

不同种植季节下水稻茎秆粗度遗传分析

陈小荣, 陈志彬, 贺浩华, 朱昌兰, 彭小松, 贺晓鹏, 傅军如, 欧阳林娟

(作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045)

摘要: 选择茎秆粗度差异大的 3 个亲本 CB_1 (11.0 mm)、 CB_4 (15.5 mm) 和 CB_7 (11.5 mm), 配制 $CB_1 \times CB_4$ 和 $CB_7 \times CB_4$ 组合, 建立了相应的 P_1 、 F_1 、 P_2 、 B_1 、 B_2 、 F_2 群体, 将其分为中、晚两个生产季节种植, 考察了茎秆粗度性状。利用主基因 + 多基因混合遗传模型理论的 Akaike 信息准则 (AIC) 在 B_1 、 B_2 、 F_2 代中鉴定影响数量性状的主基因存在与否, 主基因存在时通过分离分析估计主基因和微效基因的遗传效应及所占总变异的分量。结果表明该性状在所有 2 个季别中 B_1 、 B_2 、 F_2 中均符合 1 对加性主基因 + 加 - 显性多基因遗传模式, 主基因遗传率为 27.60% ~ 63.69%, 多基因遗传率为 1.39% ~ 30.07%, 总基因型遗传率为 39.43% ~ 82.01%, 茎粗性状的遗传率受种植季别及所配组合的影响明显。

关键词: 水稻; 茎秆粗度; 种植季节; 主基因 + 多基因混合遗传模型; 遗传效应

中图分类号: S511.04 文献标志码: A 文章编号: 1000 - 2286(2011)02 - 0205 - 06

Genetic Analysis of Clum Thickness Trait in Rice Grown in Different Seasons

CHEN Xiao-rong, CHEN Zhi-bing, HE Hao-hua, ZHU Chang-lan,
PENG Xiao-song, HE Xiao-peng, FU Jun-ru, OUYANG Lin-juan

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, Genetics and Breeding, Ministry of Education, Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Three rice parents with great difference in clum thickness CB_1 (11.0 mm), CB_4 (15.5 mm) and CB_7 (11.5 mm) were chosen to construct the combines $CB_1 \times CB_4$ and $CB_7 \times CB_4$, also the corresponding P_1 , F_1 , P_2 , B_1 , B_2 , F_2 populations were established and planted in the middle and late planting seasons and the clum thickness traits were checked, respectively. The Akaike's information criterion (AIC) of the major genes plus polygenes mixed inheritance model was used to identify the existence of major genes affecting quantitative traits in B_1 , B_2 , F_2 populations, and when the major genes existed, the genetic effects of the major genes and polygenes and their genetic variance were estimated through segregation analysis. One additive major gene plus additive - dominance polygenes was the most fitted genetic model for this trait in the all B_1 , B_2 , F_2 populations in the two planting seasons. The heritability values of the major genes varied from 27.60 percent to 63.69 percent and those of polygenes varied from 1.39 percent to 30.07 percent, and the total heritability values were from 39.43 percent to 82.01 percent. The heritability of this trait was affected by planting

收稿日期: 2010 - 10 - 07 修回日期: 2011 - 01 - 27

基金项目: 科技部重大专项(2006BAD02A04) 和江西省重大科技创新项目

作者简介: 陈小荣(1972—), 男, 博士, 教授, 主要从事作物生理与育种研究, E-mail: ccxrr80@163.com。

seasons and the combinations.

Key words: rice; culm thickness; planting seasons; major genes plus polygenes mixed inheritance model; genetic effect

茎秆粗度是水稻重要农艺性状,在水稻栽培中,要夺取高产,就必须培育尽可能粗壮的茎秆,以获得多的穗粒数^[1]。水稻品种的茎粗与抗倒能力密切相关^[2-4]。周丽华^[5]通过对国内外大量研究总结后认为改良水稻茎秆性状,增强其抗倒伏能力是水稻超高产育种主要目标与途径之一。研究表明水稻茎秆性状具有多样性和可改良性^[6-10],进一步分析水稻茎秆性状的遗传效应及其与环境互作效应,对制定育种方案,选择亲本及栽培调控均有重要的指导意义^[11]。然而,由于数量性状遗传研究,尤其是分析上的困难性,迄今我国稻作界对水稻茎秆粗度的遗传研究尚不深入^[2,8,12-13]。近年来,盖钧镒、章元明、王建康等^[14-15]发明了一套数量性状遗传分析方法并建立了相应的遗传模型,得到较好的应用。本研究利用该遗传分析法,选择茎秆粗度差异大的3个亲本配制两个杂交组合,并分为中、晚稻种植,采用 P_1 、 F_1 、 P_2 、 B_1 、 B_2 和 F_2 6个基本世代主基因+多基因混合遗传分析方法对茎秆粗度性状进行了遗传分析,现将结果报道如下。

1 材料与方 法

1.1 亲本简介

本试验采用水稻材料 CB_1 、 CB_4 以及 CB_7 均是自育的农艺性状稳定的常规稻,其茎秆粗度(周长)分别为11.0 mm、15.5 mm和11.5 mm左右,3个亲本材料中以 CB_4 最大, CB_1 和 CB_7 均低于 CB_4 ,较大的亲本差异有利于该性状的遗传分析。

1.2 F_1 、 B_1 、 B_2 和 F_2 世代的获得

选择上述亲本材料,配制 $CB_1 \times CB_4$ 和 $CB_7 \times CB_4$ 组合,通过自交、杂交等建立 P_1 、 F_1 、 P_2 、 B_1 、 B_2 和 F_2 6个世代,将种子分为两份,一份以中稻种植,一份以晚稻种植。

1.3 性状考查植株的获得与数据考察

为了避免环境因素、气候因素及其土地肥力的差异性影响,将获得的种子种植于江西农业大学科技园试验田同一田块,相同栽培管理。中稻于2009年5月20日播种,6月20日移栽,晚稻6月22日播种,7月22日移栽,株行距18 cm \times 18 cm,单本种植,常规栽培管理,及时防治病虫害。为了避免边际效应,考查植株的选择一般外围三圈的不要,只取中间植株。亲本一般考查40株, F_1 代考查30株,回交世代各考查120株左右, F_2 代考查200株左右。茎秆粗度用自制小纸条标上刻度,选择主穗,环套倒三节节间(即从穗颈节从上至下数取第三节间)中部,量取其长度,即为其周长(mm),以其作为茎秆粗度指标,全文均同。

1.4 数据分析方法

应用盖钧镒、章元明等提出的植物数量性状主基因+多基因混合遗传模型分析方法,对 P_1 、 F_1 、 P_2 、 B_1 、 B_2 和 F_2 6个世代进行遗传分析。通过极大似然法和IECM(iterated expectation and conditional maximization)算法对混合分布中的有关成分分布参数做出估计,然后通过AIC值的判别和一组适应性检验,选择最优遗传模型,并估计主基因和多基因效应值,方差等遗传参数。有关运算和分析均采用盖钧镒等提供的统计软件,在微机上完成。

2 结果与分析

2.1 茎秆粗度在各世代中的数据描述

由表1可知,粗秆型亲本与细秆型亲本杂交组合的 F_1 代茎秆粗度介于两亲本之间。回交世代 B_1 和 B_2 的平均茎秆粗度也均在两个亲本之间,用粗秆亲本做回交的 B_2 世代平均值更接近于粗秆亲本,反之细秆亲本作为回交亲本的平均值更接近细秆亲本。

表1 茎秆粗度在各世代中平均数

Tab.1 Mean of clum thickness in the all generations

mm

世代/组合 Generations/combinations	M I	M II	L I	L II
P ₁	11.06 ± 0.85	11.47 ± 0.88	10.64 ± 0.69	11.18 ± 0.62
F ₁	13.65 ± 1.34	14.06 ± 1.28	12.74 ± 1.33	14.14 ± 0.93
P ₂	15.82 ± 0.91	15.82 ± 0.91	15.54 ± 1.09	15.54 ± 1.09
B ₁	11.89 ± 1.37	13.09 ± 1.69	10.83 ± 1.33	12.30 ± 1.43
B ₂	13.72 ± 1.36	14.54 ± 1.53	14.17 ± 1.34	14.28 ± 1.65
F ₂	12.87 ± 1.27	13.48 ± 1.62	12.78 ± 1.51	13.18 ± 1.91

M I、M II、L I、L II 分别表示为中稻 CB₁/CB₄、中稻 CB₇/CB₄ 组合,晚稻 CB₁/CB₄、晚稻 CB₇/CB₄ 组合。

M I and M II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as middle season planting, L I and L II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as late season planting, respectively.

2.2 模型的选择及遗传参数的估算

表2 各组合茎秆粗度的各种遗传模型的 AIC 值

Tab.2 The AIC values of clum thickness in the all combinations under various genetic models

mm

模型 Model	M I	M II	L I	L II	模型 Model	M I	M II	L I	L II
A-1	1 563.45	1 200.69	1 395.00	1 714.57	D-0	1 522.11	1 144.22	1 362.98	1 085.174
A-2	1 563.17	1 199.05	1 398.04	1 864.45	D-1	1 521.48	1 137.57	1 358.22	1 081.542
A-3	1 656.35	1 245.89	1 608.00		D-2	1 518.48	1 135.57	1 356.22	1 079.542
A-4	1 700.39	1 240.00	1 520.23		D-3	1 519.86	1 135.57	1 356.80	1 079.965
B-1	1 519.77	1 197.77	1 361.52	1 119.88	D-4	1 519.85	1 136.99	1 356.69	1 079.609
B-2	1 542.33	1 195.46	1 359.82	1 115.13	E-0	1 523.61	1 153.97	1 369.12	1 093.23
B-3	1 540.66	1 251.61	1 528.34	1 182.60	E-1	1 518.06	1 144.14	1 362.67	1 088.119
B-4	1 538.95	1 190.41	1 387.69	1 124.65	E-2	1 548.08	1 143.48	1 366.54	1 095.977
B-5	1 612.85	1 232.68	1 608.81	1 210.10	E-3	1 518.59	1 137.20	1 359.47	1 080.879
B-6	1 610.85	1 230.68	1 606.81	1 208.10	E-4	1 539.82	1 140.72	1 360.30	1 090.498
C-0	1 518.12	1 140.98	1 358.98	1 081.25	E-5	1 544.51	1 140.39	1 365.51	1 092.552
C-1	1 540.73	1 139.00	1 374.08	1 088.57	E-6				

M I、M II、L I、L II 分别表示为中稻 CB₁/CB₄、中稻 CB₇/CB₄ 组合,晚稻 CB₁/CB₄、晚稻 CB₇/CB₄ 组合。

M I and M II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as middle season planting, L I and L II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as late season planting, respectively.

本研究利用 P₁、F₁、P₂、B₁、B₂ 和 F₂ 6 个基本世代进行主 + 多基因混合遗传分析,各模型的 AIC 值见表 2,选取 AIC 值最小及与最小 AIC 值最接近的两个遗传模型,由表 2 可知,除 M I 适应模型比较分散外,其它 3 套群体都集中在 D 模型。以 M I 为例,进行适应性检验,AIC 值最小的为 E-1 模型,与之最接近的是 C-0 模型和 D-2 模型,据此选择该 3 个模型进行适合性检验,即 U_1^2 、 U_2^2 、 U_3^2 (均匀性检验)、 nW_2 (Smirnov 检验)、 D_n (Kolmogorov 检验),选择统计量达到显著水平个数较少的模型作为最优模型。

表 3 列出 M I 被选 3 个模型各个检验值。由表 3 可知,D-2 模型在检验中达到的显著水平个数较其它两个模型少,因此可以确定 D-2 模型为 M I 最适最佳模型。

M I D-2 模型参数的极大似然估计值相见表 4。其它组合也一样通过各种模型的检验,选出了最适且最佳模型,并求出模型参数极大似然估计值,列于表 5。经过检验,4 套群体茎秆粗度最佳模型均为 D-2 模型(加性主基因 + 加 - 显性多基因模型)。

表3 MI部分模型的适合性检验(括号内为概率值)

Tab.3 Test for goodness of fitness of the MI model (probability in parenthesis)

mm

模型 Model	世代 Generations	U_1^2	U_2^2	U_3^2	W	D
C-0	P ₁	0.209(0.647 6)	0.685(0.407 7)	2.376(0.123 2)	0.193 2	0.164 9
	F ₁	0.077(0.781 5)	0.150(0.698 1)	6.895(0.008 6)**	0.181 5	0.167 8
	P ₂	0.000(0.983 9)	0.013(0.908 1)	0.147(0.701 1)	0.082 3	0.104 4
	B ₁	0.549(0.458 9)	0.676(0.410 9)	0.177(0.674 0)	0.296 2*	0.172 6
	B ₂	0.165(0.684 5)	0.194(0.659 9)	0.035(0.852 1)	0.103 7	0.158 8
	F ₂	0.019(0.890 0)	0.079(0.779 1)	0.344(0.557 7)	0.118 0	0.060 7*
D-2	P ₁	0.170(0.679 9)	0.002(0.963 3)	3.177(0.074 7)	0.161 3	0.148 1
	F ₁	0.496(0.481 3)	1.704(0.191 7)	6.224(0.012 6)*	0.201 0	0.198 3
	P ₂	0.017(0.895 4)	0.001(0.977 7)	0.158(0.691 1)	0.081 8	0.110 5
	B ₁	6.122(0.313 4)	5.246(0.322 0)	0.177(0.673 8)	0.917 6	0.255 2
	B ₂	0.000(0.995 4)	0.000(0.998 9)	0.001(0.978 0)	0.072 2*	0.131 5
	F ₂	0.019(0.891 0)	0.078(0.780 4)	0.342(0.558 9)	0.117 8	0.060 6*
E-1	P ₁	0.284(0.594 1)	0.603(0.437 4)	1.087(0.297 1)	0.168 6	0.158 6
	F ₁	0.003(0.957 0)	0.669(0.413 5)	9.378(0.002 2)**	0.216 8*	0.191 6
	P ₂	0.111(0.739 4)	0.138(0.710 8)	0.038(0.845 5)	0.089 9	0.130 6
	B ₁	0.290(0.590 2)	0.371(0.542 5)	0.123(0.726 0)	0.196 1*	0.146 2
	B ₂	0.123(0.726 2)	0.208(0.648 7)	0.217(0.641 2)	0.050 3*	0.091 5*
	F ₂	0.013(0.910 7)	0.082(0.774 8)	0.504(0.477 7)	0.103 4	0.055 1*

表4 MI D-2模型参数的极大似然估计值

Tab.4 The maximum likelihood estimates in D-2 model of MI

mm

参数 Parameters	估计值 Estimates	参数 Parameters	估计值 Estimates
μ_1	10.933 5	μ_{61}	12.517 5
μ_2	13.389 2	μ_{62}	12.855 5
μ_3	15.798 4	μ_{63}	13.141 7
μ_{41}	11.870 5	σ	0.978 7
μ_{42}	12.452 2	σ_{40}	0.599 8
μ_{51}	13.394 5	σ_{50}	0.676 6
μ_{52}	14.226 9	σ_{60}	0.567 8

通过最小二乘法估计,可求出一阶遗传参数估计值,列于表6。由表6可知,4套群体的群体均值 m 分别为 14.43、14.88、14.34 和 14.50,主基因的加性效应值 d 分别为 -0.44、-0.81、-1.21 和 -0.66。

进一步求出二阶遗传估计值,列于表7。由表7可知,主基因遗传率在各套群体中的 B_1 、 B_2 、 F_2 3个世代为 27.60% ~ 60.91%,多基因遗传率为 1.39% ~ 30.07%。

3 结论与讨论

由于茎粗与水稻抗倒性及产量形成关系密切,国内外科学家对其遗传进行了较多的研究,认为水稻茎秆直径受 QTLs 控制^[16],茎秆维管束数目为 3 对可解释 58.8% 的变异来源的 QTLs 所控制^[17],另有研究表明水稻第二伸长节间茎粗和壁厚表现为微效多基因控制的数量性状,并存在细胞质遗传效应^[2]。蔡英杰^[13]采用 RIL 群体遗传分离分析对密阳 46 和 FJCD 组合 RILs 群体(F_9)的茎粗遗传分析认为茎粗是受两对隐性上位主基因+多基因的混合遗传,两对主基因加性效应值分别为 $d_a = 1.00$ 、 $d_b = 0.58$,主基因遗传率为 79.93%,多基因遗传率为 12.82%,尚有 7.25% 是由环境因素决定。穆平等^[12]通过分子

表5 各个世代最佳模型及模型参数极大似然估计值

Tab. 5 The best model and the maximum likelihood estimates in the all generations

mm

参数 Parameters	M I	M II	L I	L II
μ_1	10.933 5	11.473 1	10.452 4	11.112 0
μ_2	13.389 2	14.052 4	12.320 6	14.049 5
μ_3	15.798 4	15.821 3	15.491 5	15.663 3
μ_{41}	11.870 5	12.628 6	10.602 4	12.394 3
μ_{42}	12.452 2	12.896 9	12.170 6	12.767 1
μ_{51}	13.394 5	14.259 2	14.106 7	13.826 7
μ_{52}	14.226 9	14.824 4	14.490 1	14.818 7
μ_{61}	12.517 5	12.943 5	11.787 2	12.190 3
μ_{62}	12.855 5	12.992 7	12.463 5	13.499 9
μ_{63}	13.141 7	14.945 4	14.430 0	13.499 6
σ	0.9787	0.852 5	0.996 36	0.654 0
σ_{40}	0.599 8	6.122 4	0.532 4	1.404 1
σ_{50}	0.676 6	1.374 6	1.067 8	1.769 0
σ_{60}	0.567 8	1.025 2	1.028 1	2.617 2

M I、M II、L I、L II 分别表示为中稻 CB₁/CB₄、中稻 CB₇/CB₄ 组合,晚稻 CB₁/CB₄、晚稻 CB₇/CB₄ 组合。

M I and M II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as middle season planting, L I and L II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as late season planting, respectively.

表6 各组合茎秆粗度一阶遗传参数的估计值

Tab. 6 The first order genetic parameter estimates for clum thickness of the all combinations

mm

参数 Parameters	M I	M II	L I	L II
m	14.434 5	14.880 8	14.336 2	14.499 1
d	-0.443 7	-0.806 2	-1.206 2	-0.663 9
$[d]$	-1.727 6	-1.236 1	-1.444 0	-1.433 8
$[h]$	-0.196 3	0.304 6	-0.545 9	0.452 6

M I、M II、L I、L II 分别表示为中稻 CB₁/CB₄、中稻 CB₇/CB₄ 组合,晚稻 CB₁/CB₄、晚稻 CB₇/CB₄ 组合。

M I and M II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as middle season planting, L I and L II mean combination CB₁/CB₄ and CB₇/CB₄ as late season planting, respectively.

遗传方法共检测到了茎基粗、茎秆长有关6个加性QTL和6对上位性QTL,其中旱田条件下检测到2个加性及2对上位性QTL对表型变异的贡献率大于30%。上述研究结果与本试验的研究有一定出入,本试验对3个茎秆粗度各异的材料进行6个基本世代联合分析,4套群体茎秆粗度均属于1对加性主基因+加-显性多基因模型遗传方式,一阶遗传参数分析表明主基因加性效应对茎粗性状的表达有降低作用。M I主基因遗传率为27.60%~36.51%,多基因遗传率为9.71%~20.04%,总基因型遗传率为39.43%~48.21%;M II主基因遗传率为41.63%~60.91%,多基因遗传率为6.58%~22.17%,总基因型遗传率为63.80%~70.18%;L I主基因遗传率为39.96%~54.77%,多基因遗传率为1.39%~4.00%,总基因型遗传率为43.83%~56.16%;L II主基因遗传率为45.82%~63.69%,多基因遗传率为18.32%~30.07%,总基因型遗传率为68.13%~82.01%。4套群体主基因加性效应值 d 均为负值,且大小较为接近,分别比较M I、M II和L I、L II可发现,M I、M II主基因遗传率分别较L I、L II低,总基因型遗传率也均相对低,表明将本试验所用材料作中稻种植受环境因素影响较作晚稻更明显。此外,对比M I与M II,L I与L II可看出,M I、L I主基因遗传率和总基因型遗传率分别比M II、L II低,表明茎粗性状遗传率同时也受所配组合的影响。上述结果进一步显示了茎粗性状遗传的复杂性。

表7 各组合茎秆粗度的二阶遗传参数的估计值

Tab.7 The second order genetic parameter estimates for clum thickness of the all combinations

二阶参数 Second order genetic parameters	M I			M II		
	B ₁	B ₂	F ₂	B ₁	B ₂	F ₂
σ_p	1.889 6	1.869 1	1.615 8	2.858 8	2.355 0	2.622 7
σ_{mg}	0.689 9	0.515 9	0.480 2	1.736 4	0.980 4	1.597 5
σ_{pg}	0.220 9	0.374 5	0.156 9	0.269 9	0.522 1	0.172 7
σ	0.978 6	0.978 6	0.978 6	0.852 5	0.852 5	0.852 5
h_{mg}	36.514 2	27.602 9	29.722 9	60.740 3	41.629 7	60.912 0
h_{pg}	11.694 5	20.037 1	9.711 5	9.441 0	22.172 0	6.584 6

二阶参数 Second order genetic parameters	L I			L II		
	B ₁	B ₂	F ₂	B ₁	B ₂	F ₂
σ_p	1.7739	1.786 6	2.272 7	2.052 1	2.710 5	3.635 3
σ_{mg}	0.709 0	0.718 8	1.244 7	0.947 9	1.241 4	2.315 3
σ_{pg}	0.068 5	0.071 4	0.031 7	0.450 1	0.815 0	0.666 0
σ	0.9964	0.996 3	0.996 3	0.654 0	0.654 0	0.654 0
h_{mg}	39.969 5	40.233 0	54.766 0	46.196 3	45.801 7	63.689 6
h_{pg}	3.862 0	3.999 4	1.395 0	21.931 6	30.068 4	18.319 2

致谢: 江西农业大学农学院 2006 级本科毕业实习生黄美珍和陈素婷同学参加了部分工作。

参考文献:

- [1] 卢普相, 罗莲香. 高产施肥条件下水稻穗粒数与茎粗关系 [J]. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7(4): 332 - 333.
- [2] 莫永生, 蔡中全. 水稻株高、基部第二伸长节间茎粗和茎壁厚的初步遗传分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(1): 91 - 94.
- [3] 周丽华, 刘辉. 杂交水稻茎秆形态学优势性状与抗倒伏能力研究 [J]. 种子, 2006, 25(6): 10 - 13.
- [4] 唐甫林, 侯秀芬. 对水稻抗倒能力的初步探讨 [J]. 上海农业科技, 2000(6): 9 - 10.
- [5] 周丽华. 水稻茎秆性状与抗倒伏关系的研究综述 [J]. 中国稻米, 2006(3): 10 - 11.
- [6] 杨守仁, 张龙步, 陈温福, 等. 水稻超高产育种的理论和方法 [J]. 作物学报, 1996, 82(3): 295 - 304.
- [7] 梁康迳, 王乃元, 杨仁崔, 等. 水稻穗伸出度及若干茎秆叶片性状的遗传变异和相关 [J]. 福建农学院学报, 1992, 2(3): 259 - 263.
- [8] 梁康迳, 杨仁崔, 杨蜀岚, 等. 水稻茎秆性状的遗传效应分析. 全国作物育种学术讨论会论文集 [C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 80 - 86.
- [9] 谭震波, 沈利爽, 况浩池. 水稻上部节间长度等数量性状基因的定位及遗传效应的分析 [J]. 遗传学报, 1996, 23(6): 439 - 446.
- [10] 戴魁根, 康春林, 伏军. 籼梗亚种间组合秆高的初步研究 [J]. 杂交水稻, 1991(6): 21 - 35.
- [11] 孙旭初. 水稻茎秆抗倒性的研究 [J]. 中国农业科学, 1987, 20(4): 32 - 37.
- [12] 穆平, 李自超, 李春平, 等. 水、旱条件下水稻茎秆主要抗倒伏性状的 QTL 分析 [J]. 遗传学报, 2004, 31(7): 717 - 723.
- [13] 蔡英杰. 水稻长穗大粒 RIL 群体产量相关性状的遗传分析 [D]. 福州: 福建农林大学, 2006.
- [14] 盖钧镒, 章元明, 王建康. 植物数量性状遗传体系 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1 - 380.
- [15] 王建康, 盖钧镒. 利用杂种世代鉴定数量性状主基因 - 多基因混合遗传模型并估计其遗传效应 [J]. 遗传学报, 1997, 24(5): 432 - 440.
- [16] Takayuki K, Eiji T, Naoki H, et al. Improvement of lodging resistance with QTLs for stem diameter in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Theor Appl Genet, 2008, 117: 749 - 757.
- [17] Zhang Z H, Li P, Wang L X, et al. Identification of quantitative trait loci (QTLs) for the characters of vascular bundles in peduncle related to indica - japonica differentiation in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Euphytica, 2002, 128(2): 279 - 284.