

基于主成分与聚类分析的甘肃地区产地木耳品质综合评价

焦 扬^{1,2}, 折发文¹, 张娟娟¹, 郭秀秀¹, 罗光宏^{2,3,*}

(1.河西学院农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000; 2.甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃 张掖 734000;
3.甘肃省微藻工程技术研究中心, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 为优化评价地木耳品质的指标, 采用主成分和聚类分析, 对甘肃8个地区产地木耳的粗蛋白、总灰分、磷、总糖、脂类、总脂、水溶性灰分、水不溶性灰分以及Ca、Na、K、Mg、Fe、Zn、Mn、Cu、Pb、Ni和Cd 19个品质指标进行分析。结果表明, 不同地区来源的地木耳品质指标中, 总脂、脂类、总糖以及Mn、Na、Zn变异系数较大, 均超过30%, 其他指标的变异系数相对较小, 在3%左右。主成分分析表明19个反映不同地区产地木耳品质的指标可以用5个主成分(累计贡献率达到92.71%)表示。根据聚类分析得到总糖、水溶性灰分、脂类、Fe、Ca和磷6个品质指标可以用来衡量地木耳品质的优劣。甘肃8个地区产地木耳中, 山丹的品质最好, 其次是天祝, 甘州区地木耳的品质最差。

关键词: 地木耳; 品质指标; 主成分分析; 聚类分析

Comprehensive Quality Evaluation of *Nostoc commune* Vauch. from Gansu Province by Principal Component Analysis and Cluster Analysis

JIAO Yang^{1,2}, SHE Fawen¹, ZHANG Juanjuan¹, GUO Xiuxiu¹, LUO Guanghong^{2,3,*}

(1. College of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye 734000, China;
2. Key Laboratory of Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu, Zhangye 734000, China;
3. Engineering Technology Research Center for Microalgae of Gansu, Zhangye 734000, China)

Abstract: In order to optimize the indexes to evaluate the quality of *Nostoc commune* Vauch., 19 quality attributes including crude protein, total ash, phosphorus, total sugars, lipid classes, total lipids, water-soluble ash, water-insoluble ash, Ca, Na, K, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni and Cd of *N. commune* Vauch. from 8 regions in Gansu province were analyzed by principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). The results showed that the variation coefficients of total lipids, lipid classes, total sugars, Mn, Na and Zn were more than 30%, while those of other quality indexes were only about 3%. PCA showed that five principal components represented the 19 quality indicators *N. commune* Vauch., making 92.71% cumulative contribution to the total variance. According to the cluster analysis, six quality indexes including total sugar, water-soluble ash, lipids, Fe, Ca and P were sufficient to evaluate the quality of *N. commune* Vauch.. Among the 8 producing areas, *N. commune* Vauch. from Shandan had the best quality, followed by Tianzhu, and that from Ganzhou had the worst quality.

Keywords: *Nostoc commune* Vauch.; quality indexes; principal component analysis; cluster analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180806-053

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)08-0130-06

引文格式:

焦扬, 折发文, 张娟娟, 等. 基于主成分与聚类分析的甘肃地区产地木耳品质综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 130-135. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180806-053. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2018-08-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(11665011); 国家级大学生创新创业训练项目(20160740005);

甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目(2017C-17)

第一作者简介: 焦扬(1973—)(ORCID: 0000-0001-5996-972X), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为天然产物与食品生物技术。

E-mail: yangjiao2808@163.com

*通信作者简介: 罗光宏(1963—)(ORCID: 0000-0002-3075-1935), 男, 教授, 博士, 研究方向为微藻资源开发与利用。

E-mail: 13993693452@163.com

JIAO Yang, SHE Fawen, ZHANG Juanjuan, et al. Comprehensive quality evaluation of *Nostoc commune* Vauch. from Gansu province by principal component analysis and cluster analysis[J]. Food Science, 2019, 40(8): 130-135. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180806-053. <http://www.spkx.net.cn>

地木耳 (*Nostoc commune* Vauch.) 俗称地皮菜、地耳等, 属蓝藻门 (Cyanophyta)、念珠藻科 (Nostocaceae)、念珠藻属 (*Nostoc*) 的一种蓝藻^[1-2], 广泛分布于我国各地, 历来民间有食用的习惯。由于受环境因素影响, 其外观相似但品质各指标含量差异较大^[3-4]。目前, NY/T 1709—2011《绿色食品 藻类及其制品》适用对象为紫菜、裙带菜、海带、螺旋藻及其制品, 不包括地木耳及其制品。地木耳的品质评价一般参考NY/T 1507—2016《绿色食品 山野菜》, 但该标准仅以微生物和重金属作为控制指标。同属蓝藻纲 (Cyanobacteria) 的螺旋藻 (*Spirulina*) 质量标准GB/T 16919—1997《食用螺旋藻粉》, 此标准对螺旋藻的品质指标有细度、水分、蛋白质、类胡萝卜素和重金属等。近年来, 在健康食物开发的热潮中, 地木耳的开发引起了人们的重视, 但缺少对地木耳品质控制的较系统研究。

主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是利用降维的思想, 把多指标转化为少数几个不相关综合指标的一种多元统计分析方法, 其目的是通过数据降维以排除众多信息共存中相互重叠的信息。同时, 这些变量要尽可能多地表征原变量的数据结构特征而不丢失信息^[5-6]。聚类分析 (cluster analysis, CA) 能利用确定的标准如欧几里德距离或曼哈坦距离计算出样品之间的相关性, 根据原始数据的相似性, 将原始数据简化合并, 从而可以更加直观地进行相似组分信息的综合比较^[7]。其中对样品的聚类称为Q型聚类, 对指标的聚类称为R型聚类^[8]。唐会周等^[9]采用PCA法对5种市售脐橙果实香气成分进行评价, 认为PCA法可作为脐橙香气品质潜在的评价方法。冉军舰等^[10]采用相关性分析、PCA和CA对35个苹果品种中多酚进行综合评价, 表明CA将35个苹果品种分为5类, 聚类结果与PCA得分图结果基本一致。宋江峰等^[11]对江苏省18个菜用大豆进行品质综合评价, 认为PCA和CA为品质评价指标体系的简化提供可能。

本研究对甘肃8个地区产地木耳的19个品质指标进行PCA和CA, 拟筛选出综合评价甘肃地区产地木耳品质的指标, 以为甘肃地区产地木耳的品质管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

于2016年7—10月, 对甘肃省8个地木耳产出较多地

区的野生地木耳进行采集, 分别为庆阳市郊、天水市武山县、定西市通渭县、兰州市永登县、白银市会宁县、武威市天祝县、张掖市山丹县和甘州区, 采集时间选在雨后, 采集区域为人活动较少的山地或草丛。将采集的地木耳摘净杂草避光晾晒1~2 d, 用牛皮纸袋分装后拿回实验室, 然后用流动水洗去表面泥沙, 再用蒸馏水冲洗3~4次, 自然阴干后粉碎过60目筛, 粉末备用。采集地区的基本情况如表1所见。

表1 地木耳采样地区的经纬度
Table 1 Latitude and longitude of the sampling areas of *N. commune* Vauch.

位置	庆阳	武山	通渭	会宁	永登	天祝	山丹	甘州区
经度	107°63'	104°88'	105°25'	105°05'	103°27'	103°13'	101°08'	100°45'
纬度	35°73'	34°72'	35°20'	35°70'	36°73'	36°98'	38°78'	38°93'

1.2 仪器与设备

AR1140电子天平 赛多利斯科学仪器有限公司; DHG-9123A电热恒温鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司; 粉碎机 河北黄骅新兴电器厂; DL-820E智能超声波清洗器 上海之信仪器有限公司; HH-4数显恒温水浴锅 国华电器有限公司; 722型可见分光光度计、SP-3520AAPC原子分光光度计 上海光谱仪器有限公司。

1.3 方法

总糖的测定: 采用GB/T 15672—2009《食用菌中总糖的测定》^[12]; 粗蛋白的测定: 参照GB 5009.5—2016《食品中粗蛋白的测定方法》^[13]; 脂类的测定: 采用氯仿-甲醇-超声相结合的方法^[14]; 总脂的测定: 采用乙醚-石油醚-超声相结合的方法^[15]; 总灰分、水不溶性灰分和水溶性灰分的测定: 参照GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定方法》^[16]; 磷的测定: 采用GB 12393—1990《食物中磷的测定方法》^[17]; 矿质元素的测定: 采用火焰-原子吸收分光光度法^[18]。

1.4 数据处理

应用SPSS 21.0统计软件进行样品间差异显著性检验以及PCA和CA。对品质指标进行PCA时, 以各成分累计方差贡献率大于90%标准提取主成分, 以各主成分的方差相对贡献率作为权重, 构建地木耳品质的评价函数。CA采用系统聚类法。各指标含量以干质量计。

2 结果与分析

2.1 不同地区产地木耳的品质指标分析

表2 不同地区产地木耳的品质指标含量 ($n=3$)

Table 2 Chemical composition of *N. commune* Vauch. from different producing areas ($n=3$)

指标	会宁	庆阳	通渭	甘州区	永登	武山	山丹	天祝
粗蛋白/(mg/g)	152.40±2.34	201.50±1.12	205.80±1.98	136.50±1.12	196.70±1.75	227.30±1.66	220.60±1.22	183.70±1.56
总灰分/(mg/g)	104.30±2.97	77.90±2.43	77.20±2.01	56.20±3.12	80.70±2.26	93.30±1.89	102.80±1.78	121.40±1.79
磷/(mg/kg)	3 633.64±1.81	4 323.83±1.32	4 029.41±2.45	3 851.0±2.01	3 526.48±1.88	3 491.34±2.04	3 920.01±2.11	3 828.97±2.08
总糖/(mg/g)	99.20±2.93	201.60±2.51	158.40±2.37	64.500±2.05	159.200±2.34	224.200±2.07	235.100±2.11	259.300±2.89
脂类/(mg/g)	37.90±2.13	59.60±1.94	34.90±2.37	9.40±2.11	36.70±2.54	32.30±2.33	58.30±2.05	29.40±1.99
总脂/(mg/g)	7.00±1.73	11.60±0.99	10.34±1.11	1.50±0.09	1.90±0.05	8.60±0.03	6.10±0.11	7.20±0.09
水溶性灰分/(mg/g)	13.70±1.01	10.80±1.08	9.90±0.12	8.90±0.56	10.80±1.11	10.80±1.32	8.90±0.94	10.90±1.21
水不溶性灰分/(mg/g)	90.60±1.12	67.10±1.78	67.30±1.22	47.30±1.57	69.90±1.64	82.50±1.88	93.90±1.77	110.60±1.78
Ca/(mg/kg)	7 218.12±7.71	7 899.90±4.22	7 430.76±3.78	9 320.87±8.41	8 116.16±7.78	6 201.69±6.55	6 703.52±3.87	6 522.43±2.98
Na/(mg/kg)	396.68±0.23	441.61±0.31	540.90±0.54	163.90±0.76	163.87±0.88	1 013.83±0.73	980.20±0.66	910.17±0.42
K/(mg/kg)	839.48±0.89	740.92±0.81	1 487.01±0.33	624.39±0.78	641.66±0.45	1 482.21±0.68	1 242.57±1.12	1 604.15±1.05
Mg/(mg/kg)	477.58±0.45	506.35±0.57	480.04±0.66	443.24±0.73	469.27±0.91	485.65±1.43	477.92±1.28	470.63±1.08
Fe/(mg/kg)	536.32±1.31	592.18±0.89	442.43±0.68	764.59±1.56	607.30±0.98	640.96±1.12	728.74±1.44	784.65±1.72
Zn/(mg/kg)	43.22±0.67	61.16±0.99	37.22±0.57	14.14±0.51	30.26±0.99	65.75±1.01	57.55±0.76	33.88±0.68
Mn/(mg/kg)	25.66±0.43	26.97±0.67	18.75±0.23	182.79±0.77	102.64±0.55	26.34±0.94	37.21±0.82	37.15±0.55
Cu/(mg/kg)	12.87±0.21	12.17±0.37	12.31±0.17	11.72±0.88	12.63±0.61	12.26±0.19	13.82±0.38	11.10±0.15
Pb/(mg/kg)	12.40±0.19	14.80±0.33	11.36±0.53	12.32±0.22	17.32±0.42	17.33±0.65	18.99±0.71	23.79±0.81
Ni/(mg/kg)	13.78±0.25	14.91±0.19	14.70±0.66	15.14±0.51	15.32±0.38	15.41±0.26	15.04±0.68	15.07±0.68
Cd/(mg/kg)	1.42±0.05	1.71±0.11	1.50±0.057	1.56±0.34	1.79±0.14	1.70±0.07	1.74±0.09	1.68±0.09

结合NY/T 1709—2011、NY/T 1507—2016以及GB/T 16919—1997产品评价指标要求,对甘肃产地木耳的19个品质指标进行统计分析,结果如表2、3所示。李敦海等^[3]对约10 a间(1993—2002年)报道的地木耳营养成分分析表明,不同来源地木耳的粗蛋白质含量为146~218.1 mg/g,总灰分为98.2~152 mg/g,磷为838.5~1 400 mg/kg,总糖为5.2~238 mg/g,粗脂肪(脂类)为2~42.8 mg/g, Ca为4 060~30 910 mg/kg, Na为749 mg/kg, K为1 100 mg/kg, Mg为790~6 700 mg/kg, Fe为2 840~5 746 mg/kg, Zn为15~368.6 mg/kg, Mn为30~909.1 mg/kg, Cu为4~104.6 mg/kg。由表2可见,甘肃8个地区产地木耳的19个品质指标有差异。就同一品质指标而言,庆阳产地木耳的磷、脂类、总脂和Mg含量最高,分别为4 323.83 mg/kg、59.60 mg/g、11.60 mg/g和506.35 mg/kg。天祝产地木耳的总灰分、总糖、水不溶灰分和K、Fe含量均为最高,分别为121.40、259.30、110.60 mg/g和1 604.15、784.65 mg/kg。甘州区产地木耳除Ca、Mn含量较高外,其余品质指标均较低。与李敦海等^[3]报道的地木耳13个品质指标比较可见,甘肃8个地区产地木耳的粗蛋白、总灰分、总糖、脂类、Na、K与报道的量基本持平;磷含量是报道最高量的3倍左右;Mg含量是报道最低量的60%左右;Fe含量为报道最低量的25%左右。鲍江峰等^[19]研究纬度对纽荷尔脐橙果实品质指标的影响,表明纽荷尔脐橙果实的可滴定酸、可溶性固形物、果皮

着色强度的品质指标随纬度的变化呈现规律变化。结合表1可知,甘肃庆阳和会宁、山丹和甘州区的纬度差异不大,通渭和会宁、永登和天祝的经度差异不大,但两地地木耳的各品质指标差异还是很大。李敦海等^[3]认为,在西北地区,地木耳的分布不仅与气候有关,还与海拔、地质条件以及生物条件有关。刁毅等^[4,20]认为地木耳的生理活性成分与地理距离相关性不大,而与地木耳的生长环境有极大的相关性。由此可得,地木耳品质指标含量差异的原因可能是多方面的,但在对地木耳品质进行评价时,不能只考虑某一个指标或随机某几个指标,而应该对其进行全面系统的综合评价。

表3 不同地区产地木耳品质指标的统计分析

Table 3 Statistical analysis of quality indexes of *N. commune* Vauch. from different producing areas

品质指标	样本数	极小值	极大值	$\bar{x} \pm s_x$	标准差	变异系数/%
粗蛋白/(mg/g)	8×3	136.5	227.3	190.6±11.2	31.8	16.7
总灰分/(mg/g)	8×3	56.2	121.4	89.2±7.2	20.4	22.8
磷/(mg/kg)	8×3	3 491.3	4 323.8	3 825.6±98.0	277.1	7.2
总糖/(mg/g)	8×3	64.5	259.3	175.2±24.0	68.0	38.8
脂类/(mg/g)	8×3	9.4	59.6	37.3±5.7	16.1	43.1
总脂/(mg/g)	8×3	1.5	11.6	9.9±3.8	3.38	61.1
水溶性灰分/(mg/g)	8×3	8.9	13.7	10.6±0.5	1.5	14.3
水不溶性灰分/(mg/g)	8×3	47.3	110.6	78.7±7.0	19.8	25.1
Ca/(mg/kg)	8×3	6 201.7	9 320.9	7 426.7±357.9	1 012.2	13.6
Na/(mg/kg)	8×3	163.9	1 013.8	576.4±123.8	350.1	60.7
K/(mg/kg)	8×3	624.4	1 604.2	1 082.8±146.5	414.2	38.3
Mg/(mg/kg)	8×3	443.2	506.4	476.3±6.2	17.7	3.7
Fe/(mg/kg)	8×3	442.4	784.7	637.1±41.7	118.0	18.5
Zn/(mg/kg)	8×3	14.1	65.8	42.9±6.2	17.6	41.1
Mn/(mg/kg)	8×3	18.8	182.8	57.2±20.3	57.3	100.2
Cu/(mg/kg)	8×3	11.1	13.8	12.4±0.3	0.8	6.5
Pb/(mg/kg)	8×3	11.4	23.8	16.1±1.5	4.2	26.1
Ni/(mg/kg)	8×3	13.8	15.4	14.9±0.2	0.5	3.4
Cd/(mg/kg)	8×3	1.4	1.8	1.7±0.003	0.1	7.9

由表3可见,甘肃8个地区产地木耳的19个品质指标的变异系数均超过3%。营养指标含量中,总脂为1.5~11.6 mg/g,脂类为9.4~59.6 mg/g,总糖为64.5~259.3 mg/g,三者的变异系数较大,分别为61.1%、43.1%和38.8%。矿物质含量中,Mn含量在18.8~182.8 mg/kg之间,Na含量在163.9~1 013.8 mg/kg之间,Zn含量在14.1~65.8 mg/kg之间,K含量在624.4~1 604.2 mg/kg之间,Mn、Na、Zn和K四者的变异系数分别为100.2%、60.7%、41.1%和38.3%。由此可得,产地对甘肃地木耳Mn、总脂和Na含量的影响较大,其次为脂类、Zn、K和总糖含量。不同地区产地木耳各项品质指标含量存在较大差异^[21-22],表现不同程度的多样性^[23],这与诸多关于地木耳品质指标含量的研究结果一致。

2.2 不同地区产地木耳品质指标的相关性分析

多样本两指标之间系数绝对值越大,则这两指标之

表4 地木耳品质指标之间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between quality indexes of *N. commune* Vauch.

品质指标	粗蛋白	总灰分	磷	总糖	脂类	总脂	水溶性灰分	水不溶性灰分	Ca	Na	K	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Ni	Cd
粗蛋白	1.000																		
总灰分	0.262	1.000																	
磷	0.052	-0.234	1.000																
总糖	0.783*	0.647	0.120	1.000															
脂类	0.612	0.315	0.436	0.527	1.000														
总脂	0.326	-0.107	0.423	0.076	0.136	1.000													
水溶性灰分	-0.236	0.439	-0.329	-0.139	0.095	-0.072	1.000												
水不溶性灰分	0.288	0.998**	-0.216	0.679	0.317	-0.104	0.375	1.000											
Ca	-0.646	-0.838**	0.233	-0.772*	-0.393	-0.171	-0.272	-0.843**	1.000										
Na	0.649	0.689	-0.050	0.821*	0.314	0.123	-0.118	0.720*	-0.890**	1.000									
K	0.539	0.590	-0.047	0.677	0.033	0.486	-0.102	0.616	-0.810**	0.850**	1.000								
Mg	0.640	0.264	0.402	0.534	0.815*	0.363	0.318	0.247	-0.487	0.351	0.196	1.000							
Fe	-0.183	0.201	-0.099	0.253	-0.256	-0.709*	-0.414	0.240	0.023	0.268	0.033	-0.471	1.000						
Zn	0.745*	0.369	0.136	0.618	0.754*	0.134	0.171	0.367	-0.677	0.645	0.331	0.852**	-0.203	1.000					
Mn	-0.614	-0.643	-0.170	-0.616	-0.657	-0.508	-0.427	-0.630	0.824**	-0.628	-0.612	-0.821*	0.459	-0.763*	1.000				
Cu	0.349	0.069	-0.084	-0.003	0.608	-0.028	-0.018	0.071	-0.183	0.111	-0.161	0.232	-0.274	0.432	-0.241	1.000			
Pb	0.372	0.708	-0.182	0.807*	0.167	-0.388	-0.092	0.738*	-0.565	0.623	0.462	0.053	0.652	0.192	-0.201	-0.183	1.000		
Ni	0.449	-0.224	-0.102	0.425	-0.139	-0.232	-0.685	-0.178	0.024	0.221	0.143	-0.139	0.498	0.022	0.342	-0.242	0.473	1.000	
Cd	0.597	0.093	-0.045	0.636	0.367	-0.403	-0.404	0.127	-0.161	0.257	0.012	0.202	0.435	0.302	0.048	0.093	0.672	0.803*	1.000

注: **极显著相关, $P < 0.01$; *显著相关, $P < 0.05$ (Pearson法)。

间的联系越紧密^[24]。由此进一步考察不同地区产地木耳19个品质指标相互间的相关性, 结果如表4所示。

由表4可见, 甘肃8个地区产地木耳的19个品质指标之间相关性有所不同。粗蛋白与总糖和Zn显著相关 ($P < 0.05$); 总灰分与水不溶性灰分极显著正相关 ($P < 0.01$), 而与Ca呈极显著负相关 ($P < 0.01$); 总糖与Na、Pb含量呈显著正相关 ($P < 0.05$); 总脂与Fe呈显著负相关 ($P < 0.05$); 水不溶性灰分与Ca呈极显著性负相关 ($P < 0.01$), 但与Na和Pb呈显著正相关 ($P < 0.05$); Ca与K和Na呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 但与Mn呈极显著正相关 ($P < 0.01$); Mg与Zn含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 但与Mn呈显著负相关 ($P < 0.05$)。表明甘肃8个地区产地木耳的19个品质指标之间相关性程度并不一致。

2.3 地木耳品质指标的PCA及综合评价

由于8个地区产地木耳品质指标之间有差异, 且各指标之间又有一定的相关性, 因此, 对各数据进行标准化处理^[24], 可将这些指标转化为几个相互独立的新指标, 使标准化后的数据具有可比性并遵循正态分布规律, 以便消除各数据之间量纲和相对大小差异对因子分析结果产生的影响^[8]。在解释原始指标间关系的同时, 可简化评价的因子数^[25], 既克服传统方法的不足, 又可将不同类型、不同标准的量纲因子统一于同一评价模式中, 增加模式的可操作性^[26]。以8个样品的19个品质指标构成 19×8 矩阵进行PCA, 然后得出主成分的特征值、贡献率、主成分载荷矩阵及特征向量矩阵, 按照累计贡献率大于90%的原则提取主成分^[11,27]。利用主成分载荷矩

阵中的数据除以主成分相对应的特征值再开平方即得到5个主成分中每个指标所对应的系数即特征向量 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 和 A_5 , 结果如表5、6所示。

表5 地木耳品质指标主成分的特征值
Table 5 Characteristic values of five principal components of *N. commune* Vauch. quality

指标	主成分				
	1	2	3	4	5
Z粗蛋白	0.789	0.004	0.509	-0.071	-0.311
Z总灰分	0.768	0.106	-0.585	0.121	0.128
Z磷	0.027	-0.304	0.522	-0.237	0.722
Z总糖	0.913	0.312	0.167	-0.09	0.143
Z脂类	0.637	-0.368	0.423	0.439	0.217
Z总脂	0.182	-0.619	0.201	-0.705	-0.059
Z水溶性灰分	0.128	-0.498	-0.651	0.364	0.058
Z水不溶性灰分	0.782	0.148	-0.553	0.096	0.128
Z Ca	-0.933	0.015	0.286	0.081	0.187
Z Na	0.874	0.224	-0.087	-0.230	-0.099
Z K	0.714	0.098	-0.205	-0.640	-0.143
Z Mg	0.667	-0.521	0.34	0.158	0.213
Z Fe	0.004	0.891	-0.11	0.113	0.266
Z Zn	0.787	-0.283	0.285	0.241	-0.078
Z Mn	-0.844	0.515	0.093	0.078	-0.051
Z Cu	0.224	-0.329	0.242	0.544	-0.433
Z Pb	0.63	0.701	-0.164	0.087	0.195
Z Ni	0.101	0.762	0.538	-0.159	-0.187
Z Cd	0.385	0.622	0.530	0.318	-0.016

由表6可见, 5个主因子的方差累计贡献率为92.71%, 且5个主成分的特征值均大于1, 分别为7.638、4.029、2.856、1.916和1.176, 表明前5个主成分已基本包含地木耳品质指标的全部信息, 可以用前5个主成分对

其综合品质进行评价^[28]。前5个主成分中,第1主成分的特征根为7.638,贡献率为40.20%,总糖、Ca、Na和Mn在第1主成分上有较高载荷;第2主成分特征根为4.029,贡献率为21.20%,Fe、Ni、Pb、Cd在第2主成分上有较高载荷,因此第2主成分主要反映重金属含量品质指标;第3主成分特征根为2.856,贡献率为15.03%,水溶性灰分、总灰分、粗蛋白和水不溶性灰分在第3主成分上有较高载荷,主要反映地木耳灰分品质指标的信息;第4主成分特征根为1.916,贡献率为10.08%,总脂、Cu和脂类在第4主成分上有较高载荷;第5主成分特征根为1.176,贡献率为6.19%,磷在第5主成分上有较高载荷,因此第5主成分反映的主要是品质指标中磷的主要信息。

表6 5个主成分的特征值、特征向量及方差贡献率
Table 6 Eigenvector matrix, variance contribution and cumulative variance contribution rates of five principal components

指标	特征向量				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Z粗蛋白	0.285	0.002	0.301	-0.051	-0.287
Z总灰分	0.278	0.053	-0.346	0.087	0.118
Z磷	0.010	-0.151	0.309	-0.171	0.666
Z总糖	0.330	0.155	0.099	-0.065	0.132
Z脂类	0.230	-0.183	0.250	0.317	0.200
Z总脂	0.066	-0.308	0.119	-0.509	-0.054
Z水溶性灰分	0.046	-0.248	-0.385	0.263	0.054
Z水不溶性灰分	0.283	0.074	-0.327	0.069	0.118
Z Ca	-0.338	0.007	0.169	0.059	0.173
Z Na	0.316	0.112	-0.051	-0.166	-0.091
Z K	0.258	0.049	-0.121	-0.462	-0.132
Z Fe	0.241	-0.260	0.201	0.114	0.196
Z Zn	0.001	0.444	-0.065	0.082	0.245
Z Mn	0.285	-0.141	0.169	0.174	-0.072
Z Cu	-0.305	0.257	0.055	0.056	-0.047
Z Mg	0.081	-0.164	0.143	0.393	-0.399
Z Pb	0.228	0.349	-0.097	0.063	0.180
Z Ni	0.037	0.380	0.318	-0.115	-0.173
Z Cd	0.139	0.310	0.314	0.230	-0.015
特征值	7.638	4.029	2.856	1.916	1.176
贡献率/%	40.02	21.20	15.03	10.08	6.19
累计贡献率/%	40.20	61.41	76.44	86.52	92.71

由于各主成分的贡献率不同,所以对甘肃8个产地地木耳进行综合评价时,结合主成分的贡献率,以便协调好各主成分间的侧重关系。根据前5个主成分的特征向量和标准化数据,以特征值的贡献率大小为分配系数^[7],由地木耳品质指标的评价函数计算出各产地的综合评价分值 F ,总得分越高表明该地区地木耳的综合品质越好,结果如表7所示。

由表7可见,以甘肃8个不同地区产地木耳综合品质指标来说,山丹产地木耳的得分最高,即其品质最好,天祝产地木耳的品质次之,甘州区产地木耳的综合品质得分最低,品质最差。

表7 地木耳品质指标的主成分得分、综合得分及排序
Table 7 Principal component scores, comprehensive scores and ranking of quality indexes of *N. commune* Vauch.

地区	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F	排序
会宁	-0.773	-2.824	-2.908	1.368	-0.057	-1.211	7
庆阳	0.620	-1.508	2.257	0.755	1.743	0.452	4
通渭	-0.207	-2.558	0.732	-2.514	-0.512	-0.801	6
甘州区	-5.633	1.746	0.166	-0.540	0.172	-1.913	8
永登	-1.453	1.115	0.648	1.449	-0.858	-0.157	5
武山	2.469	0.756	0.083	-0.370	-1.516	1.034	3
山丹	2.692	0.867	1.085	0.951	-0.303	1.506	1
天祝	2.285	2.406	-2.063	-1.099	1.331	1.091	2

2.4 地木耳品质指标主成分的R型和Q型聚类结果

地木耳各品质指标数据较为离散,不易直观地进行相近程度的比较。CA分类结果客观、科学,并可同时对大量性状进行综合考察^[29]。因此采用系统聚类分析法,将样本划为不同类群进行评价^[30]。根据PCA结果,对5个主成分(表6)中19个品质指标的特征向量采用组间联接法分析。若同聚为一类的地木耳品质指标之间则具有密切相关或偏相关性,可选用一个因素代表一类中的其余因素,单独为一类的品质因素则具有相对独立性。地木耳品质指标的R型聚类和Q型聚类结果如图1、2所示。

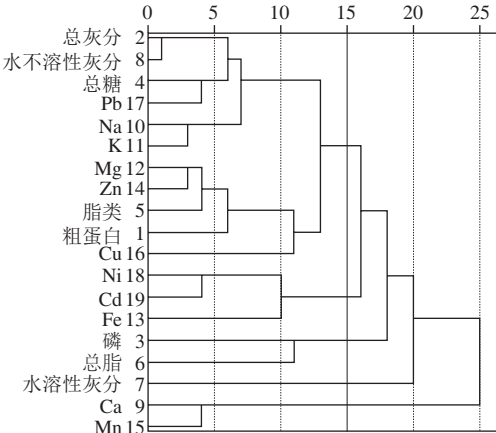


图1 地木耳品质指标的R型聚类

Fig. 1 R-type cluster analysis of quality indexes of *N. commune* Vauch.

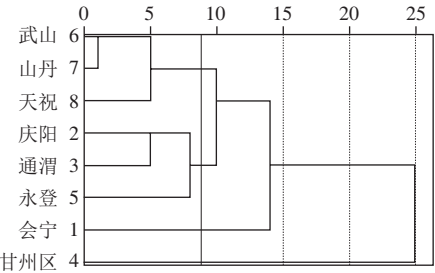


图2 地木耳品质指标的Q型聚类

Fig. 2 Q-type cluster analysis of quality indexes of *N. commune* Vauch.

由图1可见,在欧几里德距离15处地木耳的品质指标可划分为6类,总灰分、水不溶性灰分、总糖、脂类、粗

蛋白和Pb、Na、K、Mg、Zn、Cu聚为一类；Ni、Cd、Fe聚为一类；磷和总脂聚为一类；Ca和Mn聚为一类；水溶性灰分单独聚为一类。因此，上述19个地木耳品质指标可由这6个类别中的指标所代表，为指标简化创造可能，再结合前5个主成分特征向量的结果，最终确定总糖、水溶性灰分、脂类、Fe、Ca和磷6个因子来衡量地木耳品质的优劣。

由图2可见，在欧几里德距离为8处甘肃8个地木耳的产地可聚为4类，武山、山丹和天祝聚为一类；通渭和庆阳聚为一类；会宁和甘州区分别单独聚为一类。结合表7可得出，甘肃武山和天祝产地木耳的品质，与综合品质指标得分最高的山丹产地木耳的品质有密切相关性或偏相关性，均属于品质较好的一类。

3 结 论

本研究通过对甘肃8个地区产地木耳19个品质指标进行主成分分析和聚类分析，最终确定总糖、水溶性灰分、脂类、Fe、Ca和磷6个指标衡量地木耳品质的优劣较为合理。PCA得到5个主成分对地木耳19个品质指标的累计贡献率达到92.71%。进一步由地木耳品质指标的评价函数和Q型聚类分析得出，山丹地区产地木耳的综合评分最高，品质最好，但武山和天祝地区产地木耳的品质与山丹产地木耳的品质有密切相关性或偏相关性，均属于品质较好的一类，甘州区产地木耳的品质最差。

参考文献：

- [1] 李天才, 陈桂琛, 索有瑞. 青海高原地木耳中氨基酸特征与分析[J]. 氨基酸和生物资源, 2004(3): 6-8. DOI:10.14188/j.ajsh.2004.03.003.
- [2] 周世萍, 李天才. 青海高原地木耳中微量元素分析及特征[J]. 广东微量元素科学, 2001, 8(8): 46-48. DOI:10.16755/j.cnki.issn.1006-446x.2001.08.013.
- [3] 李敦海, 刘永定. 近十年中国地木耳研究概况[J]. 水生生物学报, 2003, 27(4): 408-412. DOI:10.3321/j.issn:1000-3207.2003.04.015.
- [4] 刁毅. 地木耳遗传多样性, 生物活性及人工栽培研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [5] 周利兵. 青海牦牛骨主要矿物质元素的主成分分析[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2006(2): 141-143.
- [6] 赵旭升, 李西辉. 主成分分析用于中药黄连中微量元素含量的研究[J]. 微量元素与健康研究, 2007(3): 25-26. DOI:10.3969/j.issn.1005-5320.2007.03.012.
- [7] JOHNSON R A, WICHERN D W. 实用多元统计分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [8] 贾明辉, 华志强. 主成分分析数据处理方法探讨[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2008(4): 379-381. DOI:10.14045/j.cnki.15-1220.2008.04.006.
- [9] 唐会周, 明建. 5种市售脐橙果实香气成分的主成分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 175-180.
- [10] 冉军舰, 孙华迪, 陈晓静, 等. 基于主成分与聚类分析的35个苹果品种多酚综合评价[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 139-144. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.08.019.
- [11] 宋江峰, 刘春泉, 姜晓青, 等. 基于主成分与聚类分析的菜用大豆品质综合评价[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 12-17. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201513003.
- [12] 国家标准化管理委员会. 食用菌中总糖的测定: GB/T 15672—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [13] 国家标准化管理委员会. 食品中粗蛋白的测定方法: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 李秀花. 酸水解法测定食品中脂肪含量与索氏抽提法的比较[J]. 山西医科大学学报, 1999, 30(4): 383-384.
- [15] 梁英, 石伟杰, 田传远. 微藻总脂含量测定方法概述[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(5): 35-40. DOI:10.16441/j.cnki.hdx.2012.05.006.
- [16] 国家标准化管理委员会. 食品中灰分的测定方法: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 国家标准化管理委员会. 食物中磷的测定方法: GB/T 12393—1990[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [18] 阮尚全, 袁玥, 汪建红, 等. 紫背菜中矿物质元素分布及其与土壤元素含量的相关性研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4723-4724; 4766. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2010.09.128.
- [19] 鲍江峰, 夏仁学, 邓秀新, 等. 不同纬度产地组荷尔脐橙果实品质状况初步研究[J]. 亚热带植物科学, 2006(1): 13-16.
- [20] 刁毅, 刘涛, 韩洪波. 不同地区地木耳多糖红外光谱与抗氧化活性研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(4): 984-987; 996. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.04.042.
- [21] 王红雨, 李海峰, 黄泽波. 药食两用念珠藻生物活性成分的研究进展[J]. 广东药科大学学报, 2017, 33(4): 561-564. DOI:10.16809/j.cnki.2096-3653.2017022801.
- [22] 郭金英, 李彤辉, 朱蓓茹, 等. 人工液体培养发菜与野生发菜营养成分比较[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 181-185. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201508034.
- [23] 杨春宁, 孙志蓉, 曲继旭, 等. 基于主成分分析的天麻矿物质元素综合评价研究[J]. 中医药导报, 2016, 22(20): 52-54; 61. DOI:10.13862/j.cnki.cn43-1446/r.2016.20.018.
- [24] 丛嘉昕, 宋江峰, 李大婧, 等. 基于多元统计分析的冻干草莓果粉品质评价因子筛选[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 28-34; 38. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.11.006.
- [25] 思小燕, 吴启勋. 青海不同产地地木耳中微量元素的主因子分析和聚类分析[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2009, 27(2): 309-311.
- [26] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 等. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2491-2499.
- [27] 卢明艳, 潘越, 安鹭, 等. 基于因子分析的加工型苹果品质性状的综合评价[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 130-137.
- [28] 邓雁方, 陈绍军, 钟焱, 等. 基于主成分分析与聚类分析的面条力学品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(11): 1-10. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.018635.
- [29] 刘丙花, 孙锐, 王开芳, 等. 不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 70-76. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20170829-338.
- [30] 朱周俊, 袁德义, 邹锋, 等. 不同锥栗农家种仁中9种矿物质元素含量的因子分析与聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 165-170. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180602-020.