

## 水稻幼苗生长对弱光胁迫的响应及相关分析

杨东<sup>1,2</sup>, 段留生<sup>1</sup>, 谢华安<sup>2</sup>, 黄庭旭<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国农业大学作物化学控制研究中心, 北京 100094; <sup>2</sup>福建省农业科学院水稻研究所, 福州 350018)

**摘要:**耐弱光性不同的水稻品种对光照条件反应不同, 确定水稻耐弱光鉴定指标, 可以快速有效地从大量种质资源中筛选耐弱光的水稻品种, 提高品种耐弱光选择效率。试验对不同基因型的61份水稻品种(品系)于苗期进行遮光处理, 分别研究各品种在不同光照下的叶龄、苗高、根长、地上部干重、根干重、根冠比、根体积、叶绿素(SPAD值)、单株重的变化, 并对各性状的相对指数进行相关及通径分析。试验结果表明, 在55%遮光条件下, 不同水稻品种的叶绿素含量均增加, 苗高变化不一, 多数品种的根长、叶龄、根体积、根干重有不同程度的下降, 少数品种的根长、叶龄、根体积、根干重增加, 各品种地上部干重和单株重均有不同程度的下降; 而且, 弱光下地上部干重、根干重、根长的相对指数与单株重相对指数直接通径系数分别为0.7592、0.2105、0.0346, 相关系数为0.9034、0.7634、0.6862, 可见, 弱光下的地上部干重相对指数是鉴定水稻耐弱光性的可靠指标, 弱光下的根干重和根长相对指数可作为耐弱光性鉴定的重要辅助指标。

**关键词:**水稻; 苗期; 弱光胁迫; 相关分析

中图分类号: S511

文献标志码: A

论文编号: 2010-3074

### The Response and Correlation Analysis of Rice Seedlings Growth to Low-light Stress

Yang Dong<sup>1,2</sup>, Duan Liusheng<sup>1</sup>, Xie Hua'an<sup>2</sup>, Huang Tingxu<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Research Center of Crop Chemical Control, China Agricultural University, Beijing 100094;

<sup>2</sup>Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350018)

**Abstract:** Rice variety with different low-light-resistant ability had different response against light. So low-light-resistant rice could be screened from a large number of germplasm resources of rice varieties resistant to low light quickly and effectively, and then the selection efficiency was promoted. 61 rice varieties (inbred lines) with different genes were treated by shading at seedling stage. The change of leaf age, seedling height, root length, shoot dry weight, root dry weight, root-shoot ratio, root volume, chlorophyll content (SPAD) and total dry weight per plant were studied. Correlation analysis and path analysis of 9 characters were carried out too. The results showed that chlorophyll content of all varieties was increased by 55% shading. Seedling height of some varieties were improved, the others were dropped. Most varieties of root length, leaf age, root volume, root dry weight decreased at different degrees, a few varieties were increased. Shoot dry weight and total dry weight per plant of all varieties decreased at different extents. Moreover, the direct path coefficient that the relative index of shoot dry weight, root dry weight and root length to total dry weight per plant under low light environment were 0.7593, 0.2105 and 0.0346, respectively, and the correlation coefficients were

**基金项目:**公益性行业专项“南方早籼稻品质改良与抗逆栽培技术研究与示范(华南稻区)”(nyhyzx07-001-05); 福建省属公益类科研院所基本科研专项计划“优质、抗病、高产水稻新品种选育与生态适应性研究”(2009R10026-1); 福建省科技重大专项“粮食作物育种技术研究”(2008NZ02); 福建省财政专项“福建省农业科学院科技创新团队建设基金”(STIF-Y04)。

**第一作者简介:**杨东,男,1977年出生,福建连江人,助理研究员,博士生,从事水稻育种与高产栽培技术研究。通信地址:350018 福建省福州市仓山区城门镇黄山,福建省农业科学院水稻研究所, Tel: 0591-83403249, E-mail: 121187207@qq.com。

**通讯作者:**段留生,男,1969年出生,教授,博士,主要从事作物逆境生理研究。通信地址:100094 北京市海淀区园明园西路2号,中国农业大学作物化学控制研究中心, Tel: 010-62731301, E-mail: duanlsh@cau.edu.cn。

**收稿日期:**2010-10-27, **修回日期:**2010-12-19。

0.9034, 0.7634 and 0.6862, respectively. It was suggested that the relative index of shoot dry weight under low light environment might be used as believable indicator to identify the low light tolerance of rice, and the relative index of root dry weight and root length under low light environment could be used as assistant indicator.

**Key words:** rice; seedling stage; low light resistant; correlation analysis

## 0 引言

水稻是一种喜光作物,弱光常导致光照不足,光合生产力下降,严重影响水稻产量的形成。顶叶光合速率受光照强度的影响显著,弱光生境下水稻叶片气孔形态发生变化,影响了植物蒸腾速率和气孔导度,光合产物合成受抑制<sup>[1-3]</sup>。由于光在水稻群体内不均匀性分布,导致群体的光合特性具有分层特点,上、中层叶具有光合效率高,但下层叶处于低光强胁迫中,叶片净光合速率(Pn)为负值,不但没有生产光合产物,反而因呼吸作用消耗掉部份贮藏的物质能量,从而限制了水稻光合生产力的进一步提高<sup>[4-5]</sup>。在不少稻区水稻生育期间常遭遇弱光生境。如四川盆地、云贵高原等全年日照时数小于1200 h、年总辐射量为3345~3763 MJ/m<sup>2</sup>的地区更甚<sup>[6]</sup>。中国南方部分稻区为多山地形,阴面稻田的也受光照不足影响。在印度东部传统的水稻栽培区,水稻的栽培大多受季风影响,旱季太阳辐射和日照时数比雨季多1.5~2倍,热带雨季水稻产量比旱季下降三分之一<sup>[7]</sup>。目前,中国水稻超级稻育种主要是利用亚种间杂种优势,亚种间杂交稻库容量大,灌浆结实期对寡照的反应更敏感<sup>[8]</sup>。筛选、培育耐阴种质是选育具有较强耐阴能力杂交稻(品种)的基础。典型的耐阴水稻材料应从大量水稻品种中筛选获得,不同耐阴水稻基因的耐阴机理又有所相同。因此,适当的筛选方法、适宜的弱光胁迫水平和直观、简便有效的筛选、鉴定指标是准确快速得到耐阴基因的关键。研究水稻耐阴机理、建立完善筛选耐阴种质的技术对选育耐阴水稻品种,发挥水稻产量潜力具有重要意义。

关于水稻耐弱光鉴定指标的研究有较多报道,大多数在水稻生长发育中、后期观察遮阴对植株相对伸长率、叶绿素含量、叶片结构与功能以及产量等指标的影响,并取得较好的效果<sup>[9-10]</sup>。焦德茂等<sup>[11]</sup>以拔节期水稻20%自然光下的地上部干重指标筛选出了‘粳稻02428’具有强耐阴性。但测定这些指标费时费力。Sahu等<sup>[12]</sup>首先用幼苗黑暗下存活率指标快速筛选出一批耐阴水稻种质。在不同生育期和不同低光照时间下,水稻叶片的形态、结构和功能将出现复杂的变化,存活率作为筛选指标,应与这些复杂变化的内在一致性相吻合,这方面的研究报道尚少,所以,对该指标的

可靠性尚缺乏充分的论证。陈以锋<sup>[13]</sup>、谢戎<sup>[14]</sup>通过水稻幼苗在黑暗下的绿叶面积和绿色程度,即保绿能力为指标,试验认为‘粳稻02428’耐阴性较强,‘苏农3037’较弱。但通过肉眼观察水稻幼苗叶片在黑暗下保绿能力较为主观,误差较大。由于这些原因,迄今未能对耐阴水稻种质进行大量有效的筛选。为此,本研究旨在收集不同基因型水稻种质,通过人工模拟弱光,对不同基因型水稻苗期耐阴能力指标进行评价,在苗期鉴定其耐阴能力,建立和完善水稻耐阴种质筛选的鉴定技术,以期水稻耐弱光遗传资源的筛选、培育和利用提供理论依据。

## 1 供试材料与方法

### 1.1 试验时间、地点

研究盆栽试验于2010年3月在福建省农业科学院水稻研究所进行。

### 1.2 试验材料

共61个水稻品种,其中:‘明恢63’、‘R527’、‘多系1号’、‘明恢86’、‘广恢128’等24个恢复系品种;‘佳辐占’、‘桂农占’、‘新银占’、‘三黄占2号’、‘华优占’等14个常规稻品种;‘金23B’、V20B、‘珍汕97B’、58025B等21个保持系(不育系)品种;以‘粳稻02428’为耐阴型品种对照CK1,‘苏农3037’为弱光敏感型品种对照CK2(见表1)。

### 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 用0.1%次氯酸钠溶液浸泡16 h,再用清水冲洗干净,浸泡12 h待露白后催芽,将发芽整齐一致的种子播入盆中,盖上一层薄土,处理间浇水量及种植管理条件保持一致并进行必要的病虫害防治。试验采用土培法,装土5 kg/盆,栽4苗/盆,3月20日播种。在4片叶时,用透光率为45%的黑色遮阴网制成可拆卸遮阴棚进行遮光处理14天,设置遮光55%、自然光2个水平,3次重复。

1.3.2 调查项目 在遮阴处理14天后调查水稻主要性状指标,包括叶龄、苗高、根长、地上部干重、根干重、根冠比、根体积(用排水法测定)、叶绿素(SPAD值)、单株重。各品种每个重复测定3株。

1.3.3 统计分析方法 数据的整理及统计分析均用Excel 2003和DPS数据处理系统。

表1 供试品种

代号	品种名称	品种类型	代号	品种名称	品种类型	代号	品种名称	品种类型
1	明恢63	恢复系	22	宜恢3551	恢复系	43	86B	保持系
2	R527	恢复系	23	宜恢1577	恢复系	44	D62B	保持系
3	多系1号	恢复系	24	宜恢3003	恢复系	45	佳禾B	保持系
4	明恢86	恢复系	25	佳辐占	常规稻	46	博白B	保持系
5	广恢128	恢复系	26	桂农占	常规稻	47	优1B	保持系
6	辐恢838	恢复系	27	新银占	常规稻	48	协B	保持系
7	CDR22	恢复系	28	三黄占2号	常规稻	49	繁7B	保持系
8	R752	恢复系	29	华优占	常规稻	50	98B	保持系
9	IR24	恢复系	30	华新占	常规稻	51	Z009B	保持系
10	IR36	恢复系	31	合美占	常规稻	52	冈46B	保持系
11	IR661	恢复系	32	广银软占	常规稻	53	90B	保持系
12	9311	恢复系	33	银澳占	常规稻	54	龙特圃B	保持系
13	密阳46	恢复系	34	固广占	常规稻	55	D297B	保持系
14	成恢994	恢复系	35	双银占	常规稻	56	宁B	保持系
15	桂44	恢复系	36	金农丝苗	常规稻	57	II-32B	保持系
16	明恢70	恢复系	37	银晶软占	常规稻	58	中九A	不育系
17	南恢183	恢复系	38	玉香油占	常规稻	59	宜香1A	不育系
18	南恢397	恢复系	39	金23B	保持系	60(CK1)	02428	广亲和粳稻
19	制西	恢复系	40	V20B	保持系	61(CK2)	苏农3037	恢复系
20	桂99	恢复系	41	珍汕97B	保持系			
21	岳恢94	恢复系	42	58028B	保持系			

## 2 结果与分析

### 2.1 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗生长的影响

2.1.1 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗叶绿素含量的影响 在弱光胁迫下,各水稻品种的叶绿素含量(SPAD值)均被提高(图1),叶绿素含量相对指数变异范围在1.064~2.018。耐阴对照‘粳稻02428’叶绿素含量相对指数为1.597,弱光敏感对照‘苏农3037’叶绿素含量相

对指数为1.457。9311叶绿素含量相对指数最高达2.018,其次为‘桂44’、‘南恢397’、‘协B’、CDR22,分别为1.917、1.867、1.777、1.766,5个品种叶绿素含量相对指数分别比耐阴对照高出26.36%、20.04%、16.91%、11.27%、10.58%;‘宜恢1577’叶绿素含量相对指数最低为1.064,其次为‘宜恢3551’、‘D62B’、‘宜恢3003’、‘珍汕97B’,分别为1.077、1.157、1.160、1.174,5个品

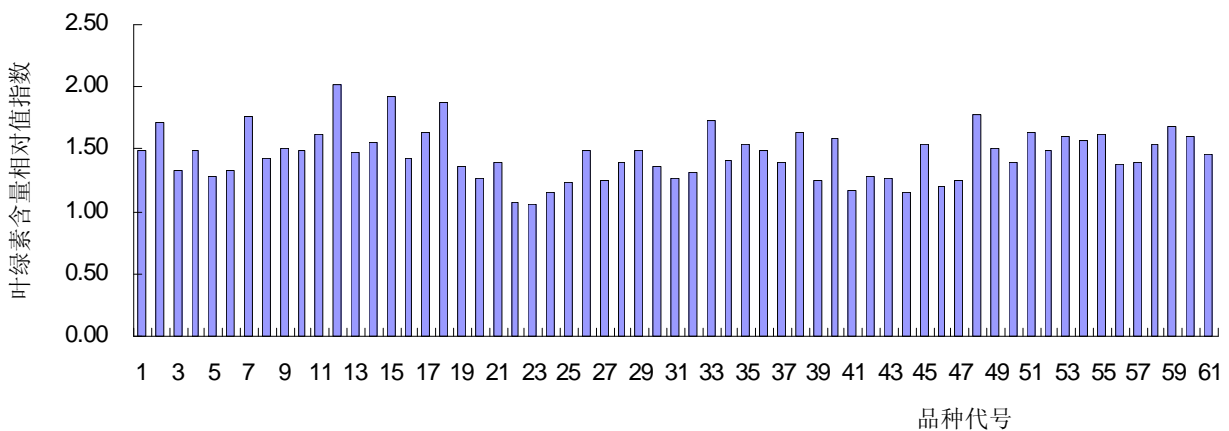


图1 弱光逆境对水稻幼苗叶绿素含量(SPAD)的影响

种叶绿素含量相对指数分别比弱光敏感对照低26.97%、26.08%、20.59%、20.38%、19.42%。

2.1.2 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗苗高的影响 在弱光胁迫下,一部分水稻品种的苗高较正常自然光处理高,另一部分水稻品种在弱光胁迫下苗高受到不同程度抑制(图2),苗高相对指数变异范围在0.793~1.238。耐阴对照‘粳稻02428’苗高相对指数为1.032,弱光敏感对照‘苏农3037’苗高相对指数为0.952。‘银晶软占’苗高相对指数最高达1.238,其次为‘金23B’、‘华新占’、‘R527’、‘密阳46’,分别为1.227、1.216、1.205、1.167,5个品种苗高相对指数分别比耐阴对照高出19.96%、18.90%、17.83%、16.76%、13.08%;‘宜恢1577’苗高相对指数最低为0.793,其次为‘II-32B’、‘宜香1A’、‘银澳占’、‘宜恢3003’,分别为0.838、0.838、0.846、0.848,5个品种苗高相对指数分别比弱光敏感对照低16.70%、11.97%、11.97%、11.13%、10.92%。

2.1.3 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗根长的影响 大多数水稻品种的幼苗根长在弱光胁迫下受到不同程度

抑制(图3),少数水稻品种在弱光胁迫下幼苗根长较正常自然光处理长,根长相对指数变异范围在0.293~1.284。耐阴对照‘粳稻02428’根长相对指数为0.787,弱光敏感对照‘苏农3037’根长相对指数为0.572。有8个品种根长比正常自然光处理增加,其中,‘华新占’根长相对指数最高达1.284,其他是‘明恢86’、R752、R527、‘协B’、58025B、9311、‘辐恢838’,分别为1.284、1.252、1.201、1.184、1.178、1.147、1.116、1.003,9个品种根长相对指数分别比耐阴对照高出63.15%、59.09%、52.60%、50.44%、49.68%、45.74%、41.80%、27.45%;‘明恢63’根长相对指数最低为0.293,其次为‘宁B’、D297B、‘冈46B’、Z009B,分别为0.363、0.395、0.410、0.446,5个品种根长相对指数分别比弱光敏感对照低48.78%、36.54%、30.94%、28.32%、22.03%。

2.1.4 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗叶龄的影响 大多数水稻品种的幼苗叶龄在弱光胁迫下受到不同程度抑制(图4),少数水稻品种在弱光胁迫下幼苗叶龄较正常自然光处理多,叶龄相对指数变异范围在0.667~

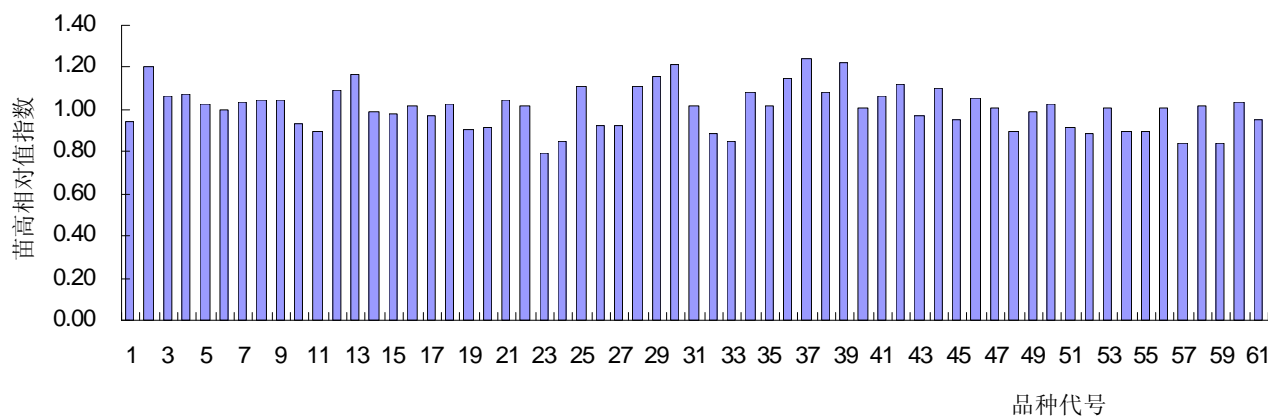


图2 弱光逆境对水稻幼苗苗高的影响

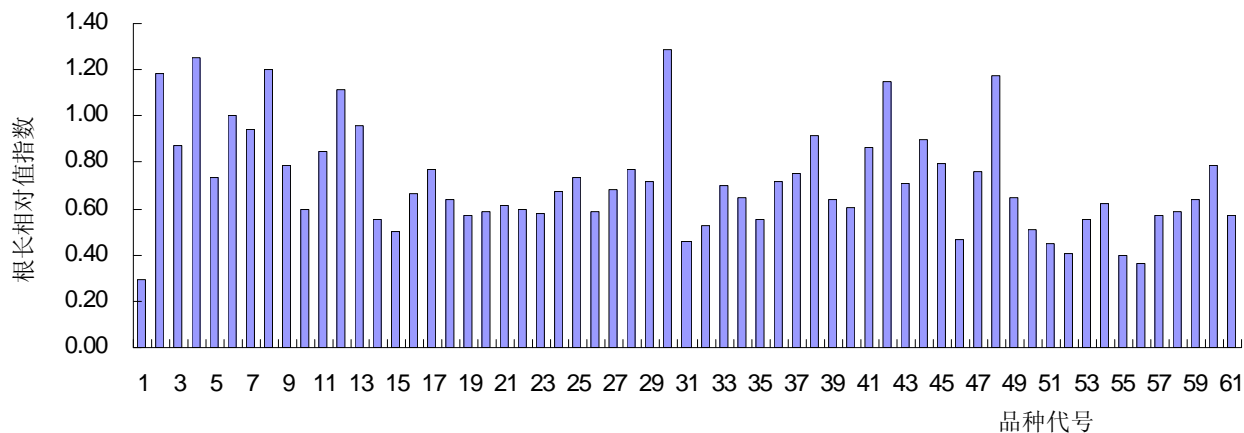


图3 弱光逆境对水稻幼苗根长的影响

1.291。耐阴对照‘粳稻02428’叶龄相对指数为1.006，弱光敏感对照‘苏农3037’叶龄相对指数为0.884。有21个品种叶龄不低于正常自然光处理，有18个品种较耐阴对照叶龄相对指数增加，R527叶龄相对指数最高达1.291，其他叶龄不低于正常自然光处理的品种还有‘明恢63’、‘银晶软占’、9311、‘繁7B’、‘南恢397’、‘佳辐占’、90B、‘辐恢838’、‘固广占’、‘双银占’、‘特B’、Z009B、‘成恢994’、‘南恢183’、‘金农丝苗’、‘协B’、‘博白B’、CDR22、‘玉香油占’、‘岳恢94’，分别为1.177、1.175、1.125、1.117、1.108、1.096、1.081、1.078、1.077、1.076、1.066、1.049、1.048、1.025、1.021、1.008、1.008、1.000、1.000、1.000；‘银澳占’叶龄相对指数最低为0.667，其次为86B、IR24、58025B、‘合美占’，分别为0.716、0.746、0.757、0.780，5个品种叶龄相对指数分别比弱光敏感对照低出24.55%、19.00%、15.61%、14.37%、11.76%。

2.1.5 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗根体积的影响  
大多数水稻品种的幼苗根体积在弱光胁迫下受到不同程度抑制(图5)，少数水稻品种在弱光胁迫下幼苗根

体积较正常自然光处理多，根体积相对指数变异范围在0.250~1.400。耐阴对照‘粳稻02428’根体积相对指数为0.485，弱光敏感对照‘苏农3037’根体积相对指数为0.429。有8个品种根体积不低于正常自然光处理，CDR22根体积相对指数最高达1.400，其他是‘玉香油占’、R527、R752、‘密阳46’、‘华新占’、‘华优占’、‘桂农占’，分别为1.333、1.025、1.000、1.000、1.000、1.000、1.000；‘合美占’、‘宁B’、IR36根体积相对指数最低为0.250，其次为D297B、‘宜恢3003’，分别为0.273、0.308，5个品种根体积相对指数分别比弱光敏感对照低出41.72%、41.72%、41.72%、36.43%、28.28%。

2.1.6 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗根干重的影响  
大多数水稻品种的幼苗根干重在弱光胁迫下受到不同程度抑制(图6)，少数水稻品种在弱光胁迫下幼苗根干重较正常自然光处理增加，根干重相对指数变异范围在0.129~1.568。耐阴对照‘粳稻02428’根干重相对指数为0.557，弱光敏感对照‘苏农3037’根干重相对指数为0.371。有7个品种根干重高于正常自然光处理，58025B根干重相对指数最高达1.568，其他是‘玉香油

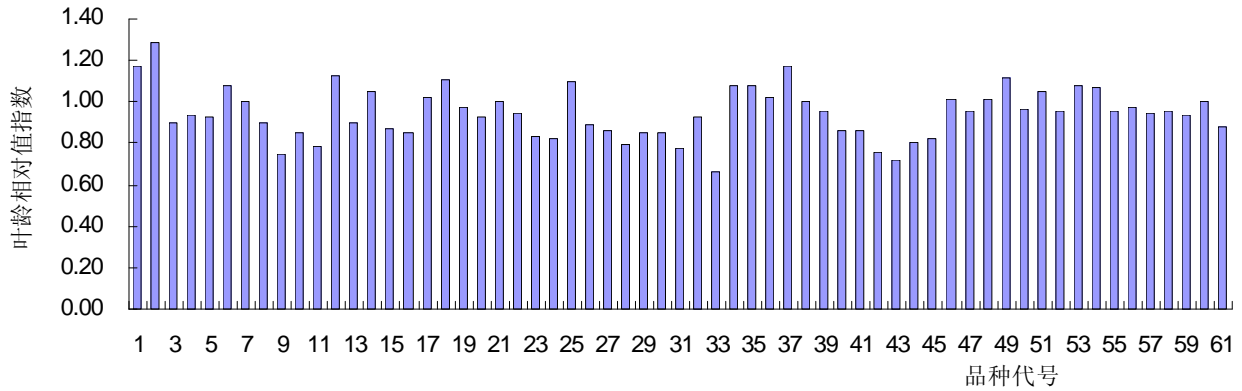


图4 弱光逆境对水稻幼苗叶龄的影响

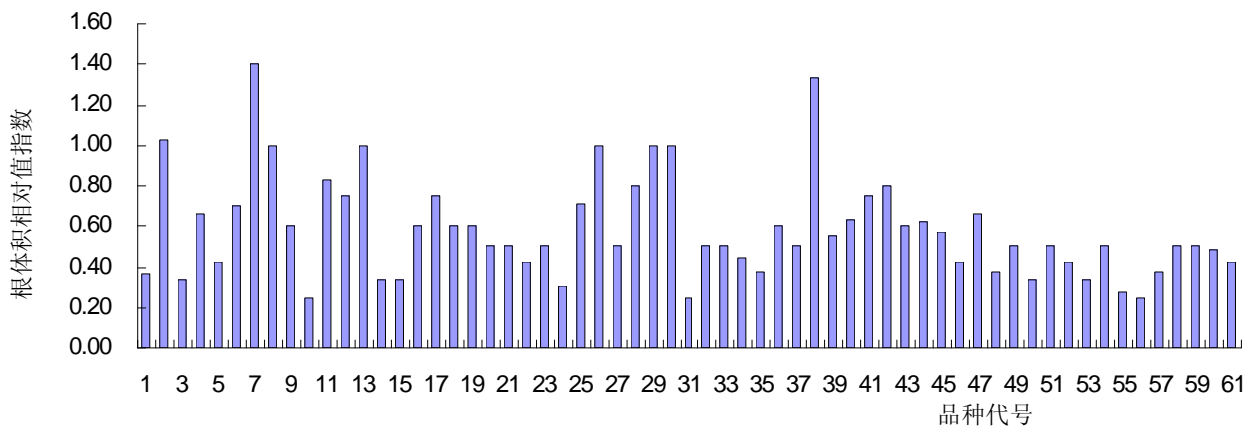


图5 弱光逆境对水稻幼苗根体积的影响

占’、‘三黄占2号’、R527、‘华新占’、‘明恢86’、CDR22, 分别为1.440、1.306、1.224、1.210、1.152、1.043, 7个品种根干重相对指数分别比耐阴对照高出181.51%、158.53%、134.47%、119.75%、117.24%、106.82%、87.25%; ‘桂44’根干重相对指数最低为0.129, 其次为Z009B、‘明恢63’、‘协B’、‘特B’, 分别为0.186、0.213、0.245、0.246, 5个品种根干重相对指数分别比弱光敏感对照低65.23%、49.87%、42.59%、33.96%、33.69%。

2.1.7 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗地上部干重的影响 在弱光胁迫下, 各水稻品种的幼苗地上部干重受到不同程度抑制(图7), 地上部干重相对指数变异范围在0.298~0.861。耐阴对照‘粳稻02428’地上部干重相对指数为0.583, 弱光敏感对照‘苏农3037’地上部干重相对指数为0.514。‘银晶软占’地上部干重相对指数最高达0.861, 其次为‘广恢128’、‘金23B’、R527、‘繁

7B’, 分别为0.857、0.784、0.768、0.721, 5个品种地上部干重相对指数分别比耐阴对照高出47.68%、47.00%、34.48%、31.73%、23.67%; ‘宜恢3003’地上部干重相对指数最低为0.298, 其次为‘合美占’、‘广银软占’、‘宜恢1577’、‘明恢63’, 分别为0.344、0.345、0.346、0.379, 5个品种地上部干重相对指数分别比弱光敏感对照低42.02%、33.07%、32.88%、32.68%、26.26%。

2.1.8 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗单株重的影响 在弱光胁迫下, 各水稻品种的幼苗单株重受到不同程度抑制(图8), 单株重相对指数变异范围在0.286~0.845。耐阴对照‘粳稻02428’单株重相对指数为0.576, 弱光敏感对照‘苏农3037’单株重相对指数为0.470。16个品种单株重相对指数比耐阴对照‘粳稻02428’高10%以上, R527单株重相对指数最高达0.845, 其次分别是‘银晶软占’、‘金23B’、58025B、‘华新占’、‘广恢128’、‘明恢86’、R752、‘玉香油占’、‘珍

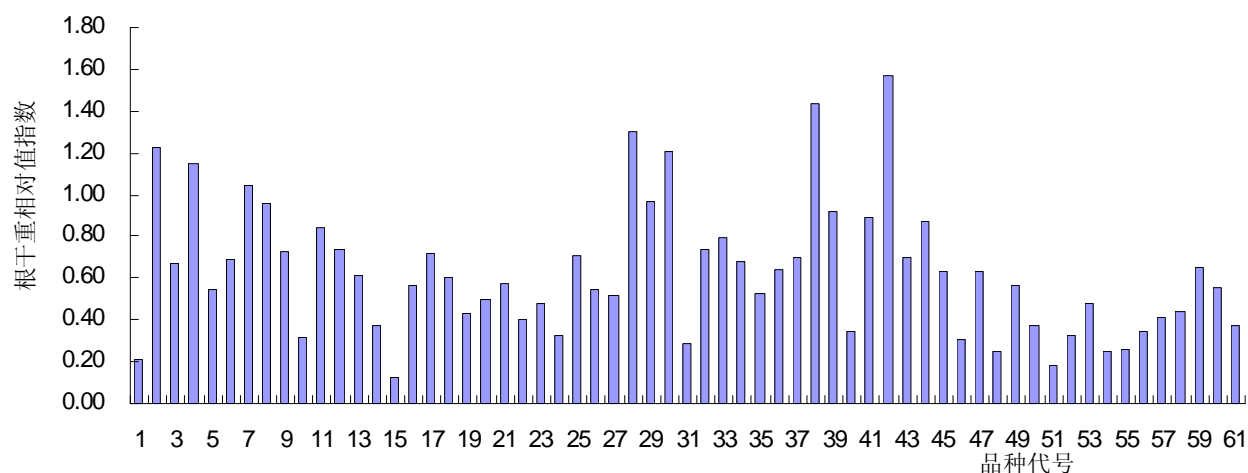


图6 弱光逆境对水稻幼苗根干重的影响

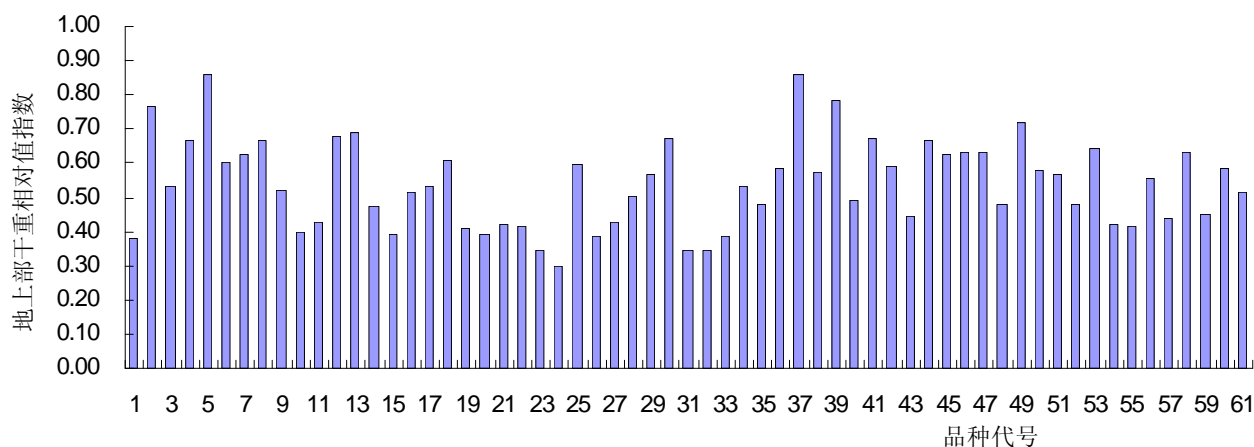


图7 弱光逆境对水稻幼苗地上部干重的影响

汕97B’、D62B、CDR22、9311、‘密阳46’、‘繁7B’、‘优IB’，单株重相对指数分别为0.823、0.816、0.796、0.776、0.768、0.760、0.725、0.716、0.713、0.710、0.696、0.695、0.678、0.674、0.635；15个品种单株重相对指数比弱光敏感对照‘苏农3037’低10%以上，‘桂44’单株重相对指数最低为0.286，其次为‘宜恢3003’、‘合美占’、‘明恢63’、‘龙特圃B’、‘宜恢1577’、D297B、IR36、‘广银软占’、‘桂农占’、‘桂99’、Z009B、‘协B’、‘宜恢3551’、‘制西’，单株重相对指数分别为0.304、0.330、0.337、0.360、0.367、0.369、0.380、0.399、0.405、0.407、0.409、0.410、0.410、0.414。

2.1.9 弱光逆境对不同基因型水稻幼苗根冠比的影响  
 大部分水稻品种的根冠比在弱光胁迫下增加(图9)，少数水稻品种在弱光胁迫下根冠比较正常自然光处理降低，根冠比相对指数变异范围在0.328~2.645。耐阴对照‘粳稻02428’根冠比相对指数为0.954，弱光敏感对照‘苏农3037’根冠比相对指数为0.722。12个品种根冠比相对指数比‘粳稻02428’高60%以上，58025B

根冠比相对指数最高达2.645，其次为‘三黄占2号’、‘玉香油占’、‘广银软占’、‘银澳占’、IR661、‘华新占’、‘明恢86’、‘华优占’、CDR22、‘R527’、86B，根冠比相对指数分别为2.599、2.525、2.124、2.048、1.980、1.801、1.727、1.701、1.662、1.595、1.572；10个品种根冠比相对指数比‘苏农3037’低10%以上，‘桂44’根冠比相对指数最低为0.328，其次为‘Z009B’、‘博白B’、‘协B’、‘明恢63’、‘龙特圃B’、D297B、‘宁B’、‘广恢128’、98B，分别为0.329、0.478、0.514、0.561、0.584、0.619、0.624、0.641、0.645。

2.2 各性状相对值指数间的相关性分析

以叶绿素含量、苗高、叶龄、根长、根干重、根体积、地上部干重、根冠比的相对指数为自变量，以代表耐弱光性的单株重相对指数为因变量，进行相关分析(表2)。叶绿素与叶龄呈显著正相关，与其他指标相关不显著，依相关性大小为叶龄>根体积>根长>地上部干重>单株重>根干重>苗高>根冠比；苗高与根长、根体积、根干重、地上部干重、单株重极显著正相关，其他指

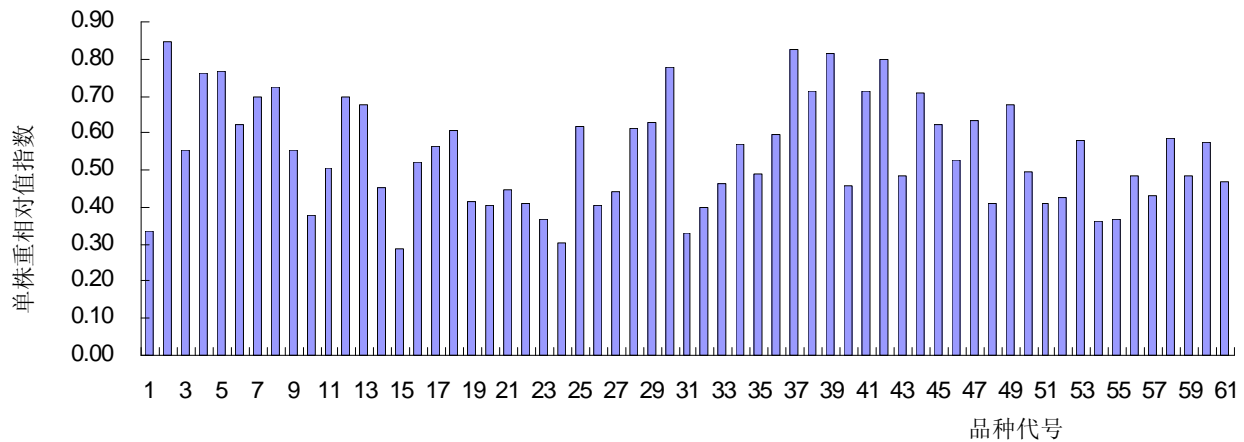


图8 弱光逆境对水稻幼苗单株重的影响

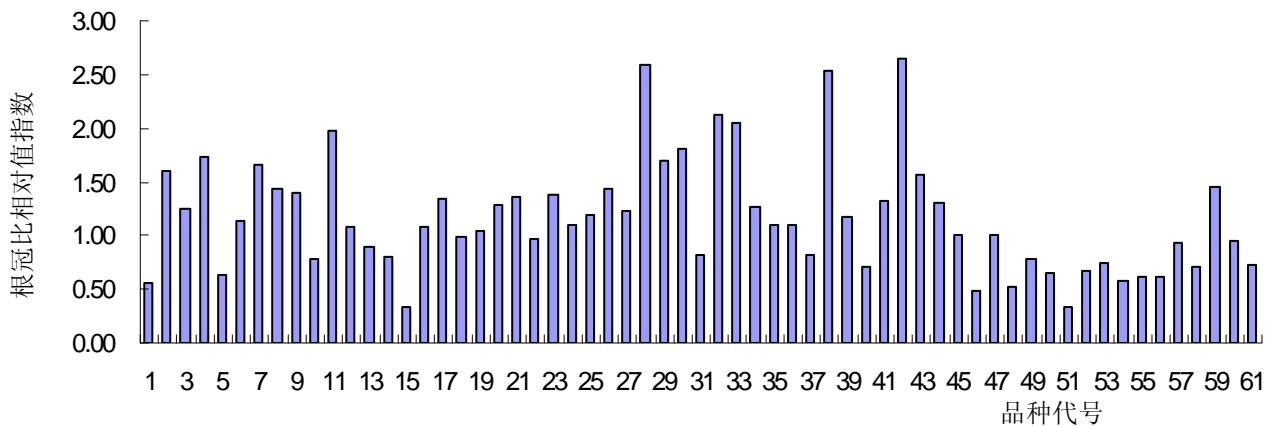


图9 弱光逆境对水稻幼苗根冠比的影响

标相关不显著,依相关性大小为单株重>地上部干重>根干重>根长>根体积>叶龄>根冠比>叶绿素;根长与根体积、根干重、地上部干重、单株重、根冠比、苗高呈极显著正相关,与其他指标相关不显著,依相关性大小为根干重>单株重>根体积>根冠比>地上部干重>苗高>叶绿素>叶龄;叶龄与地上部干重呈极显著正相关,与叶绿素呈显著正相关,与根冠比呈极显著负相关,与其他指标相关不显著,依相关性大小为地上部干重>叶绿素>苗高>单株重>根体积>根长>根干重>根冠比;根体积与根干重、根长、苗高、地上部干重、单株重、根冠比呈极显著正相关,与其他指标相关不显著,依相关性大小为根干重>根长>根冠比>单株重>苗高>地上部干重>叶绿素>叶龄;根干重与根冠比、单株重、根体积、根长、地上部干重、苗高呈极显著正相关,与其他指标相关不显著,依相关性大小为根冠比>单株重>根体积>根长>苗高>地上部干重>叶绿素>叶龄;地上部干重与单株重、苗高、根长、根干重、叶龄、根体积呈极显著正相关,与其他指标相关不显著,依相关性大小为单株重>苗高>根长>根干重>叶龄>根体积>叶绿素>根冠

比;根冠比与单株重、根干重、根体积、根长呈极显著正相关,与叶龄呈极显著负相关,与其他指标相关不显著,依相关性大小为根干重>根体积>根长>单株重>苗高>地上部干重>叶绿素>叶龄。

各性状相对指数与单株重相对指数简单相关系数均为正向,由大到小的性状依此为:地上部干重(0.9034<sup>\*\*</sup>)>苗高(0.7806<sup>\*\*</sup>)>根干重(0.7634<sup>\*\*</sup>)>根长(0.6862<sup>\*\*</sup>)>根体积(0.5842<sup>\*\*</sup>)>根冠比(0.3735<sup>\*</sup>)>叶龄(0.1947)>叶绿素(0.0040)。地上部干重、根干重、根长相对指数与单株重相对指数偏相关系数(0.9295<sup>\*\*</sup>, 0.5291<sup>\*\*</sup>, 0.3321<sup>\*\*</sup>)均达到极显著水平。

### 2.3 各性状相对值指数间的通径分析

相关分析只是简单地估测了两个性状间的关系,通径分析可以用数量表示因果关系中原因对结果影响的重要性,平行关系中变量间相关的相对重要性,是在剔除其他因素的影响后而表现出的作用,因此,通径分析能够较准确地估测出各性状对相对单株重的重要性。由表3可知,各性状对相对单株重直接通径系数由大到小依次为:地上部干重(0.7592)>根干重

表2 主要性状相对值指数的相关性分析

项目	叶绿素	苗高	根长	叶龄	根体积	根干重	地上部干重	根冠比	单株重
叶绿素	1.0000	-0.1636	0.1593	0.3068 <sup>*</sup>	0.1297	0.2053	0.1861	-0.1158	-0.2411
苗高	-0.0546	1.0000	-0.1929	0.0351	0.0260	0.3402 <sup>**</sup>	-0.0621	-0.3850 <sup>**</sup>	0.0704
根长	0.0988	0.4644 <sup>**</sup>	1.0000	-0.1950	0.2190	0.1554	-0.3478 <sup>**</sup>	-0.3130 <sup>*</sup>	0.3321 <sup>**</sup>
叶龄	0.3111 <sup>*</sup>	0.2279	-0.0449	1.0000	0.0677	0.0462	-0.0658	-0.1767	0.0890
根体积	0.1334	0.4307 <sup>**</sup>	0.6342 <sup>**</sup>	-0.0095	1.0000	0.1773	0.0864	-0.0133	-0.1061
根干重	-0.0299	0.5580 <sup>**</sup>	0.7106 <sup>**</sup>	-0.1344	0.7265 <sup>**</sup>	1.0000	-0.2497 <sup>*</sup>	0.8131 <sup>**</sup>	0.5291 <sup>**</sup>
地上部干重	0.0560	0.7356 <sup>**</sup>	0.4808 <sup>**</sup>	0.3663 <sup>**</sup>	0.3619 <sup>**</sup>	0.4306 <sup>**</sup>	1.0000	-0.3064 <sup>*</sup>	0.9295 <sup>**</sup>
根冠比	-0.0953	0.1942	0.4900 <sup>**</sup>	-0.3666 <sup>**</sup>	0.5891 <sup>**</sup>	0.8685 <sup>**</sup>	-0.0339	1.0000	0.0101
单株重	0.0040	0.7806 <sup>**</sup>	0.6862 <sup>**</sup>	0.1947	0.5842 <sup>**</sup>	0.7634 <sup>**</sup>	0.9034 <sup>**</sup>	0.3735 <sup>**</sup>	1.0000

注:左下角为相关,右上角为偏相关,相关系数临界值, $\alpha=0.05$ 时, $r=0.2480$ , $\alpha=0.01$ 时, $r=0.3223$ 。

表3 主要性状相对值指数对单株重相对指数的通径分析

因子	直接通径系数	间接通径系数							
		叶绿素	苗高	根长	叶龄	根体积	根干重	地上部干重	根冠比
叶绿素	-0.0208		-0.0195	-0.0061	-0.0244	-0.0076	-0.0044	-0.0079	-0.0117
苗高	0.0093	0.0160		0.0110	0.0120	0.0095	0.0114	0.0072	0.0149
根长	0.0346	0.0461	0.0368		0.0310	0.0115	0.0231	0.0185	0.0432
叶龄	0.0111	0.0165	0.0119	0.0139		0.0074	0.0128	0.0074	0.0191
根体积	-0.0088	-0.0113	-0.0090	-0.0065	-0.0082		-0.0048	-0.0075	-0.0056
根干重	0.2105	0.2795	0.2103	0.2111	0.2269	0.1473		0.1273	0.2395
地上部干重	0.7592	1.3408	0.7850	0.7174	0.7592	1.0629	0.7918		1.2618
根冠比	-0.0041	-0.0059	-0.0043	-0.0050	-0.0037	-0.0041	-0.0039	-0.0028	



(0.2105)>根长(0.0346)>叶龄(0.0111)>苗高(0.0093)>根冠比(-0.0041)>根体积(-0.0088)>叶绿素含量(-0.0208);地上部干重相对值指数、根干重相对值指数直接途径系数均较大,说明弱光下地上部干重相对值指数、根干重相对值指数与相对单株重的正向直接作用较强。

### 3 结论与讨论

光的强弱会直接影响叶绿体光合膜上色素以及色素蛋白复合物的形成、分布和含量<sup>[15]</sup>。弱光胁迫下,植株功能叶片叶绿素含量均上升,而Chlb的含量增加得更多,Chla/Chlb比值下降<sup>[16-19]</sup>。Chlb的增加有利于吸收漫射光中占优势的波长较短的蓝紫光,从而使处于弱光中的植株增加对弱光的利用<sup>[20]</sup>。这说明光合色素含量的增加及其相对量的变化是植物对弱光逆境的一种适应性反应。从花生<sup>[21,22]</sup>、大豆<sup>[23]</sup>、辣椒<sup>[24]</sup>、桃树<sup>[25,26]</sup>、小麦<sup>[27]</sup>等作物上也证实了弱光逆境下植株叶绿素含量被增加的这一结论。但朱龙英等<sup>[28]</sup>对番茄不同品种的研究结果与上述有些不同,认为弱光处理下植株叶绿素含量除较耐弱光品种“齐研矮粉”之外,叶绿素含量均有不同程度的下降。两种结果都表明,如果弱光下叶绿素含量相对增加较多,则该品种可能较为耐阴。本研究结果表明,在弱光胁迫下,水稻各品种的叶绿素含量(SPAD)均增加。经相关分析,弱光下水稻各品种叶绿素含量相对值与单株重、地上部干重、根重、根长、根体积、苗高的相对值相关不显著,对相对单株重的直接途径系数最小为-0.0208。因此,初步认为叶绿素含量并不能作为水稻耐阴能力鉴定的指标。

单株重是水稻耐弱光育种的重要目标,弱光下单株重的变化反映了一个品种(品系)耐弱光性,是品种(品系)耐弱光性重要的鉴定指标,是一个综合性状,容易受多方面因素的影响,直接选择效果较差,只有通过间接选择与其密切相关的性状,才能提高耐弱光选择效果。本试验的弱光强度对各品种的单株重影响显著,说明试验处理的弱光强度能够达到鉴定品种耐弱光性的要求。

本试验研究表明,弱光下地上部干重相对指数直接途径系数(0.7592)和相关系数(0.9034)均较大,说明弱光下地上部干重相对指数可以作为苗期鉴定水稻耐弱光性状的极其重要可靠指标。在品种选择的过程中,通过弱光下地上部干重相对指数能够直接简便地从大量水稻群体中筛选耐弱光品种(品系),提高育种工作效率。

弱光下根干重相对指数与单株重相对指数的直接途径系数为0.2105,说明弱光下根干重相对指数与相对单株重的正向直接作用较强。而且,二者简单相关

系数(0.7634)和偏相关系数(0.5291)均达到极显著水平。所以,弱光下根干重相对指数也是苗期鉴定水稻是否耐阴的一个重要指标。

弱光下根长相对指数与单株重相对指数的直接途径系数为0.0346,二者简单相关系数(0.6862)和偏相关系数(0.3321)均达到极显著水平。初步认为弱光下根长相对指数作为苗期鉴定水稻耐阴性具有较高的可靠性。

本研究以水稻4叶期在遮光55%条件下处理14天的地上部干重相对指数为耐阴种质鉴定指标。地上部干重相对指数 $\geq 0.800$ 为Ⅰ级耐阴品种,0.700~0.800为Ⅱ级耐阴品种,0.600~0.700为Ⅲ级耐阴品种。本试验在水稻4叶期遮光55%水平下处理14天鉴定出Ⅰ级耐阴种质2份,分别是‘广恢128’、‘银晶软占’,Ⅱ级耐阴种质3份,分别是‘R527’、‘金23B’、‘繁7B’,Ⅲ级耐阴种质15份,分别是‘明恢86’、‘辐恢838’、CDR22、R752、9311、‘密阳46’、‘南恢397’、‘华新占’、‘珍汕97B’、D62B、‘佳禾B’、‘博白B’、‘优IB’、90B、‘中九B’。

### 参考文献

- [1] 刘博,韩勇,解文孝,等.灌浆结实期弱光水稻产量、生理及品质的影响[J].中国稻米,2008,(5):36-40.
- [2] 解文孝,刘博,韩勇,等.光温因子对水稻产量及品质形成的调控[J].黑龙江农业科学,2008,(6):26-30.
- [3] 李霞,严建民,季本华,等.光氧化和遮荫条件下水稻的生理特性的品种差异[J].作物学报,1999,25(3):301-308.
- [4] 焦德茂,崔继林.主要农作物光合特性解析与在生产上的应用 I 杂交水稻群体不同高度叶层的光合特性[J].江苏农业科学,1982,(9):11-15.
- [5] 李霞,焦德茂,刘友良.不同水稻品种各层叶片光合能力的比较[J].江苏农业学报,2004,20(4):213-219.
- [6] 黄文秀.农业自然资源[M].北京:科学出版社,1998,157-160.
- [7] Murty K S, Dey S K, Swain P, et al. Low light adapted restorers of different maturity durations for hybrid rice breeding [J]. Int Rice Res Newsletter, 1992,17(6):6-7.
- [8] 任万军,杨文钰,樊高琼,等.始穗后弱光对水稻干物质积累与产量的影响[J].四川农业大学学报,2003,21(4):292-296.
- [9] 焦德茂,戴秋杰,聂毓琦,等.在水稻F<sub>4</sub>代分离群体中筛选鉴定高光合耐阴的变异体[J].江苏农业学报,1985,(3):10-16.
- [10] Murty K S, Sahu G. Impact of low-light stress in growth and yield of rice. In: Weather and Rice(ed. By IRRI), 1987,93-101.
- [11] 焦德茂,高亮之,金之庆,等.水稻耐光氧化和耐阴特性的鉴定及其生理基础[J].中国水稻科学,1995,9(4):245-248.
- [12] Sahu G, Visperas R M, Vergara B S. Screening for shade tolerance in rice seedlings.IRRN,1984,9(3):26-27
- [13] 陈以峰.耐阴水稻种质资源的快速筛选技术研究[J].生态农业研究,1997,5(1):37-41.

- [14] 谢戎,何光华,金良,等.耐阴稻种资源快速筛选初步研究[J].绵阳经济技术高等专科学校学报,1998,15(3):1-4.
- [15] 许春辉,赵福洪,王可玢,等.光逆境对叶绿体叶绿素蛋白质复合物的影响[J].植物学通报,1991,11(4):8-11.
- [16] 黄卫东,吴兰坤,战吉成.中国矮樱桃叶片生长和光合作用对弱光环境的适应性调节[J].中国农业科学,2004,37(12):1981-1985.
- [17] 眭晓蕾,张宝玺,张振贤,等.弱光条件下不同基因型辣椒幼苗光合与生长的差异[J].农业工程学报,2005,21:41-44.
- [18] Lakshmi P M, Vanangamudi M. Effect of low light on yield and physiological attributes of rice [J].Crop management and Physiology, 2004,29(2):71-73.
- [19] Janet V, Prabhat K S. Photoinhibition and photosynthetic acclimation of rice (*Oryza sativa* L.cv Jyothi) plants grown under different light intensities and photoinhibited under field conditions [J].India Journal of Biochemistry & Biophysics,2009,46:253-260.
- [20] Anderson J M. Composition of the photosystems and chloroplast structure in extreme shade plants[J].Biochem Biophys Acta,1973, 325:573-585.
- [21] 姚君平,杨新道.光照强度对花生苗期和花针期植株生育的影响[J].花生学报,1992(4):22-24.
- [22] 张昆,万勇善,刘凤珍.苗期弱光对花生光合特性的影响[J].中国农业科学,2010,43(1):65-71.
- [23] 梁镇林,梁慕勒,潘世元.大豆耐阴性研究Ⅹ:不同耐阴性大豆叶片叶绿素含量和比叶重研究[J].贵州农学院学报,1992,11(2):16-22.
- [24] 陈银华,蒋健箴.光照强度对辣椒光合特性与生长发育的影响[J].上海农业学报,1998,14(3):46-50.
- [25] 孔云,王绍辉,王志忠,等.弱光逆境对桃树生长发育和光合特性的影响[J]中国农学通报, 2009,25(2):139-142.
- [26] Gaudillere J P, Moing A. Photosynthesis of peach leaves: light adaptation, limiting factors and sugar content[J]. Acta Horticulturae, 1992,315:103-109.
- [27] 郭峰,曲妍妍,信长朋,等.弱光下生长的高产小麦品系PH01.35旗叶光合机构对不同光强的响应[J].作物学报,2009,35(1):179-184.
- [28] 朱龙英,徐悌惟,康高强,等.番茄耐低温和耐弱光性能鉴定方法初探[J].上海农业学报,1998,14(1):45-50.