

不同品种亚麻籽营养成分分析与品质综合评价

Comprehensive quality evaluation and analysis of nutrition components of various flaxseed

王丽艳¹王鑫淼¹荆瑞勇¹郭永霞²WANG Li-yan¹ 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:研究不同品种亚麻籽综合营养品质的差异。**方法:**以来源于 6 个产地的 12 个品种亚麻籽为研究对象,以 α -亚麻酸等 8 个营养成分作为品质评价指标,利用主成分分析法和隶属函数法对 12 个品种亚麻籽进行品质综合评价,同时利用聚类分析法将其归类。**结果:**对 8 个指标进行主成分分析,从中提取出 3 个主成分,累计贡献率达到 87.608%,可较好反映出 12 个品种亚麻籽营养成分的综合信息,综合分析得出粗蛋白质、总氨基酸、铁和 α -亚麻酸含量可以作为 12 个品种亚麻籽营养品质的综合评价指标。隶属函数法评价出 12 个品种亚麻籽综合品质优劣。聚类分析将其划分为四大类,其营养品质依次降低。第 I 类包括晋亚 8 和坝亚 11;第 II 类包括晋亚 7、坝亚 9 和轮选 2;第 III 类包括轮选 1、伊亚 4、宁亚 17 和宁亚 16;第 IV 类包括伊亚 3、陇亚 8 和陇亚 10。**结论:**综合营养品质最佳亚麻籽品种为晋亚 7,最差亚麻籽品种为陇亚 10,综合评价将亚麻籽品种划分为四大类。**关键词:**亚麻籽;品质评价;主成分分析;隶属函数;聚类分析**Abstract: Objective:** To study the difference of comprehensive nutrition quality, different flaxseed varieties were investigated. **Methods:** 12 flaxseed varieties from 6 producing areas were used as research objects, eight nutrition components, including α -linolenic acid, were used evaluation index, 12 flaxseed varieties were evaluated by subordinate function methods and principal component analysis classified by clustering methodology. **Results:**Three principal components were extracted from 8 indexes by principal component analysis, and their cumulative contribution rate reaches 87.608%, reflecting better the comprehensive information of 12 flaxseed varieties. Crude protein, total amino acid, iron, and α -linolenic acid contents can be a comprehensive evaluation index of 12 flaxseed varieties by comprehensive analysis. Subordinate function methods assessed the quality of 12 flaxseed varieties. Twelve flaxseed varieties were clustered into four groups by clustering analysis, and their nutrition quality reduces in sequence. Group I includes Jinya8 and Baya11, and Group II includes Jinya7, Baya9 and Lunxuan2; Group III includes Lunxuan1, Yiya4, Ningya17 and Ningya16, and Group IV includes Yiya3, Longya8 and Longya10. **Conclusion:** Jinya7 is the best variety and Longya10 is the worst variety in comprehensive nutrition quality; flaxseed varieties were divided into four groups by comprehensive assessment.**Keywords:** flaxseed; quality evaluation; principle component analysis; subordinate function; cluster analysis亚麻(*Linum usitatissimum* L.)属亚麻科、亚麻属,起源于地中海^[1]。中国主产于东北、内蒙古、宁夏、甘肃等地^[2],是中国五大油料作物之一^[1]。亚麻籽油又称胡麻油,富含 α -亚麻酸(α -linolenic acid),是人体必需脂肪酸^[3],其含量远高于市售的主要食用油,如大豆油、花生油、菜籽油和橄榄油等^[4]。 α -亚麻酸对人体健康具有非常重要的作用,堪比鱼油,但价格比鱼油低很多^[5]。亚麻籽中富含脂肪、蛋白质、糖类、氨基酸和矿物质等多种营养成分^[6-7],另外还含有木酚素、生育酚、黄酮、植物甾醇、氰化物等抗氧化物质^[8]。因此亚麻籽油对健康有多种有益,如降血压^[9]、降血脂^[10]、降血糖^[11]、抗癌^[12-14]等。研究^[15]表明生物物质营养成分与其生理功能密切相关,并且会受到产地、品种、环境和气候等条件的**基金项目:**黑龙江八一农垦大学博士启动基金项目(编号: XDB2014-13);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:2021-02-23

影响。

主成分分析(principal component analysis, PCA)是通过降低数据维数来排除众多信息中相互重叠的信息,把多个指标转化为几个不相关的综合指标的一种多元统计分析方法^[16-18]。利用主成分分析法可减少评价指标,并消除评价指标之间的相关影响,简化整个评价过程,适用于对多个指标的综合分析,近年来主成分分析法已被广泛用于农产品品质差异方面的研究^[19-20]。

中国亚麻的品种及产地较多,各产地间的气候、土壤、水质等自然条件均有一定的差异,不同品种不同产地的亚麻籽中各种营养成分会有一定的差异。研究拟对6个产地的12个品种亚麻籽的8种营养成分进行测定,利用主成分分析法和隶属函数法对12个品种亚麻籽进行综合性评价,并对6个产区进行聚类分析,以期为亚麻籽的综合开发利用提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验材料

6个产地的12个亚麻品种,具体信息见表1,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。

表1 亚麻籽品种信息

Table 1 Information of flaxseed varieties

序号	品种名称	产地	序号	品种名称	产地
1	伊亚3	新疆伊犁	7	陇亚8	甘肃白银
2	伊亚4	新疆伊犁	8	陇亚10	甘肃白银
3	轮选1	内蒙古鄂尔多斯	9	坝亚9	河北张家口
4	轮选2	内蒙古鄂尔多斯	10	坝亚11	河北张家口
5	宁亚16	宁夏固原	11	晋亚7	山西大同
6	宁亚17	宁夏固原	12	晋亚8	山西大同

1.1.2 主要试剂

茚三酮:德国 Menbar Pure 公司;
氨基酸、钙、铁和锌标准品:美国 Sigma 公司;
正己烷、甲醇:色谱纯,天津市康德科技有限公司;
 α -亚麻酸甲酯:纯度 $\geq 99.0\%$,中国药品生物制品检定所;

浓盐酸:优级纯,国药集团化学试剂有限公司;
其余试剂均为分析纯。

1.2 测定项目与方法

(1) 粗脂肪含量:按 GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》执行。

(2) 总糖含量:按 GB/T 9695.31—2008《肉制品总糖含量测定》执行。

(3) 蛋白质含量:按 GB 5009.5—2016《食品安全国

家标准 食品中蛋白质的测定》执行。

(4) 氨基酸含量:按 GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》执行。

(5) 钙、铁和锌含量:按 GB/T 14609—2008《粮油检验 谷物及其制品中铜、铁、锰、锌、钙、镁的测定 火焰原子吸收光谱法》执行。

(6) α -亚麻酸含量:按 GB 28404—2012《食品安全国家标准 保健食品中 α -亚麻酸、二十碳五烯酸、二十二碳五烯酸和二十二碳六烯酸的测定》执行。

1.3 数据处理及统计分析

1.3.1 隶属函数值

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

式中:

$U(X_j)$ ——第 j 个综合指标的隶属函数值;

X_j ——第 j 个综合指标, $j=1, 2, \dots, n$;

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

1.3.2 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。

1.3.3 综合评价值

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

式中:

D ——不同产区亚麻籽品质的综合评价值。

1.3.4 数据统计分析

(1) 数据统计与整理:采用 Excel 2013 统计软件。

(2) 差异性分析、相关性分析和主成分分析(PCA):采用 R 语言。

(3) 聚类分析:采用 SPSS 20.0 数据分析软件。

(4) 聚类热图绘制:采用 R 语言。

2 结果与分析

2.1 12个品种亚麻籽营养成分分析

由表2可知,不同品种亚麻籽的8种营养成分均存在一定的差异,粗脂肪含量在35.02~42.95 g/100 g,其中坝亚11含量最高,晋亚7含量最低; α -亚麻酸含量在39.25~54.21 g/100 g,其中坝亚11含量最高,晋亚7含量最低;总糖含量在30.74~36.81 g/100 g,其中陇亚10含量最高,轮选1含量最低;粗蛋白含量在28.35~32.55 g/100 g,其中晋亚8含量最高,陇亚8含量最低;总氨基酸含量在20.38~25.53 g/100 g,其中晋亚8含量最高,陇亚10含量最低;钙含量在99.85~190.93 mg/100 g,其中陇亚10含量最高,轮选1含量最低;铁含量在2.69~

9.62 mg/100 g, 其中坝亚 11 含量最高, 伊亚 3 含量最低; 锌含量在 1.78~4.02 mg/100 g, 其中晋亚 8 含量最高, 陇亚 8 含量最低。

由表 2 还可知, 粗蛋白的品种差异最小, 其变异系数只有 3.99%, 说明品种对亚麻籽粗蛋白含量的影响最小。铁含量的品种差异最大, 其变异系数为 42.15%, 说明品种对亚麻籽铁含量的影响最大, 其他营养成分的变异系数在 3.99%~42.15%。按变异系数的大小对亚麻籽 8 个营养成分进行排序, 通过排序可知品种对亚麻籽营养成分的影响顺序为铁>锌>钙> α -亚麻酸>粗脂肪>总氨基酸>总糖>粗蛋白。

2.2 12 个品种亚麻籽营养成分相关性分析

对 12 个品种亚麻籽的 8 种营养成分进行相关性分析(表 3)可知, 8 种营养成分之间存在不同程度的相关

性, 其中铁含量与其他营养成分之间均没有显著相关性, 粗脂肪含量与 α -亚麻酸含量呈显著正相关, 相关系数为 0.704, α -亚麻酸含量与粗蛋白含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.714, 总糖含量与钙含量呈显著正相关, 相关系数为 0.617, 粗蛋白含量与总氨基酸含量呈显著正相关, 相关系数为 0.599, 总氨基酸含量与锌含量呈极显著正相关, 相关系数为 0.775。其他各营养成分之间也存在不同程度的相关性, 但均未达到显著性水平。由于不同品种亚麻籽的营养成分之间差异不同, 各成分之间的相关性也不同, 若通过某一个指标来评价不同品种亚麻籽营养品质的优劣是不客观的。

2.3 12 个品种亚麻籽营养成分的主成分分析

2.3.1 主成分提取 在对 12 个品种亚麻籽营养成分进行综合评价时, 不能仅考虑一个或几个营养成分含量的

表 2 12 个品种亚麻籽营养成分分析[†]

Table 2 Nutrition component analysis of 12 flaxseed varieties

品种	粗脂肪/($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	α -亚麻酸/($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	总糖/($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	粗蛋白/($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)
伊亚 3	41.02±2.29 ^{ab}	47.75±3.00 ^{ab}	36.50±1.27 ^a	30.02±2.47 ^{abc}
伊亚 4	38.91±2.70 ^{abc}	49.99±2.34 ^{ab}	33.65±3.54 ^{abc}	30.11±2.44 ^{abc}
轮选 1	38.05±3.33 ^{abc}	49.63±3.33 ^{ab}	30.74±2.82 ^c	31.22±1.11 ^{abc}
轮选 2	36.69±3.25 ^{bc}	50.52±3.14 ^{ab}	31.05±0.63 ^{bc}	29.33±1.13 ^{bc}
宁亚 16	38.68±2.76 ^{abc}	49.29±1.53 ^{ab}	35.38±2.06 ^{ab}	30.44±3.03 ^{abc}
宁亚 17	36.46±3.16 ^{bc}	50.18±1.79 ^{ab}	34.45±2.61 ^{abc}	29.45±1.56 ^{bc}
陇亚 8	39.55±3.23 ^{abc}	49.51±1.63 ^{ab}	35.88±3.65 ^a	28.35±1.23 ^c
陇亚 10	40.33±2.62 ^{abc}	51.23±2.58 ^a	36.81±1.66 ^a	29.09±1.10 ^{bc}
坝亚 9	40.72±1.91 ^{ab}	52.36±3.11 ^a	33.52±3.51 ^{abc}	30.25±1.30 ^{abc}
坝亚 11	42.95±3.10 ^a	54.21±2.73 ^a	34.85±1.91 ^{abc}	29.45±1.38 ^{bc}
晋亚 7	35.02±2.06 ^c	39.25±2.78 ^c	33.33±2.21 ^{abc}	31.85±1.57 ^{ab}
晋亚 8	36.72±2.05 ^{bc}	43.33±2.83 ^{bc}	34.58±1.29 ^{abc}	32.55±0.54 ^a
平均值	38.76	48.94	34.23	30.18
变异系数/%	5.92	8.21	5.60	3.99
品种	总氨基酸/($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	钙/($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	铁/($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	锌/($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
伊亚 3	22.22±1.84 ^{ab}	150.55±5.40 ^{abc}	2.69±0.17 ^e	2.44±0.20 ^{bcdef}
伊亚 4	23.03±1.60 ^{ab}	168.98±10.70 ^{ab}	4.08±0.15 ^{cde}	3.03±0.06 ^{abcd}
轮选 1	23.58±2.33 ^{ab}	99.85±6.29 ^d	3.85±0.24 ^{cde}	2.09±0.16 ^{cdef}
轮选 2	24.06±2.45 ^a	110.23±4.83 ^{cd}	4.12±0.17 ^{cde}	3.05±0.20 ^{abcd}
宁亚 16	23.46±1.17 ^{ab}	120.58±7.22 ^{cd}	3.21±0.12 ^c	2.06±0.32 ^{def}
宁亚 17	23.52±0.65 ^{ab}	130.21±6.43 ^{bcd}	3.85±0.53 ^{cde}	2.65±0.44 ^{bcdef}
陇亚 8	22.45±2.73 ^{ab}	180.85±5.72 ^a	3.23±0.27 ^{de}	1.78±0.35 ^f
陇亚 10	20.38±0.95 ^b	190.93±5.91 ^a	4.06±0.07 ^{cde}	1.92±0.36 ^{ef}
坝亚 9	23.56±3.05 ^{ab}	165.68±6.21 ^{ab}	7.45±0.10 ^{ab}	2.86±0.39 ^{bcde}
坝亚 11	24.88±3.47 ^a	180.25±12.83 ^a	9.62±0.42 ^a	3.12±0.11 ^{abc}
晋亚 7	24.56±1.27 ^a	170.77±11.34 ^{ab}	5.66±0.30 ^{bcd}	3.33±0.55 ^{ab}
晋亚 8	25.53±1.24 ^a	186.93±7.32 ^a	6.18±0.44 ^{bc}	4.02±0.30 ^a
平均值	23.44	154.65	4.83	2.70
变异系数/%	5.77	20.48	42.15	24.70

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同亚麻籽品种品质指标之间的相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis between quality index of different flaxseed varieties

指标	粗脂肪	α-亚麻酸	总糖	粗蛋白	总氨基酸	钙	铁	锌
粗脂肪	1.000							
α-亚麻酸	0.704 *	1.000						
总糖	0.470	0.052	1.000					
粗蛋白	-0.489	-0.714 **	-0.320	1.000				
总氨基酸	-0.356	-0.334	-0.490	0.599 *	1.000			
钙	0.329	-0.141	0.617 *	-0.030	-0.110	1.000		
铁	0.321	0.156	-0.108	0.197	0.565	0.424	1.000	
锌	-0.333	-0.427	-0.285	0.610	0.775 **	0.257	0.573	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。

多少,而需要考虑到 8 个营养成分含量对亚麻籽品质进行全面、系统、科学的综合评价。以 12 个品种亚麻籽的 8 个营养成分含量指标构成 12×8 的矩阵,利用 R 语言对 8 个亚麻籽营养成分进行主成分分析。相关矩阵的主成分分析结果见表 4,从表 4 和图 1 可知能提取出 3 个主成分,累计方差贡献率达到 87.608%,综合了 12 个品种亚麻籽的 8 个营养成分的大部分信息,可以用这 3 个主成分代替上述的 8 个营养成分对 12 个品种亚麻籽营养品质进行评价和判断。3 个主成分分别定义为第 1 主成分(PC1)、第 2 主成分(PC2)和第 3 主成分(PC3),由表 5 可知其各主成分对应特征向量为:

$$P_{C1} = -0.363x_1 - 0.367x_2 - 0.300x_3 + 0.454x_4 + 0.456x_5 - 0.052x_6 + 0.178x_7 + 0.441x_8,$$
 (4)

$$P_{C2} = 0.399x_1 + 0.118x_2 + 0.291x_3 - 0.001x_4 + 0.157x_5 + 0.553x_6 + 0.568x_7 + 0.300x_8,$$
 (5)

$$P_{C3} = 0.212x_1 + 0.553x_2 - 0.510x_3 - 0.182x_4 + 0.265x_5 - 0.423x_6 + 0.325x_7 + 0.021x_8,$$
 (6)

式中:

P_{C1} ——第 1 主成分;

P_{C2} ——第 2 主成分;

P_{C3} ——第 2 主成分;

x_1 ——粗脂肪含量,g/100 g;

x_2 ——α-亚麻酸含量,g/100 g;

x_3 ——总糖含量,g/100 g;

x_4 ——粗蛋白含量,g/100 g;

x_5 ——总氨基酸含量,g/100 g;

x_6 ——钙含量,mg/100 g;

x_7 ——铁含量,mg/100 g;

x_8 ——锌含量,mg/100 g。

由表 4 和表 5 可知,PC1 的方差贡献率为 43.170%,在 PC1 的表达式中,粗蛋白含量和总氨基酸含量的系数较大,分别为 0.454 和 0.456;PC2 的方差贡献率为 25.932%,在 PC2 的表达式中,铁含量系数最大为 0.568;

表 4 主成分的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 4 Eigenvalue of the principal components and their contribution and cumulative contribution

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
PC1	3.454	43.170	43.170
PC2	2.075	25.932	69.102
PC3	1.480	18.506	87.608

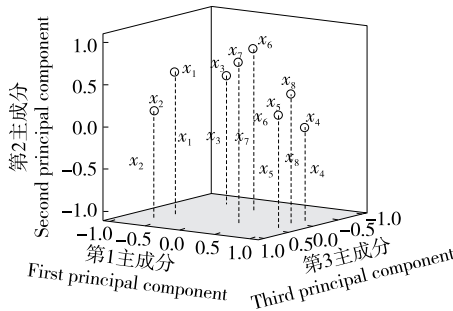


图 1 不同品种亚麻籽营养品质主成分图

Figure 1 Principal component plot of nutrition quality of different flaxseed varieties

表 5 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 5 Principal component eigenvectors and loading matrix

指标	PC1		PC2		PC3	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
x_1	-0.363	-0.675	0.399	0.574	0.212	0.258
x_2	-0.367	-0.682	0.118	0.170	0.553	0.673
x_3	-0.300	-0.557	0.291	0.418	-0.510	-0.621
x_4	0.454	0.844	-0.001	-0.001	-0.182	-0.221
x_5	0.456	0.848	0.157	0.225	0.265	0.322
x_6	-0.052	-0.097	0.553	0.797	-0.423	-0.515
x_7	0.178	0.330	0.568	0.817	0.325	0.395
x_8	0.441	0.820	0.300	0.432	0.021	0.026

PC3 的方差贡献率为 18.506%，在 PC3 的表达式中， α -亚麻酸含量系数最大为 0.553。综合分析上述结果，粗蛋白质、总氨基酸、铁和 α -亚麻酸含量可以作为 12 个品种亚麻籽营养品质的综合评价指标。

2.3.2 综合评价

(1) 隶属函数分析：根据式(1)计算每个品种亚麻籽营养品质指标的隶属函数值(见表 6)。从表 6 可以看出每个品种亚麻籽的各综合指标的隶属函数值不尽

相同，对 PC1 而言，晋亚 8 的品质最好，陇亚 10 的品质最差；对 PC2 而言，坝亚 11 的品质最好，轮选 1 的品质最差；对 PC3 而言，坝亚 11 的品质最好，晋亚 7 的品质最差。

(2) 权重的确定：根据各主成分贡献率的大小，PC1 的贡献率为 43.170%，PC2 的贡献率为 25.932%，PC3 的贡献率为 18.506%，可用式(2)求出其权重。经计算 3 个主成分的权重分别为 0.493, 0.296, 0.211(见表 6)。

表 6 不同品种亚麻籽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 different flaxseed varieties and quality rank

品种名	综合指标值			隶属函数值			<i>D</i> 值	排序
	PC1	PC2	PC3	$U(X_1)$	$U(X_2)$	$U(X_3)$		
伊亚 3	-0.766	-0.154	-0.878	0.242	0.363	0.142	0.257	10
伊亚 4	-0.032	0.079	-0.047	0.460	0.427	0.447	0.447	7
轮选 1	0.345	-1.472	1.139	0.572	0.000	0.882	0.468	6
轮选 2	0.440	-1.067	1.327	0.600	0.111	0.951	0.529	5
宁亚 16	-0.322	-0.805	-0.102	0.374	0.183	0.427	0.329	9
宁亚 17	-0.057	-0.723	0.159	0.453	0.206	0.523	0.395	8
陇亚 8	-1.210	-0.076	-0.690	0.111	0.384	0.211	0.213	11
陇亚 10	-1.584	0.311	-1.063	0.000	0.490	0.074	0.161	12
坝亚 9	-0.067	0.933	0.929	0.450	0.662	0.805	0.587	3
坝亚 11	-0.201	2.164	1.459	0.410	1.000	1.000	0.709	2
晋亚 7	1.665	-0.100	-1.264	0.963	0.377	0.000	0.587	3
晋亚 8	1.789	0.910	-0.969	1.000	0.655	0.108	0.710	1
指标权重				0.493	0.296	0.211		

(3) 12 个品种亚麻籽营养品质的综合评价：根据式(3)计算 12 个品种亚麻籽营养品质综合评价即 *D* 值的大小(见表 6)，根据 *D* 值对 12 个品种亚麻籽营养品质优劣进行排序，其顺序为晋亚 8>坝亚 11>晋亚 7=坝亚 9>轮选 2>轮选 1>伊亚 4>宁亚 17>宁亚 16>伊亚 3>陇亚 8>陇亚 10。

2.3.3 12 个品种亚麻籽综合评价聚类分析 采用组间联接法对表 6 中的 *D* 值进行聚类分析，建立了 12 个品种亚麻籽综合评价聚类树状图(图 2)，从图 2 可以看出聚类分析将其划分为四大类，其营养品质依次降低。第Ⅰ类包括晋亚 8、坝亚 11；第Ⅱ类包括晋亚 7、坝亚 9 和轮选 2；第Ⅲ类包括轮选 1、伊亚 4、宁亚 17 和宁亚 16；第Ⅳ类包括伊亚 3、陇亚 8 和陇亚 10。研究针对的是上述的 8 个指标进行的综合评价，若评价指标不同会得到不同的评价结果，将不同的品种种植到不同的地区可能得到的结果也会不同。

2.4 不同产地亚麻籽营养成分的聚类分析

将不同产地亚麻籽营养成分取平均值得到不同产地亚麻籽的营养成分指标(表 7)，并对表 7 中 6 个地区的

8 个营养成分指标进行聚类热图的绘制(图 3)。由图 3 可知，6 个地区可以聚为三类，内蒙古鄂尔多斯和宁夏固原聚为一类，甘肃白银和山西大同聚为一类，河北张家口和新疆伊犁聚为一类。

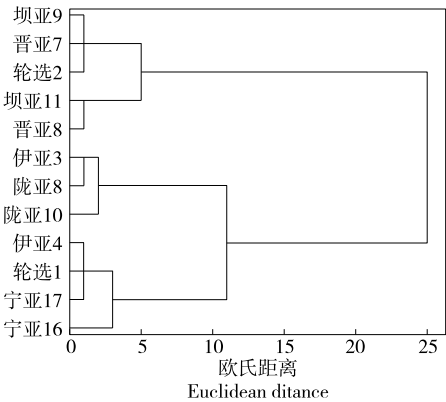
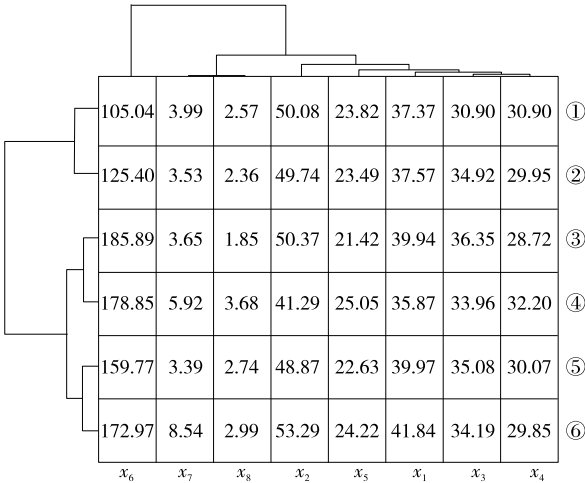


图 2 12 个品种亚麻籽营养品质综合评价聚类树状图
Figure 2 Comprehensive evaluation dendrogram of nutrition quality of 12 flaxseed varieties

表 7 不同地区亚麻籽营养成分指标

Table 7 Nutrition components index of flaxseed from different producing areas

地区	粗脂肪	α -亚麻酸	总糖	粗蛋白	总氨基酸	钙	铁	锌
新疆伊犁	39.97	48.87	35.08	30.07	22.63	159.77	3.39	2.74
内蒙古鄂尔多斯	37.37	50.08	30.90	30.28	23.82	105.04	3.99	2.57
宁夏固原	37.57	49.74	34.92	29.95	23.49	125.40	3.53	2.36
甘肃白银	39.94	50.37	36.35	28.72	21.42	185.89	3.65	1.85
河北张家口	41.84	53.29	34.19	29.85	24.22	172.97	8.54	2.99
山西大同	35.87	41.29	33.96	32.20	25.05	178.85	5.92	3.68



① 内蒙古鄂尔多斯 ② 宁夏固原 ③ 甘肃白银 ④ 山西大同
⑤ 新疆伊犁 ⑥ 河北张家口

图 3 6 个地区亚麻籽 8 个营养成分的聚类热图

Figure 3 Clustering heatmap of 8 nutrition components from 6 producing areas

3 结论

亚麻品种对亚麻籽营养成分的影响不一样,亚麻籽中所含的粗蛋白质、总氨基酸、铁和 α -亚麻酸含量可作为其营养品质的综合评价指标,隶属函数法评价出不同亚麻籽综合品质是不同的,12 个亚麻籽品质通过聚类分析可划分为四大类。综上所述,作物品种对不同营养成分的影响不同,产地对作物的营养成分含量有一定的影响,通过不同的营养指标评价出的结果是不同的。试验中测定的是总氨基酸含量,关于利用不同种类氨基酸含量来评价不同亚麻籽品种有待进一步的研究。

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, REIFEN R. Update on alpha-linolenic acid[J]. Nutrition Reviews, 2008, 66(6): 326-332.
[4] 张晓霞. 亚麻籽油脂脂肪酸组成分析及其减小小鼠酒精性肝病的作用与机制研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2018: 2.
ZHANG Xiao-xia. Analyses of fatty acid components of flaxseed oil and its effects and mechanisms on alleviation of alcoholic liver disease in mice[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018: 2.
[5] KOUBA M, MOUROT J. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids[J]. Biochimie, 2011, 93(1): 13-17.
[6] 胡晓军,李群,许光映,等. 亚麻籽中主要营养成分的分布研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(12): 64-66.
HU Xiao-jun, LI Qun, XU Guang-ying, et al. Distribution of the main nutritional components in linseed[J]. China Oils and Fats, 2012, 37(12): 64-66.
[7] 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.
[8] 禹晓,黄沙沙,程晨,等. 不同品种亚麻籽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.
[9] 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.
[10] 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.
- [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] 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.
- [13] BOMMAREDDY A, ARASADA B L, MATHEES D P, et al. Chemopreventive effects of dietary flaxseed on colon tumor development[J]. *Nutr Cancer*, 2006, 54(2): 216-222.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] GAO Bo-yan, LU Ying-jian, SHENG Yi, et al. Differentiating organic and conventional sage by chromatographic and mass spectrometry flow injection fingerprints combined with principal component analysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(12): 2957-2963.
- [17] 王馨雨, 王蓉蓉, 杨绿竹, 等. 不同品种百合内外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.
- [18] 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.
- [19] 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]. *食品科学*. (2020-04-27) [2021-02-23]. <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]. *Food Science*. (2020-04-27) [2021-02-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200427.1626.026.html>.
- [20] 郭嘉贵, 石树磊, 谢滔, 等. 基于主成分分析的黑龙江省不同来源地黑木耳营养品质评价[J]. *中国农业科技导报*, 2019, 21(6): 94-100.
- GUO Jia-gui, SHI Shu-lei, XIE Tao, et al. Evaluation of *Auricularia auricula-judae* nutrient quality of different origins in Heilongjiang province based on principal component analysis[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(6): 94-100.
- (上接第 25 页)
- [13] KHAN M I. Plant betalains: Safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, 15: 316-330.
- [14] YONG Y Y, DYKES G, LEE S M, et al. Comparative study of betacyanin profile and antimicrobial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and red spinach (*Amaranthus dubius*) [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2017, 72: 41.
- [15] LIRA S M, DIONÍSIO A P, HOLANDA M O, et al. Metabolic profile of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose) by UPLC-QTOF-MS^E and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish[J]. *Food Research International*, 2020, 127: 108701.1-108701.10.
- [16] LETICIA G C, MONTSERRAT D, CELESTINO S B, et al. Beta-lains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. Pruinus* and *S. stellatus*) [J]. *Food Chemistry*, 2017, 234(1): 111-118.
- [17] LILIA V C, SALVADOR V G, FERNANDO M B, et al. Encapsulation and pigmentation potential of betalains of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55: 2436-2445.
- [18] ANA C V L, ANA P D, FERNANDO A P A, et al. Microfiltered red-purple pitaya colorant: UPLC-ESI-QTOF-MSE-based metabolic profile and its potential application as a natural food ingredient[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127222.
- [19] 田艳, 段晓嫣, 邓放明. 纤维素酶协同超声辅助乙醇提取红肉火龙果色素工艺的优化[J]. *食品与机械*, 2019, 35(9): 173-180.
- TIAN Yan, DUAN Xiao-yan, DENG Fang-ming. Optimization on extracting process for red meat pitaya pigment assisted with enzymatic-ultrasonic by response surface methodology[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(9): 173-180.
- [20] DIETER S, THOMAS V, WILLIBALD S. Recent advances in betalain research[J]. *Phytochemistry*, 2003, 62: 247-269.
- [21] TOMAS G C, ANDREA G M, DANIEL G, et al. Characterization and quantification of individual betalain and phenolic compounds in Mexican and Spanish prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) tissues: A comparative study[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2019, 76: 1-13.
- [22] WU Ya-wei, XU Juan, HE Yi-zhong, et al. Metabolic profiling of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) during fruit development and maturation[J]. *Molecules*, 2019, 24(6): 1114. 1-16.