

小麦重要农艺性状在四川和青海两地的表型变异规律*

高亚婷^{1,2,3}, 刘登才^{1,3}, 张怀刚^{1,3}, 张波^{1,3},
刘宝龙^{1,3}, 李红琴^{1,2,3}, 王延谦^{1,2,3}, 赵德勇^{1,2,3}

(1. 中国科学院 西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 中国科学院 高原生物进化与适应重点实验室, 西宁 810001)

摘要 以3个遗传群体(2套DH群体, 1套RIL群体), 共435个稳定品系为试材进行表型变异规律研究。结果表明, 四川点3个群体的株高、穗长、小穗数、小穗着生密度平均值比青海点分别高5.6~7.6 cm、2.8~3.7 cm、4.0~4.9个、0.1 cm/个, 而青海点的千粒质量比四川点高6.2~28.3 g。除个别品系外, 四川点的穗长和小穗数高于青海点, 而青海点的千粒质量高于四川点。对株高而言, 当株高大于四川点的平均值时, 除个别株系外, 四川点的株高都高于青海点。同时, RIL与2个DH群体在两地的株高分布存在差异, 即RIL群体中有更高频率的品系在青海的株高高于四川点, 这可能是RIL群体存在的矮秆基因在两地的表达差异所致。

关键词 小麦; 穿梭育种; 表型

中图分类号 S512.1⁺2

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2013)02-0018-06

The Differences of Major Phenotypic Traits of Wheat Caused by Different Environments in Sichuan and Qinghai

GAO Yating^{1,2,3}, LIU Dengcai^{1,3}, ZHANG Huaigang^{1,3}, ZHANG Bo^{1,3},
LIU Baolong^{1,3}, LI Hongqin^{1,2,3}, WANG Yanqian^{1,2,3} and ZHAO Deyong^{1,2,3}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China; 3. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract A study involved 435 stable lines from three populations (two DH populations, one RIL population) indicates that the average plant height, spike length, spikelet number, spikelet density of the three populations in Sichuan are 5.6–7.6 cm, 2.8–3.7 cm, 4.0–4.9, 0.1 cm/spikelet higher than that of Qinghai, respectively. The thousand seed mass in Qinghai, however, is 6.2–28.3 g larger than that of Sichuan. The spike length and spikelet number in Sichuan are generally larger than that of Qinghai, while thousand seed mass in Qinghai is higher than that of Sichuan, with exceptions for a few lines. The plant height values of lines in Sichuan are generally higher than that of Qinghai when the plant height is higher than the average value in Sichuan. Meanwhile, differences can also be detected in both RIL and DH populations between these two sites, i. e. more lines of RIL population in Qinghai have higher plant height than that of Sichuan, this might result from expression differences of dwarf genes between these two sites.

Key words Wheat; Shuttle breeding; Phenotype

收稿日期: 2012-06-12 修回日期: 2012-11-05

基金项目: 中国科学院百人计划项目; 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX3-EW-N-02); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-05)。

第一作者: 高亚婷, 女, 硕士, 从事小麦遗传与育种研究。E-mail: qhnugyt@126.com

通信作者: 刘登才, 男, 研究员, 博士, 博士生导师, 从事小麦遗传与育种研究。E-mail: dcliu7@yahoo.com

穿梭育种(Shuttle breeding)由墨西哥国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)提出并成功用于小麦育种^[1-2]。利用穿梭育种技术,将不同世代小麦材料交替种植在海拔、纬度、降雨量等存在较大差异的不同生态环境条件下进行选育,目的是增加选育品种的广泛适应性。这一方法已被世界上一些小麦育种课题所采用,并选育出一大批小麦新品种。自1988年与CIMMYT正式达成协议以来,中国育种家利用CIMMYT和中国的育种基地交替种植选择,开展穿梭育种工作,先后选育出一批丰产、抗病的小麦新品种,并应用于生产^[3-6]。穿梭育种也成功用于水稻和玉米等作物^[7-8]。

青海春小麦区和四川冬小麦区的生态环境差异较大,两地推广小麦品种的遗传差异也较大。首先需要研究的问题是:小麦重要农艺性状在四川—青海两地种植时的表型变化规律。弄清该问题,可为四川—青海小麦穿梭育种的选择和小麦生态适应性研究提供参考。以前的初步观察表明,株高、穗长、小穗数、千粒质量可能是易于用作两地穿梭育种选择的重要性状。其中,株高尤为重要。但是以前的观察,没有进行定量分析。本试验利用3套遗传群体(2套加倍单倍体群体和1套重组自交系)的435个株系,种植在四川—青海两地,进行农艺性状比较分析,目的在于揭示其表型变化规律,为两地穿梭育种的遗传研究与育种选择提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

材料包括加倍单倍体(Double Haploid, DH)群体2套(DH1群体118个株系, DH2群体90个株系)和重组自交系(Recombinant Inbred Lines, RIL)群体(227个株系)。DH1和DH2群体株系是人工合成六倍体小麦。DH1群体的亲本为四倍体矮兰麦 AS313(*Triticum turgidum* L. ssp. *turgidum*, $2n=4x=28$, AABB), 四倍体硬粒小麦 Langdon(*T. turgidum* L. ssp. *turgidum*, $2n=4x=28$, AABB)和节节麦 AS60(*Aegilops tauschii* Cosson, $2n=2x=14$, DD)。DH2群体的亲本为四倍体圆锥麦 AS2255, 四倍体硬粒小麦 Langdon(以下简称为 LDN)和节节麦 AS60。AS为四川农业大学小麦研究所种子保存代码。四倍体小麦杂交产生的杂种 AS313/

LDN、AS2255/LDN 分别作为母本,与父本节节麦 AS60 远缘杂交获得 AS313/LDN//AS60 和 AS2255/LDN//AS60 组合的单倍体杂种,这些单倍体植株自交^[9],通过未减数配子的作用^[10-12],实现染色体组自动加倍,获得具有 AABBDD 基因组的 DH 群体。AS313/LDN//AS60 和 AS2255/LDN//AS60 组合分别产生了 DH1 群体和 DH2 群体。RIL 群体是由小麦推广品种川麦 32 作父本与人工合成小麦 SHW-L1(由四倍体小麦 AS2255 与节节麦 AS60 远缘杂交得到)杂交^[13],经单粒传连续自交直到纯合所产生的 F₈ 稳定株系(表 1)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 分别选取四川省成都市温江区惠民社区(以下简称四川点,冬麦区)和青海省平安县黎明村(以下简称青海点,春麦区)的2个试验点种植材料。四川点的纬度为 30.7°,经度为 103.9°,海拔为 530 m,该试验点雨量丰富、潮湿。青海点的纬度为 36.4°,经度为 101.9°,海拔 2 440 m,该试验点雨量少、干燥。2 个试验点纬度相差 5.7°,经度相差 2.0°,海拔相差 1 910 m,自然气候条件差异较大。青海点于 2011 年 3 月底种植,8 月收获;四川点于 2010 年 10 月底种植,2011 年 5 月收获。种植时间与本地小麦推广品种相同。每个株系种植 1 行,行长 2 m,行距 0.2 m(青海)或 0.3 m(四川),设 3 次重复,试验田四周均设保护行。播种前要求整地精细、墒情良好,出苗后适时间苗、定苗,麦田的管理同生产条件下的大田管理一致。

1.2.2 农艺性状调查 收获时随机从每个株系中选取 10 个单株,少数材料因未出苗等原因少于 10 株,考察单株株高(从地面至主穗顶端,不包括

表 1 供试材料及来源

Table 1 Test material and their origin

材料 Material	来源 Origin
DH1	AS313/LDN//AS60
DH2	AS2255/LDN//AS60
RIL	AS2255/AS60//川麦 32

注:DH1、DH2 和 RIL 分别代表 DH1、DH2 和 RIL 群体。AS 为四川农业大学小麦研究所种子保存代码。

Note: DH1, DH2 and RIL stand for DH1 population, DH2 population and RIL population, respectively. AS is the storage code named by Triticeae Research Institute of Sichuan Agricultural University.

芒)、小穗数(主穗小穗数)、穗长(不包括芒)等农艺性状。收获后,随机取种子称量,计算出千粒质量。小穗着生密度=穗长/小穗数。

1.3 统计分析方法

采用软件 Microsoft Office Excel 2003 进行数据收集及整理。采用 SPSS 16.0 for windows 进行方差分析与相关性分析。

2 结果与分析

2.1 2 种环境下 3 套遗传群体平均值

在 2 个试验点,由于晚熟、未抽穗等原因,一些株系的资料被舍去后,DH1 群体 114 个株系,DH2 群体 86 个株系,RIL 群体 190 个株系的考种资料用于进一步分析。对这 390 个供试材料的 5 个农艺性状在两试验点的变异进行比较,结果表明,3 个群体除千粒质量外,其余性状的平均值均为四川点高于青海点(表 2)。四川点 3 个群体株高、穗长、小穗数、小穗着生密度的平均值比青海点分别高 5.6~7.6 cm、2.8~3.7 cm、4.0~4.9 个、0.1 cm/个,千粒质量青海点比四川点高 6.2~28.3 g。经成对数据 *t* 检验,结果表明,除 DH2 和 RIL 群体的小穗着生密度在两点间差异未达显著水平外,其余性状两点间均存在极显著差异($P < 0.01$)。

2.2 2 种环境下各株系的表型性状差异分布频率

根据每个株系各性状在两地间的成对数据 *t*

检验结果,得到各性状在 0.05 和 0.01 显著水平存在差异的品系所占比例(表 3),发现 3 个群体各性状表现出类似的趋势,按存在显著差异的品系比例排序,表现为小穗数>穗长>株高>小穗着生密度;另一方面,3 个群体的株高分布比例为 RIL>DH1>DH2;穗长和小穗数均为 DH1>DH2>RIL;小穗着生密度为 RIL>DH2>DH1。这表明,不同遗传群体性状在 2 种环境下的表现存在差异。

2.3 2 种环境下性状相关性

由表 4 可见,DH1 群体 2 地性状存在正相关,其中相关系数依次表现为小穗着生密度(0.348)>千粒质量(0.341)>小穗数(0.222)>株高(0.184)>穗长(0.116);DH2 群体各农艺性状均未达到显著水平;RIL 群体两地性状也存在正相关,表现为株高(0.423)>穗长(0.251)>小穗数(0.217)>千粒质量(0.203)>小穗着生密度(0.085)。但是,不同群体的不同性状在两地的相关程度存在差异,表明,存在环境或基因型-环境互作影响。

2.4 2 个试验点各株系的农艺性状

总体来说,DH1 和 DH2 群体的株高比 RIL 群体高,而且四川点 3 个群体多数品系的株高比青海点高。当株高大于四川点的平均值(DH1、DH2、RIL 依次为 127.7、128.6、107.7 cm,图 1 箭头)时,除少数株系以外,四川点的株高都高于

表 2 2 种环境下农艺性状平均值、变幅与差异显著性

Table 2 Mean, range and difference significance of agronomic traits in two environments

性状 Trait	地点 Location	平均值(变幅) Mean (Range)		
		DH1	DH2	RIL
株高/cm	青海 Qinghai	120.1 (83.0~141.2)**	123.0 (103.5~146.5)**	101.1 (61.5~143.3)**
Plant height	四川 Sichuan	127.7 (112.3~144.2)	128.6 (107.0~151.2)	107.7 (56.6~148.7)
穗长/cm	青海 Qinghai	11.0 (8.4~13.2)**	11.3 (9.0~21.2)**	10.0 (6.2~15.3)**
Spike length	四川 Sichuan	14.7 (12.0~18.1)	14.7 (10.9~18.2)	12.8 (7.9~22.8)
小穗数	青海 Qinghai	15.4 (13.1~18.1)**	15.4 (12.3~24.3)**	15.4 (11.1~22.6)**
Spikelet number	四川 Sichuan	19.4 (16.2~22.8)	19.5 (16.8~22.0)	20.3 (15.0~26.4)
小穗着生密度/(cm/个)	青海 Qinghai	0.7 (0.6~0.8)**	0.7 (0.6~1.6)	0.7 (0.4~1.0)
Density of spikelet	四川 Sichuan	0.8 (0.6~0.9)	0.8 (0.6~0.9)	0.8 (0.4~0.9)
千粒质量/g	青海 Qinghai	47.7 (38.0~56.0)**	49.1 (40.0~58.0)**	46.2 (24.0~70.0)**
Thousand seed mass	四川 Sichuan	41.5 (32.4~52.8)	20.8 (13.2~34.1)	31.1 (12.0~52.3)

注: ** 表示 0.01 显著水平。2011 年缺乏 DH2 群体四川点的千粒质量,使用的是 2009 年四川的资料,但由于当年条锈病的严重危害,该千粒质量值显著偏低

Note: ** represent differences significant at 0.01 level. Because of the lack of the data of DH2 population in the year 2011 in Sichuan, we used the data of thousand seed mass in the year of 2009 in Sichuan as an alternative. In 2009 the stripe rust was very serious, so the thousand seed mass was generally lower

青海点。同时,RIL 与 2 个 DH 群体两地的分布存在差异,RIL 群体中有更高频率的品系在青海的株高高于四川点(图 1)。

四川点绝大多数品系的穗长比青海点长。DH1、DH2、RIL 群体分别有 100%、96.51%、91.59% 株系的穗长在青海点降低。类似地,四川点绝大多数品系的小穗数比青海点多。DH1、DH2、RIL 群体在青海点分别有 100%、98.84%、

95.78% 的株系小穗数较四川点降低。

DH1、DH2 群体多数品系的小穗着生密度在青海点比四川点降低,分别占 78.08%、67.44%。但是,RIL 群体 65.78% 的品系在青海点比四川点增加。

青海点的千粒质量普遍大于四川点,DH1、DH2、RIL 群体分别有 89.19%、100%、93.41% 的株系千粒质量高于四川点。

表 3 株系表型性状在 2 个试验点间的差异显著性分布频率

Table 3 Distribution ratio of lines with significant differences between two locations

性状 Trait	DH1			DH2			RIL		
	$P < 0.05$	$P < 0.01$	不显著 Not significant	$P < 0.05$	$P < 0.01$	不显著 Not significant	$P < 0.05$	$P < 0.01$	不显著 Not significant
株高 Plant height	16.67	39.47	43.86	13.95	40.70	45.35	10.58	59.26	30.16
穗长 Spike length	7.89	86.84	5.26	5.81	84.88	9.30	14.81	65.08	20.11
小穗数 Spikelet number	7.02	88.60	4.39	5.81	88.37	5.81	4.76	82.54	12.70
小穗着生密度 Density of spikelet	12.28	23.68	64.04	18.60	18.60	62.79	13.76	42.86	43.39

注:表中 0.05 显著水平不包括 0.01 水平上的显著

Note: The differences significant at 0.05 level does not include the level at 0.01 in this table

表 4 3 个群体各农艺性状在 2 个试验点间的相关性

Table 4 Correlations of agronomic traits of three populations in two locations

材料 Material	相关系数 Correlation coefficient				
	株高 Plant height	穗长 Spike length	小穗数 Spikelet number	小穗着生密度 Density of spikelet	千粒质量 Thousand seed mass
DH1	0.184	0.116	0.222*	0.348**	0.341**
DH2	0.132	-0.193	0.14	-0.031	0.124
RIL	0.423**	0.251**	0.217**	0.085	0.203**

注:* 表示 0.05 显著水平,** 表示 0.01 显著水平

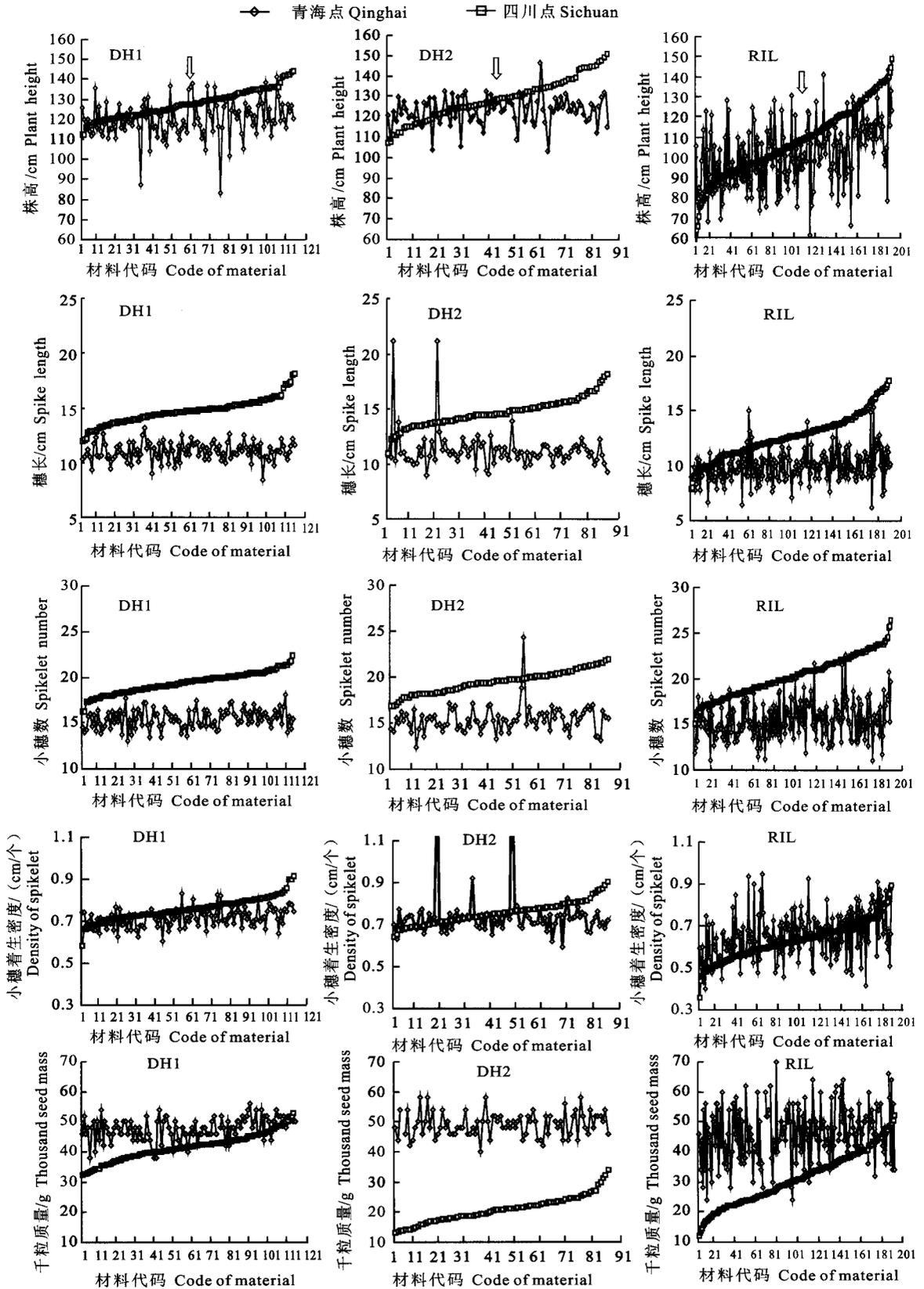
Note: *, ** represent differences significant at 0.05 and 0.01 level, respectively

3 讨论

DH1 群体比 DH2 群体株高高低的原因可能在于:DH1 的四倍体亲本矮秆麦 AS313 比 DH2 群体的四倍体亲本圆锥麦 AS2255 株高低 10 cm 左右,前者可能有对降低株高作用较弱的矮秆基因。RIL 的亲本高秆小麦 SHW-L1 比矮秆小麦品种亲本川麦 32 高 30 cm 左右,RIL 群体的平均株高介于 2 个亲本间,RIL 各株系在两地的株高分布规律与 DH1 和 DH2 群体存在很大差异,这可能是川麦 32 的矮秆基因在两地的表达差异所致。为了阐明该问题,有必要研究矮秆基因在两地的表达情况。这样的研究,对进一步认识矮秆基因在不同生态条件下的育种学价值有重要指导

意义。

5 个农艺性状的平均值进行比较,结果表明,只有千粒质量在青海点呈增加趋势,这可能与气候因子有关:一是青海昼夜温差大,白天温度较高,适于进行光合作用,有机物质合成较多,夜晚温度较低,呼吸作用减弱,干物质消耗少,利于有机物的积累。有研究指出温差每增加 1℃,千粒质量提高 0.655 3 g^[14]。二是青海光照时间长、光照强度大且灌浆期间温度不高,灌浆时间长,有利于更多地积累同化产物^[15]。三是少雨干燥气候,气候变化是小麦千粒质量形成的关键因素,尤其是灌浆期降水越多,千粒质量越小,阴雨日数越少,千粒质量越大,阴雨日数每增加 3.14 d,千粒质量就下降 1.122 6 g^[14]。再者,在小麦整个



箭头所指位点为四川点株高的平均值 The arrow represents the average of plant height in Sichuan

图 1 2种生态环境下3个群体各农艺性状的表现

Fig. 1 Performance of agronomic traits of three populations in two environments

生育期,干燥低温的环境不利于条锈病、白粉病的发生,而四川由于雨量充沛、湿度大、平均气温较高,容易导致病害发生,影响粒质量。

本研究仅涉及遗传材料,未涉及两地推广品种。由于两地的小麦推广品种分别对当地的生态环境有较好的适应性,可能在育种选择过程中,保留了地方适应性的关键基因。因此,很有必要进一步对两地小麦推广品种进行相关研究。

参考文献:

- [1] Borlaug N E. Wheat breeding and its impact on world food supply[C]//Proceedings of the 3rd International Wheat Genetics Symposium. Canberra Australia: Australian Academy of Sciences, 1968: 1-36.
- [2] Kronstad W E, Rajaram S. Winter X spring germplasm management and exploitation[C]//Proceedings of the 6th Assembly of the Wheat Breeding. Tamworth: Australia Society of Australia, 1990: 123-130.
- [3] YAO Jinbao (姚金保), ZHOU Chaofei (周朝飞), QIAN Cunming (钱存鸣), *et al.*. The progress of the shuttling breeding program between Jiangsu and CIMMYT[J]. *Tritical Crops (麦类作物学报)*, 1998, 18(5): 14-16 (in Chinese with English abstract).
- [4] HUANG Gang (黄 钢), ZOU Yuchun (邹裕春), TANG Yonglu (汤永禄), *et al.*. The cooperative study on agronomy in wheat shuttle breeding between CIMMYT and SAAS [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences (西南农业学报)*, 2007(2): 191-198 (in Chinese with English abstract).
- [5] ZOU Yuchun (邹裕春), YANG Wuyun (杨武云), ZHU Huazhong (朱华忠), *et al.*. Utilization of CIMMYT germplasm and breeding technologies in wheat improvement in Sichuan, China[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences (西南农业学报)*, 2007, 20(2): 183-190 (in Chinese with English abstract).
- [6] ZOU Yuchun (邹裕春), ZHANG Yong (张 颢), YANG Wuyun (杨武云), *et al.*. Reviews and prospects of Sichuan-CIMMYT wheat shuttle breeding program [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences (西南农业学报)*, 2003(3): 102-106 (in Chinese with English abstract).
- [7] KE Yongpei (柯永培), YUAN Jichao (袁继超), PAN Guangtang (潘光堂), *et al.*. Breeding of high starch maize Zhenghong 211 by chemical induction[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences (核农学报)*, 2007, 21(1): 5-8 (in Chinese with English abstract).
- [8] LÜ Zitong (吕子同), TANG Shaoqing (唐绍清), MIN Shaokai (闵绍楷). Selection efficiency of rice shuttle breeding method[J]. *Chinese Journal of Rice Science (中国水稻科学)*, 1992, 6(1): 15-20 (in Chinese with English abstract).
- [9] ZHANG Lianquan, ZHANG Li, LUO Jiangtao, *et al.*. Synthesizing double haploid hexaploid wheat populations based on a spontaneous allopolyploidization process [J]. *J Genet Genomics*, 2011, 38(2): 89-94.
- [10] ZHANG Lianquan, ZHENG Youliang, *et al.*. Meiotic restriction in emmer wheat is controlled by one or more nuclear genes that continue to function in derived lines [J]. *Sexual Plant Reproduction*, 2007, 20(3): 159-166.
- [11] ZHANG Lianquan, LIU Dengcai, ZHENG Youliang, *et al.*. Frequent occurrence of unreduced gametes in *Triticum turgidum-Aegilops tauschii* hybrids [J]. *Euphytica*, 2010, 172(2): 285-294.
- [12] ZHANG Lianquan, CHEN Qijiao, YUAN Zhongwei, *et al.*. Production of aneuploid and euploid sporocytes by meiotic restitution in fertile hybrids between durum wheat Langdon chromosome substitution lines and *Aegilops tauschii* [J]. *Journal of Genetics and Genomics*, 2008, 35(10): 617-623.
- [13] ZHANG Lianquan, LIU Dengcai, YAN Zehong, *et al.*. Rapid changes of microsatellite flanking sequence in the allopolyploidization of new synthesized hexaploid wheat [J]. *Science in China Ser: C Life Science*, 2004(2): 121-128.
- [14] MA Tishun (马体顺), MA Qingrong (马青荣), YANG Guangxian (杨光仙), *et al.*. Study on climate-ecological factor effect on thousand-seed weight of winter wheat [J]. *Meteorology of Henan (河南气象)*, 2006(3): 56-57 (in Chinese with English abstract).
- [15] YU Chaoqing (喻朝庆), ZHANG Yiguang (张谊光), ZHOU Yunhua (周允华), *et al.*. Analysis of agro-ecological environmental factors on the causes for high-yield wheat in Qinghai-Xizang plateau [J]. *Journal of Natural Resources (自然资源学报)*, 1998, 13(2): 97-103 (in Chinese with English abstract).