

黄淮和长江中下游冬麦区小麦品种(系)农艺性状及其聚类分析

王亚飞, 李世景, 徐萍, 张正斌, 景蕊莲

引用本文:

王亚飞, 李世景, 徐萍, 等. 黄淮和长江中下游冬麦区小麦品种(系)农艺性状及其聚类分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(3): 395–404.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190383>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

小麦水旱地品种回交二代农艺性状改良效应分析

Improvement effect of agronomic traits in the second backcrossing generation of dryland and irrigated wheat varieties
中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(4): 563–571 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180168>

热胁迫对不同小麦品种灌浆速率的影响

Effects of heat stress on grain-filling rate of different wheat varieties
中国生态农业学报. 2016, 24(9): 1239–1245 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160056>

花后阴雨对小麦籽粒淀粉合成和干物质积累的影响

Effects of shading and waterlogging following anthesis on starch synthesis and dry matter accumulation in wheat grain
中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(1): 76–85 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190540>

冬小麦籽粒品质评价及其对气象因子的响应研究

Evaluation of grain quality of winter wheat and its response to meteorological factors
中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(8): 1205–1217 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190126>

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>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190383

王亚飞, 李世景, 徐萍, 张正斌, 景蕊莲. 黄淮和长江中下游冬麦区小麦品种(系)农艺性状及其聚类分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(3): 395-404

WANG Y F, LI S J, XU P, ZHANG Z B, JING R L. Agronomic traits and cluster analysis of winter wheat varieties (lines) in the Huanghuai and the middle/lower reaches of the Yangtze River wheat areas[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(3): 395-404

黄淮和长江中下游冬麦区小麦品种(系)农艺性状 及其聚类分析*

王亚飞^{1,2,3}, 李世景^{1,2,3}, 徐萍¹, 张正斌^{1,2,3**}, 景蕊莲⁴

(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. 中国科学院大学生命科学学院/中国科学院大学现代农业科学学院 北京 100049; 3. 中国科学院种子创新研究院 北京 100101; 4. 中国农业科学院作物科学研究所 北京 100081)

摘要: 气候变暖对我国乃至世界小麦育种和生产有很大影响。为了研究我国不同生态麦区小麦品种(系)农艺性状适应气候变化调控机理, 本研究以黄淮冬麦区北片和南片及长江中下游冬麦区的 20 个当前大面积推的小麦品种、新审定品种和新选育品系为试验材料, 在黄淮冬麦区北片河北省石家庄市种植, 在返青期前对其抗旱抗冻性、根冠比和叶片干重与鲜重比进行调查; 收获后对株高、穗长、穗下节间长、分蘖数、小穗数、穗粒数、千粒重、单株生物量、单株粒重、经济系数等 10 个农艺性状进行了考种和相关、聚类 and 主成分分析。结果表明, 不同麦区小麦品种(系)苗期的抗旱抗冻性为黄淮冬麦区北片>黄淮冬麦区南片>长江中下游冬麦区。三大生态麦区的单株粒重与分蘖数、穗粒数、单株生物量、经济系数均呈极显著正相关, 黄淮冬麦区南片和长江中下游冬麦区呈显著和极显著的农艺性状相对较多, 说明这两个生态麦区的品种有很大的相似性; 但不同生态麦区其他农艺性状正负相关各有一定差异。在欧氏距离 20 处, 20 个小麦品种(系)被聚类为长江中下游冬麦区和黄淮冬麦区南片品种(系)(第 I 类)及黄淮冬麦区北片品种(系)(第 II 类)两个大的生态型; 在欧氏距离 6 处, I 类又分为分别以‘百农 207’‘济麦 22’和‘西农 979’为代表的 3 个亚类, II 类是以‘长旱 58’为代表。产量、穗长、株高和经济系数 4 个主成分因子对 10 个农艺性状表现型变异累计贡献率为 76.39%。‘济麦 22’等黄淮冬麦区北片的品种(系)综合得分在前 20 株中占 95%。以上研究结果为小麦适应气候变暖育种和引种示范推广提供了重要参考信息。

关键词: 小麦品种(系); 黄淮; 长江中下游; 冬麦区; 农艺性状; 聚类分析

中图分类号: S512.1+1

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Agronomic traits and cluster analysis of winter wheat varieties (lines) in the Huanghuai and the middle/lower reaches of the Yangtze River wheat areas*

WANG Yafei^{1,2,3}, LI Shijing^{1,2,3}, XU Ping¹, ZHANG Zhengbin^{1,2,3**}, JING Ruilian⁴

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 2. Department of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences / Department of Modern

* 国家重点研发计划项目(2017YFD0300202)和中国科学院种子创新研究院项目资助

** 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

王亚飞, 主要研究方向为作物遗传育种。E-mail: 18330117389@163.com

收稿日期: 2019-05-22 接受日期: 2019-09-22

* This study was supported by the National Key Research and Development Program of China (2017YFD0300202) and the Seed Design Institute Project of Chinese Academy of Sciences.

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

Received May 22, 2019; accepted Sep. 22, 2019

Agricultural Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Innovative Academy of Seed Design, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Climate warming is having a great impact on wheat breeding and production in China and worldwide. To study the regulation mechanisms of the agronomic characteristics of wheat varieties (lines) adapting to climate change in different ecological wheat areas in China, this study selected 20 materials of wheat from the north and south of the Huanghuai winter wheat areas and the middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area, including good varieties with currently large distributions, new approved varieties, and new breeding lines. The experiment was conducted in Shijiazhuang City of Hebei Province, which is located to the north of the Huanghuai winter wheat area. The drought and cold resistance, root-shoot ratio, and dry leaf weight ratio were investigated before the reviving stage. After harvest, the yield and ten agronomic characteristics, including plant height, spike length, internode length under the spike, tillers number, spikelets number, grains number per spike, 1000-grain weight, biomass per plant, grains weight per plant, and economic index were tested, after which correlation, clustering, and principal component analyses were carried out. The results showed that the drought and cold resistance of different wheat varieties (lines) at the seedling stage was in the order of the north of Huanghuai winter wheat area > the south of Huanghuai winter wheat area > the middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area. There were extremely significant positive correlations between grains weight per plant and tillers number, grains number per spike, biomass per plant, and economic index in three ecological wheat areas. There were more agronomic characteristics with significant and extremely significant positive correlations in the south of the Huanghuai winter wheat area and the middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area, indicating that the varieties from these two ecological wheat areas had great similarities. However, there were some differences in the positive and negative correlations among other agronomic traits in different ecology wheat areas. The 20 wheat varieties (lines) were divided into two ecotypes at a Euclidean distance of 20. Varieties (lines) from the middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area and the south of the Huanghuai winter wheat area were in the type , and those from the north of the Huanghuai winter wheat area in the type . The type was further divided into three sub-classes at a Euclidean distance of 6, which were represented by ‘Bainong 207’ ‘Jimai 22’ and ‘Xinong 979’, respectively. The type was represented by ‘Changhan 58’. There were four principal components, yield, spike length, plant height, and economic index, which contributed to over 76.39% of the performance variation of the ten agronomic traits. ‘Jimai 22’ and other varieties (lines) from the north of the Huanghuai winter wheat area accounted for 95% of the varieties (lines) whose comprehensive scores were ranked in the top 20 varieties (lines). These results provide important reference information for wheat breeding and adaptations to climate warming.

Keywords: Wheat varieties (lines); Huanghuai; Middle and lower reaches of the Yangtze River; Winter wheat area; Agronomic traits; Clustering analysis

小麦(*Triticum aestivum*)是世界上主要的粮食作物之一,也是我国第三大粮食作物,种植面积达到粮食总面积的 22%^[1-2]。随着全球气候日益变暖^[3],不同生态麦区的小麦农艺性状和生态适应性及育种和栽培体系技术发生了一定的变化。联合国粮食与农业组织(FAO)指出,未来农作物品种的改良必须适应气候变化,保持可持续生产的不断强化^[4]。吴秀亭等^[5]发现随气候变暖黄淮小麦分蘖数和叶片数减少;刘新月等^[6]通过将黄淮旱地临汾小麦品种的农艺性状与气象因素进行关联分析,发现小麦千粒重和穗粒数随气温增长,有效穗数和产量却下降;陈帅^[7]分析了 2000—2009 年黄淮海小麦种植结构和日值气象数据、杨宇^[8]用函数模型分析了近 50 年温度和降水对小麦单产的影响均得到相同的结论。聚类分析是将具有一定相关性的多个指标组合成 1 个新的独立主成分单元,在小麦种质资源遗传分类和生

态适应性研究中具有重要应用价值^[9]。张桂英等^[10]对陕西关中 92 个小麦品种的品质因子进行了聚类分析,将其分为小麦粉质特性优、一般和较差 3 类。孙宪印等^[11]将黄淮冬麦区北片水地组的 15 个小麦品种聚类分析为品质性状不同的 5 类。吴秀宁等^[12]根据冻害和穗粒数不同表现进行聚类分析,将 26 份旱地小麦品种分为 5 类。前人对于同一区域小麦品种农艺和品质性状的主成分和聚类展开了相应的研究。但由于不同小麦生态区品种各具特点,而对于我国不同小麦生态区品种的农艺性状主成分、聚类分析报道较少。故本研究选用来自黄淮冬麦区北片(north of Huanghuai winter wheat area, NHWA)、黄淮冬麦区南片(south of Huanghuai winter wheat area, SHWA)及长江中下游冬麦区(middle and lower reaches of Yangtze River winter wheat area, MLRWA)的 20 个当前大面积推广小麦品种、新审定品种和新选育品系,

在黄淮冬麦区北片河北省石家庄市种植, 通过对其农艺性状进行相关、主成分和聚类分析, 研究不同生态麦区品种农艺性状适应气候变化的调控机理, 以期对不同麦区小麦品种(系)适应气候变化育种和生产栽培推广提供重要理论和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与试验设计

选用黄淮冬麦区北片、黄淮冬麦区南片及长江中下游冬麦区的 20 个当前大面积推广小麦品种、新审定品种和新选育品系为试验材料(表 1)。2017 年 10 月 10 日在黄淮冬麦区北片河北省石家庄市种植。20 个材料均随机排列, 3 次重复; 每个材料种植 6 行小区, 点播, 行距 0.2 m, 行长 2 m, 株距 0.05 m, 在生长阶段采取不浇灌的自然干旱处理。

1.2 性状调查

在返青期前调查不同品种(系)的抗旱抗冻性, 考察性状为根冠比和叶片干重/鲜重, 在每个品种的每个小区中随机挖取带植株的 30 cm 深土壤, 重复 3 次, 称量地下部分(根部)与茎和叶片(根上部)重量, 并计算根冠比; 称量小麦植株的干叶重量和地上部鲜重并计算比值, 比值高的品种抗旱抗冻性差, 比值低的品种抗旱抗冻性强。2018 年 6 月 10 日收获后, 进行室内考种, 主要包括株高、穗长、穗下节间长、分蘖数、小穗数、穗粒数、千粒重、单株生物

量、单株粒重和经济系数 10 个农艺性状。在每个重复小区中随机取 10 株, 对以上 10 个农艺性状进行性状考种和统计分析, 并计算单位面积产量。

1.3 数据分析

使用 Excel 2017 和 SPSS 20.0 进行农艺性状差异比较、相关、聚类、主成分分析和品种(系)综合评价^[13]。

2 结果与分析

2.1 不同生态麦区品种(系)抗旱抗冻适应性比较分析

在返青期前取 20 个不同小麦品种(系)的地上部和地下部进行称重分析如图 1 所示。不同麦区品种(系)的根冠比值为黄淮冬麦区北片<黄淮冬麦区南片<长江中下游冬麦区, 三者差异达显著水平。不同麦区品种(系)的干叶重/地上部鲜重比值为黄淮冬麦区北片<黄淮冬麦区南片<长江中下游冬麦区, 且三者差异亦达显著水平。这主要是由于长江中下游冬麦区品种(系)在河北表现不抗旱抗冻, 干叶多, 因此冠层重量轻; 而黄淮冬麦区北片品种(系)表现强的抗旱和抗冻性, 地上部干叶少, 冠层生物量大。说明在苗期不同麦区小麦品种(系)的抗旱抗冻能力为黄淮冬麦区北片>黄淮冬麦区南片>长江中下游冬麦区。

2.2 不同生态麦区品种(系)小麦农艺性状差异比较分析

不同生态麦区 20 个小麦品种(系)的 10 个农艺性状和产量如图 2 所示。在黄淮冬麦区北片自然干旱生长条件下, 小麦分蘖数、穗粒数、单株生物量、单株

表 1 供试 20 个小麦品种(系)材料
Table 1 Twenty wheat varieties (lines) tested in this study

编号 No.	品种(系) Variety (line)	种植区域 Planting area	育成时间 Time released
1	襄麦 55 Xiangmai 55	长江中下游冬麦区 Middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area	2009
2	安农 1124 Annong 1124	长江中下游冬麦区 Middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area	2018
3	扬麦 16 Yangmai 16	长江中下游冬麦区 Middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area	2004
4	周麦 27 Zhoumai 27	黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	2011
5	中涡 22 Zhongwo 22	黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	2017
6	西农 979 Xinong 979	黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	2005
7	郑麦 7698 Zhengmai 7698	黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	2012
8	衡观 35 Hengguan 35	黄淮冬麦区北、南片 North and south of the Huanghuai winter wheat area	2006
9	百农 207 Bainong 207	黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	2013
10	鑫农 518 Xinnong 518	黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	2018
11	远育 0370 Yuanyu 0370	黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	2017
12	临 XY22 Lin XY22	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2016
13	中麦 36 Zhongmai 36	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2018
14	临 Y8012 Lin Y8012	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2018
15	济麦 22 Jimai 22	黄淮冬麦区北、南片 North and south of the Huanghuai winter wheat area	2006
16	山农 28 Shannong 28	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2017
17	冀麦 325 Jimai 325	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2016
18	舜麦 1718 Shunmai 1718	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2011
19	中麦 175 Zhongmai 175	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2008
20	长旱 58 Changhan 58	黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	2004

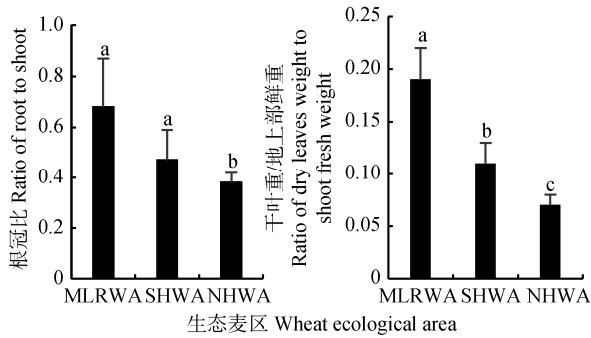


图 1 不同生态麦区小麦品种(系)苗期的根冠比和干叶重/地上部鲜重

Fig. 1 Root-shoot ratio and ratio of dry leaves weight to shoot fresh weight of wheat varieties (lines) from different wheat ecological areas

MLRWA: 长江中下游冬麦区; SHWA: 黄淮冬麦区南片; NHWA: 黄淮冬麦区北片。不同小写字母表示不同生态麦区间 $P < 0.05$ 水平差异显著。MLRWA: middle and lower reaches of Yangtze River winter wheat area; SHWA: south of Huanghuai winter wheat area; NHWA: north of Huanghuai winter wheat area. Different lowercases mean significant differences at $P < 0.05$ level among three wheat ecological areas.

粒重、产量等均表现为黄淮冬麦区北片品种(系) > 黄淮冬麦区南片品种(系) > 长江中下游冬麦区品种(系); 株高、千粒重为黄淮冬麦区北片品种(系) > 长江中下游冬麦区品种(系) > 黄淮冬麦区南片品种(系); 穗长、

穗下节间长上表现为长江中下游冬麦区品种(系) > 黄淮冬麦区南片品种(系) > 黄淮冬麦区北片品种(系); 小穗数为黄淮冬麦区南片品种(系) > 长江中下游冬麦区品种(系) > 黄淮冬麦区北片品种(系)。

三大麦区的小麦品种(系)的穗长、小穗数、穗粒数、单株粒重、经济系数无显著差异。但株高、穗下节间长、分蘖数、千粒重、单株生物量和产量差异显著,说明这 6 个农艺性状是适应气候变化的主要调控性状。

2.3 不同生态麦区品种(系)小麦农艺性状相关性分析

三大生态麦区小麦品种(系)10 个农艺性状的关联分析如表 2 所示,三大麦区共同呈极显著正相关的农艺性状有:株高与穗长、穗下节间长和穗粒数,穗长与穗粒数,分蘖数与单株生物量和单株粒重,小穗数与穗粒数,穗粒数与单株生物量和单株粒重,单株生物量与单株粒重,单株粒重与经济系数。

除了以上性状外,黄淮冬麦区南片和长江中下游冬麦区的株高与单株生物量和单株粒重,穗长与穗下节间长、单株生物量和单株粒重均呈极显著正相关。黄淮冬麦区北片和长江中下游冬麦区的小穗数与单株生物量和单株粒重都呈极显著正相关。

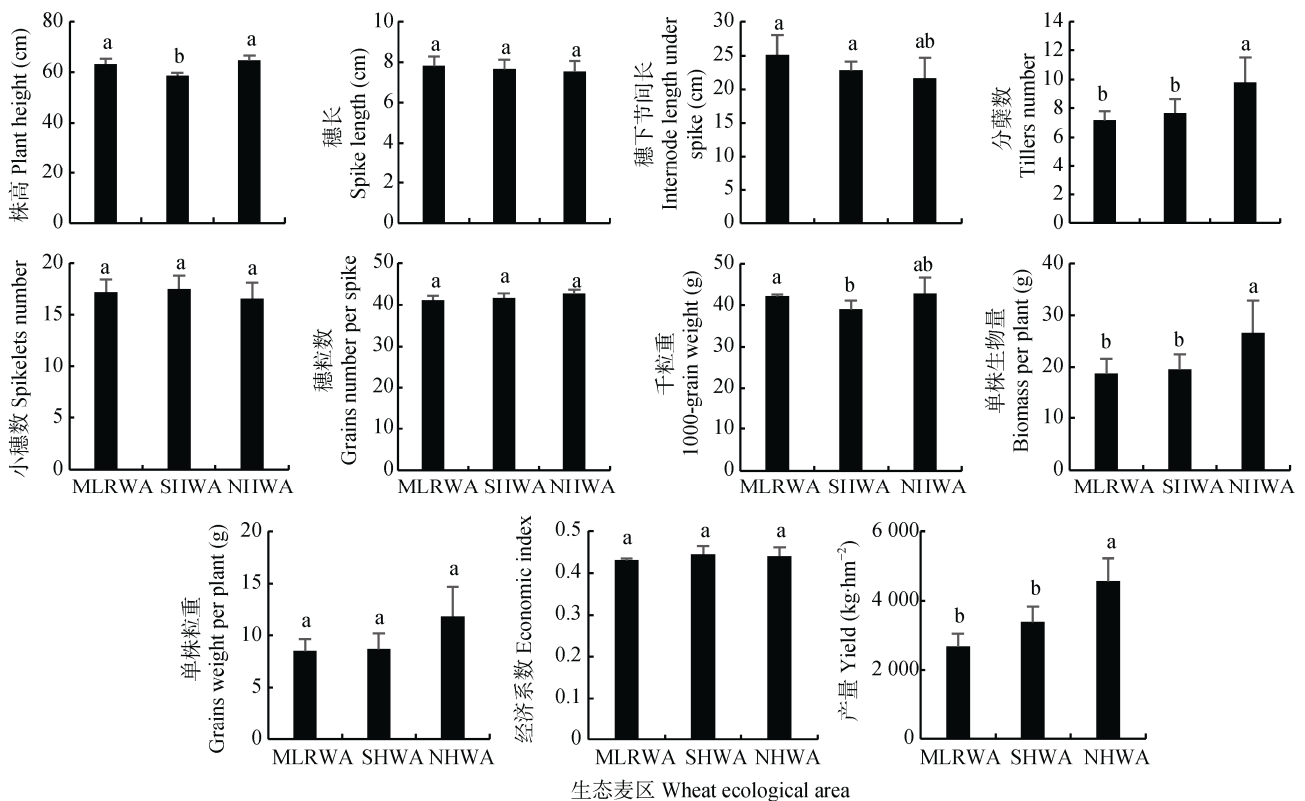


图 2 不同生态麦区小麦品种(系)的农艺性状

Fig. 2 Comparison of agronomic characters of wheat varieties (lines) from different wheat ecology areas

MLRWA: 长江中下游冬麦区; SHWA: 黄淮冬麦区南片; NHWA: 黄淮冬麦区北片。不同小写字母表示不同生态麦区间 $P < 0.05$ 水平差异显著。MLRWA: middle and lower reaches of Yangtze River winter wheat area; SHWA: south of Huanghuai winter wheat area; NHWA: north of Huanghuai winter wheat area. Different lowercases mean significant differences at $P < 0.05$ level among three wheat ecological areas.

三大生态麦区没有共同显著的负相关农艺性状。黄淮冬麦区北片的经济系数与株高和小穗数, 穗长与分蘖数呈极显著和显著负相关; 黄淮冬麦区南片的分蘖数与小穗数呈显著负相关; 长江中下游冬麦区无显著负相关农艺性状。

三大生态麦区呈显著和极显著正相关的农艺性状共同点较多, 说明这些农艺性状在三大麦区适应气候变化育种里有共性规律。黄淮冬麦区南片和长江中下游冬麦区另外还有较多相同农艺性状呈显著

和极显著正相关; 说明黄淮冬麦区南片和长江中下游冬麦区品种(系)的外部农艺性状表现型和内部遗传种质的基因型有更多的相似性, 这一方面是由于气候变化和生态环境选择决定, 另外也是由于黄淮南片冬麦区和长江中下游冬麦区品种之间的长期广泛杂交的结果。

不同麦区其他农艺性状之间的极显著正负相关不同, 是不同麦区品种(系)适应气候变化的不同调控机制所在。

表 2 不同生态麦区小麦品种(系)农艺性状相关性分析
Table 2 Correlation analysis of agronomic characters of varieties (lines) from different ecological areas

		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
黄淮冬麦区北片 North of the Huanghuai winter wheat area	X ₁	1.000									
	X ₂	0.353**	1.000								
	X ₃	0.347**	0.090	1.000							
	X ₄	-0.087	-0.129*	-0.070	1.000						
	X ₅	0.401**	0.456**	-0.003	0.078	1.000					
	X ₆	0.316**	0.493**	0.041	0.113	0.542**	1.000				
	X ₇	0.097	0.011	-0.035	0.848**	0.269**	0.344**	1.000			
	X ₈	0.016	-0.002	-0.062	0.815**	0.197**	0.316**	0.964**	1.000		
	X ₉	0.201	0.205	0.000	0.044	0.036	-0.040	0.048	0.015	1.000	
	X ₁₀	-0.195**	-0.024	-0.081	0.061	-0.168**	0.003	0.081	0.330**	-0.081	1.000
黄淮冬麦区南片 South of the Huanghuai winter wheat area	X ₁	1.000									
	X ₂	0.313**	1.000								
	X ₃	0.261**	0.199**	1.000							
	X ₄	0.223**	0.034	0.054	1.000						
	X ₅	-0.039	0.071	-0.117	-0.135*	1.000					
	X ₆	0.356**	0.472**	0.061	0.100	0.419**	1.000				
	X ₇	0.463**	0.205**	0.111	0.839**	0.006	0.362**	1.000			
	X ₈	0.457**	0.183**	0.097	0.778**	0.012	0.316**	0.954**	1.000		
	X ₉	-0.087	0.058	-0.059	0.114	0.088	0.327**	0.119	0.140	1.000	
	X ₁₀	0.150*	-0.006	0.045	0.055	0.063	-0.020	0.169*	0.443**	0.214	1.000
长江中下游冬麦区 Middle and lower reaches of the Yangtze River winter wheat area	X ₁	1.000									
	X ₂	0.597**	1.000								
	X ₃	0.639**	0.597**	1.000							
	X ₄	-0.126	-0.066	-0.165	1.000						
	X ₅	0.424**	0.385**	0.106	-0.060	1.000					
	X ₆	0.569**	0.478**	0.216*	-0.001	0.680**	1.000				
	X ₇	0.437**	0.330**	0.191*	0.665**	0.325**	0.538**	1.000			
	X ₈	0.376**	0.316**	0.186*	0.666**	0.297**	0.475**	0.948**	1.000		
	X ₉	0.342*	0.236	0.351*	-0.007	0.145	-0.085	-0.053	-0.030	1.000	
	X ₁₀	-0.077	0.035	0.043	0.141	-0.010	-0.030	0.113	0.411**	-0.019	1.000

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平(双侧)显著相关。X₁: 株高; X₂: 穗长; X₃: 穗下节间长; X₄: 分蘖数; X₅: 小穗数; X₆: 穗粒数; X₇: 单株生物量; X₈: 单株粒重; X₉: 千粒重; X₁₀: 经济系数。* and ** mean significant correlation at 0.05 and 0.01 levels (bilateral), respectively. X₁: plant height; X₂: spike length; X₃: internode length under spike; X₄: tillers number; X₅: spikelets number; X₆: grain number per spike; X₇: biomass per plant; X₈: grain weight per plant; X₉: 1000-grain weight; X₁₀: economic index.

2.4 不同小麦品种(系)的聚类分析

对来自黄淮冬麦区北片、黄淮冬麦区南片及长江中下游冬麦区三大生态麦区的 20 个当前大面积推广的小麦品种、新审定品种和新选育品系的 10 个

农艺性状进行系统聚类分析, 结果如图 3 所示。在欧氏距离 20 处, 20 个小麦品种(系)可以分为两类: 一类(长江中下游冬麦区和黄淮冬麦区南片)和 一类(黄淮冬麦区北片), 分别占比 70%和 30%。在欧氏距

离 6 处,第 1 类可以分为 3 个亚类:第 1 亚类是跨生态区适应性较广的以‘百农 207’‘衡观 35’和新国审的‘鑫农 518’为代表的小麦品种;第 2 亚类是适应性广、种植面积最大的以‘济麦 22’为代表的小麦品种,包括‘中麦 36’‘中麦 175’‘襄麦 55’等;第 3 亚类是优质和抗赤霉病较强的以‘西农 979’为代表的小麦品种,包括‘临 XY22’‘周麦 27’等。第 2 类以国审品种‘长旱 58’为代表,包括‘临 Y8012’‘冀麦 325’等。

聚类结果说明,长江中下游冬麦区的品种(系)和黄淮冬麦区南片的品种(系)聚为一类,另外黄淮冬麦区北片的一些品种也被聚类到黄淮冬麦区南片,黄淮冬麦区南片的部分品种(系)也和黄淮冬麦区北片的品种(系)聚为一类。目前由于气候变暖导致黄淮冬麦区北片品种(系)向黄淮冬麦区南片扩大种植,如河北衡水选育的‘衡观 35’在长江中下游的湖北、黄淮冬麦区南片、黄淮冬麦区北片冬麦区跨区种植。黄淮冬麦区北片山东省农业科学院选育的‘济麦 22’在黄淮冬麦区南片的安徽等地大面积种植,由于其冬前发苗慢,不容易遭受倒春寒冻害,而深受黄淮冬麦区南片麦区群众喜爱,成为我国目前推广面积最大的品种。另外由于气候变暖,长江中下游冬麦区的品种在黄淮冬麦区南片地区,黄淮冬麦区南片地区的品种在黄淮冬麦区北片跨界种植的现象也在不断增多。以上品种聚类结果和小麦品种跨区种植的实际情况相符合,也为小麦品种适应气候变化育种和引种推广提供了重要信息。

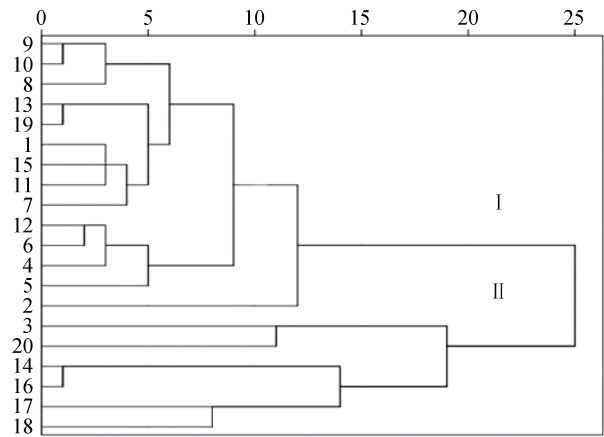


图 3 小麦品种(系)农艺性状聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of agronomic traits of wheat varieties (lines)

1: 襄麦 55; 2: 安农 1124; 3: 扬麦 16; 4: 周麦 27; 5: 中麦 22; 6: 西农 979; 7: 郑麦 7698; 8: 衡观 35; 9: 百农 207; 10: 鑫农 518; 11: 远育 0370; 12: 临 XY22; 13: 中麦 36; 14: 临 Y8012; 15: 济麦 22; 16: 山农 28; 17: 冀麦 325; 18: 舜麦 1718; 19: 中麦 175; 20: 长旱 58。1: Xiangmai 55; 2: Annong 1124; 3: Yangmai 16; 4: Zhoumai 27; 5: Zhongwo 22; 6: Xinong 979; 7: Zhengmai 7698; 8: Hengguan 35; 9: Bainong 207; 10: Xinnong 518; 11: Yuanyu 0370; 12: Lin XY22; 13: Zhongmai 36; 14: Lin Y8012; 15: Jimai 22; 16: Shannong 28; 17: Jimai 325; 18: Shunmai 1718; 19: Zhongmai 175; 20: Changhan 58.

2.5 不同小麦品种(系)农艺性状主成分分析

为了进一步揭示影响 20 个小麦品种(系)特征的主要农艺性状,对上述 10 个农艺性状进行了主成分分析,结果见表 3。有 4 个主成分因子(Y_1 、 Y_2 、 Y_3 和 Y_4)入选,其累计贡献率为 76.389%,这 4 个综合因子基本上代表了 10 个农艺性状的大部分表现型变异信息。

表 3 小麦品种(系)农艺性状的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of agronomic characters of wheat varieties (lines)

农艺性状 Agronomic trait	主成分 Principal component			
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
株高 Plant height	0.530	0.434	0.444	-0.112
穗长 Spike length	0.204	0.742	0.055	0.114
穗下节间长 Internode length under spike	0.170	0.325	0.805	0.026
分蘖数 Tiller number	0.822	-0.386	-0.129	-0.210
小穗数 Spikelet number	0.094	0.637	-0.438	0.073
穗粒数 Grain number per spike	0.439	0.685	-0.300	0.008
单株生物量 Biomass per plant	0.953	-0.142	-0.141	-0.139
单株粒重 Grains per plant	0.950	-0.189	-0.139	0.092
千粒重 1000-grain weight	0.433	-0.282	0.368	0.034
经济系数 Economic index	0.236	-0.180	0.011	0.947
贡献率 Contribution rate (%)	32.816	20.367	13.201	10.005
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	32.816	53.183	66.385	76.389

第 1 主成分可以反映 20 个小麦品种(系)农艺性状表现型变异信息的 32.816%,表达式: $Y_1=0.530X_1+0.204X_2+0.170X_3+0.822X_4+0.094X_5+0.439X_6+0.953X_7+$

$0.950X_8+0.433X_9+0.236X_{10}$ 。第 1 主成分因子主要是由单株生物量(X_8)、单株粒重(X_7)、分蘖数(X_4)构成,概括为“产量因子”。第 1 主成分因子单株粒重、单株生物量和分蘖

的增大, 对单株产量有提高的正效应。

第2主成分可以反映20个小麦品种农艺性状表现型变异信息的20.367%, 表达式: $Y_2=0.434X_1+0.742X_2+0.325X_3-0.386X_4+0.637X_5+0.685X_6-0.142X_7-0.189X_8-0.282X_9-0.180X_{10}$ 。第2主成分因子主要是由穗长(X_2)、小穗数(X_5)、穗粒数(X_6)构成, 概括为“穗长因子”。第2主成分因子穗长、小穗数、穗粒数的增加, 对单株产量有提高的正效应。

第3主成分可以反映20个小麦品种农艺性状表现型变异信息的13.201%, 表达式: $Y_3=0.444X_1+0.055X_2+0.805X_3-0.129X_4-0.438X_5-0.300X_6-0.141X_7-0.139X_8+0.368X_9+0.011X_{10}$ 。第3主成分因子主要是由穗下节间长(X_3)和株高(X_1)构成, 概括为“株高因子”。在一定的范围内, 第3主成分因子穗下节间长和株高的增加, 对单株产量有一定的正效应。

第4主成分可以反映20个小麦品种农艺性状表现型变异信息的10.005%, 表达式: $Y_4=-0.112X_1+0.114X_2+0.026X_3-0.210X_4+0.073X_5+0.008X_6-0.139X_7+0.092X_8+0.034X_9+0.947X_{10}$ 。第4主成分因子主要是由经济系数(X_{10})决定, 概括为“经济系数因子”。第4主成分因子经济系数增大, 对单株产量有正面效应。

2.6 不同小麦品种(系)综合得分值

根据4个主成分分别对表型变异解释的贡献率(表3), 采用单株综合得分值计算公式^[14]: $Z=(Y_1 \times$

$0.32816+Y_2 \times 0.20367+Y_3 \times 0.13201+Y_4 \times 0.10005)/0.76389$, 计算出20个小麦品种(系)的单株综合得分值, 每个品种(系)选取30个单株, 共计600个单株, 根据单株综合得分值选取前20个高得分植株进行排序, 如表4所示。其中编号为1、2、5、6、10、13、15、16和20的单株是‘济麦22’, 共有9株, 占45%, 聚类在第1类; 编号为8、14、18和19的单株是‘长旱58’, 共有4株, 占20%, 聚类在第2类; 编号为3的单株是‘中麦36’, 占5%, 聚类在第3类; 编号为4和12的单株是‘临Y8012’, 共有2株, 占10%, 聚类在第4类; 编号为9、11和17的单株是‘冀麦325’, 共有3株, 占15%, 聚类在第5类; 编号为7的单株是‘安农1124’, 占5%, 聚类在第6类。

‘济麦22’‘长旱58’‘临Y8012’‘中麦36’和‘冀麦325’都是黄淮冬麦区北片的品种(系), 在综合得分前20株中占95%; ‘安农1124’是长江中下游冬麦区品种, 在综合得分前20株中占5%。可以说明在石家庄自然干旱生长条件下, 黄淮冬麦区北片的小麦品种(系)更适合这里的气候生长条件, 但长江中下游和黄淮冬麦区南片麦区品种在北方也有一定的存活率, 说明气候变暖导致长江中下游冬麦区和黄淮冬麦区南片麦区品种在黄淮冬麦区北片也有一定适应性。说明气候变暖对小麦品种适应气候变化育种和生产具有重要影响。

表4 小麦品种(系)的单株农艺性状综合得分
Table 4 Comprehensive scores of agronomic traits of wheat varieties (lines)

优良单株编号 No. of excellent plant	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	综合得分值 Comprehensive score	类群 Group
1	2.08	2.54	0.96	0.39	1.80	
2	1.19	0.67	0.22	7.08	1.66	
3	0.64	0.31	1.92	6.92	1.60	
4	0.91	2.42	1.31	1.19	1.42	
5	3.08	0.87	0.19	-1.43	1.40	
6	1.69	1.79	0.68	0.24	1.35	
7	2.64	1.31	-0.63	-0.70	1.28	
8	2.63	0.83	-0.20	-0.57	1.24	
9	1.61	1.48	0.54	0.23	1.21	
10	1.83	0.86	1.58	-0.66	1.20	
11	1.49	1.08	0.53	0.91	1.14	
12	0.95	0.12	2.60	1.94	1.14	
13	1.11	1.64	2.01	-0.97	1.13	
14	2.36	0.38	1.48	-1.93	1.12	
15	1.91	0.86	0.81	-0.55	1.12	
16	1.04	1.07	1.41	0.78	1.08	
17	3.67	-0.51	-1.21	-1.13	1.08	
18	1.42	1.72	0.79	-1.03	1.07	
19	2.42	0.26	0.96	-1.83	1.03	
20	1.25	1.04	2.44	-1.59	1.03	

3 讨论与结论

目前关于小麦品种(系)的研究大多数是针对同一生态麦区不同品种(系)的适应性比较研究,关于不同麦区品种(系)在同一生态麦区的气候变化适应性研究报道较少。有研究表明,通过研究同一生态麦区的不同小麦品种(系)间的变化,发现我国北部麦区小麦平均产量出现上升趋势;但还有研究表明,小麦产量随气候变暖出现下降趋势^[6,15]。由长江中下游冬麦区到黄淮冬麦区南片到黄淮冬麦区北片气候变化有暖干化趋势^[3,16],本试验通过研究不同生态麦区的小麦品种(系)在华北平原的适应性,发现小麦品种(系)的抗旱及抗冻性为黄淮冬麦区北片>黄淮冬麦区南片>长江中下游冬麦区,但长江中下游冬麦区部分品种(系)的苗期植株可以正常生长,并且后期具有一定的籽粒产量,说明长江中下游部分弱冬弱春性小麦品种(系)由于气候变暖导致其在华北具有一定的越冬能力和适应性。穗粒数、单株生物量、单株粒重、分蘖数及单位面积产量呈黄淮冬麦区北片>黄淮冬麦区南片>长江中下游冬麦区的趋势。但穗长和穗下节间长表现出相反的趋势。简俊涛等^[17]通过分期播种研究气候对小麦农艺性状的影响,发现延迟播种期后,小麦的穗下节间长具有增长趋势,这与从黄淮冬麦区北片到黄淮冬麦区南片再到长江中下游冬麦区小麦播种期逐渐推迟,小麦品种穗下节间长有增长趋势的育种和栽培情况相符合。另外,对三大生态麦区小麦品种(系)农艺性状的相关性分析发现,黄淮冬麦区北片小麦品种(系)与产量性状单株粒重相关系数最大的农艺性状是单株生物量和分蘖,其次是穗粒数、经济系数和株高,这与谢成俊等^[18]发现经济系数与单株粒重呈正相关的结果相同。黄淮冬麦区南片和长江中下游冬麦区的品种(系)与单株粒重相关系数最大的农艺性状是单株生物量、分蘖、经济系数和株高,与黄淮冬麦区北片小麦品种(系)相同。说明在华北自然干旱生长条件对 3 个麦区小麦品种(系)产量影响程度最大的农艺性状是相同的,这与潘琦^[19]的研究结果相似。

主成分分析和聚类分析在小麦种质资源的农艺性状分析中已经得到了广泛的应用^[20-24]。周丽艳等^[25]利用主成分分析将 43 个春小麦品种的 11 个农艺性状分为 5 个主成分因子,并进行聚类分析,选出了产量性状优良的品种。尹桂芳等^[26]通过对 22 个荞麦(*Fagopyrum esculentum*)新品种的 8 个农艺性状进行主成分分析和聚类分析,筛选到适合在云南推广的品种。孟丽梅等^[27]利用聚类分析发掘了适宜黄淮旱

地的小麦品种。本研究将影响 20 个小麦品种(系)农艺性状的主成分因子依次概括为“产量因子”“穗长因子”“株高因子”和“经济系数因子”。品种(系)综合得分值排名前 20 的小麦单株,黄淮冬麦区北片品种(系)有 19 株,占 95%;长江中下游冬麦区品种(系)有 1 株,占 5%。其中‘济麦 22’在黄淮冬麦区北片和黄淮冬麦区南片是主栽品种,长江中下游品种‘安农 1124’排在 20 株中,且具有一定的籽粒收获。说明由于气候变暖导致南方地区品种(系)在黄淮冬麦区北片有一定的适应。本研究结果与宁晓菊^[28]采用生态学模型和地理空间分析方法研究小麦种植环境适应气候变化的能力的结果相同。

本研究对农艺性状进行聚类统计分析,将 20 个小麦品种分为长江中下游冬麦区和黄淮冬麦区南片、黄淮冬麦区北片 2 个类群,分析其特性和种植区域对应关系对小麦品种适应气候变化育种和生产推广具有重要意义。本试验在聚类分析中发现,类的小麦品种(系)有 14 个,其中有 9 个是黄淮冬麦区南片品种(系),4 个黄淮冬麦区北片品种(系)(如‘济麦 22’是黄淮冬麦区南片和北片跨区种植品种),2 个长江中下游冬麦区品种(系)。类的小麦品种(系)有 6 个,其中有 5 个黄淮冬麦区北片品种(系),1 个长江中下游冬麦区品种(系)。

由于气候变暖,在实际生产中,长江中下游和黄淮冬麦区南片、黄淮冬麦区南片和北片的小麦品种(系)可以互相跨区域种植,许多农艺性状、抗病性、抗逆性、品质优异的品种作为亲本相互杂交利用。本研究品种聚类分析结果也表明,来自不同麦区的品种被聚为一类。在黄淮冬麦区南片小麦品种(系)中,‘百农 207’‘衡观 35’和‘鑫农 518’聚为一类,其中‘百农 207’是河南目前种植面积最大的品种;‘衡观 35’是跨黄淮冬麦区北片、黄淮冬麦区南片、长江中下游冬麦区的品种;‘鑫农 518’是在黄淮冬麦区南片新国审品种(审定编号: 20180015),三者聚为一类,为‘鑫农 518’的未来大面积示范推广提供重要参考信息。以上研究结果可为小麦适应气候变化育种和引种示范推广提供重要的理论依据和技术支撑。

参考文献 References

- [1] ORTIZ R, SAYRE K D, GOVAERTS B, et al. Climate change: Can wheat beat the heat?[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 126(1/2): 46-58
- [2] 孟自力, 闫向泉, 马新明, 等. 黄淮中部地区小麦气候变化特征及其影响[J]. *农业科技通讯*, 2016, (12): 220-223
- MENG Z L, YAN X Q, MA X M, et al. Climate change characteristics and its influence on wheat in the central region of

- Huang-Huai River[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2016, (12): 220–223
- [3] SUN Q H, MIAO C Y, HANEL M, et al. Global heat stress on health, wildfires, and agricultural crops under different levels of climate warming[J]. *Environment International*, 2019, 128: 125–136
- [4] RAI M, REEVES T G, PANDEY S, et al. *Save and Grow: A Policymaker's Guide to Sustainable Intensification of Smallholder Crop Production*[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011
- [5] 吴秀亭, 张正斌, 徐萍, 等. 黄淮小麦农艺性状演变趋势[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(18): 3930–3938
- WU X T, ZHANG Z B, XU P, et al. Agronomic traits development and evolution of winter wheat in Huang-Huai Basin[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(18): 3930–3938
- [6] 刘新月, 裴磊, 卫云宗, 等. 气温变化背景下中国黄淮旱地冬小麦农艺性状的变化特征——以山西临汾为例[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(10): 1942–1954
- LIU X Y, PEI L, WEI Y Z, et al. Agronomic traits variation analysis of Huanghuai dryland winter wheat under temperature change background in China — Taking Linfen, Shanxi as an example[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(10): 1942–1954
- [7] 陈帅. 气候变化对中国小麦生产力的影响——基于黄淮海平原的实证分析[J]. *中国农村经济*, 2015, (7): 4–16
- CHEN S. Effects of climate change on wheat productivity in China: an empirical analysis based on the Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Chinese Rural Economy*, 2015, (7): 4–16
- [8] 杨宇. 气候变化对黄淮海平原粮食生产力影响的实证研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(6): 130–135
- YANG Y. The empirical study on impacts of climate changes on grain productivity in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(6): 130–135
- [9] 程晓明, 程婧晔, 胡文静, 等. 23 个小麦品种春化特性主成分分析及聚类分析[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(8): 64–68
- CHENG X M, CHENG J Y, HU W J, et al. Principal component analysis and cluster analysis of vernalization characteristics of 23 wheat varieties[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(8): 64–68
- [10] 张桂英, 张国权, 罗勤贵, 等. 陕西关中小麦品质性状的因子及聚类分析[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(3): 548–554
- ZHANG G Y, ZHANG G Q, LUO Q G, et al. Factors and cluster analysis of quality properties of wheat in Guanzhong Area of Shaanxi Province[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(3): 548–554
- [11] 孙宪印, 吴科, 钱兆国, 等. 黄淮冬麦区北片水地组供试小麦品种(系)主要品质性状的主成分分析和聚类分析[J]. *山东农业科学*, 2006, 38(1): 24–26
- SUN X Y, WU K, QIAN Z G, et al. Principal component analysis and cluster analysis of the main quality characters of wheat varieties (lines) tested in the irrigation group of North region of Huanghuai winter wheat region[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2006, 38(1): 24–26
- [12] 吴秀宁, 张军, 于浩世. 旱地小麦高代新品系的农艺性状[J]. *商洛学院学报*, 2019, 33(2): 24–28
- WU X N, ZHANG J, YU H S. Agronomic traits of dry-land wheat advanced lines[J]. *Journal of Shangluo University*, 2019, 33(2): 24–28
- [13] 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
- [14] 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 principal component analysis*[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004: 51–58
- [15] 高辉明, 张正斌, 徐萍, 等. 2001—2009 年中国北部冬小麦生育期和产量变化[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(11): 2201–2210
- GAO H M, ZHANG Z B, XU P, et al. Changes of winter wheat growth period and yield in northern China from 2001–2009[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(11): 2201–2210
- [16] 葛亚宁, 刘洛, 徐新良, 等. 近 50a 气候变化背景下我国玉米生产潜力时空演变特征[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 784–795
- GE Y N, LIU L, XU X L, et al. Temporal and spatial variations of Chinese maize production potential on the background of climate change during 1960–2010[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(5): 784–795
- [17] 简俊涛, 李玉鹏, 张震, 等. 小麦主要农艺性状受气候波动的模拟分析[J]. *农业科技通讯*, 2017, (8): 184–188
- JIAN J T, LI Y P, ZHANG Z, et al. Simulation of main agronomic characters of wheat subject to climatic fluctuation[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2017, (8): 184–188
- [18] 谢成俊, 王平, 李卫民, 等. 小麦收获指数与主要农艺性状的相关性分析[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(3): 88–93
- XIE C J, WANG P, LI W M, et al. Correlation analysis between wheat harvest index and main agronomic characters[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(3): 88–93
- [19] 潘琦. 安徽省五个农业区气候变化特点及粮食生产特点分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015
- PAN Q. *Climate change and food production characteristics of five agricultural areas in Anhui*[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2015
- [20] 李素, 姜鸿明, 官德祜, 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
- [21] 董攀, 李伟, 郑有良. 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. Analysis on the agronomic traits of *Triticum polonicum* L.[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27(2): 216–222
- [22] 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
- [23] 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
- [24] 蔡金华, 杨阳, 单延博, 等. 35 份小麦种质资源品质性状的主成分和聚类分析[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(5): 758-760
- CAI J H, YANG Y, SHAN Y B, et al. Principal component and cluster analysis of quality characters of 35 wheat germplasm resources[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2017, 58(5): 758-760
- [25] 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
- [26] 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
- [27] 孟丽梅, 杨子光, 孙军伟, 等. 53 份小麦品种农艺性状的聚类分析[J]. 山西农业科学, 2018, 46(7): 1085-1088
- MENG L M, YANG Z G, SUN J W, et al. Cluster analysis of agronomic traits of 53 wheat varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2018, 46(7): 1085-1088
- [28] 宁晓菊. 气候变化下我国主要粮食作物种植环境适应性研究[D]. 郑州: 河南大学, 2016
- NING X J. Adaptation of main grain crops to environment under climate change in China[D]. Zhengzhou: Henan University, 2016