

网络出版时间:2015-4-7

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1359.S.20150407.1124.005.html>

青海小麦品种的种子表型性状分析

王寒冬^{1,2,3}, 张波^{1,3}, 陈文杰^{1,3}, 刘宝龙^{1,3}, 刘登才^{1,3}, 张怀刚^{1,3}

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

摘要: 为充分了解青海省小麦品种的种子表型性状特征及其相关性, 以 1957 年以来审定的 66 个小麦品种为研究对象, 在青海小麦高产区(柴达木盆地)对种子长、宽、长宽比、面积、密度指数和千粒重 6 个种子表型性状的 3 年数据进行了比较分析。结果表明, 依据种子表型性状可以将这些品种聚为 4 个类群; 千粒重与种子长宽比显著相关, 与其他 4 个性状极显著相关, 这些性状均可以作为千粒重选择的指标; 不同阶段审定品种的千粒重变化不大, 说明青海省在千粒重方面育种改良效果不明显, 在今后的育种工作中有待加强; 3 年平均千粒重超过 60 g 的品种有 4 个, 它们为高千粒重育种提供了资源。

关键词: 小麦; 种子表型性状; 相关分析; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S512.1; S338

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2015)04-0471-08

Phenotypic Analysis of Grain Traits of Wheat Cultivars Registered in Qinghai Province

WANG Handong^{1,2,3}, ZHANG Bo^{1,3}, CHEN Wenjie^{1,3},
LIU Baolong^{1,3}, LIU Dengcai^{1,3}, ZHANG Huaigang^{1,3}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810001, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Key Laboratory of Adaption and Evolution of Plateau Biota, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810001, China)

Abstract: In order to systematically understand the characteristics and their correlation of grain phenotypic traits, six grain traits (length, width, length/width ratio, area, density index, and thousand-grain-weight) of 66 wheat cultivars registered in Qinghai province from 1957 to 2009 were analyzed. The materials were planted in a high yield region (Qaidam Basin) in Qinghai province for three years. These cultivars were clustered into four groups based on grain traits. Thousand-grain-weight was significantly correlated with length/width ratio and highly significantly correlated with the rest of four traits, which indicated that the above parameters could be used as indicators for thousand-grain-weight selection. There was no obvious change among cultivars released in different stages, which indicated that the selection effects on thousand-grain-weight was weak in the past decades in Qinghai province. More work need to be done to improve thousand-grain-weight. Four cultivars with thousand-grain-weight over 60 g are important germplasms for wheat breeding.

Key words: Wheat; Grain phenotypic traits; Correlation analysis; Principle component analysis; Cluster analysis

收稿日期: 2014-11-07 修回日期: 2015-01-16

基金项目: 中国科学院战略性科技先导专项(A类)分子模块设计育种创新体系(XDA08030106); 中国科学院百人计划项目(B0217); 青海省科技计划项目(2011-Z-716; 2013-Z-942Q)

第一作者 E-mail: whd090301@163.com

通讯作者: 刘登才(E-mail: deliu7@yahoo.com)

普通小麦(*Triticum aestivum* L., $2n=6x=42, AABBDD$)是超过 40 个国家和 35% 的世界人口的主粮, 为人类提供的能量和蛋白质营养超过总量的 20%^[1]。小麦产量可以剖分成两个因子: 种子数量和每粒种子的重量。在过去的几十年间, 我国小麦主产区的产量提高很大程度上依赖于粒重的增加^[2]。种子长度、宽度、面积和密度等是影响粒重的重要表型性状, 也是影响种子品质和植株生长势等性状的重要因素^[3-5]。精细剖分这些表型性状, 对进一步改良粒重有重要价值。但是, 由于鉴定这些复杂的表型性状费时、费工和准确性差, 所以关于小麦种子的相关表型性状研究较少。近年来发展的种子表型自动分析设备为解决该问题提供了简便方法^[6], 并成功应用于小麦种子性状的测定^[7-9]。

地处青藏高原东北部的青海省, 海拔高, 降水少, 主要为春麦区。春小麦是青海省的主要粮食作物。青海的许多地区日照时间长, 大部分地区日照时数在 2 300~3 600 h, 太阳辐射强度大, 光

能资源非常丰富, 昼夜温差大, 这对促进光合作用、加速有机物的形成、转化和贮存极为有利, 适宜于大粒的形成, 因此单位面积产量较高, 是春小麦生产的高产区。高原 338 在青海省海西州都兰县香日德农场(现为香巴管理委员会)曾创造了亩产 1 013.05 kg 的春小麦单产最高纪录^[10-11]。

本研究通过在香巴管理委员会辖区的三年种植试验, 对青海省 1957 年以来审定的 66 个小麦品种的种子表型性状进行分析, 以了解不同时期选育品种的种子表型性状特征及其相关性, 为青海省小麦种质利用和遗传改良提供参考。同时, 在该特殊生态区获得的研究资料可以为其他地区超高产小麦品种的选育提供信息。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为青海省 1957 年至 2009 年审定的 66 个小麦品种, 均由中国科学院西北高原生物研究所农业研究中心提供(表 1)。

表 1 供试小麦品种及审定年代

Table 1 Wheat cultivars and their registered periods

年代 Period	品种数 Number of materials	品种名称 Cultivar
20 世纪 80 年代前 Before 1980 s	6	阿勃 Abo、高原 182 Gaoyuan 182、香农 3 号 Xiangnong 3、墨波 Mobo、高原 506 Gaoyuan 506、互助红 Huzhuhong
20 世纪 80 年代 1980s	12	高原 338 Gaoyuan 338、青农 524 Qingnong 524、青农 469 Qingnong 469、瀚海 304 Hanhai 304、高原 602 Gaoyuan 602、互麦 11 Humai 11、互麦 12 Humai 12、柴春 044 Chaichun 044、青春 533 Qingchun 533、柴春 236 Chaichun 236、新哲 9 号 Xinzhe 9、柴春 018 Chaichun 018
20 世纪 90 年代 1990s	22	高原 466 Gaoyuan 466、高原 465 Gaoyuan 465、青春 415 Qingchun 415、东春 1 号 Dongchun 1、青春 891 Qingchun 891、柴春 901 Chaichun 901、高原 356 Gaoyuan 356、高原 158 Gaoyuan 158、张春 811 Zhangchun 811、青春 570 Qingchun 570、青春 254 Qingchun 254、高原 V028 Gaoyuan V028、民和 853 Minhe 853、乐麦 5 号 Lemai 5、高原 205 Gaoyuan 205、高原 175 Gaoyuan 175、高原 913 Gaoyuan 913、高原 584 Gaoyuan 584、高原 932 Gaoyuan 932、民和 588 Minhe 588、高原 363 Gaoyuan 363、高原 448 Gaoyuan 448
本世纪 10 年 2000s	26	互麦 13 Humai 13、青春 587 Qingchun 587、高原 671 Gaoyuan 671、青春 952 Qingchun 952、高原 314 Gaoyuan 314、民和 665 Minhe 665、高原 115 Gaoyuan 115、兰天 3 号 Lantian 3、高原 142 Gaoyuan 142、乐麦 6 号 Lemai 6、青春 144 Qingchun 144、宁春 26 Ningchun 26、墨引 1 号 Moyin 1、墨引 2 号 Moyin 2、互麦 14 Humai 14、甘春 20 号 Ganchun 20、山旱 901 Shanhan 901、源卓 3 号 Yuanzhuo 3、互麦 15 Humai 15、通麦 1 号 Tongmai 1、青春 37 Qingchun 37、青春 38 Qingchun 38、青春 39 Qingchun 39、曹选 5 号 Caoxuan 5、高原 437 Gaoyuan 437、高原 412 Gaoyuan 412

1.2 试验方法

1.2.1 田间试验

试验材料于 2010 年、2012 年和 2013 年采用随机区组设计种植于青海省海西州都兰县香日德镇香巴管理委员会辖区试验地。每个品种设 3 个重复, 每个重复种植 2 行, 行长 2 m, 行距 20 cm, 每行 30 粒种子, 常规田间管理, 成熟后收获种子。

1.2.2 种子表型性状测定

收获的种子进行随机取样, 每个材料取 250~300 粒种子, 用 MARVIN 种子分析仪(产自德国, 型号为 MARVIN-通用型)测定种子的面积、长度和宽度 3 个主要参数, 每个样品测 3 个重复。千粒重用万分之一电子天平测定, 每次随机取 200 粒种子称重, 每个样品测定 3 次重复, 然后换

算成千粒重。最后,计算长宽比和密度指数。其中,密度指数=单粒重/(长×宽)^[12]。

1.3 数据分析

利用 Microsoft Excel 2007 计算供试材料表型性状数据的总体平均数(\bar{X})和标准差(σ),利用 SAS 8.0 软件对各表型性状数据进行相关性分析、主成分分析,并利用 SPSS 19 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 种子表型性状比较分析

66 个小麦品种的 6 个种子主要表型性状参数见表 2。总体上看,供试材料的千粒重高,3 年测定的平均值为 50.61 g,千粒重超过 56 g 的品种有 10 个,占供试小麦品种的 15.15%,最大的品种高原 175 千粒重达 66.17 g。此外,千粒重超

过 60 g 的品种还有高原 182、高原 465 和高原 363。这 4 个千粒重超过 60 g 的品种种子面积也是最大的,均超过 23 mm²,这得益于它们的种子更长(超过 7.1 mm),且种子更宽(超过 3.7 mm)(表 3)。创造春小麦单产最高纪录高原 338 的指标排名靠前,其中千粒重排第 5 位(58.92 g),种子面积排第 6 位(22.58 mm²),种子长度排第 5 (7.38 mm),种子宽度(3.70 mm)排第 9。

变异系数表示性状离散程度,变异系数越大则表明离散程度越大^[13]。在种子 6 个表型性状中(表 2),千粒重的变异系数最大,达 10.95%,变异范围为 39.33~66.17 g,其次为种子面积,说明供试材料种子的面积和千粒重遗传变异较大。种子宽度变异系数最小,表明该性状在不同品种间的变异最小。

表 2 供试小麦品种的主要种子性状参数

Table 2 Main parameters of grain traits of wheat cultivars

性状 Trait	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	平均值±标准差 Average±SD	变异系数 CV/%
面积 Area/mm ²	24.78	16.45	8.33	20.09±1.71	8.51
长度 Length/mm	7.88	5.82	2.07	6.74±0.41	6.15
宽度 Width/mm	3.88	3.15	0.73	3.55±0.15	4.19
长宽比 L/W ratio	2.15	1.65	0.50	1.90±0.11	5.76
千粒重 Thousand grain weight/g	66.17	39.33	26.83	50.61±5.54	10.95
密度指数 Density index	0.002 3	0.001 9	0.000 4	0.002 1±0.000 1	4.15

表 3 种子表型性状最大的 10 个品种及其对应值

Table 3 Ten cultivars with the highest value of grain phenotypic traits

品种 Cultivar	千粒重 Thousand grain weight/g	品种 Cultivar	面积 Area/mm ²
高原 175 Gaoyuan 175	66.17	高原 175 Gaoyuan 175	24.78
高原 182 Gaoyuan 182	65.17	高原 363 Gaoyuan 363	24.67
高原 465 Gaoyuan 465	61.33	高原 182 Gaoyuan 182	24.03
高原 363 Gaoyuan 363	61.00	高原 465 Gaoyuan 465	23.40
高原 338 Gaoyuan 338	58.92	高原 671 Gaoyuan 671	22.60
山旱 901 Shanhan 901	58.17	高原 338 Gaoyuan 338	22.58
高原 671 Gaoyuan 671	58.08	柴春 018 Chaichun 018	22.50
甘春 20 号 Ganchun 20	57.75	青春 415 Qingchun 415	22.17
青春 415 Qingchun 415	57.00	香农 3 号 Xiangnong 3	22.15
高原 506 Gaoyuan 506	56.50	青农 524 Qingnong 524	21.97

品种 Cultivar	长度 Length/mm	品种 Cultivar	宽度 Width/mm
高原 363 Gaoyuan 363	7.88	高原 465 Gaoyuan 465	3.88
高原 175 Gaoyuan 175	7.73	高原 175 Gaoyuan 175	3.85
高原 182 Gaoyuan 182	7.70	青春 415 Qingchun 415	3.77
高原 671 Gaoyuan 671	7.55	高原 363 Gaoyuan 363	3.75
高原 338 Gaoyuan 338	7.38	高原 465 Gaoyuan 466	3.75
香农 3 号 Xiangnong 3	7.38	高原 182 Gaoyuan 182	3.73
柴春 018 Chaichun 018	7.25	柴春 018 Chaichun 018	3.73
高原 115 Gaoyuan 115	7.23	民和 665 Minhe 665	3.72
高原 465 Gaoyuan 465	7.18	高原 338 Gaoyuan 338	3.70
青农 524 Qingnong 524	7.15	高原 584 Gaoyuan 584	3.70

表 4 不同年代品种的种子表型性状比较
Table 4 Comparison of grain traits of cultivars from different periods

性状 Trait	年代 Period			
	1957—1979	1981—1989	1990—1999	2000—2009
面积 Area/mm ²	20.49±2.44a	19.77±1.82a	20.51±1.83a	19.77±1.33a
宽度 Width/mm	3.49±0.17a	3.53±0.15a	3.58±0.15a	3.53±0.13a
长度 Length/mm	6.95±0.58a	6.66±0.42a	6.81±0.43a	6.66±0.34a
长宽比 L/W ratio	1.98±0.12a	1.88±0.07b	1.90±0.11ab	1.88±0.10b
密度指数 Density index	0.002 12±0.000 11a	0.002 10±0.000 06a	0.002 12±0.000 09a	0.002 09±0.000 09a
千粒重 Thousand grain weight/g	51.84±7.95a	49.61±5.68a	52.08±5.71a	49.54±4.66a

同行数字后无相同字母表示同一种子性状在不同年代间差异显著 ($P < 0.05$)

Values in the same row followed by a different letter are significantly different ($P < 0.05$)

在 4 个不同阶段审定品种的种子表型性状比较分析发现,除了种子长宽比在 5% 显著水平上存在差异外,其他 5 个性状不存在显著差异(表 4)。说明从整体上看,对这些性状的育种改良效果不明显。种子长宽比的差异主要是由于 20 世纪 80 年代以后的品种宽度少量增加,导致长宽比降低。

2.2 表型性状的相关性分析

对供试材料的表型性状相关分析表明(表 5),在 6 个性状中,只有密度指数与种子长度、长宽比之间的相关性没有达到显著水平。种子面积

与其他 5 个性状间的相关性均达到极显著水平;千粒重除与长宽比显著相关外,与其他 4 个性状间的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$),并且千粒重与种子面积、种子长度和种子宽度的相关系数分别达到了 0.94、0.80 和 0.79,均超过了 0.75,存在极显著正相关,说明种子面积越大,种子越长,种子越宽,则千粒重越大。千粒重是小麦常规育种中一个极为重要的育种目标,在小麦育种实践中可以把种子的面积、长和宽这 3 个直观性状作为其选择指标。

表 5 6 个种子性状相关性分析结果
Table 5 Correlation analysis of 6 grain traits

性状 Trait	面积 Area	宽度 Width	长度 Length	长宽比 L/W ratio	密度指数 Density index	千粒重 Thousand grain weight
面积 Area	1					
宽度 Width	0.77**	1				
长度 Length	0.90**	0.43**	1			
长宽比 L/W ratio	0.38**	0.31**	0.74**	1		
密度指数 Density index	0.32**	0.44**	0.13	-0.19	1	
千粒重 Thousand grain weight	0.94**	0.80**	0.79**	0.25*	0.63**	1

** 表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关

** represent significance at 0.01 level; * represent significance at 0.05 level

2.3 种子表型性状的主成分分析

所分析的 6 个性状之间存在很强的相关性(表 5)。为了更充分地揭示种子表型性状中起主导作用的综合指标,对 6 个性状进行了主成分分析,并计算出相关矩阵的特征根、相应的特征向量及特征根的累计贡献率(表 6)。前 3 个特征值的

累积贡献率达到 99.86%,认为这 3 个主成分已经可以概括绝大部分相关信息。

主成分 1 的特征值为 3.65,贡献率占 60.90%,对应的特征向量中以种子面积、种子长度、种子宽度和千粒重的分量值较高。以此向量作为线性组合系数而得到的综合指标如果较大,

则对应小麦品种的种子面积大,长度长,宽度较宽,且千粒重较高,有利于小麦产量的提高,因此,在小麦的高产育种时,应考虑该主成分的适当加大;主成分 2 的特征向量中,种子长、宽和长宽比的分量值较高,其中,种子宽和千粒重对第二主成分有负向作用,以此向量作为线性组合系数而得到的综合指标如果较大,则表现出种子长宽比较大且长度较长,但种子宽度和千粒重反而会降低,考虑到种子宽度和千粒重的降低会影响小麦的产量,因此,在小麦育种时,该主成分不易过大;主成分 3 的特征向量中,密度指数的特征向量值最大为 0.79,种子面积、长度和宽度的特征向量值皆为负数,以此向量作为线性组合系数而得到的综合指标如果较大,则密度指数较大,而种子的面积、长度和宽度较小,可能会导致小麦产量的降低,因此,在小麦育种时,该主成分应当愈小愈好。从 66 个小麦品种种子表型性状主成分分析结果来看,在小麦的高产育种时,应注意第一主成分适当加大,第二主成分大小中等,第三主成分尽量减小的综合考虑。

2.4 基于种子表型性状的聚类分析

利用欧式平均距离,采用系统聚类中的离差平方和法(Word'S method),对 66 个小麦品种进行聚类,结果见图 1。在欧氏距离为 7.5 处,将供试材料分为 4 大类群,第 I 类群占供试材料的 34.85%,虽然是其中最大的一个类群,但该类群种子最小,种子密度指数也是最小,千粒重平均值只有 46.21 g;第 II 类群占供试材料的 22.73%,该类群供试材料种子中等偏小,千粒重平均值较第 I 类群高 2.09 g;第 III 类群占供试材料的 25.75%,该类群种子大小中等,种子密度指数最大,千粒重平均值为 54.62 g;第 IV 类群占供试材料的 16.67%,该类群种子最大,千粒重平均值达到 57.32 g。在聚类分析过程中,具有较近亲缘关系的供试品种大多被聚为一类,如乐麦 5 号和乐麦 6 号均是从阿勃中系统选育而成的,它们都被聚在第 II 类群的同一个小类群里;同样,具有同一育种母本(加拿大红麦 Consensus)的青春 38 和青春 39 也是被聚在第 II 类群的同一个小类群里。

表 6 入选主成分因子的特征值与特征向量

Table 6 Eigenvalues and eigenvectors of the selected principal component factors

主成分因子 Principal component factor	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3
特征值 Eigenvalue	3.65	1.68	0.65
贡献率 Proportion/%	60.90	28.07	10.89
累积贡献率 Cumulative proportion/%	60.90	88.97	99.86
面积 Area	0.51	0.06	-0.22
宽度 Width	0.40	-0.40	-0.37
长度 Length	0.46	0.37	-0.04
长宽比 L/W ratio	0.19	0.69	0.30
密度指数 Density index	0.26	-0.25	0.79
千粒重 Thousand grain weight	0.52	-0.11	0.11

3 讨论

金善宝等^[14]通过对我国先后育成的 2 146 个品种和品系进行分析,发现在平均千粒重方面,20 世纪 70 年代品种比 20 世纪 50 年代初期品种增加了 9.1 g。俞世蓉等^[15]研究表明,在淮南地区 20 世纪 80 年代中期育成品种与 20 世纪 70 年代前期育成品种相比,千粒重有所增加。李健明^[16]研究表明,在山东省 20 世纪 80 年代以前小麦品种千粒重的增加幅度较大,20 世纪 90 年代则趋

于稳定,其他麦区如河南、陕西、江苏和四川等地品种的千粒重也有类似变化趋势。宿振起^[17]研究发现,种植于洛阳农科院试验站的小麦微核心及部分核心种质育成品种千粒重从 20 世纪 50 年代到 20 世纪 90 年代随育种年代的推进而逐渐递增。曹廷杰等^[18]对河南省小麦区域试验冬水组共计 566 个参试品种连续 21 年的试验数据进行了分析,发现千粒重呈增加趋势,平均每年增加 0.39 g,达到极显著水平;这些参试品种的产量构成三要素对产量的直接贡献大小顺序依次为千粒

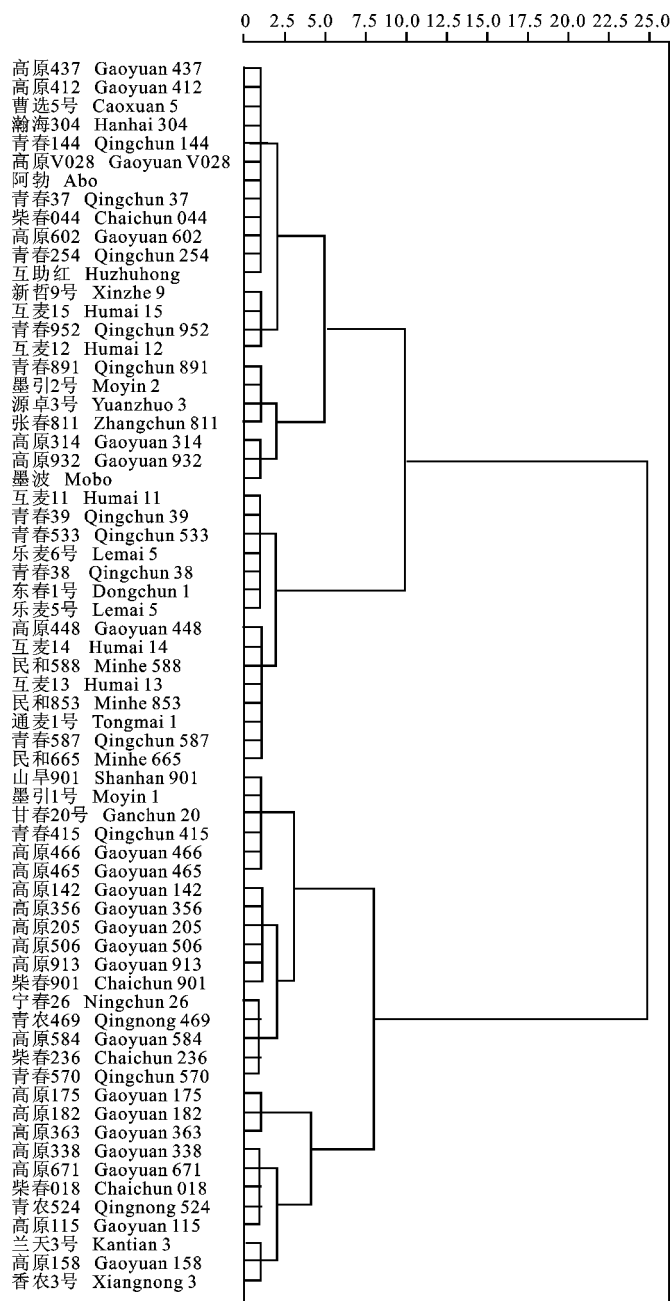


图 1 供试小麦品种种子表型性状聚类图

Fig. 1 Dendrogram of wheat cultivars based on grain traits

重、穗粒数及有效穗,这与许为钢等^[19]的同类研究结果是一致的;千粒重对产量的直接贡献最大,途径系数达到0.742 6,说明在过去近 20 年里,千粒重对产量提高起主要作用,通过对千粒重的选择可以达到提高产量的目的。以上对小麦主产区的研究表明,小麦千粒重在不同年代整体呈现逐步增长的趋势,千粒重的增加对小麦增产发挥了重要作用。本研究对青海的 66 个小麦品种的研究表明,在 4 个不同阶段的千粒重变化不大,说明

青海省在千粒重方面育种改良效果不明显,在今后的育种工作中有待加强。

在都兰县香巴管理委员会辖区创造春小麦单产最高纪录高原 338(1981 年审定)的 3 年平均千粒重在所分析的 66 个品种中靠前(居第 5 位,达 58.92 g),表明千粒重高对超高产可能有重要作用。另一方面,最近 10 多年审定品种没有千粒重表现特别优异的品种,千粒重比高原 338 高的四个品种高原 182、高原 465、高原 175 和高原 363

分别是 1969、1996、1998 和 1999 年审定的。因此,目前的超高产育种工作可能仍然需要加强高千粒重的选择。这些千粒重高的品种,特别是千粒重高达 66.17 g 的品种高原 175,在本研究的香巴管理委员会辖区(海西地区)以及李红琴等^[22]在平安试验站(海东地区)均是最高。尽管这两个试验点生态环境差异很大,但是千粒重性状表现稳定。该品种可以作为高千粒重育种的重要种质资源。

Dholakia 等^[23]研究表明,小麦粒长、粒宽均与粒重呈极显著正相关,其中粒长与粒重相关系数为 0.51,粒宽与粒重的相关系数为 0.68。Sun 等^[24]得出,小麦粒长、粒宽与小麦千粒重之间的相关性均达极显著水平,相关系数分别为 0.42 和 0.74,其中粒长与粒宽间的相关系数为 0.22。王瑞霞等^[25]对小麦粒长、粒宽、粒厚及籽粒体积与小麦千粒重间进行了相关性分析,结果显示,小麦千粒重与籽粒的体积相关性最高,相关系数为 0.93,其次为籽粒长度($r=0.76$)、籽粒宽度($r=0.72$)及粒厚($r=0.69$)。Bresghello 等^[26]对两个小麦的分离群体研究得出,小麦粒长、粒宽与千粒重的相关系数均大于 0.65,而与籽粒体积的相关系数在 0.90 以上。Gegas 等^[27]研究发现,小麦粒宽与千粒重呈高度正相关($r \geq 0.75$),粒长与千粒重相关性较小($r \leq 0.23$),而小麦籽粒长宽比与千粒重则是两个相对独立的性状。本研究的 66 个小麦品种种子表型性状中,种子的千粒重与种子长、宽、面积均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.79、0.80 和 0.94,其中小麦千粒重与种子面积相关性最高。虽然不同群体中小麦的粒长、粒宽及籽粒体积等要素与小麦千粒重的相关性各不相同,但千粒重的各构成要素与粒重间均呈正相关,且各构成要素之间无负相关。因此,通过改良小麦千粒重的任何构成要素均可达到提高小麦千粒重的目的。根据上述研究,籽粒宽度似乎比籽粒长度对千粒重的贡献更大。本研究中,尽管各品种的籽粒宽度的遗传变异最小,但是与千粒重的相关系数达到 0.80。在育种实践中,需要注意籽粒宽度的选择。在遗传研究方面,需要进一步剖分种子不同表型性状,揭示其遗传基础。

参考文献:

[1] Hawkesford M J, Araus J L, Park R, et al. Prospects of doubling global wheat yields [J]. *Food and Energy Security*, 2013, 2(1): 34–48.

[2] Xiao Y G, Qian Z G, Wu K, et al. Genetic gains in grain yield and physiological traits of winter wheat in Shandong province, China, from 1969 to 2006 [J]. *Crop Science*, 2012, 52(1): 44–56.

[3] She C Q (余诚棋), Yang W X (杨万霞), Fang S Z (方升佐), et al. Phenotypic diversity of natural cyclocarya paliurus populations seed traits [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2009, 20(10): 2351–2356 (in Chinese with English abstract).

[4] Liu S X (刘生祥), Song X H (宋晓华). Effect of seed size on the character essentials and yield in spring wheat [J]. *Seed (种子)*, 2003(1): 26–27 (in Chinese with English abstract).

[5] Fuller D Q. Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the Old World [J]. *Annals of Botany*, 2007, 100(5): 903–924.

[6] Houle D, Govindaraju D R, Omholt S. Phenomics: the next challenge [J]. *Nature Reviews Genetics*, 2010, 11(12): 855–866.

[7] Williams K, Munkvold J, Sorrells M. Comparison of digital image analysis using elliptic Fourier descriptors and major dimensions to phenotype seed shape in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Euphytica*, 2013, 190(1): 99–116.

[8] Williams K, Sorrells M E. Three-dimensional seed size and shape QTL in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) populations [J]. *Crop Science*, 2014, 54(1): 98–110.

[9] Rasheed A, Xia X, Ogbonnaya F, et al. Genome-wide association for grain morphology in synthetic hexaploid wheats using digital imaging analysis [J]. *BMC Plant Biology*, 2014, 14(1): 128.

[10] Chen J X (陈集贤). Physiology and Ecology of Spring Wheat in Qinghai Plateau (青海高原春小麦生理生态) [M]. Beijing: Science Press (北京: 科学出版社), 1994: 3–15 (in Chinese).

[11] Shang X W (尚勋武), Wei D (魏 混), Hou L B (侯立白). Spring Wheat in Northern China (中国北方春小麦) [M]. Beijing: China Agriculture Press (北京: 中国农业出版社), 2005: 80–81 (in Chinese).

[12] Giura A, Saulescu N N. Chromosomal location of genes controlling grain size in a large grained selection of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Euphytica*, 1996, 89(1): 77–80.

[13] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication [J]. *University of Illinois Press*, 1949, 19(7): 3–24.

[14] Jin S B (金善宝). Chinese Wheat (中国小麦学) [M]. Beijing: China Agriculture Press (北京: 中国农业出版社), 1996: 474 (in Chinese).

[15] Yu S R (俞世蓉), Wu Z S (吴兆苏), Yang Z P (杨竹平). Evolutionary changes in yield and yield components of wheat cultivars grown in the Huainan region, Jiangsu province during 1970–1986 [J]. *Scientia Agricultura Sinica (中国农业科学)*, 1988, 21(4): 15–21 (in Chinese with English abstract).

[16] Li J M (李建明). Evolvement of Agronomic Traits and Genetic Diversity of Chinese Foundation Parents (Cultivars) of

- Wheat [D]. Yangling: Northwest A&F University(杨凌:西北农林科技大学), 2007(in Chinese with English abstract).
- [17] Su Z Q(宿振起). Identification and Development of a Functional Marker of *TaGW2* Associated with Grain Weight in Wheat (*Triticum aestivum* L.) [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences(北京: 中国农业科学院), 2010(in Chinese with English abstract).
- [18] Cao T J(曹廷杰), Zhao H(赵虹), Wang X C(王西成), *et al.* Evolution of main agronomic traits for semi-winter wheat varieties in Henan province [J]. *Journal of Triticeae Crops*(麦类作物学报), 2010, 30(3): 439-442(in Chinese with English abstract).
- [19] Xu W G(许为钢), Hu L(胡琳), Wu Z S(吴兆苏), *et al.* Studies on genetic improvement of yield and yield components of wheat cultivars in Mid-Shaanxi area [J]. *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 2000, 26(3): 352-358(in Chinese with English abstract).
- [20] HU Y J(胡延积). Wheat Ecology and Production Technology(小麦生态与生产技术) [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press(郑州: 河南科学技术出版社), 1986: 128-149(in Chinese).
- [21] Hu D M(胡冬梅), Wang Z W(王志伟). The correlation between wheat 1000-kernel weight with physiology and appearance in Qinghai plateau [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*(西北农业学报), 1999, 8(4): 34-37(in Chinese with English abstract).
- [22] Li H Q(李红琴), Liu B L(刘宝龙), Liu D C(刘登才), *et al.* Analysis on agronomic trait diversity in wheat cultivars registered in Qinghai province [J]. *Journal of Triticeae Crops*(麦类作物学报), 2011, 31(6): 1040-1045(in Chinese with English abstract).
- [23] Dholakia B B, Ammiraju J S S, Singh H, *et al.* Molecular marker analysis of kernel size and shape in bread wheat [J]. *Plant Breeding*, 2003, 122(5): 392-395.
- [24] Sun X Y, Wu K, Zhao Y, *et al.* QTL analysis of kernel shape and weight using recombinant inbred lines in wheat [J]. *Euphytica*, 2009, 165(3): 615-624.
- [25] Wang R X(王瑞霞), Zhang X Y(张秀英), Wu L(伍玲), *et al.* QTL analysis of grain size and related traits in winter wheat under different ecological environments [J]. *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学), 2009, 42(2): 398-407(in Chinese with English abstract).
- [26] Breseghello F, Sorrells M E. Association mapping of kernel size and milling quality in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars [J]. *Genetics*, 2006, 172(2): 1165-1177.
- [27] Gegas V C, Nazari A, Griffiths S, *et al.* A genetic framework for grain size and shape variation in wheat [J]. *The Plant Cell*, 2010, 22(4): 1046-1056.