

# 不同产地黑木耳中氨基酸含量的测定及主成分分析

刘 炜<sup>1</sup>, 刘 行<sup>2</sup>, 杨晓凤<sup>1</sup>, 尹 全<sup>1</sup>, 张义蓉<sup>1</sup>, 刘 茜<sup>1</sup>, 张富丽<sup>1\*</sup>

(1. 四川省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 成都 610066;

2. 四川省农业科学院经济作物育种栽培研究所, 成都 610300)

**摘要:** **目的** 分析评价黑龙江、吉林、四川3个产地25批次黑木耳的氨基酸成分, 为黑木耳的开发利用提供参考依据。**方法** 参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》, 利用氨基酸自动分析仪测定黑木耳中氨基酸含量, 通过主成分分析进行数据处理。**结果** 不同产地黑木耳中均含有常见的17种氨基酸, 总氨基酸含量在7.02~9.45 g/100 g之间, 必需氨基酸占总氨基酸比例为36.2%~38.0%。不同产地间氨基酸种类无差异, 但含量差异较大, 各产地均以谷氨酸和天门冬氨酸含量为最高, 平均含量分别为1.06和0.99 g/100 g, 分别占总氨基酸含量的12.59%和11.64%。通过主成分分析提取了2个主成分, 累计方差贡献率达87.196%, 能较好地反映氨基酸的综合信息。依据各主成分得分值与方差贡献率建立综合评价模型, 3个产地黑木耳的氨基酸种类齐全且含量较高, 含量差异较大, 综合评价排在前5位的产地均为黑龙江, 其中最高得分为4.36, 并且显著高于其他产地黑木耳。**结论** 通过主成分分析法可用于区分不同产地黑木耳氨基酸差异, 可以为黑木耳中的氨基酸评价及资源的开发提供理论基础。

**关键词:** 黑木耳; 氨基酸; 测定; 主成分分析

## Determination of amino acid content and principal component analysis of *Auricularia auricula* from different regions

LIU Wei<sup>1</sup>, LIU Xing<sup>2</sup>, YANG Xiao-Feng<sup>1</sup>, YIN Quan<sup>1</sup>, ZHANG Yi-Rong<sup>1</sup>, LIU Qian<sup>1</sup>, ZHANG Fu-Li<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Quality Standard and Testing Technology Research, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 2. Economic Crops Research Institute Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610300, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the amino acid compositions of 25 batches of *Auricularia auricula* from Heilongjiang, Jilin and Sichuan, and provide references for the development and utilization of *Auricularia auricula*. **Methods** According to GB 5009.124—2016 National food safety standard-Determination of amino acids in foods, the amino acid content of *Auricularia auricula* was determined by automatic amino acid analyzer, and the data were processed by principal component analysis. **Results** *Auricularia auricula* from different origins all contained 17 kinds of common amino acids, with the total amino acid content ranging from 7.02 to 9.45 g/100 g, and the proportion of essential amino acids to the total amino acids ranging from 36.2% to 38.0%. There was no difference in amino acid types among different

基金项目: 四川省创新能力提升工程公益深化项目资助(2016GYSH-032)

**Fund:** Supported by the Public Welfare Deepening Project of Innovation Capacity Improvement Project of Sichuan Provincial Finance (2016GYSH-032)

\*通信作者: 张富丽, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量控制及安全评价。E-mail: 33780085@qq.com

\*Corresponding author: ZHANG Fu-Li, Ph.D., Associate Professor, Institute of Quality Standard and Testing Technology Research, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China. E-mail: 33780085@qq.com

regions, but the difference was significant, the glutamic acid and aspartic acid content in different regions were the highest, with the average content of 1.06 and 0.99 g/100 g, respectively, accounting for 12.59% and 11.64% of the total amino acid content, respectively. Two principal components were extracted by principal component analysis, and the cumulative variance contribution rate reached 87.196%, which could reflect the comprehensive information of amino acids well. A comprehensive evaluation model was established based on the score value of each principal component and the contribution rate of variance, the amino acids of *Auricularia auricula* from 3 kinds of regions were complete in type and high in content, and the content was significantly different, the top 5 regions for comprehensive evaluation were all Heilongjiang province, with the highest score of 4.36, which was significantly higher than that of *Auricularia auricula* from other regions.

**Conclusion** The principal component analysis can be used to distinguish the amino acid composition differences of *Auricularia auricula* from different producing areas, providing a theoretical basis for the amino acid evaluation and resource development in *Auricularia auricula*.

**KEY WORDS:** *Auricularia auricula*; amino acid; determination; principal component analysis

## 0 引 言

黑木耳(*Auricularia auricula*)别名木耳、木菌,是我国珍贵的可食用真菌,其营养丰富,味道鲜美,被誉为“素中之王”和“菌中瑰宝<sup>[1-2]</sup>”,富含蛋白质、氨基酸、糖类以及钙、磷、铁等人体所需的矿物质元素<sup>[3]</sup>,除此之外,其还含有丰富的植物化学活性物质,如多糖、多酚、黑色素等<sup>[4-5]</sup>,具有抗氧化、降血脂、抗肿瘤等作用<sup>[6-10]</sup>。河南、山东、福建、黑龙江、河北、吉林、江苏、四川、湖北、江西、辽宁等省为黑木耳主要生产区<sup>[11]</sup>,但因地域差异,其营养成分存在一定的差异性。

主成分分析(principal component analysis, PCA)是一种多元统计分析方法,通过降低数据维度,在损失较少原始数据信息的前提下将多个变量转化为几个不相关的综合变量,使变量之间的关系更加清晰<sup>[12-13]</sup>。目前,主成分分析是评价氨基酸品质的有效手段,已广泛应用于食品氨基酸品质综合评价,如金花茶<sup>[14]</sup>、桑叶<sup>[15]</sup>、百合<sup>[16]</sup>、辣椒<sup>[17]</sup>

等,较好地体现了不同产地、不同品种及部位的品质异。黑木耳的氨基酸成分受其生长环境条件、培养基质、采集部位等因素的影响,存在一定的差异性,目前针对不同地域黑木耳氨基酸品质差异的研究报道相对较少。本研究以黑龙江、吉林、四川 3 个产地 25 批次黑木耳为材料,参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,利用氨基酸自动分析仪测定黑木耳中氨基酸含量,通过主成分分析、皮尔逊相关性、主成分因子进行数据处理,对其中的氨基酸成分进行分析和对比,明确不同产地黑木耳氨基酸的品质差异,旨在通过分析和对比发掘优质黑木耳,为黑木耳资源的合理开发与利用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验材料来源于黑龙江、吉林、四川,共 25 批次黑木耳样品(见表 1)。

表 1 黑木耳样品信息  
Table 1 Information about the *Auricularia auricula*

材料编号	材料名称	材料来源	材料编号	材料名称	材料来源
1-HLJMD	无根肉厚黑木耳	黑龙江省牡丹江市	14-SCBZTJ	青杠黑木耳	四川省巴中市通江县
2-HLJMD	东北黑木耳	黑龙江省牡丹江市	15-SCBZTJ	青杠黑木耳	四川省巴中市通江县
3-HLJMD	无根黑木耳	黑龙江省牡丹江市	16-SCBZTJ	单片小木耳	四川省巴中市通江县
4-HLJMD	东北秋木耳	黑龙江省牡丹江市	17-SCBZTJ	青杠黑木耳	四川省巴中市通江县
5-HLJMD	秋木耳	黑龙江省牡丹江市	18-SCBZTJ	通江细木耳	四川省巴中市通江县
6-HLJMD	秋木耳	黑龙江省牡丹江市	19-SCGYQC	青川黑木耳	四川省广元市青川县
7-HLJQQHE	有机黑木耳	黑龙江省齐齐哈尔市	20-SCGYQC	青川有机黑木耳	四川省广元市青川县
8-HLJYCD	有机黑木耳	黑龙江省伊春市	21-SCGYQC	青川精品高山细木耳	四川省广元市青川县
9-JLBS	高钙富硒黑木耳	吉林省白山市	22-SCGYQC	青川精品高山细木耳	四川省广元市青川县
10-JLJHSD	特级黑山兔耳	吉林省蛟河市黄松甸镇	23-SCGYQC	青杠黑木耳	四川省广元市青川县
11-JLJHSD	东北黑木耳	吉林省蛟河市黄松甸镇	24-SCGYQC	椴木木耳	四川省广元市青川县
12-JLJHSD	秋木耳	吉林省蛟河市黄松甸镇	25-SCGYQC	青川精品高山细木耳	四川省广元市青川县
13-SCBZTJ	单片黑木耳	四川省巴中市通江县			

## 1.2 试剂与标准品

17 种氨基酸标准品: 缬氨酸(valine, Val)、蛋氨酸(methionine, Met)、异亮氨酸(i-isoleucine, Ile)、亮氨酸(leucine, Leu)、苯丙氨酸(phenylalanine, Phe)、赖氨酸(lysine, Lys)、苏氨酸(L-threonine, Thr)、组氨酸(histidine, His)、精氨酸(arginine, Arg)、脯氨酸(proline, Pro)、天门冬氨酸(aspartic acid, Asp)、丝氨酸(serine, Ser)、谷氨酸(glutamic acid, Glu)、甘氨酸(glycine, Gly)、丙氨酸(alanine, Ala)、酪氨酸(tyrosine, Tyr)、 $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)(纯度均大于 99.0%, 美国 Sigma 公司); 茛三酮(分析纯, 上海三爱思试剂有限公司); 盐酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

## 1.3 仪器与设备

S433D 氨基酸自动分析仪、cation separation Column LCA K06/Na 色谱柱(50 mm $\times$ 4.6 mm, 7  $\mu$ m)[德国(赛卡姆)Sykam 科学仪器有限公司]; TVE-1000 样品真空浓缩仪(东京理化器械株式会社); FW100 型高速万能粉碎机(北京市永光明医疗仪器有限公司); JA3003 分析天平(上海精密科学仪器有限公司); DHG-9245A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司)。

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 标准溶液的配制

分别称取 17 种氨基酸标准品适量, 用 0.1 mol/L HCl 溶液溶解, 配制成不同质量浓度的标准品储备液。临用时, 根据需要稀释配制不同质量浓度的标准品工作液。

### 1.4.2 样品前处理

参照 GB 5009.124—2016 将黑木耳样品去核烘干并且粉碎, 精确称取 0.1 g(精确至 1 mg)置于安培瓶里, 先加入 10 mL 6 mol/L 的 HCl, 充氮气后, 用酒精喷灯封瓶, 放入干燥箱(110 $\pm$ 2)  $^{\circ}$ C, 水解 24 h。冷却, 过滤后转移至 25 mL 容量瓶中, 定容至刻度, 摇匀, 过滤。取 1.0 mL 于 10 mL 浓缩仪专用试管中, 置于样品真空浓缩仪, 45  $^{\circ}$ C 条件下抽真空, 蒸干后加入 0.02 mol/L HCl 定容 2.0 mL, 混匀后, 过滤头备用, 待测。

### 1.4.3 氨基酸自动分析仪工作条件

采用氨基酸自动分析仪进行测定, 色谱柱: cation separation Column LCA K06/Na (50 mm $\times$ 4.6 mm, 7  $\mu$ m); 洗脱液流速 0.45 mL/min, 反应液流量 0.25 mL/min; 柱温: 57~74  $^{\circ}$ C, 反应温度: 130  $^{\circ}$ C; 检测波长 570、440 nm, 结果以峰面积计算, 采用外标法定量。

### 1.4.4 数据处理方法

实验重复测量 3 次, 所有数据均为 3 次平均值, 采用 Excel 软件对测定数据进行整理统计, 最终数据为平均值 $\pm$ 标准偏差。采用 SPSS 22.0 统计软件进行相关性分析、主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同产地黑木耳中氨基酸的组成和含量

由表 2 可知, 四川、黑龙江、吉林黑木耳均检测出 17 种氨基酸, 7 种必需氨基酸(essential amino acid, EAA)、2 种半必需氨基酸(semiessential amino acid, SEAA)、8 种非必需氨基酸(nonessential amino acid, NEAA), 氨基酸总量(total amino acids, TAAs)存在差异, 介于 7.02~9.45 g/100 g 之间, 黑龙江、吉林、四川的氨基酸总量平均值分别为 9.00、8.50、8.04 g/100 g。黑木耳所含氨基酸中含量最高的为 Glu, 占总氨基酸含量的 12.59%; 其次是 Asp, 占总氨基酸含量的 11.64%; 含量较低的氨基酸为 Met 和 GABA; Met 含量变异系数最高, 为 19.98%, Ala 含量变异系数最小, 为 7.62%。

3 个产地黑木耳中均含有 7 种必需氨基酸, 含量从低到高依次为 Met、Ile、Phe、Lys、Val、Thr、Leu, 不同产地黑木耳必需氨基酸与氨基酸总量的百分比为 36.21%~37.67%, 平均值为 37.10%, 与联合国粮食及农业组织/世界卫生组织标准中对氨基酸理想模式的规定必需氨基酸与氨基酸总量比值为 40%有一定差距, 表现为黑木耳营养价值不够均衡<sup>[18]</sup>。必需氨基酸与氨基酸总量的百分比差异不明显, 说明不同产地黑木耳的氨基酸组成比例较相似, 均以 Leu 含量最高, Met 含量最低, 含量最高的 Leu 占氨基酸总量的 8.56%, Met 含量最低, 占总量的 1.14%。

表 2 不同产地黑木耳中氨基酸含量(g/100 g, n=3)  
Table 2 Amino acid content of *Auricularia auricular* from different regions (g/100 g, n=3)

材料编号	Val	Met	Ile	Leu	Phe	Lys	Thr	His	Arg	Pro
1-HLJMD	0.56 $\pm$ 0.01	0.09 $\pm$ 0.00	0.40 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.02	0.51 $\pm$ 0.02	0.56 $\pm$ 0.01	0.58 $\pm$ 0.00	0.32 $\pm$ 0.01	0.54 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.00
2-HLJMD	0.55 $\pm$ 0.00	0.15 $\pm$ 0.00	0.39 $\pm$ 0.01	0.79 $\pm$ 0.00	0.47 $\pm$ 0.01	0.57 $\pm$ 0.01	0.60 $\pm$ 0.020	0.33 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.01	0.46 $\pm$ 0.00
3-HLJMD	0.54 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.00	0.40 $\pm$ 0.01	0.79 $\pm$ 0.03	0.47 $\pm$ 0.02	0.58 $\pm$ 0.03	0.55 $\pm$ 0.00	0.34 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.04	0.47 $\pm$ 0.04
4-HLJMD	0.55 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.00	0.37 $\pm$ 0.00	0.79 $\pm$ 0.00	0.49 $\pm$ 0.00	0.51 $\pm$ 0.02	0.62 $\pm$ 0.00	0.37 $\pm$ 0.01	0.54 $\pm$ 0.00	0.49 $\pm$ 0.02
5-HLJMD	0.49 $\pm$ 0.00	0.12 $\pm$ 0.00	0.34 $\pm$ 0.00	0.70 $\pm$ 0.01	0.44 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.00	0.54 $\pm$ 0.00	0.28 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.00	0.45 $\pm$ 0.01
6-HLJMD	0.47 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.00	0.33 $\pm$ 0.01	0.67 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.02	0.46 $\pm$ 0.01	0.50 $\pm$ 0.01	0.26 $\pm$ 0.05	0.45 $\pm$ 0.03	0.37 $\pm$ 0.01
7-HLJQHE	0.55 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.00	0.39 $\pm$ 0.01	0.80 $\pm$ 0.03	0.52 $\pm$ 0.01	0.52 $\pm$ 0.03	0.60 $\pm$ 0.00	0.34 $\pm$ 0.02	0.52 $\pm$ 0.03	0.52 $\pm$ 0.01

表 2(续)

材料编号	Val	Met	Ile	Leu	Phe	Lys	Thr	His	Arg	Pro
8-HLJYCD	0.51±0.01	0.12±0.00	0.35±0.00	0.74±0.01	0.44±0.00	0.50±0.02	0.55±0.00	0.29±0.01	0.46±0.01	0.45±0.01
9-JLBS	0.55±0.01	0.08±0.00	0.38±0.01	0.78±0.03	0.47±0.00	0.52±0.01	0.57±0.01	0.24±0.01	0.51±0.00	0.46±0.05
10-JLJHSD	0.49±0.01	0.10±0.00	0.35±0.01	0.72±0.02	0.45±0.01	0.46±0.02	0.56±0.00	0.30±0.01	0.47±0.01	0.45±0.01
11-JLJHSD	0.51±0.01	0.10±0.00	0.37±0.01	0.74±0.02	0.47±0.03	0.49±0.04	0.58±0.00	0.30±0.02	0.48±0.01	0.45±0.02
12-JLJHSD	0.46±0.02	0.09±0.00	0.32±0.01	0.66±0.03	0.42±0.02	0.43±0.01	0.51±0.01	0.28±0.03	0.42±0.02	0.40±0.03
13-SCBZTJ	0.44±0.02	0.11±0.00	0.31±0.00	0.65±0.02	0.37±0.02	0.38±0.02	0.50±0.01	0.27±0.00	0.40±0.02	0.39±0.01
14-SCBZTJ	0.50±0.00	0.09±0.00	0.35±0.01	0.73±0.00	0.46±0.02	0.47±0.00	0.55±0.00	0.31±0.01	0.47±0.01	0.45±0.00
15-SCBZTJ	0.45±0.01	0.07±0.00	0.31±0.00	0.63±0.02	0.44±0.04	0.40±0.03	0.51±0.00	0.35±0.05	0.41±0.00	0.41±0.00
16-SCBZTJ	0.50±0.01	0.10±0.00	0.34±0.01	0.72±0.01	0.44±0.01	0.45±0.00	0.57±0.02	0.33±0.02	0.46±0.00	0.41±0.02
17-SCBZTJ	0.47±0.00	0.10±0.00	0.32±0.00	0.68±0.00	0.43±0.02	0.43±0.01	0.51±0.00	0.28±0.00	0.44±0.01	0.40±0.03
18-SCBZTJ	0.50±0.01	0.10±0.00	0.35±0.00	0.72±0.01	0.43±0.00	0.50±0.00	0.53±0.01	0.27±0.00	0.46±0.00	0.46±0.00
19-SCGYQC	0.53±0.01	0.10±0.00	0.38±0.01	0.76±0.01	0.45±0.03	0.50±0.03	0.55±0.00	0.31±0.01	0.47±0.03	0.44±0.02
20-SCGYQC	0.43±0.01	0.08±0.00	0.30±0.01	0.62±0.02	0.37±0.01	0.38±0.02	0.46±0.00	0.25±0.01	0.37±0.02	0.37±0.01
21-SCGYQC	0.48±0.00	0.07±0.00	0.33±0.00	0.70±0.00	0.44±0.00	0.42±0.02	0.51±0.01	0.28±0.00	0.42±0.00	0.43±0.00
22-SCGYQC	0.50±0.02	0.08±0.00	0.35±0.01	0.73±0.02	0.46±0.00	0.45±0.00	0.53±0.01	0.31±0.01	0.44±0.00	0.43±0.03
23-SCGYQC	0.53±0.02	0.09±0.00	0.38±0.01	0.78±0.01	0.47±0.01	0.52±0.02	0.56±0.01	0.30±0.02	0.51±0.02	0.48±0.00
24-SCGYQC	0.48±0.00	0.10±0.00	0.35±0.00	0.69±0.00	0.42±0.01	0.45±0.00	0.50±0.01	0.28±0.01	0.44±0.01	0.44±0.01
25-SCGYQC	0.42±0.02	0.06±0.00	0.29±0.01	0.61±0.02	0.38±0.02	0.39±0.02	0.46±0.02	0.25±0.01	0.36±0.03	0.38±0.01
平均值	0.50	0.10	0.35	0.72	0.45	0.47	0.54	0.30	0.46	0.44
变异系数/%	8.08	19.98	9.00	8.19	8.38	11.98	7.67	11.28	11.10	8.72
材料编号	Asp	Ser	Glu	Gly	Ala	Tyr	GABA	EAA	TAA	EAA/TAA/%
1-HLJMD	1.08±0.01	0.53±0.00	1.17±0.00	0.52±0.00	0.79±0.00	0.29±0.01	0.12±0.00	3.51	9.34	37.58
2-HLJMD	1.10±0.05	0.57±0.04	1.19±0.00	0.52±0.00	0.78±0.00	0.25±0.03	0.11±0.00	3.52	9.36	37.61
3-HLJMD	1.05±0.03	0.55±0.01	1.19±0.00	0.51±0.00	0.78±0.00	0.26±0.01	0.12±0.00	3.45	9.27	37.22
4-HLJMD	1.11±0.01	0.56±0.00	1.18±0.00	0.50±0.00	0.83±0.00	0.30±0.02	0.14±0.00	3.43	9.45	36.30
5-HLJMD	0.98±0.00	0.50±0.01	1.22±0.00	0.45±0.00	0.73±0.00	0.25±0.00	0.13±0.00	3.10	8.56	36.21
6-HLJMD	0.94±0.03	0.48±0.01	1.07±0.00	0.44±0.00	0.67±0.00	0.24±0.00	0.10±0.00	2.96	7.98	37.09
7-HLJQQHE	1.12±0.06	0.52±0.00	1.15±0.00	0.51±0.00	0.82±0.00	0.29±0.00	0.13±0.00	3.50	9.42	37.15
8-HLJYCD	1.02±0.04	0.51±0.01	1.11±0.00	0.46±0.00	0.73±0.00	0.26±0.00	0.12±0.00	3.21	8.62	37.24
9-JLBS	1.06±0.02	0.51±0.00	1.15±0.00	0.51±0.00	0.77±0.00	0.28±0.01	0.12±0.00	3.35	8.96	37.39
10-JLJHSD	0.98±0.00	0.48±0.01	1.04±0.00	0.46±0.00	0.74±0.00	0.26±0.01	0.13±0.00	3.13	8.44	37.09
11-JLJHSD	1.04±0.05	0.53±0.02	1.12±0.00	0.48±0.00	0.76±0.00	0.27±0.02	0.11±0.00	3.26	8.80	37.05
12-JLJHSD	0.91±0.04	0.44±0.02	0.97±0.00	0.42±0.00	0.69±0.00	0.25±0.01	0.11±0.00	2.89	7.78	37.15
13-SCBZTJ	0.87±0.04	0.43±0.00	0.94±0.00	0.41±0.00	0.66±0.00	0.23±0.01	0.09±0.00	2.76	7.45	37.05
14-SCBZTJ	1.01±0.01	0.51±0.01	1.07±0.00	0.47±0.00	0.75±0.00	0.27±0.01	0.13±0.00	3.15	8.59	36.67
15-SCBZTJ	0.91±0.01	0.44±0.00	0.95±0.00	0.42±0.00	0.67±0.00	0.25±0.01	0.11±0.00	2.81	7.73	36.35
16-SCBZTJ	1.03±0.07	0.51±0.03	1.07±0.00	0.46±0.00	0.75±0.00	0.26±0.01	0.11±0.00	3.12	8.51	36.66
17-SCBZTJ	0.92±0.00	0.45±0.00	0.98±0.00	0.43±0.00	0.68±0.00	0.24±0.00	0.12±0.00	2.94	7.88	37.31
18-SCBZTJ	1.01±0.03	0.50±0.00	1.07±0.00	0.46±0.00	0.73±0.00	0.24±0.00	0.11±0.00	3.13	8.44	37.09
19-SCGYQC	1.00±0.02	0.5±0.01	1.08±0.00	0.50±0.00	0.74±0.00	0.25±0.04	0.12±0.00	3.27	8.68	37.67
20-SCGYQC	0.85±0.02	0.42±0.01	0.89±0.00	0.40±0.00	0.63±0.00	0.21±0.00	0.09±0.00	2.64	7.12	37.08
21-SCGYQC	0.94±0.01	0.44±0.00	0.99±0.00	0.45±0.00	0.70±0.00	0.24±0.01	0.11±0.00	2.95	7.95	37.11
22-SCGYQC	0.98±0.03	0.46±0.01	1.03±0.00	0.46±0.00	0.73±0.00	0.26±0.01	0.11±0.00	3.10	8.31	37.30
23-SCGYQC	1.02±0.04	0.53±0.02	1.10±0.00	0.50±0.00	0.76±0.00	0.28±0.02	0.11±0.00	3.33	8.92	37.33
24-SCGYQC	0.92±0.02	0.43±0.00	1.00±0.00	0.46±0.00	0.67±0.00	0.23±0.01	0.10±0.00	2.99	7.96	37.56
25-SCGYQC	0.83±0.04	0.40±0.02	0.87±0.00	0.39±0.00	0.62±0.00	0.21±0.00	0.10±0.00	2.61	7.02	37.18
平均值	0.99	0.49	1.06	0.46	0.73	0.25	0.11	3.12	8.42	37.10
变异系数/%	8.12	9.61	9.12	8.28	7.62	9.00	11.04	8.48	8.32	1.05

2.2 不同产地黑木耳氨基酸相关性分析

在进行主成分分析之前,需对所获数据进行适应性检验,本研究对不同产地的 25 批次黑木耳的 17 种氨基酸成分进行相关性分析,相关系数矩阵见表 3,氨基酸之间均有正相关性,共有 136 个相关系数,存在显著相关性 ( $P<0.05$ ) 的有 8 个,存在极显著相关性 ( $P<0.01$ ) 的有 123 个,其中 Arg 与 Val、Met、Ile、Leu、Phe、Lys、

Thr、His 间的相关性达极显著水平 ( $P<0.01$ ); Ser 与 Val、Met、Ile、Leu、Phe、Lys、Thr、His、Arg、Pro、Asp 间的相关性达极显著水平 ( $P<0.01$ ); Asp 与 Val、Met、Ile、Leu、Phe、Lys、Thr、His、Arg、Pro 间的相关性达极显著水平 ( $P<0.01$ ); 大部分氨基酸间的相关系数在 0.6 以上,整体表明各氨基酸间的相关性较强,可用主成分分析对其进行综合分析<sup>[19]</sup>。

表3 氨基酸种类间相关性分析  
Table 3 Correlation analysis of amino acid types

FAA	Val	Met	Ile	Leu	Phe	Lys	Thr	His	Arg	Pro	Asp	Ser	Glu	Gly	Ala	Tyr	GABA
Val	1.000																
Met	0.450*	1.000															
Ile	0.966**	0.480*	1.000														
Leu	0.989**	0.455*	0.969**	1.000													
Phe	0.901**	0.277	0.862**	0.891**	1.000												
Lys	0.932**	0.561**	0.949**	0.925**	0.801**	1.000											
Thr	0.901**	0.493*	0.830**	0.893**	0.876**	0.787**	1.000										
His	0.533**	0.297	0.500*	0.529**	0.662**	0.451*	0.668**	1.000									
Arg	0.954**	0.541**	0.941**	0.948**	0.877**	0.944**	0.889**	0.577**	1.000								
Pro	0.865**	0.372	0.850**	0.879**	0.863**	0.793**	0.831**	0.554**	0.840**	1.000							
Asp	0.960**	0.509**	0.902**	0.948**	0.908**	0.888**	0.959**	0.611**	0.935**	0.865**	1.000						
Ser	0.898**	0.603**	0.863**	0.890**	0.789**	0.906**	0.905**	0.582**	0.932**	0.761**	0.937**	1.000					
Glu	0.885**	0.629**	0.854**	0.863**	0.790**	0.890**	0.844**	0.462*	0.921**	0.776**	0.899**	0.920**	1.000				
Gly	0.985**	0.448*	0.986**	0.978**	0.882**	0.934**	0.867**	0.521**	0.946**	0.852**	0.928**	0.879**	0.859**	1.000			
Ala	0.944**	0.440*	0.888**	0.946**	0.918**	0.846**	0.965**	0.655**	0.931**	0.893**	0.976**	0.910**	0.872**	0.910**	1.000		
Tyr	0.834**	0.199	0.756**	0.830**	0.909**	0.684**	0.886**	0.616**	0.828**	0.797**	0.860**	0.768**	0.740**	0.784**	0.906**	1.000	
GABA	0.638**	0.237	0.536**	0.627**	0.735**	0.536**	0.711**	0.537**	0.659**	0.710**	0.677**	0.607**	0.662**	0.573**	0.746**	0.739**	1.000

注: 相关性为 Pearson 类型; \*显著相关( $P < 0.05$ ); \*\*极显著相关( $P < 0.01$ )。

### 2.3 不同产地黑木耳氨基酸主成分分析及综合评价

对不同产地黑木耳的 17 种氨基酸含量指标进行主成分分析, 结果表明(表 4), 依据主成分初始特征值均大于 1 提取 2 个主成分, 其特征值分别为 13.654 和 1.179, 其中主成分 1 贡献率最大, 为 80.262%, 表明主成分 1 对黑木耳品质的影响最大, 累计方差贡献率为 87.196%, 基本反映了所有变量的初始信息, 能较完整体现不同产地黑木耳 17 种氨基酸含量指标间的关系, 选用 2 个主成分作为数据分析的有效成分。

根据主成分性质计算主成分载荷矩阵, 因子载荷值反映了原变量对因子影响的大小, 正负代表变化方向的差别, 载荷值的绝对值越大表明该氨基酸对主成分影响越大, 正号表示对主成分正向影响, 负号表示对主成分负向影响。前 2 个主成分的特征向量与载荷矩阵如表 5, 17 种氨基酸有较高载荷系数, 为 0.512~0.980, 均为正向影响, 说明主成分 1 大时, 这些氨基酸含量也高。主成分 2 中 Glu、Lys、Met 载荷值较高, 分别为 0.216、0.269、0.680。提取 2 个主成分可以基本反映全部指标的信息, 因此决定用 2 个新变量来代替原来的 17 个变量。

以测得的 17 种氨基酸指标为初始自变量, 经主成分

分析计算因子得分并排名, 根据因子得分系数矩阵, 每个主成分的特征值与所提取主成分总的特征值之和的比例, 以此作为权重, 最后得出主成分综合得分模型:  $F=0.80262F_1+0.069341F_2$ , 根据该模型计算出不同搭架方式的综合总得分, 分值越高, 说明该产地黑木耳氨基酸品质越好<sup>[20]</sup>。由表 6 可知, 不同产地黑木耳中  $F$  值为 -5.97~4.36, 表明不同产地黑木耳氨基酸含量差异明显, 黑龙江黑木耳的综合评价得分较高, 其中最高 4.36, 并且高于其他产地黑木耳, 说明其氨基酸综合质量较高, 四川黑木耳的综合评价得分最低为 -5.97, 其综合质量较低。不同产地的黑木耳, 由于其生长环境、气候、栽培技术等差异, 导致了氨基酸品质的差异, PCA 结果可以较好地体现不同产地黑木耳氨基酸的差异性, 可以为黑木耳氨基酸营养价值的评价提供一定参考依据。

### 3 结 论

黑木耳品质是决定其市场竞争力的重要因素, 随着人们对自身健康的日益关注及经济的发展, 富含氨基酸的黑木耳势必将成为消费者的首选。对不同产地黑木耳氨基酸进行分析, 能更好地了解黑木耳品质特性。

表 4 主成分的初始特征值及累积方差贡献率

Table 4 Initial eigenvalues and cumulative variance contribution of principal components

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积/%	总计	方差百分比	累积/%
1	13.645	80.262	80.262	13.645	80.262	80.262
2	1.179	6.934	87.196	1.179	6.934	87.196
3	0.768	4.515	91.712			
4	0.490	2.884	94.596			
5	0.269	1.581	96.177			
6	0.203	1.196	97.374			
7	0.116	0.681	98.055			
8	0.104	0.611	98.666			
9	0.073	0.429	99.095			
10	0.054	0.320	99.414			
11	0.030	0.178	99.592			
12	0.023	0.133	99.725			
13	0.018	0.105	99.830			
14	0.015	0.090	99.920			
15	0.009	0.056	99.975			
16	0.003	0.015	99.990			
17	0.002	0.010	100.000			

表5 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 5 Principal component eigenvectors and loading matrix

氨基酸种类	因子载荷值	
	$F_1$	$F_2$
	得分	排序
Val	0.976	0.047
Met	0.512	0.680
Ile	0.943	0.147
Leu	0.971	0.050
Phe	0.928	-0.264
Lys	0.920	0.269
Thr	0.947	-0.088
His	0.633	-0.344
Arg	0.973	0.099
Pro	0.897	-0.132
Asp	0.980	0.009
Ser	0.937	0.176
Glu	0.918	0.216
Gly	0.957	0.093
Ala	0.979	-0.112
Tyr	0.875	-0.368
GABA	0.719	-0.400

表6 黑木耳氨基酸主成分得分和综合得分

Table 6 Component scores and comprehensive scores of amino acids in *Auricularia auricula*

编号	$F_1$		$F_2$		$F$	
	得分	排序	得分	排序	得分	排序
	1-HLJMD	4.88	3	-0.49	17	3.88
2-HLJMD	4.63	4	2.63	1	3.9	3
3-HLJMD	4.29	5	1.21	3	3.53	5
4-HLJMD	5.58	1	-1.77	24	4.36	1
5-HLJMD	0.46	12	0.72	8	0.42	12
6-HLJMD	-2.63	19	1.61	2	-2	18
7-HLJQHE	5.5	2	-0.7	19	4.36	2
8-HLJYCD	0.97	11	0.8	7	0.84	10
9-JLBS	2.83	6	-0.05	12	2.27	6
10-JLJHSD	0.39	13	-0.78	20	0.26	13
11-JLJHSD	1.93	8	0.12	11	1.56	8
12-JLJHSD	-3.25	21	-0.45	16	-2.64	21
13-SCBZTJ	-5.19	23	1.14	4	-4.09	23

表6(续)

编号	$F_1$		$F_2$		$F$	
	得分	排序	得分	排序	得分	排序
14-SCBZTJ	1.09	10	-1.15	23	0.79	11
15-SCBZTJ	-3.46	22	-2.16	25	-2.92	22
16-SCBZTJ	0.33	14	-0.25	15	0.25	14
17-SCBZTJ	-2.68	20	-0.18	14	-2.17	20
18-SCBZTJ	-0.10	15	0.87	5	-0.02	15
19-SCGYQC	1.47	9	0.25	10	1.20	9
20-SCGYQC	-6.98	24	0.57	9	-5.57	24
21-SCGYQC	-2.43	18	-1.02	21	-2.02	19
22-SCGYQC	-0.52	16	-1.02	22	-0.49	16
23-SCGYQC	2.71	7	-0.11	13	2.17	7
24-SCGYQC	-2.42	17	0.81	6	-1.89	17
25-SCGYQC	-7.39	25	-0.62	18	-5.97	25

本研究利用氨基酸自动分析仪对3个产地25个黑木耳中的氨基酸含量进行测定,检测出17种氨基酸。采用多元统计分析方法进行主成分分析,并从中提取了2个主成分,能反映黑木耳所有氨基酸的大部分信息,以方差贡献率为权重,依据各主成分得分值与方差贡献率建立综合评价模型,计算得到不同产地黑木耳氨基酸综合评价得分,综合得分的排名表明了黑木耳氨基酸综合质量的排名。最终得出,3个产地黑木耳中氨基酸综合评价得分排序为黑龙江>吉林>四川,此差异可能受到种植区域环境(土壤、气温)及栽培技术等因素的影响。采用主成分分析法可用于区分不同产地黑木耳氨基酸差异,可以为黑木耳中的氨基酸评价及资源的开发提供理论基础。

#### 参考文献

- [1] 杨德,薛淑静,邱建辉,等.辐照对黑木耳品质影响[J].食用菌学报,2020,27(3):77-83.  
YANG D, XUE SJ, QIU JH, et al. Effect of irradiation on *Auricularia heimuer* quality [J]. Acta Edulis Fungi, 2020, 27(3): 77-83.
- [2] 李定金,段秋霞,段振华,等.黑木耳功能性成分及其干燥技术研究进展[J].保鲜与加工,2020,20(6):233-237.  
LI DJ, DUAN QX, DUAN ZH, et al. Research progress in functional components and drying technology of *Auricularia auricular* [J]. Storage Process, 2020, 20(6): 233-237.
- [3] 翁丽萍,王贤波,姜慧燕,等.不同粒径粉碎处理对黑木耳粉品质的影响[J].食品工业,2020,41(7):326-329.  
WENG LP, WANG XB, JIANG HY, et al. Effects of different particle size pulverization on quality of *Auricularia auricular* [J]. Food Ind, 2020, 41(7): 326-329.
- [4] 陈钢,籍保平,黄立山,等.黑木耳中多酚化合物微波提取工艺[J].食品科学,2010,31(24):210-213.

- CHEN G, JI BP, HUANG LS, *et al.* Microwave-assisted extraction of polyphenols from *Auricularia auricular* [J]. *Food Sci*, 2010, 31(24): 210–213.
- [5] 邹宇, 尹冬梅, 江洁, 等. 黑木耳黑色素组分分析及其抗氧化活性研究[J]. *食品科学*, 2013, 34(23): 138–141.
- ZOU Y, YIN DM, GANG J, *et al.* Composition analysis and antioxidant activity of *Auricularia auricular* melanin [J]. *Food Sci*, 2013, 34(23): 138–141.
- [6] LUO Y, CHEN G, LI B, *et al.* Evaluation of antioxidative and hypolipidemic properties of a novel functional diet formulation of *Auricularia auricular* and *Hawthorn* [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2008, 10(2): 215–221.
- [7] MA Y, WANG C, ZHANG Q, *et al.* The effects of polysaccharides from *Auricularia auricular* (Huaier) in adjuvant anti-gastrointestinal cancer therapy: A systematic review and network meta-analysis [J]. *Pharmacol Res*, 2018, 132: 80–89.
- [8] 苏伟, 简素平, 陈刚, 等. 不同地区黑木耳多酚提取及抗氧化活性的研究[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(9): 14–18.
- SU W, JIAN SP, CHEN G, *et al.* Extraction and antioxidant activity of polyphenols from *Auricularia auricular* from different regions [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(9): 14–18.
- [9] 樊梓鸾, 林秀芳, 王振宇. 黑木耳多糖与浆果多酚的协同抗氧化研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(12): 166–171, 55.
- FAN ZL, LIN XF, WANG ZY. Synergistic antioxidative effect of berry polyphenols with *Auricularia auricular* polysaccharides [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(12): 166–171, 55.
- [10] 刘鑫, 袁源, 侯若琳, 等. 毛木耳黑色素提取条件优化及体外抗氧化活性研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2019, 31(10): 688–1696, 1752.
- LIU X, YUAN Y, HOU RL, *et al.* Optimization of extraction conditions of melanin from *Auricularia auricular* polysaccharides and its antioxidant activities *in vitro* [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2019, 31(10): 1688–1696, 1752.
- [11] 赵春艳, 陈旭, 董娇, 等. 2015 年~2018 年我国食用菌产量和品种概况分析[J]. *中国食用菌*, 2021, 40(2): 101–105.
- ZHAO CY, CHEN X, DONG J, *et al.* Analysis on Chinese edible fungi yield and varieties distribution from 2015 to 2018 [J]. *Edible Fungi China*, 2021, 40(2): 101–105.
- [12] 武琳霞, 李玲, 张国光, 等. 基于主成分及聚类分析的不同产地冬枣品质特性分析[J/OL]. *食品科学*: 1-11. [2021-06-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210413.1535.026.html>
- WU LX, LI L, ZHANG GG, *et al.* Analysis on quality characteristics of winter jujube from different regions based on principal component analysis and cluster analysis [J/OL]. *Food Sci*: 1-11. [2021-06-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210413.1535.026.html>
- [13] 李璐, 李丹凤. 胖大海中氨基酸的含量测定及多元化统计分析[J]. *食品科技*, 2020, 45(6): 352–360.
- LI L, LI DF. Determination and diversification of amino acids in *Scaphium wallichii* Schott & Endl [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(6): 352–360.
- [14] 李先民, 李春牛, 卜朝阳, 等. 6 种金花茶组植物花朵的氨基酸成分分析及其营养价值评价[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(9): 2062–2068.
- LI XM, LI CN, BU ZY, *et al.* Analysis of amino acids composition and evaluation of nutritional value in flowers of 6 species of *Camellia nitidissima* C.W. Chi [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2020, 33(9): 2062–2068.
- [15] 陆城宇, 李俊松, 狄留庆, 等. 不同产地桑叶氨基酸、核苷、生物碱成分的含量测定及多元统计分析[J]. *中国现代应用药学*, 2020, 37(9): 1052–1057.
- LU CY, LI JS, DI LQ, *et al.* Determination and multivariate statistical analysis of amino acids, nucleosides and alkaloid in mulberry leaves from different origins [J]. *Chin J Mod Appl Pharm*, 2020, 37(9): 1052–1057.
- [16] 王馨雨, 王蓉蓉, 王婷, 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 XY, WANG RR, WANG T, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis for evaluating the free amino acid composition of inner and outer lily bulb scales from different cultivars [J]. *Food Sci*, 2020, 41(12): 211–220.
- [17] 葛帅, 王蓉蓉, 王颖瑞, 等. 湖南常见辣椒品种游离氨基酸主成分分析及综合评价[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(2): 91–102.
- GE S, WANG RR, WANG YR, *et al.* Principal component analysis and comprehensive evaluation of free amino acid in different varieties of peppers in Hunan [J]. *J Food Sci Technol*, 2021, 39(2): 91–102.
- [18] 黄小兰, 何旭峰, 杨勤, 等. 不同产地地参中 17 种氨基酸的测定与分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 255–261.
- HUANG XL, HE XF, YANG Q, *et al.* Determination of 17 amino acids in the dried rhizome of *Lycopus lucidus* Turcz from different regions [J]. *Food Sci*, 2021, 42(2): 255–261.
- [19] 葛帅, 王蓉蓉, 王颖瑞, 等. 市售沙拉酱游离氨基酸组成的主成分分析与层次聚类分析[J]. *食品与发酵工业*: 1-11. [2021-06-03]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025841>
- GE S, WANG RR, WANG YR, *et al.* Principal component analysis and comprehensive evaluation of free amino acid in different varieties of peppers in Hunan [J]. *J Food Ferment Ind*: 1-11. [2021-06-03]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025841>
- [20] 张丽敏, 彭熙, 蔡国俊, 等. 不同搭架方式百香果营养成分分析及综合评价[J]. *食品工业科技*: 1-14. [2021-06-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.ts.20210602.0824.002.html>
- ZHANG LM, PENG X, CAI GJ, *et al.* Comprehensive evaluation and analysis of passion fruit in different frame modes [J]. *Sci Technol Food Ind*: 1-14. [2021-06-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.ts.20210602.0824.002.html>

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

## 作者简介



刘 炜, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品质量控制及安全评价。  
E-mail: 735265755@qq.com



张富丽, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量控制及安全评价。  
E-mail: 33780085@qq.com