

杨旺兴, 卓伟, 马彬林, 等. 水稻种质资源光合与水分利用特性比较及聚类分析 [J]. 福建农业学报, 2017, 32 (3): 248—252.
YANG W-X, ZHUO W, MA B-L, et al. Comparison and Cluster Analysis on Photosynthetic Characteristics and Water Usage Efficiency of Rice Germplasms [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 32 (3): 248—252.

水稻种质资源光合与水分利用特性比较及聚类分析

杨旺兴, 卓伟, 马彬林, 邹文广, 韦新宇, 杨腾帮, 张受刚, 许旭明*

(福建省三明市农业科学研究院, 福建 沙县 365059)

摘要: 探讨水稻种质资源的光合特性, 并筛选出高光效水稻资源, 为水稻种质资源遗传改良提供参考。对 58 份来自不同国家和地区的水稻种质资源的光合特性、水分利用效率 (WUE) 及叶绿素相对含量 (SPAD) 进行比较及聚类分析。结果表明, 不同稻种资源间的光合速率 (Pn)、气孔导度 (C) 和蒸腾速率 (E) 存在极显著差异, 水分利用效率存在显著差异。光合特征前 3 个主成分的方差累计贡献率达 95.31%。C、Pn、E 为第 1 主成分主导因子, WUE 和 Pn 为第 2 主成分主导因子, 第 3 主成分主要由 SPAD 构成。聚类分析将 58 份稻种资源划分为 7 个类群, 筛选获得第 1、6 类群 9 个高光合速率、高水分利用效率以及较高叶绿素相对含量种质资源, 作为水稻高光效育种、抗逆育种的中间材料或配组亲本材料加以利用。

关键词: 水稻; 光合特性; 水分利用效率; 聚类分析; 种质资源

中图分类号: S 511

文献标识码: A

文章编号: 1008—0384 (2017) 03—248—05

Comparison and Cluster Analysis on Photosynthetic Characteristics and Water Usage Efficiency of Rice Germplasms

YANG Wang-xing, ZHUO Wei, MA Bin-lin, ZOU Wen-guang, WEI Xin-yu, YANG Teng-bang,
ZHANG Shou-gang, Xu Xu-ming*

(Sanming Academy of Agricultural Sciences, Shaxian, Fujian 365059, China)

Abstract: Photosynthetic characteristics (PC) of various rice germplasms were determined to identify high-efficient genetic resources for improvements on rice cultivars. In addition, the water usage efficiency (WUE) and chlorophyll content (SPAD) of 58 rice germplasms from various nations and regions were obtained for comparison and classification in a cluster analysis. The results showed that there were significant differences ($P < 0.01$) in photosynthesis rate (Pn), stomatal conductance (C), and transpiration rate (E), as well as highly significant differences ($P < 0.05$) in WUE, among the tested varieties. The 3 principal components cumulatively contributed to the variances among the cultivars at 95.31% on C, Pn and E being the 1st principal component; on WUE and Pn, the 2nd; and, on SPAD, the 3rd. Based on Pn, WUE, and SPAD, the 58 germplasms were clustered into 7 groups. As a result, Group 1 and Group 6 consisting of 9 germplasms that showed high PC, WUE and SPAD were recommended for crossbreeding purposes.

Key words: rice; photosynthetic characteristics; water usage efficiency; cluster analysis; germplasm resources

光合作用是作物产量的根本来源, 作物的干物质的积累, 有 90% 左右的物质来自作物光合作用的产物。水稻产量的形成有 80% 是来自光合产物的积累, 因此, 对不同水稻种质光合特性的分类、评价及深入了解, 挖掘水稻高光效种质资源, 对水稻高产育种及种质资源改良起到一定的推动作用。

作物种质资源光合特性研究^[1—3] 前人在水稻、大麦、甘蔗等都做了一定的研究。赵明等^[4] 研究表明利用稻属的高光效资源也是改进水稻光合作用的一条重要途径。赵秀琴等^[5] 研究热带地区筛选出的不同高光效水稻材料在温带地区也有稳定的遗传差异。曹树青等^[6] 研究了水稻种质资源光合速率及光

收稿日期: 2016—08—29 初稿; 2016—12—27 修改稿

作者简介: 杨旺兴 (1979—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事水稻遗传育种研究 (E-mail: yyy99425@163.com)

* 通讯作者: 许旭明 (1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事水稻遗传育种研究 (E-mail: fj63xxm@sina.com)

基金项目: 国家水稻产业技术体系专项 (CARS-01); 福建省科技重大专项 (2012NZ0003); 福建省科技计划项目——省属公益类科研院所基本科研专项 (2015S0065); 三明市科技计划项目 (2014-N-2)

合功能期, 筛选出一些具有特异光合性状的典型材料, 可用于水稻育种改良及优化配组。刘怀年等^[7]研究 117 份水稻种质资源表明始穗期至齐穗期的光合速率可代表其光合速率。本研究以 58 份来自于不同国家和地区的水稻种质资源为材料, 对其始穗期光合特性进行研究, 并通过聚类分析, 从不同背景的稻种资源中筛选出高光合速率及高水分利用效

率等水稻种质资源, 以期为水稻高产育种、耐旱育种的遗传改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为来自不同国家和地区的 58 份水稻种质资源, 编号为 A1~A58 (表 1)。

表 1 58 份供试水稻种质资源
Table 1 Fifty-eight rice germplasms studied

代码	品种名称	代码	品种名称	代码	品种名称	代码	品种名称	代码	品种名称
A1	嘉南 8 号	A13	明恢 63	A25	科恢 752	A37	明恢 507	A49	明恢 519
A2	嘉南 9 号	A14	WJ413	A26	明恢 398	A38	明恢 508	A50	明恢 522
A3	明恢 72	A15	多系一号	A27	明恢 413	A39	明恢 509	A51	明恢 523
A4	02428	A16	亚恢 420	A28	明恢 416	A40	明恢 510	A52	明恢 524
A5	92gk729	A17	明恢 86	A29	明恢 417	A41	明恢 511	A53	明恢 527
A6	97gk419	A18	R527	A30	明恢 419	A42	明恢 512	A54	明恢 530
A7	97gk1019	A19	MHR18	A31	明恢 436	A43	明恢 513	A55	明恢 532
A8	97gk1037	A20	超引一号	A32	明恢 3009	A44	明恢 514	A56	明恢 533
A9	98gk2046	A21	9308	A33	明恢 502	A45	明恢 515	A57	明恢 534
A10	20gk719	A22	C418	A34	明恢 503	A46	明恢 516	A58	明恢 118
A11	47 梗	A23	圭 630	A35	明恢 504	A47	明恢 517		
A12	华明 921	A24	康丰 B	A36	明恢 506	A48	明恢 518		

1.2 试验方法

试验在莆田试验基地进行, 采用随机区组设计, 3 次重复, 每份材料种植 5 行, 每行 8 株, 单本种植, 种植规格 20 cm×20 cm, 常规管理。

1.3 测定项目及方法

利用便携式光合作用测量系统 (LI-6400XT) 测定供试水稻种质资源光合特性相关指标: Pn、E、C 和 WUE 等。测定方法: 在始穗期选晴天 9:00~11:00, 测定剑叶中上部, 设定光强为 1 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、温度为 30~33°C, CO_2 体积分数为 330 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$, 每株测定 3 个重复。采用日产 SPAD-502 叶绿素测定仪对相同叶片进行 SPAD 值测定。测定方法: 在待测叶中部及距离中部上下约 3 cm 处各测 1 次 (避开叶片中脉), 取 3 次平均值作为该叶片的 SPAD 测定值, 通过 SPAD 值评估当前叶片中的叶绿素相对含量。通过聚类分析, 对所测得 Pn、WUE 和 SPAD 值进行分类, 筛选并确定相应高优种质资源。

1.4 统计分析

试验数据在 Excel 电子表格上进行, 相关性分析、主成分分析在 SPSS13.0 上进行, 方差分析、聚类分析在 DPS7.05 上进行。

2 结果与分析

2.1 不同种质资源间光合指标的差异

对 58 份水稻种质资源的光合特性指标、WUE 及 SPAD 进行测定, 并对测定结果进行方差分析, 结果 (表 2) 表明, 供试水稻种质资源间 Pn、E、C 差异达到极显著水平 ($P<0.01$), WUE 差异达显著水平, SPAD 差异达极显著水平。其中, Pn 值最高的水稻资源为明恢 419, CO_2 达 56.87 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, Pn 值最低的品种资源为 98gk2046, CO_2 仅 20.13 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, Pn 值最高与最低相差 2.83 倍, 变异系数 (CV) 为 24.43。C 平均值 H_2O 为 0.66 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, H_2O 变幅为 0.53~0.78 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 变异系数 CV 为 10.45; E 平均值 H_2O 为 4.90 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, H_2O 变幅为 1.07~8.50 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CV 为 37.91; WUE 平均值 CO_2 为 3.25 $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$, CO_2 变幅为 1.50~5.90 $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$, CV 为 29.6。SPAD 平均值为 44.43, 变幅为 36.50~53.97, CV 为 6.64。

表2 58份水稻种质资源光合特性、WUE和SPAD品种间差异
Table 2 Variances on PC, WUE and SPAD among 58 rice germplasms

项目	变异来源	自由度	平方和	均方	F值	平均值
Pn	品种间	57	13631.5522	239.15	2.533**	36.55±8.93
	误差	114	10761.5521	94.3996		
	总变异	173	24441.972			
C	品种间	57	0.8055	0.0141	5.709**	0.66±0.07
	误差	114	0.2822	0.0025		
	总变异	173	1.0938			
E	品种间	57	612.8281	10.7514	5.128**	4.90±1.86
	误差	114	238.9983	2.0965		
	总变异	173	859.0748			
WUE	品种间	57	162.7499	2.8553	1.543*	3.25±0.96
	误差	114	211.0164	1.851		
	总变异	173	375.2699			
SPAD	品种间	57	1489.5853	26.1331	7.318**	44.43±2.95
	误差	114	407.1154	3.5712		
	总变异	173	1904.5919			

注: * 表示差异达显著水平($P<0.05$), ** 表示差异达极显著水平($P<0.01$)。

2.2 主要光合性状的聚类分析

采用系统聚类法, 选择 Pn、SPAD 和 WUE 3 个指标, 以欧氏距离作为统计量, 用类平均法对 58 个水稻资源进行聚类分析。聚类结果(表3)显示, 当欧氏距离为 1.82 时, 可将其分为 7 个类群。1 类群有 3 份种质资源, 为极高 Pn、高 SPAD 并且 WUE 极高型; 2 类群有 2 份种质资源, 为低 Pn、低 SPAD 并且 WUE 极低型; 3 类群有 5 份种

质资源, 表现为低 Pn, 高 SPAD, WUE 中等型; 4 类群有 3 份种质资源, 为高 Pn、高 SPAD、WUE 中等型; 5 类群有 16 份种质资源, 为低 Pn、SPAD 中等, 低 WUE 型; 6 类群有 6 份种质资源, 为高 Pn、高 WUE, SPAD 中等型; 7 类群有 23 份种质资源, 表现为 Pn、SPAD 中等, WUE 较高型。

表3 58份水稻种质资源 Pn、SPAD 及 WUE 的聚类分析结果
Table 3 Classification of rice germplasms based on their Pn, SPAD and WUE

类群	品种代号	个数	频率 /%	类平均			变幅		
				Pn	SPAD	WUE	Pn	SPAD	WUE
1	A19、A30、A54	3	5.17	52.56±4.17	48.07±0.15	5.22±0.63	48.53~56.87	47.9~48.20	4.67~5.90
2	A9、A48	2	3.45	21.3±1.65	37.95±2.05	1.87±0.52	20.13~22.47	36.5~39.40	1.5~2.23
3	A4、A20、A47、A49、A21	5	8.62	30.51±1.92	49.99±2.32	2.89±0.29	28.6~33.67	48.00~53.97	2.43~3.20
4	A13、A31、A32	3	5.17	50±2.06	47.39±1.72	2.86±0.46	47.63~51.40	45.5~48.87	2.47~3.37
5	A6、A51、A41、A45、A27、A42、 A34、A39、A52、A57、A44、 A17、A35、A58、A38、A53	16	27.59	29.84±5.33	43.97±1.78	2.26±0.44	23.4~40.83	40.8~47.17	1.57~3.03
6	A8、A29、A55、A43、A28、A33 A1、A18、A46、A14、A26、A25、 A7、A12、A36、A37、A16、A23、 A24、A40、A2、A15、A56、A11、 A3、A22、A50、A5、A10	6	10.43	49.63±3.45	43.68±0.87	4.41±0.49	44.6~54.77	42.6~44.93	3.6~4.87
7		23	39.66	36.61±3.63	43.43±1.90	3.64±0.37	27.43~44.03	40.23~46.17	2.93~4.43

注: 表中 Pn 的 CO_2 单位为 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; WUE 的 CO_2 单位为 $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-2} \text{H}_2\text{O}$ 。

2.3 光合速率与叶绿素相对含量

第1、4、6类群均为高Pn型种质资源,包含97gk1037、明恢417、明恢3009、明恢436、MHR18、明恢63、明恢416、明恢530、明恢532、明恢513、明恢419、明恢502等12份种质资源,测定其SPAD值在42.6~48.87,均值45.7,高于58份种质资源的SPAD均值44.43。其中,明恢419Pn值最高,CO₂为56.87 μmol·m⁻²·s⁻¹,其SPAD值为47.90,也高于1、4、6类群种质资源的SPAD均值;98gk2046Pn值在所有种质资源中最低,CO₂为20.13 μmol·m⁻²·s⁻¹,其SPAD也最低为36.50;而SPAD值最高的为种质资源9308,其Pn值CO₂为30.10 μmol·m⁻²·s⁻¹,低于Pn平均值,因此可以看出SPAD对供试材料Pn有一定影响,但其大小不能决定Pn的高低。

2.4 光合速率与水分利用效率

WUE是反映植物耐旱性的一个有效指标,也是显示植物有效利用水分的能力,即在相同条件下,WUE高的植物抗旱能力强。从表3聚类结果可以看出,第1类群WUE极高型,其CO₂值为5.22 μmol·mmol⁻¹ H₂O,Pn值CO₂为52.56 μmol·m⁻²·s⁻¹;第6类群WUE较高型,其CO₂值为4.41 μmol·mmol⁻¹ H₂O,Pn值CO₂为49.63 μmol·m⁻²·s⁻¹;第7类群也是WUE较高型的水稻种质资源,其CO₂值为3.64 μmol·mmol⁻¹ H₂O,Pn值CO₂为36.61 μmol·m⁻²·s⁻¹。可以看出第1、6、7类群可作为耐旱型水稻种质资源,进行杂交配组选育相关耐旱品种,特别是第1类群极高水分利用效率种质资源,甚至直接可作为耐旱亲本杂交配组使用。从光合速率来看,第1、6类群光合速率都大于供试种质资源平均光合速率,因此,其也可以作为高光合速率水稻种质资源中间材料或配组亲本使用。

2.5 光合性状间的相关分析与主成分分析

从表4可以看出,Pn与E、WUE呈极显著正相关;C与WUE呈极显著负相关,与E呈极显著正相关。主成分分析(表5)表明,前3个主成分(PRIN1、PRIN2、PRIN3)的方差累计贡献率达95.31%。第1主成分占总方差的42.58%,C、Pn对PRIN1有较强的正向负荷,E对PRIN1有较强的逆向负荷;第2主成分占总方差的34.04%,主要由WUE和Pn构成,有较大的正向负荷;第3主成分占总方差的18.70%,主要由SPAD构成,有较大的正向负荷。

表4 光合性状、WUE和SPAD间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients among PC, WUE and SPAD

性状	Pn	C	E	WUE	SPAD
Pn	1.000				
C	-0.246	1.000			
E	0.640**	0.340**	1.000		
WUE	0.347**	-0.925**	-0.220	1.000	
SPAD	0.202	-0.056	0.087	0.074	1.000

注: *、**分别表示在0.05和0.01水平(双侧)上显著相关。

表5 特征向量和特征根

Table 5 Eigenvectors and eigen values

性状	主成分		
	PRIN1	PRIN2	PRIN3
Pn	0.405	0.855	-0.163
C	0.974	-0.034	-0.085
E	-0.966	0.158	0.056
WUE	-0.239	0.909	-0.208
SPAD	0.165	0.343	0.924
特征根	2.129	1.702	0.935
贡献率/%	42.578	34.039	18.694
累计贡献率/%	42.578	76.617	95.310

3 讨论与结论

光合作用是植物生长和物质积累的基础。翟虎渠等^[8]研究认为水稻灌浆后期叶片仍能保持较高光合功能,并且能够切合籽粒灌浆需求对水稻超高产至关重要。张建福等^[9]研究表明再生稻灌浆期的净光合速率与产量呈极显著正相关,与结实率呈显著正相关。韩勇等^[10]分析表明,水稻产量随着叶片Pn的增加而提高,二者呈显著的幂指函数关系。可见Pn提高是水稻增产的重要途径之一。WUE是对植物性能的一种测量^[11],在农作物系统中,提高水分利用效率是面对有限用水供给时增加农作物产量的有效方法。目前研究水分对稻类光合作用的影响,主要集中在水分胁迫方面。张秋平等^[12]研究发现旱稻前期胁迫后期充分灌水的处理产量水平的水分利用效率最高。何海兵等^[13]对水稻在不同栽培模式下水分利用效率的研究结果表明膜下滴灌栽培的水分利用效率高于常规淹灌栽培、覆膜沟灌及沟灌等栽培模式。邵玺文等^[14]研究指出水稻在拔节孕穗期受到水分胁迫严重,单位面积有效穗数、穗粒数甚至千粒重低都将大幅降低,孕穗期受水分胁迫产量对照低63.8%。因此,高

WUE 种质资源可以看成是稻类在淹水、湿润甚至半干旱环境里能够良好地生长并生产的一个极其重要的特征。刘怀年等^[15]对水稻 Pn 与农艺性状的关系进行研究, 得出高光合速率的资源具有叶色绿或深绿等特点, 张宗琼等^[16]研究结果表明, 水稻 SPAD 值仅可从侧面反应与光合速率具有相关性, 并不能决定光合速率的高低。孟卫卫等^[17]研究发现高叶绿素含量水稻品种, 其 Pn 也较高。孟军等^[18]研究得出在高光强条件下, 叶绿素含量在一定范围内与剑叶净光合速率呈正相关。可见, 水稻生长在田间开放的系统中, 受外界环境因素如光照、水分等胁迫影响。所以试图通过控制大田环境条件来提高光合速率、减少碳同化的损失在目前是不现实的, 也是人们对稻类等作物生产成本所不允许的。但通过选育高光合速率、抗逆性好的品种, 筛选高光效种质资源加以利用, 提高稻类等作物产量是可行的。因此, 高光效育种^[19]是目前育种学家共同关注的研究领域, 但高光效育种不只是高光合速率植株的筛选, 而应该是综合光合生理性能的筛选, 本研究以 Pn、SPAD 和 WUE3 个指标进行综合聚类, 将 58 个种质资源分为 7 个类群, 其中 1、6 类群的 9 个种质资源 MHR18、明恢 419、明恢 530、97gk1037、明恢 417、明恢 532、明恢 513、明恢 416、明恢 502 综合光合性能好, Pn 均值 CO_2 为 $51.09 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, WUE 均值 CO_2 为 $4.82 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$, 共 9 份, 占供试材料的 15.5%, 可以作为高光效育种水稻种质资源的改良亲本或水稻高产育种、抗逆育种的配组亲本。

参考文献:

- [1] 赵姝丽, 李睿, 徐正进. 糜梗交 RILs 剑叶气孔与光合特性的初步研究 [J]. 华北农学报, 2010, 25 (6): 194—197.
- [2] 潘高峰, 张小燕, 庞有强. 大麦种质资源光合色素和光合特性聚类分析 [J]. 西北农业学报, 2008, 17 (5): 152—156.
- [3] 罗俊, 张华, 徐良年, 等. 甘蔗不同品种光合特性比较及其聚类分析 [J]. 中国农业科学, 2005, 38 (8): 1562—1569.
- [4] 赵明, Erik sacks, Renee Lafitte, 等. 水稻远缘杂种后代光合特性及其高光效植株筛选 [C] //21 世纪作物科技与生产发展学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 69—75.
- [5] 赵秀琴, 赵明, 陆军, 等. 热带远缘杂交水稻高光效后代在温带的光合特性观察 [J]. 中国农业大学学报, 2002, 7 (3): 1—6.
- [6] 曹树青, 翟虎渠, 杨图南, 等. 水稻种质资源光合速率及光合功能期的研究 [J]. 中国水稻科学, 2001, 15 (1): 29—34.
- [7] 刘怀年, 邓晓建, 李平. 水稻品种资源光合速率研究 [J]. 四川农业大学学报, 2007, 25 (4): 379—383.
- [8] 翟虎渠, 曹树青, 万建民, 等. 超高产杂交稻灌浆期光合功能与产量的关系 [J]. 中国科学: C 辑, 2002, 32 (3): 211—217.
- [9] 张建福, 朱永生, 蔡秋华, 等. 再生稻净光合速率与产量及其构成因素的相关性分析 [J]. 中国水稻科学, 2011, 25 (1): 103—106.
- [10] 韩勇, 李建国, 姜秀英, 等. 辽宁省水稻灌浆期光合特性及其与产量品质的相关性分析 [J]. 吉林农业科学, 2012, 37 (1): 4—8.
- [11] 曹生奎, 冯起, 司建华, 等. 植物叶片水分利用效率研究综述 [J]. 生态学报, 2009, 29 (7): 3882—3891.
- [12] 张秋平, 杨晓光, 杨婕, 等. 不同灌溉处理下旱稻光合生理特征及水分利用效率 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (6): 67—72.
- [13] 何海兵. 水分调控对膜下滴灌水稻生长发育及产量形成的影响 [D]. 石河子: 新疆石河子大学, 2014.
- [14] 邵玺文, 张瑞珍, 齐春艳, 等. 拔节孕穗期水分胁迫对水稻生长发育及产量的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26 (3): 237—241.
- [15] 刘怀年, 李平, 邓晓建. 水稻种质资源单叶光合速率研究 [J]. 作物学报, 2006, 32 (8): 1252—1255.
- [16] 张宗琼, 张晓丽, 王强, 等. 东南亚水稻种质资源的光合特性比较及聚类分析 [J]. 南方农业学报, 45 (8): 1358—1362.
- [17] 孟卫卫, 靳光远, 吕申超, 等. 水稻高光效种质资源筛选试验 [J]. 现代农业科技 2011, (8) 75—76.
- [18] 孟军, 陈温福, 徐正进, 等. 水稻剑叶净光合速率与叶绿素含量的研究初报 [J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32 (4): 247—249.
- [19] 董倩, 唐秀光, 王洁, 等. 不同种源黄连木光合参数比较及聚类分析 [J]. 河北农业大学学报, 2012, 35 (3): 58—62.

(责任编辑: 林海清)