

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90065

12 个品种小米氨基酸含量测定及品质综合评价

Quality comprehensive assessment and measurement amino acid content of 12 varieties of millet

孙 强¹ 郭永霞^{1,2}SUN Qiang¹ GUO Yong-xia^{1,2}

(1. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319; 2. 国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319)

(1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. National

Research Center for Miscellaneous Grain Engineering Technology, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:目的:为小米的种质资源鉴定与筛选、品质育种及综合加工利用提供依据。方法:以 12 个小米品种为研究对象,测定小米中的氨基酸含量,并以小米中所含的 17 种氨基酸含量作为评价指标,进行主成分分析和品质综合评价,同时对小米品种进行聚类分析。结果:小米品种对 17 种氨基酸含量的影响顺序为 Ser>Lys>Arg>His>Met>Ile>Thr>Gly>Pro>Tyr>Phe>Asp>Cys>Glu>Leu>Val>Ala。主成分分析可提取出 2 个主成分,累计方差贡献率达到了 88.329%,Glu、Pro、Leu、Phe、Ile、Lys、Thr、His 和 Tyr 可以作为小米品种的综合评价指标。通过隶属函数法评价出了 12 个小米品种的品质优劣顺序,聚类分析可以将 12 个小米品种划分为三大类。结论:晋谷 61 的综合品质最好,张杂谷 13 品质最差。关键词:小米;氨基酸含量;主成分分析;品质评价

Abstract: Objective: This study aimed to provide the basis for selection and identification, quality breeding and comprehensive processing and utilization of millet germplasm resources. **Methods:** 12 varieties of millet were used to be tested objects, amino acid content of millet were measured, and then the content of 17 kinds of amino acids in millet were used to be evaluation index and applied to principal component analysis and comprehensive evaluation of quality. Millet varieties were clustered by clustering analysis. **Results:** The affected order of millet varieties on the content of 17 kinds of amino acids was Ser>Lys>Arg>His>Met>Ile>Thr>Gly>Pro>Tyr>Phe>Asp>Cys>Glu>Leu>Val>Ala. 2 principal components were

extracted by principal component analysis, and the accumulative variance contribution rate reached 88.329%. Glu, Pro, Leu, Phe, Ile, Lys, Thr, His and Tyr could be used to comprehensive assessment index of millet varieties. Quality merits order of the 12 millet varieties were obtained by subordinate function methods, and they could be divided into three groups by clustering. **Conclusion:** Comprehensive quality of Jingu61 is the best, and that of Zhangzagul3 is the worst.

Keywords: millet; amino acid content; principal component analysis; quality assessment

谷子(*Setaria italica*)属于禾本科植物,去壳后称为小米^[1]。小米中含有脂肪酸、多种氨基酸、矿物质和维生素等多种营养物质^[2],其营养成分均衡^[3],被公认为是最易消化的谷物^[4],对调整人体膳食结构有着非常重要的作用^[5]。

目前关于小米中氨基酸含量的研究已有相关报道,冯耐红等^[4]对山西省的 10 个品种小米进行了氨基酸含量测定,结果表明 10 种小米均含有 17 种氨基酸,总氨基酸含量的变幅为 9.04%~11.34%。冯小磊等^[2]对 9 个品种小米氨基酸和脂肪酸含量进行测定分析,结果表明,小米氨基酸种类全面,EAA/TAA 值和 NEAA/TAA 值接近于 FAO/WHO 理想标准,适合人体的氨基酸配比。韦露露等^[6]对陕西 7 种和贵州 8 种主栽小米品种进行了氨基酸含量分析,氨基酸符合 WHO/FAO 规定模式。前人对小米中氨基酸含量进行了测定,但并未对不同小米品种进行品质综合评价。研究拟选取 12 个小米品种进行氨基酸含量的测定,并利用主成分分析进行基于氨基酸含量的品质综合评价,以期小米的种质资源的鉴定与筛选、品质育种及综合加工利用提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

张杂谷 10、张杂谷 13、张杂谷 19、张杂谷 21;张家口

基金项目:黑龙江省自然科学基金面上项目(编号:C2018046);黑龙江八一农垦大学博士启动基金项目(编号:XDB2013-04)

作者简介:孙强,男,黑龙江八一农垦大学副教授,博士。

通信作者:郭永霞(1970—),女,黑龙江八一农垦大学教授,博士。
E-mail:gyxia@163.com

收稿日期:2021-06-29 **改回日期:**2022-04-29

市农业科学院;

晋谷 21、晋谷 40、晋谷 54、晋谷 57、晋谷 61、晋汾 103、晋汾 106、晋汾 107;山西省农业科学院;

氨基酸标准品:美国 Sigma 公司;

茚三酮:分析纯,德国 Menbar Pure 公司;

磺基水杨酸、氢氧化钠、浓盐酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器设备

全自动氨基酸分析仪:L-8900 型,日本 HITACHI 公司;

电子天平:AL104 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

离心机:Centrifuge 5424 R 型,德国 Eppendorf 公司;

小型高速粉碎机:TLG-01 型,北京天利恒诚科技有限公司;

酸度计:DELTA320 pH 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 氨基酸的测定方法

参照 GB 5009.124—2003 的方法进行,每个样品重复测定 3 次。

1.4 数据统计分析

1.4.1 隶属函数值

$$U(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (1)$$

式中:

X_j ——第 j 个综合指标, $j=1, 2, \dots, n$;

$U(X_j)$ ——第 j 个综合指标的隶属函数值;

$X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ ——第 j 个综合指标的最小值与最大值^[7]。

1.4.2 权重

$$W_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j}, \quad (2)$$

式中:

W_j ——第 j 个综合指标的权重;

R_j ——第 j 个综合指标的贡献率^[8-9]。

1.4.3 综合评价值

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j)W_j], \quad (3)$$

式中:

D ——不同小米品种的综合评价^[10-11]。

1.4.4 数据统计分析 数据统计与整理采用 Excel 2013; 聚类分析采用 SPSS 20.0; 相关性和差异性分析、主成分分析(PCA)采用 R 3.6.1 语言。

2 结果与分析

2.1 氨基酸组成

从表 1 可知,12 个小米品种中均含有 17 种氨基酸,包括人体所需 8 种必需氨基酸中的 7 种,分别为亮氨酸

(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、赖氨酸(Lys)、苏氨酸(Thr)、甲硫氨酸(Met),未检测到色氨酸(Trp);包含 2 种半必需氨基酸,分别为精氨酸(Arg)和组氨酸(His);其余 8 种为非必需氨基酸,分别为谷氨酸(Glu)、天冬氨酸(Asp)、丙氨酸(Ala)、脯氨酸(Pro)、酪氨酸(Tyr)、半胱氨酸(Cys)、甘氨酸(Gly)和丝氨酸(Ser)。必需氨基酸含量在 3.59~4.77 g/100 g,游离氨基酸总含量在 9.56~12.02 g/100 g,此结果与冯耐红等^[4]研究山西 10 种小米氨基酸含量的结果相近,其必需氨基酸含量在 4.35%~4.98%,总氨基酸含量在 10.27%~11.64%。17 种氨基酸中谷氨酸含量最高,平均为 2.50 g/100 g,其中晋谷 61 含量最高(2.86 g/100 g),张杂谷 13 含量最低(2.12 g/100 g);半胱氨酸含量最低,平均为 0.12 g/100 g,其中张杂谷 10 含量最高(0.14 g/100 g),晋谷 61 含量最低(0.10 g/100 g)。由差异性分析可知 17 种氨基酸含量最高的谷子品种与含量最低的谷子品种之间均存在着显著性差异。17 种氨基酸中 Ala 含量在 0.91~1.09 g/100 g,其变异系数最小为 4.61%,说明小米品种对 Ala 含量影响最小;Ser 含量在 0.25~0.53 g/100 g,变异系数最大为 32.98%,说明小米品种对 Ser 含量影响最大。其余 15 种氨基酸变异系数介于 4.61%~32.98%,通过变异系数顺序可知小米品种对氨基酸含量的影响顺序为 Ser>Lys>Arg>His>Met>Ile>Thr>Gly>Pro>Tyr>Phe>Asp>Cys>Glu>Leu>Val>Ala。

2.2 氨基酸含量相关性

由表 2 可知,小米中所含的 17 种氨基酸之间具有不同程度的相关性,其中 Tyr 只与 Val 和 Ala 呈显著正相关,与其他氨基酸之间相关性均不显著。其余氨基酸之间有的呈极显著正相关,如 Phe 与 Ile 之间相关系数为 0.954;有的氨基酸之间呈显著正相关,如 Cys 与 Ser 之间相关系数为 0.641;有的氨基酸之间呈极显著负相关,如 Lys 与 Met 之间相关系数为 -0.842;有的氨基酸之间呈显著负相关,如 Cys 与 Thr 之间相关系数为 -0.607。Ser 与其他氨基酸之间大多呈负相关,但与 Arg 和 Met 之间呈极显著正相关,His 与 Tyr 相关性不显著,与其余 15 种氨基酸均存在显著和极显著相关性。其余各氨基酸之间均有不同程度的相关性,大部分均达到了显著水平。

2.3 氨基酸含量的主成分

由表 3 可知,将 17 个成分中特征值大于 1 的成分作为主成分,可提取出 2 个主成分(图 1),累计方差贡献率可达 88.329%,说明这 2 个主成分综合了 12 个小米品种的 17 个氨基酸指标的 88.329%的信息,因此可以利用这 2 个主成分来代替上述 17 个氨基酸指标对 12 个小米品种进行品质综合评价。将这 2 个主成分定义为第 1 主成分(PC1)和第 2 主成分(PC2),由表 4 可知这 2 个主成分对应特征向量分别为:

表 1 12 个小米品种的氨基酸组成与含量[†]

Table 1 Amino acid composition and content of 12 millet varieties

g/100 g

品种	Glu	Asp	Ala	Pro	Tyr	Arg	Cys
晋谷 21	2.47±0.08 ^{bcd}	0.75±0.04 ^{cde}	1.05±0.04 ^{abc}	0.82±0.01 ^{bcd}	0.28±0.01 ^{ab}	0.31±0.02 ^{ab}	0.13±0.01 ^{ab}
晋谷 40	2.43±0.09 ^{cd}	0.70±0.02 ^{de}	0.98±0.01 ^{cd}	0.85±0.01 ^{abcd}	0.23±0.01 ^{cd}	0.21±0.01 ^c	0.13±0.01 ^{ab}
晋谷 54	2.54±0.03 ^{bcd}	0.84±0.04 ^{abc}	1.01±0.01 ^{bc}	0.89±0.03 ^{abc}	0.24±0.02 ^{bcd}	0.22±0.01 ^c	0.12±0.01 ^{abc}
晋谷 57	2.63±0.03 ^{abc}	0.90±0.03 ^a	1.04±0.03 ^{abc}	0.90±0.04 ^{abc}	0.29±0.02 ^a	0.24±0.01 ^{bc}	0.12±0.02 ^{abc}
晋谷 61	2.86±0.08 ^a	0.85±0.04 ^{abc}	1.09±0.03 ^a	0.95±0.02 ^a	0.26±0.01 ^{abcd}	0.23±0.02 ^c	0.10±0.01 ^c
晋汾 103	2.74±0.04 ^{ab}	0.84±0.01 ^{abc}	1.07±0.02 ^{ab}	0.93±0.01 ^{ab}	0.29±0.01 ^a	0.24±0.02 ^{bc}	0.12±0.01 ^{abc}
晋汾 106	2.53±0.02 ^{bcd}	0.81±0.01 ^{abcd}	1.02±0.03 ^{abc}	0.89±0.01 ^{abc}	0.23±0.02 ^{cd}	0.23±0.01 ^c	0.12±0.01 ^{abc}
晋汾 107	2.62±0.09 ^{abc}	0.87±0.01 ^{ab}	1.05±0.03 ^{abc}	0.91±0.01 ^{ab}	0.25±0.02 ^{abcd}	0.23±0.01 ^c	0.11±0.01 ^{bc}
张杂谷 10	2.35±0.05 ^{cde}	0.76±0.03 ^{bcd}	1.00±0.03 ^{bc}	0.79±0.03 ^{cde}	0.24±0.02 ^{bcd}	0.34±0.01 ^a	0.14±0.01 ^a
张杂谷 13	2.12±0.04 ^e	0.67±0.03 ^e	0.91±0.03 ^d	0.71±0.04 ^e	0.22±0.01 ^d	0.31±0.01 ^{ab}	0.12±0.01 ^{abc}
张杂谷 19	2.31±0.04 ^{de}	0.75±0.03 ^{cde}	1.00±0.03 ^{bc}	0.73±0.03 ^e	0.27±0.01 ^{abc}	0.34±0.01 ^a	0.13±0.01 ^{ab}
张杂谷 21	2.34±0.03 ^{cde}	0.77±0.02 ^{bcd}	1.01±0.01 ^{bc}	0.74±0.03 ^{de}	0.28±0.01 ^{ab}	0.35±0.01 ^a	0.13±0.02 ^{ab}
平均值	2.50	0.79	1.02	0.84	0.26	0.27	0.12
变异系数/%	8.15	8.88	4.61	9.84	9.73	19.94	8.61
品种	Gly	Ser	Leu [*]	Phe [*]	Val [*]	Ile [*]	Lys [*]
晋谷 21	0.26±0.01 ^{bc}	0.53±0.01 ^a	1.60±0.03 ^{bcd}	0.64±0.03 ^{abc}	0.56±0.01 ^{bcd}	0.45±0.01 ^{bcd}	0.16±0.01 ^e
晋谷 40	0.31±0.02 ^{ab}	0.25±0.01 ^c	1.60±0.02 ^{bcd}	0.63±0.03 ^{abc}	0.53±0.02 ^{de}	0.53±0.02 ^{abc}	0.22±0.01 ^{abcde}
晋谷 54	0.34±0.01 ^a	0.27±0.01 ^c	1.65±0.01 ^{abcd}	0.67±0.01 ^{ab}	0.58±0.01 ^{abcd}	0.55±0.02 ^{ab}	0.28±0.01 ^a
晋谷 57	0.31±0.01 ^{ab}	0.29±0.02 ^{bc}	1.69±0.02 ^{abc}	0.68±0.01 ^a	0.62±0.03 ^{ab}	0.56±0.03 ^a	0.29±0.02 ^a
晋谷 61	0.30±0.01 ^{abc}	0.28±0.02 ^c	1.77±0.03 ^a	0.71±0.02 ^a	0.62±0.01 ^{ab}	0.58±0.01 ^a	0.28±0.03 ^a
晋汾 103	0.35±0.01 ^a	0.29±0.01 ^{bc}	1.76±0.02 ^{ab}	0.71±0.01 ^a	0.63±0.01 ^a	0.58±0.03 ^a	0.27±0.02 ^{ab}
晋汾 106	0.27±0.01 ^{bc}	0.27±0.02 ^c	1.66±0.03 ^{abcd}	0.65±0.01 ^{abc}	0.59±0.02 ^{abcd}	0.53±0.02 ^{abc}	0.26±0.01 ^{abc}
晋汾 107	0.35±0.01 ^a	0.28±0.01 ^c	1.66±0.02 ^{abcd}	0.67±0.01 ^{ab}	0.60±0.03 ^{abc}	0.55±0.01 ^{ab}	0.25±0.01 ^{abcd}
张杂谷 10	0.28±0.01 ^{bc}	0.53±0.02 ^a	1.55±0.03 ^{cde}	0.59±0.03 ^{bcd}	0.55±0.03 ^{cde}	0.42±0.01 ^d	0.19±0.01 ^{cde}
张杂谷 13	0.25±0.01 ^c	0.46±0.03 ^{ab}	1.35±0.03 ^f	0.53±0.02 ^d	0.49±0.01 ^e	0.37±0.01 ^d	0.16±0.01 ^e
张杂谷 19	0.26±0.02 ^{bc}	0.52±0.03 ^a	1.46±0.01 ^{ef}	0.54±0.03 ^d	0.55±0.01 ^{cde}	0.40±0.02 ^d	0.18±0.01 ^{de}
张杂谷 21	0.27±0.01 ^{bc}	0.52±0.01 ^a	1.51±0.01 ^{def}	0.58±0.01 ^{cd}	0.57±0.02 ^{abcd}	0.43±0.01 ^{cd}	0.20±0.02 ^{bcd}
平均值	0.30	0.37	1.61	0.63	0.57	0.50	0.23
变异系数/%	12.27	32.98	7.62	9.65	7.18	15.35	21.44
品种	Thr [*]	Met [*]	His	必需氨基酸	游离氨基酸		
晋谷 21	0.42±0.01 ^{bcd}	0.39±0.01 ^a	0.23±0.01 ^{bc}	4.22	11.05		
晋谷 40	0.47±0.02 ^{abc}	0.24±0.01 ^d	0.28±0.02 ^{ab}	4.22	10.59		
晋谷 54	0.52±0.01 ^a	0.24±0.02 ^d	0.31±0.01 ^a	4.49	11.27		
晋谷 57	0.48±0.02 ^{abc}	0.24±0.01 ^d	0.32±0.01 ^a	4.56	11.60		
晋谷 61	0.53±0.02 ^a	0.28±0.01 ^{bcd}	0.33±0.02 ^a	4.77	12.02		
晋汾 103	0.53±0.01 ^a	0.28±0.02 ^{bcd}	0.33±0.01 ^a	4.76	11.96		
晋汾 106	0.50±0.02 ^{ab}	0.26±0.01 ^{cd}	0.31±0.02 ^a	4.45	11.13		
晋汾 107	0.50±0.01 ^{ab}	0.26±0.02 ^{cd}	0.32±0.01 ^a	4.49	11.48		
张杂谷 10	0.42±0.01 ^{bcd}	0.34±0.01 ^{ab}	0.23±0.01 ^{bc}	4.06	10.72		
张杂谷 13	0.36±0.01 ^d	0.33±0.01 ^{abc}	0.20±0.01 ^c	3.59	9.56		
张杂谷 19	0.40±0.02 ^{cd}	0.33±0.02 ^{abc}	0.22±0.02 ^{bc}	3.86	10.39		
张杂谷 21	0.41±0.01 ^{cd}	0.33±0.01 ^{abc}	0.22±0.01 ^{bc}	4.03	10.66		
平均值	0.46	0.29	0.28	4.29	11.04		
变异系数/%	12.45	16.79	18.44	8.42	6.37		

[†] * 为必需氨基酸;同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 2 12 个小米品种氨基酸相关性分析[†]

Table 2 Correlation analysis between amino acid composition of 12 millet varieties

氨基酸	Glu	Asp	Ala	Pro	Tyr	Arg	Cys	Gly	Ser
Glu	1.000								
Asp	0.817 * *	1.000							
Ala	0.904 * *	0.771 * *	1.000						
Pro	0.942 * *	0.781 * *	0.759 * *	1.000					
Tyr	0.404	0.466	0.632 *	0.167	1.000				
Arg	-0.681 *	-0.508	-0.358	-0.853 * *	0.184	1.000			
Cys	-0.667 *	-0.560	-0.454	-0.642 *	0.000	0.618 *	1.000		
Gly	0.673 *	0.663 *	0.488	0.756 * *	0.154	-0.712 * *	-0.421	1.000	
Ser	-0.676 *	-0.552	-0.338	-0.835 * *	0.170	0.980 * *	0.641 *	-0.729 * *	1.000
Leu	0.972 * *	0.796 * *	0.873 * *	0.963 * *	0.360	-0.717 * *	-0.524	0.699 *	-0.704 *
Phe	0.955 * *	0.787 * *	0.818 * *	0.976 * *	0.318	-0.778 * *	-0.592 *	0.745 * *	-0.750 * *
Val	0.911 * *	0.930 * *	0.903 * *	0.819 * *	0.597 *	-0.483	-0.528	0.620 *	-0.526
Ile	0.913 * *	0.770 * *	0.703 *	0.972 * *	0.198	-0.890 * *	-0.620	0.806 * *	-0.894 * *
Lys	0.824 * *	0.851 * *	0.588	0.875 * *	0.166	-0.797 * *	-0.625 *	0.743 * *	-0.856 * *
Met	-0.499	-0.535	-0.164	-0.664 *	0.195	0.860 * *	0.472	-0.699 *	0.925 * *
His	0.901 * *	0.817 * *	0.677 *	0.969 * *	0.143	-0.884 * *	-0.671 *	0.797 * *	-0.904 * *

氨基酸	Leu	Phe	Val	Ile	Lys	Thr	Met	His
Glu								
Asp								
Ala								
Pro								
Tyr								
Arg								
Cys								
Gly								
Ser								
Leu	1.000							
Phe	0.978 * *	1.000						
Val	0.895 * *	0.853 * *	1.000					
Ile	0.939 * *	0.954 * *	0.809 * *	1.000				
Lys	0.836 * *	0.838 * *	0.819 * *	0.920 * *	1.000			
Thr	0.937 * *	0.932 * *	0.814 * *	0.970 * *	0.915 * *	1.000		
Met	-0.540	-0.563	-0.437	-0.772 * *	-0.842 * *	-0.731 * *	1.000	
His	0.914 * *	0.924 * *	0.824 * *	0.981 * *	0.948 * *	0.969 * *	-0.797 * *	1.000

[†] * *. 在 0.01 水平(双侧)极显著相关; *. 在 0.05 水平(双侧)显著相关。

$$P_{CA,1} = 0.266x_1 + 0.239x_2 + 0.214x_3 + 0.275x_4 + 0.070x_5 - 0.236x_6 - 0.189x_7 + 0.226x_8 - 0.240x_9 + 0.267x_{10} + 0.270x_{11} + 0.246x_{12} + 0.278x_{13} + 0.265x_{14} + 0.274x_{15} - 0.207x_{16} + 0.279x_{17}, \quad (4)$$

$$P_{CA,2} = 0.163x_1 + 0.192x_2 + 0.390x_3 - 0.013x_4 + 0.558x_5 + 0.317x_6 + 0.089x_7 - 0.089x_8 + 0.325x_9 + 0.131x_{10} + 0.083x_{11} + 0.285x_{12} - 0.054x_{13} - 0.077x_{14} -$$

$$0.049x_{15} + 0.366x_{16} - 0.076x_{17}, \quad (5)$$

式中:

$P_{CA,1}$ ——第 1 主成分;

$P_{CA,2}$ ——第 2 主成分;

$x_1、x_2、\cdots、x_{17}$ ——Glu、Asp、Ala、Pro、Tyr、Arg、Cys、Gly、Ser、Leu、Phe、Val、Ile、Lys、Thr、Met、His。

由图 1 和表 3、表 4 可知,PC1 的方差贡献率为

74.293%,在 PC1 的表达式中, Glu、Pro、Leu、Phe、Ile、Lys、Thr 和 His 系数较大,分别为 0.266,0.275,0.267,0.270,0.278,0.265,0.274,0.279;PC2 的方差贡献率为 14.035%,在 PC2 的表达式中,Tyr 系数最大,为 0.558;综合分析上述结果,Glu、Pro、Leu、Phe、Ile、Lys、Thr、His 和 Tyr 可以作为 12 个小米品种品质综合评价指标。

表 3 主成分提取

Table 3 Principal component extraction

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
PC1	12.630	74.293	74.293
PC2	2.386	14.035	88.329

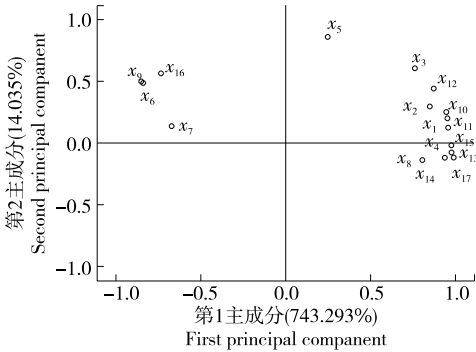


图 1 主成分图

Figure 1 Principle component

表 4 主成分的特征向量及载荷矩阵

Table 4 Principal component eigenvectors and loading matrix

氨基酸	PC1		PC2	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷
Glu	0.266	0.945	0.163	0.251
Asp	0.239	0.849	0.192	0.295
Ala	0.214	0.759	0.390	0.601
Pro	0.275	0.977	-0.013	-0.019
Tyr	0.070	0.248	0.558	0.860
Arg	-0.236	-0.839	0.317	0.489
Cys	-0.189	-0.671	0.089	0.138
Gly	0.226	0.803	-0.089	-0.137
Ser	-0.240	-0.852	0.325	0.500
Leu	0.267	0.950	0.131	0.202
Phe	0.270	0.958	0.083	0.127
Val	0.246	0.873	0.285	0.438
Ile	0.278	0.987	-0.054	-0.083
Lys	0.265	0.939	-0.077	-0.119
Thr	0.274	0.973	-0.049	-0.076
Met	-0.207	-0.733	0.366	0.564
His	0.279	0.989	-0.076	-0.116

2.4 12 个品种小米品质综合评价

2.4.1 隶属函数分析 根据式(1)可计算出 12 个小米品种的 2 个综合指标的隶属函数值(表 5)。由表 5 可知, 2 个综合指标的隶属函数值不同,对 PC1 而言,晋谷 61 的 $U(X_1)$ 值最大为 1.000,说明晋谷 61 在 PC1 上表现出的品质最好,张杂谷 13 的 $U(X_1)$ 值最小为 0,说明张杂谷 13 在 PC1 上表现出的品质最差;对 PC2 而言,晋谷 21 的 $U(X_2)$ 值最大为 1.000,说明晋谷 21 在 PC2 上表现出的品质最好,晋谷 40 的 $U(X_2)$ 值最小为 0,说明晋谷 40 在 PC2 上表现出的品质最差。

2.4.2 品质综合评价 根据式(2)和式(3)可计算出 12 个小米品种的综合评价价值即 D 值(表 5),根据 D 值可对 12 个小米品种品质优劣排序,得出 12 个小米品种品质优劣顺序为晋谷 61>晋汾 103>晋谷 57>晋汾 107>晋谷 54>晋汾 106>晋谷 40>晋谷 21>张杂谷 21>张杂谷 10>张杂谷 19>张杂谷 13。

2.5 12 个品种小米聚类分析

采用组间联接法对表 5 中的综合评价价值(D 值)进行聚类分析,构建 12 个小米品种综合品质聚类树状图(图 2),聚类分析可以将 12 个小米品种划分为三大类。第 I 类包括晋谷 61、晋汾 103、晋谷 57、晋汾 107、晋谷 54 和晋汾 106 共 6 个品种,其综合品质最好;第 II 类包括晋谷 40、晋谷 21、张杂谷 21、张杂谷 10 和张杂谷 19 共 5 个品种,其综合品质次之;第 III 类包括张杂谷 13,其综合品质最差。

3 结论

对 12 个品种小米的氨基酸组成和含量进行分析,所

表 5 12 个小米品种品质综合评价

Table 5 Comprehensive assessment of quality of 12 millet varieties

品种	综合指标值		隶属函数值		D 值	排序
	PC1	PC2	$U(X_1)$	$U(X_2)$		
晋谷 21	-0.656	1.488	0.348	1.000	0.452	8
晋谷 40	-0.024	-1.691	0.566	0.000	0.476	7
晋谷 54	0.703	-0.951	0.816	0.233	0.724	5
晋谷 57	0.884	0.452	0.879	0.674	0.846	3
晋谷 61	1.235	0.402	1.000	0.658	0.946	1
晋汾 103	1.126	0.783	0.962	0.778	0.933	2
晋汾 106	0.437	-0.780	0.725	0.287	0.655	6
晋汾 107	0.848	-0.292	0.866	0.440	0.799	4
张杂谷 10	-0.902	0.358	0.263	0.645	0.324	10
张杂谷 13	-1.664	-1.368	0.000	0.102	0.016	12
张杂谷 19	-1.121	0.604	0.187	0.722	0.272	11
张杂谷 21	-0.867	0.993	0.275	0.844	0.365	9
指标权重			0.841	0.159		

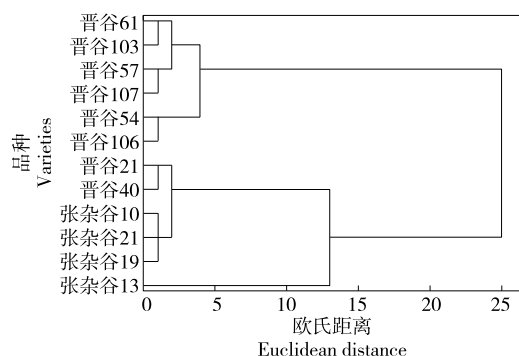


图 2 聚类分析图

Figure 2 Clustering analysis graph

有小米品种均含有 17 种氨基酸,不同小米品种 17 种氨基酸含量有一定差异;通过主成分分析得出晋谷 61 的综合品质最好,张杂谷 13 品质最差。氨基酸含量是评价小米品质的重要指标,研究采用主成分分析法对不同品种小米氨基酸含量进行了综合评价,为小米品种的筛选提供一定的理论依据。但关于不同小米品种其他营养成分的测定及主成分分析还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 刘思辰,曹晓宁,温琪汾,等.山西谷子地方品种农艺性状和品质性状的综合评价[J].中国农业科学,2020,53(11):2137-2148.
LIU S C, CAO X N, WEN Q F, et al. Comprehensive evaluation of agronomic traits and quality traits of foxtail millet landrace in shanxi[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(11): 2137-2148.
- [2] 冯小磊,史高雷,张晓磊,等.不同小米品种氨基酸与脂肪酸营养成分分析[J].食品工业,2020,41(7):340-344.
FENG X L, SHI G L, ZHANG X L, et al. Analysis of amino acid and fatty acid contents in different varieties of millet[J]. The Food Industry, 2020, 41(7): 340-344.
- [3] 李庆春,黎裕,曹永生,等.小米蛋白质含量和氨基酸组成及其蛋白质品质的评价[J].中国粮油学报,1994,9(4):6-13.
LI Q C, LI Y, CAO Y S, et al. Protein content and amino acid composition of millet and their protein quality evaluation[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1994, 9(4): 6-13.
- [4] 冯耐红,侯东辉,杨成元,等.不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J].食品工业科技,2020,41(8):224-229.
FENG N H, HOU D H, YANG C Y, et al. Evaluation of main nutrients and amino acid components of different varieties of foxtail millet[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 224-229.
- [5] 薛月圆,李鹏,林勤保.小米的化学成分及物理性质的研究进展[J].中国粮油学报,2008,23(3):199-203.
XUE Y Y, LI P, LIN Q B. Research evolution on chemical component and physical character of foxtail millet[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(3): 199-203.
- [6] 韦露露,秦礼康,文安燕,等.基于主成分分析的不同品种小米

品质评价[J].食品工业科技,2019,40(9):49-56.

- WEI L L, QIN L K, WEN A Y, et al. Quality evaluation of different varieties millet based on principal components analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(9): 49-56.
- [7] 王丽艳,王鑫森,荆瑞勇,等.基于氨基酸含量的市售 15 个产区黑木耳的综合评价[J].食品工业科技,2021,42(16):37-43.
WANG L Y, WANG X M, JING R Y, et al. Comprehensive assessment of *Auricularia auricular-judae* for sale from 15 producing areas based on amino acid content[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 37-43.
- [8] 荆瑞勇,王丽艳,郑桂萍,等.水稻萌发期和幼苗期耐盐性鉴定指标筛选及综合评价[J].黑龙江八一农垦大学学报,2019,31(6):1-6,19.
JING R Y, WANG L Y, ZHENG G P, et al. Comprehensive assessment and selection of identification index of rice salt tolerance at germination stage and seedling stage[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2019, 31(6): 1-6, 19.
- [9] 丁倩,石玉,甄润英.不同授粉品种绿宝苹果主要营养品质及主成分分析[J].食品与机械,2018,34(4):54-57.
DING Q, SHI Y, ZHEN R Y. Main nutritional quality and principal component analysis of Bramley apples with different pollination varieties[J]. Food & Machinery, 2018, 34(4): 54-57.
- [10] 王丽艳,唐金敏,郑桂萍,等.水稻萌发期和幼苗期耐低温指标体系构建及综合评价[J].中国农业科技导报,2019,21(10):58-65.
WANG L Y, TANG J M, ZHENG G P, et al. Characterization and evaluation of low temperature resistance of rice at germination and seedling stages[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2019, 21(10): 58-65.
- [11] 王丽艳,王鑫森,荆瑞勇,等.不同亚麻籽品种营养成分分析与品质综合评价[J].食品与机械,2021,37(7):26-32.
WANG L Y, WANG X M, JING R Y, et al. Comprehensive quality evaluation and analysis of nutrition components of various flaxseed[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 26-32.