

市售 15 个产区黑木耳营养品质综合评价

Comprehensive evaluation of nutrition quality of commercial *Auricularia auricular* from 15 production area

王丽艳 王鑫淼 荆瑞勇 吴楠

WANG Li-yan WANG Xin-miao JING Rui-yong WU Nan

(黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319)

(College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University,

Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:以市售 15 个产区黑木耳为研究对象,以 13 种营养成分作为品质评价指标,利用主成分分析法及隶属函数法对市售黑木耳进行品质综合评价,并利用聚类分析法进行黑木耳品质分类。结果表明:从 13 种营养成分中提取出 4 个主成分,其累计贡献率达 81.52%,可较好地反映黑木耳品质的综合信息;铁、锌、总脂肪酸、粗多糖和灰分含量可作为 15 个产区黑木耳品质综合评价的指标;隶属函数法评价出 15 个产区黑木耳品质的优劣;聚类分析将 15 个产区黑木耳营养品质划分为四大类。

关键词:黑木耳;品质评价;主成分分析;隶属函数;聚类分析

Abstract: 13 nutrition components were used as quality evaluation index, methods of principal analysis and subordinate function were applied to comprehensively evaluate the quality of commercial *Auricularia auricular* from 15 production area, and clustering analysis was used to classify *Auricularia auricular* quality. The results showed that 4 principal components were extracted from 13 nutrient components, and their cumulative contribution rate was 81.52%, which could reflect the comprehensive information of the quality of *Auricularia auricular* better. The contents of iron, zinc, total fatty acid, crude polysaccharide and ash could be used as indexes for the comprehensive quality evaluation of *Auricularia auricular* from 15 producing areas. The quality of *Auricularia auricular* in the 15 producing areas was e-

valuated by membership function method, and cluster analysis divided the nutritional quality of them into four categories.

Keywords: *Auricularia auricular*; quality valuation; principal component analysis; subordinate function; clustering analysis

黑木耳(*Auricularia auricular*)是一种药食兼用的真菌,有“素中之荤”“菌中之冠”的美称^[1]。中国是世界黑木耳的主产地,占世界黑木耳总产量的 90% 以上^[2],也是中国栽培产量位居第二的食用菌^[3]。黑木耳子实体中含有多种营养成分,如膳食纤维^[4]、脂类物质^[5]、粗蛋白^[6]、糖类物质^[7]、氨基酸^[8]和脂肪酸^[8]等。此外黑木耳中的矿物质含量高于其他蔬菜,钙、铁等矿质含量显著高于猪肉^[9]。黑木耳中的生物活性物质具有多种生理活性,如抗氧化、降血糖、降血脂、抗肿瘤等^[10-12]。黑木耳中的膳食纤维能够促进人体肠胃蠕动,可加快营养物质的消化吸收^[8]。

课题组^[13]前期对黑龙江省 8 个不同来源地的黑木耳营养品质进行了分析与评价,发现不同来源地的黑木耳营养品质存在一定的差异,而黑龙江省内区域差异相对较小。研究拟选取中国 15 个省区的市售黑木耳为研究对象,分析测定其营养成分,并利用主成分分析法和隶属函数法对黑木耳进行营养品质的综合评价,以为黑木耳的综合利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黑木耳:分别购置于黑龙江、辽宁、新疆、吉林、西藏、内蒙古、甘肃、河北、陕西、湖北、浙江、江西、四川、云南和贵州 15 个省黑木耳栽培区,购回后将黑木耳于 50 °C 烘干至恒重,粉碎过 80 目筛,密封-20 °C 保存备用;

茚三酮:分析纯,德国 Menbar Pure 公司;

氨基酸标准品、脂肪酸标准品:美国 Sigma 公司;

基金项目:中央引导地方科技发展专项(编号:ZY16A06);黑龙江大学生创新创业训练项目(编号:201810223028);黑龙江省农垦总局科技计划项目(编号:HNK125B-08-17A);大庆市科技局指导项目(编号:zd-2016-104);贵州省教育厅自然科学研究项目(编号:KY2021054)

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:荆瑞勇(1978—),男,黑龙江八一农垦大学副教授,博士。E-mail: jry_2002@126.com

收稿日期:2021-01-10

乙醚、硫酸、乙醇、苯酚、浓盐酸、碘基水杨酸、氢氧化钠等;分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 各指标测定

- (1) 灰分含量:参照 GB 5009.4—2016。
- (2) 膳食纤维含量:参照 GB 5009.88—2014。
- (3) 脂肪含量:参照 GB 5009.6—2016。
- (4) 蛋白质含量:参照 GB 5009.5—2016。
- (5) 粗多糖含量:参照 NY/T 1676—2008。
- (6) 总糖含量:参照 GB/T 9695.31—2008。
- (7) 氨基酸含量:采用 L-8900 型氨基酸自动分析仪(日本日立高新技术公司)进行测定。
- (8) 脂肪酸含量:参照 GB 5009.168—2016。
- (9) 钙、铁和锌含量:利用 ICP-MS 型电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞世尔科技公司)进行检测。

1.3 数据处理及统计分析

1.3.1 隶属函数值 按式(1)进行计算。

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

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^[14-15]。

1.3.2 权重 按式(2)进行计算。

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

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^[16]。

1.3.3 综合评价 按式(3)进行计算。

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

式中:

D ——不同产区黑木耳品质的综合评价^[17-18]。

1.3.4 数据统计分析 采用 Excel 2013 统计软件进行数据统计与整理;主成分分析(PCA)和方差分析采用 R 语言;相关性分析和聚类分析采用 SPSS 20.0 数据分析软件。

2 结果与分析

2.1 营养成分分析

由表 1 可知,15 个产区黑木耳的 13 个营养成分均存在一定的差异,灰分含量为 30.81~37.76 g/100 g,河北的最低,江西的最高;膳食纤维含量为 36.45~71.24 g/100 g,陕西的最低,吉林的最高;粗脂肪含量为 0.17~0.87 g/100 g,新疆的最低,江西的最高;粗蛋白含量为 8.88~13.33 g/100 g,陕西的最低,浙江的最高;总糖含量

为 30.78~65.24 g/100 g,江西的最低,浙江的最高;粗多糖含量为 3.61~11.03 g/100 g,浙江的最低,辽宁的最高;总氨基酸含量为 79.95~111.53 g/kg,甘肃的最低,黑龙江的最高;必需氨基酸含量为 26.72~46.65 g/kg,四川的最低,辽宁的最高;总脂肪酸含量为 10.11~20.31 g/kg,江西的最低,浙江的最高;不饱和脂肪酸含量为 8.29~17.18 g/kg,江西的最低,新疆的最高;钙含量为 159.09~944.19 mg/kg,吉林的最低,江西的最高;铁含量为 72.26~664.39 mg/kg,湖北的最低,江西的最高;锌含量为 6.56~67.46 mg/kg,湖北的最低,江西的最高。由方差分析可知,13 个营养成分含量最低产区与最高产区均存在显著差异($P<0.05$)。

由表 1 可知,灰分的产区差异最小,其变异系数只有 6.00%,说明产区对灰分含量的影响最小;锌的产区差异最大,其变异系数为 77.44%,说明产区对锌含量的影响最大,其他营养成分的变异系数为 6.00%~77.44%。产区对黑木耳营养成分的影响顺序为锌>铁>钙>粗脂肪>粗多糖>总糖>膳食纤维>不饱和脂肪酸>总脂肪酸>必需氨基酸>粗蛋白>总氨基酸>灰分。

2.2 营养成分相关性分析

由表 2 可知,13 种营养成分之间具有不同程度的相关性,其中灰分、总糖和膳食纤维与其他营养成分之间均无显著相关性;粗脂肪与粗多糖、必需氨基酸、铁和锌之间呈显著正相关($P<0.05$);粗蛋白与钙、铁和锌之间呈显著正相关($P<0.05$);粗多糖与必需氨基酸之间呈显著正相关($P<0.05$);总氨基酸与总脂肪酸、不饱和脂肪酸呈显著正相关($P<0.05$);总脂肪酸与不饱和脂肪酸呈极显著正相关($P<0.01$);钙、铁、锌三者之间均存在极显著正相关($P<0.01$)。由于不同产区黑木耳的各营养成分差异不同,其相关性也不同,因此通过某个成分来评价不同产区黑木耳营养品质的优劣是不客观的。

2.3 营养成分的主成分分析

2.3.1 主成分提取 对 15 个产区黑木耳营养成分进行综合评价时,不能仅考虑某一种或几种营养成分含量的多少,应考虑 13 种营养成分含量对黑木耳进行综合评价^[17]。由表 3 可知,可提取出 4 个主成分,其累计方差贡献率达 81.52%,综合了 15 个产区黑木耳 13 个营养成分的大部分信息,故可以用这 4 个主成分代替 13 个营养成分对 15 个产区黑木耳进行营养品质综合评价。

由表 4 可知,4 个主成分对应特征向量分别为:

$$\text{第 1 主成分(PC1): } F_1 = 0.20x_1 + 0.16x_2 + 0.34x_3 + 0.27x_4 - 0.15x_5 + 0.30x_6 + 0.09x_7 + 0.29x_8 - 0.09x_9 - 0.07x_{10} + 0.41x_{11} + 0.42x_{12} + 0.42x_{13}, \quad (4)$$

$$\text{第 2 主成分(PC2): } F_2 = -0.04x_1 + 0.25x_2 - 0.20x_3 + 0.27x_4 + 0.31x_5 - 0.04x_6 + 0.44x_7 + 0.17x_8 + 0.52x_9 + 0.48x_{10} + 0.07x_{11} - 0.04x_{13}, \quad (5)$$

第 3 主成分(PC3): $F_3=0.31x_1+0.36x_2-0.05x_3-0.23x_4+0.04x_5-0.29x_6+0.12x_7-0.50x_8-0.08x_9+0.44x_{10}-0.30x_{11}+0.45x_{12}+0.33x_{13}+0.21x_{14}-0.04x_{15}-0.17x_{16}+0.24x_{17}+0.26x_{18}$ 。(7)

由表 3、表 4 可知,4 个主成分中,第 1 主成分的方差贡献率为 35.90%,在第 1 主成分的表达式中,铁含量

第 4 主成分(PC4): $F_4=0.50x_1+0.19x_2-0.40x_3-$

表 1 15 个产区黑木耳的 13 个营养成分分析[†]

Table 1 13 nutrition components analysis of commercial *Auricularia auricular* from 15 production area

产地	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
黑龙江	33.98±1.02 ^{abc}	68.53±1.89 ^{abc}	0.60±0.02 ^{abc}	11.71±1.75 ^{abc}	34.01±0.98 ^{cd}	8.67±1.27 ^{abc}	111.53±6.96 ^a
吉林	36.28±2.12 ^{ab}	71.24±1.06 ^a	0.29±0.02 ^{defg}	9.48±1.23 ^{bc}	57.10±2.51 ^{ab}	6.37±0.26 ^{cdef}	108.51±4.32 ^{ab}
辽宁	32.36±1.04 ^c	52.65±3.28 ^{bcd}	0.73±0.04 ^{ab}	11.24±1.56 ^{abc}	31.40±1.36 ^d	11.03±1.10 ^a	102.09±3.28 ^{abcd}
新疆	32.90±2.03 ^{bc}	58.67±2.04 ^{abcd}	0.17±0.02 ^g	10.41±1.76 ^{abc}	32.82±3.43 ^d	8.03±0.82 ^{abcd}	106.89±9.62 ^{ab}
西藏	30.90±2.11 ^c	69.00±1.19 ^{ab}	0.61±0.04 ^{abc}	11.65±1.49 ^{abc}	51.84±2.09 ^{abc}	8.70±0.69 ^{abc}	98.86±7.18 ^{abcd}
内蒙古	34.25±1.66 ^{abc}	66.65±1.45 ^{abcd}	0.23±0.02 ^{fg}	10.36±1.14 ^{abc}	40.21±1.01 ^{bcd}	6.66±1.06 ^{cde}	104.08±5.80 ^{abc}
甘肃	31.33±1.09 ^c	37.53±2.05 ^e	0.42±0.02 ^{bcd}	9.56±1.03 ^{bc}	35.63±3.23 ^{cd}	7.05±0.20 ^{bcd}	79.95±3.59 ^f
河北	30.81±2.56 ^c	66.55±1.16 ^{abcd}	0.43±0.04 ^{bcd}	12.37±2.10 ^{ab}	51.09±1.59 ^{abc}	6.00±0.93 ^{cdef}	103.91±5.80 ^{abc}
陕西	32.58±1.24 ^{bc}	36.45±1.06 ^e	0.25±0.04 ^{efg}	8.88±0.33 ^c	35.68±3.41 ^{cd}	5.98±0.96 ^{cdef}	106.99±9.04 ^{ab}
湖北	31.93±1.38 ^c	67.76±1.34 ^{abc}	0.37±0.03 ^{cdefg}	9.47±1.89 ^{bc}	54.07±2.38 ^{ab}	7.46±0.51 ^{bcd}	96.60±7.44 ^{bcd}
浙江	32.13±1.67 ^c	36.79±1.62 ^e	0.38±0.01 ^{cdefg}	13.33±3.03 ^a	65.24±2.54 ^a	3.61±0.32 ^f	102.12±3.05 ^{abc}
江西	37.76±0.85 ^a	58.74±2.29 ^{abcd}	0.87±0.05 ^a	12.00±3.66 ^{abc}	30.78±3.38 ^d	10.05±0.82 ^{ab}	95.22±4.43 ^{bcd}
四川	33.37±0.79 ^{bc}	38.88±1.61 ^e	0.49±0.03 ^{fg}	9.99±2.20 ^{bc}	31.35±2.05 ^d	4.45±0.45 ^{ef}	83.52±5.53 ^{ef}
云南	31.22±1.46 ^c	48.58±1.93 ^{de}	0.55±0.04 ^{bcd}	10.22±0.93 ^{abc}	41.25±2.05 ^{bcd}	6.68±0.64 ^{cde}	87.71±6.82 ^{def}
贵州	32.01±2.12 ^c	50.27±2.80 ^{cde}	0.45±0.02 ^{bcd}	11.25±1.19 ^{abc}	48.33±2.90 ^{abcd}	5.58±0.61 ^{def}	92.42±2.42 ^{cdef}
平均值	32.92	55.22	0.46	10.79	42.72	7.09	98.69
变异系数/%	6.00	23.77	42.22	11.70	25.87	27.98	9.52

产地	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
黑龙江	43.63±4.38 ^{ab}	15.96±2.10 ^{abcd}	12.83±1.43 ^{bcd}	408.56±10.42 ^c	201.46±2.81 ^{bc}	19.68±2.49 ^{bc}
吉林	30.86±3.35 ^{de}	17.98±2.42 ^{abc}	14.55±1.90 ^{ab}	159.09±12.85 ^c	80.28±6.35 ^c	7.23±0.24 ^c
辽宁	46.65±3.98 ^a	16.47±1.40 ^{abcd}	14.15±1.25 ^{abc}	421.33±11.60 ^c	200.19±11.37 ^{bc}	19.15±2.22 ^{bc}
新疆	31.11±1.31 ^{de}	19.70±1.34 ^{ab}	17.18±0.34 ^a	507.46±6.09 ^{bc}	270.19±4.67 ^{bc}	27.22±2.56 ^{bc}
西藏	41.80±1.56 ^{abc}	15.66±1.70 ^{bcd}	13.14±0.72 ^{bcd}	391.73±7.36 ^c	185.04±7.47 ^c	16.17±0.90 ^c
内蒙古	38.22±3.78 ^{abcd}	15.88±1.47 ^{abcd}	13.22±0.89 ^{abcd}	312.22±10.74 ^c	160.25±7.89 ^c	14.33±1.05 ^c
甘肃	29.63±2.64 ^{de}	14.25±0.88 ^{cde}	10.24±0.42 ^{cde}	198.26±11.83 ^c	97.56±4.61 ^c	10.23±0.25 ^c
河北	34.19±2.17 ^{bcd}	16.17±0.90 ^{abcd}	13.94±2.53 ^{abcd}	863.03±11.27 ^{ab}	456.13±9.38 ^{ab}	41.93±2.11 ^b
陕西	37.41±4.32 ^{abcd}	13.35±1.52 ^{de}	9.99±1.71 ^{de}	210.35±11.94 ^c	108.25±12.08 ^c	12.52±2.19 ^c
湖北	30.43±2.64 ^{de}	12.63±0.58 ^{de}	10.11±1.07 ^{de}	159.10±4.90 ^c	72.26±2.45 ^c	6.56±0.09 ^c
浙江	38.09±3.92 ^{abcd}	20.31±1.93 ^a	16.17±2.03 ^{ab}	339.18±14.75 ^c	176.39±2.62 ^c	15.63±2.57 ^c
江西	41.29±1.19 ^{abc}	10.11±0.61 ^e	8.29±0.33 ^e	944.19±3.78 ^a	664.39±9.08 ^a	67.46±2.71 ^a
四川	26.72±3.52 ^e	10.50±0.65 ^e	12.50±1.24 ^{bcd}	200.52±8.91 ^c	100.55±6.16 ^c	11.58±1.45 ^c
云南	33.38±3.98 ^{cde}	13.23±2.54 ^{de}	9.98±1.53 ^{de}	310.25±8.84 ^c	155.42±4.72 ^c	16.60±1.60 ^{bc}
贵州	31.10±1.31 ^{de}	15.22±1.74 ^{bcd}	10.02±0.59 ^{de}	330.55±2.97 ^c	160.58±8.98 ^c	17.20±1.91 ^{bc}
平均值	35.63	15.16	12.42	383.72	205.93	20.23
变异系数/%	16.51	19.37	20.71	61.34	76.89	77.44

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05); x_1 为灰分,g/100 g; x_2 为膳食纤维,g/100 g; x_3 为粗脂肪,g/100 g; x_4 为粗蛋白,g/100 g; x_5 为总糖,g/100 g; x_6 为粗多糖,g/100 g; x_7 为总氨基酸,g/kg; x_8 为必需氨基酸,g/kg; x_9 为总脂肪酸,g/kg; x_{10} 为不饱和脂肪酸,g/kg; x_{11} 为钙,mg/kg; x_{12} 为铁,mg/kg; x_{13} 为锌,mg/kg。

表 2 15 个产区黑木耳营养成分之间的相关性分析[†]

Table 2 Correlation analysis between nutrition index of commercial *Auricularia auricular* from 15 production area

指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
x_1	1.00												
x_2	0.26	1.00											
x_3	0.19	0.05	1.00										
x_4	-0.04	0.12	0.45	1.00									
x_5	-0.24	0.20	-0.29	0.29	1.00								
x_6	0.25	0.44	0.58 *	0.05	-0.49	1.00							
x_7	0.26	0.52	-0.26	0.20	0.18	0.19	1.00						
x_8	0.15	0.23	0.54 *	0.50	-0.16	0.62 *	0.49	1.00					
x_9	-0.19	0.16	-0.46	0.33	0.46	-0.13	0.58 *	0.15	1.00				
x_{10}	-0.10	0.18	-0.39	0.32	0.27	-0.13	0.52 *	0.08	0.84 * *	1.00			
x_{11}	0.24	0.28	0.48	0.64 *	-0.18	0.38	0.18	0.38	-0.06	0.00	1.00		
x_{12}	0.39	0.23	0.52 *	0.57 *	-0.22	0.39	0.12	0.35	-0.17	-0.11	0.98 * *	1.00	
x_{13}	0.42	0.18	0.53 *	0.52 *	-0.28	0.39	0.08	0.32	-0.23	-0.17	0.96 * *	1.00 * *	1.00

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

(x_{12})和锌含量(x_{13})系数最大,为 0.42;第 2 主成分的方差贡献率为 23.55%,在第 2 主成分的表达式中,总脂肪酸含量(x_9)系数最大,为 0.52;第 3 主成分的方差贡献率为 12.56%,在第 3 主成分的表达式中,粗多糖含量(x_6)系数最大,为 0.45;第 4 主成分的方差贡献率为 9.51%,在第 4 主成分的表达式中,灰分含量(x_1)系数最大,为 0.50。综上,铁、锌、总脂肪酸、粗多糖和灰分含量可以作为市售 15 个产区黑木耳营养品质综合评价的指标。

表 3 主成分的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 3 Eigenvalue of the principal components and their contribution and cumulative contribution rate

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.67	35.90	35.90
2	3.06	23.55	59.45
3	1.63	12.56	72.01
4	1.24	9.51	81.52

表 4 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 4 Principal component eigenvectors and loading matrix

指标	主成分 1		主成分 2		主成分 3		主成分 4	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
x_1	0.20	0.43	-0.04	-0.06	0.31	0.40	0.50	0.55
x_2	0.16	0.34	0.25	0.43	0.36	0.46	0.19	0.22
x_3	0.34	0.73	-0.20	-0.35	-0.05	-0.07	-0.40	-0.44
x_4	0.27	0.57	0.27	0.47	-0.44	-0.56	-0.23	-0.25
x_5	-0.15	-0.33	0.31	0.54	-0.30	-0.39	0.04	0.05
x_6	0.30	0.66	-0.04	-0.07	0.45	0.58	-0.29	-0.32
x_7	0.09	0.20	0.44	0.78	0.33	0.42	0.12	0.13
x_8	0.29	0.63	0.17	0.30	0.21	0.27	-0.50	-0.55
x_9	-0.09	-0.20	0.52	0.90	-0.04	-0.05	-0.08	-0.09
x_{10}	-0.07	-0.14	0.48	0.84	-0.02	-0.03	0.00	0.00
x_{11}	0.41	0.89	0.07	0.12	-0.23	-0.30	0.17	0.19
x_{12}	0.42	0.92	0.00	0.00	-0.20	-0.26	0.24	0.27
x_{13}	0.42	0.91	-0.04	-0.07	-0.19	-0.25	0.26	0.29

2.3.2 15 个产区黑木耳营养品质综合评价

(1) 隶属函数:由表 5 可知,各产区黑木耳的 4 个主成分的隶属函数值不同,第 1 主成分的隶属函数值中江西的最大,说明第 1 主成分中江西产区表现出的品质最好,而甘肃产区表现出的品质最差;第 2 主成分的隶属函数值中黑龙江的最大,说明第 2 主成分中黑龙江产区表

现出的品质最好,而四川产区表现出的品质最差;第 3 主成分的隶属函数值中吉林的最大,说明第 3 主成分中吉林产区表现出的品质最好,而浙江产区表现出的品质最差;第 4 主成分的隶属函数值中吉林的最大,说明第 4 主成分中吉林产区表现出的品质最好,而辽宁产区表现出的品质最差。

表 5 综合指标值、权重、隶属函数值、D 值及排序

Table 5 Comprehensive index values, weightiness, subordinative function values and D values and quality rank

产区	综合指标值				隶属函数值				D 值	排序
	PC1	PC2	PC3	PC4	$U(X_1)$	$U(X_2)$	$U(X_3)$	$U(X_4)$		
黑龙江	0.73	0.61	1.15	-0.72	0.43	1.00	0.98	0.39	0.67	2
吉林	-0.79	0.99	1.23	1.52	0.02	1.18	1.00	1.00	0.62	5
辽宁	0.81	0.24	1.00	-2.12	0.45	0.82	0.93	0.00	0.58	6
新疆	-0.04	1.12	0.40	1.07	0.22	1.24	0.75	0.88	0.68	1
西藏	0.30	0.55	0.09	-1.44	0.32	0.97	0.66	0.19	0.54	8
内蒙古	-0.24	0.50	0.92	0.64	0.17	0.95	0.90	0.76	0.58	6
甘肃	-0.87	-1.36	-0.39	-0.50	0.00	0.06	0.51	0.45	0.15	15
河北	0.89	0.93	-1.57	0.76	0.48	1.15	0.15	0.79	0.66	3
陕西	-0.73	-0.61	0.70	0.13	0.04	0.42	0.84	0.62	0.34	11
湖北	-0.80	-0.45	0.63	0.21	0.02	0.49	0.82	0.64	0.35	10
浙江	-0.53	1.61	-2.07	-0.59	0.09	1.47	0.00	0.42	0.52	9
江西	2.84	-1.25	-0.17	1.11	1.00	0.11	0.57	0.89	0.66	3
四川	-0.83	-1.49	-0.59	0.49	0.01	0.00	0.45	0.72	0.16	14
云南	-0.33	-0.99	-0.44	-0.58	0.15	0.24	0.50	0.42	0.26	13
贵州	-0.42	-0.38	-0.89	0.01	0.12	0.53	0.36	0.59	0.33	12
指标权重					0.44	0.29	0.15	0.12		

(2) 各综合指标权重的确定:根据各主成分贡献率的大小,第 1 主成分的贡献率为 35.90%,第 2 主成分的贡献率为 23.55%,第 3 主成分的贡献率为 12.56%,第 4 主成分的贡献率为 9.51%,可用式(2)求出其权重。经计算,4 个主成分的权重分别为 0.44,0.29,0.15,0.12。

(3) 15 个产区黑木耳营养品质综合评价:根据式(3)计算各产区黑木耳品质综合评价即 D 值,根据 D 值大小可知,新疆、黑龙江、河北和江西的黑木耳品质较好,其 D 值分别为 0.68,0.67,0.66,0.66,四川和甘肃的黑木耳品质较差,其 D 值分别为 0.16,0.15。

2.3.3 15 个产区黑木耳营养品质聚类分析 采用组间联接法对表 5 中的 D 值进行聚类分析,建立了黑木耳营养品质聚类树状图(图 1)。由图 1 可知,聚类分析将黑木耳营养品质划分为四大类,其品质依次降低。第 I 类包括新疆、黑龙江、河北和江西;第 II 类包括吉林、内蒙古、辽宁、西藏和浙江;第 III 类包括湖北、陕西、贵州和云南;第 IV 类包括四川和甘肃。

3 结论

对市售 15 个产区黑木耳的 13 种营养成分进行了测

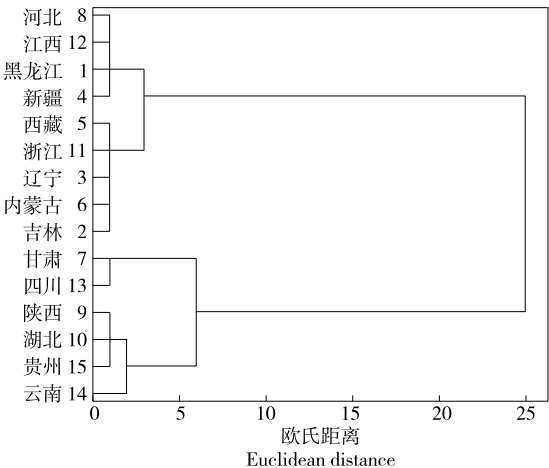


图 1 15 个产区黑木耳品质聚类图
Figure 1 Quality dendrogram of commercial *Auricularia auricular* from 15 production areas

定。结果表明,黑木耳产区对 13 种营养成分含量的影响顺序为锌>铁>钙>粗脂肪>粗多糖>总糖>膳食纤维>不饱和脂肪酸>总脂肪酸>必需氨基酸>粗蛋白>总氨基酸>灰分。主成分分析表明,从 13 种营养成分中提取出 4 个主成分,其累计贡献率达 81.52%,可较好反映出市售 15 个产区黑木耳营养品质的综合信息。铁、锌、总脂肪酸、粗多糖和灰分含量可以作为市售 15 个产区黑木耳营养综合评价的指标。根据各产区黑木耳品质综合评价 D 值可知,新疆、黑龙江、河北和江西的黑木耳品质较好,其 D 值分别为 0.68,0.67,0.66,0.66,四川和甘肃的黑木耳品质较差,其 D 值分别为 0.16,0.15。聚类分析将市售 15 个产区黑木耳营养品质划分为四大类,其品质依次降低。第 I 类包括新疆、黑龙江、河北和江西;第 II 类包括,吉林、内蒙古、辽宁、西藏和浙江;第 III 类包括湖北、陕西、贵州和云南;第 IV 类包括四川和甘肃。

参考文献

- [1] 杨波, 杨浪, 周建波. 黑木耳的生理活性及加工产品的研究进展[J]. 现代食品, 2020(8): 78-81.
- [2] 徐安然, 付永平, 王延锋, 等. 黑木耳部分种质资源 SSR 分子身份证的构建[J]. 农业生物技术学报, 2017, 25(12): 1 930-1 939.
- [3] 李江宇, 迟蔚, 刘斌, 等. 我国黑木耳产业经济发展现状及生产效益对比分析[J]. 食用菌, 2019, 41(6): 6-8, 10.
- [4] 冯小飞, 赵宁. 不同产地黑木耳总膳食纤维及油脂含量分析[J]. 黑龙江农业科学, 2016(2): 122-125.
- [5] YUAN Zuo-min, HE Pu-ming, CUI Jian-hui, et al. Hypoglycemic effect of water soluble polysaccharide from *Auricularia auricula-judae* Quel on genetically diabetic KK-Ay mice[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 1998, 62(10): 1 898-1 903.
- [6] 赵玉红, 林洋, 张智, 等. 碱溶酸沉法提取黑木耳蛋白质研究[J].

食品研究与开发, 2016, 37(16): 32-36.

- [7] XU Shu-qin, XU Xiao-juan, ZHANG Li-na. Branching structure and chain conformation of water soluble glucan extracted from *Auricularia auricula-judae*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(13): 3 498-3 506.
- [8] 刘文贺, 苏玲, 王琦. 不同产区黑木耳中营养成分比较分析[J]. 北方园艺, 2020(5): 121-128.
- [9] 王军鹏, 曹丽玲. 猪肉和牛肉中铁锌含量的研究[J]. 医学动物防制, 2011, 27(5): 488-490.
- [10] 王鹏, 郭丽, 姜喆, 等. 黑木耳中多糖和类黄酮的隔氧提取及其协同抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 54-58, 63.
- [11] 郭智高, 郑琪. 近年来黑木耳生理活性的研究进展[J]. 广东化工, 2018, 45(5): 167-168.
- [12] 赵玉红, 林洋, 张立钢, 等. 黑木耳多糖高剪切分散乳化法与酶法提取的比较研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 181-186.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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) [2021-01-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200427.1626.026.html>.
- [17] 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.
- [18] 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.

(上接第 52 页)

- [23] OKAFOR A C, NWOGUH T O. A study of viscosity and thermal conductivity of vegetable oils as base cutting fluids for minimum quantity lubrication machining of difficult-to-cut metals[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 106(3/4): 1 121-1 131.
- [24] 陈奇, 何理旭, 陈贤龙, 等. 一种基于 SVM 的新型地沟油检测

方法及检测装置: CN109871887A[P]. 2019-06-11.

- [25] GE Fen, WU Ning, XIAO Hao, et al. Compact convolutional neural network accelerator for IoT endpoint SoC[J]. Electronics, 2019, 8(5): 497-511.
- [26] CROCIONI G, PAU D, DELORME J M, et al. Li-Ion batteries parameter estimation with tiny neural networks embedded on intelligent IoT microcontrollers[J]. IEEE Access, 2020, 8: 122 135-122 146.

(上接第 182 页)

- [29] 李俊, 卢扬, 赵刚, 等. 苦苣芽苗茶饮料发酵前后营养、风味及抗氧化活性的变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 187-192.
- [30] QIN Zi-han, PETERSEN M A, BREDIE W L P. Flavor profiling of apple ciders from the UK and Scandinavian region[J]. Food Research International, 2018, 105: 713-723.
- [31] 沈菲儿. 乳酸菌发酵对莲藕泡菜质构和风味影响的研究[D].

扬州: 扬州大学, 2016: 36-44.

- [32] DI C R, FILANNINO P, GOBBETTI M. Lactic acid fermentation drives the optimal volatile flavor-aroma profile of pomegranate Juice[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 248: 56-62.
- [33] 雷文平, 周辉, 周杏荣, 等. SPME-GC-MS 结合组学技术分析发酵椰奶特征风味与风味物质相关性[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 42-47.