



罗一鸣, 肖立中, 潘圣刚, 等. 香稻专用肥对香稻光合物质生产特征的影响[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(1): 28-32.

香稻专用肥对香稻光合物质生产特征的影响

罗一鸣, 肖立中, 潘圣刚, 聂俊, 唐湘如

(华南农业大学农学院/农业部华南地区作物栽培科学观测实验站, 广东广州510642)

摘要:【目的】探明香稻专用肥对香稻光合物质生产特征的影响。【方法】设置施用香稻专用肥与常规施肥2个处理,以常规香稻品种桂香占、农香18、象牙香占和美香占为材料进行大田对比试验,对不同施肥处理间的香稻SPAD值、叶面积指数、净光合速率、光合势、群体生长率、干物质积累量、收获指数和稻谷产量等进行系统的比较研究。【结果和结论】与常规施肥比较,香稻专用肥显著提高了4个香稻品种生育后期的SPAD值、叶面积指数、净光合速率和干物质积累量。香稻专用肥处理的收获指数和稻谷产量普遍高于常规施肥处理,其中桂香占、象牙香占和美香占的稻谷产量显著高于对照,增产达16.46%~22.33%。香稻专用肥处理的香稻品种光合生产能力在生育后期优势明显,香稻专用肥促进了香稻后期的物质生产和积累,最终使香稻产量得到提高。

关键词:香稻专用肥; 香稻; 光合生产; 干物质积累; 稻谷产量

中图分类号:S511

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2015)01-0028-05

Effects of special fertilizer for aromatic rice on characteristics of photosynthesis and matter production of aromatic rice

LUO Yiming, XIAO Lizhong, PAN Shenggang, NIE Jun, TANG Xiangru

(College of Agriculture, South China Agricultural University/China Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, P. R. China, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To investigate the effects of special fertilizer for aromatic rice on characteristics of photosynthesis and matter production of aromatic rice. 【Method】A field contrast experiment was conducted with four conventional aromatic rice cultivars, Guixiangzhan, Nongxiang 18, Xiangyaxiangzhan and Meixiangzhan, to evaluate the effects of special fertilizer for aromatic rice (SF) and conventional fertilizer (CK) on relative chlorophyll content (SPAD), leaf area index (LAI), net photosynthetic rate, photosynthetic potential, crop growth rate, dry matter accumulation of population, harvest index and grain yield. 【Result and conclusion】The results showed that compared with CK, special fertilizer for aromatic rice could significantly increase SPAD, LAI, net photosynthetic rate and crop growth rate of four aromatic rice cultivars at the later growth stage. SF could generally improve harvest index and grain yield, including a significant yield increase of Guixiangzhan, Xiangyaxiangzhan and Meixiangzhan, an increase of 16.46%–22.33%. The capacity of photosynthesis and matter production of aromatic rice cultivars at the later growth stages under SF have obvious advantages, and SF promotes the matter production and accumulation. Therefore, the grain yield increases.

Key words: special fertilizer for aromatic rice; aromatic rice; photosynthetic production; dry matter accumulation; grain yield

收稿日期:2014-02-21 优先出版时间:2014-12-02

优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/doi/10.7671/j.issn.1001-411X.2015.01.006.html>

作者简介:罗一鸣(1988—),男,硕士研究生, E-mail:409338035@qq.com;通信作者:唐湘如(1964—),男,教授,博士, E-mail:tangxr@scau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(31271646);广东省自然科学基金(8151064201000017);广东省科技计划项目(2011A020202001);广东省农业标准化项目(4100F10003)

香稻因具有清新的气味而深受人们的喜爱. 并且香稻富含多种氨基酸、蛋白质和微量元素, 营养价值很高, 因此在国际市场上香米的售价是普通稻米的2~3倍, 具有广阔的市场前景^[1]. 近年来, 由于生活水平的提高, 人们开始不再只重视吃得饱, 也追求吃得好, 我国对香稻的需求量逐年增大. 但由于香稻品种产量较低的缺点, 导致栽培面积小, 在我国的水稻生产中一直未处于主导地位^[2]. 我国香米出口几乎为0, 每年需从泰国等进口香米. 前人对香稻已做了许多研究, 但以往的研究主要集中于香稻品种选育和香稻香气方面^[3-8]. 水稻产量的形成与光合生产和干物质积累有重大关系. 而关于水稻群体光合物质生产、积累的问题, 前人同样做出了大量研究. 任光俊等^[9]认为, 增加光合同化物的生产, 是实现水稻等作物高产的途径. 范淑秀等^[10]研究表明, 高产和超高产品种生育中后期的群体生长率显著高于低产品种. 这些研究主要以普通的水稻品种为对象, 有关香稻品种的分析尚缺少系统研究. 因此, 研究香稻的光合物质生产特性, 对于提高香稻产量, 进而扩大香稻种植面积具有重要意义. 本试验采用4个常规香稻品种, 设置施用香稻专用肥和常规施肥2种施肥处理, 研究香稻专用肥对香稻干物质生产积累、光合势和群体生长率等生理生态指标的影响, 以明确香稻的光合生产特征, 为香稻生产的合理施肥提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验田概况

试验于2013年早季在华南农业大学教学试验农场进行. 土壤的理化性质如下: 有机质 23.34 g·kg⁻¹, 全氮 1.139 g·kg⁻¹, 全磷 1.136 g·kg⁻¹, 全钾 24.41 g·kg⁻¹, 碱解氮 114.27 mg·kg⁻¹, 有效磷 61.34 mg·kg⁻¹, 速效钾 127.04 mg·kg⁻¹.

1.2 试验材料

供试品种为桂香占、农香 18、象牙香占和美香占, 均为常规优质籼型香稻品种, 由华南农业大学农学院提供. 香稻专用肥: $w(N)$ 12.5%、 $w(P_2O_5)$ 6.0%、 $w(K_2O)$ 10.0%、 $w(\text{有机质})$ 15.0%、 $w(\text{硫酸锌})$ 2%、 $w(\text{氯化镧})$ 0.1%; 纯氮, 氯化钾.

1.3 试验设计

试验设2种施肥处理, 即施用香稻专用肥(简称SF)和常规施肥(简称CK). SF: 施用香稻专用肥 1 500 kg·hm⁻², 基、蘖肥按质量比 8:2 施用. CK: 施用纯氮 180 kg·hm⁻²、氯化钾 225 kg·hm⁻², 基、蘖肥皆按质量比 6:4 施用; 施用 P₂O₅ 90 kg·hm⁻², 一次性全作基肥施用. 试验采用裂区设计, 肥料为主区, 品种为副区, 3次重复, 小区面积 48 m². 水稻栽插规格为 20 cm × 20 cm, 双本移栽. 于 2013 年 3 月 10 日

播种, 4 月 1 日移栽, 5 月 18 日分蘖期取样, 6 月 8 日孕穗期取样, 6 月 20 日齐穗期取样, 7 月 8 日成熟期取样, 7 月 12 日收获. 其他管理措施按常规方法进行.

1.4 测定项目与方法

1.4.1 叶绿素相对含量 分别于分蘖期、孕穗期、齐穗期、成熟期取剑叶, 采用 SPAD-502 型叶绿素测定仪测定叶片的叶绿素相对含量(SPAD). 每片叶片测定上部 1/3、中部、下部 1/3 的 SPAD 值, 求其平均值, 每小区测定 20 片.

1.4.2 净光合速率 分别于分蘖期、孕穗期、齐穗期、成熟期取剑叶, 采用 Li6400 便携式光合速率测定仪测定其净光合速率. 每小区重复 5 次.

1.4.3 干物质与叶面积 分别于分蘖期、孕穗期、齐穗期、成熟期每小区取植株 4 蔸, 将植株地上部分按茎鞘、叶、穗分开, 于 105 °C 烘箱中杀青 30 min, 在 80 °C 下烘干至恒质量称质量. 用比重法测定叶面积.

1.4.4 产量 水稻成熟后, 采用人工收割方法, 测定 50 穴产量, 重复 3 次, 并换算成实际产量.

1.5 数据计算与统计分析

$$\text{SPAD 衰减指数} = \frac{\text{齐穗期 SPAD} - \text{成熟期 SPAD}}{\text{齐穗期 SPAD}};$$

$$\text{收获指数} = \frac{\text{稻穗总干质量}}{\text{地上部分植株总干质量}};$$

$$\text{光合势} = 1/2(L_1 + L_2) \times (t_2 - t_1);$$

$$\text{群体生长率} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}.$$

式中, W_1 和 W_2 为前、后 2 次测定的干物质质量, t_1 和 t_2 为前、后 2 次测定的时间.

采用 Excel 2003 进行数据输入, 采用 DPS 7.05 和 SPSS 19 数据分析软件进行数据统计分析.

2 结果与分析

2.1 香稻专用肥对香稻叶片叶绿素相对含量的影响

从表 1 可以看出, 在香稻生长发育前期(分蘖期和孕穗期), 香稻专用肥对 4 个香稻品种 SPAD 值的影响, 表现出不尽相同的趋势. 其中桂香占孕穗期的 SPAD 值显著高于其相应 CK, 农香 18 分蘖期的 SPAD 值显著高于其相应 CK, 象牙香占和美香占在分蘖期和孕穗期的 SPAD 值分别显著高于其相应 CK. 而在香稻生长发育后期(齐穗期和成熟期), 香稻专用肥对 4 个香稻品种 SPAD 值的影响表现出一致的趋势, 分别显著高于其相应 CK. 肥料、品种的 SPAD 值均差异显著, 肥料与品种的交互作用显著影响分蘖期的 SPAD 值. 从齐穗期至成熟期的 SPAD 衰减指数可知, 除美香占无显著差异外, 其余 3 个品种在香稻专用肥处理下叶片的 SPAD 衰减指数均显著小于常规施肥处理. 肥料、品种以及肥料与品种间的交互作用均显著影响叶片的 SPAD 衰减指数.

表1 不同施肥处理对香稻叶片的叶绿素相对含量(SPAD)及衰减指数的影响¹⁾

Tab.1 Effects of different fertilizer treatments on the relative chlorophyll content (SPAD) and attenuation index of aromatic rice leaf

品种	处理	分蘖期	孕穗期	齐穗期	成熟期	SPAD 衰减指数
桂香占	SF	39.27	36.67*	41.95*	32.70*	0.22*
	CK	38.45	34.77	38.33	29.17	0.24
农香18	SF	41.93*	40.00	43.77*	38.30*	0.13*
	CK	38.15	39.63	41.50	33.33	0.20
象牙香占	SF	39.35*	37.97*	41.23*	30.43*	0.26*
	CK	37.90	35.60	37.80	25.03	0.34
美香占	SF	38.75*	35.80*	43.03*	32.15*	0.25
	CK	36.67	34.63	37.00	28.05	0.24
变异来源 (F)	肥料	60.50*	6.91*	37.37*	57.32*	15.72*
	品种	13.50*	13.97*	4.95*	32.65*	34.21*
	肥料×品种	5.96*	0.63	1.59	0.50	4.62*

1) SF: 香稻专用肥, CK: 常规施肥; “*”表示同一品种相同生长期 SF 与 CK 差异达到显著水平($\alpha=0.05$, LSD 法)。

2.2 香稻专用肥对香稻叶面积指数的影响

表2表明,在香稻专用肥处理下,桂香占和农香18的叶面积指数(LAI)从分蘖期到成熟期分别高于其相应CK,其中分蘖期至齐穗期达到显著性差异。象牙香占的LAI从孕穗期至成熟期均显著高于其相应CK。美香占的LAI在分蘖期、孕穗期和成熟期显著高于其相应CK。此外,4个香稻品种的LAI均表现为先升后降的趋势。肥料显著影响整个生育期的LAI,不同品种的LAI在分蘖期和孕穗期差异显著,肥料和品种的交互作用显著影响分蘖期至齐穗期的LAI。

表2 不同施肥处理对香稻叶面积指数(LAI)的影响¹⁾

Tab.2 Effects of different fertilizer treatments on leaf area index (LAI) of aromatic rice

品种	处理	分蘖期	孕穗期	齐穗期	成熟期
桂香占	SF	3.27*	7.86*	6.74*	5.38
	CK	2.47	4.95	5.32	4.88
农香18	SF	2.92*	14.24*	7.07*	5.27
	CK	2.06	6.05	5.52	4.09
象牙香占	SF	2.32	7.47*	7.69*	5.56*
	CK	2.30	5.38	4.40	3.48
美香占	SF	2.33*	11.05*	5.50	7.24*
	CK	1.43	6.45	6.23	4.36
变异来源 (F)	肥料	37.02*	79.90*	12.98*	15.38*
	品种	15.18*	13.69*	0.22	1.84
	肥料×品种	3.89*	7.38*	4.59*	1.51

1) SF: 香稻专用肥, CK: 常规施肥; “*”表示同一品种相同生长期 SF 与 CK 差异达到显著水平($\alpha=0.05$, LSD 法)。

2.3 香稻专用肥对香稻叶片净光合速率的影响

由表3可知,与常规施肥比较,香稻专用肥显著提高了桂香占整个生育期的净光合速率,显著提高了农香18和美香占生育后期(齐穗期和成熟期)的净光合速率,显著提高了象牙香占分蘖期、孕穗期和

成熟期的净光合速率。从变异来源看,肥料显著影响整个生育期的净光合速率;除孕穗期外,不同品种的净光合速率差异显著;肥料和品种之间的交互作用显著影响孕穗期的净光合速率。

表3 不同施肥处理对香稻叶片净光合速率的影响

Tab.3 Effects of different fertilizer treatments on net photosynthetic rate in leaf of aromatic rice

品种	处理	分蘖期	孕穗期	齐穗期	成熟期
桂香占	SF	21.77*	20.47*	19.33*	14.14*
	CK	19.87	15.49	17.14	8.40
农香18	SF	22.63	17.46	21.16*	16.88*
	CK	22.78	17.57	19.12	13.94
象牙香占	SF	27.94*	20.86*	18.83	12.87*
	CK	23.80	15.11	18.45	10.47
美香占	SF	21.33	16.42	18.85*	14.81*
	CK	21.62	18.12*	14.87	13.94
变异来源 (F)	肥料	5.02*	28.17*	13.68*	15.75*
	品种	12.83*	0.71	5.38*	7.25*
	肥料×品种	2.77	19.28*	1.60	1.82

1) SF: 香稻专用肥, CK: 常规施肥; “*”表示同一品种相同生长期 SF 与 CK 差异达到显著水平($\alpha=0.05$, LSD 法)。

2.4 香稻专用肥对香稻光合势和群体生长率的影响

从表4可知,香稻专用肥显著提高了4个香稻品种各生育阶段的光合势,在生育后期阶段(齐穗期至成熟期),桂香占、农香18、象牙香占和美香占的光合势比相应CK分别提高了18.85%、17.96%、68.12%和25.08%。不同肥料显著影响各生育阶段的光合势,不同品种显著影响分蘖期至孕穗期和孕穗期至齐穗期的光合势,肥料与品种的交互作用显著影响分蘖期至孕穗期的光合势。在群体生长率方面,生育前期阶段(分蘖期至孕穗期),桂香占、农香18和美香占的群体生长率分别低于

其相应 CK;孕穗期至齐穗期除美香占外,其余 3 个品种均显著高于其相应 CK;至生育后期阶段(齐穗期至成熟期),香稻专用肥显著提高了 4 个香稻品种的群体生长率,比相应 CK 分别提高了 26.37%、

35.55%、97.26% 和 238.13%。不同肥料和不同品种各生育阶段的群体生长率差异显著,肥料与品种的交互作用显著影响孕穗期至成熟期的群体生长率。

表 4 不同施肥处理对香稻光合势和群体生长率的影响

Tab.4 Effects of different fertilizer treatments on photosynthetic potential and crop growth rate of aromatic rice

品种	处理	光合势/(Mm ² ·d ⁻¹ ·hm ⁻²)			群体生长率/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)		
		I	II	III	I	II	III
桂香占	SF	1.586 5*	1.265 7*	1.535 6*	19.74	29.87*	30.09*
	CK	1.247 7	0.971 3	1.292 0	23.93*	11.92	23.81
农香 18	SF	2.516 2*	1.847 0*	1.407 6*	22.52	32.21*	18.35*
	CK	1.189 3	1.126 1	1.193 3	26.05*	23.18	13.54
象牙香占	SF	1.421 7*	1.313 7*	1.677 8*	19.63	27.65*	33.04*
	CK	1.160 2	0.847 4	0.998 0	19.45	8.48	16.75
美香占	SF	1.962 7*	1.434 6*	1.751 4*	25.98	19.81	28.87*
	CK	1.192 8	1.099 1	1.400 2	29.11*	19.88	8.54
变异来源 (F)	肥料	46.92*	29.45*	24.38*	14.52*	164.76*	33.48*
	品种	6.06*	4.84*	2.62	23.97*	22.04*	6.26*
	肥料×品种	6.17*	1.32	2.00	1.93	24.87*	3.38*

1) SF:香稻专用肥,CK:常规施肥;I:分蘖期至孕穗期,II:孕穗期至齐穗期,III:齐穗期至成熟期;“*”表示同一品种相同生长期 SF 与 CK 差异达到显著水平(α=0.05, LSD 法)。

2.5 香稻专用肥对香稻群体干物质积累量及稻谷产量的影响

从表 5 可以看出,香稻专用肥主要影响香稻成熟期的群体干物质积累量,4 个香稻品种的群体干物质积累量在成熟期时分别显著高于其相应 CK。此外,香稻专用肥还显著提高了桂香占、农香 18 和象牙香占分蘖期的群体干物质积累量,显著提高了桂香占和象牙香占齐穗期的群体干物质积累量。不同肥料显著影响除孕穗期外的群体干物质积累量,不同品种、肥料与品

种的交互作用均显著影响分蘖期和齐穗期的群体干物质积累量。香稻专用肥下的收获指数除象牙香占无显著性差异外,其余 3 个香稻品种均显著高于其相应 CK。与常规施肥比较,香稻专用肥提高了 4 个香稻品种的稻谷产量,其中桂香占、象牙香占和美香占的稻谷产量达到显著性差异,分别增产 16.46%、16.88% 和 22.33%。不同肥料、不同品种均显著影响收获指数和稻谷产量。肥料与品种的交互作用对收获指数和稻谷产量无显著影响。

表 5 不同施肥处理对香稻群体干物质积累量及稻谷产量的影响

Tab.5 Effects of different fertilizer treatments on dry matter accumulation of population and grain yield of aromatic rice

品种	处理	群体干物质积累量/(t·hm ⁻²)				收获指数	稻谷产量/ (t·hm ⁻²)
		分蘖期	孕穗期	齐穗期	成熟期		
桂香占	SF	1.40*	5.74	9.63*	15.35*	0.54*	6.37*
	CK	0.99	6.26	7.81	12.33	0.51	5.47
农香 18	SF	1.58*	6.53	10.72	14.21*	0.50*	5.50
	CK	1.36	7.09	10.51	12.52	0.47	5.47
象牙香占	SF	1.53*	6.66	9.57*	14.69*	0.49	6.23*
	CK	1.34	5.87	6.97	10.15	0.49	5.33
美香占	SF	0.93	6.42	9.29	13.86*	0.50*	8.40*
	CK	1.00	7.02	9.17	11.64	0.48	6.87
变异来源 (F)	肥料	12.34*	0.46	16.06*	21.87*	6.05*	8.42*
	品种	19.65*	1.40	11.88*	1.06	3.72*	11.18*
	肥料×品种	3.57*	1.10	4.28*	1.02	0.51	1.13

1) SF:香稻专用肥,CK:常规施肥;“*”表示同列中同一品种 SF 与 CK 差异达到显著水平(α=0.05, LSD 法)。

3 讨论与结论

光合生产是水稻产量的源泉,SPAD 值、叶面积指数、净光合速率、光合势等都是表征群体光合生产

能力的重要指标。前人的研究结果表明,较高且持久的剑叶 SPAD 值能塑造后期功能型强“源”^[11];较大的有效叶面积和净光合速率能保证水稻群体的超高产^[12-14]。光合势是单位土地面积的绿叶面积与光合

时间的乘积,由叶面积指数及其持续时间的长短共同决定.较大的光合势能够有效地促进籽粒的充实^[15].本研究结果表明,在香稻专用肥处理下,4个香稻品种齐穗期和成熟期的SPAD值、叶面积指数和净光合速率得到普遍提高,光合势则表现为整个生育期均显著高于CK.水稻籽粒的灌浆物质大部分直接来自于抽穗后的光合产物^[16].香稻专用肥处理下香稻品种的光合生产能力在生育中、后期,特别是生育后期(齐穗期至成熟期)优势明显,较高的叶面积指数、光合势等提高了香稻群体光合能力并延长叶片功能持续期,有利于生育后期籽粒干物质的积累,从而显著提高了香稻籽粒产量.在变异来源方面,肥料对4个香稻品种整个生育阶段的SPAD值、叶面积指数、净光合速率和光合势均影响显著.

水稻籽粒的灌浆物质一部分来自抽穗后的光合产物,另外一部分则来自叶、茎、鞘贮藏物质的再分配.稻谷产量等于干物质积累总量与收获指数的乘积,其形成是植株个体、群体干物质积累、分配、运输与转化的结果^[17].在高产水平条件下,多数研究较一致地认为产量与成熟期干物质积累总量关系密切,而与拔节前的干物质积累量关系不明显^[18-19].本研究结果表明,4个香稻品种成熟期的群体干物质积累量均以香稻专用肥处理较高,增加了13.53%~44.65%.收获指数除象牙香占外,其余3个香稻品种均显著高于其相应CK.群体生长率反映干物质的日生产量,是描述群体生产速率的重要指标.生育前期,香稻专用肥处理并无优势,桂香占、农香18和美香占的群体生长率均显著低于其相应CK;生育中期,桂香占、农香18和象牙香占的群体生长率已显著高于其相应CK;生育后期,4个香稻品种的群体生长率均显著高于其相应CK.因此,在适宜的前期物质生产量的基础上,促进中后期的物质生产能力,能获得稳定高产.这与杨惠杰等^[20]的研究一致.

香稻专用肥能提高香稻生育后期的SPAD值、叶面积指数、净光合速率和光合势等,从而提高香稻生育后期的光合生产能力,促进香稻中后期的物质生产能力,使香稻产量得到提高.

参考文献:

- [1] 陈远孟,张向军,陈传华.香稻的发展现状与研究进展[J].广西农业科学,2007,38(6):597-600.
- [2] 李林峰,李军.香稻种质资源及研究进展[J].上海农学院学报,1997,15(4):305-309.
- [3] PACHAURI V, SINGH M K, SINGH, A K, et al. Origin and genetic diversity of aromatic rice varieties, molecular breeding and chemical and genetic basis of rice aroma [J]. J Plant Biochem Biotechnol, 2010, 19:127-143.
- [4] CORDEIRO G M, CHRISTOPHER M J, HENRY R J, et al. Identification of microsatellite markers for fragrance in rice by analysis of the rice genome sequence [J]. Mol Breeding, 2002, 9:245-250.
- [5] 段美洋,黎国喜,田华,等.增香剂对香稻香气和生理特性的影响[J].华南农业大学学报,2009,30(3):1-3.
- [6] 肖迪,黄锦霞,段美洋,等.不同钾肥施用量对香稻产量及糙米香气含量的影响[J].华南农业大学学报,2010,31(1):115-116.
- [7] JEZUSSEK M, JULIANO B O, SCHIEBERLE P. Comparison of key aroma compounds in cooked brown rice based on aroma extract dilution analyses [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50:1101-1105.
- [8] WONGPORNCHAI S, DUMRI K, JONGKAEWWATTANA S. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 [J]. Food Chem, 2004, 87:407-414.
- [9] 任光俊,陆贤军,高方远,等.作物光合作用的遗传与产量改良[J].西南农业学报,2004,17(1):102-105.
- [10] 范淑秀,陈温福,王嘉宇.高产水稻品种干物质生产特性研究[J].辽宁农业科学,2005(3):6-8.
- [11] 李武,杨晓娟,唐湘如,等.减磷对华南早晚兼用型水稻产量的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(3):606-610.
- [12] 吴桂成,张洪程,戴其根,等.南方粳型超级稻物质生产积累及超高产特征的研究[J].作物学报,2010,36(11):1921-1930.
- [13] 杨建昌,杜永,吴长付,等.超高产粳型水稻生长发育特性的研究[J].中国农业科学,2006,39(7):1336-1345.
- [14] 袁颖红,樊后保,黄欠如,等.长期施肥对水稻光合特性及水分利用效率的影响[J].生态学杂志,2009,28(11):2239-2244.
- [15] 张洪程,吴桂成,吴文革,等.水稻“精苗稳前、控蘖优中、大穗强后”超高产定量化栽培模式[J].中国农业科学,2010,43(13):2645-2660.
- [16] 潘兴书,冯跃华,赵田径,等.不同施氮条件下2个超级杂交稻干物质生产特性[J].江苏农业学报,2009,25(4):726-730.
- [17] 霍中洋,姚义,张洪程,等.播期对直播稻光合物质生产特征的影响[J].中国农业科学,2012,45(13):2592-2606.
- [18] 凌启鸿.作物群体质量[M].上海:上海科学与技术出版社,2000:44-107.
- [19] 王国忠,彭斌,陆峥嵘,等.直播水稻物质生产特点及其高产调控技术研究[J].上海农业学报,2002,18(2):32-37.
- [20] 杨惠杰,李义珍,杨仁崔,等.超高产水稻的干物质生产特性研究[J].中国水稻科学,2001,15(4):265-270.

【责任编辑 周志红】