中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

小麦水旱地品种回交二代农艺性状改良效应分析

满强，赵慧，徐萍，王亚飞，李世景，孙聚涛，林永岭，张正斌

引用本文:
满强, 赵慧, 徐萍, 等. 小麦水旱地品种回交二代农艺性状改良效应分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(4): 563–571.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180168

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于重组自交系群体水稻氮素利用效率分析和利用

Analysis of rice nitrogen use efficiency based on recombinant inbred line population

中国生态农业学报. 2016, 24(6): 780–789 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.150981

种植密度对川中丘陵夏玉米茎秆性状及产量的影响

Effect of planting density on stem characteristics and yield of summer maize in the Hilly Central Sichuan Basin, China

中国生态农业学报. 2017, 25(3): 356–364 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160822

春播半冬性甘蓝型油菜光温因子与产量及农艺性状的典型相关分析

Canonical correlations of light and temperature with yield and agronomic traits of semi–winter rapeseed (Brassica napusL.) sowed in spring

中国生态农业学报. 2015(8): 987–993 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.150210

华南双季稻主栽品种的光能利用效率及聚类分析

Radiation use efficiency and its classification of main varieties in double–cropping rice region of South China

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(11): 1714–1724 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190396

温度升高和降水减少对半干旱区春小麦生长发育及产量的协同影响

Influence of climate warming and rainfall reduction on semi–arid wheat production

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(3): 413–421 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190031

中国生态农业学报(中英文) 2019 年 4 月 第 27 卷 第 4 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Apr. 2019, 27(4): 563−571

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180168

满强, 赵慧, 徐萍, 王亚飞, 李世景, 孙聚涛, 林永岭, 张正斌. 小麦水旱地品种回交二代农艺性状改良效应分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(4): 563−571

MAN Q, ZHAO H, XU P, WANG Y F, LI S J, SUN J T, LIN Y L, ZHANG Z B. Improvement effect of agronomic traits in the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(4): 563−571

小麦水旱地品种回交二代农艺性状改良效应分析*

满 强[1,2], 赵 慧[3], 徐 萍[1], 王亚飞[1,2], 李世景[1,2], 孙聚涛[1], 林永岭[4], 张正斌[1,2**]

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022; 2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 河北科技大学生物科学与工程学院 石家庄 050018; 4. 河北省石家庄市栾城区农业畜牧局 石家庄 051430)

摘 要: 为研究干旱条件下小麦水旱地品种回交后代群体农艺性状改良效应, 本研究以旱地品种‘长 6878’为供体亲本、水地品种‘济麦 22’为轮回亲本获得的回交二代(BC_2)后代材料, 对其株高、穗长、穗下节间长、分蘖数、小穗数、穗粒数、单株生物学产量、单株粒重、千粒重、经济系数等 10 个农艺性状进行相关、聚类和主成分分析。结果显示, 回交后代材料在株高、穗长、穗下节间长、分蘖数等性状偏向于轮回亲本‘济麦 22’, 同时在小穗数、穗粒数、单株生物学产量、单株粒重、千粒重、经济系数等性状中存在超亲效应。相关分析表明, 经济系数与单株粒重显著正相关, 而单株粒重又与株高、穗长、分蘖数、小穗数、穗粒数、单株生物学产量、千粒重等 7 个性状达极显著正相关水平。在欧式距离 40 处, BC_2 群体分为 4 类, 以轮回亲本‘济麦 22’为核心的第 II 类占 BC_2 代总数的 30.5%, 供体亲本‘长 6878’单独划为第Ⅳ类; 在欧式距离 45 处将第 I 类(占 BC_2 代总数的 58%)和第 II 类合并成一个新的类群, 即群体中 88.5%的 BC_2 单株和轮回亲本划分为一类。主成分分析得到 5 个主成分因子对 BC_2 代农艺性状变异累计贡献率为 85.51%, 并筛选出综合得分高的 10 个株系, 可作为后代重点选育。综合以上结果, 在 BC_2 代已经取得了良好的农艺性状定向遗传改良效应, 为回交定向改良小麦抗旱水分高效利用和选育新品种提供理论依据和技术支撑。

关键词: 小麦; 回交二代; 抗旱; 农艺性状; 改良效应

中图分类号: S512.1+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-6237(2019)04-0563-09

Improvement effect of agronomic traits in the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties*

MAN Qiang[1,2], ZHAO Hui[3], XU Ping[1], WANG Yafei[1,2], LI Shijing[1,2], SUN Jutao[1], LIN Yongling[4], ZHANG Zhengbin[1,2**]

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 4. Agricultural and Animal Husbandry Bureau of Luancheng District, Shijiazhuang, Hebei Province, Shijiazhuang 051430, China)

Abstract: The winter wheat growing season in the Huang-Huai-Hai area of China is often exposed to drought stress posing a serious

* 国家重点研发计划项目(2016YFD0100102-11)、中国科学院战略性先导科技专项(A 类, XDA0803010703)、中国科学院种子创新研究院项目和河北科技大学博士科研启动基金(QD201419)资助

** 通信作者: 张正斌, 主要研究方向为作物遗传育种。E-mail: zzb@sjziam.ac.cn
满强, 主要研究方向为作物遗传育种。E-mail: manqiang2011@163.com

收稿日期: 2018-04-20 接受日期: 2018-05-03

* This study was supported by the National Key Research and Development Project of China (2016YFD0100102-11), the Special Fund for Strategic Pilot Technology of Chinese Academy of Sciences (A Class, XDA0803010703), the Project of the Innovative Academy of Seed Design, Chinese Academy of Sciences and the Doctoral Scientific Research Foundation of Hebei University of Science and Technology (QD201419).

** Corresponding author, E-mail: zzb@sjziam.ac.cn

Received Apr. 20, 2018; accepted May 3, 2018

threat to the safety of food production. The molecular design breeding by using backcross selection and molecular marker-assisted selection to improve breeding of drought resistant and high water use efficiency varieties become a new direction of future wheat breeding. A total of 200 BC_2 (the second backcrossing generation) plants were obtained from the hybridization between dryland variety 'Chang 6878' as donor parent and irrigated variety 'Jimai 22' as recurrent parent. Ten agronomic traits, including plant height, spike length, internode length under spike, tiller number, spikelet number, grains per spike, biomass per plant, grain weight per plant, 1000-grain weight, economic index, were investigated to analyze the hybridization and backcross effect by the analysis of correlation, cluster and principal component. The results showed that the plant height, spike length, internode length under spike and tiller number of BC_2 plants were biased in favor of the recurrent parent 'Jimai22', while the spike number, grain number per spike, biomass per plant, grain weight per plant, 1000-grain weight, economic index showed super-parents effect. The correlation analysis showed that grain weight per plant was extremely significantly correlated with plant height, spike length, tiller number, spikelet number, grains per spike, biomass per plant, 1000-grain weight. And grain weight per plant was significantly and positively correlated with economic index. The cluster analysis showed that BC_2 population was divided into 4 groups at the Euclidean distance 40. The Class Ⅱ including 'Jimai 22' accounted for 30.5% of the total BC_2 generations, while 'Chang 6878' was divided into Class Ⅳ separately. Class Ⅰ (58% of the total number of BC_2) and Class Ⅱ were merged into a new group at the Euclidean distance 45, therefore 88.5% of BC_2 individuals and 'Jimai 22' were classified into the same cluster. The principal component analysis obtained five principal components, which contributed over 85.51% of variance, and ten BC_2 strains with high comprehensive score were screened as the key choice in the future. These results implied positively direction of genetic improvement in the BC_2 generation, which provided theoretical basis and technical support for the water use efficiency and drought-resistance breeding by wheat backcross.

Keywords: Wheat; Second backcrossing generation; Drought resistance; Agronomic traits; Improving effects

小麦(*Triticum aestivum* L.)在我国是仅次于玉米(*Zea mays* L.)和水稻(*Oryza sativa* L.)的第三大粮食作物，目前我国小麦种植面积约 2 400 万 hm^2，其中旱地小麦占全国小麦总面积的 30%以上，干旱成为制约我国小麦粮食安全的重要因素之一[1]，因此创制和选育抗旱、水分高效利用小麦种质资源，对应对干旱缺水、保障我国粮食安全具有重要意义[2]。张正斌[2]研究表明，利用水地亲本和旱地品种轮回杂交选择，可以将小麦抗旱性和丰产性统一起来。周吉等[3]对不同水旱地小麦品种研究表明，选育抗旱、节水的高产品种将是现代育种的重要方向之一。张俊灵等[4]通过采取水旱交叉与异地选择相结合、田间选择和室内鉴定相结合、表型鉴定与分子标记相结合的育种技术新体系，从而实现自然选择、人工选择和定向培育的有机结合，提高选种质量和效率，创造优异新种质和培育突破性的新品种。山西省小麦研究所刘新月等[5]、裴磊等[6]通过配置水旱地杂交组合、水旱异地鉴定和交叉选择，育成'晋麦 79'、'晋麦 98'等系列小麦抗旱新品种。Pestsova 等[7]利用连续回交并结合 SSR 检测获得小麦 *D* 基因导入系，并检测到一些农艺性状的 QTL 位点。舒守贵等[8]通过回交和结合分子标记辅助选择，培育高产、优质的糯小麦。张延滨等[9]利用生化标记和连续回交的方法，在不改变原品种农艺性状的情况下改善加工品质指标。前人对不同小麦种质资源中农艺性状对产量的影响开展了相关研究[10-14]，但是对回交后代农艺性状进行主成分分析和综合评价进而辅助和验证大田选种的报道较少。本研究对 200 份来自旱地小麦品种'长 6878'和水地小麦品种'济麦 22'的回交二代(BC_2)农艺性状进行频次分布、相关性、主成分、聚类分析等，为小麦抗旱、水分高效利用、高产分子设计育种提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

田间试验在中国科学院栾城农业生态系统试验站进行，于 2013 年以小麦旱地生态型品种'长 6878'和水肥地生态型品种'济麦 22'为亲本配制杂交组合，并收获 F_1 代。2014 年和 2015 年均以'济麦 22'作为轮回亲本进行回交，并获得 BC_1 和 BC_2。同年 10 月于大田播种，单粒点播，行距 0.2 m，行长 2 m，株距 0.05 m。供体亲本'长 6878'和轮回亲本'济麦 22'点播 10 行，行距 0.2 m，行长 2 m，株距 0.05 m。在生长阶段采取不灌溉的自然干旱处理。

1.2 性状调查

对 2016 年收获的 200 株 BC_2 后代的株高、穗长、穗下节间长、分蘖数、小穗数、穗粒数、单株生物学产量、单株粒重、千粒重和经济系数等 10 个农艺性状进行室内考种。供体亲本'长 6878'和轮回亲本'济麦 22'于成熟收获时随机取小区中间行 10 株，对以上 10 个农艺性状进行性状考种，取 10 株平均值作为亲本材料的农艺性状表现值。经济系数的计算公式为：经济系数=单株粒重/单株生物学产量。

1.3 数据分析

用 SPSS 20.0 进行频次分析、相关分析、主成分

分析[15]，并计算主成分得分[16]和综合得分，采用 R 语言进行聚类分析[17]，Microsoft Excel 2013 整理和分析数据。

2　结果与分析

2.1　亲本及 BC_2 群体的农艺性状表现

由图 1 可知，在干旱条件下，在 BC_2 后代中，株

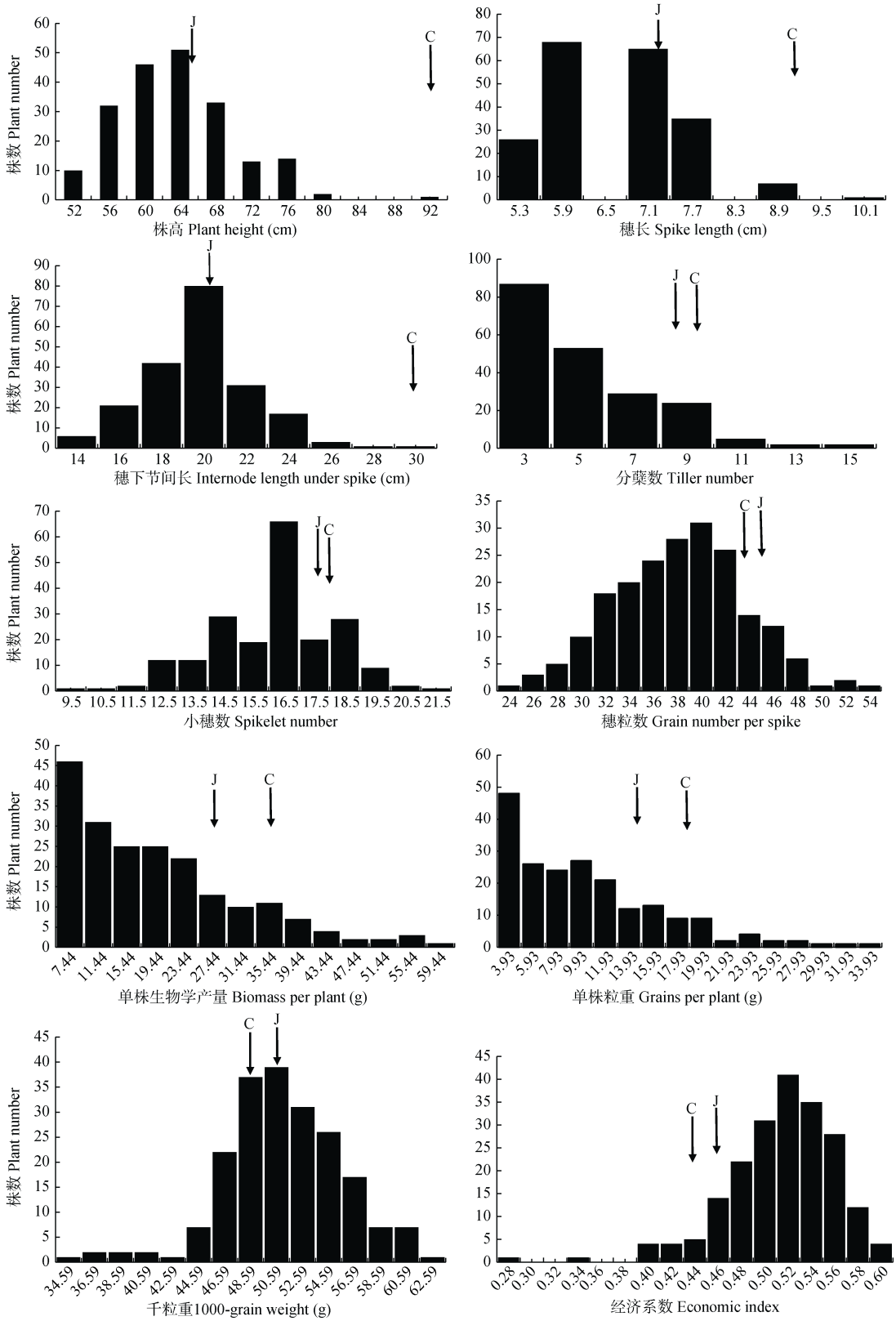

图 1　小麦水旱地亲本及回交二代群体 10 个农艺性状的分布

Fig. 1　Distributions of 10 agronomic traits of parents and population of the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties

J: 轮回亲本‘济麦 22’; C: 供体亲本‘长 6878’. J: recurrent parent ‘Jimai 22’; C: donor parent ‘Chang 6878’.

高、穗长、穗下节间长和分蘖等性状偏向于轮回亲本‘济麦 22’，特别是株高和穗下节间长等与植株高度相关的性状改良效果明显。小穗数、穗粒数、单株生物学产量、单株粒重、千粒重和经济系数等性状中存在超亲效应，特别是千粒重和经济系数在 BC_2 代中呈偏态分布，大多数的 BC_2 代以上两个性状表现优于供体亲本‘长 6878’和轮回亲本‘济麦 22’。

在 BC_2 群体中，分蘖大于供体亲本‘长 6878’的 BC_2 单株为 22 株，占群体的 11%；小穗数大于供体亲本‘长 6878’的 BC_2 单株为 58 株，占群体的 29%；单株生物学产量大于供体亲本‘长 6878’的 BC_2 单株为 18 株，占群体的 9%；单株粒重大于供体亲本‘长 6878’的 BC_2 单株为 30 株，占群体的 15%。穗粒数大于轮回亲本‘济麦 22’的 BC_2 单株为 26 株，占群体的 13%；千粒重大于轮回亲本‘济麦 22’的 BC_2 单株为 119 株，占群体的 59.5%；经济系数大于轮回亲本‘济麦 22’的 BC_2 单株为 176 株，占群体的 88%。

2.2 BC_2 群体农艺性状的相关性分析

BC_2 群体的 10 个农艺性状的相关性分析表明，10 个性状间存在不同程度的相关性(表 1)。株高与穗长(r=0.365**)、穗下节间长(r=0.371**)、分蘖数(r=0.191**)、小穗数(r=0.191**)、穗粒数(r=0.200**)、单株生物学产量(r=0.325**)和单株粒重(r=0.257**)等 7 个农艺性状均呈极显著正相关关系，而与经济系数呈极显著负相关关系(r=–0.361**)，表明株高较高利于获得较长的穗长、穗下节间长和产量相关要素，从而获得较大的单株生物学产量，但株高不能过高，株高过高不利于获得较高的经济系数。除千粒重外，穗长与其他 7 个农艺指标均表现出极显著正相关性(r=0.211**~0.519**)，并与经济系数呈显著负相关关系(r=–0.143*)。穗下节间长与单株生物学产量和单株粒重表现出显著正相关性，相关系数分别是 0.172*和 0.161*；与株高和穗长表现出极显著正相关性，相关系数分别是 0.371**和 0.211**。分蘖数与小穗数(r=0.184**)、单株生物学产量(r=0.902**)、单株粒重(r=0.887**)、株高(0.191**)、穗长(0.447**)和千粒重(r=0.286**)有极显著正相关，与穗粒数呈显著正相关关系(r=0.167*)。

小穗数与穗粒数(r=0.677**)、穗长(r=0.399**)、单株生物学产量(r=0.279**)、单株粒重(r=0.262**)、株高(r=0.191**)和分蘖数(r=0.184**)等呈极显著正相关。穗粒数与小穗数(r=0.677**)、单株生物学产量(r=0.307**)、穗长(r=0.303**)、单株粒重(r=0.296**)和株高(r=0.200**)等呈极显著正相关，与分蘖数(r=0.167*)和千粒重(r=0.152*)呈显著正相关。单株生物学产量与单株粒重(r=0.983**)、千粒重(r=0.377**)、株高(r=0.325**)、穗长(r=0.519**)、分蘖数(r=0.902**)、小穗数(r=0.279**)、穗粒数(r=0.307**)等极显著相关。单株粒重与其他 9 个农艺性状的相关系数均达显著或极显著正相关，特别是在单株生物学产量(r=0.983**)、分蘖数(r=0.887**)、穗长(r=0.474**)、千粒重(r=0.396**)和穗粒数(r=0.296**)等产量性状方面达到极显著正相关水平，表明单株粒重与产量的形成关系较大，从而表现出与经济系数的显著正相关性(r=0.180*)。

表 1 小麦水旱地亲本回交二代群体 10 个农艺性状的相关性分析

Table 1 Correlation analysis among10 agronomic traits of population of the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties

性状 Trait	株高 Plant height	穗长 Spike length	穗下节间长 Internode length under spike	分蘖数 Tiller number	小穗数 Spikelet number	穗粒数 Grains per spike	单株生物学产量 Biomass per plant	单株粒重 Grain weight per plant	千粒重 1000-grain weight	经济系数 Economic index
株高 Plant height	1.000									
穗长 Spike length	0.365**	1.000								
穗下节间长 Internode length under spike	0.371**	0.211**	1.000							
分蘖数 Tiller number	0.191**	0.447**	0.066	1.000						
小穗数 Spikelet number	0.191**	0.339**	0.045	0.184**	1.000					
穗粒数 Grain number per spike	0.200**	0.303**	0.069	0.167*	0.677**	1.000				
单株生物学产量 Biomass per plant	0.325**	0.519**	0.172*	0.902**	0.279**	0.307**	1.000			
单株粒重 Grain weight per plant	0.257**	0.474**	0.161*	0.887**	0.262**	0.296**	0.983**	1.000		
千粒重 1000-grain weight	0.103	0.106	0.094	0.286**	0.073	0.152*	0.377**	0.396**	1.000	
经济系数 Economic index	–0.361**	–0.143*	–0.098	0.013	–0.061	–0.029	0.021	0.180*	0.136	1.000

*和**表示相关性在 P<0.05 和 P<0.01 显著。* and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3　亲本及 BC_2 群体的聚类分析

对 BC_2 代 10 个农艺性状进行系统聚类分析, 在欧式距离为 40 时将 200 份单株后代划分为 4 类(图 2)。

第Ⅰ类包含 116 份单株, 占 BC_2 后代材料总数的 58%, 在 4 个类群中差异较大的株高、穗长、穗粒数、千粒重的平均值, 在该类群中分别为 62.45 cm、6.21 cm、36 粒、49.87 g, 该类群的株高较低, 穗长、穗粒数和千粒重适中, 有利于在该类群中筛选矮秆抗倒伏材料。

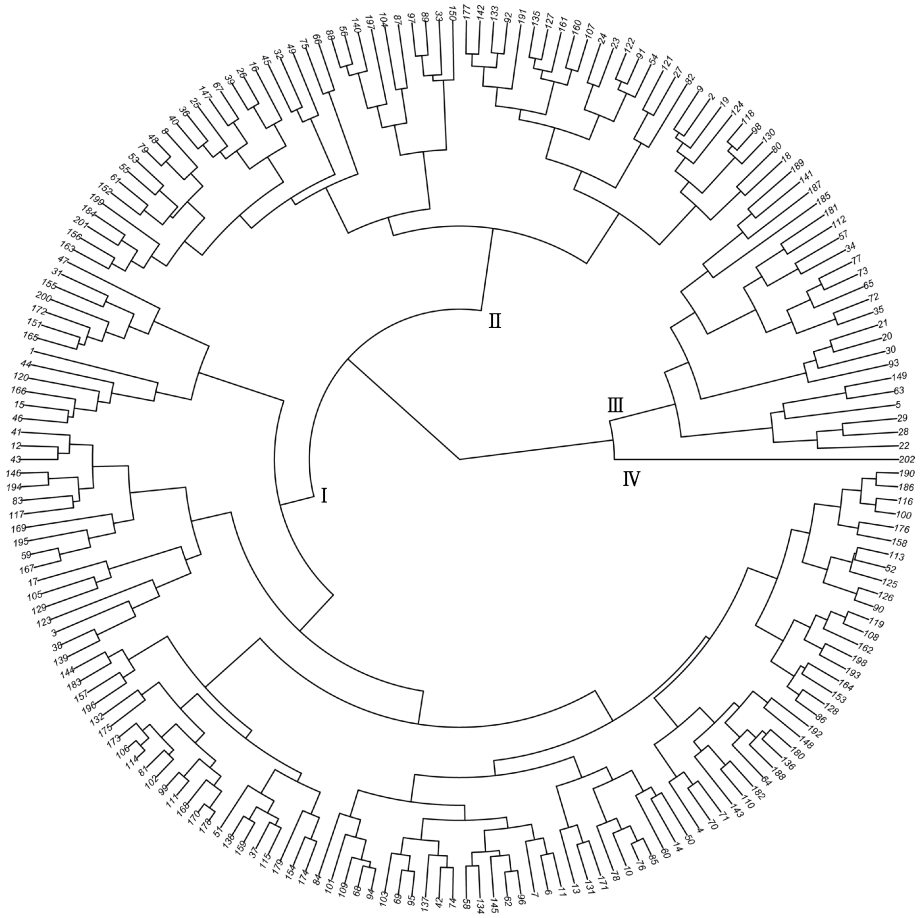

图 2　小麦水旱地亲本及回交二代群体 10 个农艺性状聚类分析结果

Fig. 2　Cluster analysis for 10 agronomic traits of parents and population of the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties

1~200: BC_2 后代品系数; 201: 轮回亲本‘济麦 22’; 202: 供体亲本‘长 6878’。1–200: the lines number of the second backcrossing generation; 201: recurrent parent ‘Jimai 22’; 202: donor parent ‘Chang 6878’.

第Ⅱ类包含 61 份单株, 占 BC_2 后代材料总数的 30.5%, 其平均株高、穗长、穗粒数、千粒重的平均值分别为 64.93 cm、7.15 cm、43.16 粒、52.17 g, 该类群优势明显, 可以作为水地大穗、多粒及高粒重的高产品系候选材料。

第Ⅲ类包含 23 份单株, 占 BC_2 后代材料总数的 11.5%, 其株高、穗长、穗粒数、千粒重的平均值分别为 68.35 cm、7.57 cm、40.26 粒、54.61 g, 该类群的株高较高、穗粒数中等、穗长和千粒重优势明显, 是选育水旱兼用和旱肥型品系的候选材料。

供体亲本‘长 6878’单独划为第Ⅳ类群, 是典型的高秆旱地小麦类型。

当欧式距离为 45 时, Ⅰ类、Ⅱ类合并为一个类群, 占 BC_2 后代材料总数的 88.5%。因此通过回交, 绝大部分后代材料的农艺性状更趋向于轮回亲本‘济麦 22’, 说明通过杂交、回交, 农艺性状得到显著改良。

2.4　BC_2 群体农艺性状的主成分分析

为进一步揭示决定 BC_2 代农艺性状表现型变异的主要农艺性状, 对上述 10 个农艺性状进行了主成分分析(表 2)。共有 5 个主成分因子(Y_1、Y_2、Y_3、Y_4 和 Y_5)入选, 其累计贡献率为 85.51%, 说明这 5 个主成分因子基本上代表了 10 个农艺性状在 BC_2 代材料表现型变异的绝大部分信息。

主成分因子 Y_1 反映 BC_2 后代材料农艺性状变异的 38.17%, 表达式为 $Y_1=0.458X_1+0.668X_2+0.275X_3+0.837X_4+0.480X_5+0.498X_6+0.939X_7+0.916X_8+0.428X_9-0.028X_{10}$, 由此可见主成分因子 Y_1 主要由 X_2(穗长)、

X_4(分蘖数)、X_7(单株生物学产量)和 X_8(单株粒重)这 4 个产量终端性状决定。

主成分因子 Y_2 反映 BC_2 后代材料农艺性状变异的 16.45%，表达式为 $Y_2=0.562X_1+0.262X_2+0.353X_3-0.336X_4+0.424X_5+0.384X_6-0.233X_7-0.338X_8-0.309X_9-0.657X_{10}$，主要由 X_1(株高)和 X_{10}(经济系数)性状决定。

主成分因子 Y_3 反映 BC_2 后代材料农艺性状变异的 13.51%，表达式为：$Y_3=-0.392X_1-0.060X_2-0.447X_3-0.146X_4+0.650X_5+0.645X_6-0.111X_7-0.056X_8-0.007X_9+0.344X_{10}$，主要由 X_5(小穗数)和 X_6(穗粒数)决定。

主成分因子 Y_4 反映 BC_2 后代材料农艺性状变异的 9.6%，表达式为：$Y_4=0.105X_1-0.189X_2+0.592X_3-0.277X_4+0.024X_5+0.144X_6-0.122X_7-0.049X_8+0.546X_9+0.386X_{10}$，主要由 X_3(穗下节间长)和 X_9(千粒重)决定。

主成分因子 Y_5 反映 BC_2 后代材料农艺性状变异的 7.78%，表达式为：$Y_5=-0.123X_1+0.221X_2+0.392X_3+0.013X_4+0.030X_5-0.039X_6+0.003X_7+0.070X_8-0.606X_9+0.430X_{10}$，主要由 X_9(千粒重)和 X_{10}(经济系数)决定。

表 2 小麦水旱地亲本回交二代群体 10 个农艺性状的主成分分析

Table 2 Principal components analysis among10 agronomic traits of population of the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties

项目 Item	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
特征值 Eigenvalues	3.817	1.645	1.351	0.960	0.778
贡献率 Contribution rate (%)	38.170	16.450	13.510	9.600	7.780
累计百分率 Cumulative contribution rate (%)	38.173	54.626	68.136	77.738	85.514
株高 Plant height (X_1)	0.458	0.562	−0.392	0.105	−0.123
穗长 Spike length (X_2)	0.668	0.262	−0.060	−0.189	0.221
穗下节间长 Internode length under spike (X_3)	0.275	0.353	−0.447	0.592	0.392
分蘖数 Tiller number (X_4)	0.837	−0.336	−0.146	−0.277	0.013
小穗数 Spikelet number (X_5)	0.480	0.424	0.650	0.024	0.030
穗粒数 Grain number per spike (X_6)	0.498	0.384	0.645	0.144	−0.039
单株生物学产量 Biomass per plant (X_7)	0.939	−0.233	−0.111	−0.122	0.003
单株粒重 Grain weight per plant (X_8)	0.916	−0.338	−0.056	−0.049	0.070
千粒重 1000-grain weight (X_9)	0.428	−0.309	−0.007	0.546	−0.606
经济系数 Economic index (X_{10})	−0.028	−0.657	0.344	0.386	0.430

2.5 BC_2 群体优良单株农艺性状的综合评价

采用公式 $Z=(y_1\times0.381\ 7+y_2\times0.164\ 5+y_3\times0.135\ 1+y_4\times0.096+y_5\times0.078)/0.855\ 14$ 计算 BC_2 代各单株的综合得分评价指标[18]，对 BC_2 后代材料进行得分评价并排序，选取综合评价得分高的 10 株与聚类结果进行比较分析，如表3所示。结果发现，所选10株均存在于第Ⅱ类(大穗、多粒及高粒重的高产型)和第Ⅲ类中(株高较高、穗粒数中等、穗长和千粒重优势明显的水旱兼用和旱肥型)(参照图 2)。表明在以上类群的单株中存在杂种优势和超亲优势，为选育抗旱节水高产新品系提供种质资源。

表 3 小麦水旱地亲本回交二代群体优良单株农艺性状综合得分值

Table 3 Comprehensive score of agronomic traits of excellent plants in population of the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties

优良单株序号 No. of excellent plant	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	贡献率 Contribution rate (%)	综合得分值 Comprehensive score	类群 Group
1	5.864	−0.410	−1.221	−0.713	−0.642	85.51	2.207	Ⅲ
2	4.398	−1.245	−1.045	2.486	2.238	85.51	2.042	Ⅲ
3	3.706	−1.138	1.948	1.256	1.130	85.51	1.988	Ⅲ
4	5.140	−1.037	−0.798	−0.828	−0.745	85.51	1.808	Ⅲ
5	3.863	0.082	1.341	−0.839	−0.755	85.51	1.788	Ⅲ
6	3.312	−0.374	0.496	1.490	1.341	85.51	1.773	Ⅲ
7	2.506	0.796	1.844	0.696	0.627	85.51	1.699	Ⅱ
8	2.292	1.979	0.361	1.017	0.916	85.51	1.659	Ⅱ
9	1.908	2.981	0.084	0.990	0.892	85.51	1.629	Ⅱ
10	4.260	−1.276	−0.764	−0.136	−0.123	85.51	1.509	Ⅲ

3　讨论与结论

水旱地品种杂交、回交的目的就是将水地品种高产的优异基因定向导入到旱地品种遗传背景中，实现抗旱和丰产性的结合，创造具有旱地小麦遗传背景并渐渗有水地高产基因的新材料。本研究以抗旱小麦品种‘长 6878’为供体亲本，水地高产品种‘济麦 22’为轮回亲本，通过杂交和连续 2 次回交，对获得的 BC_2 后代材料的主要农艺性状进行了深入研究。结果表明: 10 个农艺性状中，株高、穗长、穗下节间长、分蘖数偏向于轮回亲本‘济麦 22’，特别是株高、穗下节间长等与植株高度相关的性状大幅降低，BC_2 群体的株高得到明显改良。部分 BC_2 后代材料单株在小穗数、穗粒数、单株生物学产量、单株粒重、千粒重、经济系数等穗部性状和产量性状方面表现超过供体亲本和轮回亲本；其中大多数的 BC_2 代的千粒重和经济系数表现均优于供体亲本‘长 6878’和轮回亲本‘济麦 22’，具有超亲优势。

小麦产量主要由穗数、穗粒数、千粒重等主要产量要素决定。王亚娟等[10]研究发现株高的增加有助于增加穗粒数，但千粒重随株高而降低。刘新月等[11]研究表明有效穗数与产量相关程度最大。郜战宁等[19]对大麦研究表明穗粒数与籽粒产量呈显著正相关。本研究相关分析结果表明，单株粒重与单株生物学产量、分蘖数、穗长、千粒重、穗粒数呈极显著正相关，这与王光禄等[14]、雷振生等[20]、齐亚娟等[21]的研究结果相一致。本研究通过对亲本和 BC_2 后代群体进行系统聚类分析，并结合综合得分结果表明，通过回交 BC_2 后代农艺性状改良效果明显，绝大部分 BC_2 群体的农艺性状更趋向于轮回亲本‘济麦 22’。

主成分分析可以将多个主要的农艺性状变异转化为较少的几个主成分，建立综合、相互独立的指标体系，数值直观，便于分析[22]。主成分分析在国内外不同小麦种质资源的农艺性状分析中应用广泛[23-28]。赵晓梅等[29]在主成分分析基础上，通过计算综合得分，筛选出综合性状优良的杏树(*Armeniaca vulgaris* Lam.)品种。王敏等[30]利用该方法筛选出抗旱节水高产等综合表现优异的夏玉米品种。本研究利用主成分分析，计算综合得分并排名，筛选出综合性状优良的单株主要来自于第Ⅱ类(大穗、多粒及高粒重的高产型)和第Ⅲ类(株高较高、穗粒数中等、穗长和千粒重优势明显的水旱兼用和旱肥型)，与实际大田选种结果一致。表明用主成分值选种在小麦回交后代中进行单株选择具有应用价值，使田间选种更具有目标性，有助于提高选种效率。

本研究结果表明，BC_2 后代材料在株高、穗长、穗下节间长、分蘖数等性状偏向于轮回亲本‘济麦 22’，同时在小穗数、穗粒数、单株生物学产量、单株粒重、千粒重、经济系数等性状中存在超亲效应。BC_2 群体可以分为 4 类，以轮回亲本‘济麦 22’为核心的第Ⅱ类占 BC_2 代总数的 30.5%，供体亲本‘长 6878’单独划为第Ⅳ类；主成分分析得到 5 个主成分因子对 BC_2 代农艺性状变异累计贡献率为 85.51%，并筛选出综合得分高的 10 个株系，可作为后代重点选育。本研究结果为小麦回交定向改良小麦抗旱水分高效利用和选育新品种提供了理论依据和技术支撑。

参考文献 References

[1] 赵广才，常旭虹，王德梅，等. 中国小麦生产发展潜力研究报告[J]. 作物杂志, 2012, (3): 1–5
ZHAO G C, CHANG X H, WANG D M, et al. Research report on development of China’s wheat production potential[J]. Crops, 2012, (3): 1–5

[2] 张正斌. 作物抗旱节水的生理遗传育种基础[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 67–209
ZHANG Z B. Fundamentals of physiology and genetics and breeding in crop drought resistance and water saving[M]. Beijing: Science Press, 2003: 67–209

[3] 周吉，徐萍，李国强，等. 不同水旱地小麦品种聚类分析及其利用模式研究[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(5): 809–813
ZHOU J, XU P, LI G Q, et al. Cluster analysis of different wheat varieties and their application in breeding[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(5): 809–813

[4] 张俊灵，孙美荣，闫金龙，等. 山西省旱地小麦育种进展与育种策略探讨[J]. 农学学报, 2015, 5(9): 17–21
ZHANG J L, SUN M R, YAN J L, et al. Discussion on the progress and strategies of dryland wheat breeding in Shanxi Province[J]. Journal of Agriculture, 2015, 5(9): 17–21

[5] 刘新月，裴磊，卫云宗，等. 抗旱优质高产小麦新品种晋麦 97 号选育及其特征分析[J]. 分子植物育种, 2016, 14(2): 482–488
LIU X Y, PEI L, WEI Y Z, et al. Breeding and characteristic analysis of new wheat variety Jinmai 97 with drought resistant and high quality and yield[J]. Molecular Plant Breeding, 2016, 14(2): 482–488

[6] 裴磊，刘新月，刘莉，等. 抗旱小麦新品种‘晋麦 98 号’选育研究[J]. 农学学报, 2016, 6(11): 14–18
PEI L, LIU X Y, LIU L, et al. Breeding of new wheat variety ‘Jinmai 98’ with drought resistance[J]. Journal of Agriculture, 2016, 6(11): 14–18

[7] PESTSOVA E G, BÖRNER A, RÖDER M S. Development and QTL assessment of *Triticum aestivum-Aegilops tauschii* introgression lines[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2006, 112(4): 634–647

[8] 舒守贵，王涛. 利用回交法与 W_x 基因分子标记辅助选择培育糯性小麦[J]. 遗传, 2006, 28(5): 563–570

SHU S G, WANG T. Developing waxy wheat with backcrossing approach and molecular markers-assisted selection[J]. Hereditas, 2006, 28(5): 563–570

[9] 张延滨, 辛文利, 张春利, 等. 利用选择性回交向小麦品种中转移优质 HMW-GS 的方法研究[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(3): 138–141
ZHANG Y B, XIN W L, ZHANG C L, et al. Transfer of high quality HMW-GS to wheat cultivars by selective backcross[J]. Journal of Triticeae Crops, 2005, 25(3): 138–141

[10] 王亚娟, 张秋芳, 任志龙, 等. 小麦优异种质资源农艺性状综合鉴定与评价[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(4): 119–122
WANG Y J, ZHANG Q F, REN Z L, et al. Evaluation in agronomic traits of wheat germplasm[J]. Journal of Triticeae Crops, 2004, 24(4): 119–122

[11] 刘新月, 裴磊, 董双全, 等. 冬小麦种质材料主要农艺性状研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(33): 18–24
LIU X Y, PEI L, DONG S Q, et al. Research of agronomic trait for winter wheats[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(33): 18–24

[12] 张丽英, 张正斌, 徐萍, 等. 黄淮小麦农艺性状进化及对产量性状调控机理的分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(5): 1013–1028
ZHANG L Y, ZHANG Z B, XU P, et al. Evolution of agronomic traits of wheat and analysis of the mechanism of agronomic traits controlling the yield traits in the Huang-Huai Plain[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(5): 1013–1028

[13] 王绘艳, 史雨刚, 马昊翔, 等. 30 份春小麦品系主要农艺性状的聚类分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(18): 60–64
WANG H Y, SHI Y G, MA H X, et al. Cluster analysis of the main agronomic traits of 30 spring wheat strains[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(18): 60–64

[14] 王光禄, 刘志宏, 程倩倩, 等. 94 份国外小麦种质材料的主要农艺性状分析[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(5): 577–582
WANG G L, LIU Z H, CHENG Q Q, et al. Analysis on main agronomic characters of 94 foreign wheat germplasms[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(5): 577–582

[15] 张文彤, 董伟. SPSS 统计分析高级教程[M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2013: 213–226
ZHANG W T, DONG W. Advanced Course of SPSS Statistical Analysis[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2013: 213–226

[16] 林海明. 如何用 SPSS 软件一步算出主成分得分值[J]. 统计与信息论坛, 2007, 22(5): 15–17
LIN H M. How to use SPSS software calculate the value of the principal component scores in one step[J]. Statistics&Information Forum, 2007, 22(5): 15–17

[17] KABACOFF R I. R 语言实战[M]. 王小宁, 刘撷芯, 黄俊文, 等译. 第 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2016: 342–359
KABACOFF R I. R in Action Data Analysis and Graphics with R[M]. WANG X N, LIU X X, HUANG J W, et al, trans. 2nd ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2016: 342–359

[18] 张鹏. 基于主成分分析的综合评价研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004: 51–58
ZHANG P. Comprehensive evaluation based on principal component analysis[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004: 51–58

[19] 郜战宁, 冯辉, 薛正刚, 等. 28 个大麦品种(系)主要农艺性状分析[J]. 作物杂志, 2018, (1): 77–82
GAO Z N, FENG H, XUE Z G, et al. Analysis of main agronomic traits of 28 barley varieties (lines)[J]. Crops, 2018, (1): 77–82

[20] 雷振生, 林作楫. 河南小麦品种农艺性状演变及今后育种方向[J]. 中国农业科学, 1995, 28(S1): 28–33
LEI Z S, LIN Z J. Studies on evolutionary changes and tendencies of agronomic characters of winter wheat during cultivar alternations in Henan[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1995, 28(S1): 28–33

[21] 齐亚娟, 徐萍, 张正斌, 等. 耐盐小麦品种在干旱条件下的农艺性状分析[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(12): 1484–1490
QI Y J, XU P, ZHANG Z B, et al. Analysis of agronomic traits of salt tolerant wheat under drought condition[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12): 1484–1490

[22] 尹桂芳, 王艳青, 李春花, 等. 荞麦新品种(系)农艺性状的主成分分析和聚类分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(34): 20–25
YIN G F, WANG Y Q, LI C H, et al. Principal component analysis and cluster analysis of main agronomic characters of buckwheat new varieties (lines)[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(34): 20–25

[23] 董攀, 李伟, 郑有良, 等. 波兰小麦主要农艺性状分析[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(2): 216–222
DONG P, LI W, ZHENG Y L, et al. Analysis on the agronomic traits of *Triticum polonicum* L.[J]. Journal of Triticeae Crops, 2007, 27(2): 216–222

[24] 周丽艳, 郭振清, 马玉玲, 等. 春小麦品种农艺性状的主成分分析与聚类分析[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(6): 1057–1062
ZHOU L Y, GUO Z Q, MA Y L, et al. Principal component and cluster analysis of different spring wheat cultivars based on agronomic traits[J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(6): 1057–1062

[25] 薛香, 郜庆炉, 杨忠强. 小麦品质性状的主成分分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 38–41
XUE X, GAO Q L, YANG Z Q. Principal components analysis on major quality traits of winter wheat[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(7): 38–41

[26] 李素, 姜鸿明, 宫德衬, 等. 48 份冬小麦主要田间农艺性状的主成分分析及抗旱性综合评价[J]. 山东农业科学, 2014, 46(7): 25–30
LI S, JIANG H M, GONG D C, et al. Principal component analysis of primary agronomic characters and comprehensive evaluation on drought resistance of 48 winter wheat cultivars[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2014, 46(7): 25–30

[27] 朱晓平, 郑新疆, 管利军, 等. 哈密地区春小麦品种(系)主要性状的主成分分析[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(15): 31–32
ZHU X P, ZHENG X J, GUAN L J, et al. Principal component analysis of the main agronomic traits of spring wheat strains in Hami[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, 23(15):

31–32

[28] 管利军, 朱晓平, 陶志柱, 等. 新疆春小麦品种(系)农艺性状的主成分和聚类分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(31): 34–35
GUAN L J, ZHU X P, TAO Z Z, et al. Principal component analysis and cluster analysis of the agronomic traits of spring wheat varieties (lines) in Xinjiang[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(31): 34–35

[29] 赵晓梅, 张谦, 过利敏, 等. 新疆主栽杏品种经济性状主成分分析及优良品种的选择[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(12): 2426–2430
ZHAO X M, ZHANG Q, GUO L M, et al. Analysis on principal component of the main economic characters and selection of superior variety of apricot in Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(12): 2426–2430

[30] 王敏, 徐萍, 刘新江, 等. 黄淮海地区夏玉米农艺性状与产量的通径分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1229–1236
WANG M, XU P, LIU X J, et al. Path analysis of summer maize agronomic traits and yield in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(5): 1229–1236