

# 沿黄稻区水稻灌浆期遮阴对产量和品质的影响及耐弱光粳稻品种筛选

杜彦修, 晏云, 季新, 李飞, 李丹阳, 孙红正, 张静, 李俊周, 彭廷, 赵全志

(河南农业大学农学院 / 河南省水稻生物学重点实验室 / 河南省粮食作物协同创新中心, 郑州 450046)

**摘要:** 水稻灌浆期经常遇到阴雨寡照天气, 从而导致水稻减产和品质下降。本研究通过分析沿黄稻区近 6 年水稻灌浆期的气象数据发现, 灌浆期日照时数减少是在该时期影响沿黄稻区水稻生产的主要气候因子; 以生育期适合沿黄稻区种植的 80 个粳稻品种为材料, 在灌浆期用 65% 的黑色遮阳网遮阴 30 d, 检测了水稻冠层顶部晴天、阴天和雨天 3 种天气下光、温度和湿度等生态环境, 分析了灌浆期遮阴对水稻千粒重、加工品质和垩白性状的影响, 并进行了耐弱光品种的筛选。结果表明遮阴后水稻冠层顶部阳光在能量和信号两个层面都发生了变化, 即辐射量减少和 R/FR 比值降低; 灌浆期遮阴后千粒重降低、糙米率、精米率和整精米率下降、垩白粒率和垩白度增加, 其中对千粒重和垩白性状影响最大; 以遮阴后千粒重降幅、垩白粒率和垩白度增幅为指标, 通过聚类分析从中筛选出了方四落、新丰 5 号、早香 3 和小香共 4 个优质耐弱光品种。

**关键词:** 水稻; 遮阴; 光质; 稻米品质; 品种筛选

## Effects of Shading on Yield and Quality of Japonica Rice Varieties in Rice-growing Regions alongside the Yellow River during Grain-filling Stage and Screening of Low-light Tolerance

DU Yan-xiu, YAN Yun, JI Xin, LI Fei, LI Dan-yang, SUN Hong-zheng, ZHANG Jing, LI Jun-zhou, PENG Ting, ZHAO Quan-zhi

(Agronomy College, Henan Agricultural University/Henan Key Laboratory of Rice Biology /  
Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Zhengzhou 450046)

**Abstract:** Rice is often exposed to cloudy and rainy weather during grain filling, resulting in decrease in rice yield and quality. By analyzing the meteorological data of rice grain filling during the last 6 years (2012-2017) in rice-growing region alongside the Yellow River (RAYR), it was found that the decrease of sunshine duration during grain filling period was the main climatic factor affecting rice production. 80 varieties of japonica rice from Japan and China were used for shading experiment, which created 65% reduction of full natural light making use of one layer of black netting and last 30 days during grain filling period. Light intensity, red light and far red light intensity, temperature and humidity in 3 weather conditions (sunny, cloudy and rainy) on the top of canopy were measured. And the 1000-grain weight, milling quality and chalkiness under shading were analyzed to screen shade tolerant japonica rice varieties. The results showed that in our study the temperature and humidity were no difference between shading and natural condition. The sunlight at the top of canopy was changed at two aspects, energy and signal, which indicated that radiation and R/FR ratio were both decreased under shading. 1000-grain weight, brown, milled and head rice rates were decreased, and chalky rice rate and chalkiness degree increased

收稿日期: 2018-10-31 修回日期: 2018-11-16 网络出版日期: 2018-12-07

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20181031001>

第一作者主要从事水稻遗传育种工作, E-mail: dumatt@163.com

通信作者: 赵全志, 主要从事水稻栽培生理研究工作, E-mail: qzhaoh@126.com

基金项目: 国家重点研发计划粮食丰产增效科技创新专项 (2017YFD0300100)

**Fundation project:** the National Key R&D Program of China (2017YFD0300100)

under shading. Among these characters 1000-grain weight and chalkiness were mostly affected by shading. Based on 1000-grain weight decrease, chalky grain and chalkiness degree increase under shading, 4 high quality and shade tolerant japonica rice varieties were screened, which including Fangsiluo, Xinfeng5, Zhaoxiang3 and Xiaoxiang. Thus, these shade tolerant varieties with excellent grain quality served as valuable resource in future breeding for new resistant low-light varieties.

**Key words:** rice; shading; light quality; rice quality; variety screening

随着全球气候变暖, 极端天气变得频繁, 水稻开花灌浆期往往遭遇阴雨寡照。河南沿黄稻区秋季频繁发生阴雨寡照天气, 1951-1998 年的 47 年中, 秋季濮阳发生连阴雨天气 30 次、新乡发生 32 次、开封 29 次<sup>[1]</sup>。2009 年 9 月河南出现了长达半个月之久的持续阴雨天气, 2010 年 9 月上中旬, 黄淮大部出现了阴雨寡照天气, 2011 年 9 月 4-20 日, 河南省大部分地区出现连阴雨天气, 9 月日照时数 81.4 h, 较常年同期偏少 91.2 h<sup>[2]</sup>, 2017 年灌浆期, 河南沿黄稻区阴雨寡照天气达 20 d<sup>[3]</sup>。

灌浆期的阴雨寡照天气导致水稻产量降低和品质下降, 我国学者采用遮光的方法模拟寡照天气, 研究了弱光对水稻营养生长、光合作用、产量和品质的影响<sup>[2]</sup>。任万军等<sup>[4]</sup>研究发现遮阴处理后, 糙米率、精米率、整精米率、透明度、胶稠度显著或极显著降低, 垩白米率、垩白度显著或极显著地升高, 直链淀粉含量显著降低、蛋白质含量极显著升高。LocThuya 等<sup>[5]</sup>用 14 个越南水稻品种进行遮阴试验, 发现遮阴提高青籽率和垩白粒率。沿黄稻区生态区域明显, 米质优良, 深获消费者认可。河南省沿黄一带, 包括原阳、封丘、开封、濮阳、范县和台前稻区, 历来是优质稻米产区, 特别是原阳大米, 是国家地理标志产品<sup>[6-8]</sup>。为在阴雨寡照条件下生产优质稻米提供品种材料、开展水稻耐弱光生理和分子机制研究、发掘耐弱光基因, 进一步利用分子育种方法提高水稻耐弱光性能, 本研究利用来源于河南、江苏等地适应沿黄种植的 80 个粳稻品种, 在大田条件下利用黑色遮阴网模拟弱光条件, 筛选优质耐弱光品种。

## 1 材料与方法

### 1.1 水稻材料

本试验水稻材料为来源于日本、中国的河南、江苏、山东、天津、浙江、北京、台湾、安徽、吉林、云南等 11 个地区的生育期适应河南沿黄稻区种植的 80 个水稻品种, 抽穗期 8 月 20-22 日的品种 33 个(编号 A1~A33), 抽穗期 8 月 23-25 日的品种 35 个(编号

B1~B35), 抽穗期 8 月 26-30 日的品种 12 个(编号 C1~C12), 品种具体信息见表 1。

### 1.2 遮阴处理

水稻材料种植于河南农业大学原阳科教园区(111.95°E, 35.11°N), 地处黄河北岸, 是典型的沿黄稻区。试验田每  $\text{hm}^2$  施纯 N 225 kg, N:P:K=2:1:3, N 肥分 3 次施, 基肥: 蘖肥: 穗肥比例为 30%:30%:40%, 钾肥和磷肥作基肥一次施完。

每个水稻材料种植 2 行, 抽穗日期相近材料种植在一起, 采用随机区组设计, 3 次重复。花后 1 d(材料抽穗 75%~80% 时)用 65% 的黑色遮阳网进行遮阴处理, 遮阴时长为 30 d, 80 个品种根据抽穗期依次进行遮阴处理。遮阴网距离冠层 1.5 m, 周边下垂遮阴网距离冠层 0.2 m 高, 保证遮阳网内通风透气, 减少对网内温度和湿度的影响。自然生长的水稻为对照, 每个材料各 3 次重复。

### 1.3 气象数据收集和冠层生态环境监测

原阳 2012-2017 年气象数据来源于河南省气象局。田间冠层生态环境分别测定了晴天、阴天和雨天 3 种天气条件下的光照强度、温度、湿度、红光和远红光的光量子通量密度。遮阳网内和对照各选取 5 个点, 在 10:00、13:00 和 17:00 这 3 个时间点测定。光照强度使用手持多探头光量子仪(Apogee MQ-303)进行测定, 温度和湿度采用温湿计(OMGA RH87)测定, 红光(R, Red)和远红光(FR, Far Red)的光量子通量密度采用手持式光谱测量仪(Spector Sense2+)测定, 计算出红光/远红光比值(R/FR)。

### 1.4 千粒重及稻米品质测定

水稻收获后自然晾干, 放置 3 个月后进行千粒重和稻米品质的测定。千粒重测定采用数粒仪数取粒数, 用天平称其重量, 糙米率、精米率和整精米率按 GB/T17891-1999 方法测定, 垩白粒率和垩白度采用稻米垩白度观察仪(EBD-I, 杭州麦哲)测定。所有指标均 3 次生物学重复, 最终结果取其平均值。

表 1 供试水稻品种

Table 1 Rice varieties used in this study

编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin
A1	日本晴	日本	A21	玉稻 518	中国河南	B8	金世纪	—	B28	小香	中国河南
A2	09-11	中国河南	A22	豫农粳 6 号	中国河南	B9	津稻 253	中国天津	B29	2012K1	中国河南
A3	单粳生 3 号	—	A23	原稻 108	中国河南	B10	津优 05	中国天津	B30	稗敌杂后	—
A4	武运粳 7 号	中国江苏	A24	原阳 05450	中国河南	B11	连粳 6 号	中国江苏	B31	优兰	—
A5	阳光 200	中国山东	A25	原早稻 3 号	中国河南	B12	宁粳 4 号	中国江苏	B32	方欣 4 号	中国河南
A6	监稻 430	—	A26	1407	中国河南	B13	圣稻 806	中国山东	B33	圣丰 13	—
A7	徐稻 3 号	中国江苏	A27	08K22	中国河南	B14	圣丰 806	—	B34	水晶 3 号	中国河南
A8	021 号	中国河南	A28	2011K8	中国河南	B15	泗稻 12	中国江苏	B35	新丰 7 号	中国河南
A9	c15	—	A29	方欣 1 号	中国河南	B16	苏秀 10 号	中国浙江	C1	迟中生 1 号	—
A10	汴稻 01C	中国河南	A30	金稻 8 号	中国河南	B17	武育粳 04	中国江苏	C2	华粳 6 号	中国江苏
A11	金粳 787	中国天津	A31	新丰 5 号	中国河南	B18	新丰矮优	中国河南	C3	淮稻 13	中国江苏
A12	京稻 21	中国北京	A32	徐稻 4 号	中国江苏	B19	新粳 128	中国河南	C4	拉木加	中国云南
A13	农 3	—	A33	原所杂后	中国河南	B20	延粳 3 号	中国吉林	C5	新农粳 1 号	中国河南
A14	苏秀 326	中国浙江	B1	2720	中国河南	B21	裕粳 136	中国河南	C6	淮 276	中国江苏
A15	台中 65	中国台湾	B2	2011K10	中国河南	B22	豫粳 6 号	中国河南	C7	淮稻 5 号	中国江苏
A16	武育粳 21	中国江苏	B3	2011K-29	中国河南	B23	早熟农虎 6	中国浙江	C8	扬粳 4038	中国江苏
A17	新稻 21	中国河南	B4	2011K30	中国河南	B24	郑选 2 号	中国河南	C9	武育粳 3 号	中国江苏
A18	新丰 2 号	中国河南	B5	CA1C2	—	B25	区北一	—	C10	DW094	—
A19	新丰 6 号	中国河南	B6	wo18	—	B26	方四落	中国河南	C11	安徽安(4)	中国安徽
A20	新选 1 号	中国河南	B7	肥东塘稻	中国安徽	B27	早香 3	中国河南	C12	南粳 45	中国江苏

—表示品种源地未知

—Indicates the origin of the variety is unknown

## 1.5 数据分析

数据使用 Excel 和 SPSS 22 进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 原阳稻区抽穗灌浆期气象分析

河南农业大学原阳科教园区位于黄河北岸,所处区域为典型的沿黄稻区。本研究从河南省气象局收集了 2012-2017 年该地区最近 6 年 8-10 月的气象资料,包括太阳辐射量、最高、最低和平均气温、降水量和降水日数、日照时数和平均日照数。8-10 月的 6 年平均太阳辐射量分别为 469.4 MJ/m<sup>2</sup>、368.2 MJ/m<sup>2</sup> 和 293.0 MJ/m<sup>2</sup>,随着水稻生育期进程,太阳辐射量减少。8 月、9 月和 10 月的太阳辐射量年季间有波动,8 月份和 10 月份的太阳辐射量 2015-2017 年呈下降趋势(图 1)。

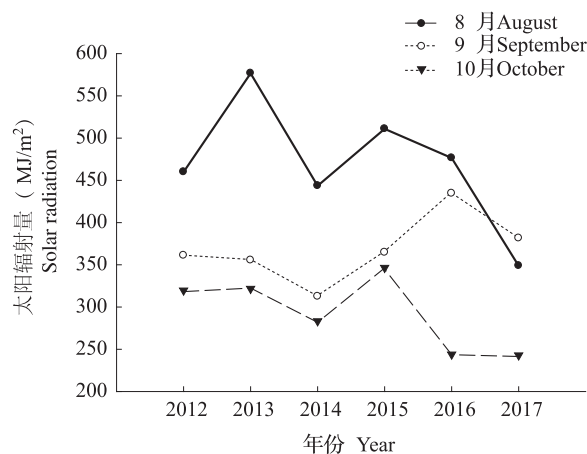


图 1 2012-2017 年 6 年太阳辐射量  
Fig.1 The solar radiation of 2012-2017 year

2012-2017 年,8 月份的最高温度为 34.1 ℃,最低为 20.3 ℃,9 月份最高温度为 28.7 ℃,最低

温度为 16.0 ℃, 10 月份最高温度为 23.3 ℃, 最低为 10.4 ℃; 降水日数 8 月份最多为 15 d, 9 月份最多为 16 d, 10 月份最多为 15 d; 日照时数 8 月份超过 200 h 的只有一年, 9 月份均低于 200 h, 只有 2 年达到 190 h, 其余远低于 200 h, 10 月份均远

低于 200 h, 且 2016 年只有 98.4 h; 平均日照时数整体上 8 月份最多, 但对水稻灌浆尤其重要的 9 月和 10 月份平均日照时数多数年份较少, 9 月份只有 2 次在 6 h 以上, 10 月份只有 1 次在 5 h 以上(表 2)。

表 2 沿黄稻区(原阳)2012-2017 温度、降水和日照时数

Table 2 The temperature, precipitation and sunshine duration from 2012 to 2017 in Yuanyang

月份 Month	年份 Year	最高气温 (℃) Maximum temperature	最低气温 (℃) Minimum temperature	平均气温(℃) Average temperature	降水量 (mm) Precipitation	降水日数(d) Precipitation days	日照时数 (h) Sunshine duration	平均日照时数 (h/d) Average sunshine time
8	2012	30.0	21.6	24.9	136.5	10	170.3	5.49
	2013	34.1	24.4	28.5	74.5	7	241.7	7.80
	2014	29.6	20.3	24.3	62.0	15	157.5	5.08
	2015	30.9	21.2	25.4	31.5	11	195.3	6.30
	2016	30.9	22.8	26.3	57.1	8	185.7	5.99
	2017	31.0	22.5	26.2	59.1	11	66.0	2.13
9	2012	26.8	16.6	20.8	46.3	10	139.3	4.64
	2013	28.4	18.1	22.4	12.7	3	126.6	4.22
	2014	25.2	16.8	20.3	190.1	16	113.1	3.77
	2015	26.8	16.0	20.8	20.8	8	190.0	6.33
	2016	28.7	17.8	22.3	61.6	9	190.8	6.36
	2017	28.0	17.9	22.3	42.8	10	158.6	5.29
10	2012	23.3	12.3	16.8	17.2	7	146.6	4.73
	2013	23.1	11.8	16.4	12.2	4	147.2	4.75
	2014	22.5	12.6	16.8	6.7	5	117.2	3.78
	2015	22.8	10.4	16.0	29.1	7	167.7	5.41
	2016	20.3	12.4	15.8	77.4	15	98.4	3.17
	2017	19.2	11.0	14.5	37.7	12	101.5	3.27

通过分析 2012-2017 年 8-10 月的气象资料可知,在抽穗灌浆期影响该地区水稻生产的主要气候因子是阴雨寡照天气造成的弱光。

2.2 遮阴后水稻生长生态环境监测

水稻灌浆期选择了阴天、雨天和晴天 3 种代表性天气,在 10:00、13:00 和 17:00 3 个时间点,分别监测了遮阴处理和对照水稻冠层的温度、湿度、光照强度和红光与远红光的比例。发现 3 种天气情况下,遮阴与对照的冠层温度除阴天 17:00 时遮阳网内温度较对照微高(0.4 ℃),晴天

10:00 和 13:00 遮阳网内温度较对照微低(0.8 ℃和 0.6 ℃)外,多数时间两者温度差异不显著;湿度总体来说阴雨天气下对照冠层的湿度微高,除雨天 13:00 遮阴极显著低于对照、晴天 13:00 遮阴极显著高于对照外,其他时间点差异不显著;遮阴后光照强度和 R/FR 变化显著或极显著,3 种天气情况下,遮阴与对照相比光强和 R/FR 显著或极显著下降,表明遮阴既改变了辐射量又改变了光质,冠层接收到的光能量和光信号均发生了变化(表 3)。



表 3 遮阴后水稻冠层温度、湿度、光强和 R/FR 比值

Table 3 The temperature, humidity, light intensity and R/FR ratio of the canopy top under shading

天气状况 Weather	时间 Time	处理 Treatment	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) Temperature	湿度 (%) Humidity	光照强度 ( $\mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$ ) Light intensity	R/FR
阴天 (9月3日) Cloudy (September 3rd)	10:00	对照	$26.9 \pm 0.2$	$67.3 \pm 1.5$	$516.0 \pm 5.0$	$1.161 \pm 0.002$
		遮阴	$26.6 \pm 0.0$	$68.7 \pm 0.3$	$120.0 \pm 2.6^{**}$	$1.124 \pm 0.001^{**}$
	13:00	对照	$27.5 \pm 0.1$	$62.3 \pm 2.2$	$801.7 \pm 33.2$	$1.165 \pm 0.004$
		遮阴	$27.6 \pm 0.0$	$57.7 \pm 0.3$	$200.0 \pm 5.8^{**}$	$1.124 \pm 0.003^{**}$
	17:00	对照	$25.8 \pm 0.1$	$71.7 \pm 0.3$	$182.3 \pm 1.9$	$1.159 \pm 0.001$
		遮阴	$26.2 \pm 0.1^*$	$70.7 \pm 0.3$	$40.0 \pm 1.2^{**}$	$1.116 \pm 0.002^{**}$
雨天 (9月4日) Rainy (September 4th)	10:00	对照	$24.4 \pm 0.3$	$77.3 \pm 1.5$	$405.0 \pm 4.5$	$1.236 \pm 0.002$
		遮阴	$24.6 \pm 0.0$	$73.3 \pm 0.3$	$91.0 \pm 2.9^{**}$	$1.153 \pm 0.028^*$
	13:00	对照	$26.0 \pm 0.1$	$75.3 \pm 0.9$	$645.7 \pm 4.5$	$1.237 \pm 0.003$
		遮阴	$26.3 \pm 0.0$	$68.7 \pm 0.7^{**}$	$145.3 \pm 6.1^{**}$	$1.170 \pm 0.002^{**}$
	17:00	对照	$26.1 \pm 0.2$	$70.7 \pm 0.3$	$115.0 \pm 0.6$	$1.205 \pm 0.007$
		遮阴	$26.5 \pm 0.1$	$72.0 \pm 1.0$	$22.0 \pm 1.2^{**}$	$1.152 \pm 0.004^{**}$
晴天 (9月11日) Sunny (September 11th)	10:00	对照	$28.7 \pm 0.1$	$76.0 \pm 1.0$	$1587.3 \pm 9.1$	$1.128 \pm 0.002$
		遮阴	$27.9 \pm 0.2^*$	$74.7 \pm 0.9$	$371.0 \pm 5.9^{**}$	$1.096 \pm 0.005^*$
	13:00	对照	$30.8 \pm 0.0$	$46.0 \pm 1.0$	$1680.0 \pm 5.8$	$1.124 \pm 0.008$
		遮阴	$30.2 \pm 0.1^*$	$56.0 \pm 1.5^{**}$	$400.0 \pm 5.8^{**}$	$1.086 \pm 0.004^*$
	17:00	对照	$30.6 \pm 0.0$	$51.3 \pm 1.3$	$303.0 \pm 6.9$	$1.128 \pm 0.011$
		遮阴	$30.6 \pm 0.0$	$49.7 \pm 0.67$	$57.3 \pm 2.0^{**}$	$1.098 \pm 0.015$

\* 表示差异显著 ( $P<0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P<0.01$ ), 下同\* Significant difference at  $P<0.05$ , \*\* Significant difference at  $P<0.01$ , the same as below

### 2.3 遮阴后千粒重、加工品质与垩白品质的差异性分析

遮阴与对照的千粒重、加工品质和垩白品质的差异性分析结果见表 4。遮阴后 80 个品种的千粒重、糙米率、精米率和整精米率的均值都低于对照,而垩白粒率和垩白度的均值都高于对照,其中千粒重、垩白粒率和垩白度在遮阴与对照间达到显著差异。80 个品种遮阴后千粒重、糙米率、精米率和整精米率变异系数与对照的差异不大,并且均小于 10.00%,垩白粒率和垩白度的变异系数比较大。这些结果表明灌浆期遮阴降低了水稻产量,降低加工品质,使垩白性状变劣,尤其对垩白性状影响较大,且不同基因型水稻的垩白性状对遮阴响应不同。

### 2.4 灌浆期遮阴降低水稻千粒重

水稻灌浆期遮阴使水稻千粒重降低,表 5 中列出了遮阴后显著或极显著降低的品种。本研究中 80 个水稻品种遮阴后千粒重均降低,千粒重降幅大

于 10% 的品种共有 35 个,降幅低于 5% 的品种共有 14 个。降幅最大的 4 个品种是新农粳 1 号、阳光 200、优兰和日本晴,遮阴后千粒重分别下降了 20.65%、18.46%、18.04% 和 16.20%。降幅最小的 5 个品种是南粳 45、新粳 128、苏秀 10 号、延粳 3 号和汴稻 01C,千粒重分别下降了 0.85%、2.05%、1.92%、1.73% 和 2.34%。

### 2.5 灌浆期遮阴对加工品质的影响

水稻灌浆期遮阴对稻米的糙米率、精米率和整精米率影响较小。在 80 个供试水稻品种中,遮阴后只有 3 个品种的糙米率降幅在 3% 以上,分别是淮 276 降低 20.36%、新丰 7 号降低 6.10% 和豫农粳 6 号降低 3.15%,其余 77 个品种糙米率下降幅度均在 3% 以下。表 6 列出了遮阴后精米率和整精米率差异显著的品种,遮阴后只有 6 个品种精米率差异显著、1 个品种整精米率差异显著。遮阴后精米率下降最大的品种为新丰 5 号,下降最小的为方欣 4 号。

表 4 遮阴后千粒重、加工品质和垩白品质差异性分析  
Table 4 Statistical analysis of 1000-grain weight, milling and chalkiness quality under shading

性状 Characteres	处理 Treatment	最大值 Max.	最小值 Min.	变异幅度 Variation range	均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Variation coefficient
千粒重(g)	遮阴	30.34	18.57	11.77	23.30*	1.95	8.356
1000-grain weight	对照	33.02	21.56	11.46	25.72	1.99	7.718
糙米率(%)	遮阴	86.01	62.84	23.17	82.60	2.66	3.220
Brown rice rate	对照	85.60	78.91	6.69	83.81	1.16	1.384
精米率(%)	遮阴	80.50	47.79	32.71	72.41	4.36	6.021
Milled rice rate	对照	82.41	49.93	32.48	73.92	4.06	5.492
整精米率(%)	遮阴	78.57	41.75	36.82	68.35	6.76	9.890
Head rice rate	对照	77.47	34.18	43.29	71.19	5.79	8.133
垩白粒率(%)	遮阴	94.03	14.76	79.27	52.88*	18.17	34.361
Chalky grains	对照	92.96	5.13	87.83	32.11	20.28	63.158
垩白度	遮阴	67.51	6.44	61.07	23.54*	11.06	46.984
Chalkness degree	对照	82.98	1.52	81.46	10.89	11.33	104.040

表 5 灌浆期遮阴后水稻千粒重显著降低的品种  
Table 5 Varieties with significant reduction in 1000-grain weight after shading

抽穗期 Heading stage	品种 Varieties	千粒重(g) 1000-grain weight		降幅(%) Decrease	品种 Varieties	千粒重(g) 1000-grain weight		降幅(%) Decrease
		遮阴 Shading	对照 Control			遮阴 Shading	对照 Control	
8 月 20-22 日 August 20-22	阳光 200	22.72 ± 0.76**	27.86 ± 0.45	18.46	苏秀 326	22.57 ± 0.42**	25.61 ± 0.13	11.84
	日本晴	21.91 ± 0.21**	26.15 ± 0.45	16.20	新丰 6 号	23.98 ± 0.29**	26.84 ± 0.19	10.66
	豫农粳 6 号	24.33 ± 0.97*	28.96 ± 0.46	15.96	监稻 430	23.24 ± 0.37*	25.97 ± 0.49	10.50
	徐稻 3 号	21.76 ± 1.15*	25.83 ± 0.26	15.75	原稻 108	23.36 ± 0.86*	26.03 ± 0.17	10.26
	武运粳 7 号	23.16 ± 0.20**	27.39 ± 0.53	15.46	武育粳 21	24.15 ± 0.05*	26.85 ± 0.58	10.06
	台中 65 号	18.57 ± 0.88*	21.56 ± 0.15	13.87				
8 月 23-25 日 August 23-25	优兰	19.40 ± 1.08*	23.67 ± 0.74	18.04	郑选 2 号	20.59 ± 0.27**	23.65 ± 0.56	12.92
	早熟农虎 6	22.26 ± 0.37**	26.09 ± 0.76	14.67	CA1C2	21.63 ± 0.30**	24.55 ± 0.21	11.89
	方欣 4 号	21.30 ± 0.74*	24.94 ± 0.51	14.62	豫粳 6 号	22.14 ± 0.82*	25.06 ± 0.31	11.64
	圣丰 13	24.39 ± 0.39**	28.46 ± 0.69	14.30	津优 05	21.82 ± 0.39*	24.60 ± 0.68	11.27
	武育粳 4 号	22.04 ± 0.26**	25.53 ± 0.63	13.66	2012K1	22.14 ± 0.66*	24.80 ± 0.21	10.72
8 月 26-30 日 August 26-30	新农粳 1 号	20.00 ± 1.31*	25.20 ± 0.42	20.65	华粳 6 号	23.53 ± 0.48**	27.57 ± 0.19	14.66

2.6 灌浆期遮阴对垩白性状的影响

水稻灌浆期遮阴对稻米的垩白性状影响很大,遮阴后垩白粒率和垩白度均增加,表 7 和表 8 列出了遮阴后垩白粒率和垩白度差异显著的品种。在 80 个水稻品种中,遮阴后垩白粒率增幅在 30% 以上的有 19 个水稻品种,其中有 9 个品种垩白粒率增幅在 40% 以上,日本晴的增幅甚至达到了 49.99%;12 个水稻品种增幅在 10% 以下,其中只有 3 个品种的垩白粒率增幅在 5% 以下;其余 49 个品种的垩白粒率增幅在 10%~30% 之间。在 80 个水稻品种中,遮阴后垩白度增幅在 20% 以上的有 14 个水稻品种,垩白度增幅在 5% 以下的只有 6 个品种。

2.7 供试水稻品种的聚类分析

通过分析遮阴后千粒重、加工品质和垩白性状的变化及品种间的变异性发现,灌浆期遮阴影响最大的是垩白和千粒重 2 个性状,因此以遮阴后千粒重降幅、垩白粒率和垩白度增幅为指标,对 80 个品种进行聚类分析以筛选耐弱光水稻品种。聚类分析表明,当欧氏距离为 20 时,80 个水稻品种可以明显分为两类,第 I 类有 41 个品种,第 II 类有 39 个品种,根据每个品种遮阴与对照条件下千粒重、垩白粒率和垩白度的表现,可以得知第 I 类较第 II 类耐弱光。当欧氏距离为 15 时,第 I 类和第 II 类均可以再分为两类,分别为 I-1、I-2、II-1 和 II-2(图 2)。

表 6 灌浆期遮阴后精米率和整精米率差异显著的品种

Table 6 Varieties with significant difference in milled rice rate and head rice rate after shading

抽穗期 Heading stage	品种 Varieties	精米率(%) Milled rice rate		降幅(%) Decrease	品种 Varieties	整精米率(%) Head rice rate		降幅(%) Decrease
		遮阴 Shading	对照 Control			遮阴 Shading	对照 Control	
8 月 20-22 日 August 20-22	新丰 5 号	68.63 ± 1.68**	76.81 ± 0.52	8.19				
	原所杂后	74.41 ± 0.52*	79.03 ± 1.59	4.63				
	农 3	72.42 ± 0.78**	76.65 ± 0.26	4.22				
8 月 23-25 日 August 23-25	圣稻 806	72.97 ± 0.10*	76.76 ± 0.81	3.79	津稻 253	71.33 ± 1.37*	77.47 ± 2.73	6.15
	方欣 4 号	72.54 ± 0.58**	76.33 ± 0.37	3.78				
8 月 26-30 日 August 26-30	新农粳 1 号	70.82 ± 1.08*	77.48 ± 0.82	6.66				

表 7 灌浆期遮阴后垩白粒率差异显著的品种

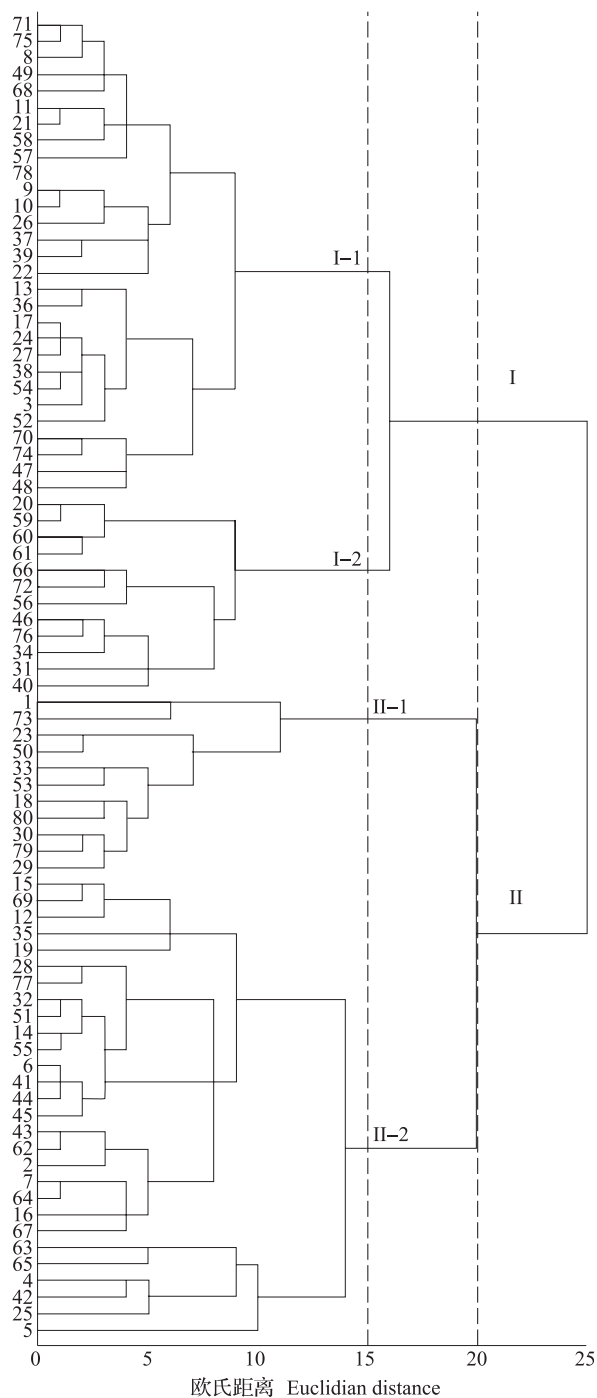
Table 7 Varieties with significant difference in chalky rice rate after shading

抽穗期 Heading stage	品种 Varieties	垩白粒率(%) Chalky grains rate		增幅(%) Increase	品种 Varieties	垩白粒率(%) Chalky grains rate		增幅(%) Increase
		遮阴 Shading	对照 Control			遮阴 Shading	对照 Control	
8 月 20-22 日 August 20-22	日本晴	59.51 ± 2.43**	9.52 ± 2.30	49.99	原稻 108	69.21 ± 2.43**	32.04 ± 3.11	37.17
	新丰 2 号	68.40 ± 2.70**	22.90 ± 2.69	45.50	新丰 6 号	41.99 ± 5.72**	6.42 ± 1.66	35.57
	金稻 8 号	67.68 ± 0.25**	25.23 ± 1.92	42.44	京稻 21	53.87 ± 3.24**	20.91 ± 2.48	32.96
	方欣 1 号	50.99 ± 5.43**	8.90 ± 4.82	42.09	徐稻 3 号	73.36 ± 0.82**	42.14 ± 3.69	31.21
	原所杂后	75.92 ± 5.45*	34.74 ± 1.87	41.17	台中 65 号	43.93 ± 5.97*	13.03 ± 2.58	30.90
8 月 23-25 日 August 23-25	延梗 3 号	57.03 ± 4.34**	16.63 ± 5.07	40.40	水晶 3 号	41.32 ± 3.82**	8.67 ± 1.46	32.65
	武育梗 4 号	52.53 ± 2.25**	14.33 ± 3.52	38.20	优兰	52.87 ± 4.78**	21.21 ± 2.28	31.66
	2011K10	60.83 ± 3.19**	24.99 ± 0.35	35.84				
8 月 26-30 日 August 26-30	新农粳 1 号	66.60 ± 1.39**	21.60 ± 1.60	45.00	迟中生 1 号	47.10 ± 5.65**	15.59 ± 0.31	31.51
	安徽安(4)	66.73 ± 3.58**	23.27 ± 1.27	43.47	扬梗 4038	20.80 ± 0.60*	15.17 ± 1.27	5.63
	南梗 45	72.67 ± 6.83**	29.22 ± 8.38	43.45				

表 8 灌浆期遮阴后垩白度差异显著的品种

Table 8 Varieties with significant difference in chalkness degree after shading

抽穗期 Heading stage	品种 Varieties	垩白度 Chalkness degree		增幅(%) Increase	品种 Varieties	垩白度 Chalkness degree		增幅(%) Increase
		遮阴 Shading	对照 Control			遮阴 Shading	对照 Control	
8 月 20-22 日 August 20-22	阳光 200	50.02 ± 1.12**	22.96 ± 0.99	27.07	金稻 8 号	27.30 ± 1.37**	6.40 ± 0.77	20.90
	日本晴	28.16 ± 3.01**	3.17 ± 3.17	24.99	原稻 108	29.69 ± 2.33**	8.88 ± 1.35	20.81
	原所杂后	33.62 ± 4.12**	11.00 ± 1.12	22.62	武运梗 7 号	36.44 ± 1.44**	16.06 ± 0.81	20.39
	武育梗 21	32.26 ± 1.01**	11.23 ± 1.49	21.02	农 3	8.78 ± 0.85*	4.96 ± 0.34	3.83
	徐稻 3 号	36.13 ± 1.46**	15.20 ± 1.52	20.93				
8 月 23-25 日 August 23-25	武育梗 4 号	26.17 ± 2.68**	4.04 ± 0.82	22.12	方欣 4 号	37.57 ± 4.23**	16.52 ± 0.60	21.04
	稗敌杂后	37.96 ± 5.29**	16.09 ± 1.51	21.87	2011K-29	6.70 ± 0.07*	2.27 ± 0.69	4.43
	优兰	27.93 ± 3.47**	6.59 ± 0.98	21.34				
8 月 26-30 日 August 26-30	新农粳 1 号	32.88 ± 2.76**	5.75 ± 0.05	27.13	安徽安(4)	28.87 ± 4.23**	8.27 ± 0.03	20.60



数字 1~33 对应品种 A1~A33, 34~68 对应品种 B1~B35, 69~80 对应品种 C1~C12

Number 1-33: A1-A33, 34-68: B1-B35, 69-80: C1-C12

图 2 80 个水稻品种的聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of 80 varieties based on 1000-grain weight decrease, chalky grains rate and chalkness degree increase

I-2 类的 12 个品种(新选 1 号、方四落、早香 3、小香、圣丰 13、拉木加、早熟农虎 6、圣稻 806、扬粳 4038、2720、肥东塘稻和新丰 5 号)遮阴后千粒重降低幅度小, 垩白粒率和垩白度增幅小, 是高耐弱光品

种, II-1 类的 11 个品种(金稻 8 号、安徽安(4)、方欣 1 号、南粳 45、延粳 3 号、新丰 2 号、原稻 108、武育粳 4 号、原所杂后、日本晴和新农粳 1 号)遮阴后千粒重降幅大, 垩白粒率和垩白度增幅大, 属于高感弱光的品种。I-1 和 II-2 两类分别属于中耐弱光和中感弱光品种。在高耐弱光的 12 个品种中有两种类型, 一种是遮阴后垩白粒率和垩白度虽然变化不大, 但正常光照和遮阴条件下垩白性状都比较差, 例如新选 1 号和拉木加; 第二种是正常光照条件下垩白粒率和垩白度较小, 遮阴后变化不大, 依然较小, 例如方四落、新丰 5 号、早香 3 和小香。图 3 示例了高感弱光品种日本晴、高耐弱光品种新丰 5 号(优质)和高耐弱光品种拉木加(品质差)遮阴与对照的垩白性状表型。因此, 为了选育耐弱光且米质优良的水稻品种, 方四落、新丰 5 号、早香 3 和小香这 4 个品种可以作为耐弱光优质种质资源。

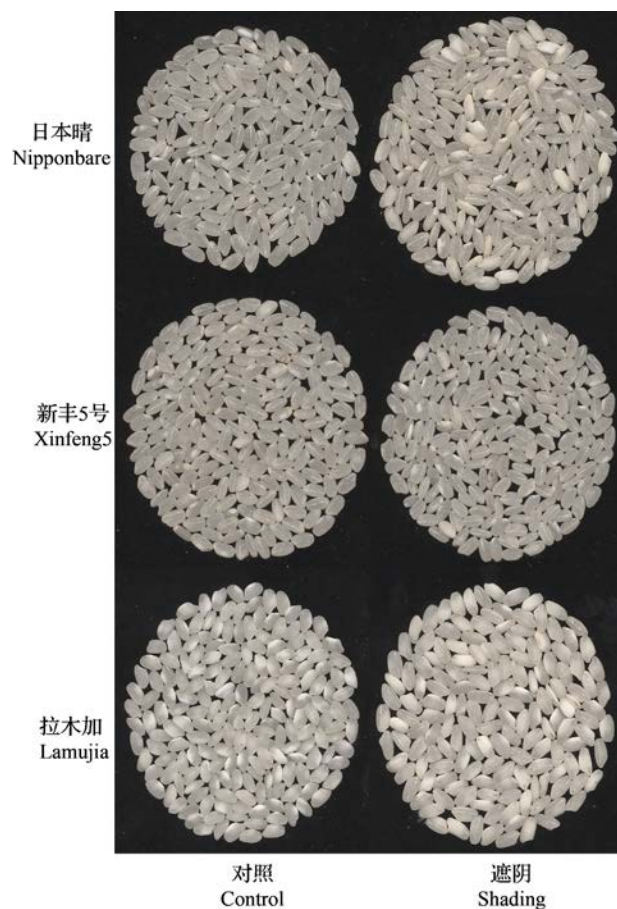


图 3 灌浆期遮阴后垩白性状变化的 3 种类型  
Fig.3 Three types of chalkiness under shading during grain filling

### 3 讨论

河南至山东省沿黄一带, 是我国著名的优质粳



米生产区<sup>[6-9]</sup>,随着全球气候变暖,极端天气出现频率增加,而在沿黄稻区水稻灌浆期阴雨寡照天气频发<sup>[1,3]</sup>。本研究分析了 2012-2017 年原阳稻区 8-10 月份的太阳辐射、温度、降水和日照时数等气候因素,结果表明灌浆期日照时数减少是影响沿黄稻区水稻生产的一个重要气候因子。在水稻灌浆期(收获前 30 d),最好的天气条件是要有 200 h 的阳光灿烂的时间<sup>[10]</sup>,若日照时数减少至每天 3~4 h,水稻产量会比较低(1.5~2.5 t/hm<sup>2</sup>)<sup>[11]</sup>,而沿黄原阳地区 2012-2017 年的 9 月和 10 月份日均日照时数都达不到平均每天 6.67 h 的标准。

作物在生长期遇到阴雨寡照天气会导致产量和品质下降<sup>[12-15]</sup>。水稻在灌浆期遭遇弱光天气同样会导致产量下降和品质变劣<sup>[16-18]</sup>,本研究表明遮阴后水稻千粒重下降,糙米率、精米率和整精米率下降,垩白粒率和垩白度增加导致加工品质和外观品质变劣,与前人研究一致。在本研究中,水稻灌浆期遮阴后对千粒重和垩白的影响较糙米率、精米率和整精米率大,影响最大的是垩白粒率和垩白度。遮阴后千粒重降低,垩白性状变劣,表明遮阴严重影响籽粒的灌浆。

研究阴雨寡照或者弱光对植物生长发育的影响,研究者通常采用遮阴网遮光模拟,遮阴后光照强度降低,光合有效辐射(PAR, photosynthetically active radiation, 波长 400~710 nm)减少<sup>[19-23]</sup>。由于高大植物遮挡阳光造成的遮阴,会使 R/FR 比值降低<sup>[24-25]</sup>,但遮阴网遮阴对 R/FR 比值的影响研究结果不一致,有研究表明遮阴后 R/FR 比值降低,而有研究表明 R/FR 比值不变<sup>[26-28]</sup>。本研究表明,灌浆期遮阴后水稻冠层除了 PAR 减少外,光信号也发生变化, R/FR 比值降低。当植物遇到遮阴后,光敏色素 PHYB 感知 R/FR 的变化,会引起避阴反应(SAR, shade avoidance response)或者耐阴反应(shade tolerance),植物避阴反应典型症状是茎、叶柄伸长、产生偏下性和减少分枝,耐阴反应典型症状是增加比叶面积,光系统 PSII:PSI 降低,叶绿素 a:b 降低<sup>[29-31]</sup>。遮阴后从光的能量角度(光合有效辐射减少)对水稻产量和品质的影响已有较多研究,但从光的信号角度(光质改变)对水稻产量和品质的影响研究较少,笔者前期研究在水稻灌浆期籽粒中鉴定出了表达的光信号相关基因,表明光信号可能对籽粒灌浆有调控作用<sup>[32]</sup>,因此遮阴后光质变化对稻米产量和品质的影响应该是被关注的一个方向。

我国稻米产量虽然世界第一,但每年仍然进口大量优质大米,因此选育米质优良品种是我国水稻

育种当前和今后应该加强的方向。品种筛选是育种中重要的一项工作<sup>[33-34]</sup>,本研究以千粒重和垩白性状作为指标,通过聚类分析,筛选出了多个耐弱光品种,特别是新丰 5 号、方四落、早香 3、小香 4 个粳稻品种,米质优良,遮阴后垩白性状与对照差异很小,是选育耐弱光优质水稻品种的优良种质资源,同时也是研究水稻耐弱光分子机制的绝佳材料。

## 参考文献

- [1] 王记芳,朱业玉.近 50 年河南省连阴雨灾害气候特点.河南气象,2000(4):16-17  
Wang J F, Zhu Y Y. The characteristics of continuous rain disaster in henan province during the last 50 years. Meteorology Journal of Henan, 2000(4):16-17
- [2] 杜彦修,季新,张静,李俊周,孙红正,赵全志.弱光对水稻生长发育影响研究进展.中国生态农业学报,2013,21(11):1307-1317  
Du Y X, Ji X, Zhang J, Li J Z, Sun H Z, Zhao Q Z. Research progress on the impacts of low light intensity on rice growth and development. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(11):1307-1317
- [3] 张艳红,刘维,张蕾.2017 年秋季气候对农业生产的影响.中国农业气象,2018,39(1):69-71  
Zhang Y H, Liu W, Zhang L. Impact of autumn climate on agricultural production in 2017. Chinese Journal of Agrometeorology, 2018, 39(1):69-71
- [4] 任万军,杨文钰,徐精文,樊高琼,马周华.弱光对水稻籽粒生长及品质的影响.作物学报,2003,29(5):785-790  
Ren W J, Yang W Y, Xu J W, Fan G Q, Ma Z H. Effect of low light on grains growth and quality in rice. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(5):785-790
- [5] LocThuya T, Saitoh K. Effect of shading on dry-matter production, yield and grain appearance quality of Vietnamese rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in the paddy field. Scientific Reports of the Faculty of Agriculture, 2017, 106:13-20
- [6] 尹海庆,房志勇,王生轩,王越涛.河南省粳稻育种研究的现状与展望.作物杂志,2006(4):28-30  
Yin H Q, Fang Z Y, Wang S X, Wang Y T. Current situation and prospect of japonica rice breeding in Henan. Crops, 2006(4):28-30
- [7] 陈香.原阳大米品牌发展的策略研究.农村经济与科技,2014,25(1):34-36  
Chen X. The development strategy of Yuanyang rice. Rural Economy and Science-Technology, 2014, 25(1):34-36
- [8] 马慧慧.河南省农产品地理标志保护研究——以原阳大米为例.安徽农业科学,2011,39(31):19515-19516  
Ma H H. Geography symbol protection of agricultural product in Henan province-taking Yuanyang rice as an example. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(31):19515-19516
- [9] 孔贺,杜中民,朱红梅,黄信诚,高发瑞,王绪营,崔太昌.济宁市水稻生产现状,问题及建议.中国稻米,2016(2):32  
Kong H, Du Z M, Zhu H M, Huang X C, Gao F R, Wang X Y, Cui T C. Rice production status, problems and suggestions of jining city. China Rice, 2016(2):32
- [10] Murty K S, Sahu G. Impact of low-light stress on growth and yield of rice. Weather and Rice. Manila, Philippines:

- International Rice Research Institute, 1987: 93-101
- [ 11 ] Sridevi V, Chellamuthu V. Impact of weather on rice-A review. *International Journal of Applied Research*, 2015, 1 ( 9 ): 825-831
- [ 12 ] 邓飞, 王丽, 姚雄, 王建军, 任万军, 杨文钰. 不同生育阶段遮阴对水稻籽粒充实和产量的影响. *四川农业大学学报*, 2009, 27 ( 3 ): 265-269
- Deng F, Wang L, Yao X, Wang J J, Ren W J, Yang W Y. Effects of different-growing-stage shading on rice grain-filling and yield. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2009, 27 ( 3 ): 265-269
- [ 13 ] 王一, 杨文钰, 张霞, 雍太文, 刘卫国, 苏本营. 不同生育时期遮阴对大豆形态性状和产量的影响. *作物学报*, 2013, 39 ( 10 ): 1871-1879
- Wang Y, Yang W Y, Zhang X, Yong T W, Liu W G, Su B Y. Effects of shading at different growth stages on different traits and yield of soybean. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39 ( 10 ): 1871-1879
- [ 14 ] 张元帅, 冯伟, 张海艳, 齐双丽, 衡亚蓉, 郭彬彬, 李晓, 王永华, 郭天财. 遮阴和施氮对冬小麦旗叶光合特性及产量的影响. *中国生态农业学报*, 2016 ( 9 ): 1177-1184
- Zhang Y S, Feng W, Zhang H Y, Qi S L, Heng Y R, Guo B B, Li X, Wang Y H, Guo T C. Effects of shading and nitrogen rate on photosynthetic characteristics of flag leaves and yield of winter wheat. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016 ( 9 ): 1177-1184
- [ 15 ] 崔海岩, 靳立斌, 李波, 董树亭, 刘鹏, 赵斌, 张吉旺. 遮阴对夏玉米干物质积累及养分吸收的影响. *应用生态学报*, 2013, 24 ( 11 ): 3099-3105
- Cui H Y, Jin L B, Li B, Dong S T, Liu P, Zhao B, Zhang J W. Effects of shading on dry matter accumulation and nutrient absorption of summer maize. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 ( 11 ): 3099-3105
- [ 16 ] 杜彦修, 徐国强, 季新, 张静, 李俊周, 孙红正, 赵全志. 扬花灌浆期抗耐弱光水稻品种评价及筛选. *中国稻米*, 2012, 18 ( 6 ): 35-39
- Du Y X, Xu G Q, Ji X, Zhang J, Li J Z, Sun H Z, Zhao Q Z. Evaluation and screening of rice varieties with low light tolerance during filling stage. *China Rice*, 2012, 18 ( 6 ): 35-39
- [ 17 ] Liu Q H, Xiu W U, Chen B C, Jie G A O. Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. *Rice Science*, 2014, 21 ( 5 ): 243-251
- [ 18 ] Mo Z, Li W, Pan S, Fitzgerald T L, Xiao F, Tang Y, Tang X. Shading during the grain filling period increases 2-acetyl-1-pyrroline content in fragrant rice. *Rice*, 2015, 8 ( 1 ): 9
- [ 19 ] 黄正来, 李林. 水稻抽穗灌浆期模拟阴天的光质环境分析及其对产量形成的影响. *安徽农业大学学报*, 1999, 26 ( 4 ): 403-409
- Huang Z L, Li L. Analysis on light quality environment under simulated-cloudy condition and its effect on rice yield formation during rice heading-filling period. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1999, 26 ( 4 ): 403-409
- [ 20 ] Hoffmann S, Waaijenberg D. Tropical and subtropical greenhouses-A challenge for new plastic films. *International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses*, 2001, 578: 163-169
- [ 21 ] Runkle E S, Jaster P, Heins R D, Thill C. Environmental conditions under an experimental near infra-red reflecting greenhouse film. In *International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses*, 2001, 578: 181-185
- [ 22 ] Von Elsner B, Xie J. Effects of interference pigments in shading paint for greenhouses. *Proceedings of the Thirty-first Agricultural Plastics Congress*, 2003: 6-16
- [ 23 ] 武晓玲, 谭千军, 陈氛杰, 吴雨珊, 刘卫国, 余跃辉, 杨文钰. 大豆苗期茎秆相关性状对荫蔽的响应. *植物遗传资源学报*, 2015, 16 ( 5 ): 1111-1116
- Wu X L, Tan Q J, Chen F J, Wu Y S, Liu W G, She Y H, Yang W Y. Study on response of soybean stem characters to shading at seedling stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16 ( 5 ): 1111-1116
- [ 24 ] Schmitt J, Wulff R D. Light spectral quality, phytochrome and plant competition. *Trends in Ecology and Evolution*, 1993, 8: 47-51
- [ 25 ] Stuefer J F, Huber H. Differential effects of light quantity and spectral light quality on growth, morphology and development of two stoloniferous *Potentilla* species. *Oecologia*, 1998, 117: 1-8
- [ 26 ] Sasidharan R, Chinnappa C C, Voisenek L A C J, Pierik R. The regulation of cell wall extensibility during shade avoidance: a study using two contrasting ecotypes of *Stellaria longipes*. *Plant Physiology*, 2008, 148 ( 3 ): 1557-1569
- [ 27 ] Yamazaki J Y. Is light quality involved in the regulation of the photosynthetic apparatus in attached rice leaves. *Photosynthesis Research*, 2010, 105 ( 1 ): 63-71
- [ 28 ] Kotilainen T, Robson T M, Hernández R. Light quality characterization under climate screens and shade nets for controlled-environment agriculture. *PLoS One*, 2018, 13 ( 6 ): e0199628
- [ 29 ] Valladares F, Niinemets Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 2008, 39: 237-257
- [ 30 ] Gommers C M, Visser E J, St Onge K R, Voisenek L A, Pierik R. Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, 2013, 18 ( 2 ): 65-71
- [ 31 ] Carriedo L G, Maloof J N, Brady S M. Molecular control of crop shade avoidance. *Current Opinion in Plant Biology*, 2016, 30: 151-158
- [ 32 ] 杜彦修, 季新, 彭廷, 孙红正, 张静, 李俊周, 赵全志. 水稻灌浆期籽粒中光信号相关基因鉴定与表达分析. *分子植物育种*, 2016 ( 7 ): 1637-1647
- Du Y X, Ji X, Peng T, Sun H Z, Zhang J, Li J Z, Zhao Q Z. Identification and expressing analysis of light signal genes involved in endosperm development during rice grain filling. *Molecular Plant Breeding*, 2016 ( 7 ): 1637-1647
- [ 33 ] 刘婧, 张立全, 王根平, 范光宇, 张杰伟, 张婷, 王峰, 王晓明, 李丛丛, 冯小磊, 魏建华, 徐杰, 程汝宏, 姚磊. 利用全生育期极度干旱法鉴定谷子抗旱资源. *植物遗传资源学报*, 2018, 19 ( 4 ): 633-641
- Liu J, Zhang L Q, Wang G P, Fan G Y, Zhang J W, Zhang T, Wang F, Wang X M, Li C C, Feng X L, Wei J H, Xu J, Cheng R H, Yao L. Identification of foxtail millet drought resistance resource by extreme drought in whole growth period. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19 ( 4 ): 633-641
- [ 34 ] 韩飞, 诸葛玉平, 娄燕宏, 王会, 张乃丹, 何伟, 晁赢. 63 份谷子种质的耐盐综合评价及耐盐品种筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19 ( 4 ): 685-693
- Han F, Zhuge Y P, Lou Y H, Wang H, Zhang N D, He W, Chao Y. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of 63 foxtail millet germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19 ( 4 ): 685-693