

4个产区黑木耳营养品质分析

李通¹, 余康宁², 王晓巍¹, 杨建杰¹, 刘明军¹, 伏晓辉³

(1. 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省小陇山林业保护中心云坪林场, 甘肃 天水 741000; 3. 天水红崖河菌业种植有限公司, 甘肃 天水 741000)

摘要: 通过探索不同产区黑木耳(*Auricularia auricula*)中常规营养物质、微量元素、氨基酸之间差异, 为黑木耳营养品质分析提供一定的技术参考。以黑木耳品种黑威15号为研究对象, 采用单因素方差分析、相关性分析和NMDS分析的方法, 对延吉市、牡丹江市、柞水县、卓尼县4个产区黑木耳中的营养物质进行分析。结果表明, 延吉市黑木耳中粗脂肪、粗纤维、粗多糖钾、铜、钙含量最高, 均显著高于其他3个产区; 牡丹江市黑木耳中镁、锰、铁含量均显著高于其他3个产区; 柞水县黑木耳中锌、维生素B₂含量显著高于其他3个产区; 卓尼县黑木耳中的灰分、粗蛋白、总氨基酸含量均显著高于其他3个产区。黑木耳中均测定出18种氨基酸, 包括8种人体必需氨基酸及10种非必需氨基酸, 其中谷氨酸含量最高, 天冬氨酸含量次之, 甲硫氨酸含量最少。经氨基酸含量对比分析, 呈味氨基酸均表现为鲜味氨基酸含量最高、甜味氨基酸次之、苦味氨基酸含量最少, 且苏氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸表现过剩, 甲硫氨酸+半胱氨酸为限制氨基酸。4个产区的黑木耳均表现为鲜甜味, 均可作为药食兼用的食用菌。通过Pearson相关性和NMDS分析发现, 4个产区的黑木耳中常规营养物质与微量元素和氨基酸均存在不同程度的相关性, 其中延吉市黑木耳中的营养最丰富, 卓尼县黑木耳次之, 柞水县黑木耳最差。

关键词: 不同产区; 黑木耳; 营养物质; 品质分析; 相关性; NMDS分析

中图分类号: S646.6

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)02-0140-08

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.02.008

Nutritional Quality Analysis of *Auricularia auricula* in 4 Producing Areas

LI Tong¹, YU Kangning², WANG Xiaowei¹, YANG Jianjie¹, LIU Mingjun¹, FU Xiaohui³

(1. Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Yunping Forest Farm of Xiaolongshan Forestry Protection Centre, Tianshui Gansu 741000, China; 3. Tianshui Hongyahe Fungal Planting Co., Ltd., Tianshui Gansu 741000, China)

Abstract: In order to explore the differences of conventional nutrients, trace elements and amino acids in *Auricularia auricula* from different producing areas so as to provide technical reference for the nutritional quality analysis of *A. auricula*, the nutrients in *A. auricula* variety Heiwei 15 from four different producing areas, Yanji City, Mudanjiang City, Zhashui County, and Zhuoni County, were analyzed by single factor analysis of variance, correlation analysis and NMDS analysis. Results showed that contents of ether extract, crude fiber, crude polysaccharide, potassium, copper and calcium in Yanji *A. auricula* were the highest, and their contents were significantly higher than those in the other three producing areas. Contents of magnesium, manganese and iron in Mudanjiang *A. auricula* were significantly higher than those in the other three producing areas. Contents of zinc and vitamin B₂ in Zhashui *A. auricula* were significantly higher than those in the other three producing areas. Contents of ash, crude protein and total amino acid in Zhuoni *A. auricula* were significantly higher than those in the other three producing areas. 18 amino acids were measured in *A. auricula*, including 8 essential and 10 non-essential amino acids. Glutamic acid had the highest content, followed by aspartic acid, while methionine had the least. The analysis of amino acid contents revealed that savory amino acids had the highest content, followed by sweet-tasting amino acids, with bitter-tasting amino acids being the least abundant. Threonine, phenylalanine+tyrosine showed excess, and methionine+cysteine were the limiting amino acids. *A. auricula* from all four producing areas exhibited a fresh-sweet flavor and could be considered both food and medicinal mushrooms. Pearson correlation and NMDS analysis revealed varying degrees of correlation between conventional nutrients, trace elements, and amino acids among the four areas, *A. auricula* from Yanji City was the most nutritious, followed by that from Zhuoni County, while the *A. auricula* from Zhashui County had the lowest nutritional quality.

Key words: Different producing area; *Auricularia auricular*; Nutrient; Quality analysis; Correlation; NMDS analysis

收稿日期: 2024-09-10; 修订日期: 2024-12-30

基金项目: 国家重点研发计划课题(2022YFD1602109); 国家食用菌产业技术体系(GARS-20)。

作者简介: 李通(1995—), 男, 甘肃临洮人, 研究实习员, 硕士, 主要从事植物病理及大型真菌方面研究工作。Email: li_tong526@126.com。

通信作者: 王晓巍(1968—), 男, 甘肃宁县人, 研究员, 博士, 主要从事设施园艺作物栽培方面研究工作。Email: wangxw@gsagr.cn。

黑木耳是我国第二大食用菌栽培种类^[1], 我国栽培黑木耳主要产区为东北地区、福建、陕西、浙江等地^[2], 2021 年除这五个产区外, 其他产区黑木耳产量为 8.7 万 t, 占全国黑木耳产量的 13%, 2022 年黑木耳产量达 9.7 万 t。近年来, 随着国家扶贫政策的推行^[3], 越来越多的地区将黑木耳作为脱贫攻坚的主导产业^[4], 我国黑木耳产业得到迅速的发展。因黑木耳富含多糖、黄酮类、氨基酸、蛋白质、微量元素, 被全世界公认为药食兼用的食用菌^[5], 在改善人体健康及降血脂、抗肿瘤等方面具有良好作用^[6-7]。然而由于不同产地自然环境条件的不同, 黑木耳生长期间的培养条件不一, 不同产地生长的黑木耳中营养品质也会表现出明显差异^[8]。刘炜等^[9]研究表明, 黑龙江、四川、吉林 3 个产地的黑木耳中氨基酸种类虽然相同, 但是各种氨基酸的含量存在显著差异。延吉市、牡丹江市属于东北产区, 是我国黑木耳生产老产区; 柞水县、卓尼县属于西北产区, 也是黑木耳生产的新产区。为分析我国东北产区与西北产区黑木耳营养物质差异, 本研究选择延吉市、牡丹江市、柞水县、卓尼县 4 个产区, 采用国家标准方法测量黑木耳中常规物质含量、微量元素、氨基酸种类及含量, 并计算出该 4 个产区黑木耳氨基酸中的呈味氨基酸、总药用氨基酸以及相关氨基酸的值, 与 FAO/WHO 模式和全鸡蛋模式进行对比, 利用单因素方差分析、Pearson 相关性分析、NMDS 分析进行综合分析不同产区间黑木耳的营养物质差异。以为不同产区黑木耳的研究工作提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试黑木耳品种黑威 15 号的样品分别购于吉林省延吉市、黑龙江省牡丹江市、陕西省柞水县、甘肃省卓尼县 4 个木耳产区, 均为大棚吊袋栽培, 不同产区黑木耳培养料配方均为 88% 硬杂木屑 +11% 麸皮 +0.5% 石灰 +0.5% 石膏粉。

1.2 测定指标与方法

采用国家标准对延吉市、牡丹江市、柞水县、卓尼县 4 个产区的黑木耳分别进行常规营养物质(水分、灰分、粗多糖、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维)、微量元素(钾、镁、铜、锌、锰、铁、钙、维生素 B₂)和氨基酸种类及含量的测量, 通过对比分析出不

同产区的黑木耳营养物质差异。具体方法参考 GB 5009.3—2016 测定黑木耳水分含量^[10], 参考 GB 5009.4—2016 测定灰分含量^[11], 参考 GB 5009.5—2016 测定粗蛋白含量^[12], 参考 GB 5009.6—2016 测定粗脂肪含量^[13], 参考 GB 5009.10—2003 测定粗纤维含量^[14], 参考 SN/T 4260—2015 测定粗多糖含量^[15], 参考 GB 5009.242—2017 测定钾、锰含量^[16], 参考 GB 5009.241—2017 测定镁含量^[17], 参考 GB 5009.13—2017 测定铜含量^[18], 参考 GB 5009.14—2017 测定锌含量^[19], 参考 GB 5009.90—2016 测定铁含量^[20], 参考 GB 5009.92—2016 测定钙含量^[21], 参考 GB 5009.85—2016 第一法测定维生素 B₂^[22], 参考 GB 5009.124—2016 测定氨基酸含量^[23]。相关含量检测委托无锡科睿检测服务有限公司代测。

1.3 数据分析

使用 Excel 2016 对数据进行整理和计算, 最终数据为平均值 ± 标准偏差(n=3), 利用 SPSS 26.0 对数据统计分析、单因素方差分析, 使用 Origin 2021 pro 进行相关性分析及作图, 使用 R 语言和 Bray-Curtis 差异对黑木耳营养物质等指标进行非度量多维尺度分析(Non-metric multi-dimensional scaling, NMDS)和置换多元方差分析(PERMANOVA)。

其中必需氨基酸的质量分数(EAAs)的计算公式如下^[24]。

$$EAAs = C_s / C_{TAA} \times 100\%$$

式中, C_s 为某必需氨基酸的含量, C_{TAA} 为总氨基酸含量。

必需氨基酸比值(RAA)的计算公式如下^[24]。

$$RAA = C_{EAA} / C_P$$

式中, C_{EAA} 为必需氨基酸的含量, C_P 为(FAO/WHO)模式中相应氨基酸含量。FAO/WHO 模式是由联合国粮食及农业组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)共同制定的, 该评分标准主要用于评估蛋白质的营养价值, 通过分析蛋白质中氨基酸的种类和含量来判断蛋白质的优质程度的一种模式。全鸡蛋模式是全鸡蛋中所含氨基酸的含量, 与该模式比较来判断蛋白质的优质程度。全鸡蛋中的蛋白被称为完美蛋白模式。

氨基酸比值系数(RC)的计算公式如下^[24]。

$$RC=RAA_{EAA}/A_{RAA}$$

式中, RAA_{EAA} 为必需氨基酸 RAA 值, A_{RAA} 为各种氨基酸 RAA 的平均值。

必需氨基酸比值系数分(SRC)的计算公式如下^[24]。

$$SRC=100-RSD \times 100$$

式中, RSD 为各种氨基酸 RAA 的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同产区黑木耳常规营养物质含量

对 4 个不同产区的黑木耳常规营养物质进行测定的结果(表1)表明, 柞水县黑木耳水分含量最高, 为 121.4 g/kg, 与牡丹江市黑木耳水分含量差异显著($P<0.05$), 与其他产区差异不显著; 延吉市、卓尼县黑木耳水分含量相当, 可能与晾晒方式及晾晒时的天气有关。卓尼县黑木耳中灰分含量最高, 为 50.1 g/kg; 牡丹江市次之, 为 45.2 g/kg; 而延吉市黑木耳最低, 为 37.3 g/kg, 且 4 个产区差异显著($P<0.05$)。粗蛋白含量以卓尼县黑木耳最高, 为 138.3 g/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$); 牡丹江市次之, 为 131.0 g/kg; 延吉市最低, 为 101.1 g/kg。延吉市黑木耳中粗脂肪含量最高, 为 8.4 g/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较牡丹江市、柞水县、卓尼县高 170.97%、162.50%、154.55%。延吉市黑木耳中的粗纤维含量最高, 为 140.2 g/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较牡丹江市、柞水县、卓尼县高 114.37%、21.81%、140.07%。延吉市黑木耳中的粗多糖含量最高, 为 26.8 g/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较牡丹江市、柞水县、卓尼县高 38.86%、69.62%、65.43%。

2.2 不同产区黑木耳微量元素含量

对 4 个不同产区的黑木耳微量元素含量进行测定的结果(表 2)表明, 延吉市黑木耳中钾含量最高, 为 8 320.0 mg/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较牡丹江市、柞水县、卓尼县高 565.60%、605.08%、454.67%。牡丹江市黑木耳中镁含量最高, 为 2 340.0 mg/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较延吉市、柞水县、卓尼县高 105.26%、25.81%、5.88%。延吉市黑木耳中铜含量最高, 为 2.7 mg/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较牡丹江市、柞水县、卓尼县高 35.00%、50.00%、28.57%。柞水县黑木耳中锌含量最高, 为 19.5 mg/kg, 并显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较延吉市、牡丹江市、卓尼县高 59.84%、47.73%、32.65%。牡丹江市黑木耳中的锰含量最高, 为 39.5 mg/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较延吉市、柞水县、卓尼县高 24.61%、364.71%、76.34%。牡丹江市黑木耳中铁的含量最高, 为 143.0 mg/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较延吉市、柞水县、卓尼县高 161.43%、152.20%、73.54%。延吉市黑木耳中钙含量最高, 为 5 810.0 mg/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较牡丹江市、柞水县、卓尼县高 27.41%、21.80%、3.57%。柞水县黑木耳中维生素 B_2 含量最高, 为 7.7 mg/kg, 显著高于其他 3 个产区($P<0.05$), 分别较延吉市、牡丹江市、卓尼县高 8.45%、6.94%、11.59%。

2.3 不同产区黑木耳氨基酸含量

2.3.1 黑木耳氨基酸含量 对 4 个不同产区的黑木耳氨基酸种类及含量测定结果(表 3)表明, 4

表 1 不同产区黑木耳常规营养物质含量

产区	水分	灰分	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	粗多糖
延吉市	116.1±2.6 a	37.3±1.7 d	101.1±2.0 d	8.4±1.0 a	140.2±0.31 a	26.8±1.0 a
牡丹江市	110.2±1.7 b	45.2±2.1 b	131.0±1.7 b	3.1±1.2 b	65.4±0.20 c	19.3±0.7 b
柞水县	121.4±2.6 a	42.3±1.2 c	119.4±3.2 c	3.2±1.0 b	115.1±0.31 b	15.8±0.5 c
卓尼县	116.1±1.5 a	50.1±1.5 a	138.3±2.1 a	3.3±1.2 b	58.4±0.21 d	16.2±0.3 c

表 2 不同产区黑木耳微量元素含量

产区	钾	镁	铜	锌	锰	铁	钙	维生素 B_2
延吉市	8 320.0±265.1 a	1 140.0±55.7 d	2.7±0.1 a	12.2±0.3 d	31.7±0.7 b	54.7±1.3 c	5 810.0±111.4 a	7.1±0.2 bc
牡丹江市	1 250.0±65.6 b	2 340.0±75.5 a	2.0±0.1 c	13.2±0.3 c	39.5±0.5 a	143.0±2.2 a	4 560.0±121.2 d	7.2±0.1 b
柞水县	1 180.0±26.5 b	1 860.0±75.5 c	1.8±0.0 c	19.5±0.1 a	8.5±0.1 d	56.7±2.1 c	4 770.0±52.9 c	7.7±0.1 a
卓尼县	1 500.0±52.0 b	2 210.0±60.0 b	2.1±0.0 b	14.7±0.4 b	22.4±0.1 c	82.4±1.1 b	5 610.0±72.1 b	6.9±0.1 c

个产区的黑木耳中均检测出了18种氨基酸,均含有8种人体必需氨基酸,分别为苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、甲硫氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、色氨酸(Trp);10种非必需氨基酸,分别为天冬氨酸(Asp)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、脯氨酸(Pro)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、酪氨酸(Tyr)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)、半胱氨酸(Cys)。延吉市、牡丹江市、柞水县、卓尼县4个产区黑木耳中均表现为谷氨酸的含量最高,分别为0.96、1.27、1.09、1.42 mg/kg;天冬氨酸次之,分别为0.78、1.01、0.90、1.08 mg/kg;甲硫氨酸含量最少。卓尼县黑木耳中总氨基酸和必需氨基酸含量最高,分别为9.99、3.67 mg/kg;其次是牡丹江市,总氨基酸、必需氨基酸分别为9.00、3.35 mg/kg。而延吉市黑木耳中必需氨基酸占总氨基酸比例最高,为37.48%;其次是柞水县,为37.22%。

2.3.2 不同产区黑木耳氨基酸含量分析 氨基酸按照风味可分为鲜味氨基酸(UAA,包括谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸)、甜味氨基酸

(SAA,包括苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、赖氨酸、脯氨酸)、苦味氨基酸(BAA,包括缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、精氨酸),其总和称为呈味总氨基酸(FAA),根据是否可药用,还可分为药用氨基酸(TMAA,包括天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、异亮氨酸、精氨酸、甲硫氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸)^[25]。通过分析4个不同产区的黑木耳中呈味氨基酸、药用氨基酸、必需氨基酸的质量分数和氨基酸的RAA值、RC值、SRC值(表4)可以得出,黑木耳中均表现为鲜味氨基酸的含量最高,其中卓尼县黑木耳中的鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸含量最高;4个产区的鲜味氨基酸与甜味氨基酸之和与苦味氨基酸的比值均大于1,表示4个产区的黑木耳均表现出鲜甜味^[26],柞水县黑木耳中该比值最大,表明柞水县黑木耳鲜甜味最大;4个产区总药用氨基酸与氨基酸总量的比值均大于0.50,表示均可作为药食兼用的食用菌^[27]。

必需氨基酸的质量分数越接近模式值,营养越丰富^[28]。RC等于1,SCR等于100,则与模式

表3 不同产区黑木耳氨基酸含量^①

mg/kg

氨基酸种类	产区			
	延吉市	牡丹江市	柞水县	卓尼县
天冬氨酸(Asp)	0.78±0.02 d	1.01±0.03 b	0.90±0.03 c	1.08±0.04 a
苏氨酸(Thr)*	0.48±0.03 c	0.62±0.04 a	0.59±0.02 b	0.66±0.02 a
丝氨酸(Ser)	0.45±0.02 c	0.57±0.03 a	0.52±0.03 b	0.60±0.03 a
谷氨酸(Glu)	0.96±0.03 d	1.27±0.05 b	1.09±0.03 c	1.42±0.03 a
脯氨酸(Pro)	0.33±0.02 b	0.35±0.05 b	0.43±0.03 a	0.46±0.03 a
甘氨酸(Gly)	0.34±0.03 c	0.45±0.03 ab	0.42±0.03 b	0.48±0.02 a
丙氨酸(Ala)	0.47±0.03 c	0.66±0.04 b	0.71±0.04 b	0.80±0.04 a
缬氨酸(Val)*	0.37±0.05 b	0.49±0.04 a	0.47±0.06 a	0.55±0.03 a
甲硫氨酸(Met)*	0.06±0.01 b	0.09±0.01 a	0.03±0.01 c	0.10±0.00 a
异亮氨酸(Ile)*	0.28±0.04 b	0.35±0.03 a	0.33±0.03 ab	0.39±0.02 a
亮氨酸(Leu)*	0.54±0.05 c	0.70±0.04 ab	0.66±0.03 b	0.77±0.04 a
酪氨酸(Tyr)	0.25±0.03 b	0.34±0.04 a	0.33±0.04 a	0.37±0.03 a
苯丙氨酸(Phe)*	0.34±0.04 b	0.43±0.03 a	0.43±0.03 a	0.48±0.06 a
组氨酸(His)	0.27±0.04 b	0.37±0.05 a	0.34±0.03 ab	0.40±0.04 a
赖氨酸(Lys)*	0.40±0.05 c	0.51±0.05 ab	0.43±0.03 bc	0.53±0.05 a
精氨酸(Arg)	0.36±0.06 c	0.52±0.04 ab	0.47±0.07 b	0.58±0.03 a
半胱氨酸(Cys)	0.11±0.02 a	0.11±0.03 a	0.12±0.03 a	0.13±0.03 a
色氨酸(Trp)*	0.12±0.03 b	0.16±0.02 ab	0.16±0.04 ab	0.19±0.02 a
总氨基酸(TAA)	6.91±0.06 d	9.00±0.09 b	8.43±0.10 c	9.99±0.10 a
必需氨基酸(EAA)	2.59	3.35	3.10	3.67
必需氨基酸的占比(EAA/TAA)/%	37.48	37.22	36.77	36.74

① * 为人体必需氨基酸。

谱 (FAO/WHO 模式和全鸡蛋模式)一致; *RC* 值大于 1 时, 氨基酸过剩; *RC* 值小于 1 时, 氨基酸欠缺; *RC* 值最小则为限制氨基酸^[29]。由表 5、表 6 可发现, 4 个产区中苏氨酸(Thr)的质量分数均高于 FAO/WHO 模式和全鸡蛋模式的值, 苯丙氨酸 + 酪氨酸 (Phe+Tyr)含量在 FAO/WHO 模式和全鸡蛋模式值之间; 且 *RC* 值均大于 1, 说明 4 个产区黑木耳中的苏氨酸、苯丙氨酸 + 酪氨酸表现过剩。甲硫氨酸 + 半胱氨酸 (Met+Cys)的质量分数均低于 FAO/WHO 模式值和全鸡蛋模式的; 且 *RC* 值均小于 1, 说明甲硫氨酸 + 半胱氨酸为限制氨基酸。延吉市、牡丹江市、柞水县、卓尼县黑木耳的 *SRC* 值分别为 71.91、69.40、64.49、71.02, 表明延吉市黑木耳中的营养最丰富, 卓尼县黑木耳次之,

柞水县黑木耳最差。

2.4 不同产区黑木耳营养物质相关性分析

对 4 个产区黑木耳中各营养物质通过 Pearson 相关性分析结果(图1)表明, 黑木耳中的灰分与粗蛋白、镁、氨基酸含量呈极显著正相关($P < 0.001$), 与粗纤维呈极显著负相关($P < 0.001$), 与钾呈极显著负相关($P < 0.01$), 与粗脂肪、粗多糖呈显著负相关($P < 0.05$), 说明黑木耳中灰分越高其粗蛋白、镁、氨基酸含量越高, 粗纤维、粗脂肪、粗多糖、钾含量越低。粗蛋白与镁、氨基酸呈极显著正相关($P < 0.001$)。粗脂肪与粗多糖、钾、铜呈极显著正相关($P < 0.001$), 与镁呈极显著负相关($P < 0.001$)。可见黑木耳中的灰分、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、粗多糖、钾、镁、铜、氨基酸之间均有

表 4 不同产区黑木耳氨基酸含量分析

氨基酸种类	产区			
	延吉市	牡丹江市	柞水县	卓尼县
UAA(mg/kg)	2.91±0.08 d	3.91±0.04 b	3.59±0.10 c	4.36±0.04 a
SAA(mg/kg)	2.47±0.04 c	3.16±0.10 b	3.10±0.07 b	3.53±0.04 a
BAA(mg/kg)	2.22±0.11 d	2.95±0.06 b	2.73±0.05 c	3.27±0.09 a
FAA(mg/kg)	6.43±0.09 d	8.39±0.05 b	7.82±0.12 c	9.30±0.04 a
TMAA(mg/kg)	4.06±0.08 d	5.33±0.07 b	4.76±0.14 c	5.83±0.07 a
TAA(mg/kg)	6.91±0.06 d	9.00±0.09 b	8.43±0.10 c	9.99±0.10 a
UAA/TAA	0.42	0.43	0.43	0.44
SAA/TAA	0.36	0.35	0.37	0.35
BAA/TAA	0.32	0.33	0.32	0.33
TMAA/TAA	0.59	0.59	0.56	0.58
(UAA+SAA)/BAA	2.42	2.40	2.45	2.41

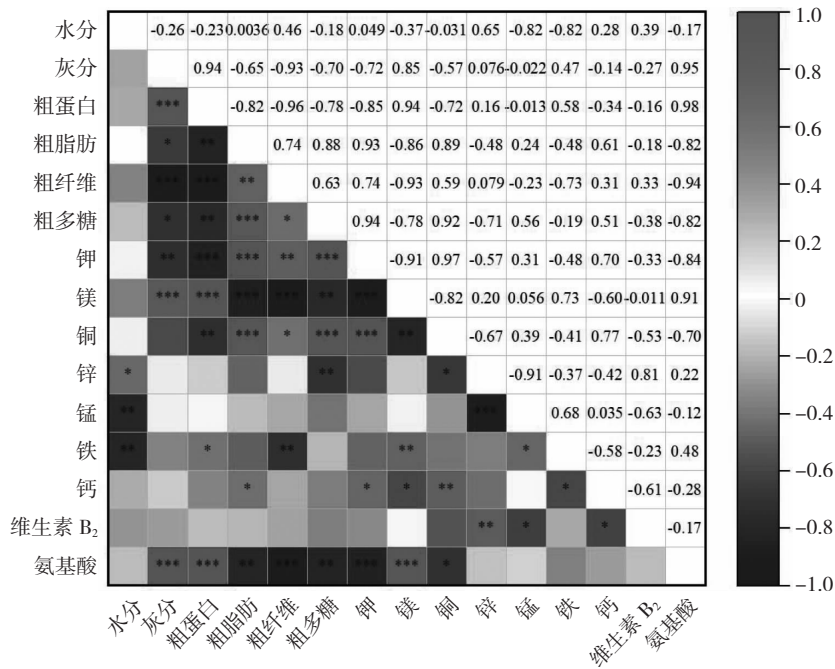
表 5 不同产区黑木耳氨基酸营养价值评价^①

氨基酸种类	必需氨基酸的质量分数				FAO/WHO 模式	全鸡蛋模式
	延吉市	牡丹江市	柞水县	卓尼县		
Thr	7.19	7.10	7.24	6.83	4.0	5.1
Val	5.54	5.61	5.77	5.69	5.0	7.3
Met+Cys	2.60	2.26	1.87	2.36	3.5	5.5
Ile	4.19	4.01	4.05	4.03	4.0	6.6
Leu	8.08	8.02	8.10	7.96	7.0	8.8
Phe+Tyr	8.83	8.82	9.33	8.79	6.0	10.0
lys	5.99	5.84	5.28	5.48	5.5	6.4
合计	42.42	41.66	41.64	41.14	35.0	49.7

①必需氨基酸的质量分数越接近模式值, 营养越丰富。

表 6 不同产区黑木耳必需氨基酸的 RAA、RC、SRC 值

氨基酸种类	延吉市		牡丹江市		柞水县		卓尼县	
	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC
Thr	1.80	1.49	1.78	1.51	1.81	1.55	1.71	1.47
Val	1.11	0.92	1.12	0.96	1.15	0.99	1.14	0.98
Met+Cys	0.74	0.62	0.64	0.55	0.53	0.46	0.67	0.58
Ile	1.05	0.87	1.00	0.85	1.01	0.87	1.01	0.87
Leu	1.15	0.96	1.15	0.98	1.16	0.99	1.14	0.98
Phe+Tyr	1.47	1.22	1.47	1.25	1.55	1.33	1.47	1.26
lys	1.09	0.91	1.06	0.90	0.96	0.82	1.00	0.86
SRC	71.91		69.40		64.49		71.02	



(*表示 P<0.05, **表示 P<0.01, ***表示 P<0.001)

图 1 不同产区黑木耳各营养物质相关性分析

较强的相关性, 其余营养物质之间均有不同程度的相关性。

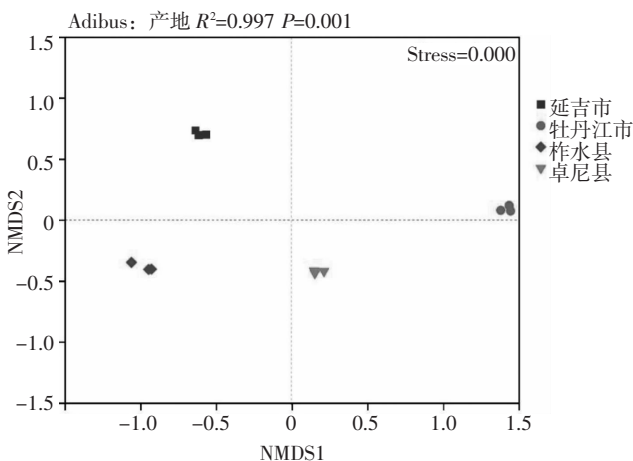
2.5 不同产区黑木耳营养物质 NMDS 分析

对 4 个产区黑木耳中的常规营养物质、微量元素、氨基酸等指标进行 Bray-Curtis 距离的置换多元方差分析和 NMDS 分析结果(图2)表明, 应力值(Stress)为 0.000, 表明该模型具有很好的代表性。产区对木耳氨基酸、常规营养物质、微量元素等指标变化的解释为 99.7%(P=0.001)。4 个产区的黑木耳均分布在 4 个不同的象限, 且能明

显区分开; 而每个产区的黑木耳营养物质均距离较近甚至贴合, 说明延吉市、牡丹江市、柞水县、卓尼县 4 个产区的黑木耳中的营养物质具有较大的差异, 可初步判断地理环境的影响对黑木耳营养物质的品质具有很大影响。

3 讨论与结论

感官性质和化学成分是目前越来越多的消费者购买黑木耳的重要标准 [30], 黑木耳中富含多种营养物质, 可作为药食兼用的食用菌。受地理环境以及培养料差异的影响, 不同区域的黑木耳所含的营养物质种类大致相同, 但其含量存在一定程度的差异。这种现象同样发生于其他食用菌。龙瑞等 [31]研究表明, 不同产区的平菇中总糖、粗糖、膳食纤维表现差异显著。孙恬等 [32]研究表明, 不同产区的香菇中粗蛋白、脂肪、矿物质、氨基酸也出现显著差异, 这与本研究结论一致。潘春磊等 [33]在牡丹江市黑木耳中检测出 16 种氨基酸、相较本研究未检测出甲硫氨酸和色氨酸, 该两种氨基酸为人体必需氨基酸; 郭兴等 [34]从伊春的黑木耳中检测出 17 种氨基酸, 相较本研究未检测出人体必需氨基酸色氨酸。其原因可能是由于黑木耳品种的不同、培养料的不同和环境条件的差异造成的 [35-37]。不同培养料所含的营养物质不同, 导致黑木耳菌丝通过降解吸收后所积累储存的营



[应力值(Stress)提供了对 NMDS 模型质量的评估。当 Stress<0.05 时, 表示该模型是非常好的拟合; 当 Stress<0.01 时, 被认为是一个可接受的模型拟合。样本间距离远近反映了样本间差异大小]

图 2 不同产区黑木耳各营养物质 NMDS 分析

养物质存在差异^[38-40]。氨基酸通过不同的组合或反应会呈现出鲜甜味、苦味，常见的食用菌则会呈现出鲜甜味、其原因为鲜味氨基酸和甜味氨基酸之和与苦味氨基酸的比值大于1，例如大球盖菇、香菇、黑木耳、平菇等^[41-44]，这与本研究结果一致。根据人体必需氨基酸的质量分数对比 FAO/WHO 模式和全鸡蛋模式，可以说明黑木耳中的营养价值，本研究通过对比后发现4个产区中延吉市黑木耳的氨基酸质量分数更接近模式值，RC 值最大，即营养价值最佳。可能是延吉地区的环境条件、栽培料、种植模式等更适合黑木耳在生长过程中营养物质的积累和储存。根据相关性分析发现黑木耳中的常规营养物质、钾、镁、铜、氨基酸之间存在显著的相关性，这与邹宇^[45]研究结果一致。根据 NMDS 分析表明，相同产区内的黑木耳中营养物质相近，可能是由于环境条件及栽培方式相似；而不同产区黑木耳中的营养物质差异较大，这与很多外界条件差异均有关联。

本试验表明，延吉市、牡丹江市、柞水县、卓尼县4个产区的黑木耳中常规营养物质、微量元素、氨基酸均存在一定的差异。延吉市黑木耳中粗脂肪、粗纤维、粗多糖、钾、铜、钙含量最高，牡丹江市黑木耳中镁、锰、铁含量最高，柞水县黑木耳中锌、维生素 B₂ 含量最高，卓尼县黑木耳中灰分、粗蛋白、总氨基酸含量最高，4个产区黑木耳中均测定出18种氨基酸，其中包括8种人体必需氨基酸及10种非必需氨基酸，其中谷氨酸含量最高，天冬氨酸含量次之，甲硫氨酸含量最少。经氨基酸含量对比分析，4个产区黑木耳中的呈味氨基酸均表现为鲜味氨基酸含量最高、甜味氨基酸次之、苦味氨基酸含量最少，且苏氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸表现过剩，甲硫氨酸+半胱氨酸为限制氨基酸。4个产区的黑木耳均表现为鲜甜味，均可作为药食兼用的食用菌。通过 Pearson 相关性分析后发现，黑木耳中的常规营养物质与微量元素和氨基酸均存在不同程度的相关性，通过 NMDS 分析后，发现4个产区的黑木耳中的营养物质均存在差异。经分析表明，延吉市黑木耳中的营养最丰富，卓尼县黑木耳次之，柞水县黑木耳最差。

参考文献：

[1] 马延莉, 宋婷婷, 范丽军, 等. 不同培养基质黑木耳品

质及稳定同位素特征差异分析[J]. 菌物学报, 2023, 42(9): 1942-1952.

- [2] 王明友, 宋卫东, 王帅洋, 等. 我国黑木耳生产技术研究[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(3): 99-103.
- [3] 李长田, 谭琦, 边银丙, 等. 中国食用菌工厂化的现状与展望[J]. 菌物研究, 2019, 17(1): 1-10.
- [4] 朱钰. 推动我国黑木耳产业高质量发展对策研究[J]. 北方园艺, 2024(16): 144-149.
- [5] 刘询, 贾定洪, 王晓巍, 等. 不同基质栽培黑木耳活性物质的靶向代谢组学分析[J]. 菌物学报, 2024, 43(12): 79-91.
- [6] SONG G, DU Q. Structure characterization and antitumor activity of an $\alpha\beta$ -glucan polysaccharide from *Auricularia polytricha*[J]. Food Research International, 2012, 45(1): 381-387.
- [7] NGUYEN T L, WANG D, HU Y, et al. Immuno-enhancing activity of sulfated *Auricularia auricular* polysaccharides [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 89(4): 1117-1122.
- [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] 刘炜, 刘行, 杨晓凤, 等. 不同产地黑木耳中氨基酸含量的测定及主成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(20): 8068-8075.
- [10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中灰分含量的测定: GB5009.4 2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [12] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定: GB 5009.5 2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [13] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中粗脂肪的测定: GB 5009.6 2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中粗纤维的测定: GB/T 5009.10—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [15] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中粗多糖的测定: SN/T 426—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

- [16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中锰的测定: GB 5009.242—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中镁的测定: GB 5009.241—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中铜的测定: GB 5009.13—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中锌的测定: GB 5009.14—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [20] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中铁的测定: GB 5009.90—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中钙的测定: GB 5009.92—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [22] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中维生素B₂的测定: GB 5009.85—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [23] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [24] 尹淑丽, 李书生, 张根伟, 等. 四种木屑栽培糙皮侧耳子实体营养成分分析及氨基酸营养价值评价[J]. 食用菌学报, 2021, 28(5): 71-78.
- [25] 李 晖, 吴西梅, 邵义娟. 广东省代表性水产品氨基酸成分分析与营养价值评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(11): 254-261.
- [26] 罗旭璐, 吴训锋, 刘 强, 等. 不同菌材栽培天麻的氨基酸含量分析及营养评价[J]. 中国野生植物资源, 2024, 43(5): 28-34.
- [27] 陈玉芹, 赵成法, 沐 远, 等. 刺通草的营养成分分析及其氨基酸评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(7): 305-313.
- [28] 李东梅, 张思维, 孙建云, 等. 不同产地金耳中氨基酸含量分析及营养价值评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(1): 237-244.
- [29] 徐依琳, 黄冬梅, 汤云瑜, 等. 食品中氨基酸的检测方法研究进展[J]. 农产品质量与安全, 2024(3): 55-62.
- [30] 么宏伟. 不同替代料及栽培模式下黑木耳品质综合评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.
- [31] 龙 瑞, 苏 玲, 王 琦. 不同地区平菇营养成分的分析比较[J]. 中国食用菌, 2020, 39(5): 43-49.
- [32] 孙 恬, 姚松君, 刘凤松, 等. 我国四大产区香菇的营养成分比较[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 97-103; 293.
- [33] 潘春磊, 王延锋, 史 磊, 等. 不同栽培基质对黑木耳产量和营养成分的影响[J]. 中国食用菌, 2021, 40(10): 45-48.
- [34] 郭 兴, 刘运伟, 高云虹, 等. 5种黑木耳主要成分的对比分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(16): 37-42.
- [35] 李 红, 张 敏. 不同培养料栽培黑木耳子实体的主要营养成分分析[J]. 中国食用菌, 2021, 40(4): 68-74.
- [36] 张振文, 姚方杰, 张作达, 等. 基于木薯茎秆屑栽培的黑木耳品质评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(2): 330-335.
- [37] 王丽艳, 王鑫森, 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]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 37-43.
- [38] 王 超. 黑木耳木屑配方筛选及生理特性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2023.
- [39] 任爱民, 包玉政, 韩爱民, 等. 基于D-optimal法优化香菇菌种培养基质配方的研究[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(8): 724-733.
- [40] 何士剑, 马黎霞, 管 礼, 等. 北方高寒阴湿区双拱双膜保温冷棚羊肚菌人工栽培技术[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(2): 185-188.
- [41] 陈怡彤. 秸秆基质类型对大球盖菇农艺性状及营养品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [42] 刘俊红, 王建成, 刘瑞芳, 等. 微波-超声波辅助酶解提取香菇中的呈味氨基酸[J]. 河南城建学院学报, 2023, 32(2): 106-112.
- [43] 陈 辉, 王 倩, 汪 虹, 等. 不同玉米芯含量对培养料中酶活和木耳产量及其子实体中氨基酸含量的影响[J]. 食用菌学报, 2019, 26(2): 45-53.
- [44] 梁 然, 郑静宜, 尹淑丽, 等. 苹果木屑栽培基质对平菇产量及子实体氨基酸营养价值的影响[J]. 中国食用菌, 2022, 41(11): 40-46.
- [45] 邹 宇. 发酵法制备黑木耳色素及其功能特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.