

小麦农艺性状与品质特性的多元分析与评价

要燕杰¹, 高翔^{1,2}, 吴丹¹, 李晓燕^{1,2}, 陈其皎^{1,2}, 董剑^{1,2},
赵万春^{1,2}, 陈良国^{1,2}, 石引刚^{1,2}, 李学军¹

(¹西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100; ²陕西省小麦工程技术研究中心/陕西省小麦新品种培育工程研究中心, 杨凌 712100)

摘要:估算 96 个小麦品种(系)的 11 个农艺性状和 10 个品质特性参数的主成分,并以主成分和欧氏距离为基础,分别作二维排序分析和聚类分析。农艺性状的前 4 个主成分反映了 85.3450% 的原始数据信息量;品质特性的前 4 个主成分代表了 89.1483% 的原始数据信息量。以 96 个材料的主成分得分绘制二维排序图,27 个小麦品种(系)表现为矮秆、子粒和旗叶较大,丰产性较好、综合农艺性状优良;32 个小麦品种(系)表现为铁、锌含量较高,加工品质较好、综合品质特性优良。在系统聚类图中,农艺性状和品质特性分别被聚成 5 类。综合农艺性状较好的材料主要集中在第Ⅲ类和第Ⅳ类;综合品质特性较好的材料主要集中在第Ⅰ类和第Ⅱ类。综合分析发现,同时兼顾丰产性较好且子粒铁、锌含量较高,品质特性较好的小麦品种(系)有:泰山 9818、西农 822、轮选 719、杨-31、西安 837 和中育 9383。将聚类分析和二维排序分析结合起来,能较好的对小麦的性状组成做出综合评价,鉴定和评价出优质、高产、综合性状优良的小麦品种(系),为小麦遗传育种提供优良的种质资源,为合理选配亲本提供参考。

关键词:小麦;农艺性状;品质特性;主成分分析;聚类分析

Multivariate Analysis and Evaluation of Agronomic and Quality Traits Based on Principal Components in Wheat

YAO Yan-jie¹, GAO Xiang^{1,2}, WU Dan¹, LI Xiao-yan^{1,2}, CHEN Qi-jiao^{1,2}, DONG Jian^{1,2},
ZHAO Wan-chun^{1,2}, CHEN Liang-guo^{1,2}, SHI Yin-gang^{1,2}, LI Xue-jun¹

(¹College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100;

²Wheat Engineering Research Center of Shaanxi Province/Study Centre of Wheat Breeding of Shaanxi Province, Yangling 712100)

Abstract: The agronomic traits and quality traits of 96 wheat cultivars were investigated, and further principal component analysis (PCA) of those traits were analyzed. The first four components from the 11 studied agronomic traits and 10 quality traits explained 85.3450% and 89.1483% of total variation, respectively. Based on the scatter plot of largest four principal (PC), 27 cultivars were dwarf, relative-large grain, and flag leaf which characterized excellent comprehensive agronomic traits, 32 ones with high iron and zinc content showed potentiality for excellent processing quality and rheological property. Cluster analysis classified all tested materials into five groups, most cultivars with excellent agronomic traits were mainly concentrated in group III and group IV, those with high quality traits were in group I and group II. Notably, Taishan 9818, Xinong 822, Lunxuan 719, Yang-31, Xian 837, and Zhongyu 9383 showed either high agronomic or quality characteristics. In general, cluster analysis and scatter plot based on PCs analysis together could make good comprehensive evaluation on wheat traits. Moreover, possibly iden-

收稿日期:2013-04-26 修回日期:2013-07-22 网络出版日期:2013-12-19

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20131219.1310.026.html>

基金项目:国家自然科学基金项目(31101138);西北农林科技大学高校基本科研业务费(QN2012003);西北农林科技大学博士科研启动(2010BSJJ033);国家现代农业产业技术体系专项(CARS-3-2-47)

第一作者研究方向为小麦遗传育种。E-mail: yanjieyao86@126.com

通信作者:高翔,研究方向为小麦育种原理与方法及新品种选育、小麦品质分子遗传学研究。E-mail: gx@nwsuaf.edu.cn

李学军,研究方向为小麦遗传育种研究。E-mail: xuejun@nwsuaf.edu.cn

tifying wheat varieties with potential good comprehensive characters, which could provide good theoretical guidance for the reasonable selection of germplasm resources for further wheat breeding.

Key words: Wheat; agronomic traits; quality traits; principal components analysis; cluster analysis

主成分分析可以从构成性状的多因素关系中揭示供试材料的特点,可以了解供试材料主成分构成及其特征和生物学意义,为遗传材料的客观评价和品种选育提供参考依据^[1]。聚类分析既可以揭示类群间的遗传差异与相互关系,又可以了解类群内品种的遗传相似性^[2]。许多学者对普通小麦的农艺性状或品质特性的主成分分析和聚类分析进行了研究^[3-11]。胡延吉等^[3]对山东省及黄淮麦区 39 个小麦品种的 11 个农艺性状进行主成分分析,选择综合性状较好,有利用前途的优良种质资源,为小麦育种提供参考。赵新等^[4]通过对小麦品质指标的主成分分析发现 5 cm 处抗拉伸阻力、最大拉伸阻力、延伸度和支链淀粉可以代表小麦品质指标的大部分信息。薛香等^[5]对 13 个品质性状指标通过主成分分析简化为 5 个主成分因子,各主成分中载荷最大的指标分别是低谷粘度、稀懈值、蛋白质、湿面筋和反弹值。M. Sajjad 等^[6]调查了巴基斯坦 500 份春小麦品种(系)的 12 个农艺性状,2 年的主成分分析为小麦遗传改良中亲本的选配提供依据。王林海等^[7]、江涛等^[8]和马艳明等^[9]对黄淮麦区小麦品种(系)的农艺性状和品质性状进行了聚类分析,依据各类特点为育种亲本的选择提供参考。M. M. Siahbidi 等^[10]和 A. Degewione 等^[11]分别对伊朗和非洲东部普通小麦农艺性状进行主成分分析和聚类分析,为该地区小麦的高产育种提供了科学的参考。目前,关于小麦子粒铁、锌的研究主要集中在对其含量的测定及其相关性方面。樊庆琦等^[12]分析了山东小麦地方品种子粒铁、锌含量和分布情况。赵琰等^[13]测定了 83 个小麦栽培品种(系)子粒铁含量,

为高铁小麦品种的培育奠定基础。A. Morgounov 等^[14]分析了中亚 66 个冬、春小麦品种子粒铁、锌含量和相关性。J. B. Shen 等^[15]分析了河北省 26 个小麦品种子粒铁含量,发现铁含量存在明显的基因型差异。张勇等^[16]分析了我国北方冬麦区 240 个小麦品种和高代品系子粒铁、锌等矿质元素含量及其相关性,为进一步改良小麦品种矿质元素含量提供理论依据。但关于普通小麦子粒铁、锌等矿质元素的主成分和聚类分析的研究鲜见报道。近期一些学者在对麻类和大蒜进行系统鉴定与综合评价时,将二维排序分析方法引入其中^[2,17-18]。二维排序图可简洁、直观地反映供试材料分布特征,较清楚地揭示出各品种性状表现等方面明显的差异及相近或相对的位置。目前在普通小麦中利用该方法进行分析的研究未见报道。

本研究通过主成分分析、二维排序分析及聚类分析方法,对小麦农艺性状和品质特性进行分析,获得农艺性状及品质特性的主成分组成,并绘制二维排序图,利用主成分得分和贡献率权重乘积综合值进行聚类分析,获得综合农艺性状及品质特性较好的品种(系),揭示供试材料的遗传距离及多样性,为小麦遗传育种提供优良种质资源及理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料由西北农林科技大学农学院小麦品质改良实验室提供。2011 - 2012 年种植于杨凌小麦综合试验站。10 月 1 日采用单粒播种,行长 2 m,行距 0.2 m,每行播 20 粒,株距 0.1 m,每小区种植 2 行,重复 2 次。供试材料名称及来源见表 1。

表 1 供试小麦品种(系)名称和来源

Table 1 The names and origins of the 96 varieties of wheat

编号 No.	材料 Name	来源 Origin	编号 No.	材料 Name	来源 Origin
1	漯 30214 Luo 30214	河南省 Henan	7	周麦 11 Zhoumai 11	河南省 Henan
2	新麦 18 Xinmai 18	河南省 Henan	8	漯麦 9 号 Luomai 9	河南省 Henan
3	郑麦 00314 Zhengmai 00314	河南省 Henan	9	洛早 6 号 Luohan 6	河南省 Henan
4	郑育麦 9989 Zhengyumai 9989	河南省 Henan	10	洛早 7 号 Luohan 7	河南省 Henan
5	浚麦 35 Junmai 35	河南省 Henan	11	新麦 0208 Xinmai 0208	河南省 Henan
6	豫麦 34 Yumai 34	河南省 Henan	12	平安 8 号 Ping'an 8	河南省 Henan

表 1(续)

编号 No.	材料 Name	来源 Origin	编号 No.	材料 Name	来源 Origin
13	豫农 54 Yunong 54	河南省 Henan	55	泰山 9818 Taishan 9818	山东省 Shandong
14	豫保 1 号 Yubao 1	河南省 Henan	56	鲁原 301 Luyuan 301	山东省 Shandong
15	豫教 5 号 Yujiao 5	河南省 Henan	57	烟农 23 Yannong 23	山东省 Shandong
16	郑麦 7698 Zhengmai 7698	河南省 Henan	58	鲁麦 21 Lumai 21	山东省 Shandong
17	济麦 4 号 Jimai 4	河南省 Henan	59	山农 20 Shannong 20	山东省 Shandong
18	驻 04501 Zhu 04501	河南省 Henan	60	泰山 027 Taishan 027	山东省 Shandong
19	天禾 3 号 Tianhe 3	河南省 Henan	61	淄麦 12 Zimai 12	山东省 Shandong
20	新选 2039 Xinxuan 2039	河南省 Henan	62	良星 99 Liangxing 99	山东省 Shandong
21	豫农 416 Yunong 416	河南省 Henan	63	良星 66 Liangxing 66	山东省 Shandong
22	中育 9398 Zhongyu 9398	河南省 Henan	64	烟农 21 Yannong 21	山东省 Shandong
23	04 中 36 04 Zhong 36	河南省 Henan	65	鲁原 502 Luyuan 502	山东省 Shandong
24	濮麦 02056 Pumai 02056	河南省 Henan	66	泰山 23 Taishan 23	山东省 Shandong
25	温优 1 号 Wenyou 1	河南省 Henan	67	明麦 2 号 Mingmai 2	江苏省 Jiangsu
26	泛麦 7 号 Fanmai 7	河南省 Henan	68	淮核 0838 Huaihe 0838	江苏省 Jiangsu
27	平安 7 号 Pingan 7	河南省 Henan	69	淮麦 29 Huaimai 29	江苏省 Jiangsu
28	郑丰 9962 Zhengfeng 9962	河南省 Henan	70	徐麦 7049 Xumai 7049	江苏省 Jiangsu
29	花培 8 号 Huapei 8	河南省 Henan	71	中研麦 1 号 Zhongyanmai 1	江苏省 Jiangsu
30	驻 0263-07142 Zhu 0263-07142	河南省 Henan	72	淮麦 25 Huaimai 25	江苏省 Jiangsu
31	漯 8101 Luo 8101	河南省 Henan	73	安农 071 Annong 071	安徽省 Anhui
32	周麦 24 Zhoumai 24	河南省 Henan	74	安农 91168 Annong 91168	安徽省 Anhui
33	信麦 59 Xinmai 59	河南省 Henan	75	涡麦 8 号 Womai 8	安徽省 Anhui
34	偃展 4110 Yanzhan 4110	河南省 Henan	76	阜麦 11 Fumai 11	安徽省 Anhui
35	小偃 315 Xiaoyan 315	陕西省 Shaanxi	77	皖麦 5 号 Wanmai 5	安徽省 Anhui
36	西农 538 Xinong 538	陕西省 Shaanxi	78	绿丰麦 382 Lvfengmai 382	安徽省 Anhui
37	西农 335 Xinong 335	陕西省 Shaanxi	79	邯 02-4080-15 Han 02-4080-15	河北省 Hebei
38	陕 715 Shan 715	陕西省 Shaanxi	80	邯 6369 Han 6369	河北省 Hebei
39	西农 822 Xinong 822	陕西省 Shaanxi	81	石农 898 Shinong 898	河北省 Hebei
40	远 1468 Yuan 1468	陕西省 Shaanxi	82	师栾 02-1 Shiluan 02-1	河北省 Hebei
41	PI428456	陕西省 Shaanxi	83	轮选 719 Lunxuan 719	河北省 Hebei
42	PI428465	陕西省 Shaanxi	84	中泛 5 号 Zhongfan 5	河北省 Hebei
43	杨-3 Yang-3	陕西省 Shaanxi	85	中麦 306 Zhongmai 306	河北省 Hebei
44	杨-31 Yang-31	陕西省 Shaanxi	86	科农 1006 Kenong 1006	河北省 Hebei
45	西农 213 Xinong 213	陕西省 Shaanxi	87	川育 16 Chuanyu 16	四川省 Sichuan
46	小偃 216 Xiaoyan 216	陕西省 Shaanxi	88	川 03068 Chuan 03068	四川省 Sichuan
47	西农 165 Xinong 165	陕西省 Shaanxi	89	绵麦 39 Mianmai 39	四川省 Sichuan
48	小偃 270 Xiaoyan 270	陕西省 Shaanxi	90	绵麦 1403 Mianmai 1403	四川省 Sichuan
49	西农 898 Xinong 898	陕西省 Shaanxi	91	黔 9963-3 Qian 9963-3	贵州省 Guizhou
50	秦农 16 Qinnong 16	陕西省 Shaanxi	92	黔麦 17 Qianmai 17	贵州省 Guizhou
51	九丰 2 号 Jiufeng 2	陕西省 Shaanxi	93	丰优 8 号 Fengyou 8	贵州省 Guizhou
52	西安 837 Xi'an 837	陕西省 Shaanxi	94	襄麦 20 Xiangmai 20	湖北省 Hubei
53	武农 986 Wunong 986	陕西省 Shaanxi	95	龙辐麦 13 号 Longfumai 13	黑龙江省 Heilongjiang
54	武农 886 Wunong 886	陕西省 Shaanxi	96	运旱 D-2 Yunhan D-2	山西省 Shanxi

1.2 性状调查与统计分析

1.2.1 农艺性状调查 主要农艺性状的调查项目及标准参照全国统一标准^[19]。调查的性状包括旗叶长、旗叶宽、穗下节长、穗下节直径、旗叶距穗长、株高、小穗数、穗粒数、穗粒重、粒宽、粒厚。

1.2.2 品质特性测定 子粒铁、锌含量的测定:准确称取 0.500 g 样品,采用硝酸-高氯酸联合消煮后用蒸馏水定容到 50 mL,采用原子吸收分光光度计进行测定^[20];子粒蛋白质含量采用瑞典 DA7200 型近红外分析测定;湿面筋含量采用瑞典波通公司面筋分析仪测定,参照 GB/T 14608-1993 进行;容重按 GB5498-1985《粮食、油料检验容重测定法》测定;沉降值测定参照 GB/T 15685-1995 进行;粉质参数采用德国 Brabender 粉质仪测定,参照 GB/T 14614-2006 进行;拉伸参数采用德国 Brabender 拉伸仪测定,参照 GB/T 14615-2006 进行。

1.3 数据统计与分析

数据分析采用 Excel、SPSS 和 NTSYS-pc (Version 2.1) 软件^[21]。主成分分析根据累积贡献率 $\geq 85\%$ 的原则^[22],筛选主成分因子,根据各特征向量的绝对值将不同农艺性状及品质特性指标划分到不同的主成分之中。同一指标在各因子中的最大绝对值所在位置即为其所属主成分^[23]。二维排序分析利用 SPSS 软件计算出供试的 96 份小麦品种(系)的农艺性状及品质特性的主成分值,利用 GRAPHPAD 绘图软件以第 1 主成分值为横坐标,分别以第 2、3、4 主成分值为纵坐标绘制二维排序图。聚类分析利用供试材料的主成分和贡献率权

重乘积之和的综合值为指标,采用基于品种遗传距离(欧氏距离)的类平均法(UPGMA, unweighted pair-group method with arithmetic means)进行系统聚类。

2 结果与分析

2.1 主成分分析

2.1.1 农艺性状主成分分析 对 11 个农艺性状进行主成分分析,利用 SPSS 数据处理软件计算出各主成分的特征向量和贡献率(表 2)。前 4 个主成分累积贡献率为 85.3450%。第 1 主成分贡献率是 31.0133%,其特征向量所凝聚的生物学信息主要跟穗部相关,故称第 1 主成分为穗部构成因子。其特征向量间关系表明,穗下节直径越大,其所承载的穗部重量就越大;小穗数、穗粒数增多,则穗粒重较大。第 2 主成分贡献率是 24.6215%,其性状特征值中贡献率最大的是穗下节长,该性状跟株高相关,因而称为株高构成因子。其凝聚的向量关系表明:植株越高,垂直空间越大,故旗叶就越长;但随着株高增加,粒宽就变小。第 3 主成分贡献率是 18.1518%,其性状特征值中贡献率最大的是粒厚和粒宽,而穗粒数的特征向量是负值,故称其为子粒大小构成因子。向量关系表明:子粒越大,每穗上的子粒数就越少。第 4 主成分贡献率是 11.5583%,其性状特征值中贡献率最大的是旗叶宽,可称为旗叶构成因子。穗粒数、穗粒重和株高与旗叶宽呈负相关关系。向量关系表明:旗叶宽度增加,限制了植株的高度,从而影响穗粒数和穗粒重的增加。

表 2 各农艺性状主成分的特征向量及贡献率

Table 2 Eigenvectors and percentages of accumulated contribution of principal components for agronomic traits

性状 Traits	第 1 主成分 The first PC	第 2 主成分 The second PC	第 3 主成分 The third PC	第 4 主成分 The fourth PC
株高 Plant height	0.0429	0.4510	0.2853	-0.3092
旗叶长 Flag leaf length	0.2508	0.3735	-0.1850	0.2218
旗叶宽 Flag leaf width	0.3524	-0.0386	-0.0939	0.5698
穗下节长 Internode length below the spike	0.0317	0.5637	0.0632	0.0840
穗下节直径 Uppermost internode diameter	0.4074	-0.0948	-0.0837	0.3523
小穗数 Spikelet numbers	0.4743	0.0142	-0.0562	-0.1840
穗粒数 Grains per spike	0.4173	-0.0436	-0.2107	-0.4254
粒宽 Grain width	0.1432	-0.1896	0.5865	0.1763
粒厚 Grain thickness	0.0629	-0.0277	0.6554	0.1071
穗粒重 Kernel weight per spike	0.4500	-0.0358	0.2044	-0.3522
旗叶距穗长 Distance between flag leaf and spike	-0.0377	0.5375	0.0401	0.1349
特征向量值 Eigen value	3.4115	2.7084	1.9967	1.2714
贡献率(%) Contribution rate	31.0133	24.6215	18.1518	11.5583
累计百分率(%) Accumulative percentage	31.0133	55.6348	73.7866	85.3450

2.1.2 品质特性主成分分析 各主成分的特征向量和贡献率见表 3。前 4 个主成分累积贡献率达 89.1483%。第 1 主成分贡献率是 54.1611%，其性状特征值中贡献率由大到小依次是：沉降值、面团形成时间、子粒蛋白质含量、延展度、拉伸面积、湿面筋含量和面团稳定时间。且彼此间呈正相关性，故称其为沉降值因子。第 2 主成分贡献率占 14.9571%，对该主成分贡献最大的是子粒容重，其特征向量为负值，可称其为容重因子。向量关系表明：随着子粒容重的增大，子粒铁、锌、蛋白质和湿面筋含量一般会降低，而面团形成时间、稳定时间和拉伸面积一般会增加。第 3 主成分贡献率占 10.3339%，其中锌含量在

第 3 主成分中起主要作用，故称为锌含量因子。子粒容重的特征向量载荷也较大，而面团稳定时间、沉降值和子粒铁含量的特征向量为负值。第 4 主成分贡献率占 9.6962%，称为铁含量因子。子粒容重特征向量绝对值也较大，而面团稳定时间、沉降值和子粒锌含量的特征向量为负值。向量关系表明：子粒锌含量高，一般子粒容重也较大，但沉降值和面团稳定时间一般较小；子粒铁含量与其他品质性状间也有类似的关系。由于子粒铁和锌含量间呈负相关，故在小麦品质改良中不应过分追求高铁或高锌品种，而应选择子粒铁和锌含量适中，同时子粒容重、沉降值、面团稳定时间等品质性状也较好的品种。

表 3 各品质特性主成分的特征向量及贡献率

Table 3 Eigenvectors and percentages of accumulated contribution of principal components for quality traits

性状 Traits	第 1 主成分 The first PC	第 2 主成分 The second PC	第 3 主成分 The third PC	第 4 主成分 The fourth PC
铁 Iron content in grain	0.0416	0.4839	-0.2433	0.6653
锌 Zinc content in grain	0.0529	0.2840	0.8210	-0.2343
蛋白质 Protein content	0.3816	0.2858	0.0605	0.0937
湿面筋 Wet gluten content	0.3609	0.3469	0.0648	0.0492
容重 Test weight	-0.0507	-0.5283	0.3892	0.6277
沉降值 Sedimentation value	0.4069	-0.0413	-0.1335	-0.1251
延展度 Tractility	0.3755	0.0126	0.1749	0.1577
稳定时间 Stability time	0.3491	-0.2131	-0.2421	-0.2274
形成时间 Development time	0.3957	-0.2431	0.0250	0.0630
拉伸面积 Stretch area	0.3633	-0.3123	0.0090	0.0253
特征向量值 Eigen value	5.4161	1.4957	1.0334	0.9696
贡献率(%) Contribution rate	54.1611	14.9571	10.3339	9.6962
累计百分率(%) Accumulative percentage	54.1611	69.1182	79.4521	89.1483

2.2 二维排序分析

2.2.1 农艺性状二维排序分析 利用 GRAPHPAD 绘图软件以第 1 主成分值为横坐标，分别以第 2、3 和 4 主成分值为纵坐标绘制二维排序图(图 1、图 2、图 3)。由于第 1 主成分属于穗部构成因子，较大为好。第 2 主成分属于株高构成因子，较小为好。因此第 1 主成分值较大且第 2 主成分值较小的品种(系)主要分布在图 1 二维排序图的右下角，这些品种(系)丰产性较好且矮秆抗倒伏。第 3 主成分是子粒大小构成因子，由于子粒大小和穗粒数的负相关关系，所以第 3 主成分值要适中为好。符合该特点的品种(系)主要分布在图 2 二维排序图纵坐标的右侧，围绕横坐标轴附近。第 4 主成分是旗叶构成因子，由于旗叶宽与穗粒数、穗粒重的负相关关系，影响产量，所以第 4 主成分值适中为好。在图 3 中位于二维排序图纵坐标右侧、围绕横坐标轴附近

的品种(系)主要表现为旗叶宽和穗粒数结合比较好。由以上分析可知，综合农艺性状较好的小麦品种(系)的编号为 5、11、15、19、20、21、22、25、29、38、39、43、44、46、48、52、53、54、55、60、67、70、74、76、79、83、90。所对应的品种分别为浚麦 35、新麦 0208、豫教 5 号、天禾 3 号、新选 2039、豫农 416、中育 9398、温优 1 号、花培 8 号、陕 715、西农 822、杨-3、杨-31、小偃 216、小偃 270、西安 837、武农 986、武农 886、泰山 9818、泰山 027、明麦 2 号、徐麦 7049、安农 91168、阜麦 11、邯 02-4080-15、轮选 719、绵麦 1403。

2.2.2 品质特性二维排序分析 以第 1 主成分值为横坐标，分别以第 2、3 和 4 主成分值为纵坐标绘制二维排序图(图 4、图 5、图 6)。第 1 主成分主要是跟加工品质相关，该成分值较大的品种(系)主要分布在二维排序图纵坐标的右侧，其值较大，则加工品质较好。第 2 主成分特征向量间子粒容重，与子

粒铁、锌、蛋白质和湿面筋含量的负相关关系,第2主成分不能太大,也不能太小。在图4中具有较好的加工品质,而子粒锌、铁及蛋白质含量较高的材料主要位于二维排序图纵坐标右侧,围绕横坐标轴附近。第3、4主成分主要反映子粒中铁、锌含量,且与某些性状间存在负相关关系。由图5和图6可以看出,同时兼顾子粒铁、锌含量较高,其他的品质指标又较好的品种(系)主要分布在二维排序图纵坐标右侧,围绕横坐标轴附近。由以上分析可知,综合品质特性较好的小麦(系)的编号是1、6、8、13、17、20、22、33、34、36、39、40、41、42、43、44、45、48、49、52、55、56、59、68、69、72、81、82、83、88、95、96。所对应的品种分别为漯30214、豫麦34、漯麦9号、豫农54、济麦4号、新选2039、中育9398、信麦59、偃展4110、西农538、西农822、远1468、PI428456、PI428465、杨-3、杨-31、西农213、小偃270、西农898、西农837、泰山9818、鲁原301、山农20、淮核0838、淮麦29、淮麦25、石农898、师栾02-1、轮选719、川03068、龙辐麦13号、运早D-2。

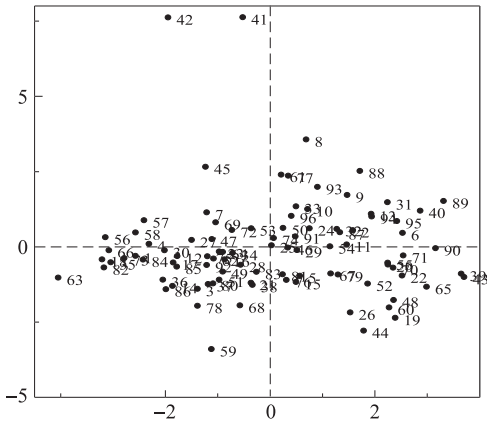


图1 第1、2主成分二维排序图

Fig.1 Scatter plot based on the first and second PC

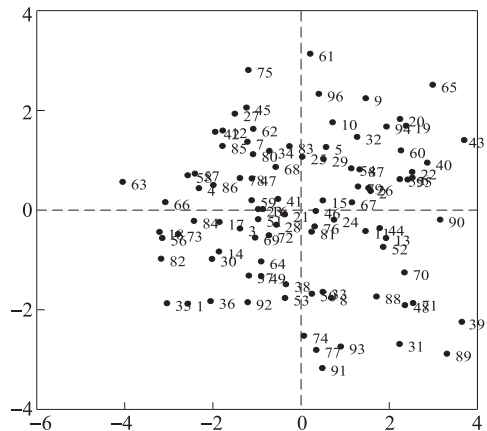


图2 第1、3主成分二维排序图

Fig.2 Scatter plot based on the first and third PC

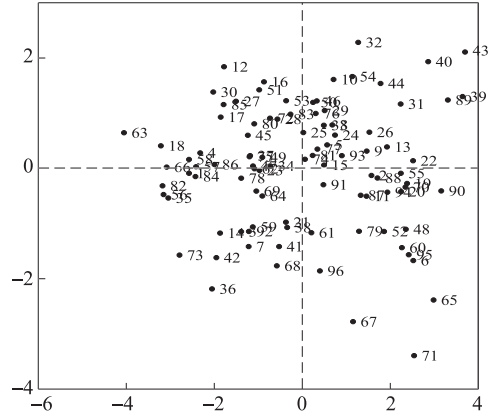


图3 第1、4主成分二维排序图

Fig.3 Scatter plot based on the first and fourth PC

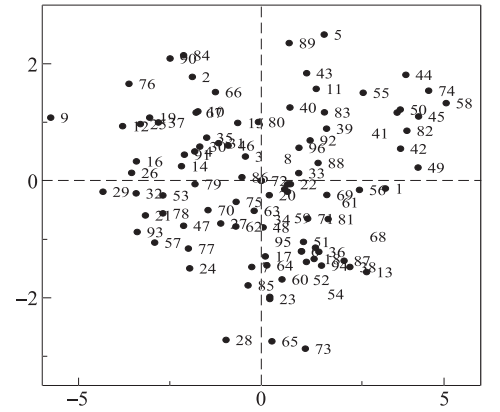


图4 第1、2主成分二维排序图

Fig.4 Scatter plot based on the first and second PC

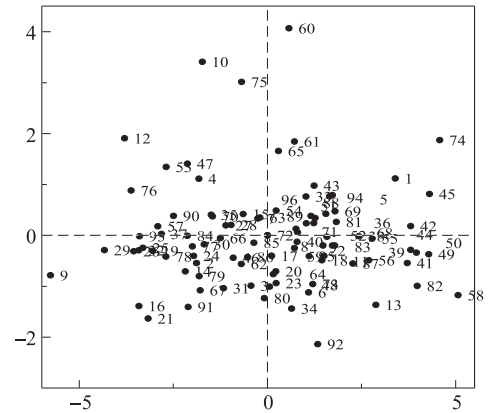


图5 第1、3主成分二维排序图

Fig.5 Scatter plot based on the first and third PC

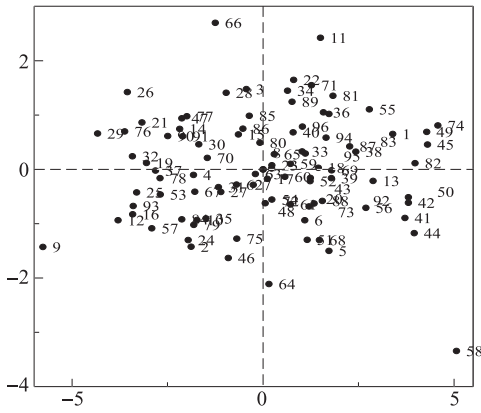


图6 第1、4主成分二维排序图

Fig. 6 Scatter plot based on the first and fourth PC

2.3 聚类分析

2.3.1 农艺性状的聚类分析 以供试材料的主成分和贡献率权重乘积之和的综合值为指标进行聚类分析,在遗传距离为0.46的水平上可以把96份供试材料分成5类(图7和表4)。第I类:株高最矮,千粒重、穗粒重、穗粒数、小穗数最小,旗叶面积(旗叶长、旗叶宽)最小,子粒(粒宽和粒厚)最小,穗下节直径最小。第II类是:株高较矮,千粒重、穗粒重、穗粒数、小穗数较小,旗叶面积较小,子粒较小,穗下节直径较小。第I类和第II类小麦品种属矮秆型,但丰产性较差。第III类:株高中等,千粒重、穗粒重、穗粒数、小穗数较大,旗叶面积中等,子粒大小中等,穗下节直径较大,属于矮秆型,丰产性较好。第IV类:株高较高,千粒重、穗粒重、穗粒数、小穗数最大,旗叶面积较大,子粒较大,穗下节直径最大,株高虽相对较高,但丰产性很好。第V类:株高最高,千粒重、穗粒重、穗粒数、小穗数较大,旗叶面积最大,子粒最大,穗下节直径较大,虽然丰产性较好,但是株高太高,综合农艺性状较差。综上所述,第III和IV类中的小麦品种(系)株高相对较矮,丰产性较好,可以作为较好的种质资源或优良的育种亲本材料。

2.3.2 小麦品质特性的聚类分析 系统聚类结果表明,在遗传距离为0.96的水平上可以把96份供试材料分成5类(图8和表5)。第I类:子粒铁、锌含量最高,平均值分别为 $4.15 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $2.84 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$,各品质指标(子粒蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、延展度、面团稳定时间、面团形成时间和拉伸面积)最大,子粒容重较大。第II类:子粒铁、锌含量较高,平均值分别为 $3.85 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $2.54 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$,子粒容重最大,各品质指标较高。第III类:子粒铁、锌含量较低,平均值分别为 $3.67 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $2.46 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$,子粒容重最大,各品

质指标处于中等水平。第IV类:子粒铁、锌含量较低,平均值分别为 $3.64 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $2.40 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$,子粒容重较大,各品质指标均较低。第V类:该类只有一个材料(洛旱6号),子粒铁、锌含量分别为 $3.82 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $2.59 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{kg}$,但子粒容重最小,加工品质各指标均处于最低水平。综上所述,

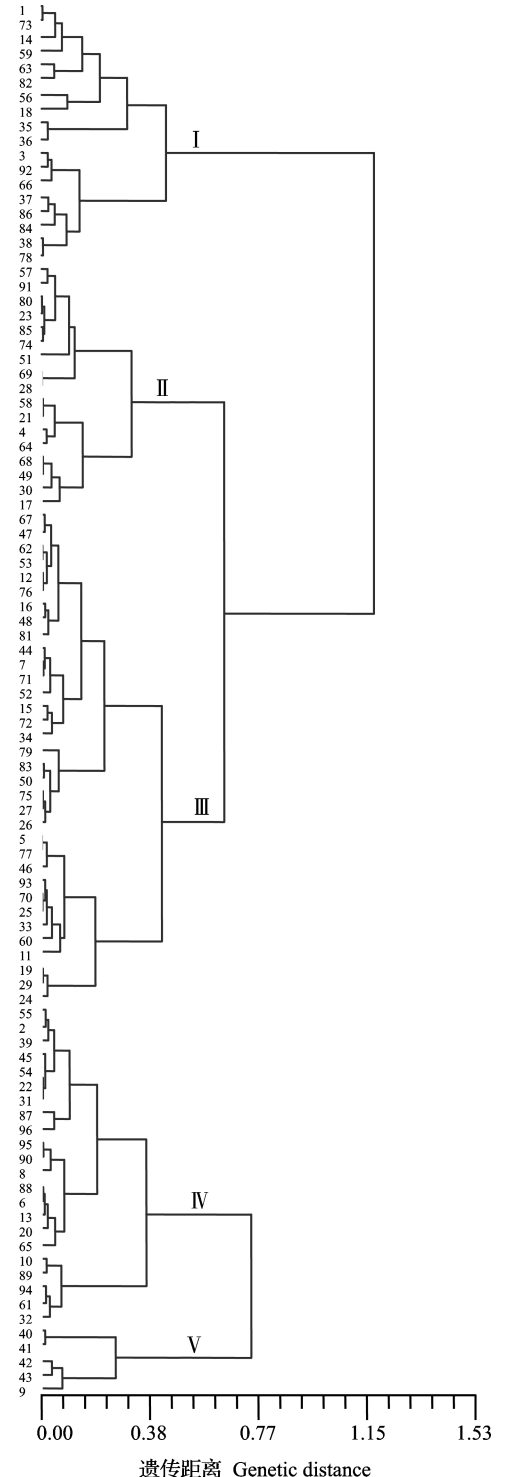


图7 农艺性状系统聚类图

Fig. 7 Hierarchical cluster diagram for agronomic traits

本研究通过基于主成分的二维排序分析和聚类分析发现了一批综合农艺性状和品质特性均较优良的品种(系)如泰山9818、西农822、轮选719、杨-31、西安837和中育9398,这些材料可以作为优异基因资源进行重点开发利用,为今后小麦遗传育种利用这些材料提供了数据支持。

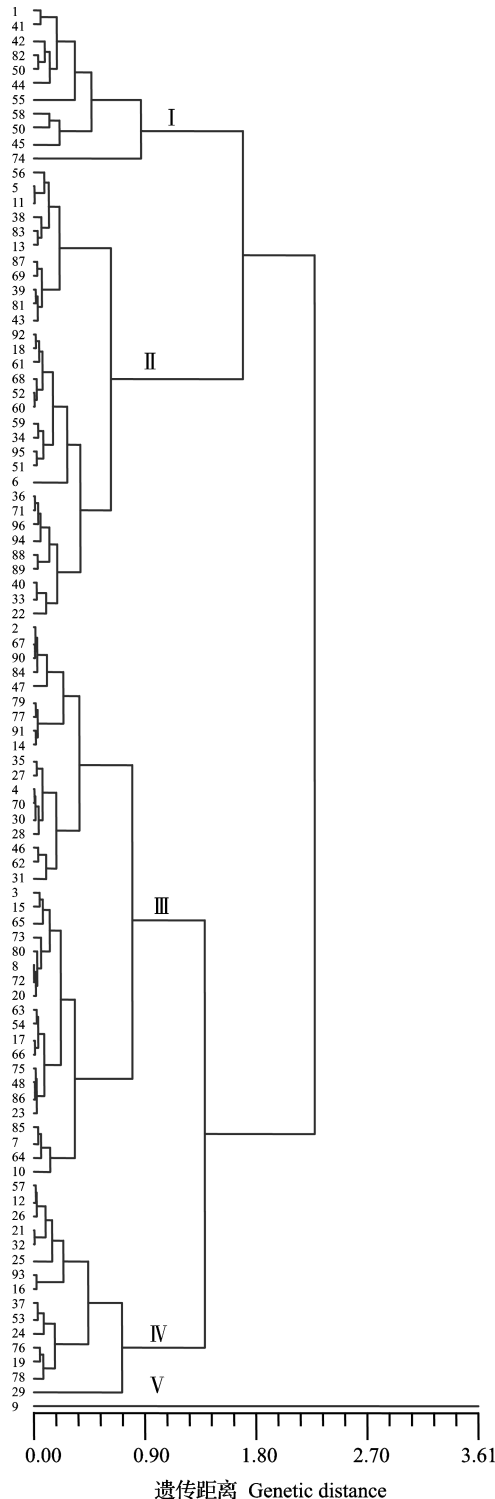


图8 品质特性系统聚类图

Fig. 8 Hierarchical cluster diagram for quality traits

3 讨论

3.1 主成分分析

主成分分析采取一种降维的方法,利用几个综合因子代表原来众多的变量,使这些综合因子尽可能地反映原来变量的信息量^[5]。由于这几个综合因子提供了原性状85%以上的信息,且是综合的、相对独立的指标体系,数值直观且容易分析。所以,将主成分分析用于小麦农艺性状和品质特性的评价和筛选,既能把握其综合性状表现,又能简化选择程序^[24]。对产量贡献由大到小的主成分顺序是:穗部构成因子>株高构成因子>子粒大小构成因子>旗叶构成因子。第1主成分中贡献率最大的主成分载荷是小穗数(0.4743),表明在所研究的11个农艺性状中小穗数较其他农艺性状对产量的影响较大。这与李伟等^[25]研究结果相符。小穗数在穗粒数的构成因素中起最大作用,通过增加小穗数比依靠增加小穗粒数提高每穗粒数的效果明显,所以小穗数在高产育种中具有一定的潜力^[26]。根据各主成分对高产育种的价值,入选材料应是第1主成分适中偏大,第2主成分适中偏小,第3、4主成分适中。对品质特性贡献由大到小的主成分顺序是:沉降值因子>容重因子>锌含量因子>铁含量因子。第1主成分中载荷最大的品质特性是沉降值(0.4069),这与前人研究结果是类似的^[27-28],与许多育种工作者认为沉降值与食品加工品质和面团流变学特性及最终利用有较好的相关性,可以作为反映蛋白质和量的综合性指标不谋而合^[29-32]。由于沉降值遗传力较高,受环境影响较小,因此将沉降值作为育种中早代选择的指标是十分有效的。根据各主成分对品质改良的价值,入选材料应是第1主成分适中偏大,第2主成分适中,第3、4主成分适中偏大。

3.2 聚类分析

聚类分析在研究作物品种资源的差异和分类方面,证明是比较可行的分析评价方法^[33]。参加聚类的性状越多越能综合反映品种(系)的客观实际,只是有些性状的差异会被另一些性状的差异所掩盖,造成类群间差别模糊^[34]。所以许多学者在主成分分析的基础上进行聚类分析^[35-37]。第一可以用尽可能少的主成分说明生物学的大部分信息,减少统计的复杂性^[38];第二在主成分分析的结果上进行聚类分析,分析更可靠,过程更简便,能为亲本选配提供更科学的依据^[39];第三基于主成分或因子的聚类分析比单独的聚类分析在揭示品种差异方面更精

表 4 小麦农艺性状聚类分析的各类均值

Table 4 Average of agronomic traits using cluster analysis

性状 Traits	均值 Mean				
	I (18)	II (17)	III (34)	IV (22)	V (5)
株高 (cm) Plant height	71	71	73	85	102
旗叶长 (mm) Flag leaf length	159	182	191	224	236
旗叶宽 (mm) Flag leaf width	17	19	20	21	21
穗下节长 (mm) Internode length below the spike	219	250	255	287	372
穗下节直径 (mm) Uppermost internode diameter	2.14	2.35	2.56	2.69	2.53
小穗数 (个/株) Spikelet numbers	16	17	18	19	19
穗粒数 (粒/穗) Grains per spike	39	39	46	49	44
粒宽 (mm) Grain width	3.48	3.55	3.7	3.73	3.67
粒厚 (mm) Grain thickness	2.99	3.08	3.11	3.17	3.28
穗粒重 (g) Kernel weight per spike	1.523	1.734	2.039	2.357	2.179
旗叶距穗长 (mm) Distance between flag leaf and spike	70	85	87	100	169

括号内的数字表示该类群所包含的材料数,下同

The figures in brackets represent the numbers of materials, the same as below

表 5 小麦品质性状聚类分析的各类均值

Table 5 Average of quality traits using cluster analysis

性状 Traits	均值 Mean				
	I (11)	II (31)	III (38)	IV (15)	V (1)
铁 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) Iron content in grain	4.15×10^4	3.85×10^4	3.67×10^4	3.64×10^4	3.82×10^4
锌 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) Zinc content in grain	2.84×10^4	2.54×10^4	2.46×10^4	2.40×10^4	2.59×10^4
蛋白质 (%) Protein content	15.47	14.16	13.11	12.31	10.84
湿面筋 (%) Wet gluten content	30.57	28.03	25.89	24.13	22.29
容重 (g/L) Test weight	785	799	799	796	777
沉降值 (mL) Sedimentation value	36.6	29.4	24	18.7	15.3
延展度 (mm) Tractility	119.2	104.7	90.3	82.4	57
稳定时间 (min) Stability time	4.3	3.6	2.4	1.3	0.7
形成时间 (min) Development time	3.4	3	2.3	1.6	0.8
拉伸面积 (cm^2) Stretch area	68	53.4	36.2	20.1	0.1

确^[40-42]。根据聚类分析高产育种选择亲本应从第 III 和 IV 类材料中筛选,优质育种选择亲本应从第 I 和 II 类材料中筛选。农艺性状聚类发现第 III 类和第 IV 类的材料表现为矮秆、丰产性较好、综合农艺性状优良的特点。

3.3 二维排序分析

农艺性状二维排序分析发现有 27 个材料符合上述特点,其中 23 个材料被聚在第 III 类或第 IV 类中。品质特性聚类发现第 I 类和第 II 类的材料表现为铁、锌含量较高,加工品质较好,综合品质特性优良。品质特性二维排序分析发现有 32 个材料符合上述特点,其中 27 个材料被聚在第 I 类或第 II 类。可见基于主成分的聚类分析和二维排序分析结果基

本一致,前者对供试材料相对遗传距离有一定的参考价值,后者对区分供试材料性状优劣具有清楚直观的特点。若将两种方法综合应用可以更好地了解各材料的亲缘关系和优良品种的分布情况^[18],为小麦品种遗传改良和种质利用提供科学客观的依据。但无论是二维排序分析,还是基于主成分的聚类分析,都不能作为决定某一品种(系)取舍的唯一参考,必须对各类群中表现突出的优良品种(系)进行深入比较分析,综合评价,最终决定材料的取舍。

参考文献

- [1] 祁建民,李维明,林荔辉,等.黄麻种质资源数量分类研究[J].作物学报,1996,22(5):587-594
- [2] 陶爱芬,祁建民,林培青,等.红麻优异种质产量和品质性状

- 主成分聚类分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9):2859-2867
- [3] 胡延吉, 赵檀方. 小麦农艺性状主成分分析与种质资源评价的研究[J]. 作物研究, 1994, 8(2):31-34
- [4] 赵新, 王步军. 面包质量与面包小麦品质指标关系的分析[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(5):780-785
- [5] 薛香, 郗庆炉, 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
- [6] Sajjad M, Khan S H, Khan A S. Exploitation of germplasm for grain yield improvement in spring wheat (*Triticum aestivum*) [J]. *Int J Agric Biol*, 2011, 13(5):695-700
- [7] 王林海, 王晓伟, 詹克慧, 等. 黄淮海区部分小麦种质资源农艺性状的聚类分析[J]. 中国农学通报, 2008, 24(4):186-191
- [8] 江涛, 于艳玲, 江楠, 等. 黄淮海区 85 个小麦品种(系)农艺性状的聚类分析[J]. 山东农业科学, 2009(10):14-17, 21
- [9] 马艳明, 范玉顶, 李斯深, 等. 黄淮海区小麦品种(系)品质性状多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(2):133-138
- [10] Siabhid M M, Aboughadre H A P, Tahmasebi G R, et al. Evaluation of genetic diversity and interrelationships of agromorphological characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines using multivariate analysis[J]. *Intl J Agric: Res & Rev*, 2013, 3(1):184-194
- [11] Degewione A, Alamerew S. Genetic diversity in bread wheat (*Triticum aestivum*) genotypes[J]. *Pak J Biol Sci*, 2013, 16(21):1330-1335
- [12] 樊庆琦, 楚秀生, 李玉莲, 等. 山东小麦地方品种资源铁和锌含量分析[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1):138-142, 162
- [13] 赵球, 秦丽燕, 杨伟, 等. 普通小麦品种(系)子粒的铁含量分布[J]. 中国农学通报, 2010, 26(23):126-129
- [14] Morgounov A, Gomez-Becerra H F, Abugalieva A, et al. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia[J]. *Euphytica*, 2007, 155(1-2):193-203
- [15] Shen J B, Zhang F S, Chen Q, et al. Genotypic difference in seed iron content and early response to iron deficiency in wheat[J]. *J Plant Nutr*, 2002, 22(8):1631-1643
- [16] 张勇, 王德森, 张艳, 等. 北方冬麦区小麦品种子粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9):1871-1876
- [17] 王利民, 张建平, 米君, 等. 国外引进用亚麻品种资源农艺性状分析与评价[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(4):356-361
- [18] 陈书霞, 周静, 申晓青, 等. 大蒜种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(3):429-434
- [19] 金善宝. 中国小麦生态[M]. 北京:科学出版社, 1997:1-4
- [20] Johnson C M, Ulrich A. Analytical methods for use in plant analysis[M]. Berkeley: University of California, Agricultural Experiment Station, 1959:26-28
- [21] Rohlf F J. NTSYS-pc numerical taxonomy and multivariate analysis system[M]. New York: Inter publication, 1990:125-145
- [22] 郑有良, 周永红, 魏育明. 小麦分子生物学应用研究[M]. 成都:四川科学技术出版社, 2001:114
- [23] 孟庆立, 关周博, 冯佰利, 等. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8):2667-2675
- [24] 庄萍萍, 李伟, 魏育明, 等. 波斯小麦农艺性状相关性主成分分析[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(4):11-14
- [25] 李伟, 陈国跃, 魏育明, 等. 圆锥小麦地方品种的农艺性状分析[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(4):649-654
- [26] 杨亮, 卢少源, 刘桂茹. 超高产小麦育种的探讨[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(30):9491-9492
- [27] 杨四军, 张恒敢, 顾克军, 等. 淮北区小麦品种品质性状的因子分析[J]. 江苏农业科学, 2003(1):12-15
- [28] 康立宁, 魏益民, 欧阳韶晖, 等. 小麦品种品质性状的基因型因子分析[J]. 西北植物学报, 2004, 24(1):120-124
- [29] Du L M, Li S B. The evaluating of selected quality properties in the early stages of breeding wheat [J]. *Tritical Crops*, 1998, 18(6):24-27
- [30] Xu Z C, Duan X, Jia Z Q. The study development of wheat sedimentation value[J]. *Tritical Crops*, 1998, 18(2):27-30
- [31] 李宗智, 孙馥亭, 张彩英, 等. 不同小麦品种品质特性及其相关性的初步研究[J]. 中国农业科学, 1990, 23(6):35-41
- [32] 林作辑, 周希丹, 揭声慧, 等. 冬小麦烘烤品质与其它一些品质性状及产量性状的相互关系[J]. 作物学报, 1989, 15(2):151-159
- [33] 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
- [34] 殷冬梅, 李栓柱, 崔党群. 花生主要农艺性状的相关性及聚类相关[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2):212-216
- [35] 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
- [36] 徐黎黎, 李伟, 郑有良. 东方小麦主要农艺性状分析[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6):15-20
- [37] 尚海英, 陈国跃, 侯永翠, 等. 黑麦属种质资源的主要农艺性状分析[J]. 四川农业大学学报, 2009, 27(4):409-414
- [38] 徐克学. 生物数学[M]. 北京:科学出版社, 1999:51-70
- [39] 朱列层, 唐国顺. 小麦优异种质资源主成分分析及综合分析[J]. 陕西农业科学, 1995(4):29-30, 37
- [40] Khodadadi M, Fotokian M H, Miransari M. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies [J]. *Aust J Crop Sci*, 2011, 5(1):17-24
- [41] Aharizad S, Sabzi M, Mohammadi S A, et al. Multivariate analysis of genetic diversity in wheat (*Triticum aestivum* L.) recombinant inbred lines using agronomic traits [J]. *Ann Biol Res*, 2012, 3(5):2118-2126
- [42] 王秀芹, 王洪刚. 黄淮冬麦区部分小麦种质资源主要农艺性状的聚类分析[J]. 山东农业科学, 2008(3):1-3, 13

(上接第 37 页)

- [17] Kumar G, Purty R S, Sharma M P, et al. Physiological responses among *Brassica* species under salinity stress how strong correlation with transcript abundance for SOS pathway-related genes [J]. *J Plant Physiol*, 2009, 166(5):507-520
- [18] 何余堂, 涂金星, 傅廷栋, 等. 中国白菜型油菜种质资源的遗传多样性研究[J]. 作物学报, 2002, 28(5):697-703
- [19] 蒲晓斌, 王茂林, 栾丽, 等. 中国西南地区芥菜型油菜资源遗传多样性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(8):1610-1621
- [20] 文雁成, 王汉中, 沈金雄, 等. 用 SRAP 标记分析中国甘蓝型油菜品种的遗传多样性和遗传基础[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2):246-256
- [21] 黄镇, 杨瑞阁, 徐爱遐, 等. 盐胁迫对 3 大类型油菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(7):49-53
- [22] Wang Z F, Wang J F, Bao Y M, et al. Inheritance of rice seed germination ability under salt stress [J]. *Rice Sci*, 2010, 17(2):105-110
- [23] Foolad M R. Recent advances in genetics of salt tolerance in tomato [J]. *Plant Cell Tiss Org Cult*, 2004, 76:101-119
- [24] Flowers T J. Improving crop salt tolerance [J]. *J Exp Bot*, 2004, 55(396):307-319