

基于游离氨基酸含量的玉米自交系品质综合评价

南芝润 张 杰 侯 磊 田怀泽

(山西农业大学玉米研究所,忻州 034000)

摘要:为了研究不同自交系游离氨基酸含量方面的品质差异,选取农艺性状差异较大的 25 份自交系作为研究对象,测定玉米籽粒中游离氨基酸含量,进行相关性分析。以玉米籽粒中含有的 17 种游离氨基酸含量作为评价指标,采用主成分分析法,对玉米自交系的营养品质进行综合评价。可提取出 5 个主成分,累计方差贡献率达 80.925%;基于游离氨基酸含量的品质优劣顺序,得分值在前 5 位的依次为 SZ2、SZ3、SZ4、SZ5 和 SZ10。25 份自交系的游离氨基酸含量具有明显的遗传多样性,其中 SZ2、SZ3、SZ4、SZ5 和 SZ10 的品质较优,SZ25 的品质最差。

关键词:玉米;游离氨基酸含量;主成分分析;品质评价

玉米是世界上种植面积最大的谷类作物之一,集粮食、工业、饲料三大用途于一身。玉米不仅是保证粮食安全的重要组成部分,并且具有巨大的开发潜力。提高玉米必需氨基酸含量改善营养品质一直是育种工作者努力的目标^[1]。氨基酸是植物氮代谢过程中重要的代谢产物,以游离态、多肽和蛋白质形式存在^[2]。玉米富含各种氨基酸和维生素,其含量对玉米的营养品质有重要作用^[3]。游离氨基酸广泛存在于玉米细胞中,它们不仅是玉米重要的氮源,而且可以通过调节代谢平衡,保证逆境环境下植物的生存^[4],对玉米的生长发育、抗逆^[5]、物质代谢具有非常重要的作用,因此研究玉米中游离氨基酸的含量具有重要意义。玉米自交系是玉米杂种优势利用的基础,自交系的选育和改良是玉米育种工作中的重要环节。通过有目的地选育和筛选氨基酸含量高的自交系,为选育优质抗逆玉米杂交种奠定资源基础。

主成分分析是一种应用广泛、基础性强的多元统计分析方法,被广泛应用到对玉米、大豆、水稻、棉花、马铃薯、香菇和烟草等植物相关性状的研究中^[6-10]。邱红梅等^[11]通过主成分分析法和聚类分析对 240 份大豆种质资源的蛋白及 16 个氨基酸组分进行测定分析,筛选出 24 份高蛋氨酸资源。孟强

等^[12]对 60 份糯玉米自交系的 16 种氨基酸进行主成分分析和综合评价,筛选出 3 份品质较优的糯玉米品种。彭友林等^[13]对长江上游地区 76 份水稻亲本材料的 15 个产量相关性状进行主成分分析并对其稻米品质进行评价。本试验采用主成分分析法以玉米籽粒中含有的 17 种游离氨基酸含量作为评价指标,对 25 个农艺性状差异比较大的自交系进行综合评价,为玉米自交系的选育、品质育种和抗逆育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂 试验材料包含 25 份玉米自交系 SZ1~SZ25,由山西农业大学玉米研究所选育。

氨基酸标准液、茚三酮及缓冲溶液等试剂购自富士和光纯药有限责任公司。优级纯柠檬酸、氢氧化钠、氯化钠、磺基水杨酸和色谱级无水乙醇等试剂购自科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器设备 氨基酸自动分析仪: L-5500 型,日本日立公司;离心机: ST16 型,德国 Thermo Fisher 公司;冷冻混合球磨仪: MW-400 型,德国 Retsch 公司;电子天平: BSA323S-CW 型,赛多利斯科学有限公司。

1.3 试验方法 样品含水量测定参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行;样品中氨基酸含量测定参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》进行。

1.4 综合评价指数 不同玉米品种的综合评价指数计算公式如下。 Y_j 指第 j 个主成分的分值;

基金项目:山西省农业科学院农业科技创新研究课题(YCX2020412);山西省重点研发计划项目(201803D221005-4);山西省农业科学院生物育种工程项目(17yzgc065);山西农业大学玉米研究所科研项目(yms2021-07)

W_j 指第 j 个主成分的权重。

$$D = \sum_{j=1}^n (Y_j W_j) \div \sum_{j=1}^n W_j$$

1.5 数据统计分析 采用 SPSS 20.0、Excel 2016 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 游离氨基酸测定结果与分析 由表 1 可知, 25 份玉米品种中均含有 17 种游离氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸: 赖氨酸(Lys)、苯丙氨酸(Phe)、蛋氨酸(Met)、苏氨酸(Thr)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、缬氨酸(Val), 10 种非必需氨基酸。25 份材料中 SZ3 的总游离氨基酸(TAA)含量最高, 为 19.010nmol/20uL; SZ25 号最低, 为 4.368nmol/20uL。

17 种氨基酸中 Pro 含量最高, 为 2.039nmol/20uL; Glu 含量次之, 为 1.368nmol/20uL; Met 含量最少, 为 0.038nmol/20uL。样品的游离氨基酸组成中 Pro、Glu、Asp、Thr、Ala 和 Ser 含量较高, 这 6 种氨基酸总量在 3.335~13.832nmol/20uL, 占游离氨基酸总量的 61.55%~90.32%。不同来源的玉米自交系中, 游离氨基酸的含量和种类存在显著差异。

2.2 玉米自交系中游离氨基酸的相关分析 对 25 份玉米自交系的游离氨基酸含量进行相关性分析, 由表 2 可知, 17 种氨基酸之间具有不同程度的相关性, 其中 Asp、Thr、Ser、Glu、Ala、Val、Tyr、Lys、His、Arg 和 Pro 这 11 种氨基酸和总氨基酸呈极显著正相关, Gly、Cys、Met、Ile、Leu、Phe

表 1 玉米自交系中游离氨基酸组成及含量

(nmol/20uL)

材料	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Cys	Val	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	Pro	TAA
SZ1	2.911	2.142	0.385	2.729	0.167	0.631	0.015	0.120	0.096	0.062	0.308	0.435	0.129	1.540	0.146	0.967	3.391	16.174
SZ2	2.783	0.239	1.180	2.922	0.331	2.113	0.020	0.383	0.113	0.192	0.157	0.345	0.598	0.519	0.192	0.379	2.542	15.008
SZ3	2.760	2.164	0.527	2.370	0.181	2.225	0.021	0.219	0.014	0.019	0.022	0.530	0.000	1.785	0.225	2.162	3.786	19.010
SZ4	2.499	1.902	0.548	2.918	0.034	2.008	0.305	0.000	0.019	0.044	0.107	0.491	1.204	0.829	0.104	0.382	2.431	15.825
SZ5	2.328	1.494	0.557	2.119	0.307	2.196	0.267	0.218	0.019	0.110	0.194	0.362	0.867	0.420	0.143	0.401	2.953	14.955
SZ6	2.167	1.832	0.833	1.695	0.813	0.124	0.137	0.254	0.047	0.028	0.076	0.140	0.443	0.487	0.047	0.293	2.386	11.802
SZ7	1.509	0.529	0.498	1.532	0.105	0.540	0.121	0.156	0.020	0.158	0.153	0.332	0.029	0.105	0.079	0.494	1.176	7.536
SZ8	1.370	1.183	0.412	1.402	0.117	0.428	0.010	0.111	0.023	0.102	0.036	0.301	0.559	0.319	0.157	0.261	1.734	8.525
SZ9	1.257	0.841	0.299	1.142	0.111	0.470	0.073	0.073	0.012	0.117	1.284	0.407	0.090	0.044	0.076	0.187	1.491	7.974
SZ10	1.240	0.637	1.329	2.236	0.191	1.139	0.176	0.306	0.290	0.123	0.146	0.778	0.023	0.325	0.149	0.477	1.568	11.133
SZ11	1.225	0.866	0.095	0.876	0.118	0.416	0.053	0.000	0.000	0.101	0.045	0.076	0.140	0.014	0.072	0.027	2.551	6.675
SZ12	1.225	0.866	0.095	0.876	0.118	0.416	0.053	0.036	0.016	0.101	0.045	0.076	0.140	0.014	0.072	0.027	2.551	6.727
SZ13	0.948	0.776	0.358	0.820	0.200	0.979	0.015	0.079	0.011	0.036	0.093	0.279	0.106	0.035	0.063	0.246	2.723	7.767
SZ14	0.891	0.577	0.812	0.757	0.637	0.153	0.016	0.126	0.040	0.164	0.230	0.101	0.521	0.198	0.148	0.189	1.495	7.055
SZ15	0.829	0.303	0.293	1.618	0.154	0.499	0.095	0.128	0.024	0.193	1.360	0.774	0.190	0.368	0.155	0.629	2.974	10.586
SZ16	0.755	0.429	0.192	0.711	0.093	0.725	0.097	0.049	0.014	0.027	0.051	0.035	0.217	0.298	0.103	0.278	2.083	6.157
SZ17	0.702	0.968	0.371	0.979	0.078	1.034	0.061	0.089	0.015	0.037	0.019	0.108	0.357	0.017	0.136	0.328	1.868	7.167
SZ18	0.650	0.741	0.050	0.789	0.169	0.598	0.080	0.045	0.015	0.059	0.056	0.072	0.312	0.135	0.254	0.171	1.263	5.459
SZ19	0.595	0.820	0.224	0.817	0.081	0.361	0.049	0.053	0.021	0.084	0.076	0.098	0.404	0.096	0.068	0.120	1.860	5.827
SZ20	0.575	0.428	0.654	1.006	0.512	0.644	0.029	0.109	0.025	0.118	0.161	0.229	0.085	0.026	0.042	0.392	1.176	6.211
SZ21	0.457	0.569	0.071	0.520	0.099	0.331	0.088	0.054	0.019	0.016	0.063	0.091	0.223	0.096	0.057	0.154	1.728	4.636
SZ22	0.440	0.774	0.026	0.741	0.088	0.237	0.049	0.031	0.011	0.018	0.043	0.106	0.267	1.067	0.043	0.243	1.117	5.301
SZ23	0.417	0.390	0.154	0.671	0.092	1.132	0.055	0.062	0.030	0.040	0.054	0.109	0.474	0.098	0.034	0.278	1.175	5.265
SZ24	0.351	0.371	0.262	1.112	0.118	0.595	0.021	0.069	0.032	0.041	0.095	0.531	0.054	0.034	0.040	0.228	1.763	5.717
SZ25	0.265	0.701	0.105	0.853	0.069	0.249	0.034	0.037	0.023	0.012	0.043	0.054	0.276	0.085	0.061	0.303	1.198	4.368
平均	1.246	0.902	0.413	1.368	0.199	0.810	0.078	0.112	0.038	0.080	0.197	0.274	0.308	0.358	0.107	0.385	2.039	8.914

TAA 表示总游离氨基酸含量

这6种氨基酸与总氨基酸相关不显著。Ser与Asp、Glu、Gly、Val、Met、Pro呈极显著相关,相关系数分别为0.511、0.636、0.563、0.857、0.728、0.687,与Ala、Ile、Tyr、Lys和Arg呈显著正相关。Met和Lys属于植物蛋白质的限制性氨基酸,Arg被称为半必需氨基酸或者条件必需氨基酸,在幼儿生

长期是必需氨基酸。提高Ser含量的同时也能提高这些氨基酸含量,同时Ser含量与总氨基酸含量呈极显著相关,相关系数达到0.730,这些发现对于改善玉米品质具有重要意义。总体来看,Ser与多数氨基酸的相关性都较高。Pro和Ser呈极显著相关。

表2 各种游离氨基酸含量相关性分析

氨基酸	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Cys	Val	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	Pro
Thr	0.712**																
Ser	0.511**	0.089															
Glu	0.888**	0.549**	0.636**														
Gly	0.232	0.120	0.563**	0.107													
Ala	0.621**	0.327	0.415*	0.683**	-0.096												
Cys	0.314	0.298	0.235	0.410*	-0.015	0.420*											
Val	0.565**	0.090	0.857**	0.625**	0.503*	0.457*	0.101										
Met	0.226	-0.049	0.728**	0.465*	0.139	0.182	0.159	0.632**									
Ile	0.191	-0.359	0.479*	0.269	0.241	0.052	0.018	0.440*	0.277								
Leu	0.014	-0.147	-0.002	0.103	-0.024	-0.123	0.051	0.043	-0.02	0.496*							
Tyr	0.396	0.160	0.482*	0.666**	-0.078	0.412*	0.286	0.457*	0.509**	0.375	0.498*						
Phe	0.323	0.280	0.173	0.342	0.108	0.423*	0.575**	0.023	-0.124	0.025	-0.152	-0.087					
Lys	0.667**	0.709**	0.562*	0.637**	0.011	0.415*	0.047	0.268	0.132	-0.210	-0.045	0.349	0.072				
His	0.454*	0.248	0.312	0.470*	0.021	0.452*	0.035	0.423*	0.240	0.291	0.079	0.316	0.135	0.401*			
Arg	0.545**	0.545**	0.521*	0.540**	0.002	0.505*	-0.068	0.380	0.108	-0.103	0.042	0.482*	-0.209	0.792**	0.481*		
Pro	0.638**	0.510**	0.687**	0.491*	-0.096	0.377	0.001	0.298	0.012	0.225	0.136	0.306	0.147	0.508**	0.444*	0.497*	
TAA	0.935**	0.702**	0.730**	0.928**	0.186	0.729**	0.358	0.594**	0.295	0.160	0.109	0.595**	0.309	0.747**	0.530**	0.697**	0.766**

*, ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平相关显著性

2.3 主成分分析 主成分分析是将多指标转化为少数几个综合指标,其中每个主成分都能反映原始变量的大部分信息^[14]。在本研究中,通过 SPASS 20.0 对 25 份玉米自交系进行主成分分析,并对原始数据进行 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) 和 Bartlett 检验后发现,Bartlett 球形检验的显著性 *P* 值为 0,小于 0.05,说明数据适合做因子分析(表 3)。

表3 KMO 和 Bartlett 检验

检验	数值
KMO 检验	0.601
Bartlett 球形度检验	326.62
df	136
<i>P</i>	0

选取 25 份自交系的 17 种氨基酸进行主成分分析,以游离氨基酸的含量为分析指标。将特征值 >1 作为主成分(表 4),前 5 个主成分的特征值累计贡献率已经达到 80.925%,说明这 5 个主成分基本包含了全部游离氨基酸所具有的信息,因此前 5 个特征值可以将原来的 17 种氨基酸转化为 5 个主成分。第 1 主成分能解释所有玉米自交系游离氨基酸含量变异的 36.932%,第 2 主成分可解释 16.552% 的氨基酸含量变异,第 3 主成分可解释 11.356% 的氨基酸含量变异,第 4 主成分可解释 9.252% 的氨基酸含量变异,第 5 主成分可解释 6.833% 的氨基酸含量变异。利用这 5 个主成分对 25 份玉米自交系进行品质综合评价。

表4 主成分特征值及其贡献率

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
P1	6.278	36.932	36.932
P2	2.814	16.552	53.484
P3	1.931	11.356	64.840
P4	1.573	9.252	74.092
P5	1.162	6.833	80.925

游离氨基酸的主成分矩阵中(表5)显示了各氨基酸在5个主成分中的权重系数,主成分1中的Glu、Asp、Ala、Val、Lys、Ser、Arg、Pro、Tyr和His权重系数较大(特征向量平均为0.73);主成分2中Val、Ser、Ile、Met这4个氨基酸的权重系数比较大(特征向量平均为0.60);Phe和Cys在主成分3中权重系数比较大(特征向量平均为0.73);Tyr、Cys和Leu在主成分4中权重系数比较大(特征向量平均为0.50);主成分5中Leu和Gly的权重系数比较大(特征向量平均为0.49)。

通过主成分分析得到的主成分矩阵(表5)显示了不同氨基酸在5个主成分中的权重系数,用得到的5个因子得分再乘以相应的特征值的算术平方根得到各自的主成分得分(表6)。

本研究根据选择的5个主成分分值(表6)和它们各自的权重,计算各自交系综合得分D值, $D = (36.93Y_1 + 16.55Y_2 + 11.36Y_3 + 9.25Y_4 + 6.83Y_5) / 80.93$ 。结果见表7,25份氨基酸含量和农艺性状差

异较大的自交系中有10个高于平均得分(0),15个低于平均得分。综合评价指数大于1的有5个,分别是SZ2、SZ3、SZ4、SZ5和SZ10,表明这5个自交系游离氨基酸的综合评价较好。这5个自交系的游离氨基酸总量也较高,与综合评分结果相符合。SZ25的综合评价指数最小,说明其游离氨基酸的主成分含量偏低,而其本身的游离氨基酸含量也偏低。

表5 主成分矩阵

氨基酸	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5
Glu	0.94	0.01	0.09	0.12	-0.06
Asp	0.89	-0.18	0.11	-0.04	0.21
Ala	0.73	-0.17	0.23	0.18	-0.25
Val	0.72	0.51	0	-0.32	-0.02
Lys	0.69	-0.50	-0.25	-0.15	-0.02
Ser	0.68	0.60	0.21	-0.28	-0.07
Arg	0.68	-0.35	-0.49	-0.14	-0.08
Pro	0.67	-0.38	-0.22	0.08	0.28
Tyr	0.66	0.28	-0.33	0.42	-0.20
His	0.60	0.02	-0.17	0.04	0.01
Ile	0.26	0.74	-0.09	0.28	0.34
Thr	0.59	-0.64	0.11	-0.13	0.17
Met	0.47	0.57	-0.03	-0.18	-0.51
Phe	0.26	-0.15	0.82	0.24	0.16
Cys	0.36	-0.03	0.64	0.46	-0.13
Leu	0.10	0.33	-0.42	0.63	0.41
Gly	0.23	0.37	0.23	-0.57	0.56

表6 各主成分分值

样品	主成分					样品	主成分				
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
SZ1	3.68	-2.03	-1.96	-0.64	0.36	SZ14	-0.64	2.20	0.63	-1.47	1.92
SZ2	4.35	2.89	0.70	-0.72	0.10	SZ15	1.06	1.85	-2.58	3.20	1.51
SZ3	5.65	-3.52	-2.87	-1.34	-0.31	SZ16	-1.76	-0.88	0.11	-0.08	-0.51
SZ4	3.21	-2.44	3.50	2.55	-0.51	SZ17	-1.03	-0.68	0.40	-0.18	-0.56
SZ5	3.34	-0.48	2.65	1.27	0.67	SZ18	-1.54	-0.45	0.15	0.02	-0.18
SZ6	1.51	0.24	1.80	-2.68	1.97	SZ19	-2.00	-0.27	0.34	0.08	0.01
SZ7	-0.29	1.33	-0.31	0.43	-0.28	SZ20	-1.35	1.74	-0.12	-1.21	0.58
SZ8	-0.07	-0.11	0.16	-0.11	0.23	SZ21	-2.64	-0.70	0.18	-0.11	-0.57
SZ9	-0.98	1.13	-1.38	2.20	1.15	SZ22	-2.31	-1.46	-0.25	-0.48	-0.65
SZ10	3.38	4.02	-0.17	-0.37	-3.26	SZ23	-2.29	-0.31	0.74	0.06	-0.97
SZ11	-1.91	-0.69	-0.13	0.19	0.63	SZ24	-1.75	0.36	-0.93	0.19	-1.05
SZ12	-1.75	-0.49	-0.13	0.05	0.50	SZ25	-2.78	-0.76	0.00	-0.42	-0.79
SZ13	-1.09	-0.48	-0.54	-0.42	0.01						

表7 不同玉米自交系的综合评价指数

样品	综合评价指数	样品	综合评价指数
SZ1	0.95	SZ14	0.24
SZ2	2.60	SZ15	0.99
SZ3	1.28	SZ16	-1.02
SZ4	1.71	SZ17	-0.62
SZ5	2.00	SZ18	-0.78
SZ6	0.85	SZ19	-0.91
SZ7	0.12	SZ20	-0.37
SZ8	-0.03	SZ21	-1.38
SZ9	-0.06	SZ22	-1.50
SZ10	2.03	SZ23	-1.08
SZ11	-0.96	SZ24	-0.93
SZ12	-0.87	SZ25	-1.54
SZ13	-0.72		

3 结论

玉米品质性状中的氨基酸含量非常重要,不仅是蛋白质合成的底物原料,还能通过自身及代谢产物所具有的生物活性对许多生命活动起到调节作用^[15]。有目的地对种质资源的氨基酸组成及含量进行综合评价,对玉米品质育种具有重要意义。25份玉米自交系中共检测出17种游离氨基酸,其中包括7种必需氨基酸、10种非必需氨基酸。17种氨基酸中Pro含量最高,Glu含量次之,Met含量最少。在样品的游离氨基酸组成中Pro、Glu、Asp、Thr、Ala和Ser含量较高,它们占游离氨基酸总量的61.55%~90.32%,不同来源的玉米自交系中,游离氨基酸的含量和种类存在显著差异。相关性分析发现,17种氨基酸之间具有不同程度的相关性,Ser与Glu、Gly、Met等多种氨基酸含量呈显著或极显著相关,这与孙强等^[16]、祁新等^[17]的研究结果基本一致。提高Ser含量的同时也能提高这些氨基酸含量,同时Ser含量与总氨基酸含量呈极显著相关,相关系数达到0.730,这些发现对于改善玉米品质具有重要意义。

利用主成分分析法对25份自交系进行综合评价,构建综合评价指数,高于平均得分的有10份。其中SZ2、SZ3、SZ4、SZ5、SZ10自交系得分突出。综合游离氨基酸总量和主成分综合评价指数得分进

行评价,SZ2、SZ3、SZ4、SZ5和SZ10的品质较优,SZ25的品质最差。本研究基于游离氨基酸含量对玉米品质进行综合评价,但对于氨基酸的遗传分析及杂优模式配合力分析有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王敏杰. 玉米品质研究进展. 农业科技与进展, 2009 (6): 1-2
- [2] 高肖飞. 植物叶片中游离氨基酸的测定及其对大气氮沉降的响应. 南昌:南昌大学, 2015
- [3] 李福军. 玉米品质育种研究. 河南农业, 2018 (6): 26-27
- [4] 陈雪, 梁克红, 朱宏, 王靖. 游离氨基酸检测方法及其应用. 食品安全质量检测学报, 2021, 12 (18): 7298-7304
- [5] 徐宇, 肖化云, 郑能建, 张忠义, 瞿玲露. 植物组织中游离氨基酸在盐胁迫下响应的研究进展. 环境科学与技术, 2016, 39 (7): 40-47
- [6] 马立平. 由多指标向少数几个综合指标的转化:主成分分析法. 北京统计, 2000, 12 (6): 37-38
- [7] 李进, 梁晶, 翟梦华, 王莉, 金嵘, 张军高, 周小云, 雷斌. 基于主成分分析的不同棉花品种低温萌发关键期研究. 种子, 2021, 40 (1): 28-33
- [8] 王仁刚, 林世锋, 张吉顺, 杨志晓, 李金玲. 主成分分析鉴定烟草品种抗旱性的生理指标筛选. 湖南农业科学, 2015 (11): 7-9, 12
- [9] 何文, 张秀芬, 郭素云, 阳景阳, 李恒锐, 刘连军. 基于主成分分析和聚类分析对22份马铃薯种质的综合评价. 种子, 2021, 40 (3): 80-86
- [10] 高雪, 金鑫, 毕金峰, 胡丽娜, 樊一鸣, 辛广. 基于主成分分析法综合评价不同干燥工艺对香菇干燥特性和品质的影响. 沈阳农业大学学报, 2021, 52 (5): 537-547
- [11] 邱红梅, 杨春明, 高淑芹, 侯云龙, 马晓萍, 孙星邈, 郑宇宏, 王跃强, 王曙明. 高纬度地区大豆蛋白含量及氨基酸组分表型鉴定与聚类分析. 植物遗传资源学报, 2014, 15 (6): 1202-1208
- [12] 孟强, 王薪淇, 宋轶群, 赵仁贵. 糯玉米自交系中游离氨基酸的组成及含量分析. 西北农林科技大学学报, 2015, 43 (3): 91-97, 104
- [13] 彭友林, 陈敬, 邹挺, 杨国涛, 张杰, 王学春, 陈永军, 胡运高. 杂交水稻亲本材料的产量主成分分析及品质鉴定. 云南大学学报, 2019, 41 (1): 181-193
- [14] 李剑, 兰剑, 韩旭彪. 主成分分析和隶属函数对11份青贮玉米品种生产性能及营养成分的评价. 南方农机, 2020, 51 (10): 1-2, 20
- [15] 刑政, 王薪淇, 王丽丽, 任孝慈, 陈豪, 王小云, 赵仁贵. 糯玉米自交系氨基酸聚类及杂交优势分析. 分子植物育种, 2017, 15 (10): 4203-4209
- [16] 孙强, 郭永霞. 基于氨基酸含量的玉米品种品质综合评价. 食品与机械, 2022, 38 (3): 38-43, 50
- [17] 祁新, 赵颖君, 梁军, 郭信康. 玉米氨基酸含量的杂种优势分析. 吉林农业大学学报, 2001, 23 (2): 17-20

(收稿日期: 2022-07-18)