

杂交粳稻功能叶性状的遗传及与产量性状的相关分析

赵庆勇 张亚东 朱 镇 赵 凌 陈 涛 周丽慧 姚 姝 王才林

(江苏省农业科学院 粮食作物研究所 江苏省优质水稻工程技术研究中心 江苏 南京 210014)

摘要:以9个新育成的BT型粳稻不育系和5个恢复系及按NCⅡ设计配制的45个组合为材料,研究杂交粳稻上部3片功能叶性状的遗传特征以及与产量性状的相关性。结果表明:杂交粳稻12个功能叶性状均受加性效应和显性效应的影响,但以加性效应占主导地位,其中倒二叶角和倒三叶角受环境等影响较大。各功能叶性状的狭义遗传率和广义遗传率均较大,在早世代选择效果较明显。相关分析表明,叶长、叶宽、叶角的遗传可能是相互独立的,彼此之间的相关性不大。3片功能叶叶长、叶面积及剑叶角与穗长、单株穗数、总粒数、单株产量均呈显著或极显著正相关;叶宽与总粒数呈显著或极显著正相关;千粒重与叶长、叶角呈负相关,与叶宽呈正相关;结实率与功能叶的相关性不显著。上述结果为杂交粳稻高产育种提供了一定的参考和理论依据。

关键词:杂交粳稻;功能叶;遗传分析;产量性状;相关性

中图分类号:S511.03 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2011)06-0228-05

Study on Genetic Characterization of Functional Leaves and Its Relationship with Yield in *japonica* Hybrid Rice

ZHAO Qing-yong ZHANG Ya-dong ZHU Zhen ZHAO Ling CHEN Tao ,
ZHOU Li-hui ,YAO Shu ,WANG Cai-lin

(Institute of Food Crops ,Jiangsu Academy of Agricultural Sciences ,
Jiangsu High Quality Rice R &D Center ,Nanjing 210014 ,China)

Abstract: Genetic characterization of functional leaves and its relationship with yield were studied with 9 new BT-type *japonica* sterile lines and 5 restorer lines by NCⅡ design. The results showed that the genetic variances of 12 functional leaves were affected both additive and dominant effects ,but the additive effect was primary. The penultimate leaf angle and third leaf angle from top were affected much by environment. The broad-sense heritability and narrow-sense heritability were higher and it was effect that the functional leaves could be selected in early generation. The heredity of the leaf length ,leaf width and leaf angle display distinctively and there were no significant correlations among them. While four yield components such as panicle length ,panicle number per plant ,grain number of spikelet per panicle and grain yield per plant significantly or high significantly positively correlated with the leaf length ,leaf area ,flag leaf angle. There were significant or high significant positive correlations between leaf and panicle number per plant. The negative significant difference existed among 1 000-grains weight vs leaf length and leaf angle ,while positive correlation between 1 000-grain weight and leaf width. There was no significant correlation between seed setting rate and 12 functional leaves. The result has a theoretical significance for breeding *japonica* hybrid rice with high yield.

Key words: Japonica hybrid rices; Functional leave; Genetic analysis; Yield traits; Correlation

水稻功能叶是指抽穗至成熟期间,为籽粒灌浆 成熟提供光合产物的剑叶、倒二叶及倒三叶^[1]。水

收稿日期:2011-08-14

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD01A01-7);国家“863”计划项目(2010AA101302);江苏省农业科技自主创新基金(CX(09)634)

作者简介:赵庆勇(1982-),男,山东新泰人,硕士,助理研究员,主要从事水稻遗传育种研究。

通讯作者:王才林(1959-),男,江苏无锡人,博士,研究员,主要从事水稻遗传育种研究。

稻产量是由多基因控制的数量性状,受多种相关因素的影响^[2,3];而水稻功能叶是水稻生长后期进行光合作用的主要场所,是水稻产量形成的关键来源^[1],其叶片的受光条件、光合速率等因素将直接影响产量的形成。近年来,对水稻产量形成具有重要影响的功能叶相关性状,已引起研究者的高度重视,对功能叶本身的遗传特性^[4,5]及其相关性状与产量之间的关系^[1,6-9]进行了广泛研究。但前人的研究大多以籼稻为材料,而对杂交粳稻功能叶的遗传研究报道很少。本研究采用 9 个粳稻不育系和 5 个恢复系,按 NC II 试验设计配制 45 个杂交组合,研究了杂交粳稻功能叶性状的遗传及与产量性状的相关性,以期对杂交粳稻高产育种提供一定的参考和理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料包括 9 个 BT 型粳稻不育系(不育系用同型保持系代替)、5 个恢复系及其按 NCII 遗传交配设计配制的 45 个杂交组合。9 个不育系为:六盐 A、丹阳 941A、98G26A、9520 选系 A、武运粳 7 号 A、99-9A、99-42A、香粳 8016A、95122A,均系本单位自己转育成的 BT 型粳稻不育系。5 个恢复系为: C418 (R1)、J16(R2)、湘晴(R3)、R187(R4)、C76(R5)。

1.2 试验方法

2006 年正季将 F₁ 及亲本(不育系用同型保持系代替)种植在江苏省农业科学院粮食作物研究所试验田,裂区试验设计,恢复系为主区,不育系为副区,3 次重复。每小区种植 3 行,每行 10 株,株行距 13 cm×27 cm。5 月 15 日播种,6 月 16 日移栽。按大田常规栽培技术管理。

1.3 测定方法

灌浆期在田间自然状态下,于每小区中间选 5 株,利用尺子测量每株主茎剑叶、倒二叶、倒三叶的长和宽,其中叶长为叶片挺直后的长度即叶片基部(即叶枕处的白色膜带处)至叶顶尖处的距离,叶宽为叶片最宽处的宽度,并计算出三片功能叶的叶面积(叶面积系数为 0.75)^[1]。叶角度为主茎与叶片之间张开的角度,即叶尖与叶耳连线和叶着生茎秆的夹角,用量角器测量。水稻产量性状测定:成熟后于每小区中间取 5 个典型单株,带回室内考种,考察的主要性状有:穗长、单株穗数、每穗总粒数、结实率、单株产量、千粒重等。

1.4 统计方法

统计分析以小区为基础,参照朱军编著的《遗传模型分析方法》^[10],利用数量遗传分析软件 QGAstation^[11],采用加性-显性模型(AD 模型),计算各功能叶性状的加性方差(V_A)、显性方差(V_D)、狭义遗传率(h_N^2)和广义遗传率(h_B^2),并进行差异显著性检验;采用调整无偏预测法(AUP)预测各项遗传效应及其基因型与环境的互作效应;相关分析利用 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences, version17.0)软件中 Descriptive 过程中的 Correlations 模块计算性状之间的 Pearson 相关系数及其显著性检验。

2 结果与分析

2.1 功能叶性状的遗传方差分析

2.1.1 功能叶各性状观测值 亲本和杂交组合 F₁ 的各功能叶性状的平均值及置信区间见表 1。从 F₁、P₁、P₂ 的 12 个功能叶性状的表现来看,除倒 3 叶宽平均值略高于高值亲本,倒三叶角平均值低于低值亲本外,其余各性状的平均值均介于两亲本之间。

表 1 亲本及 F₁ 12 个功能叶性状表现

Tab.1 12 characters of functional leaves of the parents and their diallel crosses.

材料 Material	剑叶长 FLL	剑叶宽 FLW	剑叶面积 FLA	倒 2 叶长 2LL	倒 2 叶宽 2LW	倒 2 叶面积 2LA
F ₁	31.8 ± 1.31	1.9 ± 0.04	46.6 ± 2.45	43.0 ± 1.39	1.7 ± 0.04	56.0 ± 2.07
P ₁	27.1 ± 3.92	1.7 ± 0.07	34.5 ± 5.97	35.7 ± 4.93	1.5 ± 0.09	40.6 ± 5.93
P ₂	39.5 ± 8.17	2.0 ± 0.25	58.7 ± 13.79	54.6 ± 6.16	1.8 ± 0.22	72.1 ± 14.44
材料 Material	倒 3 叶长 3LL	倒 3 叶宽 3LW	倒 3 叶面积 3LA	剑叶角 AFL	倒 2 叶角 A2L	倒 3 叶角 A3L
F ₁	47.2 ± 1.54	1.8 ± 0.04	62.0 ± 2.09	12.4 ± 1.55	13.9 ± 1.16	17.2 ± 1.49
P ₁	39.1 ± 5.18	1.5 ± 0.11	44.0 ± 6.00	14.6 ± 5.47	15.1 ± 2.98	19.6 ± 4.30
P ₂	54.7 ± 4.05	1.7 ± 0.22	67.7 ± 7.10	11.8 ± 3.53	13.5 ± 10.05	19.0 ± 8.89

注:表中数字表示:置信区间 = 样本均值 ± t_{0.05} × 标准误。
Note: Data in Table 1 present confidence interval($\bar{F}x \pm t_{0.05} \times S_E$).

2.1.2 遗传方差分量及方差比率分析 采用最小范数二阶无偏估计法 MINQUE(1),估算各性状方差分量及其比率,从表2可以看出,12个功能叶性状的加性和显性效应均达到显著(或极显著)水平差异,表明这些性状的遗传受加性与显性效应的共同控制。从加性、显性方差占表型方差的比率可见,除倒三叶宽外,其余性状均以加性方差为主,且加性方差比率远远大于显性方差比率,说明这些性状主

要受加性效应影响。在育种实践中,对具有显著加性效应的这些性状易在早世代选择效果较明显。

各性状的环境效应方差也均达到了极显著水平差异,说明功能叶各性状易受环境的影响。但从环境效应方差对表型方差的贡献率来看,其中倒二叶角和倒三叶角的环境效应方差占到了表型方差的31.5%和24.7%,说明这两个性状受环境等影响较大,而其他性状虽易受环境影响,但效应较小。

表2 功能叶性状的遗传方差及所占比率

Tab.2 Genetic variance and their ratio of functional leaves

性状 Character	加性效应 Additive effect(V_A)	显性效应 Dominant effect(V_D)	环境效应 Environmental effect(V_E)	V_A/V_P	V_D/V_P	V_E/V_P
剑叶长 FLL	27.4517 **	5.1029 **	5.8991 **	0.7139	0.1327	0.1534
剑叶宽 FLW	0.0258 **	0.0081 *	0.0072 **	0.6277	0.1973	0.1750
剑叶面积 FLA	105.5370 **	17.8364 **	26.2842 **	0.7052	0.1192	0.1756
倒2叶长 2LL	49.6101 **	5.9380 **	6.3800 **	0.8011	0.0959	0.1030
倒2叶宽 2LW	0.0161 **	0.0055 **	0.0036 **	0.6398	0.2169	0.1433
倒2叶面积 2LA	128.6080 **	15.4359 **	20.1878 **	0.7831	0.0940	0.1229
倒3叶长 3LL	45.6694 **	5.8569 **	5.1274 **	0.8061	0.1034	0.0905
倒3叶宽 3LW	0.0120 **	0.0139 **	0.0040 **	0.4009	0.4658	0.1333
倒3叶面积 3LA	81.6301 **	35.6086 *	16.3692 **	0.6110	0.2665	0.1225
剑叶角 AFL	23.5449 **	7.5286 *	5.3833 **	0.6458	0.2065	0.1477
倒2叶角 A2L	10.9687 **	3.3859 **	6.6017 **	0.5234	0.1616	0.3150
倒3叶角 A3L	18.9440 **	2.7919 **	7.1400 **	0.6561	0.0967	0.2473

Note: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

2.1.3 功能叶性状的遗传率分析 进一步估算了12个功能叶性状的狭义遗传率和广义遗传率,由表3可知,12个功能叶性状中,除倒二叶角和倒三叶角的广义遗传率相对较小外,其余性状的广义遗传率均在80%以上,说明倒二叶角和倒三叶角受环境影

响相对较大,而其余性状的遗传方差在表型方差中都占有较大比例,同时这些性状的狭义遗传率也较大,说明功能叶性状主要是受加性效应的影响。因此,在较早期世代即可对功能叶性状进行改良,并且可以取得比较明显的效果。

表3 12个功能叶性状的广义遗传率和狭义遗传率

Tab.3 Broad-sense heritability (h_B^2) and narrow-sense heritability (h_N^2) of 12 characters of functional leaves %

参数 Parameter	剑叶长 FLL	剑叶宽 FLW	剑叶 面积 FLA	倒二叶长 2LL	倒二叶宽 2LW	倒二叶 面积 2LA	倒三叶长 3LL	倒三叶宽 3LW	倒三叶 面积 3LA	剑叶角 AFL	倒二叶角 A2L	倒三叶角 A3L
h_N^2	71.39	62.77	70.52	80.11	63.98	78.31	80.61	40.09	61.10	64.58	52.34	65.61
h_B^2	84.66	82.50	82.44	89.70	85.67	87.71	90.95	86.67	87.75	85.23	68.50	75.27

2.2 功能叶性状的相关性分析

2.2.1 功能叶性状之间的相关性分析 从表4可知,3片功能叶叶长之间、叶宽之间、叶面积之间、叶角之间均呈极显著正相关。除剑叶长和宽呈显著正相关外,其他叶长与叶宽相关性均不显著;叶面积与叶长和叶宽均呈极显著正相关;除剑叶角与倒三叶长呈极显著正相关外,其余叶角与叶长相关性均不显著;除倒三叶角与叶宽呈极显著负相关外,其余叶角与叶宽相关性不显著;说明叶长、叶宽、叶角的遗传可能是相互独立的,彼此之间的相关性不大。

2.2.2 功能叶性状与产量性状的相关性分析

从功能叶性状与产量性状的相关分析可知(表5),3片功能叶叶长、叶面积及剑叶角与穗长、单株穗数、总粒数、单株产量均呈显著或极显著正相关;叶宽与总粒数呈显著或极显著正相关;千粒重与叶长、叶角呈负相关,与叶宽呈正相关;结实率与功能叶的相关性不大。说明在一定范围内,适当增加叶长、叶面积及叶角,可以增大光合作用的面积,因此促进穗长、单株穗数和总粒数的增加,进而提高单株产量,但同时可能会降低千粒重。

表 4 功能叶性状之间的相关分析

Tab. 4 Correlation analysis of 12 functional leaves related traits

性状 Character	剑叶长 FLL	剑叶宽 FLW	剑叶 面积 FLA	倒二叶长 2LL	倒二叶宽 2LW	倒二叶 面积 2LA	倒三叶长 3LL	倒三叶宽 3LW	倒三叶 面积 3LA	剑叶角 AFL	倒二叶角 A2L
剑叶宽 FLW	0.29*										
剑叶面积 FLA	0.91**	0.65**									
倒二叶长 2LL	0.86**	0.20	0.77**								
倒二叶宽 2LW	-0.03	0.70**	0.26*	-0.07							
倒二叶面积 2LA	0.74**	0.56**	0.82**	0.83**	0.49**						
倒三叶长 3LL	0.84**	0.35**	0.82**	0.83**	-0.11	0.67**					
倒三叶宽 3LW	-0.14	0.64**	0.15	-0.25	0.94**	0.30*	-0.23				
倒三叶面积 3LA	0.72**	0.72**	0.87**	0.65**	0.46**	0.82**	0.81**	0.37**			
剑叶角 AFL	0.09	0.00	0.07	0.08	-0.19	-0.06	0.35**	-0.20	0.18		
倒二叶角 A2L	-0.06	-0.13	-0.10	-0.03	-0.23	-0.16	0.12	-0.25	-0.05	0.75**	
倒三叶角 A3L	-0.14	-0.44**	-0.29*	0.12	-0.46**	-0.15	0.02	-0.58**	-0.33*	0.42**	0.70**

表 5 功能叶性状与 6 个产量性状的相关性分析

Tab. 5 Correlation analysis between functional leaves and yield components

性状 Character	剑叶长 FLL	剑叶宽 FLW	剑叶 面积 FLA	倒二叶长 2LL	倒二叶宽 2LW	倒二叶 面积 2LA	倒三叶长 3LL	倒三叶宽 3LW	倒三叶 面积 3LA	剑叶角 AFL	倒二叶角 A2L	倒三叶角 A3L
穗长 PL	0.38**	0.22	0.40**	0.42**	-0.15	0.28*	0.51**	-0.24	0.34*	0.37**	0.21	0.17
单株穗数 PNP	0.48**	0.02	0.40**	0.50**	-0.32*	0.27*	0.60**	-0.42**	0.33*	0.27*	0.12	0.22
总粒数 NSP	0.61**	0.31*	0.61**	0.47**	0.36**	0.61**	0.35**	0.34*	0.54**	-0.10	-0.20	-0.29*
结实率/% SS	0.17	-0.09	0.10	0.04	-0.20	-0.07	0.15	-0.13	0.07	0.30*	0.16	0.04
单株产量 GYP	0.34*	0.45**	0.47**	0.23	0.18	0.32*	0.39**	0.14	0.47**	0.27*	0.16	-0.04
千粒重 1000GW	-0.25	0.05	-0.18	-0.36**	0.08	-0.27*	-0.29*	0.20	-0.15	-0.11	-0.21	-0.35**

3 结论与讨论

水稻叶片是水稻进行光合作用和呼吸作用的主要器官,在水稻理想株型形态指标中,叶片的形态性状特别是上部 3 片功能叶的形态性状直接影响群体的叶面积指数和受光效率,从而影响产量的高低。适当的叶面积是水稻高产育种的主要目标之一,叶片大小决定叶面积,进而影响光合作用。因此明确叶长、叶宽等性状的遗传机制可以为高产品种的选育提供理论依据和技术支持。

前人对水稻功能叶的遗传机制作了大量研究。张毅等^[12]研究认为剑叶长、宽主要受加性效应影响;郭二男^[13]认为粳稻叶片不仅受加性效应影响,同时也存在不同程度的显性作用;凌英华等^[4]对杂交籼稻功能叶各性状的遗传分析表明,叶长和叶宽的遗传变异均受到加性和显性效应的影响,但其重要性明显不同。晏月明等^[14]研究发现剑叶长宽及叶面积在 F₁ 呈现较高遗传力,叶宽基因作用主要表现为加性效应,叶长、叶面积则主要表现为显性效应。本研究通过对杂交粳稻功能叶的遗传分析,结果表明功能叶各性状受加性效应和显性效应共同影响,但以加性效应为主。夏仲炎^[15]和马达鹏等^[16]

研究认为剑叶叶片性状是受微效多基因控制的数量性状,并具有较高的遗传力;徐云碧等^[17]通过简化三重测交分析发现抽穗期功能叶的叶长和叶宽的遗传力超过 70%。而本研究结果也表明,杂交粳稻功能叶各性状的遗传率均较高。在杂交粳稻育种中,较早期世代即可对亲本功能叶性状进行改良,并且可以取得比较明显的效果。

水稻功能叶是水稻生长后期进行光合作用的主要场所,对水稻产量的提高具有十分重要的作用。前人对水稻功能叶及其与产量性状之间大量的研究结果存在一定的差异。凌英华等^[9]对杂交籼稻的研究认为在功能叶与产量构成因素的相关中,叶长、叶面积、剑叶宽、倒二叶宽与着粒密度、穗实粒数以及穗着粒数等 3 个性状之间存在显著或极显著正相关;剑叶角度与水稻产量之间表现为一定程度的负相关,倒二、三叶角度则与产量之间表现为较弱的正相关;而杨从党等^[6]对 9 份高产籼稻品种研究发现,在一定范围内,水稻 3 片功能叶夹角与产量之间均表现为极显著正相关,剑叶的长度与千粒质量呈显著的正相关,而倒二叶、倒三叶与千粒质量呈负相关。但马均等^[18]的研究指出,水稻 3 片功能叶与每穗粒数、实粒数、单穗重以及籽粒产量均表现为显著

或极显著正相关。李淑芳等^[19]以 60 份北方粳稻品种为材料研究剑叶性状与产量相关性状的关系,结果表明,剑叶宽和面积均与穗粒数呈正相关,剑叶长与穗粒数呈负相关,剑叶长和面积与千粒重呈极显著正相关,剑叶长、宽和面积均与穗粒重呈正相关。本研究结果表明,三片功能叶叶长、叶面积及剑叶角与穗长、单株穗数、总粒数、单株产量均呈显著或极显著正相关;叶宽与总粒数呈显著或极显著正相关;千粒重与叶长、叶角呈负相关,与叶宽呈正相关,但相关性不显著;凌启鸿等^[20]和苏祖芳等^[21]研究认为功能叶与结实率的相关性不显著,本研究也得出了相同的结果,分析认为结实率可能受遗传因素和环境因素的影响较大。本研究结果和前人的研究不尽相同,分析其差异的原因:一方面是因为复杂的遗传特性有可能导致在利用不同的不育系与恢复系进行水稻杂交种的组配时,使杂交种的功能叶性状之间的相关性表现出一定的差异,而且这种复杂的数量遗传特性容易受环境影响;另一方面,在很大程度上可能是由于研究材料的不同所致,籼稻与粳稻在生长特性及株叶形态方面都存在很大的差异,因而导致研究结果的不同。

从功能叶各性状来研究其与产量构成因素之间的关系,只不过是影响杂交粳稻产量构成的一些方面。限于本研究的范围和品种数量,结果尚较为初步。今后对于叶片与杂交粳稻产量构成因素之间的关系研究,一方面应采用更多的品种进行研究,同时不应局限于功能叶,而应从整个叶型出发来进行研究,其中包括叶片披挺和展开程度、叶片曲率和长度等。只有这样,才能真正探索出影响杂交粳稻产量构成因素的各个方面,从而为杂交粳稻产量的提高提供一定理论基础。而这些有待于下一步的研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 曹立勇,占小登,庄杰云,等. 水稻产量性状的 QTL 定位与上位性分析[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1241-1247.
- [3] Fan G Z, Cai Q S, Wang CM *et al.* QTL for yield and its components responded to elevated CO₂ in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Acta Genetica Sinica 2005, 32(10): 1066-1073.
- [4] 凌英华,杨正林,钟秉强,等. 水稻功能叶性状的遗传分析[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(1): 45-50.
- [5] 沈福成. 水稻剑叶长、宽、角度及比叶重的遗传[J]. 贵州农业科学, 1983(6): 18-25.
- [6] 杨从党,袁平荣,周能,等. 叶型特性与产量构成因素的相关分析[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(1): 70-72.
- [7] 陆巍,曹树青,翟虎渠,等. 水稻剑叶叶源量及其与产量性状关系的研究[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(1): 1-4.
- [8] 张克勤,戴伟民,樊叶杨,等. 水稻剑叶角度与主穗产量的遗传剖析[J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 186-192.
- [9] 凌英华,赵芳明,杨正林,等. 不同遗传背景下杂交籼稻功能叶与产量构成因素的相关性[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(4): 553-559.
- [10] 朱军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 241-255.
- [11] Zhu J. Analysis of conditional genetic effects and variance components in developmental genetics [J]. *Genetics*, 1995, 141(4): 1633-1639.
- [12] 张毅,秦华,沈福成. 水稻株型性状的配合力分析[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(1): 17-20.
- [13] 郭二男. 粳稻叶片性状的遗传和选择研究[J]. 江苏农业科学, 1981(1): 11-13.
- [14] 晏月明,王绪信. 籼粳稻杂交的剑叶形态的遗传研究[J]. 遗传, 1990, 12(1): 1-4.
- [15] 夏仲炎. 粳稻叶型的遗传与选择的研究[J]. 作物学报, 1983, 9(3): 275-282.
- [16] 马达鹏,陶大云. 贵州高原粳稻剑叶长度、宽度、面积、比叶重的遗传研究[J]. 贵州农业科学, 1989(5): 1-7.
- [17] 徐云碧,申宗坦. 水稻茎叶形态性状的简化三重测交分析[J]. 作物学报, 1992, 18(5): 344-351.
- [18] 马均,马文波,明东风,等. 重穗型水稻株型特性研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 679-685.
- [19] 李淑芳,李玉发,王凤华,等. 粳稻剑叶与穗粒重关系的研究[J]. 吉林农业科学, 2004, 29(5): 9-11.
- [20] 凌启鸿,张洪程,蔡建中,等. 水稻高产群体质量及其优化控制探讨[J]. 中国农业科学, 1993, 26(6): 1-11.
- [21] 苏祖芳,郭宏文,李永丰,等. 水稻群体叶面积动态类型的研究[J]. 中国农业科学, 1994, 27(4): 23-30.