

引用格式:

张子豪, 李想成, 吴昊天, 付鹏浩, 高春保, 张运波, 邹娟. 基于主成分和聚类分析筛选氮高效小麦品种[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(5): 513–519.

ZHANG Z H, LI X C, WU H T, FU P H, GAO C B, ZHANG Y B, ZOU J. Screening of wheat cultivars with high nitrogen efficiency using principal component analysis and cluster analysis[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(5): 513–519.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



基于主成分和聚类分析筛选氮高效小麦品种

张子豪^{1,2}, 李想成¹, 吴昊天¹, 付鹏浩¹, 高春保¹, 张运波², 邹娟^{1*}

(1.湖北省农业科学院粮食作物研究所, 湖北 武汉 430064; 2.长江大学农学院, 湖北 荆州 434025)

摘要: 以 34 个小麦品种为试验材料, 2018 年 11 月—2019 年 5 月、2019 年 11 月—2020 年 5 月在湖北省枣阳市开展田间试验, 利用主成分分析和聚类分析法分析氮肥利用率各项指标, 对小麦品种进行综合评价和筛选。结果显示: 不同小麦品种间氮效率各项指标和产量均存在差异, 变异系数为 12.40%~37.32%; 2 个生育周期内主成分分析均提取前 2 个主成分来计算氮效率综合得分, 其中 2018 年 11 月—2019 年 5 月第一主成分和第二主成分旋转后特征值分别为 3.376 和 2.068, 累计反映了原变量 90.73% 的信息; 2019 年 11 月—2020 年 5 月前 2 个主成分旋转后特征值为 4.290 和 1.327, 累计反映了原变量 93.61% 的信息。小麦氮效率综合评分与产量呈极显著正相关, 氮效率综合评分越高, 产量越高。对氮效率综合评分进行 K-Means 聚类分析, 初步筛选出安农 0711、川麦 104、鄂麦 18、鄂麦 006、鄂麦 580、扶麦 1228 和华麦 1168 等稳定的氮高效型品种。

关键词: 小麦; 氮高效; 氮肥利用率; 品种筛选; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S512.102

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)05-0513-07

Screening of wheat cultivars with high nitrogen efficiency using principal component analysis and cluster analysis

ZHANG Zihao^{1,2}, LI Xiangcheng¹, WU Haotian¹, FU Penghao¹,
GAO Chunbao¹, ZHANG Yunbo², ZOU Juan^{1*}

(1.Institute of Food Crops, Hubei Academy of Agriculture Science, Wuhan, Hubei 430064, China; 2.College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China)

Abstract: In order to screen out nitrogen-efficient wheat cultivars, 34 wheat varieties were used as raw materials by use of principal component analysis and cluster analysis to comprehensively evaluate nitrogen utilization efficiency. The field experiment was carried out in Zaoyang City, Hubei Province, from November of 2018 to May of 2019 and from November of 2019 to May of 2020. The results showed that there were differences in nitrogen efficiency indicators and yield among different wheat cultivars, and the coefficient of variation was 12.40%-37.32%. The first two principal components of the two growth cycles were extracted by principal component analysis, and the comprehensive score of nitrogen efficiency was calculated. In the first studied period, the rotation eigenvalues of the first principal component and the second principal component were 3.376 and 2.068, cumulatively reflects 90.73% of the information of the original variable. In the second studied period, the rotation eigenvalues of the first principal component and the second principal component were 4.290 and 1.327, which accumulatively reflect 93.61% of the information of the original variable. The comprehensive score of nitrogen efficiency of wheat was positively correlated with yield, and the higher the comprehensive score of nitrogen efficiency, the higher the yield. With K-Means cluster analysis, we could pick out the

收稿日期: 2021-01-25

修回日期: 2022-09-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300405); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-3); 湖北省重点研发计划项目(2020BBA033)

作者简介: 张子豪(1997—), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事小麦栽培研究, 1015956737@qq.com; *通信作者, 邹娟, 博士, 副研究员, 主要从事小麦栽培研究, zoujuan1010@163.com

seven varieties with stable nitrogen efficient: Anong 0711, Chuanmai 104, E-mai 18, E-mai 006, E-mai 580, Fumai 1228 and Huamai 1168.

Keywords: wheat; nitrogen efficient; nitrogen fertilizer utilization; cultivar screening; principal component analysis; cluster analysis

氮素是影响小麦产量和品质的重要因子^[1-2]。合理施用氮肥可以有效增加小麦产量,改善籽粒品质,但过量施氮则会导致氮肥利用率下降、资源浪费及环境污染等问题^[3-5]。近年来,越来越多的研究者聚焦氮高效品种的筛选和推广,旨在通过提高小麦氮利用效率来降低氮肥用量、稳定产量,进而缓解因过量施氮导致的一系列环境问题^[6-7]。许多研究者将主成分分析与聚类分析应用于水稻、辣椒、玉米、大豆、小麦等多种作物的筛选和综合评价^[8-12],但鲜有结合主成分分析和聚类分析对氮高效小麦品种进行评价和筛选。本研究以34个湖北省内大面积种植或具有高产潜力的品种为供试材

料,选择与小麦氮效率相关的定量因子进行主成分分析,利用氮效率综合得分对不同小麦品种进行K-Means聚类分析,进而筛选出稳定氮高效的小麦品种。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验于2018年11月—2019年5月、2019年11月—2020年5月在湖北省枣阳市南城区后湖村(31.99°N, 112.7°E)进行。生长季内年平均降水量220.9 mm,平均光照时数887.5 h,日平均气温11.6 °C。34个供试品种见表1。

表1 参试品种编号及名称

Table 1 Numbers and names of the studied raw cultivars

编号	品种	编号	品种	编号	品种	编号	品种
C1	鄂麦 DH16	C10	鄂麦 27	C19	济麦 22	C28	襄麦 D31
C2	安农 0711	C11	鄂麦 352	C20	宁麦 13	C29	扬麦 15
C3	安农 1124	C12	鄂麦 580	C21	苏麦 188	C30	扬麦 16
C4	川麦 104	C13	鄂麦 596	C22	西农 979	C31	扬麦 20
C5	鄂麦 170	C14	扶麦 1228	C23	先麦 8号	C32	扬麦 23
C6	鄂麦 18	C15	浩麦 1号	C24	襄麦 25	C33	郑麦 119
C7	鄂麦 006	C16	华麦 1168	C25	襄麦 35	C34	郑麦 9023
C8	鄂麦 23	C17	华麦 2566	C26	襄麦 55		
C9	鄂麦 251	C18	淮麦 35	C27	襄麦 62		

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计。分别于2018、2019年11月初用小区播种机条播,第2年5月上旬收获。播种前以五点法取0~20 cm土样,测定土壤养分含量,结果见表2。各小区施氮量为180 kg/hm²,基肥、拔节肥的施用比例为7:3。基肥于播种前施用,拔节期追肥。磷肥(P₂O₅)78 kg/hm²、钾肥(K₂O)

42 kg/hm²全部用于基肥。以不施氮肥为对照。3次重复。四周设保护行。小区面积20 m²。种植密度为240万株/hm²。其余栽培措施及病虫害防治同一般大田。

1.3 测定项目及方法

成熟期,每个小区随机取1 m代表样,称取植株地上部各器官的鲜质量。取适量样品置于70 °C恒温干燥箱内烘干至恒重,磨粉后用全自动间断化学分析仪(Clever Chem 380 G)测定各器官的含氮量。各小区实打实收测产。按文献[12]计算籽粒氮积累量、植株氮积累量;氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥表观利用率和氮素生理效率按以下公式

表2 土壤养分基本状况

Table 2 Basic soil nutrient status

年份	全氮/ (g·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	pH
2018	1.8	24.3	106.7	20.1	6.7
2019	1.5	20.7	117.1	20.6	6.6

进行计算。

$$A=(Y - Y_0)/M \quad (1)$$

$$P=Y_0/M \quad (2)$$

$$N=(U - U_0)/M \times 100\% \quad (3)$$

$$V=(Y - Y_0)/(U - U_0) \quad (4)$$

式中: A 为氮肥农学效率; P 为氮肥偏生产力; N 为氮肥表观利用率; V 为氮素生理效率; Y 为施肥后所获得的作物产量; Y_0 为不施肥条件下作物的产量; M 代表氮肥的投入量; U 为施氮区地上部氮素积累量; U_0 为对照区植株氮素积累量。

1.4 数据处理

主成分分析的数据采用 Z-score 进行标准化处理; 采用 K-Means 进行聚类分析, K 设置为 3; 采用 Excel 2016、IBM SPSS Statistics 25 进行数据分析, 运用 GraphPad Prism 9 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种间产量及氮效率指标的差异分析

从表 3 可以看出, 34 个小麦品种的产量及氮效率各项指标存在明显差异。2018 年 11 月—2019 年 5 月, 各项指标的变异范围为 12.40%~37.32%, 其中氮肥农学效率的变异系数(37.32%)最大, 氮素生理效率的其次, 产量的变异系数(12.40%)最小。2019 年 11 月—2020 年 5 月, 变异系数为 15.70%~27.33%, 其中氮肥农学效率的变异系数(27.33%)最大, 氮肥表观利用率的次之, 植株氮素积累量的最小。年际间, 各项指标的变异系数存在一定程度的差异。与 2018 年 11 月—2019 年 5 月相比, 2019 年 11 月—2020 年 5 月的产量、植株氮素积累量、籽粒氮素积累量、氮肥偏生产力和氮肥表观利用率的变异系数增加, 增幅为 11.94%~49.84%; 氮肥农学效率和氮素生理效率的变异系数则分别下降了 26.77%和 24.51%。

表 3 供试小麦品种的产量及氮效率指标统计结果

Table 3 The statistics results of yield and nitrogen efficiency of the studied wheat cultivars

生育期	产量		植株氮素积累量		籽粒氮素积累量		氮肥农学效率	
	均值/ (kg·hm ⁻²)	变异 系数/%	均值/ (kg·hm ⁻²)	变异 系数/%	均值/ (kg·hm ⁻²)	变异 系数/%	均值/ (kg·hm ⁻²)	变异 系数/%
2018 年 11 月至 2019 年 5 月	5341.20±662.00	12.40	147.20±20.00	13.58	115.60±16.70	14.43	11.10±4.10	37.32
2019 年 11 月至 2020 年 5 月	5043.40±937.20	18.58	139.30±21.90	15.70	113.80±20.00	17.53	11.60±3.20	27.33

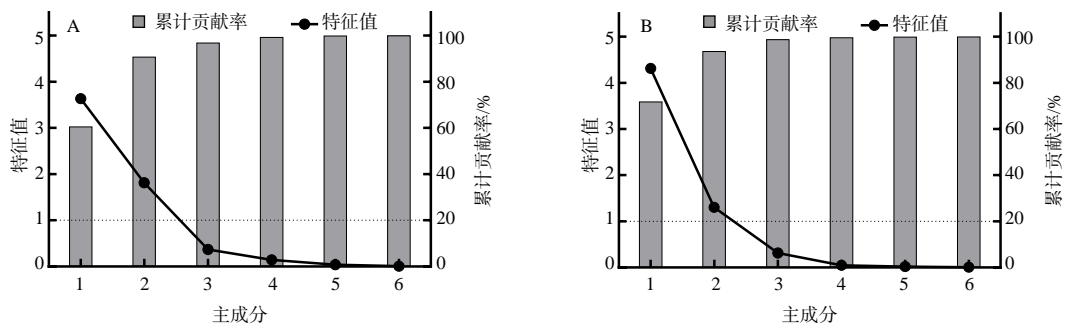
生育期	氮肥偏生产力		氮肥表观利用率		氮素生理效率	
	均值/(kg·hm ⁻²)	变异系数/%	均值/(kg·hm ⁻²)	变异系数/%	均值/(kg·hm ⁻²)	变异系数/%
2018 年 11 月至 2019 年 5 月	30.00±3.90	12.90	41.70±9.20	22.00	26.30±6.90	26.44
2019 年 11 月至 2020 年 5 月	28.00±5.20	18.56	37.10±9.10	24.63	31.60±6.30	19.96

2.2 不同小麦品种的主成分分析

2.2.1 主成分的提取

在进行主成分分析前需判断数据是否符合

Kaiser-Meyer-Olkin 度量。本研究中, 2 年数据的 KMO 值分别为 0.603 和 0.643, Bartlett 球形度检验的 Sig.均为 0, 可以用于主成分分析。如图 1 所示,



A、B 分别为 2018 年 11 月—2019 年 5 月、2019 年 11 月—2020 年 5 月的数据图。

图 1 不同小麦品种氮效率指标的主成分分析结果

Fig.1 Screen plot of PCA of nitrogen efficiency index of different wheat cultivars

2个生育期内前2个主成分特征值较大,连线较为陡峭,累计贡献率增幅较大,适合作为主成分。结合表4,不同生育期内,前2个主成分用最大方差法旋转后的特征值均大于1,累计贡献率分别达90.73%和93.61%,说明在不同生育周期内前2个主成分可以概括小麦氮效率的基本信息。

主成分的旋转因子载荷反映各指标对主成分的贡献大小。从表4可以看出,2018年11月—2019年5月,第一主成分F1特征值为3.376,贡献率为56.27%,其中,植株氮素积累量、籽粒氮素积累量、

氮肥偏生产力和氮肥表观利用率的载荷值较大;第二主成分F2的特征值为2.068,贡献率为34.46%,其中,氮肥农学效率和氮素生理效率的载荷值较大,其旋转后的载荷值分别为0.926和0.960。2019年11月—2020年5月,第一主成分F1的特征值为4.290,贡献率为71.50%,其中,植株氮素积累量、籽粒氮素积累量、氮肥农学效率、氮肥偏生产力和氮肥表观利用率的贡献率较大;第二主成分F2的特征值为1.327,贡献率为22.12%,其中氮素生理效率的载荷值较大,其旋转后的载荷值为0.995。

表4 主成分分析旋转后的特征值、贡献率、累计贡献率和成分载荷值

Table 4 Rotated eigenvalues, contributions, cumulative contributions, and component loading value of PCA

生育期	主成分	载荷值						特征值	贡献率/ %	累计 贡献率/%
		植株氮素 积累量	籽粒氮素 积累量	氮肥农学 效率	氮肥偏 生产力	氮肥表观 利用率	氮素生理 效率			
2018年11月	F1	0.974	0.969	0.351	0.843	0.798	-0.135	3.376	56.27	56.27
至2019年5月	F2	-0.107	-0.061	0.926	0.326	0.401	0.960	2.068	34.46	90.73
2019年11月	F1	0.986	0.935	0.838	0.934	0.932	-0.046	4.290	71.50	71.50
至2020年5月	F2	-0.085	-0.084	0.454	0.278	-0.197	0.995	1.327	22.12	93.61

2.2.2 氮效率主成分得分及综合评价

结合各主成分的方差贡献率,可得出2个生育周期内不同小麦品种氮效率综合得分(F)函数,其中,2018年11月—2019年5月, $F=0.56268F1+0.34463F2$;2019年11月—2020年5月, $F=0.71496F1+0.22118F2$ 。由表5可知,2018年11月—2019年5月, $F>0$ 的品种有扶麦1128、鄂麦580、川

麦104、西农979、郑麦119、鄂麦006、华麦1168、鄂麦18、宁麦13、安农0711等18个小麦品种。2019年11月—2020年5月, $F>0$ 的品种有川麦104、鄂麦580、鄂麦18、襄麦62、襄麦25、华麦2566、鄂麦251、鄂麦170、扶麦1228、鄂麦006等16个品种。

表5 供试小麦品种氮效率主成分综合评价及排序

Table 5 Principal component comprehensive evaluation and ranking of nitrogen efficiency of the studied wheat cultivars

生育期	品种	F1	F2	F	排序	生育期	品种	F1	F2	F	排序
2018年11月	C1	-1.597	-0.886	-1.204	33	2019年11月	C1	-0.047	-0.247	-0.088	18
至2019年5月	C2	-0.110	1.384	0.415	10	至2020年5月	C2	0.365	0.150	0.294	15
	C3	-1.892	0.863	-0.767	30		C3	-1.024	-0.314	-0.802	30
	C4	1.927	-0.395	0.948	3		C4	1.382	1.408	1.299	1
	C5	0.322	-0.701	-0.061	21		C5	1.076	-0.305	0.702	8
	C6	0.279	1.010	0.505	8		C6	1.419	0.389	1.100	3
	C7	1.134	0.132	0.684	6		C7	0.639	0.072	0.473	11
	C8	-1.828	-0.797	-1.303	34		C8	-0.744	0.558	-0.408	23
	C9	-1.125	0.045	-0.618	28		C9	1.253	-0.355	0.817	7
	C10	0.437	-0.555	0.055	17		C10	-1.139	-0.382	-0.899	31
	C11	0.347	-0.279	0.099	15		C11	-0.129	2.134	0.379	13
	C12	0.558	2.475	1.167	2		C12	1.652	-0.291	1.117	2
	C13	0.445	-0.749	-0.008	19		C13	0.758	-0.752	0.375	14
	C14	2.051	0.350	1.275	1		C14	1.059	-0.398	0.669	9
	C15	-0.789	-0.760	-0.706	29		C15	-1.444	-0.956	-1.244	32
	C16	1.814	-1.070	0.652	7		C16	0.615	0.128	0.468	12

表 5(续)

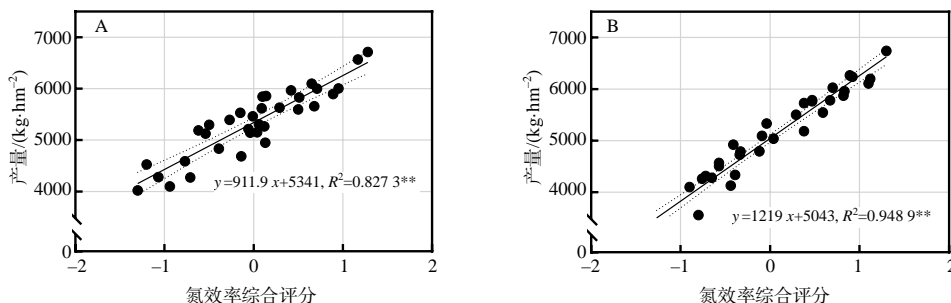
生育期	品种	F1	F2	F	排序	生育期	品种	F1	F2	F	排序
2018 年 11 月 至 2019 年 5 月	C17	0.191	-0.419	-0.037	20	2019 年 11 月 至 2020 年 5 月	C17	1.246	-0.281	0.828	6
	C18	-0.359	-0.183	-0.265	24		C18	-0.353	-0.344	-0.328	20
	C19	0.985	-1.205	0.139	12		C19	-0.345	-2.117	-0.715	28
	C20	-0.242	1.841	0.499	9		C20	-1.700	-0.202	-1.261	33
	C21	-0.463	1.133	0.130	13		C21	0.386	1.406	0.587	10
	C22	1.277	0.502	0.892	4		C22	0.202	-0.474	0.040	16
	C23	-1.258	-0.677	-0.942	31		C23	-1.340	1.739	-0.573	26
	C24	0.163	-0.162	0.036	18		C24	1.398	-0.521	0.885	5
	C25	0.094	-0.587	-0.150	23		C25	-0.667	1.997	-0.035	17
	C26	-0.606	-0.580	-0.541	27		C26	-0.869	2.275	-0.118	19
	C27	0.148	-1.701	-0.503	26		C27	1.246	0.107	0.915	4
	C28	0.313	-0.250	0.090	16		C28	-0.762	-0.113	-0.570	25
	C29	-0.700	1.475	0.115	14		C29	-0.290	-0.845	-0.394	22
	C30	-1.034	-1.413	-1.069	32		C30	-0.653	-0.825	-0.649	27
C31	-0.563	0.511	-0.141	22	C31	-1.572	-0.891	-1.321	34		
C32	-0.354	-0.550	-0.389	25	C32	-0.190	-0.935	-0.343	21		
C33	0.883	0.618	0.710	5	C33	-0.731	-1.082	-0.762	29		
C34	-0.450	1.578	0.291	11	C34	-0.698	0.270	-0.439	24		

F1 为第一主成分得分; F2 为第二主成分得分; F 为氮效率综合得分。

2.3 氮高效品种分类

如图 2 所示, 连续 2 个生育期内的产量与氮效率综合评分均呈极显著正相关。利用各品种小麦氮效率综合得分进行 K-Means 聚类分析。将 34 个小麦品种分为氮高效型、氮中效型和氮低效型 3 类(表 6)。2018 年 11 月—2019 年 5 月、2019 年 11 月—2020 年 5 月氮高效型、氮中效型和氮低效型小麦品种的聚类中心分别为 0.77、-0.01、-0.85 和 0.73、-0.23 和 -0.88。2018 年 11 月—2019 年 5 月, 氮低效型、氮中效型和氮高效型品种分别有 9、15、10 个; 2019 年 11 月—2020 年 5 月, 氮低效型、氮中效型和氮

高效型品种分别有 10、9、15 个。由表 7 可以看出, 不同类型小麦的氮效率综合评分和产量均存在极显著差异。2018 年 11 月—2019 年 5 月, 氮高效品种的平均产量较氮中效品种的平均产量、氮低效品种的平均产量分别高 13.27% 和 31.17%; 2019 年 11 月—2020 年 5 月, 同比高出 23.30% 和 49.25%。同类型小麦品种年间存在明显差异, 各类型小麦 2018 年 11 月—2019 年 5 月氮效率的综合评分及产量的平均值均高于 2019 年 11 月—2020 年 5 月同类型小麦。



A、B 分别为 2018 年 11 月—2019 年 5 月、2019 年 11 月—2020 年 5 月的数据图。

图 2 产量与氮效率综合评分的散点图

Fig.2 Scatter plot of yield and N efficiency score

表6 供试小麦品种基于氮效率综合评分的聚类结果及聚类中心

生育期	类别	品种	聚类中心
2018年11月至2019年5月	氮低效型	C1、C3、C8、C9、C15、C23、C26、C27、C30	-0.85
	氮中效型	C5、C10、C11、C13、C17、C18、C19、C21、C24、C25、C28、C29、C31、C32、C34	-0.01
	氮高效型	C2、C4、C6、C7、C12、C14、C16、C20、C22、C33	0.77
2019年11月至2020年5月	氮低效型	C3、C10、C15、C19、C20、C23、C28、C30、C31、C33	-0.88
	氮中效型	C1、C8、C18、C22、C25、C26、C29、C32、C34	-0.23
	氮高效型	C2、C4、C5、C6、C7、C9、C11、C12、C13、C14、C16、C17、C21、C24、C27	0.73

聚类中心在第4次迭代后收敛。

表7 不同类型小麦氮效率综合评分和产量的统计结果

生育期	F			产量/(kg·hm ⁻²)		
	氮低效	氮中效	氮高效	氮低效	氮中效	氮高效
2018年11月至2019年5月	(-0.85±0.29)C	(-0.01±0.17)B	(0.77±0.29)A	(4598.90±488.20)C	(5325.80±345.40)B	(6032.30±357.40)A
2019年11月至2020年5月	(-0.88±0.29)C	(-0.23±0.18)B	(0.73±0.30)A	(3961.90±505.90)C	(4795.60±373.00)B	(5913.00±375.90)A

F为氮效率综合得分;同一指标同行不同字母差异有统计学意义($P<0.01$)。

综合2个生育期的分类结果,连续2年都属于氮高效型的小麦品种有安农0711、川麦104、鄂麦18、鄂麦006、鄂麦580、扶麦1228和华麦1168;属于氮中效型的品种有淮麦35、襄麦35、扬麦15、扬麦23、郑麦9023;属于氮低效品种的有安农1124、浩麦1号、先麦8号和扬麦16;其余品种产量和氮效率综合评分年际变化较大,表现不稳定。鄂麦DH16、鄂麦23和襄麦55在2018年11月—2019年5月属于氮低效品种,在2019年11月—2020年5月则为氮中效品种;鄂麦251和襄麦62在2018年11月—2019年5月属于氮低效型品种,在2019年11月—2020年5月则为氮高效型品种;宁麦13和郑麦119在2018年11月—2019年5月为氮高效品种,在2019年11月—2020年5月为氮低效品种。

3 结论与讨论

因产量、氮素积累量、籽粒氮素积累量及氮肥利用率等指标受环境条件、栽培措施等外界因素的影响不同,目前尚没有一套统一的氮高效品种筛选评价体系,前人评价和筛选氮高效品种所用的指标和体系都不尽相同^[13-14]。依据产量、氮素积累量、氮素生产效率等指标,姜瑛等^[15]将小麦品种划分为氮素超低效型、低效型、中效型和高效型4种类型。李淑文等^[16]认为成熟期植株干质量、植株含氮量、氮积累量、氮吸收效率等指标可以作为氮高效品种评价指标。张旭等^[17]通过对小麦氮素吸收

效率和氮肥农学效率2个指标进行聚类分析,将14个小麦品种划分为高氮效、中氮效和低氮效3种类型,而且氮高效小麦品种具有较高的籽粒产量、叶绿素含量、氮素积累量。李强等^[18]研究发现,品种间氮效率变异系数的大小反映了品种对氮的敏感程度,变异系数越大,品种间受氮影响的差异越大。本研究中,植株氮素积累量、籽粒氮素积累量、氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥表观利用率和氮素生理效率均存在基因型差异,变异系数均大于10%,其变异系数最大为37.32%,可作为氮高效品种筛选评价的指标。

程晓明等^[19]对23个小麦品种进行主成分分析,以累计贡献率>85%为标准提取主成分,并将其划分为春性弱春性类、冬性半冬性类、强春性类、强冬性类4个类群。公丽艳等^[20]以特征值>1为标准提取主成分,对苹果加工品质进行评价,初步判定30个品种的苹果是否适宜鲜食。结合前人研究方法,本研究以特征值>1,积累方差贡献率>85%为标准提取主成分,将6个氮效率相关指标转化为2个主成分,以旋转后的方差贡献率为各个主成分的权重,计算2个生育季内氮效率综合得分,基本反映了数据的全部变异,且降低了重要性较弱的因子对结果的影响,使评价结果更加科学可靠。

结合主成分分析和K-Means聚类分析结果,综合2个生育季的分类情况,本研究将供试小麦分为3类:氮高效型品种有安农0711、川麦104、鄂麦

18、鄂麦 006、鄂麦 580、扶麦 1228 和华麦 1168；氮中效型品种有淮麦 35、襄麦 35、扬麦 15、扬麦 23、郑麦 9023；氮低效型品种有安农 1124、浩麦 1 号、先麦 8 号、扬麦 16。其余品种不同生育季内产量和氮效率波动较大，如 DH16、鄂麦 23 和襄麦 55 在 2018 年 11 月—2019 年 5 月属于氮低效品种，在 2019 年 11 月—2020 年 5 月则为氮中效品种；鄂麦 251 和襄麦 62 在 2018 年 11 月—2019 年 5 月属于氮低效型品种，在 2019 年 11 月—2020 年 5 月则变为氮高效型品种；宁麦 13 和郑麦 119 在 2018 年 11 月—2019 年 5 月为氮高效品种，在 2019 年 11 月—2020 年 5 月为氮低效品种。这种波动变化可能与不同基因型小麦对环境条件的响应程度有关，具体原因还需进一步研究。

参考文献：

- [1] 席吉龙, 李永山, 王珂, 等. 氮肥对麦-玉轮作体系产量和氮肥效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(1): 10-15.
- [2] SAVIN R, SADRAS V O, SLAFER G A. Benchmarking nitrogen utilisation efficiency in wheat for Mediterranean and non-Mediterranean European regions[J]. Field Crops Research, 2019, 241: 107573.
- [3] 王茂莹, 贺明荣, 李玉, 等. 施氮量对不同小麦品种产量及氮素吸收利用的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 241-248.
- [4] PASK A J D, SYLVESTER-BRADLEY R, JAMIESON P D. et al. Quantifying how winter wheat crops accumulate and use nitrogen reserves during growth[J]. Field Crops Research, 2012, 126: 104-118.
- [5] 高春保, 佟汉文, 邹娟, 等. 湖北省小麦“十二五”生产进展及“十三五”展望[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6372-6376.
- [6] 王小纯, 王晓航, 熊淑萍, 等. 不同供氮水平下小麦品种的氮效率差异及其氮代谢特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2569-2579.
- [7] 王晓婧, 代兴龙, 马鑫, 等. 不同小麦品种产量和氮素吸收利用的差异[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(8): 1065-1071.
- [8] 荆瑞勇, 卫佳琪, 王丽艳, 等. 基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 179-184.
- [9] 邹学校, 侯喜林, 戴雄泽, 等. 辣椒地方品种的主成分分析及数量分类[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(3): 243-246.
- [10] 宋江峰, 李大婧, 刘春泉, 等. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2122-2131.
- [11] 赵银月, 耿智德, 保丽萍, 等. 云南省大豆地方品种资源的主成分分析及聚类分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 174(S1): 120-122.
- [12] 宋晓, 张珂珂, 黄晨晨, 等. 基于主成分分析的氮高效小麦品种的筛选[J]. 河南农业科学, 2020, 49(12): 10-16.
- [13] 路文静, 张树华, 郭程瑾, 等. 不同氮素利用效率小麦品种的氮效率相关生理参数研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 985-991.
- [14] 董召娣, 张明伟, 易媛, 等. 部分春性和半冬性小麦品种氮效率差异分析[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(9): 1267-1273.
- [15] 姜瑛, 戚秀秀, 李祥剑, 等. 不同小麦品种的氮素利用特性研究[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(6): 702-708.
- [16] 李淑文, 周彦珍, 文宏达, 等. 不同小麦品种氮效率和产量性状的研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 204-208.
- [17] 张旭, 田中伟, 胡金玲, 等. 小麦氮素高效利用基因型的农艺性状及生理特性[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(10): 1315-1322.
- [18] 李强, 罗延宏, 谭杰, 等. 玉米杂交种苗期耐低氮指标的筛选与综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1190-1199.
- [19] 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.
- [20] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 276-285.

责任编辑: 毛友纯
英文编辑: 柳正