高光强)、生育后期的高温断水(水分匮乏)、高产栽培对肥料的过度依赖(高肥)以及杂交稻 2 次灌浆过程的茎青枯(早衰)等问题, 并系统研究了水稻的光合生理特性<sup>[3-5]</sup>。发掘和鉴定这些特定的生理指标, 可以有效反映品种的某些遗传特性, 用于早期鉴定品种的抗逆性和广泛生态适应性。现有水稻广适性可靠鉴定方法多是对已培育新品系进行多点大面积的种植, 但在有限年份内较难遇及各种生态逆境的考验, 可靠的广适性鉴定往往需要花费 3~5 年甚至更长的时间(取决于气候状况)和大面积的实验场地才能完成, 且试验也仅限用于目标组合的鉴定, 难以用于水稻育种初期一定量优势组合的批量筛选, 且在使用环节上滞后。为此, 本研究拟在江淮稻区单点(单个实验地)单年(生育后期)气候条件下, 在水稻生育后期, 分别对高光强、低光强、耐水分匮乏、高肥以及抗旱衰特性等进行平行筛选, 通过各种生态环境下形态和生理指标的测定和聚类分析, 解析出供试水稻对上述 5 种逆境的耐性, 期望在单年单点即可获得大田条件水稻品种或优势组合对多种逆境的适应性信息, 并为田间广适性水稻的早期选育提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验选取江苏省农业科学院粮食作物研究所提供的 48 个粳型水稻材料杂交组合(未审定, 自编号为 sz744~sz791 连续编号), 将中国推广面积较大且适应性好的两个高产水稻品种两系超级杂交稻“两优培九”和三系杂交稻“汕优 63”作为对照材料, 2006~2008 年连续 3 年在江苏省农业科学院实验田进行广适性的筛选, 本文主要介绍 2007 年的研究结果。供试水稻于 2007 年 5 月 12 日播种, 6 月 12 日插秧, 每个粳型水稻材料杂交组合和对照材料品种划区种植于实验田中, 栽插行株距为 12 cm×12 cm, 每区 20 m<sup>2</sup>, 随机区组排列, 同步进行正常水稻田间管理。

### 1.2 供试水稻对 5 种生态逆境的适应性筛选

以高光强下水稻叶片叶绿素含量的下降进行不同品种耐高光强能力的筛选<sup>[6]</sup>。在水稻开花前 5 d 内, 取 3 片水稻倒数第 2 片叶放到盛满自来水的白瓷盘中, 上压透明玻璃块, 在室外晴天日照下处理 5~7 d, 用叶圆片法测定处理前后叶绿素含量的下降, 并判定叶色的变化, 叶色保持绿色为 1 级, 叶尖变黄为 2 级, 有 1/3 叶片变黄为 3 级, 1/2 叶片变黄为 4 级, 整

叶变黄为 5 级, 其中 1 级和 2 级判定为耐强光的水稻类型<sup>[7]</sup>; 叶绿素含量的测定即取水稻叶片上 10 个叶圆片, 每个叶圆片直径为 0.5 cm, 放入盛 10 mL 96% 乙醇的容量瓶中抽提, 在黑暗中 30 抽提 7 d, 然后在分光光度计上测定 665 nm 和 649 nm 的光吸收, 从而测定叶片叶绿素含量, 并计算叶绿素降低率 $[(Chl_{处理前} - Chl_{处理后})/Chl_{处理前} \times 100\%]$ <sup>[8]</sup>, 进一步将高光强处理后叶片叶绿素含量占处理前的百分数作为参数, 进行聚类分析, 其中叶绿素百分比 >68% 为强耐高光强品种。

耐低光强筛选是在水稻拔节孕穗期, 以人工遮阴处理, 用遮荫网遮荫 21 d(遮荫网可遮去约 20% 的光线), 分别测定遮荫和自然光照条件下生长植株的干物质重, 以遮荫下植株干重占自然光下生长植株干重的百分数作为耐低光强的参照指标, 其中遮荫条件单株干重占自然条件未遮荫处理下的百分比不小于 50% 的水稻材料判定为耐低光材料<sup>[6]</sup>。

耐水分匮乏特性筛选是在水稻开花期, 结合田间常规水分管理——晒田, 测定晒田时晴天中午剑叶叶绿素荧光参数——最大光化学效率( $F_v/F_m$ )的变化, 用 FMS2 荧光仪(Hansatech, UK)测定叶绿素荧光动力学参数。作用光 1 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 饱和脉冲光 4 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 闪光(0.9  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 2 s, 间隔 30 s, 每个材料 3 次重复。荧光动力学参数按下式计算:  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ , 其中  $F_0$  为初始荧光强度,  $F_m$  为最大荧光强度,  $F_v$  为可变荧光强度<sup>[9]</sup>。本研究依据叶片叶绿素荧光参数的日变化, 通过中午的气孔关闭模拟水分匮乏时气孔关闭的类似生理过程<sup>[5]</sup>, 选取水稻开花期, 晒田时晴天中午剑叶叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$  的变化为耐水分匮乏的筛选指标, 其中  $F_v/F_m$  0.8 为耐水分匮乏品种。

根重是氮素状况的最显著特征, 茎伤流的高低与根重呈正相关<sup>[10]</sup>。本试验耐高肥筛选是在水稻开花后 10 d, 选取田间生长的 10 个单株单主茎, 参照郎有忠等<sup>[11]</sup>的方法, 测定其在当日下午 16:00 至次日上午 8:00 之间的茎伤流总量; 参照陈薇等方法<sup>[12]</sup>, 测定叶片硝酸还原酶活性; 并根据叶片硝酸还原酶活性与氮营养水平的相关性<sup>[13]</sup>, 参照实际田间水稻材料倒伏的表现, 将地下茎伤流和地上硝酸还原酶的测定结果通过聚类分析, 判定水稻材料的耐高肥特性, 其中茎伤流 4.333±0.778 的材料判定为耐高肥。

剑叶叶片叶绿素含量的下降是叶片衰老的主要特征, 特别是叶片中后期的衰减幅度与水稻的早衰特性呈显著负相关<sup>[14]</sup>。本研究用日本产 SPAD-502 活体叶绿素仪, 分别测定开花后 8 d 和 20 d 连体剑叶的叶绿素含量, 每个叶片分别取叶片的上、中和

下部测定 10 个数据,取平均值,以叶绿素含量的衰减作为抗旱衰指标。

### 1.3 不同材料结实率的测定

水稻成熟期后,每小区剔除边行后,随机取样 5 株,全部稻穗脱粒后用水漂法分离实粒和空秕粒,计算结实率。

### 1.4 数据处理方法

采用 SPSS11.5 对试验所得数据进行相关以及聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试水稻对高光强的适应性筛选及聚类分析

研究表明对中稻产生负面影响的是开花期和乳熟后期的持续高光高温天气,对高强光的适应性是长江中下游稻区水稻育种尤其需重视的重要环境因子<sup>[15]</sup>。研究表明,人工光氧化条件下水稻叶色的表现可反映其对高光强适应性<sup>[16]</sup>。本文在水稻开花前 5 d 内,对每个水稻材料进行人工耐高光强筛选鉴定,将高光强处理后叶片叶绿素含量占处理前的百分数作为参数,经过 WARD 法聚类分析(度量标准为 Euclidean 距离),以阈值为 5 作为聚类标准,将 50 个材料化分为 3 类(表 1)。类型 1 为耐强光类型,占供试水稻材料的 22%;类型 3 为对强光敏感类型,占 20%;其余筛选材料属于类型 2,为耐强光能力中等类型,现在大面积推广的两个品种“汕优 63”和

“两优培九”都属于此类型,其耐强光的适应能力还有改善的空间。

### 2.2 供试水稻对低光强(遮荫)的适应性筛选及聚类分析

光照不足会降低光合作用,减少干物质生产,但能提高养分运转率;开花前后光照不足,会影响小穗的不育性。本文参照遮荫条件单株干重占自然条件未遮荫处理下的百分比不小于 50%作为耐荫指标<sup>[5]</sup>,经过 WARD 法聚类分析(度量标准为 Euclidean 距离),以阈值为 5 作为聚类标准,可将供试材料对低光强的适应性量化细分为 3 类(表 2),其中类型 1 为耐低光强类型,仅占供试材料的 6%,类型 2 为耐低光强能力中等类型,占供试材料的 32%。长江中下游地区水稻抽穗期相对光强充足,遭遇低光强天气概率不大,因此,水稻对低光强的适应性易被忽视,还需加强。

### 2.3 供试水稻耐水分匮乏的筛选鉴定及聚类分析

夏季 6~8 月份,水稻在不同生育期对水分的敏感程度不同,在断水天数相同的情况下,不同生育阶段的减产量、减产率不同<sup>[17]</sup>。最大光化学效率( $F_v/F_m$ )是植物内在的生理指标,通常表现稳定。但笔者研究表明,水稻的  $F_v/F_m$  在夏季晴天中会随光强和温度的改变影响气孔运动而变化,尤其晴天中午由于气孔关闭, $F_v/F_m$  明显下降<sup>[5]</sup>,这一现象与水稻遭遇水分匮乏的响应类似。本研究测定的晴天中

表 1 供试水稻对高光强适应性的聚类分析

Tab. 1 Cluster analysis of tolerance to high light intensity of different rice materials

类别 Cluster	数量 Quantity	具体材料 Material	处理后叶绿素/处理前叶绿素百分比 Percent of chlorophyll content before treatment to that after treatment (%)	耐强光类型 Tolerance to high light intensity
1	11	sz755, sz759, sz781, sz760, sz765, sz780, sz786, sz763, sz771, sz789, sz757	68.06±6.89	耐强光
2	29	sz750, sz758, sz777, sz785, sz748, sz756, sz762, sz779, sz782, sz767, sz773, sz783, sz784, 两优培九, sz747, sz770, sz745, sz749, sz751, sz775, sz791, 汕优 63, sz761, sz766, sz787, sz769, sz788, sz764, sz747	50.88±4.80	耐强光能力中等
3	10	sz746, sz774, sz752, sz754, sz772, sz776, sz753, sz768, sz790, sz744	35.19±3.55	不耐强光
总和 Total	50			

表 2 供试水稻对低光强适应性的聚类分析

Tab. 2 Cluster analysis of tolerance to low light intensity of different rice materials

类别 Cluster	数量 Quantity	具体材料 Material	遮荫/大田的干物质重百分比 Percent of dry weights under shading to those under field condition (%)	耐低光强类型 Tolerance to low light intensity
1	3	sz779, sz754, sz776	66.13±1.82	耐低光强
2	16	sz787, sz790, sz751, sz747, sz786, sz744, sz757, sz759, sz785, sz775, sz765, sz756, sz746, sz752, 汕优 63, 两优培九	49.45±4.71	耐低光强能力中等
3	31	sz755, sz781, sz760, sz780, sz763, sz771, sz789, sz750, sz758, sz777, sz748, sz762, sz782, sz767, sz773, sz783, sz784, sz770, sz745, sz749, sz791, sz761, sz766, sz769, sz788, sz772, sz753, sz768, sz774, sz764, sz766	33.57±4.84	对低光强敏感
总和 Total	50			

午叶片叶绿素荧光参数  $Fv/Fm$  的变化, 经过 WARD 法聚类分析(度量标准为 EUCLIDEAN 距离), 以阈值为 5 作为聚类标准, 将筛选材料分为 2 类(表 3)。以  $Fv/Fm$  值 0.8 为阈值, 类型 2  $Fv/Fm > 0.8$ , 为耐水分匮乏品种, 占供试材料的 34%; 类型 1  $Fv/Fm < 0.8$ , 为不耐水分匮乏品种; 其中“两优培九”属于耐水分匮乏类型, 而“汕优 63”则为不耐水分匮乏类型, 可见, “两优培九”对水分匮乏的耐性比“汕优 63”强。

2.4 供试水稻耐高肥的筛选鉴定及聚类分析

氮素是植物生长必需的大量元素之一, 是构成植物体的基本元素, 在植物体各器官和组织中占有很高比重, 对植物的生长发育有重要作用。水稻开花后 10 d, 测定供试水稻材料的茎伤流总量, 并将同期反映氮素利用的硝酸还原酶活性作为联合筛选指标进行筛选, 进一步经 WARD 法聚类分析(度量标准为 Euclidean 距离), 以阈值为 5 作为聚类标准, 将筛选材料分为 3 类(表 4)。类型 1 为耐高肥类型, 占

供试水稻材料的 38%; 类型 2 为耐高肥能力中等类型, 占供试水稻材料的 40%; 类型 3 为不耐高肥类型, 占供试水稻材料的 22%。当时水稻材料田间倒伏情况调查与本研究分类结果一致性较好。

2.5 供试水稻抗旱衰的筛选鉴定及聚类分析

水稻早衰是水稻的一种生理障碍。已有研究表明: 植株上部叶片较厚, 通气组织较发达, 后期根系活动力强的品种, 通常不易早衰; 一般矮秆品种上位叶较薄, 叶厚递增速度小, 叶内水分产生不平衡状态, 容易失水早衰。叶绿素含量与叶片衰老之间存在明显的负相关, 因此剑叶叶绿素含量的减低作为衰老的主要特征<sup>[18]</sup>, 而且易早衰的水稻材料叶绿素含量下降更明显<sup>[19]</sup>。本研究动态测定了开花后剑叶叶绿素含量的变化, 经过 WARD 法聚类分析(度量标准为 Euclidean 距离), 以阈值为 5 作为聚类标准, 可以将供试材料分为 2 类(表 5)。供试材料中早衰材料占 50%, 抗旱衰材料占 50%, 其中目前推

表 3 供试水稻对水分匮乏适应性的聚类分析  
Tab. 3 Cluster analysis of tolerance to drought of different rice materials

类别 Cluster	数量 Quantity	具体材料 Material	$Fv/Fm$	耐水分匮乏特性 Tolerance to drought
1	33	sz755, sz761, sz785, sz757, sz768, sz774, sz758, sz763, sz773, sz753, sz789, sz754, sz777, sz746, sz772, sz744, sz776, sz770, sz750, sz787, sz747, sz752, sz791, sz760, sz762, sz749, sz759, sz769, sz745, sz766, sz764, sz766, 汕优 63	0.791±0.0159	不耐水分匮乏
2	17	sz748, sz751, sz775, sz788, sz781, sz790, sz765, sz780, sz786, sz771, sz756, sz779, sz782, sz767, sz783, sz784, 两优培九	0.800±0.0189	耐水分匮乏
总和 Total	50			

表 4 供试水稻对高肥适应性的聚类分析  
Tab. 4 Cluster analysis of tolerance to high nitrogen of different rice materials

类别 Cluster	数量 Quantity	具体材料 Material	茎伤流 Stem bleeding (g)	硝酸还原酶活性 Nitrate reductase activity [ $\mu\text{g} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}(\text{FW})$ ]	耐高肥类型 Tolerance to high nitrogen
1	19	sz755, sz790, sz788, sz791, sz746, sz758, sz749, sz765, sz767, sz766, sz752, sz754, sz775, sz744, sz772, sz751, sz760, sz753, sz764	4.333±0.778	1.836±0.655	耐高肥
2	20	sz759, sz780, sz763, sz771, sz789, sz750, sz777, sz785*, sz748, sz756, sz782, sz773, sz784, 两优培九, sz770*, sz745, sz769, sz776, sz768, sz778	3.088±0.457	0.982±0.595	耐高肥能力中等
3	11	sz762*, 汕优 63, sz779*, sz747, sz781*, sz761*, sz757*, sz787*, sz786*, sz783*, sz774*	1.610±0.340	0.796±0.251	不耐高肥
总和 Total	50				

\*为田间倒伏的材料 Materials lodging in the field.

表 5 供试水稻抗旱衰筛选的聚类分析  
Tab. 5 Cluster analysis of tolerance to early aging of different rice materials

类别 Cluster	数量 Quantity	具体材料 Material	花后 20 d 比花后 8 d 叶绿素含量 下降率 Decrease in chlorophyll contents at the 20 <sup>th</sup> day to that at the 8 <sup>th</sup> day after blooming (%)	抗旱衰类型 Tolerance to early aging
1	25	sz755, sz781, sz780, sz786, sz763, sz789, sz750, sz758, sz777, sz785, sz748, sz779, sz782, sz773, sz783, sz745, sz749, 汕优 63, sz761, sz769, sz788, sz774, sz764, sz768, 两优培九	20.25±6.33	易早衰
2	25	sz752, sz754, sz772, sz753, sz776, sz768, sz790, sz744, sz766, sz787, sz760, sz765, sz756, sz762, sz767, sz759, sz784, sz747, sz770, sz757, sz746, sz771, sz751, sz775, sz791	2.59±4.97	抗旱衰
总和 Total	50			



表 6 供试水稻对 5 种逆境适应性的联合聚类分析

Tab. 6 Cluster analysis of tolerance to 5 different stresses in different rice materials

材料名称 Material	抗早衰 Tolerance to early aging	耐高光强 Tolerance to high light intensity	耐水分匮乏 Tolerance to drought	耐低光强 Tolerance to low light intensity	耐高肥 Tolerance to high nitrogen	结实率 Seed-setting rate (%)	类群 Cluster
SZ755, SZ786	易早衰	耐强光	耐水分匮乏	耐低光强能力中等	耐高肥	78.55~95.28	1
SZ780			不耐水分匮乏	对低光强敏感			
SZ781			耐水分匮乏				
SZ779		耐强光能力中等		耐低光强			
SZ789		耐强光	不耐水分匮乏	耐低光强能力中等			
SZ748, SZ749	易早衰	耐强光能力中等	不耐水分匮乏	对低光强敏感	耐高肥	80.19~96.69	2
SZ769, SZ777, SZ750, SZ782					不耐高肥		
SZ758, SZ761			耐水分匮乏				
SZ783, SZ785, 汕优 63				耐低光强能力中等	耐高肥能力中等		
SZ747, SZ746	抗早衰	不耐强光	不耐水分匮乏		耐高肥	60.47~95.83	3
SZ751					不耐高肥		
SZ753					耐高肥		
SZ756, SZ787		耐强光能力中等			耐高肥能力中等		
SZ764	易早衰		耐水分匮乏	对低光强敏感			
SZ774		不耐强光					
SZ776, SZ752	抗早衰		不耐水分匮乏	耐低光强能力中等	不耐高肥		
SZ744					耐高肥	61.05~96.92	4
SZ745		耐强光能力中等		对低光强敏感	耐高肥能力中等		
SZ757			耐水分匮乏	耐低光强能力中等	不耐高肥		
SZ762			不耐水分匮乏	对低光强敏感			
SZ763, 两优培九	易早衰		耐水分匮乏		耐高肥能力中等		
SZ765	抗早衰		不耐水分匮乏	耐低光强能力中等	耐高肥		
SZ766			不耐水分匮乏	对低光强敏感			
SZ767			耐水分匮乏				
SZ768					不耐高肥		
SZ788, SZ773	易早衰						
SZ778, SZ759	抗早衰		不耐水分匮乏	耐低光强能力中等			
SZ790		不耐强光			耐高肥		
SZ754, SZ772	抗早衰			对低光强敏感	耐高肥能力中等	40.2~55.84	5
SZ770, SZ791		耐强光能力中等			不耐高肥		
SZ760, SZ771		不耐强光					
SZ784			耐水分匮乏		耐高肥能力中等		
SZ775		耐强光能力中等			不耐高肥		

大面积较大的“两优培九”和“汕优 63”都属于易早衰材料,与生产中观察的结果一致。

## 2.6 5 种适应特性的联合聚类分析

结实率是水稻产量构成的重要因素之一,也是对整个生育期遭遇的各种生态逆境的适应性综合表现。因此,本研究结合筛选材料的结实率,进一步经过 WARD 法聚类分析(度量标准为 Euclidean 距离),以阈值为 5 作为聚类标准,可将供试材料分为 5 个类别(表 6)。但未能从供试材料中筛选出对 5 种逆境

都有很强适应性的水稻材料,可见,供试水稻的适应性还需改良。其中类型 1 为适应性较好的类型,具有耐强光、耐高肥和耐低光强能力,结实率也较高,但抗早衰特性还有待加强,这可能与本文供试材料多为粳型杂交组合有一定关联。但进一步从结实率与对高光强、水分匮乏以及早衰等逆境的筛选指标分别呈显著或极显著相关的结果分析(表 7),单年的结实率也可以作为水稻对上述 5 种不同逆境适应性的参考指标。

表 7 不同水稻材料结实率与 5 种逆境筛选指标的相关分析

Tab. 7 Correlation analysis between seed-setting rate and screening indexes on 5 different stresses of different rice materials

	高光强筛选指标 Index of tolerance to high light intensity	耐水分匮乏指标 Index of tolerance to drought	低光强指标 Index of tolerance to low light intensity	耐高肥指标 Index of tolerance to high nitrogen	结实率 Seed-setting rate
抗早衰筛选指标 Index of tolerance to early aging	0.307*	0.121	-0.259	-0.073	0.566**
高光强筛选指标 Index of tolerance to high light intensity		0.049	-0.051	0.112	0.426**
耐水分匮乏指标 Index of tolerance to drought			0.029	0.115	0.140
低光强指标 Index of tolerance to low light intensity				0.216	0.024
耐高肥指标 Index of tolerance to high nitrogen					0.295*

\*和\*\*分别表示在 0.05 或 0.01 水平相关。 $a=0.05$  时,  $r=0.273$  0,  $a=0.01$  时,  $r=0.354$  2。\* and \*\* show significant correlation at 0.05 or 0.01 probability levels, respectively; when  $a=0.05$ ,  $r=0.273$ ; while  $a=0.01$ ,  $r=0.354$  2.

## 3 结论与讨论

一个水稻品种欲大面积推广应用,需要具有广泛生态适应性,除光温条件对生育期的反应外,主要需适应广谱光强(强光和弱光),出穗开花期对高、低极端温度钝感,对肥料和水分的丰缺有一定耐性等<sup>[1]</sup>。在  $F_1$  优势组合的鉴定工作中,由于需筛选的组合很多,难以设置较多的生态适应性试验,探讨在田间同时确定水稻对多种逆境的适应性具有一定的实践意义<sup>[5]</sup>。

广适性首次由 CMMYT(International Maize and Wheat Improvement Center)通过对小麦和玉米的育种研究中重新赋予了作物广适性的内涵,即一种基因型在多种环境中都能获得高产的能力,这些环境包括降水(旱、涝)、温度(暖冬、倒春寒、干热风)、病虫害(爆发年份与平常年份差异很大)和空气湿度(影响病害程度)等<sup>[20]</sup>。孙道杰等<sup>[21-22]</sup>在对小麦广适性深入研究中又将其细分为区域间广适性和年际间广适性,并利用小麦光周期敏感性的调节使小麦在特定日照长度时抽穗和开花,屏蔽不良环境,确保小麦产量稳定。相对而言,有关水稻广适性机理的研究国内外均不多,但从已有水稻对单一生态环境的适应性研究可知,水稻叶片光合作用对不同土壤、生态气候条件、耕作制度都有直接和快速的响应,光合作用的稳定性可能是水稻适应多种不良逆

境的重要生理基础<sup>[23-24]</sup>。已报道的具有广适性的水稻品种不少,如杂交稻“优 125”、“津稻 291”、光温敏不育系“Y58S”、华南“桂农占”、“绿早一号”、“优 416”、“优 084”,以及目前在中国推广面积最大的两系杂交稻“两优培九”<sup>[25-32]</sup>,虽然这些品种都报道具有“广适性”特点,但由于不同品种培育地区自然条件的迥异,育种工作者对广适性的评价指标不同,如推广面积较大且推广时间较长的超级杂交稻“两优培九”一些地区则报道有早衰现象<sup>[33]</sup>,其适应性表现和筛选指标的实用性可能均有一定局限。本文在原有水稻对不同光温条件批量筛选与光合作用的适应机理研究基础上<sup>[4-7,19,34]</sup>,连续 3 年进行南京地区水稻广适型的筛选,即利用单点(单个实验地)单年(单个季节)南京的气候条件,模拟光、温、水和肥试验,并将水稻对不同环境的适应性进行组装和聚类,初步建立了通过水稻一个生育期,分别在不同时间选用不同方法,平行筛选和评价与本生态稻区密切相关的 5 种生态环境的适应性方法,既节约时间,又节省用地,尤其适合在水稻选育初期获得材料的广适性特征,从而提高了选种的精准性和育种效率。

水稻对多种环境条件的适应性是个复杂的生命过程,本文认为今后对水稻广适性的研究中还需要更多不同地区水稻材料的筛选与鉴定,同时水稻广适性的判定标准应该在各个逆境平行筛选的基础上,

再增加不同逆境的权重系数和结实率的综合表现,以更全面地反映其对多种逆境的适应性。即:广适性指数= $X_1 \times$ 高光适应性 $+X_2 \times$ 低光适应性 $+X_3 \times$ 水分匮乏耐性 $+X_4 \times$ 高肥耐性 $+X_5 \times$ 抗早衰 $\times$ 结实率,其中权重系数( $X_i$ )根据当地逆境的发生频率和育种工作者确定。例如对中国早稻产生负面影响的是整个生殖生长期的过量降水,而对中稻产生负面影响的是开花期和乳熟后期的持续高温或阴雨天气<sup>[15]</sup>,因此早稻对水分的适应性和中稻对高低光的适应性应该增加权重,这样可能更加全面可靠地判定水稻的广适性特征,从而为水稻广适性育种提供参考。

## 参考文献

- [1] 吕川根,姚克敏,李霞,等.两系法亚种杂交育种的若干思考[J].中国农业科技导报,2007,9(2):38-43
- [2] 易俊良,陈立云.水稻超高产育种研究进展[J].湖南农业科学,2006(1):20-23
- [3] 王强,卢从明.超高产杂交稻两优培九的光合作用、光抑制和 $C_4$ 途径酶特性[J].中国科学:C辑,2002,32(6):481-487
- [4] 李霞,焦德茂.超级杂交稻两优培九的光合生理特性[J].江苏农业学报,2002,18(1):9-13
- [5] 李霞,刘友良,焦德茂.不同高产水稻品种叶片的荧光参数的日变化和光适应特性的关系[J].作物学报,2002,28(2):145-153
- [6] 李霞,严建明,季本华,等.光氧化和遮荫条件下水稻的光合生理特性的品种差异[J].作物学报,1999,25(3):301-308
- [7] Li X, Jiao D M. Physiological basis of photosynthetic tolerance to photooxidation and shading in rice[J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(12): 1271-1277
- [8] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplast: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*[J]. Plant Physiol, 1949, 24: 1-15
- [9] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1989, 990: 87-92
- [10] 程建峰,戴廷波,荆奇,等.不同水稻基因型的根系形态生理特性与高效氮素吸收[J].土壤学报,2007,44(2):266-272
- [11] 郎有忠,杨建昌,朱庆森.亚种间杂交稻根系形态生理特征及其与籽粒充实度关系的研究[J].作物学报,2003,29(2):230-235
- [12] 陈薇,张德颐.植物组织中硝酸还原酶的提取、测定和纯化[J].植物生理学通讯,1980,16(4):45-49
- [13] 陈晓飞,宁书菊,魏道智,等.氮素营养水平对水稻幼苗氮代谢的影响[J].中国生态农业学报,2008,16(3):571-575
- [14] Jiao D M, LI X, Huang X Q, et al. The relationship among photoinhibition, photooxidation and early aging at late development stage in different varieties with high yield[J]. Agricultural Sciences in China, 2002, 1(6): 618-625
- [15] 葛道阔,金之庆.气候及其变率变化对长江中下游稻区水稻生产的影响[J].中国水稻科学,2009,23(1):57-64
- [16] Jiao D M, Li X. Cultivar differences in photosynthetic tolerance to photooxidation and shading in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Photosynthetica, 2001,39(2):167-205
- [17] 蒋之垠,黄仲青,杨惠成,等.关于江淮稻区2003年早中稻花期热害的调查研究[J].安徽农业科学,2004,32(4):607-609
- [18] 马绪亮,李合松.杂交水稻早衰机理研究进展[J].湖南农业科学,2007(3):59-61
- [19] 焦德茂,李霞,黄雪清,等.不同高产水稻品种生育后期叶片光抑制、光氧化和早衰的关系[J].中国农业科学,2002,35(5):487-492
- [20] 何中虎,庞家智.国际玉米小麦改良中心对普通小麦持久抗病性的培育方法——全球性战略[J].北京农业科学,1993,11(4):1-6
- [21] 孙道杰,冯毅,王辉.广适性小麦品种选育探讨[J].中国农学通报,2006,22(1):107-108
- [22] 孙道杰,宋仁刚,王辉.调整小麦生长发育对环境因子的敏感性培育可应对气候变化的新品种[J].安徽农业科学,2007,35(33):10642-10644
- [23] Long S P, Zhu X G, Naidu S L, et al. Can improvement in photosynthesis increase crop yield?[J]. Plant Cell and Environment, 2006, 29: 315-330
- [24] 程式华,胡培松.中国水稻科技发展战略[J].中国水稻科学,2008,22(3):223-226
- [25] 邓启云.广适性水稻光温敏不育系Y58S的选育[J].杂交水稻,2005,20(2):15-18
- [26] 廖翠猛.高产抗病广适性杂交籼稻新组合 优 416 的选育与应用[J].杂交水稻,2006,21(2):19-21
- [27] 齐国强.广适性杂交稻“优 125”特征特性及配套栽培技术[J].福建农业科技,2007(4):9-10
- [28] 施利利,张欣,刘霞,等.水稻新品种津稻 291 的选育[J].中国种业,2007(8):52-53
- [29] 朱启升,王士梅,张世林,等.耐旱节水稻新品种“绿旱一号”的选育与应用[J].安徽农业科学,2007,35(26):8145-8151
- [30] 林青山,江奕君.华南生态区超级稻育种的主要成就及未来发展趋势[J].沈阳农业大学学报,2007,38(5):732-738
- [31] 刁立平,盛生兰,张继本,等.广适型超级杂交稻 优 084 的特征和高产栽培技术[J].安徽农业科学,2006,34(16):3947-3947
- [32] 邹江石,吕川根,胡凝,等.两系杂交稻两优培九的生态适应性研究及其种植区域规划[J].中国农业科学,2008,41(11):3563-3572
- [33] 薛艳凤,郎有忠,吕川根,等.两优培九及其父本扬稻 6 号抽穗后叶片与根系衰老特点的研究[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2008,29(3):7-11
- [34] Li X, Jiao D M, Liu Y L, et al. Chlorophyll fluorescence and membrane lipid peroxidation in the flag leaves of different high yield rice variety at later stage of development under natural condition[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(4): 413-421