

杂交水稻光温特性的因子分析

周鸿凯^{1,2}, 何觉民¹, 叶昌辉¹, 黎华寿², 郭建夫¹

(1 广东海洋大学 农学院, 广东 湛江 524088; 2 华南农业大学 热带亚热带生态研究所, 广东 广州 510642)

[摘要] 【目的】评价杂交水稻的光温特性, 为高产优质杂交水稻品种的选育和生产中品种的合理布局提供参考。【方法】用因子分析方法, 对 52 个杂交水稻营养生长期、抽穗开花期和灌浆成熟期的光温因子指标进行分析, 评价杂交水稻的光温特性。【结果】3 个公因子对变异的方差累计贡献率达 91.74%, 公因子 1、2 和 3 的贡献率分别为 49.44%、23.20% 和 19.10%, 其能真实反映 12 个光温指标及其相互关系; 在杂交水稻的全生育期中, 光温因子对杂交水稻生长发育影响最大的生育期是营养生长期, 其次是灌浆成熟期。光温敏感型的杂交水稻组合主要有 BⅡ A×1-22、Ⅱ-32A×YB6、S420×T411、Q-A×1-11、BⅡ A×NC、YS3550、N2×3550、YS122 和 BⅡ A×1-10; 光温钝感型的杂交水稻组合主要有 YⅡ A×T411、N2×R122、N22×R122、N2×2006、N2×T411、N22×2006 和 N22×T411。杂交水稻主要性状的表现型优劣与杂交组合的光温型没有必然关系。【结论】因子分析可以用于研究杂交水稻的光温特性, 其研究结果与杂交水稻育种实际情况较为吻合。

[关键词] 杂交水稻; 光温特性; 因子分析

[中图分类号] S511.032

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)09-0110-07

Factor analysis on characteristics of the light & temperature in hybrid rice

ZHOU Hong-kai^{1,2}, HE Jue-min¹, YE Chang-hui¹, LI Hua-shou², GUO Jian-fu¹

(1 Agriculture College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China;

2 Subtropical Ecological Research Institute, South China Agriculture University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: 【Objective】The study was to evaluate the characteristics of the light & temperature in hybrid rice, and to provide theoretical basis for selecting high-yield and quality of hybrid rice breeding and species distribution. 【Method】Factor analysis was performed for light and temperature indicators of 52 varieties (combination) during nutritive growing stage, heading flowering stage and filling-mature stage in hybrid rice, and for evaluation of light and temperature characteristics. 【Result】The contributive rate of the first three factors to total variation of population studied accounted for over 91.74%, F_1 49.44%, F_2 23.20%, F_3 19.10% separately. Factor analysis showed that the three independent factors reflected really the 12 indexes and their relationship. In the whole growth period of the hybrid rice, light and temperature affected the growth and development of hybrid rice mostly during the nutritive growing stage, followed by filling-mature stage. The combinations of light temperature sensitivity types were BⅡ A×1-22, Ⅱ-32A×YB6, S420×T411, Q-A×1-11, BⅡ A×NC, YS3550, N2×3550, YS122, BⅡ A×1-10. The combinations of light-temperature insensitivity types were YⅡ A×T411, N2×R122, N22×R122, N2×2006, N2×T411, N22×2006 and N22×T411. That phenotype of main characters in hybrid rice was superior or inferior and the type of light temperature in hybrid combinations had no causal relationship between models. 【Conclu-

* [收稿日期] 2009-01-06

[基金项目] 广东省“十五”重大科技专项(2001A-2010104); 国家自然科学基金项目(30100107)

[作者简介] 周鸿凯(1962—), 男, 广东雷州人, 副研究员, 硕士, 主要从事作物生态与育种研究。E-mail: zhouhangkai@sina.com

[通信作者] 叶昌辉(1962—), 男, 广东开平人, 副教授, 主要从事生物统计研究。E-mail: ye702@126.com

sion】Factor analysis has advantages of being simple,accurate and practical to study light and temperature characteristics in hybrid rice. In this study, the analysis results were in line with the actual situation in breeding hybrid rice.

Key words: hybrid rice; light & temperature characteristic; factor analysis

气候变化对农业的影响是国内外相关人员关注和研究的热点问题之一。气候变化下农业的稳定性和可持续性 是各国政府和人民所关心的关键问题^[1]。由于农业生产与气候关系密切,任何程度的气候变化都会给农业生产及其相关过程带来潜在的或显著的影响。面对温室效应造成全球气候变暖的趋势,水稻生产要持续发展甚至再上新台阶,实现超级稻的突破并达到预期的目标,改造水稻遗传型以增加其环境适应能力比改变农业气候环境更为现实。因此,水稻育种和品种布局必须重视气候变暖问题,探索光温因子对水稻产量和品质的影响效应,以及水稻的光温特性,有针对性地选育高产优质水稻品种,以适应未来的气候变化和农业可持续发展。目前,国内外有关气候因素或光温条件对水稻生长发育及产量性状和品质性状影响的研究报道较多^[2-15],而对水稻光温特性方面的研究鲜见报道。

因子分析是多元生物统计的一种,是在一组变量中找出其方差和协方差矩阵的特征量,将多个变量通过降维转化为少数几个综合变量的统计分析方法。该法是将影响某些变量的因子剖分为对这些变量起作用的公共因子以及对其中一些特殊变量起作用的特殊因子,对从繁多的数量性状中找出主要因子具有重要作用,有利于提高研究工作的逻辑性与条理性。随着计算机的普及,这一方法现已广泛应用于各个领域^[16-24]。本研究应用因子分析方法,以大田生产条件下具有早、中、晚熟特性的杂交水稻亲本组配的 52 个杂交组合 F1 群体为研究材料,以生育期为基础,对杂交水稻营养生长期、抽穗开花期和灌浆成熟期的光温因子指标进行分析,评价了杂交水稻的光温特性,以期 为应对全球气候变化条件下高产优质的超级稻品种选育和杂交水稻生产的品种布局提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料:用杂交水稻不育系 BⅡ A、Ⅱ-32A、Q-A、269S、64S、T-A、S420、S378、S190、GD1S、X-S、S376、S399 和 S419 等与恢复系 1-59、1-60、1-71、1-58、T411、R128、YB6、NC 和 8100 等组配 52 个杂交

组合,在广东海洋大学杂交水稻育种基地进行杂交制种获取 F₁。

1.2 试验设计

2002 年,将杂种 F₁ 分别于 08-03 和 08-13 播种、插植于广东海洋大学实验农场水稻试验田,随机区组排列,3 次重复,每小区 8 行,每行 10 株,株行距 15 cm×23 cm,田间管理按常规方法进行。按品种(杂交组合)每小区取 10 丛进行考种,调查有关性状,取其平均值进行统计分析。光温因子资料由湛江市气象局提供。

1.3 性状(因子)记载

光温因子:(1)营养生长期的积温(X_1)、有效积温(X_2)、累计日极端温差(X_3)、日照总时数(X_4);(2)抽穗开花期的积温(X_5)、有效积温(X_6)、累计日极端温差(X_7)、日照总时数(X_8);(3)灌浆成熟期的积温(X_9)、有效积温(X_{10})、累计日极端温差(X_{11})、日照总时数(X_{12})。

杂交水稻品种(组合)的主要性状表现型有:有效穗数、每穗总粒数、结实率、千粒质量、穗谷质量、产量、糙米率、精米率、垩白率。

1.4 数据统计分析

因子分析按唐启义等^[25]的方法和步骤,应用统计分析软件 SAS(8.01)在 PC 机上进行。其中,提取因子的方法为主成分分析法,并对因子模型进行正交方差最大旋转。

2 结果与分析

2.1 因子分析

因子分析是用有限个不可观测的潜在变量来解释原变量间的相关性或协方差关系,这些潜在变量称为公因子,其生物学意义是一个新的综合性状。本研究因子分析前 3 个公因子特征值的累积贡献率为 91.74%(公因子 1 的贡献为 49.44%,公因子 2 的贡献为 23.20%,公因子 3 的贡献为 19.10%),提取前 3 个公因子(特征向量),并计算其变量共同度和剩余方差,结果见表 1。表 1 表明,这 3 个公因子有很大的共同度(h^2)(0.849 5~0.965 3), X_i 对公共因子的依赖性大,其因子分析的效果也很好,说明这 3 个公因子能真实反映 12 个光温指标及其相

互关系。在公因子 1 中,营养生长期的累计日极端温差(X_3)为 0.389 7、日照总时数(X_4)为 0.384 6、积温(X_1)为 0.381 3 和有效积温(X_2)为 0.377 9,均较大,灌浆成熟期的日照总时数(X_{12})、累计日极端温差(X_{11})和抽穗开花期的积温(X_5)、有效积温(X_6)也具有较高的正载荷;在公因子 2 中,抽穗开

花期的累计日极端温差(X_7)、日照总时数(X_8),灌浆成熟期的积温(X_9)和抽穗开花期的有效积温(X_6)有较大的正载荷;在公因子 3 中,灌浆成熟期的有效积温(X_{10})和积温(X_9)有较大的正载荷,而抽穗开花期的日照总时数(X_8)有较大的负载荷(为 $-0.357\ 0$)。

表 1 正交方差最大旋转因子载荷阵和特征值及其累计贡献率					
Table 1 Varimax rotated factor pattern, eigenvalue and cumulative proportion					
指标 Index	公因子 1 Factor 1	公因子 2 Factor 2	公因子 3 Factor 3	共同度 h^2	剩余方差 δ^2
X_1	0.381 3	-0.100 8	-0.167 0	0.954 9	0.045 1
X_2	0.377 9	-0.110 0	-0.175 6	0.951 4	0.048 6
X_3	0.389 7	-0.129 7	-0.083 4	0.963 8	0.036 2
X_4	0.384 6	-0.175 6	-0.028 8	0.965 3	0.034 7
X_5	0.311 1	0.320 7	-0.112 6	0.889 6	0.110 4
X_6	0.264 4	0.374 4	-0.139 3	0.849 5	0.150 5
X_7	0.027 1	0.489 3	-0.306 6	0.886 2	0.113 8
X_8	-0.119 1	0.458 1	-0.357 0	0.960 6	0.039 4
X_9	0.089 1	0.379 3	0.472 1	0.958 4	0.041 6
X_{10}	-0.049 2	0.277 7	0.531 1	0.875 4	0.124 6
X_{11}	0.318 8	0.119 7	0.312 9	0.867 4	0.132 6
X_{12}	0.344 2	-0.051 2	0.277 6	0.887 0	0.113 0
特征值 Eigenvalue	5.933 3	2.784 5	2.291 6		
贡献率/% Proportion	49.44	23.20	19.10		
累计贡献率/% Cumulative proportion	49.44	72.64	91.74		

综合以上分析可知,公因子 1 是影响水稻光温特性的主要因子,并且以营养生长期光温因子的影响为主导;公因子 2 中,以抽穗开花期的光温因子的影响为主导;公因子 3 中,以灌浆成熟期的光温因子影响为主导。

2.2 因子得分及杂交水稻组合的光温型

根据公共因子模型,可计算每个杂交组合各公共因子的得分,如公因子 1 得分(I)的光温模型方程为:

$$I=(0.381\ 3X_1+0.377\ 9X_2+0.389\ 7X_3+0.384\ 6X_4+0.311\ 1X_5+0.264\ 4X_6+0.027\ 1X_7-0.119\ 1X_8+0.089\ 1X_9-0.049\ 2X_{10}+0.318\ 8X_{11}+0.344\ 2X_{12})/5.933\ 3。$$

式中: $X_1\sim X_{12}$ 为某杂交组合某光温性状的标准化值。表 2 列出了参试品种(组合)的前 3 个公因子得分,即 I_1 、 I_2 、 I_3 值。然后根据其特征值贡献率,计算参试品种(组合)的综合得分(I_T):

$$I_T=0.494\ 4I_1+0.232I_2+0.191I_3$$

表 2 杂交水稻组合因子标准得分系数					Table 2 Standardized scoring coefficients				
组合 Combination	I_1	I_2	I_3	I_T	组合 Combination	I_1	I_2	I_3	I_T
S176×1-59	0.45	3.48	1.10	1.24	BⅡ A×T411	3.32	-1.52	0.27	1.34
269S×1-68	0.45	3.48	1.10	1.24	BⅡ A×1-25	-0.18	-0.44	-2.49	-0.67
269S×1-58	0.05	3.35	0.45	0.89	BⅡ A×1-10	3.64	-1.68	0.02	1.41
BⅡ A×NC	3.43	-0.19	-0.39	1.58	YS122	3.56	-1.41	-0.08	1.42
S420×T411	2.36	1.09	2.84	1.96	N2×R122	-3.44	-3.41	2.07	-2.09
S420×122	-0.03	3.79	1.29	1.11	N22×R122	-3.33	-3.59	2.67	-1.97
S378×R128	0.82	0.51	3.02	1.10	N22×2006	-3.45	-1.44	1.20	-1.81
S190×B-19	-0.33	0.14	-0.56	-0.24	N22×T411	-3.34	-1.99	1.74	-1.78
HG1S×R128	-0.33	0.14	-0.56	-0.24	YⅡ A×T411	-3.38	-3.14	1.37	-2.14
X-S×R128	0.82	0.51	3.02	1.10	N22×8100	-3.23	-0.82	0.10	-1.77
S376×R128	-0.39	-1.17	-1.19	-0.69	N2×2006	-3.52	-0.97	0.41	-1.89

续表 2 Continued table 2

组合 Combination	I_1	I_2	I_3	I_T	组合 Combination	I_1	I_2	I_3	I_T
N125×1025	−1.20	2.51	2.39	0.45	N29×G99	−0.23	0.44	−1.24	−0.25
S400×F67-2	0.45	3.48	1.10	1.24	N2×T411	−3.52	−0.97	0.41	−1.89
S354×8108	0.82	0.51	3.02	1.10	64S×T737	−1.38	0.30	−1.52	−0.91
S419×8100	−0.74	0.54	−0.91	−0.42	S400×T $\hat{A}$ 411	−2.05	0.66	−1.14	−1.08
S399×08H	−2.26	1.42	0.41	−0.71	S190×S7	−2.05	0.66	−1.14	−1.08
S321×08H	−2.26	1.42	0.41	−0.71	S189×R128	−0.18	−0.44	−2.49	−0.67
BY122	−0.23	0.44	−1.24	−0.25	S164×R128	−0.18	−0.44	−2.49	−0.67
BⅡA×1-60	1.79	0.42	−0.38	0.91	S164×B-19	−1.38	0.30	−1.52	−0.91
BⅡA×1-22	4.95	0.43	1.21	2.78	S399×122	−1.63	0.44	−1.13	−0.92
Ⅱ-32A×YB6	4.62	1.05	−2.24	2.10	YⅠA×248	−2.41	1.07	−1.22	−1.18
Q-A×1-11	4.23	−1.45	0.58	1.87	N22×R248	−2.41	1.07	−1.22	−1.18
BⅡA×2006	2.04	−1.94	0.12	0.58	T-A×NC	−0.18	−0.44	−2.49	−0.67
BⅡY15	3.32	−1.52	0.27	1.34	PZS7	−2.41	1.07	−1.22	−1.18
YS3550	3.56	−1.41	−0.08	1.42	ZY128	−1.63	0.44	−1.13	−0.92
N2×3550	3.56	−1.41	−0.08	1.42	T-A×R248	−0.18	−0.44	−2.49	−0.67

公因子得分是变量或样品在因子所构成空间中的体现,能够形象直观地达到分类的目的。因此,本研究根据公因子的综合得分来评价杂交组合的光温特性:杂交组合(变量)的因子综合得分高,表明对光温因子的依赖性大、反应灵敏度高,即为光温敏感型;相反,即为光温钝感型。从表 2 可见,公因子综合得分较高(即光温敏感型)的杂交组合有:BⅡA×1-22、Ⅱ-32A×YB6、S420×T411、Q-A×1-11、BⅡA×NC、YS3550、N2×3550、YS122 和 BⅡA×1-10;公因子综合得分较低(即光温钝感型)的杂交组合有:YⅡA×T411、N2×R122、N22×R122、N2×2006、N2×T411、N22×2006 和 N22×T411。

2.3 光温敏感型和光温钝感型杂交水稻组合的主要性状表现型值

根据公共因子综合得分分析结果,将光温敏感和光温钝感的杂交组合的主要性状表现型值列于表 3。

表 3 光温敏感型和光温钝感型杂交水稻组合的主要性状表现型值

Table 3 Value of main traits of the combinations of light-temperature sensitivity types and insensitivity types

光温型 Light-temperature type	组合 Combination	有效穗数 Effective number of panicles per hektare	每穗总粒数 Total number of grains per panicles	结实率/% Seed setting ratio	千粒质量/g 1000-grain weight	穗谷质量/g Grain weight per plant
光温敏感型 Light-temperoture sensitivity type	BⅡA×1-22	190.49	173.5	84.1	26.3	3.47
	Ⅱ-32A×YB6	165.09	147.7	93.3	27.1	3.99
	S420×T411	199.99	148.6	65.7	24.4	2.80
	Q-A×1-11	209.54	129.6	94.4	23.7	2.91
	BⅡA×NC	171.44	132.7	73.2	24.2	4.04
	YS3550	253.98	137.5	93.3	23.6	2.89
	N2×3550	257.15	130.1	87.8	24.9	2.84
	YS122	206.39	178.2	91.2	24.0	3.54
光温钝感型 Light-temperoture insensitivity type	BⅡA×1-10	193.65	163.2	95.6	23.0	4.11
	YⅡA×T411	209.54	139.3	87.4	24.7	3.17
	N2×R122	304.77	107.5	87.4	24.3	2.10
	N22×R122	228.57	131.2	87.3	22.6	2.80
	N2×2006	215.88	148.5	89.5	24.1	3.26
	N2×T411	212.70	136.0	80.8	23.6	3.09
	N22×2006	219.05	172.6	85.5	20.0	3.03
	N22×T411	211.77	136.7	81.0	23.9	2.92
光温型 Light-temperature type	组合 Combination	产量/(kg·hm ^{−2}) Yield	糙米率/% Brown rice ratio	精米率/% Milled rice ratio	垩白率/% Chalk rice ratio	
光温敏感型 Light-temperoture sensitivity type	BⅡA×1-22	6 607.2	81.7	72.5	55	
	Ⅱ-32A×YB6	6 581.7	80.7	72.7	40	
	S420×T411	5 604.5	80.3	73.5	30	
	Q-A×1-11	6 088.5	80.7	72.7	15	
	BⅡA×NC	6 923.1	80.3	73.9	30	

续表 3 Continued table 3

光温型 Light-temperature type	组合 Combination	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	糙米率/% Brown rice ratio	精米率/% Milled rice ratio	垩白率/% Chalk rice ratio
光温敏感型 Light-temperoture sensitivity type	YS3550	7 336.8	81.7	72.7	57
	N2×3550	7 295.9	81.0	70.9	69
	YS122	7 293.9	80.7	71.8	36
	BⅡA×1-10	7 959.2	81.0	72.5	42
光温钝感型 Light-temperoture insensitivity type	YⅡA×T411	6 632.7	82.3	70.3	45
	N2×R122	6 394.5	82.0	73.4	45
	N22×R122	6 404.7	81.7	72.3	40
	N2×2006	7 044.2	81.7	71.5	20
	N2×T411	6 581.7	81.0	70.9	40
	N22×2006	6 632.7	82.3	70.3	45
	N22×T411	6 173.4	80.0	71.0	10

从表 3 可以看出,垩白率与杂交组合的光温型没有必然联系,以 N22×T411、Q-A×1-11 和 N2×2006 杂交组合较低,以 N2×3550、YS3550 和BⅡA×1-22 杂交组合较高;其他性状的表现型优劣也与杂交组合的光温型没有必然关系。光温敏感型杂交组合 BⅡA×1-10 具有较高的每穗总粒数、结实率和穗谷质量,而形成较高的产量,且垩白率也较低;光温敏感型杂交组合 YS3550、N2×3550 具有较高的有效穗数、结实率和产量,但垩白率较高;光温钝感型杂交组合 N2×2006 的产量构成性状表现较好,产量较高,垩白率很低。因此,在杂交水稻育种中既可以从光温敏感型杂交组合中,也可以从光温钝感型杂交组合中选育优良品种。

3 讨 论

水稻的营养生长期主要是生长分蘖、根系和叶片生长发育、扩增营养器官、提高叶面积指数、积累养分的重要时期,而且是水稻的幼穗发育、抽穗结实等生育过程的基础,基本有效穗数也是在此期形成^[26]。根据本研究公因子 1 的载荷阵分析,在全生育期中,光温因子对杂交水稻生长发育影响最大的时期是营养生长期,在灌浆成熟期也有较大影响,这与蔡昆争等^[27]和周鸿凯等^[28]有关光温因子或生态气候因子对水稻生长发育的影响,主要表现在营养生长期的结论相似;与水稻灌浆结实期的温度是影响水稻产量的结论^[9,29-30]既有差异,也有相似之处。这可能是由于研究所用材料和测定指标不同所致,具有原因有待于进一步研究探索。

公因子得分是变量或样品在因子所构成空间中的体现。陈伟栋等^[16]应用公共因子得分评价水稻及其产量构成因素;吴元奇^[23]利用公因子综合得分评价水稻种子的活力;杨威等^[31]利用综合因子得分

评价水质污染状况。本研究利用公共因子综合得分评价参试杂交水稻组合的光温特性,结果与杂交水稻育种实际较为吻合。光温敏感型的杂交水稻组合主要有 BⅡA×1-22、Ⅱ-32A×YB6、S420×T411、Q-A×1-11、BⅡA×NC、YS3550、N2×3550、YS122 和 BⅡA×1-10;光温钝感型的杂交水稻组合主要有 YⅡA×T411、N2×R122、N22×R122、N2×2006、N2×T411、N22×2006 和 N22×T411。

光温敏感型杂交组合 BⅡA×1-10 具有较高的每穗总粒数、结实率和穗谷质量,产量较高,垩白率较低;光温钝感型杂交组合 N2×2006 的产量构成性状表现较好,产量较高,垩白率很低。

因子分析用于杂交水稻的光温特性研究,能够把光温类型这一只能从主观和经验上进行模糊判断的性状从数理统计上进行定量表达,具有简便、准确、实用的特点。该方法 在水稻育种中应用的有效性和实用性有待于进一步的实践检验。

[参考文献]

[1] Watson R T. Climate change 2001;Synthesis report [M]. UK: Cambridge University Press,2001;29-48.

[2] Resurreccion A P,Hara T. Effect of temperature during ripening on grain quality of rice [J]. Soil Sci Plant Nutr,1977,23 (1):109-112.

[3] Morie E. Effects of wind and rainfall on the grain filling and maturing and quality [J]. Japan J Crop Sci,1989,58(4):555-561.

[4] Toshio T A. Relation between mean air temperature during ripeningperiod of rice and amylo-graphic characteristics or cooking quality [J]. Japan J Crop Sci,1999,68(1):45-49.

[5] Nassir A L,Ariyo O J. Genotype × environment stability analysis of grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Tropical Agriculture,2005,82:269-276.

[6] Iizumi T,Hayashi Y,Kimura F. Influence on rice production in Japan from cool and hot summers after global warming [J].

- Journal of Agricultural Meteorology, 2007, 63(1): 11-23.
- [7] Kandianan K, Karthikeyan R, Krishnan R, et al. A crop-weather model for prediction of rice (*Oryza sativa* L.) yield using an empirical-statistical technique [J]. J Agron & Crop Sci, 2002, 188: 59-62.
- [8] Oosterom E J, Mahalakshmi V, Bidinger F R, et al. Effect of water availability and temperature on the genotype-by-environment interaction of pearl millet in semi-arid tropical environments [J]. Euphytica, 1996, 89(2): 175-183.
- [9] 程方民, 钟连进. 不同气候生态条件下稻米品质性状的变异及主要影响因子分析 [J]. 中国水稻科学, 2001, 15(3): 187-191.
- Cheng F M, Zhong L J. Variation of rice quality traits under different climate conditions and its main affected factors [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2001, 15(3): 187-191. (in Chinese)
- [10] 敖雁, 徐辰武, 莫惠栋. 籼型杂种稻米品质性状的数量遗传分析 [J]. 遗传学报, 2000, 27(8): 706-712.
- Ao Y, Xu C W, Mo H D. Quantitative analysis for inheritance of quality characters in indica hybrid rice [J]. Acta Genetica Sinica, 2000, 27(8): 706-712. (in Chinese)
- [11] 蔡秋红, 黄荣华, 杨蜀岚, 等. 杂交籼稻品质性状的基因型与环境效应 [J]. 福建农业大学学报: 自然科学版, 1994, 23(4): 386-389.
- Cai Q H, Huang R H, Yang S L, et al. The effect of genotypes and environment on qualitative characteristics in indica hybrid rice [J]. Journal of Fujian Agricultural University: Natural Science Edition, 1994, 23(4): 386-389. (in Chinese)
- [12] 陈建国, 朱一军. 籼梗杂交稻米外观品质性状的遗传及基因型×环境互作效应研究 [J]. 中国农业科学, 1998, 31(4): 1-7.
- Chen J G, Zhu J. Genetic effects and genotype×environment interactions for appearance quality traits in indica japonica crosses of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1998, 31(4): 1-7. (in Chinese)
- [13] 李欣, 莫惠栋, 王安民, 等. 粳型杂种稻米品质性状的遗传表达 [J]. 中国水稻科学, 1999, 13(4): 197-204.
- Li X, Mo H D, Wang A M, et al. Genetic expression for quality traits of rice grain in japonica hybrids [J]. Chinese Journal of Rice Science, 1999, 13(4): 197-204. (in Chinese)
- [14] 林建荣, 石春海, 吴明国. 不同环境条件下粳型杂交稻米外观品质性状的遗传效应 [J]. 中国水稻科学, 2003, 17(1): 16-20.
- Lin J R, Shi C H, Wu M G. Genetic effects for appearance quality traits in japonica hybrid rice under different environments [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2003, 17(1): 16-20. (in Chinese)
- [15] Kurtanek Z, Horvat D, Magdic D, et al. Factor analysis and modelling for rapid quality assessment of croatian wheat cultivars with different gluten characteristics [J]. Food Technology and Biotechnology, 2008, 46: 270-277.
- [16] 陈伟栋, 廖世模, 陈志强, 等. 因子分析法在水稻育种中应用的研究 [J]. 华南农业大学学报, 1995, 16(3): 88-92.
- Chen W D, Liao S M, Chen Z Q, et al. Application of factor analysis in rice breeding [J]. Journal of South China Agricultural University, 1995, 16(3): 88-92. (in Chinese)
- [17] Kumaresan M, Riyazuddin P. Factor analysis and linear regression model (LRM) of metal speciation and physico-chemical characters of groundwater samples [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 138: 65-79.
- [18] Keskin S, Kor A, Karaca S. Use of factor analysis scores in multiple linear regression model for determining relationships between milk yield and some udder traits in goats [J]. Journal of Applied Animal Research, 2007, 31: 185-188.
- [19] Tan Y F, Corke H. Factor analysis of physicochemical properties of 63 rice varieties [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002, 82: 745-752.
- [20] Garbuglio D D, Gerage A C, Araujo P M, et al. Factor analysis and bissegmented regression for studies about environmental stratification and maize adaptability [J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 2007, 42: 183-191.
- [21] Shukla M K, Lal R, Ebinger M. Determining soil quality indicators by factor analysis [J]. Soil & Tillage Research, 2006, 87: 194-204.
- [22] Toker C, Cagiran M I. The use of phenotypic correlations and factor analysis in determining characters for grain yield selection in chickpea (*Cicer arietinum* L.) [J]. Hereditas, 2004, 140: 226-228.
- [23] 吴元奇. 应用因子分析综合评价水稻种子活力 [J]. 四川农业大学学报, 1998, 16(2): 206-209.
- Wu Y Q. A synthetic appraisal of rice seed vigor by factor analysis [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1998, 16(2): 206-209. (in Chinese)
- [24] 吴高岭, 徐尚忠. 因子分析和聚类分析在玉米品种资源分类上的应用 [J]. 生物数学学报, 1998, 13(3): 382-387.
- Wu G L, Xu S Z. Application of maize variety resources classification by factor and cluster analysis [J]. Journal of Biomathematics, 1998, 13(3): 382-387. (in Chinese)
- [25] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 367-386.
- Tang Q Y, Feng M G. DPS data processing system for practical statistics [M]. Beijing: Science Press, 2002: 367-386. (in Chinese)
- [26] 刁操铨, 戚昌翰, 刘启鑫. 作物栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 6-9.
- Diao C Q, Qi C H, Liu Q X. Crop cultivation [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000: 6-9. (in Chinese)
- [27] 蔡昆争, 骆世明. 不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响 [J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 193-196.
- Cai K Z, Luo S M. Effect of shading on growth, development and yield for maturation of rice [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(2): 193-196. (in Chinese)
- [28] 周鸿凯, 郭建夫, 黎华寿, 等. 光温因子与杂交水稻生态群体的产量和品质性状的典型相关分析 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 663-667.
- Zhou H K, Guo J F, Li H S, et al. Study on canonical correlation

tion between light & temperature factor and yield & quality character in F₁ ecological population of hybrid rice [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 663-667. (in Chinese)

[29] 邱新法, 曾 燕, 黄翠银. 影响我国水稻产量的主要气象因子的研究 [J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(3): 357-360.
Qiu X F, Zeng Y, Huang C Y. Primary meteorological factors affecting rice yields in China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000, 23(3): 357-360. (in Chinese)

[30] 徐春芳, 夏胜平, 贾生勇, 等. 气候因子对杂交稻金优组合结实率的影响研究 [J]. 杂交水稻, 1997, 12(2): 25-28.
Xu C F, Xia S P, Jia S Y, et al. Studies on the effects of climatic factors on seed setting percentage of Jinyou hybrid combinations [J]. Hybrid Rice, 1997, 12(2): 25-28. (in Chinese)

[31] 杨 威, 卢文喜, 李 平, 等. 因子分析法在伊通河水质评价中的应用 [J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 113-114.
Yang W, Lu W X, Li P, et al. Application of factor analysis method to the water quality evaluation of Yitong River [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(1): 113-114. (in Chinese)

(上接第 109 页)

[10] 沈中泉, 郭元桃, 袁加富. 有机肥料对改善农产品品质的作用及机理 [J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 53-57.
Shen Z Q, Guo Y T, Yuan J F. Effect of organic manure on qualities of crops [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 1995, 1(2): 53-57. (in Chinese)

[11] 吴 杰. 九隆升微生物菌剂在茶树上的应用效果初报 [J]. 福建农业科技, 2002(3): 19-20.
Wu J. Effect of Jiu Long Sheng microbes on tea plant [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2002(3): 19-20. (in Chinese)

[12] 徐福乐, 李丹楠. 茶树施用生物有机肥及专用肥效应研究 [J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 39-41.
Xu F L, Li D N. Effect of bio-organic fertilizer and special fertilizer application on tea bush [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2006, 18(5): 39-41. (in Chinese)

[13] 陆锦时, 魏芳华, 李春华. 茶树品种主要化学成分与品质关系的研究 [J]. 西南农业学报, 1994, 7(增刊): 1-4.
Lu J S, Wei F H, Li C H. A study on the relationship between main chemical componets and quality of tea varieties [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1994, 7 (Suppl): 1-4. (in Chinese)

[14] 周 锡, 刘 娟, 祝 爱. 外源氨基酸对茶叶的影响 [J]. 氨基酸和生物资源, 2007, 29(2): 46-48.
Zhou X, Liu J, Zhu A. Effecton on the tea by adding amino acids [J]. Amino Acids and Biotic Resources, 2007, 29(2): 46-48. (in Chinese)

[15] 李赛君, 郑红发, 常硕其. 优质绿茶产区的变化与绿茶品质的演进 [J]. 茶叶通讯, 2008, 35(1): 3-6.
Li S J, Zheng H F, Chang S Q. The change of green tea planting area and the evolvment of green tea quality concept [J]. Tea Communication, 2008, 35(1): 3-6. (in Chinese)