

文章编号 :1003-8701(2012)01-0004-05

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

韩 勇 ,李建国 ,姜秀英 ,刘 博 ,刘 军 ,解文孝

(辽宁省稻作研究所 ,沈阳 110101)

摘 要 :【目的】近年来 ,辽宁省育成一批直立穗和半直立穗品种和杂交组合并在生产上大面积应用。本研究旨在阐明直立穗和半直立穗品种产量和品质形成期水稻叶片的光合特性及其与产量和品质的相关性。【方法】以辽宁省新育成的 27 个水稻品种 ,在两年多点条件下 ,对品种的光合特性、产量、产量结构和品质表现进行研究。【结果】光合速率与气孔导度和蒸腾速率呈显著的二次曲线关系 ,光合速率与胞间 CO_2 浓度呈极显著的直线关系 ;水稻灌浆中期叶片的净光合速率与产量呈显著正相关 ,气孔导度和蒸腾速率与每穗成粒数成显著正相关。回归分析表明 ,水稻产量随着叶片光合速率的增加而提高 ,二者呈显著的幂指数函数关系。

关键词 :水稻 ;光合特性 ;产量 ;品质 ;辽宁

中图分类号 :S511.01

文献标识码 :A

Correlation of Photosynthetic Characteristics at Filling Stage with Yield and Quality of Rice in Liaoning Province

HAN Yong, LI Jian-guo, JIANG Xiu-ying, LIU Bo, LIU Jun, XIE Wen-xiao

(Liaoning Rice Research Institute, Shenyang 110101, China)

Abstract: In the recent years, the rice varieties or hybrids with erect and semi-erect panicle have been planted in large scale in Liaoning Province. In this article, the correlations between photosynthetic characteristics and yield as well as quality of rice varieties with erect and semi-erect panicle at yield formation stage were demonstrated. The photosynthetic characteristics, yield, and quality traits of 27 newly bred rice varieties in Liaoning Province were studied in two years on many locations. Results showed that there existed conic relationship between photosynthetic rate and stoma conductivity as well as evaporation rate, and there existed very significant linear relationship between photosynthetic rate and intercellular CO_2 concentration. The net photosynthetic rate of leaves at middle filling stage was significant positive related with yield, and stoma conductivity and evaporation rate were positively correlated with ripened grains per panicle. Regression analysis indicated that the yield increased as the photosynthetic rate promoted and these two characters presented power exponential function relation.

Keywords: Rice; Photosynthetic characteristics; Yield; Quality; Liaoning

水稻产量主要来源于光合产物,特别是产量形成期的光合产物,稻谷品质也受光合作用、物质生产与分配的影响^[1]。因此,研究水稻产量和品质形成期水稻品种的光合特性及其与产量和品质的关系一直是水稻育种和栽培研究的重点。长期

以来,学者们在与水稻生长发育及产量有直接关系的光合作用和物质生产方面曾进行很多的研究^[3,5,10],对水稻光合速率和产量的关系方面也进行了探讨^[2,4],通过对水稻光合速率、气孔导度、蒸腾速率及水分利用等的研究来揭示光合特性与产量的关系^[2,4]。不同的研究者用不同的供试材料、方法及研究视角,所得的结论有很大的差异。有的研究发现水稻栽培种的光合速率低于野生种,新

收稿日期 :2011-03-13

作者简介 :韩 勇(1971-)男,博士,研究员,从事水稻育种研究。

品种低于老品种,不同产量水平的品种间光合速率的差异不显著,因此认为光合速率与产量水平无关甚至负相关。但更多的研究从多角度来证明光合速率在进一步提高产量上起着重要的作用,认为较高的光合速率是品种高产的直接原因,通过提高光合速率来提高产量是可能的^[6-8]。近年来,辽宁省育成一批直立穗和半直立穗品种和杂交组合并在生产上大面积应用。关于直立穗和半直立穗品种产量结构和株型等研究较多,但对于这些品种关于光合特性及其与水稻产量和品质相关性研究相对较少,关于产量和品质形成期水稻光合特性尚不十分清楚。为了阐明直立穗和半直立穗品种产量和品质形成期水稻叶片的光合特性及其与产量和品质的相关性,本试验以辽宁省新育成的 27 个水稻品种在多年多点条件下,对品种的光合特性进行研究,找出它们与产量和品质形成的关系,以为水稻高产优质育种提供依据。

1 供试材料与试验设计

1.1 供试材料

试验材料为辽宁省近年新育成的直立穗和半直立穗中晚熟(生育期 156~160 d)常规品种和杂交组合,其中辽粳 294 为对照品种,具体试验材料见表 1。

表 1 参试品种

年份	品种		
2004	辽盐 188	辽星 10 号	辽盐 92
	雨田 202	富禾 80	沈稻 9 号
	辽粳 294	盐优 7592(杂交)	辽优 20(杂交)
	辽优 267(杂交)	千重浪 2 号	
2005	辽盐 188	辽星 10 号	雨田 202
	沈稻 9 号	辽盐 92	富禾 80
	沈 339	福粳 8 号	丰民 2105
	辽星 13	苏粳 4 号	东亚 446
	千重浪 2 号	盐优 7592(杂交)	辽优 267(杂交)
	辽优 20(杂交)	辽粳 294	盘锦 8 号
	辽盐 42	辽盐 158	开 226
	沈农 9810	辽河 5 号	辽星 16
	辽优 22(杂交)	LDC012	

1.2 试验设计

试验于 2004~2005 年在沈阳、辽阳、鞍山、营口 4 个试验点进行。各试点在 4 月上、中旬播种,5 月中、下旬移栽,7 月下旬至 8 月上旬抽穗,9 月下旬成熟,生育期平均在 160d 左右。育苗移栽、秧田管理均按当地常规稻和杂交稻生产习惯,各试点内所有品种同期播种。采用随机区组设计,4 次重复,8 行区,小区面积 10 m²。同组试验所有品种同期移栽,每穴插 3~4 苗,株行距 30 cm×13.3 cm,四周设保护行,保护行与各对应品

种相同。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合速率、气孔导度、蒸腾速率、细胞间隙 CO₂ 浓度测定

采用仪器为 LI-6400 型便携式光合仪,自然光源、人工光源相结合,从分蘖盛期开始每隔 20 d 左右对各试点的所有品种监测群体的指标每 2 h 测量一次。从分蘖盛期开始每隔 20 d 对所有品种的上三叶叶片的中间部位进行测定。

1.3.2 室内考种

成熟期各试点在每个重复中各取代表性植株 5 株,风干后考种。重点测量穗长、每穗总粒数、每穗成粒数、每穗秕粒数、千粒重、谷草比、一次枝梗和二次枝梗、单株产量等。

1.3.3 品质指标分析

按照中华人民共和国农业部标准 NY147-88 米质测定方法测定各项指标。具体指标:出糙率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、透明度、直链淀粉、蛋白质含量。

2 光合作用与产量品质形成的关系

2.1 不同生态区光合速率的比较

表 2 是各试点间不同生育时期水稻光合特性的比较。营口试点的平均光合速率最大为 16.18 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹,沈阳试点的光合速率最小为 14.28 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹。在始穗期,辽阳试点的光合速率最大为 25.4 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹,营口试点的光合速率最小为 12.15 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹;在齐穗期,沈阳试点的光合速率最大为 19.10 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹,营口试点的光合速率最小为 15.02 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹。到了灌浆中期和成熟期则正好相反,营口试点的光合速率最大分别为 22.61 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹ 和 14.92 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹,沈阳试点的光合速率最小分别为 12.17 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹ 和 1.58 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹。在整个灌浆期,沈阳、鞍山、辽阳 3 个试点的光合速率都表现为逐渐下降的趋势;而营口则表现为光合速率先低后高,高数值出现的较晚,光合速率下降的较晚,下降幅度也较小。

2.2 光合速率与气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率的关系

回归分析表明(图 1),光合速率随着气孔导度和蒸腾速率的增大而提高,但超过一定程度后有所下降,呈显著的二次曲线关系,气孔导度在 2.0

molH₂O·m⁻²·s⁻¹ 左右,蒸腾速率在 20 mmolH₂O·m⁻²·s⁻¹ 左右光合速率最大。光合速率与胞间 CO₂ 浓度呈极显著的直线关系,光合速率越大,胞间 CO₂ 浓度越低,可见 CO₂ 同化的速度是光合速率大小的主要制约因素。由以上分析可知,营口试点的光合速率在灌浆期较高的主要原因是 CO₂ 同化的速度快,

而气孔导度相对较小成为其进一步光合的主要限制因素,沈阳试点的光合速率较低的主要原因是 CO₂ 同化的速度慢。在子粒灌浆后期高产品种的光合速率较高主要是因为这类品种在生育后期仍能保持较高的气孔导度、蒸腾速率和 CO₂ 同化能力。

表 2 不同生态区各时期的光合速率比较

试点	光合指标	始穗期	齐穗期	灌浆中期	成熟期	平均
沈阳	光合速率(μ mol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	23.27	19.10	12.17	1.58	14.28
	气孔导度(mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	1.13	0.73	0.57	0.33	0.69
	胞间 CO ₂ 浓度(μ mol CO ₂ ·mol ⁻¹)	269.61	288.65	300.95	334.24	298.36
	蒸腾速率(mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	13.77	9.34	10.56	5.15	9.71
辽阳	光合速率(μ mol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	25.40	15.09	16.81	4.45	15.44
	气孔导度(mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	1.39	0.65	0.38	0.34	0.69
	胞间 CO ₂ 浓度(μ mol CO ₂ ·mol ⁻¹)	280.30	291.55	288.28	350.67	302.70
	蒸腾速率(mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	18.21	10.51	5.91	4.84	9.86
鞍山	光合速率(μ mol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	22.43	18.93	14.44	2.88	14.67
	气孔导度(mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	1.53	0.71	0.37	0.32	0.73
	胞间 CO ₂ 浓度(μ mol CO ₂ ·mol ⁻¹)	295.83	294.78	238.51	310.25	284.84
	蒸腾速率(mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	12.26	11.22	6.58	4.87	8.73
营口	光合速率(μ mol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	12.15	15.02	22.61	14.92	16.18
	气孔导度(mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	1.35	0.41	0.12	0.33	0.55
	胞间 CO ₂ 浓度(μ mol CO ₂ ·mol ⁻¹)	321.54	258.86	223.17	273.64	269.30
	蒸腾速率(mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	9.44	7.20	2.38	6.67	6.42

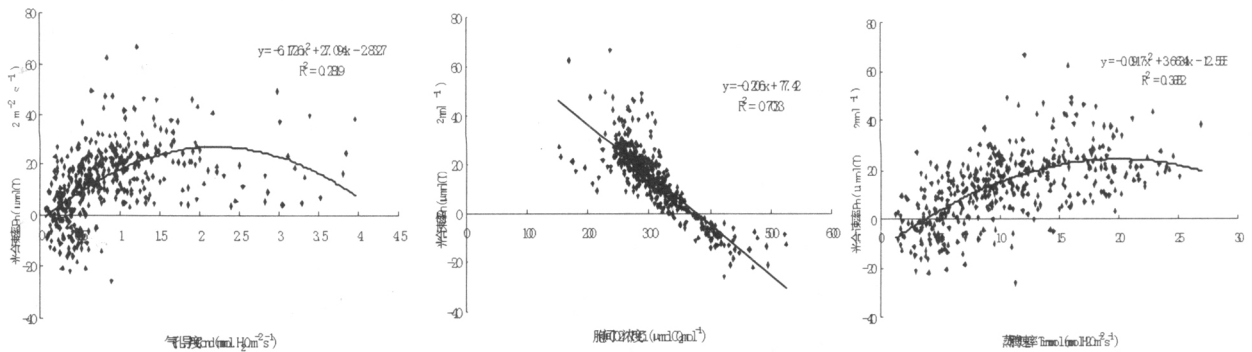


图 1 气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率、光合速率的关系

2.3 光合特性与产量及产量结构的相关

灌浆期净光合速率、气孔导度、细胞间隙 CO₂ 浓度和蒸腾速率与产量及产量构成因素的相关分析表明(表 3):水稻灌浆中期叶片的净光合速率与产量呈显著正相关,相关系数为 0.469;灌浆中期的气孔导度和蒸腾速率与每穗成粒数成显著正相关,相关系数为 0.388 和 0.448;灌浆中期的光合速率和灌浆初期的胞间 CO₂ 浓度与成粒率成显著

正相关,相关系数为 0.513 和 0.397。到灌浆中期,胞间 CO₂ 浓度与千粒重成显著正相关,相关系数为 0.431;蒸腾速率与千粒重成显著负相关,相关系数为 -0.417。灌浆初期和灌浆中期胞间 CO₂ 浓度与产量呈显著正相关,相关系数为 0.408 和 0.442。回归分析表明,水稻产量随着叶片光合速率的增加而提高,二者呈显著的幂指数函数关系(图 2)。

表 3 灌浆期光合速率与产量及其构成因素的相关分析

相关系数	光合速率		气孔导度		细胞间 CO ₂ 浓度		蒸腾速率	
	灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期
成粒数	0.044	0.129	-0.192	0.388*	-0.189	0.165	-0.190	0.448*
成粒率	0.195	0.513**	0.067	-0.226	0.397*	0.153	0.060	-0.242
千粒重	0.064	-0.125	-0.151	-0.311	-0.104	0.431*	-0.205	-0.417*
产量	0.246	0.469*	-0.062	0.150	0.408*	0.442*	-0.067	0.195

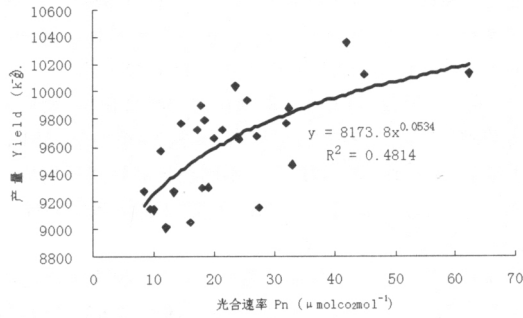


图 2 光合速率与产量的关系

2.4 光合速率与水稻品质的关系

由表 4 可见, 稻米品质与灌浆不同时期水稻的光合特性之间关系密切, 其中加工品质中整精米率与灌浆初期的气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾作用均呈显著的正相关($r=0.609$ 、 0.593 、 0.658), 表明灌浆初期水稻光合特性对整精米率有较大的影响。外观品质中垩白粒率与灌浆初期光合速率呈显著的负相关($r=-0.613$), 与灌浆后期胞间 CO_2 浓度呈极显著的正相关($r=0.751$), 表明灌浆后期胞间 CO_2 浓度越大, 其叶片扩散 CO_2 阻力大, 羧

化能力弱, 光合速率降低, 垩白粒率升高; 垩白大小与灌浆后期的蒸腾作用呈显著的负相关($r=-0.608$); 垩白度与灌浆后期胞间 CO_2 浓度呈极显著的正相关($r=0.817$), 与灌浆后期的光合速率呈显著的负相关($r=-0.681$); 粒长与灌浆后期气孔导度、蒸腾作用呈显著的负相关($r=-0.638$ 、 -0.601); 粒宽与灌浆中期胞间 CO_2 浓度呈显著的负相关($r=-0.606$); 长宽比与灌浆中期光合速率、灌浆后期气孔导度、灌浆后期蒸腾作用呈显著的负相关($r=-0.622$ 、 -0.635 、 -0.635), 与灌浆中期胞间 CO_2 浓度呈显著的正相关($r=0.692$)。蒸煮食味品质中直链淀粉含量与灌浆前期气孔导度呈显著的正相关($r=0.685$), 与灌浆后期气孔导度、蒸腾作用呈显著的负相关($r=-0.576$ 、 -0.632)。营养品质中蛋白质含量与灌浆后期胞间 CO_2 浓度呈极显著的正相关($r=0.779$), 与灌浆后期蒸腾作用呈显著的负相关($r=-0.666$)。回归分析表明, 在一定范围内, 垩白率和垩白度都随着品种叶片光合速率的提高而减小, 呈二次曲线关系(图 3、图 4)。

表 4 灌浆不同时期水稻的光合速率与稻米品质的相关系数

项目	灌浆时期	糙米率	精米率	整精米率	垩白率	垩白大小	垩白度	粒长	粒宽	长宽比	透明度	直链淀粉含量	蛋白质含量
光合速率	初期	0.258	0.252	-0.239	-0.613*	0.049	-0.501	-0.086	0.221	-0.197	-0.334	-0.492	-0.109
	中期	0.522	0.255	-0.220	-0.008	-0.467	-0.158	-0.467	0.415	-0.622*	-0.049	-0.091	-0.530
	后期	0.104	0.296	0.056	-0.444	-0.561	-0.681*	-0.553	-0.019	-0.403	0.271	0.106	-0.474
气孔导度	初期	-0.101	0.246	0.609*	0.310	0.336	0.280	0.169	-0.473	0.423	0.100	0.685*	0.396
	中期	-0.279	-0.049	0.254	-0.284	0.229	-0.275	0.142	-0.476	0.397	0.434	0.043	-0.152
	后期	0.515	0.342	0.008	-0.388	-0.564	-0.508	-0.638*	0.226	-0.635*	0.320	-0.576*	-0.575
胞间 CO_2 浓度	初期	0.022	0.168	0.593*	0.264	0.545	0.336	0.278	-0.525	0.523	0.254	0.326	0.216
	中期	-0.529	-0.277	0.202	-0.124	0.482	0.005	0.415	-0.606*	0.692*	0.143	0.093	0.388
	后期	-0.529	-0.415	0.032	0.751**	0.223	0.817**	0.549	-0.097	0.486	-0.225	0.401	0.779**
蒸腾作用	初期	0.116	0.381	0.658*	0.234	0.469	0.261	0.156	-0.344	0.327	0.192	0.457	0.228
	中期	-0.163	0.002	0.275	-0.285	0.221	-0.283	0.031	-0.449	0.292	0.496	-0.031	-0.210
	后期	0.468	0.304	-0.029	-0.369	-0.608*	-0.507	-0.601*	0.271	-0.635*	0.398	-0.632*	-0.666*

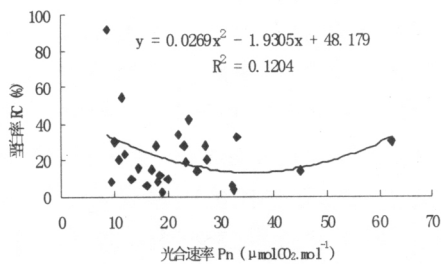


图 3 光合速率与垩白率的关系

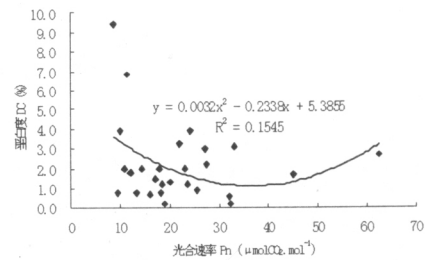


图 4 光合速率与垩白度的关系

3 结论与讨论

本研究结果表明, 水稻的叶片净光合速率与气孔导度呈显著的二次曲线关系, 在一定的范围内净光合速率随着气孔导度增大而增加。光合速

率与胞间 CO_2 浓度呈极显著的直线关系, CO_2 同化的速度是影响光合速率大小的另一个主要因素。Farghar 等提出, 环境中的 CO_2 通过气孔进入叶片的速度受叶表扩散阻力、滞流空气界面扩散阻力及叶片内处的 CO_2 浓度差等因素的影响。有

报导指出田间水稻光合速率差异的 50%~70%是由气孔导度决定的。一般来讲气孔的气体扩散导度支配着细胞间 CO₂ 浓度变化,当 RuBP 饱和而 CO₂ 的供应受到限制时,光合速率随着扩散导度的增加而增加。当细胞间 CO₂ 浓度接近大气中的 CO₂ 浓度时,RuBP 成为限制因素,光合速率不再随着扩散导度的增加而增加^[9]。因此,在水稻的高产育种中,育种者应首先从提高 CO₂ 同化速率入手,选择高同化速率的亲本,或者通过转基因的手段将 C₄ 途径引入水稻品种,以改进 CO₂ 同化能力的问题,将会成为水稻高产育种理论研究的重要内容。此外,在以生物产量为主攻方向的水稻高产育种中,通过改良气孔性状,减少 CO₂ 扩散阻力来增加光合效率和物质生产能力,也是水稻高产育种理论研究的另一重要内容。

在水稻育种中,选择叶片净同化率高的品种或品系,是高产育种总目标中的一条重要因素。在本文的研究结果中,灌浆期较高光合速率不但可以提高子粒产量,而且会降低稻米的垩白,那么在水稻育种中提高群体最适 LAI 的同时,也要注意叶片光合速率的提高,这可能是协调大穗与多垩白这一高产与优质的矛盾的途径之一^[11-12]。

参考文献:

[1] 贾宝艳,王伯伦,王 术,等.辽宁省水稻光合特性及其与产

量的关系[J].安徽农业科学,2007,35(13):3834-3836.

- [2] 匡逢春,王少先,周喜新,等.两系杂交水稻光合速率与粒重的关系[J].作物研究,2005,19(3):153-155.
- [3] 马 均,朱庆森,马文波.重穗型水稻光合作用、物质积累与运转的研究[J].中国农业科学,2003,36(4):375-381.
- [4] 孟维韧,王伯伦,黄元财,等.不同粳稻品种产量构成因素与光合特性的研究[J].沈阳农业大学学报,2004,35(4):354-358.
- [5] 石原邦,徐正进.日本对水稻光合作用、物质生产与株型的研究概况[J].沈阳农业大学学报,1989,20(3):254-262.
- [6] 王建林,于贵瑞,王伯伦,等.北方粳稻光合速率、气孔导度对光强和 CO₂ 浓度的响应[J].植物生态学报,2005,29(1):16-21.
- [7] 王志琴,杨建昌.土壤水分对水稻光合速率与物质运转的影响[J].中国水稻科学,1996,10(4):235-240.
- [8] 翟虎渠,李良璧.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] 王 术,王伯伦,黄元财,等.不同水稻品种生育后期光合特性的比较[J].沈阳农业大学学报,2003,34(1):1-3.
- [10] 赵全志,黄丕生,凌启鸿.水稻群体光合速率和茎鞘贮藏物质与产量关系的研究[J].中国农业科学,2001,34(3):304-310.
- [11] 赵全志,吴 坤,李梦琴,等.水稻群体光合速率的比较及其与稻米碾磨和外观品质的关系[J].中国粮油学报,2005,20(4):8-11.
- [12] 唐文邦,陈立云,肖应辉,等.水稻功能叶形态及光合速率与产量构成因素的相关研究[J].湖南农业科学,2004(2):29-31.