

60份不同种质宁夏枸杞干果品质及矿物质元素综合评价分析

黎美霞, 陶 蕾, 王晓洁, 何昕孺, 米 佳, 戴国礼, 张 波, 徐文娣

Comprehensive Evaluation and Analysis of Dried Fruit Quality and Mineral Elements of 60 Different Germplasms of *Lycium barbarum* L.

LI Meixia, TAO Lei, WANG Xiaojie, HE Xinru, MI Jia, DAI Guoli, ZHANG Bo, and XU Wendi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023030081>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同枣品种果实矿质元素含量分析及综合评价

Analysis and Comprehensive Evaluation of the Content of Mineral Elements in Different Jujube Cultivars

食品工业科技. 2018, 39(22): 262-269 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.22.046>

不同产地黑果枸杞中主要矿质元素含量比较及主成分分析

Comparison and Principal Component Analysis of Main Mineral Elements in *Lycium ruthenicum* Murray from Different Habitats

食品工业科技. 2021, 42(11): 233-239 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070308>

新疆核桃及后代坚果矿物质营养元素分析

Analysis of Nutrient Elements in Xinjiang Walnut and its Offspring Nuts

食品工业科技. 2019, 40(13): 186-192 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.13.030>

基于微波消解的ICP-OES/ICP-MS法测定茶叶中30种矿物质元素

Determination of 30 mineral elements in tea by microwave digestion coupled with ICP-OES/ICP-MS

食品工业科技. 2017(12): 1-6 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.12.001>

基于主成分分析和聚类分析的百合花瓣品质综合分析与评价

Comprehensive Evaluation of Lily Petal Quality Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2020, 41(3): 232-238,245 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.039>

不同品种葱品质性状的综合分析与评价

Comprehensive Analysis and Evaluation of Welsh-Onion Quality Traits of Different Varieties

食品工业科技. 2021, 42(12): 253-261 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080131>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

黎美霞,陶蕾,王晓洁,等. 60 份不同种质宁夏枸杞干果品质及矿物质元素综合评价分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(9): 225–234. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030081

LI Meixia, TAO Lei, WANG Xiaojie, et al. Comprehensive Evaluation and Analysis of Dried Fruit Quality and Mineral Elements of 60 Different Germplasms of *Lycium barbarum* L.[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(9): 225–234. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030081

· 分析检测 ·

60 份不同种质宁夏枸杞干果品质及矿物质元素综合评价分析

黎美霞^{1,2}, 陶蕾^{1,2}, 王晓洁^{1,2}, 何昕儒¹, 米佳¹, 戴国礼^{1,3}, 张波^{1,*}, 徐文娣^{2,3,*}

(1. 宁夏农林科学院枸杞科学研究所, 国家枸杞工程技术研究中心, 宁夏银川 750002;

2. 北方民族大学生物科学与工程学院, 宁夏银川 750021;

3. 北方民族大学经济林遗传改良创新团队, 宁夏银川 750021)

摘要: 基于宁夏枸杞干果品质及矿物质元素含量差异与相关性研究, 建立综合评价体系筛选优良种质, 为枸杞品质育种提供理论基础。以 60 份种质的干果为材料, 测定 16 项品质及矿物质元素指标含量, 采用变异系数、相关性分析和因子分析筛选核心评价指标, 利用层次分析、灰色关联分析和聚类分析构建枸杞干果品质综合评价体系。结果表明, 不同种质营养成分、常量元素和微量元素含量存在显著性差异, 总糖含量、甜菜碱含量与 Zn 含量, 多糖含量与 Fe 含量, 类胡萝卜素含量与 Mg、Se 含量, 黄酮含量与 B、Zn 和 Ca 含量, 脂肪含量与 Se、Mg 含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 总糖含量与类胡萝卜素含量, 蛋白质含量与 Zn 含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$); 因子分析筛选出 9 项核心指标, 前 8 个因子累积贡献率为 85.591%; 层次分析将这 9 项核心指标分成营养因子、常量元素因子和微量元素因子三类, 核心指标综合权重分别为多糖 (0.138)、类胡萝卜素 (0.269)、黄酮 (0.373)、脂肪 (0.220)、Ca (0.474)、Mg (0.606)、Fe (0.394)、B (0.123)、Se (0.403); 欧氏距离为 8.63 时将 60 份种质分为五大类, 因子分析法和灰色关联分析法皆筛选出‘宁农杞 3 号’、‘宁农杞 9 号’、‘14-06-11-12’、‘14-02-03-21’和‘14-04-03-13’为优良种质。宁夏枸杞种质干果品质及矿物质元素综合评价分析, 初步揭示了干果品质与常/微量元素含量间的关系, 筛选出了 5 种优良种质。

关键词: 宁夏枸杞, 干果品质, 矿物质元素, 核心种质, 综合评价

中图分类号: TS255.42

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)09-0225-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030081

本文网刊:



Comprehensive Evaluation and Analysis of Dried Fruit Quality and Mineral Elements of 60 Different Germplasms of *Lycium barbarum* L.

LI Meixia^{1,2}, TAO Lei^{1,2}, WANG Xiaojie^{1,2}, HE Xinru¹, MI Jia¹, DAI Guoli^{1,3}, ZHANG Bo^{1,*}, XU Wendi^{2,3,*}

(1. Institute of Wolfberry Science, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, National Wolfberry Engineering and Technology Research Center, Yinchuan 750002, China;

2. College of Biological Science and Engineering, North Minzu University, Yinchuan 750021, China;

3. Innovation Team for Genetic Improvement of Economic Forest, North Minzu University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Based on the differences and correlations of quality and mineral elements content in dried fruit of *Lycium barbarum* L., a comprehensive evaluation system was established to screen the excellent germplasms, also to provide

收稿日期: 2023-03-09

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划 (2021BBF02005); 国家自然科学基金 (31960298; 32060360); 北方民族大学青年人才培养项目; 宁夏回族自治区枸杞育种专项 (2013NYYZ0105)。

作者简介: 黎美霞 (2000-), 女, 大学本科, 研究方向: 遗传育种及分子生物学研究, E-mail: 2605484122@qq.com。

* 通信作者: 张波 (1984-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 枸杞育种及栽培技术研究, E-mail: zhang_bo_0309@126.com。

徐文娣 (1991-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 植物生态和园艺植物分子育种, E-mail: xuwendi2018@nmu.edu.cn。

theoretical basis for high quality breeding of *Lycium barbarum* L.. The 16 qualities and mineral elements content of dried fruit in 60 germplasms of *Lycium barbarum* L. were measured. The core evaluation indexes were screened by coefficient of variation, correlation analysis and factor analysis, and the comprehensive evaluation system of dried fruit quality of *Lycium barbarum* L. was constructed by analytic hierarchy process (AHP), grey correlation analysis (GCA) and cluster analysis (CA). The results showed that there were significant differences in nutritional components, constant element and trace element contents among different germplasms. There were significant positive correlations between total sugar content, betaine content and Zn content, polysaccharide content and Fe content, carotenoids content and Mg, Se content, flavonoids content and B, Zn, Ca content, fat content and Se, Mg content ($P<0.01$), while there were significant negative correlations between total sugar content and carotenoids content, protein content and Zn content ($P<0.01$). Nine core indexes were filtered out by factor analysis, and the accumulative contribution rate of the first eight factors was 85.591%. The AHP divided the nine core indicators into three categories, which were nutritional factors, constant element factors and trace element factors. The comprehensive weight of core indexes were polysaccharide (0.138), carotenoids (0.269), flavonoids (0.373), fat (0.220), Ca (0.474), Mg (0.606), Fe (0.394), B (0.123), Se (0.403). The 60 germplasms could be divided into five categories when the Euclidean distance was 8.63, and 'Ningnongqi No.3', 'Ningnongqi No. 9', '14-06-11-12', '14-02-03-21' and '14-04-03-13' were the relative excellent germplasms selected by both factor analysis and grey correlation analysis. The comprehensive evaluation and analysis of dried fruit quality and mineral elements of different *Lycium barbarum* L. germplasms revealed the relationship between dried fruit quality and the content of constant and trace elements, and 5 excellent germplasms were selected finally.

Key words: *Lycium barbarum* L.; dried fruit quality; mineral elements; core germplasm; comprehensive evaluation

宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)的干燥果实枸杞子是我国传统药食同源中药材,始载于《神农本草经》具有预防老年黄斑性病变、抗氧化、抗肿瘤、改善视力等作用^[1-2]。枸杞子主要功效成分为枸杞多糖、甜菜碱、类胡萝卜素及类胡萝卜素酯、维生素C、多种氨基酸及微量元素K、Na、Ca、Mg、Cu、Fe、Mn、Zn、P等成分。甜菜碱、枸杞多糖、黄酮、氨基酸、总糖等物质决定着果实的营养及药用性,其含量是评价食品和中药药材品质的一项重要指标^[3]。建立宁夏枸杞干果品质及矿物质元素评价体系,有助于明确矿物质元素与主要功效物质间关系,本研究将枸杞品质指标与矿物质元素指标结合完善补充宁夏枸杞质量标准体系,为枸杞品质遗传改良与种质创新奠定理论基础。

枸杞综合评价分析多以主栽品种在不同生态区品质差异研究为主,如张晓煜等^[4]选取6省(区)多点‘宁杞1号’干果样品,选出4个药用和4个商品品质因子作为评价枸杞综合品质的因子,反映气候波动和年季变化对枸杞品质的影响;张波等^[5]研究宁夏、青海、新疆3个产区的‘宁杞1号’、‘宁杞5号’和‘宁杞7号’宁夏枸杞外在品质和内在活性成分,发现干果枸杞总糖、多糖、甜菜碱等含量因产区而异;同时,也有对枸杞品质性状进行综合评价的研究;如王艳平等^[6]以宁夏、内蒙产区‘宁杞1号’和‘宁杞7号’干果样品,基于灰色关联度法分析评价,建立了以多糖、黄酮、浸出物、抗氧化性、水分、灰分6个指标的评价模型,更科学、更全面反映枸杞子质量。赵建华等^[7]针对不同果色枸杞鲜果品质性状指标间的相互关系,构建枸杞鲜果品质性状的综合评价体系,发现红色鲜果综合品质表现较优,黑色鲜果综合品质表现较差。

对于枸杞中矿物质元素的研究主要集中在其含量差异,如开建荣等^[8]利用电感耦合等离子体质谱对宁夏枸杞中55种矿物元素在不同成熟阶段的含量进行跟踪测定,证明大部分矿物元素的吸收和积累存在时间差异。蒋金花等^[9]建立了微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)同时测定枸杞中22种元素方法,对不同产地枸杞中无机元素的含量进行比较,K、P、Na含量最高,微量元素中Al、Zn、Cu、Mn、Ni、Ba、Se含量较高,有害元素含量均未超过其限量;还有相关施肥^[10-11]、非生物胁迫对枸杞品质影响研究^[12]的报道。现有研究不仅反映了相同的枸杞种质在不同生态产区品质存在差异,不同种质的枸杞或成熟度不同的同种质枸杞在相同的生态产区品质也存在差异,也反映了枸杞果实中各种矿物质含量的差异。

但目前研究大多是将品质指标和矿质营养分开分析,缺乏对枸杞主要品质指标和矿物质元素综合评价分析,未针对枸杞新品种选育方向和优良种质利用提出建议。矿物质的动态平衡会影响到功效活性成分的累积,本研究从不同品种(系)枸杞果实主要品质指标和主要矿物质元素着手,开展功效成分含量与主要矿物质元素的相关性研究与综合评价分析,筛选出品质优良的枸杞种质,以期对枸杞定向育种和遗传改良核心亲本选择提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验在宁夏农林科学院枸杞科学研究所进行,试材选用60份枸杞品种(系)皆来自宁夏农林科学院枸杞研究所资源圃,其中除了主栽品种外,很多为本课题组选育的优系。该资源圃位于宁夏回族自治区银川市西夏区芦花台试验地,东经106°09',北纬

表 1 实验材料编号与名称
Table 1 Experimental material number and name

实验编号	名称	拉丁名	实验编号	名称	拉丁名
G1	大麻叶	<i>Lycium barbarum</i> L. 'damaye'	G31	14-02-03-21	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-02-03-21'
G2	小麻叶	<i>Lycium barbarum</i> L. 'damaye'	G32	14-02-03-20	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-02-03-20'
G3	宁杞1号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.1'	G33	14-02-07-07	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-02-07-07'
G4	宁杞2号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.2'	G34	14-03-01-05	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-01-05'
G5	宁杞3号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.3'	G35	14-03-02-03	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-02-03'
G6	宁杞4号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.4'	G36	14-03-02-06	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-02-06'
G7	宁杞5号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.5'	G37	14-03-02-07	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-02-07'
G8	宁杞6号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.6'	G38	14-03-02-08	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-02-08'
G9	宁杞7号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.7'	G39	14-03-03-03	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-03-03'
G10	宁杞8号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningqi No.8'	G40	14-03-03-07	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-03-07'
G11	宁农杞9号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningnongqi No.9'	G41	14-03-03-11	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-03-11'
G12	宁农杞1号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningnongqi No.1'	G42	14-03-04-14	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-04-14'
G13	宁农杞2号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningnongqi No.2'	G43	14-03-09-05	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-03-09-05'
G14	宁农杞3号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Ningnongqi No.3'	G44	14-04-02-02	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-04-02-02'
G15	蒙杞1号	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Mengqi No.1'	G45	14-04-03-13	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-04-03-13'
G16	09-06	<i>Lycium barbarum</i> L. '09-06'	G46	14-06-03-04	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-06-03-04'
G17	09-03	<i>Lycium barbarum</i> L. '09-03'	G47	14-06-10-17	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-06-10-17'
G18	16-16	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-16'	G48	14-06-10-22	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-06-10-22'
G19	中科绿川	<i>Lycium barbarum</i> L. 'Zhongkelvchuan'	G49	14-06-11-12	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-06-11-12'
G20	14-JC2	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-JC2'	G50	16-01-03-05	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-01-03-05'
G21	14-16	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-16'	G51	16-01-04-03	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-01-04-03'
G22	14-Z44	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-Z44'	G52	16-14-05-04	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-14-05-04'
G23	14-Z46	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-Z46'	G53	16-14-08-09	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-14-08-09'
G24	14-87	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-87'	G54	16-16-07-06	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-16-07-06'
G25	14-104	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-104'	G55	16-16-08-16	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-16-08-16'
G26	14-Z168	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-Z168'	G56	16-16-09-02	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-16-09-02'
G27	14-Z235	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-Z235'	G57	16-17-05-06	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-17-05-06'
G28	14-401	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-401'	G58	16-20-11-11	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-20-11-11'
G29	14-01-02-14	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-01-02-14'	G59	16-21-07-08	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-21-07-08'
G30	14-01-03-21	<i>Lycium barbarum</i> L. '14-01-03-21'	G60	16-21-08-10	<i>Lycium barbarum</i> L. '16-21-08-10'

38°39', 为中温带干旱大陆性气候, 干旱少雨、日照充足, 年平均气温 8.5 ℃ 左右, 年平均日照时数 2800~3000 h, 年平均降水量 200 mm, 试验地土壤以淡灰钙土为主, 其 pH 为 8.2~8.7^[13]。7 月初选择不同种质健壮的枸杞树统一挂牌标记, 7 月中旬分别从枸杞树冠中部外围, 围绕树体东西南北 4 个方向选择成熟度一致的枸杞鲜果, 带果柄采摘, 拣选出明显破裂、不成熟的枸杞鲜果, 同时清除杂物, 将清选后的枸杞鲜果浸泡在碱水中 15~20 s 后取出放置在烘盘上, 枸杞入烘房后 35~40 ℃ 保温 2~3 h, 升温到 40~45 ℃ 保温 8 h, 升温到 50~55 ℃ 保温 8 h, 取出放入自封袋中。品种(系)概况见表 1; 所用试剂均为分析纯。

1260 高效液相色谱仪、G6410 液相色谱-质谱联用仪 美国安捷伦; RE-5286 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; UV755B 紫外可见光分光光度计 上海精密科学仪器有限公司; ZX4 涡旋混匀仪 意大利 VELP。

1.2 实验方法

枸杞总糖含量参照中华人民共和国国家标准 GB/T18672-2014 附录 B-滴定法测定; 多糖含量参照中华人民共和国国家标准 GB/T18672-2014 中附录

A 分光光度法测定; 水分含量参照 GB5009.3-2016 减压烘干方法测定; 脂肪含量参照 GB/T5009.6-2016 索氏抽提法测定; 蛋白质含量参照 GB5009.5-2016 分光光度法测定^[14]; 甜菜碱含量参考潘菲等^[15] 的液相色谱法测定; 类胡萝卜素含量参考郑坚强等^[16] 的分光光度法测定; 黄酮含量参考张自萍等^[17] 的微波提取法测定; 氨基酸总量参考丁春瑞等^[18] 利用氨基酸自动分析仪测定; 各元素成分含量参考王亚盟等^[19] 微波消解法测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 计算各指标的均值、标准差、变异系数^[20], 根据平均值(X)和标准差(s)将测量性状分为 10 等级, 1 级 <X-2s, 2 级 <X-1.5s, 3 级 <X-1s,, 10 级 ≥ X+2s, 中间每级相差 0.5s, 通过计算每一级的相对频率 (Pi) 来计算 Shannon'多样性指数 (H')^[21]。遗传多样性指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$, 其中, P_i 为某性状第 i 级别的种质份数占总种质材料的百分比即相对频率。

运用 SPSSv20.0 将原始数据标准化, 进行因子分析; 用 Excel 进行层次分析, 运用 SPSSv20.0 构建因子分析评价体系, 用 SPSSAU 构建灰色关联分析法评价体系, 运用 Origin Pro 进行聚类分析与相关性

分析^[22-23]。

2 结果与分析

2.1 不同种质枸杞相关指标的变异特征分析

宁夏枸杞相关指标的变化情况如表 2 所示,测定 60 份枸杞种质的 16 项指标,各指标变异系数较大,变异系数范围在 6.917%~52.272%。其中,变异系数较高指标有 Se、Zn、Ca、Mn,其变异系数分别为 52.272%、48.780%、34.780%、31.578%;变异系数较低指标有总糖、氨基酸总量、B,其变异系数分别为 6.917%、8.676%、10.540%。不同种质间鲜果品质性状存在较大变异,可为筛选优良枸杞种质创造选择空间。

2.2 枸杞种质中各指标分布规律

60 份枸杞种质品质指标的含量分布箱线图(图 1)可以看出,总糖在 45.0~46.0 g/100 g 的品种数量最多,占总数量的 18.3%,总糖含量较高的品种为‘宁农杞 1 号’、‘宁杞 8 号’和‘宁农杞 2 号’;多糖主要分布在 2.0~2.5 g/100 g 之间,约占总资源的 48.3%,其中多糖含量较高的品种为‘14-02-03-21’和‘14-04-02-02’;甜菜碱主要分布在 0.50~0.75 g/100 g 之间,约占总资源的 55%,甜菜碱含量较高的种质为‘宁杞 7 号’、‘宁杞 3 号’、‘宁杞 8 号’和‘09-03’;类胡萝卜素主要分布在 0.4~0.5 g/100 g 之间,约占总资源的 40%,类胡萝卜素含量较高的为‘14-04-03-13’、‘14-06-11-12’、‘14-01-02-14’和‘14-03-01-05’;黄酮主要分布在 1.0~1.5 g/100 g 之间,约占总资源的 55%,含量较高的种质为‘宁农杞 3 号’、‘宁农杞 9 号’、‘宁杞 2 号’、‘宁杞 6 号’、‘宁杞 7 号’和‘宁杞 3 号’;蛋白质主要分布在 9.0~12.0 g/100 g 之间,约占总资源的 60%,含量较高的种质为‘14-04-03-13’和‘宁农杞 3 号’;脂肪主要分布在 3.00~4.00 mg/kg 之间,约占总资源的 55%,含量较高的为‘14-04-03-13’、‘14-03-

01-05’和‘宁农杞 9 号’;水分含量主要分布在 12.15~13.27 g/100 g 之间,约占总资源的 47%,含量较高的为‘14-04-03-13’、‘14-06-11-12’和‘宁农杞 9 号’;氨基酸总量主要分布在 9.7~10.5 mg/100 g 之间,约占总资源的 41.7%,含量较高的种质为‘14-01-03-21’、‘14-03-09-05’、‘14-04-03-13’。

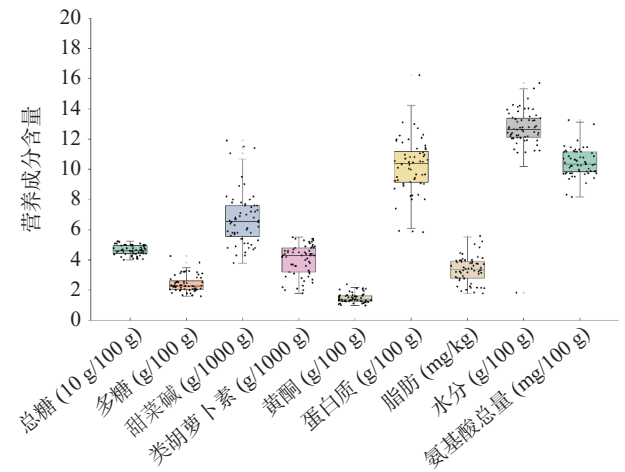


图 1 60 份枸杞种质果实营养成分含量差异
Fig.1 Differences of nutritional contents in 60 germplasm fruits of *Lycium barbarum* L.

矿物质元素在 60 份枸杞种质中的分布情况箱线图(图 2)可以看出,Mn 元素含量范围 4.65~14.21 mg/kg,含量由高到低依次为‘宁农杞 3 号’、‘14-87’和‘宁农杞 9 号’;Zn 元素含量范围 3.69~24.69 mg/kg,含量较高的种质为‘宁杞 2 号’、‘宁杞 3 号’、‘宁杞 5 号’和‘16-16’;Fe 元素含量范围 37.62~122.6 mg/kg,‘14-01-03-21’、‘14-06-11-12’和‘14-06-03-04’含量较高;Ca 元素含量范围 214.0~1051.0 mg/kg,‘宁农杞 9 号’、‘宁农杞 1 号’和‘宁农杞 3 号’含量较高;Mg 元素含量范围 668.52~1518.00 mg/kg,‘14-02-03-21’、

表 2 枸杞干果主要品质指标与矿物质元素多样性分析

Table 2 Main quality indexes and mineral elements diversity analysis of dried fruit of *Lycium barbarum* L.

成分	极小值	极大值	极差	平均值	标准差	变异系数(%)	多样性指数
总糖(g/100 g)	40.130	52.330	12.200	46.396	3.209	6.917	1.970
多糖(g/100 g)	1.600	4.260	2.660	2.419	0.542	22.406	1.930
甜菜碱(g/100 g)	0.380	1.190	0.810	0.675	0.177	26.222	1.950
类胡萝卜素(g/100 g)	0.180	0.550	0.370	0.401	0.101	25.187	1.980
黄酮(g/100 g)	0.098	0.239	0.141	0.148	0.031	20.946	1.980
蛋白质(g/100 g)	5.840	16.230	10.390	10.176	1.797	17.659	0.10
脂肪(mg/kg)	1.780	5.590	3.810	3.369	0.835	24.785	1.980
水分(g/100 g)	1.830	15.700	13.870	12.623	1.717	13.602	1.560
氨基酸总量(mg/100 g)	8.170	13.250	5.080	10.443	0.906	8.676	1.950
Ca(mg/kg)	214.000	1051.000	837.000	416.295	144.788	34.780	1.580
Mg(mg/kg)	668.520	1518.000	849.480	1021.406	211.997	20.755	2.010
Mn(mg/kg)	4.650	14.210	9.560	7.651	2.416	31.578	1.810
Zn(mg/kg)	3.690	24.690	21.000	10.158	4.955	48.780	1.860
Fe(mg/kg)	37.620	122.600	84.980	59.508	18.398	30.917	1.820
B(mg/kg)	7.450	12.650	5.200	9.573	1.009	10.540	2.060
Se(mg/kg)	0.008	0.095	0.087	0.044	0.023	52.272	0.000

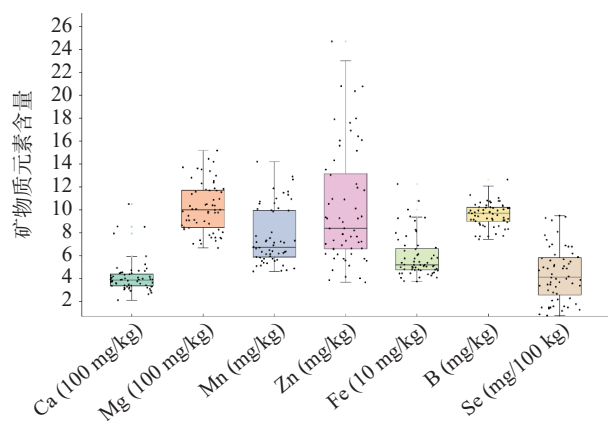


图 2 60 份枸杞种质果实矿物质元素含量差异

Fig.2 Differences of mineral elements contents in 60 germplasm fruits of *Lycium barbarum* L.

‘14-04-03-13’和‘14-03-03-11’含量较高; B 元素含量范围 7.45~12.65 mg/kg, 含量较高的种质为‘宁农杞 9 号’、‘14-03-03-11’、‘宁杞 4 号’; Se 元素含量范围 0.008~0.095 mg/kg, ‘16-20-11-11’、‘小麻叶’、‘14-16’、‘宁农杞 9 号’和‘14-Z235’含量较高。

在各个单项指标含量较高的种质中有三种枸杞种质多个指标含量均高, 分别是‘宁农杞 9 号’、‘宁农杞 3 号’和‘14-04-03-13’, 在这 60 份材料中这三种种质为优良种质, 将这个结果与后面的总和评价进行对比。

2.3 不同种质枸杞干果品质及矿物质元素综合评价分析

2.3.1 不同种质枸杞干果品质及矿物质元素相关性分析 通过 60 份不同种质枸杞的 16 项果实性状指标相关性分析(图 3), 结果表明, 品质性状指标间存在相关性, 总糖含量与黄酮含量、甜菜碱含量呈显著正相关($P<0.05$); 多糖含量与甜菜碱含量呈显著正相

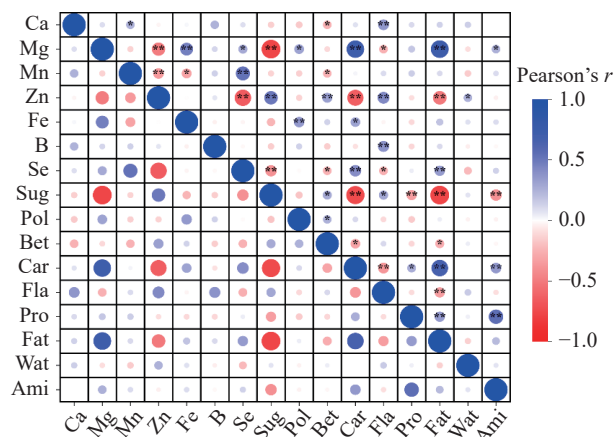


图 3 果实营养成分与矿物质元素相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of fruit nutrients with mineral elements

注: *表示在 0.05 水平上显著, **表示在 0.01 水平上极显著; Sug 表示总糖, Pol 表示多糖, Bet 表示甜菜碱, Car 表示类胡萝卜素, Fla 表示黄酮, Pro 表示蛋白质, Fat 表示脂肪, Wat 表示水分, Ami 表示氨基酸总量。

关($P<0.05$); 甜菜碱含量与类胡萝卜素含量、脂肪含量呈显著性负相关($P<0.05$); 类胡萝卜素含量与黄酮含量呈极显著性负相关($P<0.01$), 与脂肪含量和氨基酸总量呈极显著正相关($P<0.01$); 黄酮含量与脂肪含量呈极显著负相关($P<0.01$); 蛋白质含量与脂肪含量、氨基酸总量呈极显著正相关($P<0.01$)。同时, 总糖含量与类胡萝卜素含量、蛋白质含量、氨基酸总量含量、脂肪含量呈极显著负相关($P<0.01$)。

常量元素和微量元素指标也存在显著相关性, 其中 Ca 含量与 Mn 含量呈显著正相关($P<0.05$); Mg 含量与 Se 含量呈显著正相关($P<0.05$), 与 Fe 含量呈极显著正相关($P<0.01$); Mn 含量与 Se 含量呈极显著正相关($P<0.01$)。同时 Mg 含量与 Zn 含量呈极显著负相关($P<0.01$); Mn 含量与 Fe 含量呈显著负相关($P<0.05$), 与 Zn 含量呈极显著负相关($P<0.01$); Zn 含量与 Se 含量呈极显著负相关($P<0.01$)。

品质性状指标与常量元素和微量元素指标也存在极显著相关性, 总糖含量、甜菜碱含量与 Zn 含量, 多糖含量与 Fe 含量, 类胡萝卜素含量与 Mg、Se 含量, 黄酮含量与 B、Zn 和 Ca 含量, 脂肪含量与 Se、Mg 含量呈极显著正相关($P<0.01$); 总糖含量与类胡萝卜素含量, 蛋白质含量与 Zn 含量呈极显著负相关($P<0.01$); 综上, Zn、Mg 及 Se 含量与枸杞关键品质性状的含量存在极显著相关性, 说明品质指标与矿物质元素指标间相互影响, 抑制或促进代谢物的积累过程。

2.3.2 不同种质枸杞干果品质及矿物质元素指标因子分析 对 16 项枸杞果实功效成分指标进行因子分析(表 3), 前 8 个因子的累积贡献率为 85.591%, 即前 8 个因子所含信息量占总信息量的 85.591%, 表明前 8 个因子可以用于枸杞果实功效成分评价。根据这 16 个指标在 8 个因子中的总占比, 选出的代表性指标分别为多糖、黄酮、类胡萝卜素、脂肪、Mg、Fe、Ca、B、Se, 这 9 项指标为枸杞干果主要功效成分综合评价指标。

2.3.3 不同种质枸杞干果品质及矿物质元素层次分析 将筛选的 9 项核心评价指标依据层次分析法, 采用 1~9 标度法构建判断矩阵(表 4~表 5)^[24]。对矩阵一致性进行检验, 判断矩阵一致性比率(consistent ratio, CR)均小于 0.1, 通过一次性检验。将 9 项指标分成了营养因子、常量元素因子和微量元素因子三类, 通过层次分析法最终确定多糖、黄酮、类胡萝卜素、脂肪、Mg、Fe、Ca、B、Se 这 9 项核心评价指标权重分别为 0.138、0.373、0.269、0.22、0.606、0.394、0.474、0.123、0.403。

2.3.4 不同种质枸杞干果品质及矿物质元素综合评价 选择所筛选的 9 项核心评价指标作为综合评价的指标体系, 前 8 个因子累计方差贡献率为 85.591%, 提取前 8 个因子信息进行分析, 其中因子 1 主要代

表 3 枸杞种质果实品质及矿物质元素指标因子分析

Table 3 Factor analysis of fruit quality and mineral elements index on germplasm of *Lycium barbarum* L.

成分	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8	总占比(%)
总糖	-0.19	-0.033	-0.117	0.001	-0.057	0.095	0.099	-0.083	29.592
多糖	0.034	0.249	-0.009	0.258	0.348	0.216	-0.422	0.216	19.434
甜菜碱	-0.081	0.220	-0.038	-0.035	0.433	0.283	0.29	0.592	22.438
类胡萝卜素	0.187	0.063	0.023	-0.048	-0.176	0.084	-0.017	-0.112	29.802
黄酮	-0.098	-0.107	0.352	0.139	0.141	0.113	0.249	-0.072	27.068
蛋白质	0.08	-0.081	0.126	-0.428	0.231	-0.11	0.046	0.332	24.723
脂肪	0.179	0.014	0.061	0.001	-0.057	-0.27	0.059	0.4	26.41
水分	-0.037	0.062	0.24	-0.173	-0.367	0.515	-0.672	0.174	17.441
Mn	0.048	-0.34	-0.048	0.079	0.278	0.349	-0.028	0.018	23.885
Zn	-0.162	0.086	0.206	-0.137	0.057	-0.158	0.075	-0.153	21.51
Fe	0.056	0.290	0.148	0.118	-0.097	0.268	0.445	-0.531	31.488
Ca	0.026	-0.188	0.340	0.112	-0.222	0.196	0.395	0.406	22.304
Mg	0.174	0.166	0.111	0.097	-0.01	-0.092	0.12	0.115	19.851
B	0.005	-0.089	0.296	0.318	0.266	-0.361	-0.429	-0.186	32.733
Se	0.128	-0.178	-0.178	0.127	0.091	0.392	0.069	-0.223	16.709
氨基酸总量	0.086	0.005	0.155	-0.366	0.383	0.121	-0.053	-0.58	29.304
特征值	4.655	2.237	1.802	1.628	1.087	0.934	0.736	0.615	
贡献率(%)	29.096	13.984	11.26	10.174	6.795	5.84	4.6	3.842	85.591

表 4 准则层评价指标及类型

Table 4 Criterion level evaluation index and type

指标类型	品质评价指标
营养因子	多糖(C1)
	黄酮(C2)
	类胡萝卜素(C3)
常量元素因子	脂肪(C4)
	Ca(C5)
	Mg(C6)
微量元素因子	B(C7)
	Fe(C8)
	Se(C9)

表类胡萝卜素、脂肪、Se 和 Mg; 因子 2 主要代表多糖、Fe; 因子 3 主要代表黄酮、Ca、B; 因子 4 主要代表 B; 提取前 8 因子所对应的方差贡献率为权重, 对 60 份枸杞种质材料完成基于因子分析法的枸杞干果品质评价, 见表 6。

以 9 项核心评价指标作为灰色关联分析法的指标体系, 结合层次分析法确定的指标权重, 对 60 份枸杞种质材料利用灰色关联分析法进行综合评价。

表 5 指标层评价指标判别矩阵及一致性检验

Table 5 Discriminant matrix and consistency test for evaluation index of index layer

	A	B1	B2	B3	B1	C1	C2	C3	C4	B2	C5	C6	B3	C7	C8	C9
判别矩阵	B1	1	1	1	C1	1	0.37	0.513	0.629	C5	1	1.538	C7	1	3.846	1.176
	B2		1	1	C2		1	1.389	1.695	C6		1	C8		1	0.307
	B3			1	C3			1	1.22				C9			1
一致性比率CR	0				C4	0			1	0			0			
权重		0.333	0.333	0.333		0.138	0.373	0.269	0.22		0.606	0.394		0.474	0.123	0.403
综合权重						0.046	0.124	0.09	0.073		0.202	0.131		0.158	0.041	0.134

注: A 代表指标层; B1 营养因子; B2 常量元素因子; B3 微量元素因子。

由表 6 可知, 2 种评价方法获得的综合排序差异小, 排名前 6 的种质材料基本一致。‘宁农杞 9 号’、‘14-04-03-13’、‘14-02-03-21’、‘14-06-11-12’、‘14-01-02-14’和‘宁农杞 3 号’在因子分析法评价结果中得分明显较高, ‘宁农杞 9 号’、‘14-02-03-21’、‘宁农杞 3 号’、‘14-06-11-12’、‘14-04-03-13’和‘14-01-02-14’在灰色关联分析法评价结果中与参考值关联度较高, ‘宁农杞 9 号’在 2 种评价方法结果中得分和关联度值高于其他材料。以上结果说明, 2 种评价方法皆可筛选出果实品质优异的种质资源材料, 其中‘宁农杞 9 号’、‘14-04-03-13’、‘宁农杞 3 号’、‘14-02-03-21’、‘14-01-02-14’和‘14-06-11-12’果实综合品质较高。

2.3.5 不同种质枸杞干果品质及矿物质元素聚类分析 选择所筛选的 9 项核心评价指标作为依据, 对 60 份枸杞种质进行热图聚类分析, 将 60 份不同种质的枸杞中相似的分为一类, 以便于利用核心种质作为亲本。分析结果如图 4 所示, 越接近红色代表该指标数值越大, 越接近蓝色代表该指标数值越小^[25]。欧氏距离为 8.63 时全部种质材料可划分为五大类:

第 I 类有 1 份材料为‘宁农杞 9 号’, 此类种质黄

表 6 枸杞种质干果品质及矿物质元素综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation on quality and mineral elements of dried fruit germplasm of *Lycium barbarum* L.

排名	实验编号	因子1 得分	因子2 得分	因子3 得分	因子4 得分	因子5 得分	因子6 得分	因子7 得分	因子8 得分	综合 得分	实验 编号	关联度
1	G11	2.447	-0.931	-0.554	1.702	2.205	3.684	1.384	-1.085	126.44	G11	0.781
2	G31	0.266	0.911	2.473	1.074	1.137	-0.048	-0.378	0.265	68.21	G45	0.647
3	G14	0.323	-0.721	0.032	0.599	-0.014	2.696	1.835	1.204	65.27	G31	0.633
4	G49	0.221	2.300	1.285	0.267	-1.315	0.574	0.848	1.118	60.21	G49	0.628
5	G45	2.624	1.343	-0.612	-0.879	-0.538	-0.085	0.597	0.179	55.5	G29	0.62
6	G29	1.486	0.496	1.167	-0.524	0.439	0.268	-0.209	0.500	54.96	G14	0.616
7	G44	-0.065	1.439	3.145	-0.267	0.581	-0.274	0.261	-0.709	49.89	G44	0.598
8	G41	1.484	0.116	-0.892	-0.702	1.761	-0.830	0.482	0.707	36.07	G34	0.597
9	G30	0.019	2.344	-0.773	0.548	-0.495	-0.174	0.778	1.085	35.64	G41	0.588
10	G33	0.804	0.189	1.115	0.126	0.860	-1.014	1.411	-1.513	34.76	G30	0.586
11	G34	1.678	-0.978	0.607	0.443	0.117	-0.622	0.077	0.435	34.72	G46	0.586
12	G54	0.877	0.512	1.357	-0.572	0.343	0.050	-0.701	0.340	33.7	G54	0.578
13	G46	0.249	3.697	-0.438	0.772	-0.126	-0.250	-1.001	-1.440	26.81	G35	0.575
14	G35	0.899	1.942	-1.313	0.110	0.624	-0.328	-0.604	-0.068	24.87	G47	0.564
15	G38	-0.110	0.429	0.056	-0.309	0.196	0.009	0.583	1.429	20.24	G2	0.558
16	G39	1.093	-0.603	1.550	-0.354	-0.839	-0.010	-0.132	-0.019	18.67	G21	0.553
17	G1	-1.019	0.458	0.279	1.221	0.168	0.376	0.181	0.816	15.95	G48	0.553
18	G58	0.543	-0.367	-1.460	2.278	-0.069	-0.925	1.121	-0.558	12.56	G58	0.552
19	G2	-2.375	-0.141	0.078	2.461	-0.020	1.208	0.487	1.941	11.64	G22	0.548
20	G53	0.697	-0.851	0.852	0.059	-0.022	-0.364	-0.081	0.084	10.58	G38	0.547
21	G48	0.935	-0.694	0.028	-0.827	-0.499	0.104	-0.027	1.475	9.66	G39	0.547
22	G47	0.662	1.767	-0.751	-0.075	-1.530	0.044	-0.434	0.618	9.29	G33	0.545
23	G43	-0.019	0.153	1.081	-0.517	0.827	0.082	-1.150	0.310	8.61	G8	0.54
24	G8	-0.992	-0.739	-0.018	-1.078	0.659	0.067	2.752	1.456	7.1	G1	0.538
25	G27	0.059	-0.630	0.253	1.924	0.310	-0.854	0.720	-1.654	6.74	G40	0.533
26	G40	1.288	-1.252	0.358	-1.551	0.763	-0.080	-0.388	0.394	5.43	G43	0.533
27	G36	-0.238	0.900	1.452	-0.712	-0.981	0.432	-0.492	0.102	3.77	G53	0.532
28	G32	0.106	-0.630	0.043	0.522	-0.406	-0.199	0.091	0.764	1.56	G24	0.531
29	G5	-0.063	-0.561	0.406	-1.181	0.167	0.162	1.702	-0.574	0.26	G37	0.529
30	G22	-0.349	-1.058	1.349	0.885	1.455	-1.191	-1.640	0.913	-1.29	G36	0.526
31	G21	-0.171	-0.576	-0.272	2.023	-0.128	1.042	-1.774	-0.297	-1.58	G32	0.524
32	G6	-1.501	1.216	-0.948	-0.914	1.610	-0.055	0.765	0.350	-10.02	G27	0.519
33	G52	-0.205	-0.512	-1.067	0.164	0.398	-0.111	-0.307	1.320	-10.21	G52	0.519
34	G24	0.625	-0.335	-0.710	1.306	-2.046	-0.120	-0.494	-0.053	-14.29	G56	0.518
35	G57	-0.020	-0.854	1.780	0.530	-2.026	-0.151	-0.061	-0.611	-14.33	G42	0.515
36	G20	-0.122	0.006	-0.219	1.173	-0.126	-0.798	-0.514	-1.029	-15.96	G60	0.51
37	G42	-0.244	-0.215	-0.371	-0.694	-0.282	0.467	-0.851	1.343	-16.08	G6	0.506
38	G4	-1.164	0.886	-1.250	-0.964	0.432	0.077	1.455	0.235	-16.37	G5	0.503
39	G59	0.207	-0.845	-0.832	0.572	0.964	-0.755	-0.488	-0.687	-17.31	G50	0.503
40	G60	0.449	-0.510	-1.080	0.962	-1.146	-0.568	-0.035	-0.040	-18.23	G59	0.5
41	G56	1.057	0.333	-1.773	-0.638	1.147	-0.537	-1.841	-0.526	-18.56	G57	0.498
42	G3	-1.489	0.143	-0.633	0.276	0.997	-1.287	1.285	0.279	-21.24	G20	0.497
43	G50	-0.436	-1.410	0.325	0.170	-0.151	-0.025	-0.639	0.924	-21.76	G4	0.496
44	G12	-1.113	-0.288	0.022	-0.894	1.161	3.505	-1.763	-2.273	-21.93	G23	0.495
45	G51	0.556	-1.126	-0.602	0.311	-1.088	-0.232	0.182	-0.460	-21.97	G12	0.494
46	G37	0.397	-0.311	-1.752	-1.216	1.046	-0.196	-1.497	1.619	-22.72	G51	0.49
47	G9	-0.718	-0.450	0.161	-0.833	-1.395	-0.276	2.329	-0.635	-27.61	G3	0.488
48	G23	-0.984	-0.083	-0.086	0.026	0.222	-0.910	-0.644	1.107	-28.16	G26	0.488
49	G7	-0.034	-0.210	-0.699	-0.778	0.087	-0.346	0.448	-1.225	-28.52	G25	0.485
50	G26	-1.729	0.081	-0.144	1.449	0.031	-0.247	-1.511	0.329	-36.67	G9	0.475
51	G15	-1.553	0.077	-0.551	0.774	0.520	-0.815	0.506	-1.384	-38.79	G7	0.471
52	G25	0.361	-0.695	-0.682	0.044	-1.741	-0.115	-0.848	-0.212	-40.01	G17	0.467
53	G17	-1.342	-0.674	0.620	-1.255	1.310	-0.581	-0.195	-0.407	-40.95	G19	0.466
54	G16	-1.700	0.118	1.166	-0.877	0.335	-0.001	-0.560	-1.117	-42.63	G15	0.464
55	G18	-0.404	-0.472	-0.607	-1.081	0.722	-0.573	-0.292	-1.349	-46.24	G28	0.463
56	G19	-1.215	0.495	-0.894	-1.555	-1.970	3.108	-0.650	-0.497	-46.45	G55	0.461
57	G55	0.169	-1.084	0.045	-0.655	-1.898	-0.599	0.017	-0.304	-47.1	G16	0.46
58	G10	-0.173	-0.572	-0.428	-0.596	-0.990	-0.516	0.595	-2.074	-50.15	G18	0.456
59	G13	-0.588	0.153	-0.516	-0.855	-0.732	-0.550	0.434	-1.714	-50.43	G13	0.448
60	G28	-0.447	-1.124	-0.157	-1.415	-1.022	-0.342	-1.126	0.871	-61.51	G10	0.446

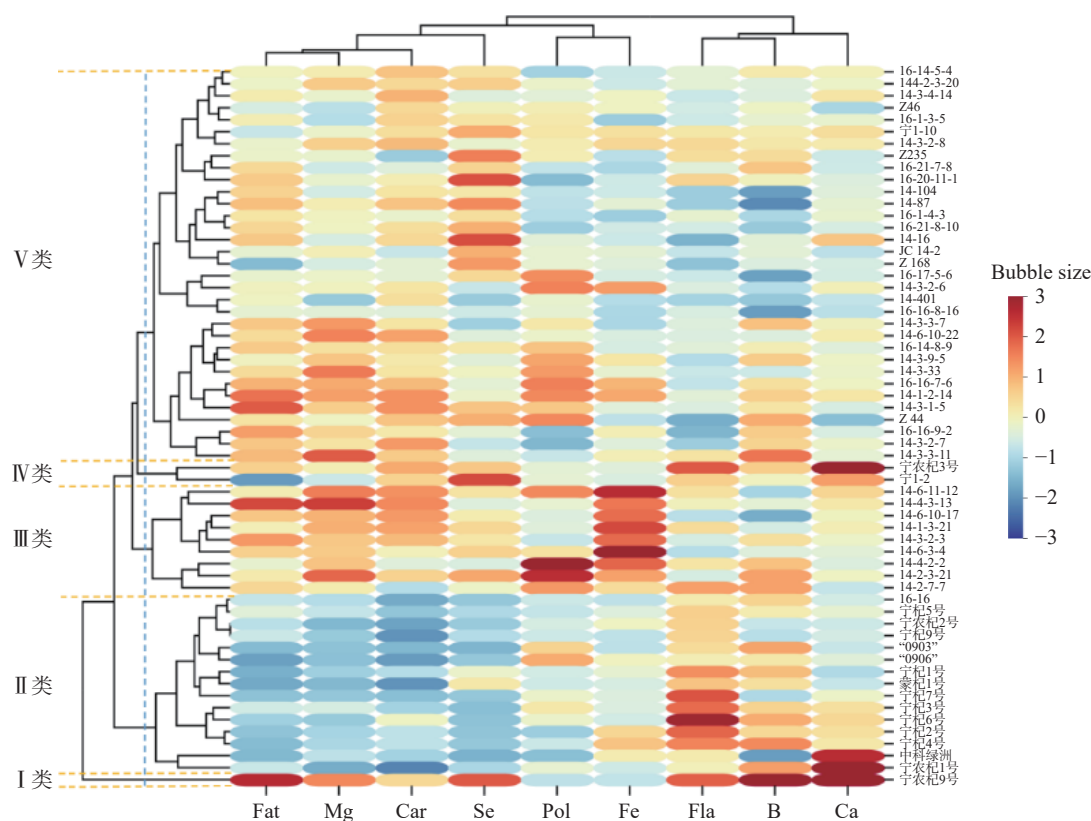


图4 不同枸杞种质聚类分析热图

Fig.4 Cluster analysis heatmap of different germplasms of *Lycium barbarum* L.

注: Fat 表示脂肪, Pol 表示多糖, Car 表示类胡萝卜素, Fla 表示黄酮。

酮和脂肪含量, Ca、Se 和 B 含量高;

第Ⅱ类有 15 份材料分别为‘宁农杞 1 号’、‘中科绿州’、‘宁杞 2 号’、‘宁杞 4 号’、‘宁杞 3 号’、‘宁杞 6 号’、‘宁杞 7 号’、‘宁杞 1 号’、‘蒙杞 1 号’、‘09-06’、‘09-03’、‘宁杞 8 号’、‘宁农杞 2 号’、‘宁杞 5 号’和‘16-16’, 此类种质黄酮和 B 含量高, 类胡萝卜素、脂肪含量低;

第Ⅲ类含有 9 份材料分别为‘14-02-07-07’、‘14-02-03-21’、‘14-04-02-02’、‘14-03-02-03’、‘14-06-10-17’、‘14-06-11-12’、‘14-06-03-04’、‘14-01-03-21’和‘14-04-03-13’, 此类种质多糖和 Fe 元素含量较高, 黄酮含量低;

第Ⅳ类含有 2 份材料分别为‘宁 1-2(小麻叶)’和‘宁农杞 3 号’, 此类种质类胡萝卜素、黄酮含量较高, Ca、Se 含量高;

第Ⅴ类含有 33 份材料分别为‘16-14-5-4’、‘14-3-3-11’、‘14-3-2-7’、‘16-16-9-2’、‘14-Z44’、‘14-3-1-5’、‘14-1-2-14’、‘16-16-7-6’、‘14-3-33’、‘14-3-9-5’、‘16-14-8-9’、‘14-3-3-7’、‘14-6-10-22’、‘14-401’、‘16-16-8-16’、‘14-3-2-6’、‘16-17-5-6’、‘JC14-2’、‘Z168’、‘14-16’、‘16-1-4-3’、‘16-21-8-10’、‘14-87’、‘14-104’、‘16-20-11-11’、‘Z235’、‘16-21-7-8’、‘宁 1-10(大麻叶)’、‘14-3-2-8’、‘Z46’、‘16-1-3-5’、‘14-3-4-14’和‘14-2-3-20’, 此类种质类胡萝卜素、Mn、Se 含量高, 黄酮、B 含量低。

9 项核心评价指标分成三大类, 第一类指标含

有 1 项品质指标(黄酮), 1 项微量元素指标(B)和常量元素(Ca); 第二类指标含有 1 项品质指标(多糖), 1 项微量元素指标(Fe); 第三类指标含有 2 项品质指标(类胡萝卜素和脂肪), 1 项微量元素指标(Se), 1 项常量元素指标(Mg)。聚类结果显示黄酮含量与 B 含量, 多糖含量和 Fe 含量, 类胡萝卜素和 Mg 含量聚类关系较近, 这与相关性分析的结果一致。

3 讨论

3.1 枸杞干果品质评价方法的确定

作物品种评价方法已逐步由定性和单一指标发展到多指标定量综合评价, 由此构建起来的综合评价体系较为客观、全面、科学。统计学、灰色系统理论、系统科学等学科的发展为这种综合评价体系的构建奠定了基础^[26]。作物品种评价方法主要包括层次分析法、百分制记分法、模糊数学法、灰色系统分析法、主成分分析、因子分析和聚类分析等^[27], 不同方法的数学原理不同, 且各具特点。灰色关联度法是根据比较数列与参考数列的关联情况确定样本的质量级别的方法因子分析法是把一些具有错综复杂关系的变量归结为少数几个无关的新的综合因子的一种多变量统计分析方法^[28-29]。郑国保等^[30]针对不同生育期水分胁迫条件下宁夏枸杞果实的品质分析与综合评价, 在盛果期和秋果期均进行中度胁迫处理可以提高果实的综合品质。王艳平等^[6]通过灰色关联度法分析评价枸杞子质量, 以 6 个指标(多糖、黄酮

含量、浸出物、抗氧化性、水分、灰分)建立的评价模型能够更科学、更全面地反映枸杞子质量。赵建华等^[7]针对不同果色枸杞鲜果品质性状指标间的相互关系,利用相关性分析、因子分析、层次分析法构建了枸杞鲜果品质性状的综合评价体系。本项研究所用评价方法都是大量用于品质评价中的方法,有些方法的科学性在枸杞品质评价中也被检验过,从方法选择上来说科学、客观,能够全面满足在本项研究的需要。

3.2 枸杞干果品质评价指标的选择

本研究参照国家标准枸杞 GB/T18672-2014 中所规定的理化指标进行测定,同时将甜菜碱、黄酮、类胡萝卜素、氨基酸总量,常量元素 Ca、Mg 和微量元素 Mn、Zn、Fe、B、Se 等反映营养成分的指标纳入评价体系,综合反映枸杞果实品质。常量元素 K、Na 也是品质指标评价的重要矿质元素,由于枸杞在制干过程中需要添加碳酸钾或者碳酸钠作为破蜡剂,虽然在后期制备测定的过程中得到充分的洗脱,但是为避免对相关实验科学性的干扰,所以本研究未将 K、Na 作为矿质元素指标进行选择,对于微量元素 Se 的选择,主要由于宁夏中卫等地土壤富含 Se 元素,通过对 Se 元素的测定建立枸杞干果 Se 含量的标准值,为同类其他实验样品的测定提供参考依据。

3.3 枸杞干果品质评价结果的分析

宁夏枸杞种质干果品质及矿物质元素相关性分析与聚类热图结果显示具有较强的一致性。总糖含量与 Zn 含量,黄酮和 Ca 含量,多糖和 Fe 含量具有显著正相关关系,但也存在一些差异,黄酮和 Ca 含量、多糖和 Fe 含量、甜菜碱和总糖含量这三组指标在聚类热图中体现出相关性,但在相关性分析中并未显著相关。综合评价筛选出的 5 份优异种质优良种质‘宁农杞 3 号’、‘宁农杞 9 号’、‘14-06-11-12’、‘14-02-03-21’和‘14-04-03-13’,其中‘宁农杞 9 号’属于第 I 类,其黄酮和脂肪含量, Ca、Se 和 B 含量高;‘宁农杞 3 号’属于 IV 类,类胡萝卜素、黄酮含量较高, Ca、Se 含量高;‘14-06-11-12’、‘14-02-03-21’和‘14-04-03-13’属于第 III 类,此类种质多糖和 Fe 元素含量较高,黄酮含量低。所筛选出的 5 份优质种质均是这三个类群中的优异种质。

4 结论

60 份种质干果种质营养成分和矿物质元素含量存在显著性差异,总糖含量、甜菜碱含量与 Zn 含量,多糖含量与 Fe 含量,类胡萝卜素含量与 Mg、Se 含量,黄酮含量与 B、Zn 和 Ca 含量,脂肪含量与 Se、Mg 含量呈极显著正相关($P < 0.01$);总糖含量与类胡萝卜素含量,蛋白质含量与 Zn 含量呈极显著负相关($P < 0.01$);优良种质‘宁农杞 3 号’、‘宁农杞 9 号’、‘14-06-11-12’、‘14-02-03-21’和‘14-04-03-13’可作为枸杞定向育种和遗传改良核心亲本选择。宁夏枸杞种质干果品质及矿物质元素综合评价分析,初步揭示

了干果品质与常/微量元素含量间的关系,为开展枸杞品质育种提供了参考依据。

© 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] 国家药典委员会. 中国药典 2020 年版[S]. 一部. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 132-133. [National Pharmacopoeia Commission. Chinese Pharmacopoeia 2020 edition[S]. A. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 132-133.]
- [2] ZHAO L Q, QIU Z Q, NARASIMHAMOORTHY B, et al. Development of a rapid, high-throughput method for quantification of zeaxanthin in Chinese wolfberry using HPLC-DAD[J]. Industrial Crops & Products, 2013, 47: 51-57.
- [3] 王益民, 张珂, 许飞华, 等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34-38. [WANG Y M, ZHANG K, XU F H, et al. Chemical analysis and nutritional evaluation of different varieties of goji berries (*Lycium barbarum* L.) [J]. Food Science, 2014, 35(1): 34-38.]
- [4] 张晓煜, 刘静, 王来喜. 枸杞品质综合评价体系构建. 中国农业科学, 2004, 37(3): 416-421. [ZHANG X Y, LIU J, WANG L X. A synthetic system established for assessing the quality of *Lycium barbarum* L. [J]. Scientia Agriculturae Sinica, 2004, 37(3): 416-421.]
- [5] 张波, 罗青, 王学琴, 等. 不同产区宁夏枸杞品质分析比较[J]. 北方园艺, 2014(15): 165-168. [ZHANG B, LUO Q, WANG X Q, et al. Fruit quality comparison of *Lycium barbarum* L. from different producing areas [J]. Northern Horticulture, 2014(15): 165-168.]
- [6] 王艳平, 崔永蕾, 黄丽, 等. 基于灰色关联度法的枸杞子质量评价[J]. 中国现代中药, 2020, 22(11): 1851-1856, 1862. [WANG Y P, CUI Y L, HUANG L, et al. Quality evaluation of lycii fructus based on grey incidence degree method [J]. Modern Chinese Medicine, 2020, 22(11): 1851-1856, 1862.]
- [7] 赵建华, 述小英, 李浩霞, 等. 不同果色枸杞鲜果品质性状分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(12): 2338-2348. [ZHAO J H, SHU X Y, LI H X, et al. Analysis and comprehensive evaluation of the quality of wolfberry (*Lycium* L.) fresh fruits with different fruit colors [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(12): 2338-2348.]
- [8] 开建荣, 王彩艳, 石欣, 等. 中宁枸杞中矿物元素在生长期的动态变化研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 218-225. [KAI J R, WANG C Y, SHI X, et al. Study on dynamic changes of mineral elements in Zhongning *Lycium barbarum* L. during growing period [J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 218-225.]
- [9] 蒋金花, 周安丽, 徐新忠, 等. ICP-MS 测定枸杞中的 22 种无机元素[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 333-338. [JIANG J H, ZHOU A L, XU X Z, et al. Determination of 22 inorganic elements in *Lycium barbarum* L. by ICP-MS [J]. The Food Industry, 2020, 41(2): 333-338.]
- [10] 王亚雄, 常少刚, 王锐, 等. 不同有机肥对宁夏枸杞生长、产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 91-95. [WANG Y X, CHANG S G, WANG R, et al. Effects of different organic fertilizers on growth, yield and quality of *Lycium barbarum* L. [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(5): 91-95.]
- [11] 闫鹏科, 常少刚, 孙权, 等. 施用生物有机肥对枸杞产量、品

- 质及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 112-118. [YAN P K, CHANG S G, SUN Q, et al. Effect of bio-organic fertilizer on yield, quality and soil fertility of wolfberry[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(5): 112-118.]
- [12] 赵建华, 李浩霞, 周旋, 等. 干旱胁迫对宁夏枸杞生长及果实糖分积累的影响[J]. 植物生理学报, 2012, 48(11): 1063-1068. [ZHAO J H, LI H X, ZHOU X, et al. Influence of drought stress on plant growth and sugar accumulation in fruit of *Lycium barbarum* L.[J]. Plant Physiology Journal, 2012, 48(11): 1063-1068.]
- [13] 张波, 戴国礼, 秦垦, 等. 42份枸杞种质资源的物候特征[J]. 经济林研究, 2021, 39(1): 85-96. [ZHANG B, DAI G L, QIN K, et al. Phenological characteristics of 42 wolfberry germplasm resources[J]. Non-wood Forest Research, 2021, 39(1): 85-96.]
- [14] GB/T18672 中华人民共和国国家标准(枸杞)[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2014. [GB/T18672 National standard of the People's Republic of China (wolfberry) [S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2014.]
- [15] 潘菲, 韩晓萍. 五产区黑果枸杞甜菜碱的含量测定及比较研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2022, 48(3): 283-289. [PAN F, HAN X P. Determination and comparative study on the content of betaine in *Lycium barbarum* L.[J]. Journal of Southwest Minzu University (Natural Science Edition), 2022, 48(3): 283-289.]
- [16] 郑坚强, 宋佳旭, 李红, 等. 陈年枸杞中类胡萝卜素含量的测定[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 121-125. [ZHENG J Q, SONG J X, LI H, et al. Determination of carotenoid content in aged *Lycium chinense*[J]. The Food Industry, 2018, 39(6): 121-125.]
- [17] 张自萍, 黄文波, 王玉炯. 枸杞黄酮提取方法的比较研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2007(1): 60-62. [ZHANG Z P, HUANG W B, WANG Y J. Comparative study between the microwave and conventional extractions of the total flavones from *Lycium barbarum* L.[J]. Journal of Ningxia University(Natural Science Edition), 2007(1): 60-62.]
- [18] 丁春瑞, 郭武军, 远辉. 新疆黑枸杞中氨基酸含量的测定及分析[J]. 食品工业, 2016, 37(12): 151-152. [DING C R, GUO W J, YUAN H. Determination and analysis of the amino acid content of *Lycium ruthenicum* Murr. in Xinjiang[J]. The Food Industry, 2016, 37(12): 151-152.]
- [19] 王亚盟, 郭家平, 刘洁, 等. 不同产地黑果枸杞中主要矿物质元素含量比较及主成分分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 233-239. [WANG Y M, GUO J P, LIU J, et al. Comparison and principal component analysis of main mineral elements in *Lycium ruthenicum* Murray from different habitats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 233-239.]
- [20] 张叶, 叶蓓蕾, 邹静, 等. 77份文心兰种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(8): 2183-2190. [ZHANG Y, YE P L, WU J, et al. Analysis of genetic diversity of phenotypic traits of 77 *Oncidium* germplasm resources[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(8): 2183-2190.]
- [21] 郭燕, 张树航, 李颖, 等. 中国板栗 36 个叶片表型性状的多样性[J]. 中国农业科学, 2022, 55(5): 991-1009. [GUO Y, ZHANG S H, LI Y, et al. Diversity analysis of 36 leaf phenotypic traits of Chinese chestnut[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(5): 991-1009.]
- [22] 王秀秀, 邢爱双, 杨茹, 等. 陆地棉种质资源表型性状综合评价[J]. 中国农业科学, 2022, 55(6): 1082-1094. [WANG X X, XING A S, YANG R, et al. Comprehensive evaluation of phenotypic traits of upland cotton germplasm resources[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(6): 1082-1094.]
- [23] 徐晓, 任根增, 赵欣蕊, 等. 中国高粱地方品种和育成品种穗部表型性状精准鉴定及综合评价[J]. 中国农业科学, 2022, 55(11): 2092-2108. [XU X, REN G Z, ZHAO X R, et al. Accurate identification and comprehensive evaluation of panicle phenotypic characters of local and developed *Sorghum* cultivars in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(11): 2092-2108.]
- [24] 李勋兰, 魏召新, 彭芳芳, 等. 35份果桑资源果实品质分析与综合评价[J]. 果树学报, 2022, 39(3): 332-342. [LI X L, WEI S X, PENG F F, et al. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 35 mulberry accessions[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(3): 332-342.]
- [25] 姜璐, 包怡红, 贾雨彤, 等. 18个品种蓝靛果营养成分分析及综合品质评价[J]. 农业工程学报, 2022, 38(7): 326-335. [JIANG L, BAO Y H, JIA Y T, et al. Nutritional component analysis and comprehensive quality evaluation of 18 different varieties of *Lonicera caerulea*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(7): 326-335.]
- [26] 刘翔宇, 赵龙, 巴哈尔古丽·先木西, 等. 新疆陆地棉种质资源的综合评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(24): 4679-4692. [LIU Xi Y, ZHAO L, BAHARGULI X M X, et al. Comprehensive evaluation of upland cotton germplasm resources in Xinjiang[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(24): 4679-4692.]
- [27] 刘龙昌, 尚富德, 向其柏. 植物品种综合评价方法——以桂花为例[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2003(1): 14-17. [LIU L C, SHANG F D, XIANG Q B. Comprehensive evaluation method of plant varieties—A case study of *Osmanthus*[J]. Journal of Henan University (Natural Science Edition), 2003(1): 14-17.]
- [28] 孟宪林, 孙丽欣, 周定, 等. 灰色理论在环境质量评价中的应用与完善[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002(5): 700-702. [MENG X L, SUN L X, ZHOU D, et al. Application and improvement of grey theory in environmental quality evaluation[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2002(5): 700-702.]
- [29] 游家兴. 如何正确运用因子分析法进行综合评价[J]. 统计教育, 2003(5): 10-11. [YOU J X. How to correctly use factor analysis method for comprehensive evaluation[J]. Statistical Education, 2003(5): 10-11.]
- [30] 郑国保, 马玲, 撒志明, 等. 不同生育期水分胁迫条件下宁夏枸杞果实的主成分分析与综合评价[J]. 节水灌溉, 2022(1): 47-51, 57. [ZHENG G B, MA L, QIAN Z M, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of *Lycium barbarum* fruits under water stress at different growth stages[J]. Water Saving Irrigation, 2022(1): 47-51, 57.]