

青海省青稞主栽品种农艺性状分析

陈丽华, 张志斌, 侯志强, 邓晓青, 吴昆仑*

(青海省农林科学院/青海省高原作物种质资源创新与利用国家重点实验室培育基地/青海省青稞遗传育种重点实验室, 青海 西宁 810016)

摘要: 为研究青海省青稞主栽品种的遗传基础多样性, 为青稞的遗传改良与育种利用提供依据。以 26 份青稞青海省青稞主栽品种为试验材料进行农艺性状分析, 并对性状之间进行简单相关和偏相关分析, 多元逐步回归和通径分析。结果表明: 9 个农艺性状变异程度和范围相当大, 某些品种有一定优势可利用。相关分析表明多个性状影响单株粒质量; 多元逐步回归和通径分析表明单株穗数、千粒质量、穗粒数是对单株粒质量产生影响的主要因素。最优回归方程($Y = -17.848 + 1.548 X_1 + 0.368 X_2 - 0.428 X_3 + 0.192 X_4 - 0.048 X_5$) 能解释单株粒质量变异的 75.2%。结果显示青海省青稞主栽品种农艺性状多样性比较高, 遗传基础比较丰富, 而且在进行性状选择时, 应注重单株穗数和千粒质量的选择, 同时应该考虑到穗长与千粒质量、单株穗数与穗粒数的相互制约关系。

关键词: 青稞; 农艺性状; 相关分析; 聚类分析

中图分类号: S512.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)03-0439-06

Analysis of Agronomic Characters of Major Hulless Barley Cultivars in Qinghai Province

CHEN Li-hua, ZHANG Zhi-bin, HOU Zhi-qiang, DENG Xiao-qing, WU Kun-lun*

(Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences/State Key Laboratory Breeding Base for Innovation and Utilization of Plateau Crop Germplasm/Qinghai Key Laboratory of Hulless Barley Genetics and Breeding, Xining 810016, China)

Abstract: In order to study the diversity of the genetic basis of the hulless barley cultivars in Qinghai and provid helpful information for the genetic improvement and breeding utilization of hulless barley, the agronomic characters of 26 hulless barley cultivars were evaluated by using the statistical methods of simple and partial correlation analysis, multiple stepwise regression and path analysis in order to provide helpful information for the genetic improvement of hulless barley. The results showed that the degree and range of 9 agronomic characters variation is were quite large, and some species have had certain available advantages. The correlation analysis showed that multiple traits influenced the grain yield; multiple stepwise regression and path analysis showed that spike number per plant, 1000 grain weight and grain number per spike is were the main affecting factors in grain weight per plant. And 75.2% variation of grain weight per plant could be explained by the multiple regression equations $Y = -17.848 + 1.548 X_1 + 0.368 X_2 - 0.428 X_3 + 0.192 X_4 - 0.048 X_5$. The results showed that the hulless barley cultivars in Qinghai had high diversity in agronomic characters and rich genetic basis. And In in the character selection, attention should be paid to the spike number per plant and 1000 grain weight selection, and the mutual restrict relationship between spike length and 1000 grain weight, spike number per plant and grain number per spike should be concerned.

Key words: hulless barley; agronomic characters; correlation analysis; clustering analysis

收稿日期: 2012-01-06 修回日期: 2012-04-07

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-05) 资助

作者简介: 陈丽华(1961—), 女, 副研究员, 主要从事作物品种资源研究, E-mail: chl_h0_0@yeah.net; *通讯作者: 吴昆仑, 副研究员, E-mail: wklqaaf@gmail.com。

青稞 (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.), 属禾本科大麦属, 在植物学上属于栽培大麦的变种, 因其籽粒内外稃与颖果分离, 籽粒裸露, 故称裸大麦^[1]。青稞是青藏高原面积最大的粮食作物, 是藏区农牧民不可替代的主粮, 在藏族同胞的食物结构中起着重要的营养与健康平衡作用, 占有举足轻重、不可替代的地位, 主要分布在高寒缺氧、环境恶劣, 降雨量少、蒸发量大、植被稀疏、水土流失严重的青藏高原, 具有耐寒、耐旱、耐瘠薄、生育期短、适应性强、产量稳定等优异种性, 是一个基因资源十分丰富的种质资源。

农艺性状主要是指生长发育习性、产量性状及植物学特征等方面的主要性状。20世纪以来, 由于农艺性状具有表现直观、便于识别、易于掌握以及与生产直接相关等特点, 农艺性状鉴定逐渐成为一种广泛应用的方法^[2-3]。尽管当前生化标记、分子标记等标记形式在各类作物遗传多样性研究中逐渐被广泛应用于植物种质资源的鉴定和分类研究, 但作物改良在农业生产上所起的巨大作用很大程度上都依赖于对农艺性状的研究, 而且 Dotlacil^[4]和 Delacy^[5]研究指出形态学标记(农艺性状)仍是作物遗传多样性分析的一种颇为有效的方法。因此充分把握和科学评价种质材料农艺性状的真实表现并基于农艺性状进行遗传多样性研究, 对于种质资源的合理利用、选配亲本及拓宽青稞遗传基础具有重要理论和实际意义。

青藏高原是我国及世界上青稞分布和种植面积最大的地区, 资源极其丰富。杨菁等^[6]用 SSR 分子标记表明了青海省栽培青稞具有较丰富的遗传多样性。但是有关青海省青稞主栽品种农艺性状的多样性分析尚未见报道, 因此, 本研究从农艺性状入手, 对青海省青稞主栽品种的多样性进行分析, 旨在揭示青海青稞种质资源的遗传多样性, 为今后青海新品种的选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 26 份青海省青稞主栽品种 (表 1)。

1.2 试验方法及统计分析

2010年3月种植于青海省农林科学院试验地。采用单行播种, 行长 2 m, 行距 0.2 m。栽培及施肥管理措施同大田生产。

成熟收获时随机取中间行 5 株进行性状考察, 取 5 株平均值作为每份材料的农艺性状表现值。性状 (包括生育期、株高、茎粗、单株穗数、穗长、穗粒质量、穗粒数、单株粒质量和千粒质量) 考察按全国统一标准记载^[7]。

基本统计参数以及相关分析、回归分析和聚类分析采用 SPSS 分析软件进行。

表 1 26 份供试青稞主栽品种

Tab.1 26 major hulless barley cultivars in this study

序号 No.	名称 Cultivars	育成单位 Breeding unit	序号 No.	名称 Cultivars	育成单位 Breeding unit
1	高原早 1 号	青海省农林科学院	14	北青 5 号	青海省海北藏族自治州农科所
2	昆仑 2 号	青海省农林科学院	15	北青 6 号	青海省海北藏族自治州农科所
3	昆仑 3 号	青海省农林科学院	16	北青 7 号	青海省海北藏族自治州农科所
4	福 8-4	青海省农林科学院	17	东青 1 号	青海省互助县农技推广站
5	昆仑 8 号	青海省农林科学院	18	互青 2 号	青海省互助县农技推广站
6	门农 1 号	青海省海北藏族自治州农科所	19	莫多吉 1 号	青海省湟源县日月藏族乡莫多吉村
7	昆仑 1 号	青海省农林科学院	20	昆仑 10 号	青海省农林科学院
8	南繁 3 号	青海省农林科学院	21	红胶泥	青海省农林科学院
9	福 8-6	青海省农林科学院	22	白浪散	青海省农林科学院
10	北青 1 号	青海省海北藏族自治州农科所	23	肚里黄	青海省农林科学院
11	北青 2 号	青海省海北藏族自治州农科所	24	北青 8 号	青海省海北藏族自治州农科所
12	北青 3 号	青海省海北藏族自治州农科所	25	昆仑 12 号	青海省农林科学院
13	北青 4 号	青海省海北藏族自治州农科所	26	昆仑 13 号	青海省农林科学院

2 结果与分析

2.1 农艺性状表现

26 份青海省青稞主栽品种主要农艺性状表现及变异情况 (表 2 和图 1) 表明, 考察的 9 个性状变异程度和范围相当大, 某些品种有一定优势可利用。

生育期为 97.0~111.0 d, 平均 106.4 d, 变异较小; 株高为 75.0~138.2 cm, 平均 117.0 cm, 植株高度变幅较大, 福 8-6 (最矮) 和莫多吉 1 号(最高)两个品种在株高性状上有一定的优势可利用; 茎粗在 0.44~0.57 cm, 平均 0.50 cm, 变异不大。

穗长 4.51~11.19 cm, 平均 7.92 cm, 变异系数高达 23.4%, 穗长最高者为最低者的将近 3 倍, 穗长在 8~10 cm 的占 12 个品种; 单株穗数 4~10 个, 平均 6.1 个, 极差达 6.0, 变异系数比较大, 达 23%, 其中品种白浪散单株穗数为 10, 是一个强分蘖品种; 穗粒数为 42~73 粒, 平均 59.1 粒, 极差为 31 粒, 最大者约为最小者的 2 倍, 穗粒数在 50 粒以下的有 3 份, 60 粒以上的有 22 份, 其中昆仑 2 号穗粒数达 72.9, 为多粒型材料。

穗粒质量在 1.56~3.91 g, 平均 2.47 g, 穗粒质量小于 2 g 的有 3 份材料, 2~3 g 的有 19 份材料, 大于 3 g 的有 4 份材料, 变异系数较高, 达到 21.1%; 单株粒质量 5.49~17.91 g, 平均 10.65 g, 极差为 12.42 g,

表 2 26 份青海主栽大麦性状表现及变异程度

Tab.2 Performance and variance of agronomic characters of 26 Qinghai major hulless barley cultivars

性状 characters	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	极差 Range	变异系数/% c. v.
生育期/d Fertility period	106.4	97.0	111.0	14.0	2.7
株高/cm Plant height	117.0	75.0	138.2	63.2	13.2
茎粗/cm Stem diameter	0.50	0.44	0.57	0.13	8.0
单株穗数/个 Spike number per plant	6.1	4.0	10.0	6.0	23.0
穗长/cm Spike length	7.92	4.51	11.19	6.68	23.4
穗粒质量/g Grain weight per spike	2.47	1.56	3.91	2.36	21.1
穗粒数/粒 Grain number per plant	59.1	42.0	73.0	31.0	10.8
单株粒质量/g Grain weight per plant	10.65	5.49	17.91	12.42	21.5
千粒质量/g 1000 Grain weight	45.45	33.85	53.50	19.65	9.9

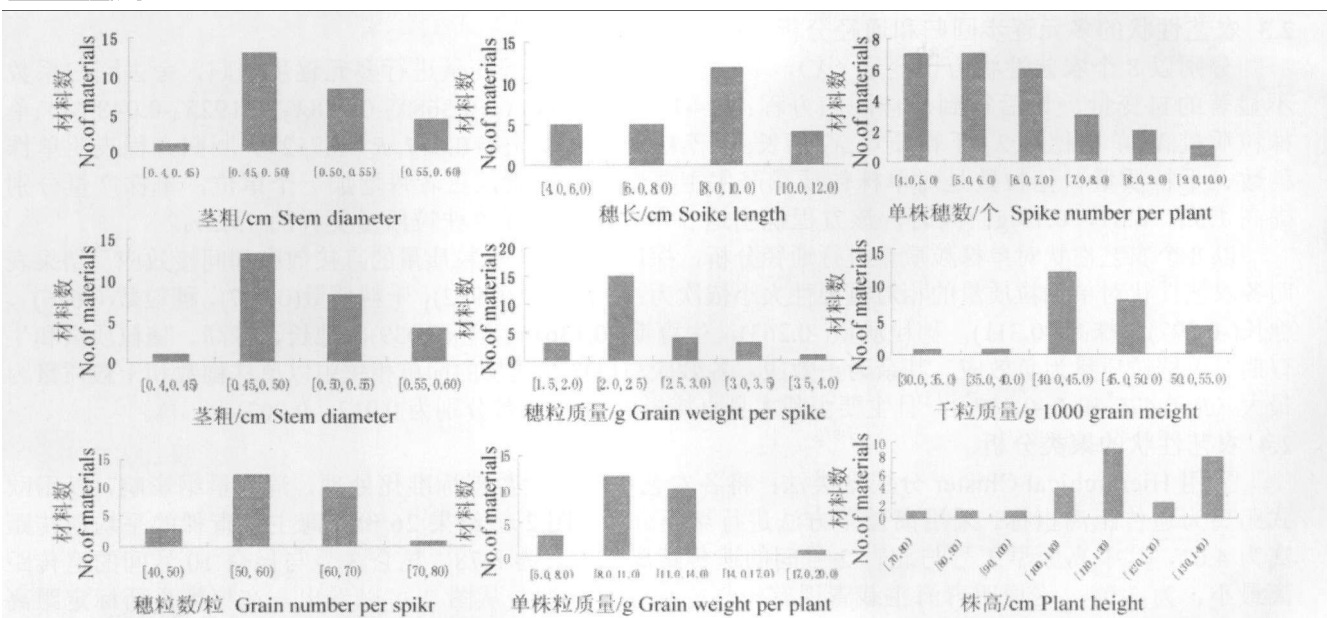


图 1 主要农艺性状表现及变异情况

Fig.1 Performance and variance of agronomic characters of 26 Qinghai main hulless barley landraces

变异系数达 21.5%，单株粒质量小于 10 g 的有 9 份材料，10 g 以上有 17 份；千粒质量 33.85~53.50 g，平均 45.45 g，极差 19.65 g，千粒质量在 35 g 以下的材料 1 份，35~45 g 的材料 13 份，45 g 以上的材料 12 份，变异不大。

2.2 农艺性状的相关分析

对考察的 9 个农艺性状进行简单相关和偏相关分析，如表 3 所示，相关分析结果表明：多个性状影响单株粒质量。单株穗数、千粒质量与单株粒质量简单相关性为正、显著，偏相关性为正、极显著，偏相关系数达 0.767 和 0.633，说明随着单株穗数、千粒质量的增加，单株粒质量明显提高；穗长、穗粒数与单株粒质量偏相关性也达到显著，偏相关系数分别为 -0.504 和 0.529，说明穗长对单株粒质量产生负效应，而穗粒数增加有利于提高单株产量；其余性状与单株粒质量相关性不显著。在进行性状选择时，应注重单株穗数和千粒质量的选择，而对穗长的选择则以较短为宜，但同时应该考虑到穗长与千粒质量 ($R' = -0.525^*$)、单株穗数与穗粒数 ($R = -0.599^{**}$) 的相互制约关系。此外，生育期、株高与单株粒质量的相关性不显著，即生育期、株高对产量影响不大。

表 3 26 份青海主栽青稞农艺性状的相关关系

Tab.3 Correlations between agronomic characters of 26 Qinghai major hulless barley cultivars

性状 Characters	生育期 FP	株高 PH	茎粗 SD	单株穗数 SNPP	穗长 SL	穗粒质量 GWPS	穗粒数 GNPS	单株粒质 量 GWPP	千粒质量 OTGW
生育期 FP		0.086	0.026	-0.042	-0.476*	-0.531*	0.473*	-0.194	0.565*
株高 PH	0.110		-0.041	0.540*	0.075	-0.142	0.450	-0.450	0.312
茎粗 SD	0.172	0.017		-0.226	0.094	0.052	0.145	0.058	-0.007
单株穗数 SNPP	-0.267	0.166	-0.605**		0.335	-0.060	-0.438	0.767**	-0.370
穗长 SL	-0.245	0.410*	0.226	-0.075		-0.146	0.368	-0.504*	0.525*
穗粒质量 GWPS	0.058	0.143	0.567**	-0.559**	0.460*		0.708**	-0.177	0.758**
穗粒数 GNPS	0.242	0.252	0.604**	-0.599**	0.263	0.679**		0.529*	-0.782**
单株粒质量 GWPP	0.002	-0.061	-0.133	0.475*	-0.093	0.109	-0.102		0.633**
千粒质量 OTGW	0.181	0.158	0.262	-0.186	0.442*	0.700**	0.152	0.417*	

(1)*和**分别代表相关显著和极显著；(2)对角线右上方为偏相关系数，左下方为简单相关系数。

(1) * and ** indicates correlation significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively; (2) Partial correlation coefficients are on up-right and simple correlation coefficients are on down-left.

2.3 农艺性状的多元逐步回归和通径分析

分别以 8 个农艺性状为自变量 (X)，单株粒质量 (Y) 为因变量进行多元逐步回归，舍去回归系数不显著的自变量，最后得到最佳回归方程： $Y = -17.848 + 1.548X_1 + 0.368X_2 - 0.428X_3 + 0.192X_4 - 0.048X_5$ (Y : 单株粒质量; X_1 : 单株穗数; X_2 : 千粒质量; X_3 : 穗长; X_4 : 穗粒数; X_5 : 株高; $R = 0.867$, $R^2 = 0.752$)。回归方程表明单株穗数、千粒质量、穗粒数是对单株粒质量产生主要影响的因素，三者每增加一个单位，单株产量分别提高 1.55, 0.37, 0.19 g；同时，该方程说明这 5 个因素能解释单株粒质量变异的 75.2%。

以 8 个农艺性状对单株粒质量进行通径分析，探讨它们对单株粒质量的直接效应和间接效应，结果表明各农艺性状对单株粒质量的相对重要性大小依次为：单株穗数(0.912)，千粒质量(0.907)，穗粒数(0.676)，穗长(-0.397)，株高(-0.311)，穗粒质量(-0.263)，生育期(-0.136)，茎粗(0.039)。穗长、株高、穗粒质量和生育期对单株粒质量为负效应，其余为正效应。各效应与单株粒质量的简单相关中以单株穗数和千粒质量为最大 ($R = 0.475^*$ 和 $R = 0.417^*$)，且主要由其本身直接提供(通径系数分别为 0.912、0.907)。

2.4 农艺性状的聚类分析

采用 Hierarchical Cluster 分层聚类法：将各农艺性状原始数据标准化处理，消除量纲影响，以用欧式距离为遗传距离指标，采用离差平方法进行聚类分析(图 2)，结果 26 份青海主栽青稞的平均遗传距离为 4.01，其中高原早 1 号与北青 2 号间的遗传距离最大，为 8.78，昆仑 3 号与昆仑 10 号间的遗传距离最小，为 1.04；这说明青海主栽青稞有较高的遗传多样性。从图 2 可以看出，在聚类重新标定距离 15 处，将 26 份青海主栽青稞分为 4 类，其中第 I 类包括 3, 8, 20 等 8 份品种，II 类包括 1, 9 2 份品种，III 类包括 16, 15, 24 等 11 份品种，IV 类包括 11, 25 等 5 份品种。

3 讨论

目前,分析植物多样性的方法除了农艺性状外,还有 SSR、RAPD、同工酶等分子标记。实践证明利用相关及通径分析的方法,研究作物(如辣椒^[8]、茄果类^[9]、黄瓜^[10]、玉米^[11])各性状之间的相互关系及其对目标性状的相对重要性,对作物育种有重要的指导意义。潘志芬等^[12]通过 SSR 标记证明了青藏高原栽培青稞具有丰富的遗传多样性。同时发现,青藏高原栽培青稞在麦芽性状、淀粉性状、病虫及裸粒等重要农艺性状存在丰富的变异,是遗传育种的宝贵资源库。李守明等^[13]证明新疆大麦各农艺性状的遗传多样性指数都较大。具有丰富的遗传多样性。本研究通过对青海省 26 个青稞主栽品种的 9 个农艺性状多样性进行分析,得到的株高、穗长、穗粒数、穗粒质量、千粒质量以及单株粒质量和李守明^[14]等研究得到结果基本一致,表明青海省青稞主栽品种的农艺性状多样性比较丰富,是青稞遗传育种的主要种质基础。孙立军等^[15]对我国 12 615 份大麦种质资源的籽粒千粒重进行鉴定与评价,与国外大麦资源进行了比较,国内品种平均千粒质量为 34.79 g,国外为 40.89 g,而供试品种千粒重平均值为 45.45 g,均高于国内和国外品种,这符合大麦千粒质量的分布特点。即高海拔、高纬度、昼夜温差大的地区,千粒质量明显偏高^[16]。

卢良恕^[17]提出优质栽培大麦种质资源应具有早熟性、矮秆、多粒、大粒等特点。本试验生育期、株高与单株粒质量相关性不显著,即生育期、株高对产量贡献不大,然而考虑到青海气候冷凉、无霜期短、日照时间短等独特的自然条件,应选择早熟、矮秆的品种,故实际育种工作中还是将生育期、株高作为重要选育指标。邓辉明等^[18]通过对两系杂交水稻产量性状的相关及通径分析得到,株高、播始历期、穗长、每穗粒数、单株穗数、结实率与单株粒重密切相关,其中株高、播始历期、穗长、每穗粒数、结实率达极显著水平,所以育种过程中在利用每穗粒数、结实率和单株穗数杂种优势的同时可以适当增加株高和延长生育期来提高产量。黄祖六等^[19]研究了 4 种生态类型的 202 个大麦品种品质性状和农艺性状的关系,决定大麦产量的主要性状是穗粒数和千粒重。李守明^[14]研究结果表明主穗长与主穗粒数相关系数为 0.216 0,呈极显著正相关。主穗粒质量与株粒质量相关系数为 0.336 7,呈极显著正相关。株粒质量与千粒重存在显著正相关,相关系数为 0.128 8。其余各性状之间没有显著或极显著正相关或负相关。谢大森等^[20]对 35 个糯玉米材料的 11 个性状进行了表型相关和通径分析,结果得到单穗质量对产量的直接作用最大,其次是生物产量。单穗质量与生物产量呈显著正相关,相关系数为 0.808 1,净穗质量与横径、穗长、轴粗呈(极)显著正相关,相关系数依次为 0.897 0、0.789 5、0.811 1。本实验相关性分析表明穗粒质量与穗粒数和千粒质量均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.679 和 0.700,与他们基本一致。

综上,青海省青稞主栽品种农艺性状多样性比较高,且聚类分析将 26 个青稞品种聚为 4 类,聚类结果在一定水平上体现品种之间的亲缘关系,可为青稞育种提供一定的科学依据。

参考文献:

- [1] 郭本兆.青海经济植物志[M].西宁:青海人民出版社,1987:701
- [2] OZCAN Ozcan A S, OZCAN Ozcan A. Adsorption of acid dyes from aqueous solutions onto acid- activated bentonite[J].

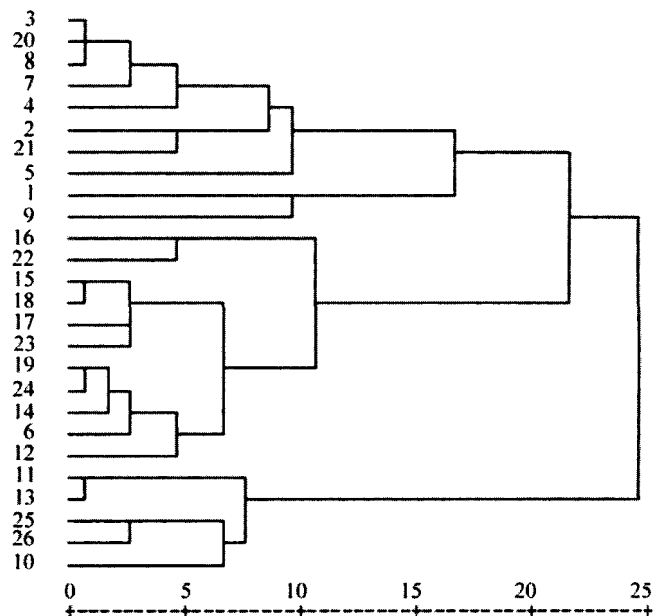


图 2 26 份青海青稞主栽品种的聚类图
Fig.2 Clustering tree of 26 Qinghai major hulless barley cultivars

- Colloid Interface Science, 2004,276:39-46.
- [3] 范拴喜,江元汝.Fenton 法的研究现状与进展[J].现代化工, 2007,27(S1): 104-107.
- [4] Dotlaci L,Hermuth J,Stehno Z, et al.Diversity in European winter wheat land races and obsolete cultivars[J]. Czech Journal of Genetics & Plant Breeding. 2000, 36(2):29-36.
- [5] Delacy I H, Skovmand B, Huerta J. Characterization of Mexican wheat land races using agronomically useful attributes[J]. Genetic Resources and Crop Evolution. 2000, 47(6):591-602.
- [6] 杨菁,迟德钊,吴昆仑,等.青海省栽培青稞 SSR 标记遗传多样性研究[J]. 安徽农业科学,2010, 38(8):4307-4309.
- [7] 金善宝.中国小麦生态[M].北京:中国科学出版社, 1997:1-4.
- [8] 何晓明,王鸣.辣椒表型相关及通径分析[J].西北农业大学学报, 1988,16(4):90-93.
- [9] 王桂英,左凤莉.茄子主要经济性状的遗传参数和通径分析[J].北京农学院学报, 1994,9(2):69-73.
- [10] 王振华.甜玉米品质性状与部分农艺性状的相关分析[J].玉米科学, 1998, 6(2):22-25.
- [11] 马德华,吕淑珍,沈文云,等.黄瓜若干性状的相关及通径分析[J].华北农学报, 1995,10(2):34-37.
- [12] 潘志芬,邹舜星,邓光兵,等.青藏高原栽培青稞 SSR 标记遗传多样性研究[J].中山大学学报, 2007,46(2):82-86.
- [13] 李守明,梁维,魏凌基,等.新疆大麦种质资源农艺性状和醇溶蛋白遗传多样性分析[J].新疆农业科学,2009,46(2):269-274.
- [14] 李守明.大麦种质资源的遗传多样性研究[D].石河子市:石河子大学,2010.
- [15] 孙立军,陆炜,张京.中国大麦种质资源鉴定评价及其利用研究[J].中国农业科学, 1999,3(22):24-31.
- [16] 孙立军.中国栽培大麦变种及其分布[J].中国农业科学,1988, 21(2): 25-31.
- [17] 卢良恕.中国大麦学[M].北京:中国农业出版社, 1996:1-4, 119-122.
- [18] 邓辉明, 皱小云,宋宇.两系杂交水稻产量性状的相关及通径分析[J].江西农业大学学报, 2005, 27(1):68-71.
- [19] 黄祖六,潘裕平.大麦品质和农艺性状的通径分析[J].扬州大学学报:自然科学版, 2003, 3(1):36-40.
- [20] 谢大森,何晓明,彭庆务,等.糯玉米主要农艺性状相关及通径分析[J].江西农业大学学报, 2003, 25(4):498-450.

(上接第 433 页)

- [22] Mao C X. Inheritance of root characters in crosses among deep-rooted and shallow-rooted rice varieties[M]//M Sc. Thesis. University of the Philippines at Los Banos, Philippines,1984:111.
- [23] Blum A. Osmotic adjustment and growth of barley cultivars under drought stress[J]. Crop Sci,1989(29):230-233.
- [24] O'Toole J C, Cruz R T.Response of leaf water potential, stomatal-resistance, and leaf rolling to water-stress[J]. Plant Physiol,1980(65):428-432.
- [25] Chang T T,Loresto G C,Tagumpay P O. Screening rice germplasm for drought resistance[J]. SABRAO J, 1974, 6(1):9-16.
- [26] Majumder S K, Murty K S. Modification of technique for determination of chlorophyll stability index in relation to studies of drought resistance in rice[J]. Current Sci,1962(31):470-471.
- [27] Gupta P C, O' Toole J C.Upland rice: a globe perspective[M]//International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, Manila, Philippines, 1986.
- [28] De Datta S K, O'Toole J C.Screening deepwater rices for drought tolerance[C]//Proceedings, 1976 deepwater rice workshop, 8-10 Nov, Bangkok, Thailand. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, 1977:83-92.
- [29] Chang T T, Loresto G C, Tagumpay O.Agronomic and growth characteristics of upland and lowland varieties[J]//Rice Breeding. IRRI, Los Banos, Philippines, 1972:645-661.
- [30] Jongdee B,Shu F K, Cooper M.Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice[J]. Field Crops Res, 2002,76:153-163.
- [31] kamoshit A, Rodriguez R, Yamauchi A.Genotypic variation in response of rainfed lowland rice to prolonged drought and rewating[J]. Plant Prod Sci, 2004 (7):406-420.
- [32] Siopongco J D L C, Yamatichi A,Salekdeh H.Growth and water use response of doubled-haploid rice lines to drought and rewating during the vegetative stage[J]. Plant Prod Sci, 2006(9):141-151.
- [33] Trillana N, Inamura T, Chaudhary R,et al.Comparison of root system development in two rice cultivars during stress recovery from drought and the plant traits for drought resistance[J]. Plant Prod Sci,2001(4):155-159.
- [34] Lee-Stadelmann O Y, Stadelmann E J. Cell permeability and water stress[C]//Lang O L, Kappen L, Schulze E-D, eds. Water and plant life: problems and modern Approaches. berlin: Springer-Verlag, 1976:268-280.