

不同亚麻籽品种氨基酸含量测定及品质综合评价

Measurement of amino acid and comprehensive quality assessment of different flaxseed variety

王丽艳¹ 孙 强¹ 王鑫淼¹ 荆瑞勇¹ 郭永霞²

WANG Li-yan¹ SUN Qiang¹ WANG Xin-miao¹ JING Rui-yong¹ GUO Yong-xia²

(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:研究不同亚麻籽品种氨基酸含量及基于氨基酸含量的品质差异。方法:以 6 个产地的 12 个亚麻籽品种为研究对象,测定其氨基酸含量,并以 17 种氨基酸含量为评价指标进行主成分分析和聚类分析,研究不同品种亚麻籽氨基酸含量及基于氨基酸含量的品质差异。结果:亚麻籽品种对不同氨基酸含量的影响顺序为 Met>Cys>Phe>Tyr>Arg>Glu>Pro>His>Asp>Ser>Lys>Gly>Thr>Ala>Ile>Val>Leu。主成分分析提取出 3 个主成分,其累计方差贡献率达 86.695%,Ala、Arg、Thr、Leu 和 Cys 可以作为 12 个亚麻籽品种基于氨基酸含量的品质综合评价指标。隶属函数法评价得出 12 个亚麻籽品种基于氨基酸含量的品质优劣顺序为晋亚 7>晋亚 8>轮选 2>坝亚 9>伊亚 3>轮选 1>宁亚 16>宁亚 17>伊亚 4>陇亚 8>坝亚 11>陇亚 10。结论:综合品质最佳亚麻籽品种为晋亚 7,最差亚麻籽品种为陇亚 10,综合评价将 12 个亚麻籽品种划分为四大类。

关键词:亚麻籽;品质评价;氨基酸含量;主成分分析;聚类分析

Abstract: Objective: This study aimed to investigate amino acid content and quality difference of different flaxseed varieties, based on their amino acid content. Methods: 12 flaxseed varieties from 6 producing areas were used to tested materials, amino acid contents in flaxseed were measured and 17 amino acid contents were used to assessing index, which was analyzed by principal

component and clustering for studying the amino acid content and quality difference of flaxseed based on amino acid content.

Results: affected order of flaxseed varieties on different amino acid content was Met>Cys>Phe>Tyr>Arg>Glu>Pro>His>Asp>Ser>Lys>Gly>Thr>Ala>Ile>Val>Leu. Three principal components were extracted, and their accumulative variance contribution rate reached 86.695%; Ala, Arg, Thr, Leu and Cys could be used as a comprehensive assessing index of 12 flaxseed varieties on amino acid content. The order of 12 flaxseed quality from good to bad based on amino acid content by subordinate function method was obtained, and the order was Jinya7>Jinya8>Lunxuan2>Baya9>Yiya3>Lunxuan1>Ningya16>Ningya17>Yiya4>Longya8>Baya11>Longxi10. **Conclusion:** Jinya7 is the best flaxseed variety, and Longya10 is the worst flaxseed variety in comprehensive quality; 12 flaxseed varieties were divided into four classes by comprehensive assessment.

Keywords: flaxseed; quality assessment; amino acid content; principal component analysis; clustering analysis

亚麻是中国五大油料作物之一,起源于地中海^[1]。盛产于东北、宁夏、内蒙古、甘肃等地区^[2],亚麻籽中富含 α -亚麻酸^[3]、蛋白质、脂肪、糖类、氨基酸和矿物质等多种营养成分^[4],还含有黄酮、木酚素、植物甾醇、生育酚、氰化物等抗氧化物质^[5]。因此亚麻籽油对人体健康有多种益处,如抗癌^[6-8]、降血脂^[9]、降血压^[10]、降血糖^[11]等。研究^[4]表明,生物活性营养成分与其生理功能密切相关,营养成分会受到产地、品种、环境和气候等条件影响。因此有必要对不同产地和品种的亚麻籽进行营养特性分析。

目前有关亚麻籽营养物质及活性成分的研究较多^[12-14],李燕青等^[15]对内蒙古、河北、山西、甘肃、加拿大、俄罗斯、美国产地的亚麻籽进行了氨基酸组成和含量测定,结果表明不同亚麻籽中必需氨基酸符合或接近

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);中央引导地方科技发展专项(编号:ZY16A06)

作者简介:王丽艳,女,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:2021-03-26

WHO/FAO 所规定的适宜人体氨基酸模式要求,因此亚麻籽可以作为补充氨基酸的功能食品加以开发。游离氨基酸属于非蛋白质氨基酸^[16],其成分和含量可反映食品的营养价值,可以作为食用品质的一项重要指标^[17]。有关利用氨基酸含量来进行营养价值评价的研究已在多种食品上有相关报道,如食用蘑菇^[18]、百合^[19]、桑椹^[20]、核桃^[21]、黄花菜^[22]等。由于氨基酸种类较多,利用不同的氨基酸来评价食品营养价值可能会得到不同的结果,因此利用某一种氨基酸来进行食品营养价值的评价是不客观的,有研究者^[18-22]利用主成分分析(principal component analysis,PCA)来进行综合评价。

中国亚麻籽产地较多,各产地之间的气候、土壤、水质等自然条件存在较大差异,因此有必要对不同产地和品种的亚麻籽氨基酸成分进行综合评价研究。课题组前期对试验中所选品种的粗脂肪、 α -亚麻酸、总糖、粗蛋白、总氨基酸、钙、铁和锌含量 8 个指标进行了含量测定和品质综合评价。在此基础上,研究拟对 6 个产地的 12 个亚麻籽品种的氨基酸组成和含量进行测定,并进行主成分分析,综合评价不同品种亚麻籽氨基酸含量的品质差异,以期对亚麻籽油脂加工及补充亚麻籽油数据提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

亚麻籽:6 个产地的 12 个品种,具体信息见表 1,其中轮选 1 和轮选 2 由内蒙古自治区农牧业科学院提供,其余品种由黑龙江省科学院大庆分院提供;

氨基酸标准品:美国 Sigma 公司;

茚三酮:德国 Menbar Pure 公司;

氢氧化钠、浓盐酸、磺基水杨酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

全自动氨基酸分析仪:L-8900 型,日本日立高新技术公司;

小型高速粉碎机:TLG-01 型,北京天利恒诚科技有限公司;

离心机:5424 R 型,德国 Eppendorf 公司;

酸度计:DELTA320 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 氨基酸含量测定

采用氨基酸自动分析仪进行测定,检测波长为 440, 570 nm,分离柱为阳离子交换树脂 2619,茚三酮溶液 0.35 mL/min,缓冲液流速 0.40 mL/min,进样量 20 μ L,每个样品测定 3 次。

1.4 数据处理及统计分析

1.4.1 隶属函数值 按式(1)计算^[23-24]。

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

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。

1.4.2 权重 按式(2)计算权重^[25]。

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

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。

1.4.3 综合评价 按式(3)计算^[18]。

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

式中:

D ——不同产地亚麻籽品质的综合评价值。

1.4.4 数据统计分析 采用 Excel 2013 软件进行数据统计与整理;采用 R 3.6.1 语言进行相关性和差异性分析、主成分分析(PCA);采用 SPSS 20.0 进行聚类分析。

表 1 亚麻籽品种信息

Table 1 Information of flaxseed varieties

品种	产地	品种	产地
伊亚 3	新疆伊犁	陇亚 8	甘肃白银
伊亚 4	新疆伊犁	陇亚 10	甘肃白银
轮选 1	内蒙古鄂尔多斯	坝亚 9	河北张家口
轮选 2	内蒙古鄂尔多斯	坝亚 11	河北张家口
宁亚 16	宁夏固原	晋亚 7	山西大同
宁亚 17	宁夏固原	晋亚 8	山西大同

2 结果与分析

2.1 氨基酸组成分析

由表 2 可知,12 个亚麻籽品种均含有 17 种氨基酸且种类一致,无差异,其中 Glu 含量最高,平均为 5.06 mg/g, Cys 含量最低,平均为 0.19 mg/g。晋亚 7 的游离氨基酸总量最高,为 25.14 mg/g,陇亚 10 的游离氨基酸总量最低,为 19.26 mg/g。人体中 8 种必需氨基酸除色氨酸(Trp)外,亚麻籽中含有 7 种,其中晋亚 7 的含量最高,为 8.11 mg/g,陇亚 10 的含量最低,为 6.29 mg/g。12 个亚麻籽中均含有赖氨酸(Lys)和甲硫氨酸(Met)两种限制性氨基酸,其种晋亚 7 的含量最高,为 1.72 mg/g,陇亚 10 的含量最低,为 1.11 mg/g。通过差异性分析可知,17 种氨基酸的最高含量与最低含量均存在显著差异($P < 0.05$),其中 Leu 含量为 1.22~1.57 mg/g,变异系数最小,为 7.39%,说明亚麻籽品种对 Leu 含量影响最小;Met 含量为 0.29~0.65 mg/g,变异系数最大,为 26.66%,说明亚麻籽品种对 Met 含量影响最大。通过变异系数可知,亚

表 2 12 个亚麻籽品种氨基酸组成及其含量[†]
Table 2 Amino acid composition and content of 12 flaxseed varieties mg/g

品种	伊亚 3	伊亚 4	轮选 1	轮选 2	宁亚 16	宁亚 17	陇亚 8
Met * A	0.34±0.01 ^b	0.35±0.03 ^b	0.34±0.02 ^b	0.35±0.03 ^b	0.33±0.02 ^b	0.36±0.03 ^b	0.31±0.01 ^b
Lys * A	0.96±0.03 ^{ab}	0.95±0.01 ^{ab}	1.01±0.03 ^a	1.04±0.03 ^a	0.98±0.02 ^{ab}	1.01±0.01 ^a	0.95±0.01 ^{ab}
Val *	1.16±0.03 ^{bcd}	1.17±0.04 ^{abcd}	1.22±0.03 ^{abcd}	1.26±0.01 ^{ab}	1.24±0.02 ^{abc}	1.18±0.02 ^{abcd}	1.11±0.01 ^{cde}
Ile *	1.03±0.03 ^{abc}	1.01±0.01 ^{bcd}	1.08±0.02 ^{abc}	1.11±0.01 ^{abc}	1.02±0.00 ^{abc}	1.09±0.03 ^{abc}	0.98±0.03 ^{cd}
Leu *	1.39±0.03 ^{bcd}	1.43±0.04 ^{abcd}	1.35±0.01 ^{cde}	1.45±0.03 ^{abcd}	1.50±0.04 ^{abc}	1.43±0.04 ^{abcd}	1.22±0.02 ^e
Phe *	1.94±0.01 ^a	1.17±0.01 ^c	1.41±0.03 ^{bc}	1.43±0.03 ^{bc}	1.51±0.02 ^b	1.35±0.04 ^{bc}	1.38±0.04 ^{bc}
Thr *	0.81±0.01 ^{abc}	0.82±0.03 ^{ab}	0.88±0.02 ^{ab}	0.89±0.03 ^a	0.85±0.01 ^{ab}	0.89±0.03 ^a	0.70±0.01 ^c
Asp	2.17±0.01 ^{bcd}	2.22±0.03 ^{abc}	2.30±0.17 ^{abc}	2.38±0.14 ^{ab}	2.25±0.05 ^{abc}	2.33±0.15 ^{abc}	1.85±0.18 ^d
Ser	1.01±0.04 ^{abc}	0.99±0.08 ^{abc}	1.07±0.05 ^{ab}	1.09±0.07 ^{ab}	1.03±0.07 ^{ab}	1.08±0.06 ^{ab}	0.85±0.05 ^c
Glu	5.11±0.16 ^{abc}	4.84±0.19 ^{abcd}	5.18±0.28 ^{abc}	5.40±0.24 ^{ab}	4.90±0.25 ^{abc}	5.20±0.32 ^{abc}	4.72±0.18 ^{bcd}
Gly	1.38±0.13 ^{abc}	1.42±0.09 ^{abc}	1.48±0.16 ^{ab}	1.50±0.02 ^{ab}	1.40±0.08 ^{abc}	1.44±0.09 ^{ab}	1.21±0.12 ^c
Ala	1.09±0.07 ^{abcd}	1.07±0.03 ^{bcd}	1.16±0.04 ^{abc}	1.18±0.05 ^{abc}	1.12±0.09 ^{abc}	1.16±0.06 ^{abc}	1.05±0.06 ^{cd}
Cys	0.25±0.04 ^a	0.22±0.03 ^{ab}	0.18±0.03 ^{ab}	0.17±0.03 ^b	0.22±0.04 ^{ab}	0.16±0.04 ^b	0.25±0.05 ^a
Tyr	0.71±0.04 ^{ab}	0.64±0.03 ^{abc}	0.62±0.04 ^{bcd}	0.58±0.04 ^{cd}	0.56±0.04 ^{cd}	0.63±0.03 ^{abcd}	0.51±0.01 ^d
His	0.49±0.02 ^{bc}	0.48±0.03 ^{bc}	0.55±0.03 ^{ab}	0.56±0.05 ^{ab}	0.56±0.04 ^{ab}	0.53±0.02 ^{ab}	0.49±0.03 ^{bc}
Arg	2.31±0.12 ^a	2.22±0.10 ^{ab}	2.33±0.12 ^{abc}	2.50±0.04 ^{abc}	2.40±0.10 ^{abcd}	2.25±0.05 ^{abcd}	2.15±0.09 ^{bcd}
Pro	0.82±0.03 ^{abc}	0.81±0.01 ^{abc}	0.83±0.03 ^{abc}	0.81±0.02 ^{abc}	0.85±0.04 ^{abc}	0.81±0.02 ^{abc}	0.79±0.02 ^{bc}
游离氨基酸	21.59	21.81	22.99	23.70	22.72	22.90	20.52
必需氨基酸	7.63	6.90	7.29	7.53	7.43	7.31	6.65
限制性氨基酸	1.30	1.30	1.35	1.39	1.31	1.37	1.26

品种	陇亚 10	坝亚 9	坝亚 11	晋亚 7	晋亚 8	平均值	变异系数/%
Met * A	0.29±0.03 ^b	0.33±0.01 ^b	0.29±0.02 ^b	0.65±0.04 ^a	0.34±0.04 ^b	0.36	26.66
Lys * A	0.82±0.03 ^c	1.02±0.01 ^a	0.86±0.02 ^{bc}	1.07±0.03 ^a	1.07±0.01 ^a	0.98	7.88
Val *	0.99±0.03 ^e	1.09±0.03 ^{de}	1.22±0.03 ^{abcd}	1.31±0.01 ^a	1.27±0.03 ^{ab}	1.19	7.53
Ile *	0.88±0.04 ^d	1.15±0.03 ^a	0.99±0.04 ^{bcd}	1.15±0.03 ^a	1.12±0.01 ^{ab}	1.05	7.66
Leu *	1.35±0.04 ^{cde}	1.33±0.02 ^{de}	1.56±0.02 ^a	1.54±0.01 ^{ab}	1.57±0.01 ^a	1.43	7.39
Phe *	1.15±0.03 ^c	1.47±0.01 ^{bc}	1.25±0.03 ^{bc}	1.47±0.01 ^{bc}	1.57±0.01 ^b	1.43	14.61
Thr *	0.81±0.03 ^{abc}	0.77±0.01 ^{bc}	0.89±0.02 ^a	0.92±0.03 ^a	0.92±0.03 ^a	0.85	7.83
Asp	2.02±0.11 ^{cd}	2.05±0.05 ^{bcd}	2.31±0.19 ^{abc}	2.52±0.13 ^a	2.39±0.16 ^{ab}	2.23	8.31
Ser	0.98±0.07 ^{abc}	1.11±0.09 ^{ab}	0.95±0.07 ^{bc}	1.12±0.10 ^a	1.13±0.11 ^a	1.03	8.00
Glu	4.01±0.10 ^d	5.62±0.13 ^a	4.55±0.16 ^{cd}	5.54±0.11 ^{ab}	5.63±0.31 ^a	5.06	9.56
Gly	1.33±0.12 ^{bc}	1.52±0.04 ^{ab}	1.35±0.10 ^{abc}	1.53±0.11 ^{ab}	1.55±0.07 ^a	1.31	7.85
Ala	0.95±0.04 ^d	1.22±0.04 ^{ab}	1.05±0.08 ^{cd}	1.25±0.08 ^a	1.21±0.07 ^{abc}	1.13	7.74
Cys	0.16±0.06 ^b	0.15±0.01 ^b	0.17±0.01 ^b	0.19±0.02 ^{ab}	0.18±0.03 ^{ab}	0.19	18.19
Tyr	0.54±0.03 ^{cd}	0.51±0.02 ^d	0.62±0.03 ^{bcd}	0.75±0.06 ^a	0.61±0.02 ^{bcd}	0.61	12.10
His	0.44±0.03 ^c	0.55±0.04 ^{ab}	0.48±0.04 ^{bc}	0.58±0.01 ^a	0.56±0.01 ^{ab}	0.52	8.49
Arg	1.91±0.12 ^{bcd}	2.51±0.04 ^{bcd}	2.08±0.03 ^{cde}	2.69±0.03 ^{de}	2.59±0.09 ^e	2.33	9.63
Pro	0.63±0.03 ^d	0.85±0.04 ^{abc}	0.72±0.03 ^{cd}	0.86±0.05 ^{ab}	0.94±0.06 ^a	0.81	9.42
游离氨基酸	19.26	23.25	21.34	25.14	24.65	22.49	7.48
必需氨基酸	6.29	7.16	7.06	8.11	7.86	7.27	6.96
限制性氨基酸	1.11	1.35	1.15	1.72	1.41	1.34	11.34

[†] *. 必需氨基酸;A. 限制性氨基酸;同行字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

麻籽品种对氨基酸含量的影响顺序为 Met>Cys>Phe>Tyr>Arg>Glu>Pro>His>Asp>Ser>Lys>Gly>Thr>Ala>Ile>Val>Leu。

2.2 氨基酸含量相关性分析

由表 3 可知,12 个亚麻籽品种所含 17 种氨基酸之间具有不同程度的相关性,其中 Phe、Cys 与其他 16 个氨基

酸之间无显著相关性,Ile 与 Ala 的相关性最强,呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数最大为 0.988。有的氨基酸之间呈负相关,但均未达到显著水平。12 个亚麻籽品种的 17 种氨基酸含量差异不同,各氨基酸之间均存在不同程度的相关性,由于各种氨基酸之间存在着不同的信息重叠现象,因此利用某种氨基酸来评定不同亚麻籽品种

表 3 氨基酸含量相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis between amino acid composition

氨基酸	Met	Lys	Val	Ile	Leu	Phe	Thr	Asp	Ser
Met	1.000								
Lys	0.541	1.000							
Val	0.535	0.670 *	1.000						
Ile	0.531	0.925 * *	0.634 *	1.000					
Leu	0.354	0.241	0.721 * *	0.309	1.000				
Phe	0.149	0.454	0.296	0.400	0.067	1.000			
Thr	0.415	0.385	0.739 * *	0.439	0.849 * *	0.028	1.000		
Asp	0.579	0.536	0.853 * *	0.583 *	0.840 * *	0.128	0.957 * *	1.000	
Ser	0.455	0.731 * *	0.485	0.801 * *	0.482	0.284	0.672 *	0.702 *	1.000
Glu	0.469	0.951 * *	0.611 *	0.978 * *	0.267	0.524	0.365	0.515	0.772 * *
Gly	0.459	0.747 * *	0.556	0.832 * *	0.520	0.222	0.675 *	0.731 * *	0.970 * *
Ala	0.583	0.944 * *	0.673 *	0.988 * *	0.352	0.399	0.474	0.612 *	0.819 * *
Cys	-0.001	-0.053	0.047	-0.279	-0.248	0.425	-0.457	-0.317	-0.551
Tyr	0.677 *	0.285	0.567	0.307	0.520	0.366	0.576	0.688 *	0.327
His	0.528	0.908 * *	0.737 * *	0.881 * *	0.373	0.368	0.499	0.613 *	0.758 * *
Arg	0.628 *	0.931 * *	0.708 * *	0.911 * *	0.407	0.506	0.431	0.593 *	0.770 * *
Pro	0.361	0.903 * *	0.663 *	0.810 * *	0.310	0.557	0.291	0.436	0.592 *

氨基酸	Glu	Gly	Ala	Cys	Tyr	His	Arg	Pro
Met								
Lys								
Val								
Ile								
Leu								
Phe								
Thr								
Asp								
Ser								
Glu	1.000							
Gly	0.802 * *	1.000						
Ala	0.967 * *	0.839 * *	1.000					
Cys	-0.148	-0.519	-0.264	1.000				
Tyr	0.291	0.348	0.306	0.187	1.000			
His	0.859 * *	0.755 * *	0.933 * *	-0.203	0.190	1.000		
Arg	0.930 * *	0.801 * *	0.944 * *	-0.074	0.341	0.916 * *	1.000	
Pro	0.884 * *	0.638 *	0.834 * *	0.161	0.258	0.804 * *	0.868 * *	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。

的品质是不客观的。

2.3 氨基酸含量的主成分分析

2.3.1 主成分提取 以 12 个亚麻籽品种的 17 种氨基酸含量指标构成 17×12 的矩阵,利用 R 语言对其进行主成分分析,结果见表 4。由表 4 可知,前 3 个主成分对应特征值均 >1 ,累计方差贡献率达 86.695%,说明可以用前 3 个主成分代替 17 个氨基酸指标对 12 个亚麻籽品种进行品质综合评价。由表 5 可知,3 个主成分对应特征向量为:

$$P_{C1} = 0.198x_1 + 0.282x_2 + 0.252x_3 + 0.288x_4 + 0.179x_5 + 0.132x_6 + 0.213x_7 + 0.250x_8 + 0.269x_9 +$$

表 4 12 个亚麻籽品种氨基酸主成分分析的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 4 Eigenvalue, contribution and cumulative contribution of amino acid principal component analysis of 12 flaxseed varieties

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
PC1	10.291	60.536	60.536
PC2	2.550	15.002	75.538
PC3	1.897	11.157	86.695

表 5 12 个亚麻籽品种氨基酸主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 5 Principal component eigenvectors and loading matrix of amino acid component of 12 flaxseed varieties

氨基酸	PC1		PC2		PC3	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
Met	0.198	0.636	-0.082	-0.131	0.221	0.304
Lys	0.282	0.905	0.223	0.355	-0.031	-0.043
Val	0.252	0.809	-0.131	-0.210	0.256	0.353
Ile	0.288	0.925	0.149	0.238	-0.133	-0.184
Leu	0.179	0.575	-0.407	-0.650	0.147	0.203
Phe	0.132	0.422	0.308	0.492	0.327	0.450
Thr	0.213	0.682	-0.431	-0.689	0.021	0.029
Asp	0.250	0.803	-0.350	-0.560	0.109	0.150
Ser	0.269	0.864	-0.076	-0.121	-0.250	-0.344
Glu	0.283	0.909	0.224	0.358	-0.079	-0.109
Gly	0.277	0.887	-0.082	-0.131	-0.233	-0.321
Ala	0.296	0.950	0.137	0.219	-0.117	-0.160
Cys	-0.072	-0.231	0.297	0.474	0.592	0.815
Tyr	0.156	0.499	-0.227	-0.362	0.472	0.649
His	0.283	0.906	0.122	0.194	-0.097	-0.134
Arg	0.293	0.939	0.164	0.262	0.007	0.009
Pro	0.255	0.818	0.269	0.429	0.084	0.115

$$0.283x_{10} + 0.277x_{11} + 0.296x_{12} - 0.072x_{13} + 0.156x_{14} + 0.283x_{15} + 0.293x_{16} + 0.255x_{17}, \quad (4)$$

$$P_{C2} = -0.082x_1 + 0.223x_2 - 0.131x_3 + 0.149x_4 - 0.407x_5 + 0.308x_6 - 0.431x_7 - 0.350x_8 - 0.076x_9 + 0.224x_{10} - 0.082x_{11} + 0.137x_{12} + 0.297x_{13} - 0.227x_{14} + 0.122x_{15} + 0.164x_{16} + 0.269x_{17}, \quad (5)$$

$$P_{C3} = 0.221x_1 - 0.031x_2 + 0.256x_3 - 0.133x_4 + 0.147x_5 + 0.327x_6 + 0.021x_7 + 0.109x_8 - 0.250x_9 - 0.079x_{10} - 0.233x_{11} - 0.117x_{12} + 0.592x_{13} + 0.472x_{14} - 0.097x_{15} + 0.007x_{16} + 0.084x_{17}。 \quad (6)$$

由图 1 可知,PC1 的方差贡献率为 60.536%,其中 Ala(x_{12})和 Arg(x_{16})的系数较大,分别为 0.296 和 0.293;PC2 的方差贡献率为 15.002%,其中 Thr(x_7)和 Leu(x_5)的系数较大,分别为 0.431 和 0.407;PC3 的方差贡献率为 11.157%,其中 Cys(x_{13})的系数最大,为 0.592。综上,Ala、Arg、Thr、Leu 和 Cys 可以作为 12 个亚麻籽品种基于氨基酸含量的综合评价指标。课题组前期研究发现,Phe、Arg、Pro、Met 和 Ser 可以作为 15 个产区黑木耳的综合评价指标^[26],Met、Lys、Val、Pro、His、Thr、Lys、Ile 和 Cys 可以作为 14 种食用蘑菇的综合评价指标^[18],说明基于氨基酸含量对不同食品的营养价值进行综合评价,不同食品得出的评价指标不同。

2.3.2 综合评价

(1) 隶属函数分析:由表 6 可知,3 个综合指标的隶属函数值不同,对于 PC1 而言,晋亚 7 的 $U(X_1)$ 值最大,为 1.000,说明晋亚 7 在 PC1 上表现出的品质最好,陇亚 10 的 $U(X_1)$ 值最小,为 0.000,说明陇亚 10 在 PC1 上表现出的品质最差;对于 PC2 而言,陇亚 8 的 $U(X_2)$ 值最大,为 1.000,说明陇亚 8 在 PC2 上表现出的品质最好,而坝亚 11 的 $U(X_2)$ 值最小,为 0.000,说明坝亚 11 在 PC2 上表现出的品质最差;对于 PC3 而言,伊亚 3 的 $U(X_3)$ 值最大,为 1.000,说明伊亚 3 在 PC3 上表现出的品质最好,坝亚 9 的 $U(X_3)$ 值最小,为 0.000,说明坝亚 9 在 PC3 上表现出的品质最差。

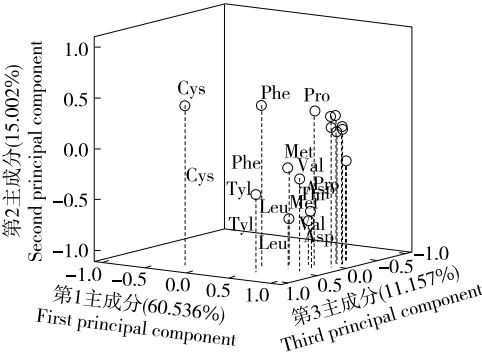


图 1 主成分图

Figure 1 Principle component

表 6 12 个亚麻籽品种品质评价综合指标值、权重、隶属函数值、D 值及品质排序

Table 6 Comprehensive index values, weightiness, subordinative function values and D values of 12 flaxseed varieties and quality rank

品种名	综合指标值			隶属函数值			D 值	排序
	PC1	PC2	PC3	$U(X_1)$	$U(X_2)$	$U(X_3)$		
伊亚 3	-0.181	0.847	1.886	0.488	0.722	1.000	0.595	5
伊亚 4	-0.449	-0.332	0.473	0.411	0.388	0.634	0.436	9
轮选 1	0.342	0.045	-0.386	0.640	0.495	0.412	0.585	6
轮选 2	0.699	-0.131	-0.632	0.743	0.445	0.348	0.641	3
宁亚 16	0.100	0.186	0.469	0.570	0.535	0.633	0.572	7
宁亚 17	0.290	-0.463	-0.562	0.624	0.350	0.366	0.544	8
陇亚 8	-1.409	1.826	0.588	0.133	1.000	0.664	0.351	10
陇亚 10	-1.868	-1.108	-0.902	0.000	0.168	0.278	0.065	12
坝亚 9	0.357	1.440	-1.975	0.644	0.890	0.000	0.603	4
坝亚 11	-0.684	-1.698	0.281	0.343	0.000	0.584	0.315	11
晋亚 7	1.587	-0.620	0.975	1.000	0.306	0.764	0.849	1
晋亚 8	1.216	0.008	-0.217	0.893	0.484	0.455	0.766	2
指标权重				0.698	0.173	0.129		

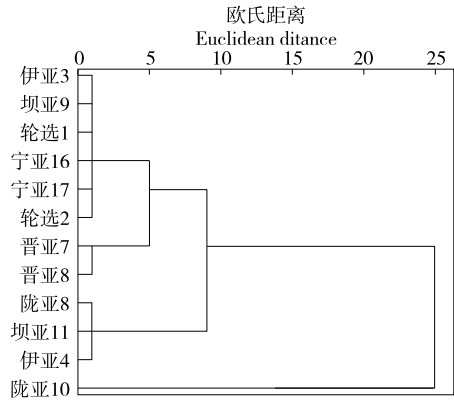


图 2 12 个亚麻籽品种基于氨基酸含量的聚类分析图
Figure 2 Quality dendrogram of 12 flaxseed varieties based on amino acid content

(2) 各综合指标权重的确定:根据综合指标贡献率的大小,第 1 综合指标贡献率为 60.536%,第 2 综合指标贡献率为 15.002%,第 3 综合指标贡献率为 11.157%,可根据式(2)求出权重。经计算,3 个综合指标权重分别为 0.698,0.173 和 0.129。

(3) 氨基酸含量的综合评价:通过对 D 值排序得出 12 个亚麻籽品种基于氨基酸含量的品质优劣顺序为:晋亚 7>晋亚 8>轮选 2>坝亚 9>伊亚 3>轮选 1>宁亚 16>宁亚 17>伊亚 4>陇亚 8>坝亚 11>陇亚 10。

2.3.3 聚类分析 由图 2 可知,聚类分析将 12 个亚麻籽品种划分为四大类,其基于氨基酸含量的品质依次降低。第 I 类包括晋亚 7 和晋亚 8;第 II 类包括轮选 2、坝亚 9、

伊亚 3、轮选 1、宁亚 16 和宁亚 17;第 III 类包括伊亚 4、陇亚 8 和坝亚 11;第 IV 类包括陇亚 10。

3 结论

对 12 个亚麻籽品种的氨基酸组成和含量进行了测定。结果表明,所有亚麻籽品种均含有 17 种氨基酸和 7 种人体必需氨基酸,亚麻籽品种对 17 种氨基酸含量的影响顺序为 Met>Cys>Phe>Tyr>Arg>Glu>Pro>His>Asp>Ser>Lys>Gly>Thr>Ala>Ile>Val>Leu。对 12 个亚麻籽品种的 17 种氨基酸含量指标进行主成分分析,提取出 3 个主成分,其累计方差贡献率达到 86.695%,Ala、Arg、Thr、Leu 和 Cys 可以作为 12 个亚麻籽品种基于氨基酸含量的品质综合评价指标。通过综合评价 D 值得出 12 个亚麻籽品种基于氨基酸含量的品质优劣顺序为晋亚 7>晋亚 8>轮选 2>坝亚 9>伊亚 3>轮选 1>宁亚 16>宁亚 17>伊亚 4>陇亚 8>坝亚 11>陇亚 10。聚类分析将 12 个亚麻籽品种划分为四大类,其基于氨基酸含量的品质依次降低:第 I 类包括晋亚 7 和晋亚 8;第 II 类包括轮选 2、坝亚 9、伊亚 3、轮选 1、宁亚 16 和宁亚 17;第 III 类包括伊亚 4、陇亚 8 和坝亚 11;第 IV 类包括陇亚 10。课题组前期对不同产地和不同品种的亚麻籽营养成分进行了主成分分析,关于不同产地和不同品种亚麻籽矿物质元素含量的主成分分析有待进一步研究。

参考文献

[1] 林凤英,林志光,邱国亮,等. 亚麻籽的功能成分及应用研究进

- 展[J]. 食品工业, 2014, 35(2): 220-223.
- LIN Feng-ying, LIN Zhi-guang, QIU Guo-liang, et al. Progress and application research in functional components of flaxseed[J]. The Food Industry, 2014, 35(2): 220-223.
- [2] 杨金娥, 黄庆德, 黄凤洪, 等. 打磨法提取亚麻籽胶粉的工艺[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 270-276.
- YANG Jin-e, HUANG Qing-de, HUANG Feng-hong, et al. Process of extracting flaxseed gum powder by abrasion[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(13): 270-276.
- [3] STARK A H, CRAWFORD M A, RAM R. Update on alpha-linolenic acid[J]. Nutrition Reviews, 2010(6): 326-332.
- [4] 兴丽, 赵凤敏, 曹有福, 等. 不同产地亚麻籽矿物质元素及脂肪酸组成的主成分分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(9): 2 538-2 543.
- XING Li, ZHAO Feng-min, CAO You-fu, et al. Principal component analysis of mineral elements and fatty acids composition in flaxseed from ten different regions[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 34(9): 2 538-2 543.
- [5] 禹晓, 黄沙沙, 程晨, 等. 不同亚麻籽品种组成及抗氧化特性分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(6): 879-888.
- YU Xiao, HUANG Sha-sha, CHENG Chen, et al. Composition and antioxidant characteristics of different flaxseed cultivars[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(6): 879-888.
- [6] ALBRECHT T A, ANDERSON J G, JONES R, et al. A complementary care study combining flaxseed oil, caffeine, fasting, and exercise in women diagnosed with advanced ovarian cancer: Findings from a case study[J]. Holist Nurs Pract, 2012, 26(6): 308-316.
- [7] DWIVEDI C, NATARAJAN K, MATTHEES D P. Chemopreventive effects of dietary flaxseed on colon tumor development[J]. Nutrition & Cancer, 2005, 51(1): 52-58.
- [8] CHEN Jiun-rong, CHEN Ya-ling, PENG Hsiang-chi, et al. Fish oil reduces hepatic injury by maintaining normal intestinal permeability and microbiota in chronic ethanol-fed rats[J]. Gastroenterol Res Pract, 2016, 2016: 1-10.
- [9] KAWAKAMI Y, YAMANAKA-OKUMURA H, NANIWA-KUROKI Y, et al. Flaxseed oil intake reduces serum small dense low-density lipoprotein concentrations in Japanese men: A randomized, double blind, crossover study[J]. Nutr J, 2015, 14(1): 39-48.
- [10] BEGG D P, SINCLAIR A J, STAHL L A, et al. Hypertension induced by omega-3 polyunsaturated fatty acid deficiency is alleviated by alpha-linolenic acid regardless of dietary source[J]. Hypertens Res, 2010, 33(8): 808-813.
- [11] JANGALE N M, DEVARSHI P P, BANSODE S B, et al. Dietary flaxseed oil and fish oil ameliorates renal oxidative stress, protein glycation, and inflammation in streptozotocin-nicotinamide-induced diabetic rats[J]. J Physiol Biochem, 2016, 72(2): 327-336.
- [12] 张永超, 张利, 张云松, 等. 亚麻籽粕木酚素的纯化及对 DNA 氧化损伤保护[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 139-144.
- ZHANG Yong-chao, ZHANG Li, ZHANG Yun-song, et al. The purification of lignin from linseed meal and its protective effect on oxidative plasmid DNA damage[J]. Food & Machinery, 2018, 34(6): 139-144.
- [13] OOMAH B D. Flaxseed as a functional food source[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(9): 889-894.
- [14] SINGH K K, MRIDULA D, REHAL J, et al. Flaxseed: A potential source of food, feed and fiber[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(3): 210-222.
- [15] 李燕青, 金军. 亚麻籽中氨基酸组成及含量的研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(7): 169-174.
- LI Yan-qing, JIN Jun. Study on amino acid composition and content of flaxseed[J]. Food Research and Development, 2018, 39(7): 169-174.
- [16] 王曜, 陈舜胜. 野生与养殖克氏原螯虾游离氨基酸的组成及比较研究[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 269-273.
- WANG Yao, CHEN Shun-sheng. Comparative composition of free amino acids in wild and cultured *Procambarus clarkii*[J]. Food Science, 2014, 35(11): 269-273.
- [17] EGYDIO A P M, CATARINA C S, FLOH E I S, et al. Free amino acid composition of annona (annonaceae) fruit species of economic interest[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 45: 373-376.
- [18] 王丽艳, 荆瑞勇, 郭永霞, 等. 基于氨基酸含量的市售 14 种食用蘑菇的综合评价[J/OL]. 食品科学. (2020-04-27)[2021-04-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200427.1626.026.html>.
- WANG Li-yan, JING Rui-yong, GUO Yong-xia, et al. Comprehensive evaluation of 14 mushroom species from market based on amino acid content[J/OL]. Food Science. (2020-04-27)[2021-02-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200427.1626.026.html>.
- [19] 王馨雨, 王蓉蓉, 杨绿竹, 等. 不同品种及内外百合鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 211-220.
- WANG Xin-yu, WANG Rong-rong, YANG Lü-zhu, et al. Principal component analysis and cluster analysis of free amino acids composition of different species and inner and outer lily bulbs[J]. Food Science, 2020, 41(12): 211-220.
- [20] 李俊芳, 马永昆, 张荣, 等. 不同果桑品种成熟桑椹的游离氨基酸主成分分析和综合评价[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 132-137.
- LI Jun-fang, MA Yong-kun, ZHANG Rong, et al. Principal components analysis and comprehensive evaluation of free amino acids in ripe fruits of different mulberry varieties[J]. Food Science, 2016, 37(14): 132-137.
- [21] 杨永涛, 潘思源, 靳欣欣, 等. 不同品种核桃的氨基酸营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 207-212.
- YANG Yong-tao, PAN Si-yuan, JIN Xin-xin, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of different varieties of walnut[J]. Food Science, 2017, 38(13): 207-212.

(下转第 72 页)

- HAN Lu, XING Meng-ke, CHEN Ji-kun, et al. Development of e-lectronic nose equipment based on gas sensor for mobile detection of strawberry rot[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(9): 2 502-2 508.
- [16] 范霞, 陈荣顺. 水蜜桃采后贮藏期间风味物质及质构特性的研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(4): 30-35.
- FAN Xia, CHEN Rong-shun. Changes on flavor substances and the texture properties of peach during postharvest storage[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(4): 30-35.
- [17] 徐赛, 陆华忠, 周志艳, 等. 基于高光谱与电子鼻融合的番石榴机械损伤识别方法[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(7): 214-219.
- XU Sai, LU Hua-zhong, ZHOU Zhi-yan, et al. Identification for guava mechanical damage based on combined hyper-spectrometer and electronic nose[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(7): 214-219.
- [18] 袁鸿飞, 胡馨木, 杨军林, 等. 基于 FT-NIR 和电子鼻的苹果水心病无损检测[J]. *食品科学*, 2018, 39(16): 306-310.
- YUAN Hong-fei, HU Xin-mu, YANG Jun-lin, et al. Nondestructive detection of apple watercore based on FT-NIR and electronic nose[J]. *Food Science*, 2018, 39(16): 306-310.
- [19] 楚松峰, 赵霞霞, 方双, 等. 基于 PCA-SVM 的红枣缺陷识别方法[J]. *食品与机械*, 2021, 37(1): 156-160, 198.
- CHU Song-feng, ZHAO Feng-xia, FANG Shuang, et al. Recognition method of jujube defects based on PCA-SVM[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(1): 156-160, 198.
- [20] 郭志明, 黄文倩, 陈全胜, 等. 苹果腐心病的透射光谱在线检测系统设计及试验[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(6): 283-288.
- GUO Zhi-ming, HUANG Wen-qian, CHEN Quan-sheng, et al. Design and test of on-line detection system for apple core rot disease based on transmitted spectrum[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(6): 283-288.
- [21] GUO Zhi-ming, GUO Chuang, CHEN Quan-sheng, et al. Classification for *Penicillium expansum* spoilage and defect in apples by electronic nose combined with chemometrics[J]. *Sensors*, 2020, 20(7): 2 130.
- [22] SUN Qing, ZHANG Min, YANG Pei-qiang. Combination of LF-NMR and BP-ANN to monitor water states of typical fruits and vegetables during microwave vacuum drying [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 116: 108548.
- [23] 曹念念, 刘强, 彭菁, 等. 基于近红外光谱技术的黄桃脆片可溶性固形物和硬度定量检测方法[J]. *食品与机械*, 2021, 37(3): 51-57.
- CAO Nian-nian, LIU Qiang, PENG Jing, et al. Study on quantitative detection of soluble solids and firmness of yellow peach chips by near-infrared spectroscopy[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(3): 51-57.
- [24] 朱向荣, 李高阳, 苏东林, 等. 基于近红外光谱与组合间隔偏最小二乘法的稻米镉含量快速检测[J]. *食品与机械*, 2015, 31(4): 43-46, 50.
- ZHU Xiang-rong, LI Gao-yang, SU Dong-lin, et al. The feasibility of rapid determination of the cadmium content in rice based on near infrared spectroscopy and synergy interval partial least squares[J]. *Food & Machinery*, 2015, 31(4): 43-46, 50.
- [25] KUTSANEDZIE F Y H, AGYEKUM AA, ANNAVARAM V, et al. Signal-enhanced SERS-sensors of CAR-PLS and GA-PLS coupled AgNPs for ochratoxin A and aflatoxin B1 detection [J]. *Food Chemistry*, 2020, 315: 126231.
- [26] MUSHARAVATI F, HAMOUDA A S M. Enhanced simulated-annealing-based algorithms and their applications to process planning in reconfigurable manufacturing systems[J]. *Advances in Engineering Software*, 2012, 45(1): 80-90.
- [27] KUTSANEDZIE F Y H, CHEN Quan-sheng, HASSAN M M, et al. Near infrared system coupled chemometric algorithms for enumeration of total fungi count in cocoa beans neat solution[J]. *Food Chemistry*, 2017, 240: 231-238.
- [28] 江水泉, 孙通. 基于可见/近红外光谱和变量选择的脐橙可溶性固形物含量在线检测[J]. *食品与机械*, 2020, 36(2): 89-93.
- JIANG Shui-quan, SUN Tong. Online detection of soluble solid content in navel orange based on visible/near infrared spectroscopy and variable selection[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(2): 89-93.

(上接第 59 页)

- [22] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(10): 243-250.
- LIU Wei, ZHANG Qun, LI Zhi-jian, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds[J]. *Food Science*, 2019, 40(10): 243-250.
- [23] 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 Qian, SHI Yu, ZHEN Run-ying. Main nutritional quality and principal component analysis of bramley apples with different pollination varieties[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(4): 54-57.
- [24] 武辉, 侯丽丽, 周艳飞, 等. 不同棉花基因型幼苗耐寒性分析及其鉴定指标筛选[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(9): 1 703-1 713.
- WU Hui, HOU Li-li, ZHOU Yan-fei, et al. Analysis of chilling-tolerance and determination of chilling-tolerance evaluation indicators in cotton of different genotypes[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(9): 1 703-1 713.
- [25] 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.
- JING Rui-yong, WEI Jia-qi, WANG Li-yan, et al. Comprehensive quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis[J]. *Food Science*, 2020, 41(24): 179-184.
- [26] 王丽艳, 王鑫淼, 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/OL]. *食品工业科技*. (2021-03-25) [2021-04-21]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120050>.
- WANG Li-yan, WANG Xin-miao, JING Rui-yong, et al. Comprehensive assessment of *auricularia auricular-judae* for sale from 15 producing areas based on amino acid content[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*. (2021-03-25) [2021-04-21]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120050>.