

黄正花, 余应梅, 严寒, 等. 不同种植方式及生长年限的铜鼓多花黄精营养品质分析及其评价体系的构建 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(17): 316–326. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090239

HUANG Zhenghua, YU Yingmei, YAN Han, et al. Analysis of Nutritional Quality of Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua from Different Planting Ways and Growing Years and Construction of Its Evaluation System[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(17): 316–326. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090239

· 分析检测 ·

# 不同种植方式及生长年限的铜鼓多花黄精营养品质分析及其评价体系的构建

黄正花, 余应梅, 严寒, 邵珊珊, 屈若兰, 黄坚, 陈政, 魏益华, 王冬根, 李思明\*  
(江西省农业科学院农产品质量安全与标准研究所, 江西南昌 330200)

**摘要:** 为了系统探究铜鼓多花黄精的营养品质并构建其评价体系, 本文比较分析了不同种植方式和生长年限的铜鼓多花黄精 23 种营养品质指标, 并通过相关性、因子和聚类分析构建了其营养品质评价体系。结果显示大棚种植 (GP) 多花黄精中的醇溶性浸出物、蛋白质、必需氨基酸、药用氨基酸、灰分及 5 种常量矿物元素含量均最高, 且必需氨基酸营养评分也最高。露天种植 (OP) 多花黄精中的多糖和皂苷含量最高。林下种植 (UP) 4 种微量元素 (Fe、Mn、Zn 和 Se) 含量最高。而野生 (W) 多花黄精的黄酮和总酚含量最高。随着多花黄精生长年限的延长, 多花黄精中醇溶性浸出物、脂肪和多糖含量逐渐增加, 而皂苷、黄酮和总酚含量无显著性变化 ( $P>0.05$ )。但多花黄精的淀粉、粗纤维、蛋白质、灰分、必需氨基酸营养评分、矿物元素等物质含量均与生长年限呈负相关性, 其中以 GP 下降趋势最为明显。通过相关性分析、因子分析和聚类分析将 22 项营养品质指标简化为 13 项指标, 进而采用主成分分析建立了多花黄精营养品质综合评价模型, 发现 8 种铜鼓多花黄精样品营养品质综合评分 (-1.331~1.161) 大小顺序为 GP-3>UP-3>W-4>GP-5>GP-4>OP-3>UP-4>OP-4, 即 GP-3 的营养品质最佳, 并在此基础上建立了铜鼓多花黄精营养品质综合评分 6 级标准。本研究结果将为筛选最佳营养品质的铜鼓多花黄精原料进行高价值产品开发或品种改良提供理论依据。

**关键词:** 多花黄精, 营养品质, 种植方式, 主成分分析, 评价体系

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)17-0316-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090239

本文网刊:



## Analysis of Nutritional Quality of Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua from Different Planting Ways and Growing Years and Construction of Its Evaluation System

HUANG Zhenghua, YU Yingmei, YAN Han, SHAO Shanshan, QU Ruolan, HUANG Jian, CHEN Zheng, WEI Yihua, WANG Donggen, LI Siming\*

(Institute for Quality, Safety and Standard of Agricultural Products, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

**Abstract:** To comprehensively explore the nutritional quality and construct evaluation system, this paper studied the effects of different planting ways and growing years on the 23 nutritional qualities of Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua, and constructs of its evaluation system by correlation, factors, and clustering analysis. The results showed that the content of ethanol-soluble extractives, protein, essential amino acids (EAA), medicinal amino acids (MAA), ash and 5 constant mineral elements in *Polygonatum cyrtonema* Hua from greenhouse planting (GP) was the highest, and the nutritional score of EAA was also the optimal. Also, the content of polysaccharide and saponins in *Polygonatum cyrtonema* Hua from open

收稿日期: 2023-09-20

基金项目: 江西省农业科学院基础研究与人才培养项目 (JXSNKYJCRC202329)。

作者简介: 黄正花 (1992-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 农产品营养评价, E-mail: huangzhenghua92@163.com。

\* 通信作者: 李思明 (1976-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品品质调控, E-mail: lisiming16@126.com。

planting (OP) was the most, and the four trace elements (Fe, Mn, Zn and Se) were the highest in underwood planting (UP). The *Polygonatum cyrtonema* Hua from wild (W) had the highest content of flavonoids and total phenols. In addition, as the extension of growing years, the content of ethanol-soluble extractives, lipid, and polysaccharides in Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua increased gradually, while there was no significant difference in the saponins, flavonoids and total phenols ( $P>0.05$ ). However, the content of starch, crude fiber, protein, ash, nutritional score of EAA and mineral elements in *Polygonatum cyrtonema* Hua was negatively correlated with the growing years. In particular, the decline of nutritional quality in GP was the most significant. Through the analysis of correlation, factor, and cluster, the 22 indicators of nutritional quality were simplified into 13 indicators, and then a comprehensive evaluation model was established by principal component analysis (PCA). It was found that the comprehensive score (-1.331~1.161) of nutritional quality of 8 types was GP-3>UP-3>W-4>GP-5>GP-4>OP-3>UP-4>OP-4, that is, the nutritional quality of GP-3 was optimal. And on this basis, a 6-level standard for the nutritional quality comprehensive evaluation of *Polygonatum cyrtonema* Hua was established. These results will provide a theoretical basis for the screening of raw materials for development of high-value products and variety improvement of *Polygonatum cyrtonema* Hua.

**Key words:** *Polygonatum cyrtonema* Hua; nutritional quality; planting way; principal component analysis; evaluation system

黄精(*Polygonatum sibiricum* Delar. ex Redoute)为百合科多花黄精属草本植物,迄今已发现此属植物 40 余种,其干燥根茎为常用的中药“黄精”,具有重要的食用及药用价值<sup>[1-2]</sup>。由于含有蛋白质、多糖等丰富的营养和生物活性成分,黄精在 2002 年就被卫计委列入既是食品又是药品的物品名单,属药食同源的一类保健品,具有很大的应用前景。多花黄精(*Polygonatum cyrtonema* Hua, 根茎呈连珠状或结节块状,形似姜形,故别名姜形黄精)是《中国药典》<sup>[3]</sup>收录的 3 大主要黄精品种之一,其营养功效成分多样丰富,包括游离氨基酸、可溶性淀粉、可溶性蛋白、总糖、可溶性总糖、粗脂肪、粗纤维等营养成分,以及多糖、皂苷、黄酮、多酚等药用活性成分<sup>[1-2]</sup>。生物活性成分是多花黄精发挥临床药理作用的重要物质基础,如已有研究表明黄精多糖具有降血糖、抗氧化、抗疲劳、抗肿瘤、提高免疫力、减缓衰老、改善记忆力、抗炎抑菌等多种作用<sup>[4-11]</sup>,皂苷具有抗抑郁、提高免疫力、降血糖和改善学习记忆能力等功效<sup>[12-15]</sup>,黄酮具有抗病毒、抗肿瘤、防衰老及保护心脑血管等药理作用<sup>[16-17]</sup>。

迄今为止,已有大量文献报道关于多花黄精的营养和药效功能,如 Hu 等<sup>[18]</sup>对 5 种类型黄精的性状、营养和药用成分品质进行评价,发现多花黄精营养价值和药用价值都比较好。张凯等<sup>[19]</sup>研究表明药食同源药材多花黄精符合现代人的健康饮食需求,可作为优质膳食原料推广使用。杨天友等<sup>[20]</sup>对武陵黄精的主要营养与功效成分进行了分析评价,结果显示粗淀粉含量最高(22.80%),其次是粗蛋白质和粗多糖(3.32%);必需氨基酸占总氨基酸的 26.41%,9 种药用氨基酸占总氨基酸的 77.41%。先前学者针对不同产地来源<sup>[21-22]</sup>、品种<sup>[23-24]</sup>、生长年限<sup>[25]</sup>黄精的营养成分或药用成分进行研究,发现这些因素对黄精品质都有不同程度的影响。孙思宇等<sup>[24]</sup>利用隶属函数法进行综合评价 6 种品系多花黄精的药用和营养价值,发现青秆、椭圆叶及突叶尖型多花黄精的药用价

值和营养指标最高。马永强等<sup>[23]</sup>对运用主成分分析及类聚分析的方法对 6 个产地 3 种黄精的 7 种成分进行研究和分类,发现安徽九华山多花黄精多糖含量最高(17.93%),水分、多糖和黄酮这 3 种成分可有效地评价黄精的综合品质。陈怡等<sup>[25]</sup>对不同年限多花黄精须根的水分、醇溶性浸出物、灰分和多糖含量进行分析,发现仅 1 年和 2 年的多花黄精根须多糖含量符合药典标准。然而,不同生长年限对多花黄精根茎的营养品质是否有影响尚未见报道。此外,李国清等<sup>[26]</sup>研究了不同遮阴处理对黄精光合作用的影响,发现遮阴 40% 条件下泰山黄精的光合作用表现最佳。但不同种植方式下的遮阴程度不一致,其是否会对黄精营养品质产生影响也暂未见报道。

铜鼓多花黄精是江西省宜春市铜鼓县的特产,具有较高的营养和药用价值,2019 年经农业农村部审定,获得全国农产品地理标志登记保护。本文旨在探究江西省铜鼓地区种植方式(大棚种植-GP、林下种植-UP、露天种植-OP 和野生种植-W)和生长年限对多花黄精的营养品质(氨基酸、淀粉、蛋白质、粗脂肪、粗纤维、脂肪、灰分、矿物质元素等)和药用活性成分(多糖、皂苷、黄酮和总酚等)的影响,并通过因子和聚类分析构建其营养评价体系,以期系统探究种植方式和生长年限对铜鼓多花黄精营养品质指标的影响,并对其营养品质进行评估分类,为铜鼓多花黄精的高价值产品开发与利用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

铜鼓多花黄精(农业农村部登记证书编号:AGI02553)产自江西省宜春市铜鼓县境内不同乡镇,产地影响可忽略不计,野生多花黄精的生长年限根据其结节数判定,其详细信息见表 1。将新鲜采集到的铜鼓多花黄精根茎清洗干净,去除根须,切片,55℃ 烘箱干燥,粉碎机粉碎,过 40 目筛,装于密封袋 4℃ 冰箱保存,用于后续分析;无水乙醇(AR)、冰乙酸(AR)、蒽酮等试剂 上海麦克林试剂有限公

司;浓硫酸 南昌市昌九化工物资有限公司;福林酚试剂盒(LM-100939) 上海联迈生物工程有限公司;葡萄糖(50-99-7)、没食子酸(BWC9015-2016)、人参皂苷 Rb1(BWC9021-2016)标准品 上海源叶生物科技有限公司;其它分析试剂均为国产分析纯。

表1 不同类型铜鼓多花黄精的基本信息  
Table 1 Basic information of different types of Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua

样品编号	种植类型	生长年限(年)	产地	来源
GP-3	大棚种植(GP)	3	大段镇古桥村	铜鼓肆博业态农业开发有限公司(SBYT)
GP-4		4		
GP-5		5		
OP-3	露天种植(OP)	3	大段镇浒口村	江西西雅图农业科技开发有限公司(XYT)
OP-4		4		
UP-3	林下种植(UP)	3	棋坪镇	江西省樟嘉湾农业发展有限公司(ZJY)
UP-4		4		
W-4	野生(W)	4	温泉镇温泉村	江西精正农林科技开发有限公司(JZNL)

JY10002 型电热鼓风干燥箱 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;UV-2600 紫外可见分光光度计 上海天美科学仪器有限公司;Kjeltec 8400 型凯氏定氮仪 丹麦 FOSS 仪器有限公司;L8800 氨基酸自动分析仪 日本日立公司;ICP-MS 7800 型电感耦合等离子体质谱仪 美国 Aglient 公司。

## 1.2 实验方法

1.2.1 营养成分测定 铜鼓多花黄精的水分含量测定参照 GB 5009.3-2016,灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016,脂肪含量测定参考 GB 5009.6-2016,粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定,淀粉含量测定参考 GB 5009.9-2016,粗纤维含量测定参考 GB/T 5009.10-2003,矿物元素(包括 K、Ca、P、Mg、Na、Fe、Cu、Zn、Mn 和 Se)含量采用电感耦合等离子体质谱法(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS)测定。

1.2.2 氨基酸含量测定及必需氨基酸(EAA)营养评价 氨基酸含量的测定参考 GB 5009.124-2016。铜鼓多花黄精的氨基酸营养评价以 FAO/WHO 推荐的氨基酸评分法(Amino Acid Scire, AAS)进行评价。其得分为样品的氨基酸含量占 FAO/WHO 参考蛋白质的氨基酸含量的百分数,并通过氨基酸评分判断铜鼓多花黄精的限制性氨基酸<sup>[20,27]</sup>。氨基酸评分计算公式为:

$$AAS = \frac{\text{待测样品中的氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO标准蛋白中的氨基酸含量}}$$

1.2.3 药用活性成分测定 醇溶性浸出物和黄精多糖含量测定均参考 2020 年版《中国药典》中的方法测定<sup>[3]</sup>。

皂苷含量参照钱华丽等<sup>[28]</sup>的香草醛-高氯酸法测定,以人参皂苷 Rb1 为标准品。精确称 0.5 g 铜鼓多花黄精样品于锥形瓶中,加入 80% 乙醇 20 mL,

60 °C 超声提取 2 次,每次 30 min,合并萃取液至 50 mL 容量瓶中,加 80% 乙醇定容至刻度,摇匀,待测。吸取待测液 500 μL,加入 0.2 mL 50% 香草醛-冰醋酸溶液,0.8 mL 5% 高氯酸溶液(冰浴加入),摇匀,之后在 60 °C 水浴加热 15 min,冷却 2 min,再加冰醋酸至 5 mL,摇匀后静置反应 10 min,于 550 nm 处测定吸光值,根据标准曲线计算皂苷含量,其回归方程为  $y=3.6728x+0.0107$ ,  $R^2=0.9992$ 。

黄酮含量参照刘清华等<sup>[29]</sup>的方法测定。精密称取一定量多花黄精样品于锥形瓶中。按料液比 1:10 加 50% 乙醇溶解,超声提取 1 h,过滤,取滤液。沉淀重复提取 2 次,并用 50% 乙醇补足损失体积。取 0.5 mL 的样品溶液,采用硝酸铝显色法测定总黄酮含量。以芦丁为标准品,绘制标准曲线计算黄酮含量,其回归方程为  $y=0.0125x+0.0062$ ,  $R^2=0.9991$ 。

总酚含量参照张凯等<sup>[19]</sup>的方法测定。精密称取一定量的铜鼓多花黄精样品于锥形瓶中,按料液比 1:10 加入 70% 乙醇,超声提取 30 min,过滤,取滤液。沉淀重复提取 2 次,并用 70% 乙醇补足损失体积,取 0.5 mL 样品溶液,采用福林酚显色法测定铜鼓多花黄精中总酚含量。以没食子酸为标准品,绘制标准曲线计算总酚含量,其回归方程为  $y=0.1362x+0.0437$ ,  $R^2=0.9992$ 。

1.2.4 营养品质评价体系的构建 多花黄精营养品质指标评价体系中各评价指标具有不同的纲量和数量级,故需对原始数据进行标准化处理。

采用灰色关联分析与主成分分析相结合,把各项营养品质指标通过降维的方式,按特征值大小的原则选取主成分,再得出多花黄精营养品质综合分析模型,比较不同品种(系)得分,最后根据综合评分范围构建多花黄精的 6 个评分等级。

## 1.3 数据处理

实验数据采用 Excel 2010 进行处理及 Origin 9.0 软件进行作图,使用 IBM SPSS 23 进行显著性、相关性、因子和聚类分析,其中聚类分析采用系统聚类分析法,样本之间的距离采用平方欧式距离。

## 2 结果与分析

### 2.1 营养成分分析

由表 2 可知,种植方式及生长年限对铜鼓多花黄精的营养成分具有显著的影响。不同种植方式的铜鼓多花黄精淀粉含量无显著性差异( $P>0.05$ ),为 11.22%~12.32%,远低于武陵多花黄精的淀粉含量(22.8%)<sup>[20]</sup>,这可能与黄精品种、生长环境、种植方式、生长年限等因素密切相关。除野生生长 4 年(W-4)多花黄精的粗纤维含量最高(4.41%)外,大棚种植(GP)的多花黄精粗纤维平均含量(3.89%)高于露天种植(OP)和林下种植(UP),其中,UP-4 的粗纤维含量最低(2.92%)。GP 多花黄精的蛋白质平均含量最高(11.6%),其次是 W-4(7.10%)、UP(均值 6.60%)及 OP(均值 4.61%)。其中,GP-3 蛋白质含量最高

表 2 铜鼓多花黄精的营养成分含量

Table 2 Nutrients content of Tonggu *Polygonatum cyrtonea* Hua

样品编号	淀粉(%)	粗纤维(%)	蛋白质(%)	脂肪(%)	灰分(%)	水分(%)
GP-3	12.01±0.56 <sup>a</sup>	4.12±0.68 <sup>ab</sup>	13.30±0.64 <sup>a</sup>	0.70±0.03 <sup>c</sup>	3.71±0.35 <sup>a</sup>	5.51±0.15 <sup>de</sup>
GP-4	11.22±0.73 <sup>a</sup>	3.72±0.45 <sup>b</sup>	10.20±0.37 <sup>b</sup>	0.81±0.04 <sup>b</sup>	3.31±0.21 <sup>ab</sup>	5.23±0.11 <sup>f</sup>
GP-5	11.26±1.02 <sup>a</sup>	3.82±0.16 <sup>b</sup>	9.30±0.42 <sup>c</sup>	0.72±0.05 <sup>c</sup>	2.69±0.18 <sup>b</sup>	5.33±0.14 <sup>def</sup>
OP-3	12.32±1.45 <sup>a</sup>	3.04±0.32 <sup>de</sup>	5.20±0.37 <sup>e</sup>	0.91±0.07 <sup>a</sup>	2.91±0.56 <sup>ab</sup>	5.81±0.54 <sup>cd</sup>
OP-4	11.54±0.56 <sup>a</sup>	3.29±0.12 <sup>cd</sup>	4.02±0.58 <sup>f</sup>	1.04±0.05 <sup>a</sup>	1.94±0.14 <sup>e</sup>	5.73±0.36 <sup>cd</sup>
UP-3	12.19±0.58 <sup>a</sup>	3.93±0.35 <sup>ab</sup>	7.30±0.23 <sup>d</sup>	0.71±0.06 <sup>c</sup>	2.62±0.35 <sup>b</sup>	6.72±0.24 <sup>ab</sup>
UP-4	12.23±0.89 <sup>a</sup>	2.92±0.42 <sup>e</sup>	5.90±0.42 <sup>e</sup>	1.04±0.03 <sup>a</sup>	3.13±0.45 <sup>ab</sup>	6.34±0.38 <sup>bc</sup>
W-4	11.38±0.46 <sup>a</sup>	4.41±0.23 <sup>a</sup>	7.10±0.41 <sup>d</sup>	0.52±0.05 <sup>d</sup>	1.42±0.23 <sup>d</sup>	7.67±0.45 <sup>a</sup>

注: 同列不同小写字母代表差异显著( $P<0.05$ ); 表3~表4、表6同。

(13.30%)。除 OP 和 UP-4 外, 其它铜鼓多花黄精样品的蛋白含量均高于贵州省铜仁市印江县 6 个品系多花黄精(3.82%~6.37%)<sup>[24]</sup>, 也高于王天梅等<sup>[21]</sup>研究的贵州六枝(4.13%)、兴义(3.85%)、遵义(4.39%)、石阡(4.10%)及四川乐山(4.85%)产地黄精蛋白质含量, 这可能表明 GP 和 W 铜鼓多花黄精的蛋白质营养更丰富。W-4 的脂肪含量最低, 仅为 0.52%, 其次是 GP(均值 0.74%)、UP(均值 0.88%)和 OP(均值 0.98%)。其中, UP-4 和 OP-4 脂肪含量最高, 达 1.04%。GP 的多花黄精灰分含量最高, 其均值达 3.24%, 而 W-4 的灰分最低, 仅为 1.42%, 其可能是由于大棚种植肥料充足, 导致多花黄精吸收了充足的矿物元素。铜鼓多花黄精根茎经洗净、去根须、切片、烘箱干燥等处理后, W-4 的水分含量最高(7.67%), 其次是 UP(均值 6.53%)、OP(均值 5.77%)、GP(均值 5.36%)。

生长年限由生长 3 年延长至生长 4 年后, GP 和 UP 这 2 种植方式多花黄精的脂肪含量显著增加( $P<0.05$ ), 但 UP 的粗纤维, GP、OP 和 UP 的蛋白质( $P<0.05$ )以及 OP 的灰分含量却显著降低( $P<0.05$ )。其中, GP 由生长 3 年延长至生长 4 年后, 脂肪含量由 0.70% 显著增加至 0.81% ( $P<0.05$ ), 提高了 15.71%; 但继续生长至 5 年后, 其脂肪含量却又降低到 0.72%, 与生长 3 年时相近。而 GP 由生长 3 年延长至生长 5 年后, 其蛋白质含量由 13.30% 显著降低至 9.30% ( $P<0.05$ ), 下降了 30.07%; 灰分含量降低 27.49%, 但淀粉、粗纤维和水分都无显著性变化( $P>0.05$ )。此外, 铜鼓多花黄精的水分和灰分含量均

符合 2020 版《中国药典》的要求<sup>[3]</sup>。

## 2.2 铜鼓多花黄精矿物质元素

表 3 显示了铜鼓多花黄精中 5 种常量矿物元素的含量, 8 个样品各元素平均含量高低顺序为  $K>Ca>Mg>Na>P$ 。种植方式和生长年限对多花黄精中矿物元素含量均有不同程度的影响。不同种植方式下, P、Ca、K 元素平均含量高低顺序为  $GP>UP>OP>W$ , Na 元素平均含量高低顺序为  $GP>OP>UP>W$ , Mg 元素平均含量高低顺序为  $UP>GP>OP>W$ ; 其中, GP-3 中的 P、Na、Ca 元素, GP-4 中的 K 元素及 UP-3 中的 Mg 元素含量最高, 分别为 28.60、298.86、4346.11、11994.42 和 1118.34 mg/kg, 而 W-4 中的 5 种常量矿物质元素含量最低, 这可能与种植肥料类型及施肥量有关。

除 GP 由生长 3 年延长至生长 5 年其 K 元素先增加后降低外, 其它检测的铜鼓多花黄精中矿物元素含量与生长年限呈负相关性, 且 GP 下降率最高。如 GP 由生长 3 年延长至生长 5 年后, 多花黄精中 Ca 元素含量由 4346.11 mg/kg 降低至 2421.97 mg/kg, 降低 44.27%; 其次是 P 和 K 分别下降了 22.73% 和 19.89%, 而 Na 和 Mg 均仅下降了 7% 左右。OP 的多花黄精由生长 3 年延长至生长 4 年后, Mg、Na、Ca、K 和 P 元素含量分别降低 38.21%、22.01%、21.23%、11.98% 和 9.71%; UP 的多花黄精由生长 3 年延长至生长 4 年后, Na 含量下降最大, 达到 22.05%, 而 K、Mg 和 Ca 元素含量分别仅降低 8.41%、5.51% 和 4.16%, P 元素无显著性变化( $P>0.05$ )。

表 3 铜鼓多花黄精的常量矿物元素含量(mg/kg)

Table 3 Constant mineral element content of Tonggu *Polygonatum cyrtonea* Hua (mg/kg)

样品编号	P	Na	Mg	K	Ca
GP-3	28.60±1.35 <sup>a</sup>	298.86±11.24 <sup>a</sup>	1082.44±12.31 <sup>b</sup>	10487.63±43.20 <sup>b</sup>	4346.11±22.95 <sup>a</sup>
GP-4	26.10±1.25 <sup>b</sup>	265.59±10.4 <sup>b</sup>	1002.84±15.21 <sup>d</sup>	11994.42±52.14 <sup>a</sup>	3853.22±18.06 <sup>b</sup>
GP-5	22.10±1.42 <sup>c</sup>	275.45±1.35 <sup>b</sup>	1004.42±24.30 <sup>d</sup>	8401.05±21.04 <sup>c</sup>	2421.97±16.30 <sup>f</sup>
OP-3	20.60±0.58 <sup>c</sup>	18.54±0.45 <sup>c</sup>	908.26±10.52 <sup>e</sup>	3555.35±14.52 <sup>e</sup>	2617.42±14.06 <sup>e</sup>
OP-4	18.60±0.36 <sup>d</sup>	14.46±0.31 <sup>d</sup>	561.21±4.35 <sup>e</sup>	3129.32±16.37 <sup>f</sup>	2061.80±12.02 <sup>b</sup>
UP-3	20.40±0.64 <sup>c</sup>	3.90±0.04 <sup>e</sup>	1118.34±6.35 <sup>a</sup>	3880.72±17.52 <sup>d</sup>	3141.07±13.52 <sup>e</sup>
UP-4	20.20±1.30 <sup>cd</sup>	3.04±0.02 <sup>f</sup>	1056.71±7.32 <sup>e</sup>	3554.49±16.58 <sup>e</sup>	3010.25±11.25 <sup>d</sup>
W-4	9.82±0.68 <sup>e</sup>	0.91±0.04 <sup>f</sup>	709.21±4.39 <sup>f</sup>	3167.61±14.62 <sup>f</sup>	2283.89±10.25 <sup>e</sup>

表4 铜鼓多花黄精的微量矿物元素含量(mg/kg)

Table 4 Trace mineral element content of Tonggu *Polygonatum cyrtoneuma* Hua (mg/kg)

样品编号	Fe	Mn	Cu	Zn	Se
GP-3	289.36±4.25 <sup>c</sup>	9.31±0.52 <sup>d</sup>	6.67±0.98 <sup>a</sup>	22.02±0.98 <sup>c</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>
GP-4	265.66±3.12 <sup>d</sup>	4.45±0.98 <sup>e</sup>	4.00±0.32 <sup>c</sup>	14.57±0.05 <sup>f</sup>	0.07±0.02 <sup>bc</sup>
GP-5	237.44±2.03 <sup>e</sup>	3.23±0.26 <sup>f</sup>	4.25±0.14 <sup>bc</sup>	17.51±0.14 <sup>e</sup>	0.04±0.00 <sup>c</sup>
OP-3	387.40±5.62 <sup>b</sup>	4.07±0.58 <sup>e</sup>	4.49±0.25 <sup>b</sup>	18.17±0.31 <sup>d</sup>	0.08±0.02 <sup>ab</sup>
OP-4	219.40±3.25 <sup>f</sup>	2.96±0.32 <sup>g</sup>	3.71±0.86 <sup>d</sup>	9.22±0.12 <sup>g</sup>	0.06±0.01 <sup>cd</sup>
UP-3	425.89±4.23 <sup>a</sup>	25.36±1.71 <sup>a</sup>	3.89±0.15 <sup>d</sup>	41.94±0.68 <sup>a</sup>	0.09±0.02 <sup>ab</sup>
UP-4	381.51±5.07 <sup>b</sup>	13.57±1.56 <sup>c</sup>	3.64±0.36 <sup>d</sup>	17.23±0.36 <sup>e</sup>	0.04±0.00 <sup>c</sup>
W-4	152.78±3.09 <sup>g</sup>	16.50±1.03 <sup>b</sup>	3.63±0.70 <sup>d</sup>	26.44±1.02 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>f</sup>

表4显示了铜鼓多花黄精中5种微量矿物质元素的含量,8个样品平均含量高低顺序为 Fe>Zn>Mn>Cu>Se。种植方式和生长年限对多花黄精中微量矿物质元素含量有显著的影响。不同种植方式下,Fe元素平均含量高低顺序为 UP>OP>GP>W,Zn、Mn元素平均含量高低顺序为 UP>W>GP>OP,Cu元素平均含量高低顺序为 GP>OP>UP>W,GP、UP和OP这3种植植方式下多花黄精Se元素的均值均为0.07 mg/kg。其中,UP-3中的Fe、Zn、Mn元素,及GP-3中的Cu、Se元素含量最高,分别为425.89、41.94、25.36、6.67和0.10 mg/kg,而W-4中的Fe、Cu、Se元素,及OP-4中的Zn、Mn元素含量最低,分别为152.78、3.63、0.02、9.22和2.96 mg/kg,这也可能与种植肥料类型及施肥量有关。

与常量矿物质元素类似,除GP多花黄精由生长4年延长至生长5年其Cu、Zn元素增加外,其它检测的铜鼓多花黄精中矿物元素含量也与生长年限呈负相关性,但不同种植方式的多花黄精中微量矿物质元素下降趋势有较大差异。GP由生长3年延长至生长5年后,以Mn含量下降率(65.31%)最大,其次是Se、Cu和Zn,分别降低60.00%、36.28%和20.48%,而Fe下降率最低,仅为17.94%。OP由生长3年延长至生长4年后,以Zn含量下降趋势最明显,其下降率达到49.26%,其次是Fe、Mn和Se元素,分别降低43.37%、27.27%和25.00%,而Cu下降率最低,仅为17.37%。UP由生长3年延长至生长4年后,多花黄精中Zn含量下降率最大,达58.82%,其次是Se、Mn和Fe,分别降低55.55%、46.48%和10.42%,而Cu元素无显著性变化。

### 2.3 氨基酸含量及必需氨基酸的营养评价分析

从铜鼓多花黄精氨基酸组成和含量热图(图1A)中可知,铜鼓多花黄精中均含有丰富的氨基酸,总氨基酸含量为2.63~8.75 g/100 g,平均值为5.06 g/100 g,种植方式和生长年限之间都存在一定的差异。GP和OP的多花黄精主要氨基酸为精氨酸、谷氨酸和天冬氨酸,而W和UP的主要氨基酸为精氨酸、谷氨酸和半胱氨酸,张泽锐等<sup>[30]</sup>研究也发现多花黄精中根茎的主要氨基酸为精氨酸、谷氨酸和天冬氨酸,表明这几种氨基酸可能多花黄精中的主要氨基酸。GP由生长3年延长至生长5年后多花黄精的总氨

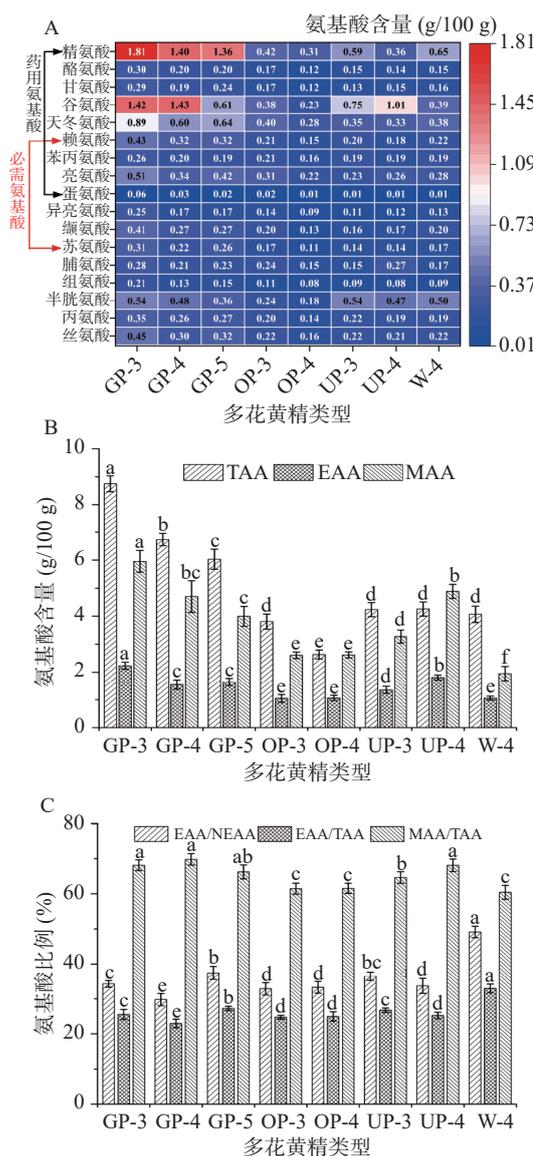


图1 铜鼓多花黄精氨基酸含量(A~B)及其比例(C)

Fig.1 Amino acid content (A~B) and its rate (C) of Tonggu *Polygonatum cyrtoneuma* Hua

注: TAA-总氨基酸, EAA-必需氨基酸, NEAA-非必需氨基酸, MAA-药用氨基酸<sup>[18,23]</sup>。

基酸(TAA)、必需氨基(EAA)和药用氨基酸(MAA)平均含量均最高(图1B),分别为7.17、1.81和4.88 g/100 g,且GP-3>UP-3>OP-3,GP-4高于OP-4和W-4。由图1C可知,GP、OP、UP的EAA/TAA平均值相近,为24.83%~25.96%,均低于W-4(32.94%),而

GP 的 MAA/TAA 平均值最高 (68.04%), 其次为 UP(66.36%)、OP(61.49%) 和 W-4(60.43%), 且 GP-3>UP-3>OP-3, GP-4>UP-4>OP-4>W-4。

不同生长年限的多花黄精氨基酸含量也存在显著性差异。随着生长年限的逐渐增加, 铜鼓多花黄精的 TAA、MAA 及 EAA 含量呈现不同的变化趋势。如 GP 由生长 3 年延长至生长 5 年, TAA、MAA 及 EAA 含量均呈下降趋势, 其中以谷氨酸、蛋氨酸的降低比率最大, 达到 57% 以上, 且总氨基酸含量由 8.75 g/100 g 降低至 6.03 g/100 g, 下降 31.09%, 必需氨基酸含量下降 26.39%, 药用氨基酸含量下降 33.00%。UP 多花黄精则是部分氨基酸含量下降, 主要以精氨酸和蛋氨酸下降量最大, UP 由生长 3 年延长至生长 4 年后降低量可达到 28% 以上。此外, UP 多花黄精随着生长年限增加, 其 TAA、MAA、EAA 及部分氨基酸含量也呈逐渐增加的趋势, 如 UP 由生长 3 年延长至生长 4 年后谷氨酸的增加量达 34.67%。而 OP 由生长 3 年延长至生长 4 年后, TAA 显著降低, 但 MAA 和 EAA 含量无显著性变化。

表 5 显示了铜鼓多花黄精中必需氨基酸的营养评价分析结果。GP、UP 和 W 铜鼓多花黄精的蛋氨酸+半胱氨酸的氨基酸评分高于 100%, 最高分别达 171.43%、159.43% 和 144.29%, 但 OP 多花黄精的蛋氨酸+半胱氨酸的氨基酸评分及其它 6 种必需氨基酸评分均低于 100%, 其中异亮氨酸评分最低, 在 22.50%~62.25% 范围, 为铜鼓多花黄精第一限制性氨基酸。种植方式及生长年限也对多花黄精必需氨基酸营养评分都有较大的影响。GP 多花黄精所

有必需氨基酸的营养评分均最高, 其次是 W、UP 和 OP。随着生长年限的增加, 多花黄精必需氨基酸营养评分呈逐渐下降的趋势, 其中以 GP 和 OP 下降趋势最为明显。GP 由生长 3 年延长至生长 5 年后, 其蛋氨酸+半胱氨酸和缬氨酸的营养评分分别由 171.43%、82.40% 降低至 109.14%、54.60%, 下降 36.33% 和 33.74%。OP 由生长 3 年延长至生长 4 年后, 其蛋氨酸+半胱氨酸和缬氨酸的营养评分分别下降 28.63% 和 36.55%, 而 UP 由生长 3 年延长至生长 4 年后, 其蛋氨酸+半胱氨酸营养评分下降率为 13.62%。

### 2.4 铜鼓多花黄精药用活性成分

表 6 显示了不同种植方式和生长年限的铜鼓多花黄精中活性成分含量。《中国药典》中要求黄精中的醇溶性浸出物含量不低于 45%, 铜鼓多花黄精的醇溶性浸出物含量远高于这一指标。相同生长年限下, GP 多花黄精的醇溶性浸出物含量显著高于其它种植方式 ( $P<0.05$ ), 即 GP-3>OP-3、UP-3, GP-4>OP-4>UP-4、W-4。其中, GP-4 的醇溶性浸出物达到 90.32%, 其可能归因于大棚种植的多花黄精肥料充足, 生物合成时间比生长 3 年的长, 但达到最高值时, 继续延长生长年限至 5 年时, 其含量无显著变化 ( $P>0.05$ )。此外, 铜鼓所产 3 年以上多花黄精的醇溶性浸出物含量达到 74% 以上, 均高于贵州省铜仁市印江县 6 个品系多花黄精(57.48%~68.59%)<sup>[24]</sup>, 及贵州兴义(68.48%)、石阡(68.30%)、四川乐山(66.00%) 多花黄精醇溶性浸出物含量<sup>[21]</sup>。GP 由生长 3 年延长至生长 4 年后, 其醇溶性浸出物含量由 81.51% 增

表 5 铜鼓多花黄精必需氨基酸营养评价分析

Table 5 Nutritional evaluation of essential amino acids of Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua

氨基酸类型	氨基酸评分(%)							
	GP-3	GP-4	GP-5	OP-3	OP-4	UP-3	UP-4	W-4
苏氨酸	77.50	55.75	65.25	43.25	28.50	36.00	35.75	41.25
缬氨酸	82.40	53.60	54.60	39.40	25.00	32.40	33.00	39.00
蛋氨酸+半胱氨酸	171.43	143.14	109.14	72.86	52.00	159.43	137.71	144.29
异亮氨酸	62.25	42.50	42.25	33.75	22.50	28.00	29.00	31.75
亮氨酸	72.14	48.29	59.57	43.71	31.43	32.29	37.29	39.29
苯丙氨酸+酪氨酸	93.00	65.67	64.33	62.67	47.67	56.83	54.00	56.17
赖氨酸	78.91	58.36	57.45	38.91	27.64	35.64	33.09	39.45

表 6 铜鼓多花黄精的醇溶性浸出物、多糖、皂苷、黄酮和总酚含量

Table 6 Ethanol-soluble extractives, polysaccharides, saponins, flavones, and total phenolic content of Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua

样品编号	醇溶性浸出物(%)	多糖含量(%)	皂苷含量(mg/g)	黄酮(mg/g)	总酚(%)
GP-3	81.51±1.24 <sup>c</sup>	8.44±0.29 <sup>de</sup>	0.09±0.03 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>b</sup>	0.05±0.00 <sup>b</sup>
GP-4	90.32±0.95 <sup>a</sup>	11.07±0.37 <sup>bc</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>b</sup>	0.05±0.02 <sup>b</sup>
GP-5	89.64±0.86 <sup>ab</sup>	8.03±0.41 <sup>e</sup>	0.10±0.03 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>
OP-3	73.40±1.35 <sup>d</sup>	9.35±0.66 <sup>d</sup>	0.10±0.02 <sup>a</sup>	0.03±0.01 <sup>b</sup>	0.05±0.00 <sup>b</sup>
OP-4	87.12±2.10 <sup>b</sup>	12.40±0.81 <sup>a</sup>	0.09±0.02 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>
UP-3	74.29±1.02 <sup>d</sup>	8.94±0.58 <sup>de</sup>	0.08±0.03 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>b</sup>	0.04±0.01 <sup>b</sup>
UP-4	75.77±2.35 <sup>d</sup>	11.90±0.95 <sup>ab</sup>	0.08±0.03 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>b</sup>	0.05±0.02 <sup>b</sup>
W-4	74.24±1.23 <sup>d</sup>	10.19±0.79 <sup>cd</sup>	0.10±0.04 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.23±0.02 <sup>a</sup>

加至 90.32%，提高了 10.81%；但 GP 由生长 4 年延长至生长 5 年后，醇溶性浸出物含量无显著性变化 (89.64%)，这可能是因为铜鼓多花黄精生长 4 年后醇溶性浸出物的生物合成达到了峰值。OP 由生长 3 年延长至生长 4 年后，其醇溶性浸出物含量由 73.40% 增加至 87.12%，提高了 18.69%。

多糖是多花黄精中主要生物活性成分之一，也是目前《中国药典》评价多花黄精品质的唯一可定量指标成分。铜鼓多花黄精多糖含量为 8.03%~12.40%，均能满足《中国药典》以无水葡萄糖计时不得少于 7.0% (按干燥品计算) 的要求，高于贵州遵义 (7.69%)、贵州石阡 (7.04%) 和四川乐山 (7.71%) 多花黄精的多糖含量<sup>[19]</sup>。OP 的多花黄精多糖含量最高，可达到 9.35%~12.40%，均值为 10.87%，其次是 UP (均值为 10.42%)、GP (均值为 9.18%) 和 W-4 (10.19%)。多花黄精多糖含量由生长 3 年延长至生长 4 年而增加，如 GP 由生长 3 年延长至生长 4 年后，其多糖含量由 8.44% 增加至 11.07%，提高了 31.16%；OP 由生长 3 年延长至生长 4 年后，其多糖含量升高了 32.62%；UP 由生长 3 年延长至生长 4 年后，其多糖含量增加了 33.11%。罗霜等<sup>[22]</sup> 对不同产地多花黄精成分进行分析，发现江西多花黄精总多糖含量最低 (7.31%)，也低于所有铜鼓多花黄精样品中的多糖含量，这可能与其选择的多花黄精品种、种植方式、生长年限等因素有关。

皂苷、黄酮和总酚也是多花黄精的主要药用活性成分<sup>[31]</sup>。本文分别以人参皂苷 Rb1、芦丁和没食子酸为标准品，分析测定了不同种植方式和生长年限铜鼓多花黄精中的皂苷、黄酮和总酚含量，发现其含量分别为 0.08~0.10 mg/g、0.03~0.07 mg/g 和 0.04%~

0.23% (表 6)。种植方式和生长年限对铜鼓多花黄精中的皂苷含量无显著性影响 ( $P>0.05$ )。除了 W 多花黄精黄酮 (0.07 mg/g) 和总酚 (0.23%) 最高外，其他 3 种植方式和生长年限对黄酮和多酚含量无显著性影响 ( $P>0.05$ )，黄酮含量均为 0.04 mg/g (除 OP-3 为 0.03 mg/g 外)，总酚含量均为 0.05% (除 UP-3 为 0.04% 外)。

## 2.5 多花黄精营养品质评价体系的构建

### 2.5.1 营养品质指标的相关性、因子及聚类分析

近年来，化学检测分析结合相关分析、因子分析、聚类分析等多种统计分析的方法已广泛应用于农业科学领域<sup>[32-35]</sup>。胡小霞等<sup>[32]</sup> 通过相关性分析、主成分分析和聚类分析对 11 个产地大蒜药用质量进行综合评价。陈妹姑等<sup>[33]</sup> 利用差异显著性分析对 11 份榴莲品种各外观、营养、品质指标进行比较，并采用主成分分析和模糊综合评判法进行综合评价。本研究利用 SPSS 23 软件对不同种植方式和生长年限铜鼓多花黄精的 22 项营养品质指标进行了相关性分析。两指标之间相关系数绝对值越大，表明两指标间的联系越紧密，正值表示正相关，负值表示负相关<sup>[34]</sup>。由表 7 可知，淀粉与 Fe 的相关系数为 0.728，呈显著正相关 ( $P<0.05$ )，蛋白质与 EAA、MAA、Na、K、Ca 和 Cu 呈显著正相关 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ )；灰分与 MAA、P、Mg 和 Ca 呈正相关 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ )；EAA 与 MAA、Na、Cu、K 和 Ca 呈显著正相关 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ )；MAA 与 P、Na、K、Ca、Cu 呈显著正相关 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ )；P 与 Na、K、Ca、Se 显著正相关 ( $P<0.05$ )；Na 与 K 呈极显著正相关 ( $P<0.01$ )；K 与 Ca 呈显著正相关 ( $P<0.05$ )；Mn 与 Zn 呈极显著正相关 ( $P<0.01$ )；而粗纤维与脂肪

表 7 铜鼓多花黄精 22 项营养品质指标的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of 22 nutritional qualities indicators of Tonggu *Polygonatum cyrtoneema* Hua

品质指标	醇溶性浸出物	淀粉	粗纤维	蛋白质	脂肪	灰分	EAA	MAA	多糖	皂苷	黄酮	总酚	P	Na	Mg	K	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn	Se	
醇溶性浸出物	1																						
淀粉	-0.615	1																					
粗纤维	0.059	-0.378	1																				
蛋白质	0.342	0.017	0.599	1																			
脂肪	0.133	0.318	-0.937**	-0.537	1																		
灰分	0.180	0.516	-0.237	0.604	0.228	1																	
EAA	0.325	0.105	0.436	0.934**	-0.413	0.647	1																
MAA	0.423	0.058	0.428	0.977**	-0.363	0.723*	0.952**	1															
多糖	0.093	-0.077	-0.502	-0.572	0.644	-0.263	-0.622	-0.488	1														
皂苷	0.085	-0.337	0.187	0.232	-0.383	0.029	0.420	0.252	-0.464	1													
黄酮	0.120	-0.688	0.220	-0.262	-0.267	-0.618	-0.425	-0.330	0.319	0.050	1												
总酚	-0.329	-0.176	0.611	0.088	-0.612	-0.537	0.011	-0.045	0.066	0.105	0.491	1											
P	0.466	0.284	-0.139	0.642	0.225	0.921**	0.676	0.758*	-0.269	0.014	-0.652	-0.645	1										
Na	0.705	-0.234	0.352	0.870**	-0.274	0.601	0.882**	0.918**	-0.459	0.360	-0.198	-0.190	0.736*	1									
Mg	-0.112	0.476	0.038	0.576	-0.144	0.780*	0.487	0.585	-0.527	-0.078	-0.330	-0.354	0.621	0.413	1								
K	0.670	-0.224	0.332	0.871**	-0.245	0.660	0.823*	0.925**	-0.325	0.305	-0.157	-0.190	0.770*	0.956**	0.460	1							
Ca	0.113	0.388	0.223	0.807*	-0.154	0.833*	0.718*	0.840**	-0.256	-0.036	-0.484	-0.136	0.782*	0.609	0.699	0.739*	1						
Fe	-0.475	0.728*	-0.508	-0.136	0.378	0.532	-0.139	-0.087	-0.139	-0.298	-0.515	-0.606	0.358	-0.257	0.655	-0.178	0.298	1					
Mn	-0.666	0.333	0.368	-0.025	-0.405	-0.190	-0.263	-0.184	-0.140	-0.501	0.111	0.350	-0.340	-0.456	0.327	-0.375	0.104	0.363	1				
Cu	0.070	0.429	0.279	0.746*	-0.226	0.631	0.874**	0.767*	-0.558	0.251	-0.770*	-0.065	0.661	0.620	0.385	0.551	0.686	0.065	-0.169	1			
Zn	-0.589	0.243	0.498	0.142	-0.585	-0.093	-0.053	-0.027	-0.502	-0.217	-0.039	0.187	-0.182	-0.247	0.448	-0.205	0.164	0.404	0.902**	0.017	1		
Se	-0.042	0.467	-0.041	0.348	0.098	0.632	0.345	0.379	-0.337	-0.105	-0.827*	-0.580	0.711*	0.240	0.494	0.317	0.641	0.617	0.109	0.585	0.314	1	

注：\*\*表示在 0.01 水平 (双尾)，极显著相关性， $P<0.01$ ；\*表示在 0.05 水平 (双尾)，显著相关性， $P<0.05$ 。

( $P < 0.01$ ), 以及黄酮与 Cu、Se 呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 表明多花黄精品质的不同指标之间存在一定的相关性。

表 8 显示了铜鼓多花黄精 22 项营养品质指标数据的降维-因子分析结果。前 4 个因子的特征值均不小于 1.5, 为主因子, 其所包含的信息量占总体信息量的 88.465%。其中, F1 因子方差贡献率为 40.765%, 代表性指标为蛋白质、灰分、EAA、MAA、多糖、P、Na、Mg、K、Ca、Cu 和 Se; F2 因子方差贡献率为 22.349%, 代表性指标为淀粉、粗纤维、黄酮、总酚和 Fe; F3 因子方差贡献率为 18.532%, 代表性指标为醇溶性浸出物、脂肪、Mn 和 Zn; F4 因子方差贡献率为 6.819%, 代表性指标为皂苷。

对 22 项营养品质指标数据标准转化后, 采用欧式距离进行系统聚类分析(图 2)。在欧式距离为 21 时, 22 个指标聚为 4 类, 其中蛋白质、MAA、EAA、Na、K、Cu、灰分、P、Ca、Mg、醇溶性浸出物和皂苷聚为一类; Mn、Zn、淀粉、Fe 和 Se 聚为一类; 粗纤维、总酚、黄酮聚为一类; 多糖和脂肪聚为一类。

综合相关性、降维-因子和聚类分析结果可知, 淀粉与 Fe 显著相关, 蛋白质与 MAA、EAA、Na、K、Ca 和 Cu 高度相关, 灰分与 P、Mg 高度相关, 且因子分析和聚类分析均表明淀粉与 Fe 为同一类性状, 蛋白质与 MAA、EAA、Na、K、Ca 和 Cu 为同一类性状, 灰分与 P、Mg 为同一类性状。因此, 可将多花黄精 22 项营养品质评价指标简化为醇溶性浸出物、淀粉、粗纤维、蛋白质、脂肪、灰分、多糖、皂苷、黄酮、总酚、Mn、Zn 和 Se 等 13 项指标。

表 8 铜鼓多花黄精营养品质指标的载荷特征向量及累积方差贡献率

Table 8 Loading matrix eigenvector and cumulative contribution rate of nutritional qualities indicators of Tonggu *Polygonatum cyrtoneema* Hua

品质指标	因子权重			
	F1	F2	F3	F4
醇溶性浸出物	0.331	-0.450	-0.692 <sup>▲</sup>	0.328
淀粉	0.241	0.794 <sup>▲</sup>	0.269	-0.211
粗纤维	0.255	-0.692 <sup>▲</sup>	0.613	0.085
蛋白质	0.898 <sup>▲</sup>	-0.351	0.197	0.127
脂肪	-0.217	0.647	-0.714 <sup>▲</sup>	0.062
灰分	0.850 <sup>▲</sup>	0.413	-0.184	0.094
EAA	0.915 <sup>▲</sup>	-0.306	0.041	-0.185
MAA	0.943 <sup>▲</sup>	-0.271	0.013	0.110
多糖	-0.568 <sup>▲</sup>	0.161	-0.485	0.367
皂苷	0.226	-0.484	-0.101	-0.633 <sup>▲</sup>
黄酮	-0.577	-0.585 <sup>▲</sup>	0.034	0.430
总酚	-0.303	-0.591 <sup>▲</sup>	0.504	-0.064
P	0.887 <sup>▲</sup>	0.277	-0.333	0.125
Na	0.851 <sup>▲</sup>	-0.424	-0.257	0.098
Mg	0.689 <sup>▲</sup>	0.371	0.327	0.284
K	0.855 <sup>▲</sup>	-0.361	-0.238	0.246
Ca	0.867 <sup>▲</sup>	0.153	0.143	0.248
Fe	0.185	0.911 <sup>▲</sup>	0.196	0.053
Mn	-0.179	0.249	0.885 <sup>▲</sup>	0.342
Cu	0.837 <sup>▲</sup>	0.021	0.103	-0.409
Zn	0.041	0.176	0.927 <sup>▲</sup>	0.150
Se	0.629 <sup>▲</sup>	0.550	0.108	-0.070
特征值	8.968	4.917	4.077	1.500
累积方差贡献率(%)	40.765	63.114	81.646	88.465

注: ▲表示指标在各因子中的最大绝对值。

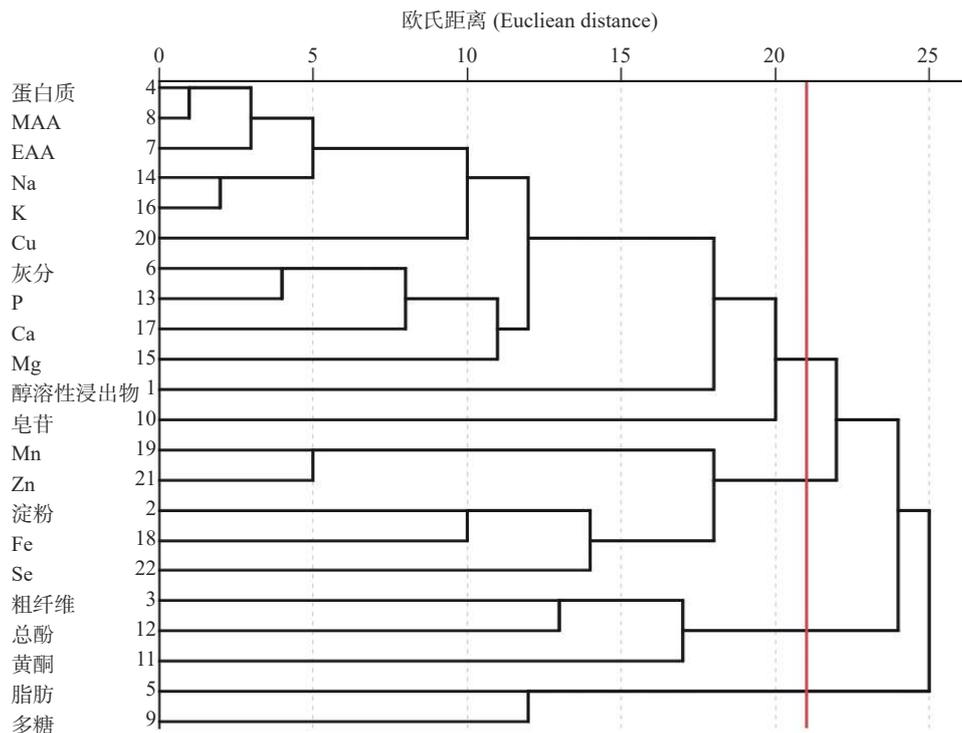


图 2 铜鼓多花黄精 22 项营养品质指标的系统聚类谱系图

Fig.2 Systematic clustering of 22 nutritional qualities indicators of Tonggu *Polygonatum cyrtoneema* Hua

2.5.2 多花黄精营养品质综合评价体系的建立 主成分分析是指将有关联的众多指标运用综合变量进行概括,以达到降维的多元统计方法,已广泛被用于多种农产品营养品质评价体系的建立<sup>[29]</sup>。表9显示了将简化后13项指标标准化的数据进行主成分分析,各营养品质指标的载荷特征向量及累积方差贡献率,3个因子的特征值均超过2.5,其累积方差贡献率达到79.521%。利用表9中各指标数据除以主成分相应的特征值开平方,便可得到3个主成分中各指标所对应的系数,即特征向量,根据特征向量可得3个主成分的得分表达式如式(1)~(3)所示:

$$F1 = -0.013X_1 - 0.194X_2 + 0.398X_3 + 0.258X_4 + 0.276X_5 - 0.324X_6 + 0.208X_7 + 0.009X_8 - 0.411X_9 + 0.105X_{10} - 0.022X_{11} + 0.036X_{12} - 0.197X_{13} \quad \text{式(1)}$$

$$F2 = -0.026X_1 + 0.395X_2 + 0.08X_3 + 0.525X_4 + 0.065X_5 + 0.472X_6 + 0.331X_7 - 0.003X_8 + 0.690X_9 - 0.042X_{10} - 0.015X_{11} + 0.035X_{12} + 0.541X_{13} \quad \text{式(2)}$$

$$F3 = 0.044X_1 - 0.338X_2 + 0.162X_3 + 0.709X_4 + 0.095X_5 + 0.272X_6 + 0.242X_7 + 0.036X_8 + 0.062X_9 - 0.026X_{10} + 0.032X_{11} - 0.029X_{12} + 0.058X_{13} \quad \text{式(3)}$$

其中,  $X_1 \sim X_{13}$  代表13种营养指标标准化后的变量。

根据上述3个主成分的方差贡献率,可得多花黄精营养品质综合评价模型如式(4)所示:

$$F = 30.569\%F1 + 27.566\%F2 + 21.285\%F3 \quad \text{式(4)}$$

表9 各营养品质指标的载荷特征向量及累积方差贡献率

Table 9 Loading matrix eigenvector and cumulative contribution rate of nutritional qualities indicators

品质指标	因子权重		
	F1	F2	F3
醇溶性浸出物	-0.265	-0.311	0.750
淀粉	-0.344	0.663	-0.499
粗纤维	0.881	0.172	0.307
蛋白质	0.281	0.544	0.647
脂肪	-0.938	-0.209	-0.271
灰分	-0.481	0.666	0.338
多糖	-0.420	-0.635	-0.409
皂苷	0.198	-0.065	0.646
黄酮	0.479	-0.763	-0.060
总酚	0.762	-0.292	-0.159
Mn	0.556	0.378	-0.687
Zn	0.618	0.572	-0.420
Se	-0.318	0.831	0.079
特征值	3.974	3.584	2.780
累积方差贡献率(%)	30.569	58.135	79.521

依据综合评价模型分别计算8个铜鼓多花黄精样品的综合得分(表10),结果显示GP-3的多花黄精营养品质最佳,其次是UP-3、W-4和GP-5,营养品质最差为OP-4。根据综合评分范围可将多花黄精营养品质划分为1级( $\leq -1.0$ )、2级( $-1.0 \sim -0.5$ )、3级( $-0.5 \sim 0.0$ )、4级( $0.0 \sim 0.5$ )、5级( $0.5 \sim 1.0$ )及6级

( $\geq 1.0$ )等6个等级,其中OP-4和UP-4为1级,OP-3为3级,GP-4和GP-5为4级,W-4和UP-3为5级,GP-3为6级(表11)。

表10 铜鼓多花黄精的主成分得分及综合排序

Table 10 Principal component score and comprehensive ranking of Tonggu *Polygonatum cyrtoneuma* Hua

编号	F1	F2	F3	综合评分	排序
GP-3	0.118	3.057	1.321	1.161	1
GP-4	-0.522	-0.737	1.898	0.043	5
GP-5	0.502	-0.702	2.182	0.426	4
OP-3	-1.589	0.645	-0.071	-0.323	6
OP-4	-2.016	-2.215	-0.489	-1.331	8
UP-3	1.285	2.341	-1.930	0.625	2
UP-4	-1.768	-0.466	-2.212	-1.142	7
W-4	3.990	-1.921	-0.699	0.541	3

表11 铜鼓多花黄精营养品质综合评分标准

Table 11 Comprehensive scoring criteria for nutritional quality of Tonggu *Polygonatum cyrtoneuma* Hua

等级	1	2	3	4	5	6
综合评分	$\leq -1.0$	$-1.0 \sim -0.5$	$-0.5 \sim 0.0$	$0.0 \sim 0.5$	$0.5 \sim 1.0$	$\geq 1.0$
样品编号	OP-4、UP-4	/	OP-3	GP-4、GP-5	W-4、UP-3	GP-3

### 3 结论

本文通过研究不同种植方式和生长年限对铜鼓多花黄精的淀粉、粗纤维、蛋白质、脂肪、矿物质元素、氨基酸组成、醇溶性浸出物、多糖等品质指标进行比较分析,发现种植方式和生长年限对铜鼓多花黄精的营养品质均有不同程度的影响。整体而言,大棚种植和生长3年的铜鼓多花黄精营养品质较好。其中,GP多花黄精营养成分(醇溶性浸出物、粗纤维、蛋白质、总氨基酸、必需氨基酸、药用氨基酸、5种常量矿物质元素及必需氨基酸营养评分)均显著高于其它3类种植方式,UP的Fe、Mn、Zn和Se含量最高,OP的多糖和皂苷含量最高,而W多花黄精的黄酮和总酚含量最高。随着生长年限的增加,多花黄精的醇溶性浸出物、脂肪和多糖含量均逐渐增加,但淀粉、粗纤维、蛋白质、总氨基酸含量、药用氨基酸、必需氨基酸、灰分、矿物质元素和必需氨基酸营养评分却逐渐降低,其中GP和OP降低趋势最为明显。生长年限对皂苷、黄酮和总酚含量无显著性影响( $P > 0.05$ )。

对上述有营养品质指标进行相关性分析表明,淀粉与Fe呈显著正相关( $P < 0.05$ ),蛋白质与EAA、MAA、Na、K、Ca和Cu呈显著正相关( $P < 0.01$ 或 $P < 0.05$ ),粗纤维与脂肪呈极显著负相关( $P < 0.01$ ),灰分与MAA、P、Mg和Ca呈显著正相关( $P < 0.01$ 或 $P < 0.05$ ),EAA与MAA、Na、Cu、K、Ca呈显著正相关( $P < 0.01$ 或 $P < 0.05$ ),MAA与P、Na、K、Ca、Cu呈显著正相关( $P < 0.01$ 或 $P < 0.05$ ),而黄酮与Cu、Se呈显著负相关( $P < 0.05$ )。根据主成分分析降维,筛选出可代表铜鼓多花黄精88.465%总信息的4个主成分。其中,以蛋白质、灰分、必需氨基酸、药用氨基酸、多糖、P、Na、Mg、K、Ca、Cu和Se为代表

性指标的 F1 因子方差贡献率最大。根据系统聚类分析方法,将多花黄精 22 项营养品质评价指标简化为醇溶性浸出物、淀粉、粗纤维、蛋白质、脂肪、灰分、多糖、皂苷、黄酮、总酚、Mn、Zn 和 Se 这 13 项指标。并将简化后 13 项指标标准化的数据利用主成分分析的综合评价,得出相应的营养品质综合评价模型,可完成不同种植方式和生长年限铜鼓多花黄精的品质评价工作。根据其营养品质综合评价模型计算出其综合评分,排序为 GP-3>UP-3>W-4>GP-5>GP-4>OP-3>UP-4>OP-4,即 GP-3 的多花黄精营养品质最佳。在综合得分大于 0 的 5 个铜鼓多花黄精样品中,除 UP-3 和 W 外,其他 3 个都为 GP,表明大棚种植独特的施肥方式和遮阴等处理对于铜鼓多花黄精的种植具有重要意义。根据综合评分范围可将多花黄精营养品质划分为 6 个等级,其中 OP-4 和 UP-4 为 1 级,OP-3 为 3 级,GP-4 和 GP-5 为 4 级,W-4 和 UP-3 为 5 级,GP-3 为 6 级。通过建立不同种植方式和生长年限铜鼓多花黄精营养品质评价体系,不仅可为多花黄精种植方式提供科学依据,也为建立规模化多花黄精种植基地提供理论支持、筛选优良营养品质的多花黄精原料及后期的加工应用或品种改良具有重要的指导意义。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

[1] ZENG T, TANG Y R, LI B, et al. Chemical characterization of constituents from *Polygonatum cyrtoneuma* Hua and their cytotoxic and antioxidant evaluation[J]. *Natural Product Research*, 2020, 34(17): 2482–2489.

[2] TANG C, YU Y M, GUO P, et al. Chemical constituents of *Polygonatum sibiricum*[J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2019, 55(2): 331–333.

[3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 25–26. [National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China, volume I[S]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 25–26.]

[4] ZHAO X, PATIL S Y, QIAN A, et al. Bioactive compounds of *Polygonatum sibiricum*-therapeutic effect and biological activity[J]. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders-Drug Targets*, 2022, 1(22): 26–37.

[5] SUNG L R, LI L, GUO Y Y, et al. A study on the effects of the rhizome of *Polygonatum sibiricum* Red. on acquisition of memory impairment induced by scopolamine in mice and the others[J]. *Journal of Shenyang Pharmaceutical University*, 2001, 18(4): 286–289.

[6] 陆佳岑, 薛畅, 姜程曦. 多花黄精及有效成分抗衰老作用机制的研究进展[J]. *中草药*, 2023, 54(14): 4732–4739. [LU J C, XUE C, JIANG C X. Research progress on anti-aging mechanism of extracts and active ingredients of *Polygonati rhizoma*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2023, 54(14): 4732–4739.]

[7] 杨茂会, 周欣, 谯政文, 等. 黄精多糖提取、分离纯化及生物活

性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(12): 407–416. [YAO M H, ZHOU X, QIAO Z W, et al. Recent advances in *Polygonatum polysaccharides*: Extraction, isolation, purification and bioactivities[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(12): 407–416.]

[8] TENG H H, ZHANG Y, JIN C S, et al. Polysaccharides from steam-processed *Polygonatum cyrtoneuma* Hua protect against D-galactose-induced oxidative damage in mice by activation of Nrf2/HO-1 signaling[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2023, 103: 779–791.

[9] WANG S P, LI G, ZHANG X F, et al. Structural characterization and antioxidant activity of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 291: 119524.

[10] CUI X W, WANG S Y, CAO H, et al. A review: The bioactivities and pharmacological applications of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides[J]. *Molecules*, 2018, 23(5): 2–12.

[11] LI L, THAKUR K, CAO Y. Anticancerous potential of polysaccharides sequentially extracted from *Polygonatum cyrtoneuma* Hua in human cervical cancer Hela cells[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 148: 843–850.

[12] CHAI Y Y, LUO J Y, BAO Y H. Effects of *Polygonatum sibiricum* saponin on hyperglycemia, gut microbiota composition and metabolic profiles in type 2 diabetes mice[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2021, 143: 112155.

[13] LUO J Y, CHAI Y Y, ZHAO M, et al. Hypoglycemic effects and modulation of gut microbiota of diabetic mice by saponin from *Polygonatum sibiricum*[J]. *Food & Function*, 2020, 11(5): 4327–4338.

[14] PUPO L G, SAN E V, HERNÁNDEZ R D, et al. Emerging immune and cell death mechanisms in stroke: Saponins as therapeutic candidates[J]. *Brain, Behavior, & Immunity-Health*, 2020, 12(9): 1–10.

[15] ZHANG Y S, MA Y L, THAKUR K, et al. Molecular mechanism and inhibitory targets of dioscin in HepG2 cells[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, 120: 143–154.

[16] BI J Y, FANG H Y, ZHANG J Y, et al. A review on the application, phytochemistry and pharmacology of *Polygonatum odoratum*, an edible medicinal plant[J]. *Journal of Future Foods*, 2023, 3(3): 240–251.

[17] SHU X S, LÜ J H, TAO J, et al. Antihyperglycemic effects of total flavonoids from *Polygonatum odoratum* in STZ and alloxan-induced diabetic rats[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2009, 3(124): 539–543.

[18] HU Y, YIN MI Z, BAI Y J, et al. An evaluation of traits, nutritional, and medicinal component quality of *Polygonatum cyrtoneuma* Hua and *P. sibiricum* Red[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 891775.

[19] 张凯, 张昭, 范永芳, 等. 药食同源药材黄精玉竹营养及生物活性成分分析[J]. *中国现代中药*, 2022, 24(8): 1463–1472. [ZHANG K, ZHANG Z, FAN Y F, et al. Nutritional and bioactive components of *Polygonati rhizoma* and *Polygonati odorati rhizoma* with medicinal and edible property[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2022, 24(8): 1463–1472.]

[20] 杨天友, 杨传东, 卢志宏, 等. 武陵多花黄精营养成分分析[J]. *粮食与油脂*, 2022, 35(3): 155–158, 162. [YANG T Y, YANG C D, LU Z H, et al. Study on nutritional components of *Polygonatum sinopubescens*[J]. *Food and Oil*, 2022, 35(3): 155–158, 162.]

[21] 王天梅, 陈松树, 李丹丹, 等. 不同产地多花黄精主要成分比

- 较研究[J]. 特产研究, 2021, 43(4): 44-48, 52. [WANG T M, CHEN S S, LI D D, et al. The comparative study on the main components of *Polygonatum cyrtonema* from different habitats[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2021, 43(4): 44-48, 52.]
- [22] 罗霜, 王剑波, 陈柯宇, 等. 不同产地药食同源黄精的成分及体外抗氧化研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(6): 59-65. [LUO S, WANG J B, CHEN K Y, et al. Study on the components and *in vitro* antioxidation of medicine-food homologous *Rhizome Polygonati* from different places of origin[J]. *China Condiment*, 2023, 48(6): 59-65.]
- [23] 马永强, 沈盈, 王鑫, 等. 不同品种和地区黄精成分的主成分分析及聚类分析[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(11): 141-145. [MA Y Q, SHEN Y, WANG X, et al. Principal component analysis and cluster analysis of the components of *Polygonatum* from different varieties and regions[J]. *Cereals & Oils*, 2021, 34(11): 141-145.]
- [24] 孙思宇, 王华磊, 陈松树, 等. 不同品系多花黄精药理和食用成分比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(22): 7272-7278. [SUN S Y, WANG H L, CHEN S S, et al. Comparative study on pharmacological and edible components of different strains of *Polygonatum polyflora*[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(22): 7272-7278.]
- [25] 陈怡, 姚云生, 陈松树, 等. 多花黄精不同龄须根药材质量研究[J]. 山地农业生物学报, 2019, 38(6): 61-63, 79. [CHEN Y, YAO Y S, CHEN S S, et al. Study on the quality of radix in different ages of *Polygonatum cyrtonema* Hua[J]. *J Mount Agric Biol*, 2019, 38(6): 61-63, 79.]
- [26] 李国清, 仇劲, 王月, 等. 不同遮阴处理对泰山黄精光合作用的影响[J]. 农业科学研究, 2022, 43(1): 84-87. [LI G Q, ZHANG J, WANG Y, et al. Effects of different shading treatments on photosynthesis of Taishan *Polygonatum*[J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 43(1): 84-87.]
- [27] 侯娜, 赵莉莉, 魏安智, 等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 113-118. [HOU N, ZHAO L L, WEI A Z, et al. Amino acid composition and nutritional quality evaluation of different germplasms of Chinese prickly ash (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim)[J]. *Food Science*, 2017, 38(18): 113-118.]
- [28] 钱华丽, 赵琪, 徐哲, 等. 不同产地多花黄精的皂苷和多糖含量[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(3): 96-102. [QIAN H L, ZHAO Q, XU Z, et al. Saponins and polysaccharides content of *Polygonatum sibiricum* from different origins[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2022, 50(3): 96-102.]
- [29] 刘清华, 高汉云, 陈桂芬, 等. 多花黄精中总黄酮提取工艺优化及可视化分析[J]. 中国中医药信息杂志, 2019, 26(8): 89-93. [LIU Q H, GAO H Y, CHEN G F, et al. Optimization of flavonoids extraction process from *Polygonatum cyrtonema* Hua and visualization analysis[J]. *Chinese Journal of Information on TCM*, 2019, 26(8): 89-93.]
- [30] 张泽锐, 黄申, 刘京晶, 等. 多花黄精和长梗黄精花主要营养成分[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(6): 1329-1333. [ZHANG Z R, HUANG S, LIU J J, et al. Main nutrients and functional ingredients in flowers of *Polygonatum cyrtonema* and *P. filipes*[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, 45(6): 1329-1333.]
- [31] 陈辉, 冯珊珊, 孙彦君, 等. 3种药用多花黄精的化学成分及药理活性研究进展[J]. 中草药, 2015, 46(15): 2329-2338. [CHEN H, FENG S S, SUN Y J, et al. Advances in studies on chemical constituents of three medicinal plants from *Polygonatum* Mill. and their pharmacological activities[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2015, 46(15): 2329-2338.]
- [32] 胡小霞, 邓丽娟, 刘睿婷, 等. 基于主成分分析的大蒜药用质量评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(12): 293-299. [HU X X, DENG L J, LIU R T, et al. Evaluation of medicinal quality of garlic based on principal component analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(12): 293-299.]
- [33] 陈妹妹, 林兴娥, 李新国, 等. 基于主成分分析和聚类分析的榴莲品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 278-286. [CHEN M G, LIN X E, LI X G, et al. Comprehensive evaluation of durian quality based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(7): 278-286.]
- [34] 李巧珍, 姜宁, 李正鹏, 等. 香菇营养品质评价体系的构建[J]. 核农学报, 2021, 35(4): 881-890. [LI Q Z, JIANG N, LI Z P, et al. Establishment of the nutritional quality evaluation system for *lentinula edodes*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(4): 881-890.]
- [35] 梁慧珍, 谭政委, 余永亮, 等. 金银花营养品质评价体系的构建[J]. 中国食品学报, 2022, 22(7): 248-255. [LIANG H Z, TAN Z W, YU Y L, et al. Construction of nutritional quality evaluation system of honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.)[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(7): 248-255.]