

青海海西州不同地区藜麦中矿物质元素主成分分析与综合评价

董 琦¹, 肖远灿¹, 胡 娜¹, 谭 亮^{1*}, 王洪伦^{1*}, 何晓洁²

¹中国科学院西北高原生物研究所 中国科学院藏药研究重点实验室, 西宁 810001; ²青海谱测检测有限公司, 西宁 810003

摘要:采用 ICP-MS 法同时测定了青海海西州不同地区藜麦中 20 种矿物质元素, 并对其含量进行比较和分析评价, 为高原藜麦再加工产品的开发和利用提供依据。采用 SPSS 19.0 分别对青海海西州 3 个地区 7 个不同地点的藜麦之间和青海海西州地区与国内外其他产地的不同颜色藜麦之间各矿物质元素进行多重比较、主成分分析和综合评价。结果表明青海海西州不同地区藜麦之间的 Na、B、Al、V、Ni、Se、Ba 元素存在显著性差异 ($P < 0.05$), 青海海西州与国内外其他产地的不同颜色藜麦之间的 Na、B、Al、V、Se、Sr、Mo、Ba 元素存在显著性差异 ($P < 0.05$)。主成分分析结果显示: 青海海西州 3 个地区 7 个不同地点的藜麦主要分为 2 类, 其矿物质元素质量与当地海拔高度有相关性; 青海海西州与国内外其他产地的不同颜色藜麦主要分为 5 类, 其矿物质元素质量除了与当地海拔高度有关外, 可能还与引种的藜麦品系、培育和遗传改良、生长环境、生态适应性有关。综合评价分别来自青海海西州的格尔木市大格勒乡和格尔木市乌图美仁乡的藜麦中矿物质元素质量相对更佳, 与国内外其他产地的不同颜色藜麦相比, 来自青海海西州的白色和红白双色藜麦、秘鲁普诺的红白黑三色藜麦中矿物质元素质量相对更佳。青海海西州地区藜麦矿物质元素丰富, 本研究可为其质量控制提供依据。

关键词:藜麦; 青海海西州不同地区; 矿物质元素; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2021)Suppl-0024-12

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2021.S.004

Principal component analysis and comprehensive evaluation of mineral elements in *Chenopodium quinoa* Willd. from different regions of Haixi Prefecture, Qinghai

DONG Qi¹, XIAO Yuan-can¹, HU Na¹, TAN Liang^{1*}, WANG Hong-lun^{1*}, HE Xiao-jie²

¹Key Laboratory of Tibetan Medicine Research, Chinese Academy of Sciences, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; ²Qinghai Spectral Detection Limited Company, Xining 810003, China

Abstract: In this study, a method was developed for simultaneous determination of twenty kinds of mineral elements in *Chenopodium quinoa* Willd. (CQW) from Haixi Prefecture different regions of Qinghai by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). The contents of these mineral elements were selected to compare, analyze and evaluate, providing a basis for the development and utilization of the CQW reprocessed products in Qinghai Plateau. SPSS 19.0 was used to conduct multiple comparative analysis, principal component analysis and comprehensive evaluation of mineral elements between the CQW in seven different locations from three Haixi Prefecture regions, and the CQW from Qinghai Haixi Prefecture regions and other domestic and foreign producing areas were also made. The results showed that there were significant differences ($P < 0.05$) in Na, B, Al, V, Ni, Se and Ba of the CQW from different Haixi Prefecture regions of Qinghai, and there were significant differences ($P < 0.05$) in Na, B, Al, V, Se, Sr, Mo and Ba of the CQW between Qinghai Haixi Prefecture regions and other domestic and foreign producing areas. The results of principal component analysis showed that the CQW in seven different locations from three Haixi Prefecture regions of Qinghai was mainly divided into two categories, and the quality of mineral elements were correlated with local altitude; the CQW of different colors in Haixi Prefecture regions of Qinghai and other domestic and foreign producing areas was mainly divided into five categories, and the quality of mineral elements were not only related to local altitude, but may also be related to introduced quinoa strains, breeding and genetic improvement, growing environment and

收稿日期: 2020-10-09 接受日期: 2020-12-10

基金项目: 青海省重点研发与转化计划(2019-SF-C13); 青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室(2021-ZJ-Y14); 西宁市重点研发与转化计划(2018-Y-15)

*通信作者 Tel: 86-971-6132750; E-mail: tanliang@nwipb.cas.cn, hlwang@nwipb.cas.cn

ecological adaptability. After comprehensive evaluation, the quality of mineral elements in the CQW of Dagele Township, Geermu City and Wutumeiren Township, Geermu City from Haixi Prefecture regions of Qinghai were relatively better, respectively. Compared with the CQW of different colors from other domestic and foreign producing areas, there were relatively better quality of mineral elements in the CQW of pure white, a double colors of red and white from Haixi Prefecture regions of Qinghai, and the CQW with a three colors of red, white and black from Peru puno. This study can provide a basis for quality control of the CQW in Haixi Prefecture regions of Qinghai with rich in mineral elements.

Key words: *Chenopodium quinoa* Willd.; Haixi Prefecture different regions of Qinghai; mineral elements; principal component analysis; comprehensive evaluation

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.), 是藜科 (Chenopodiaceae) 藜属 (*Chenopodium*) 的一年生草本自花授粉植物, 其籽是主要食用部分, 其嫩茎也可食用^[1]。主要分布在南美洲安第斯高原, 在当地已有 7 000 年的种植历史, 是印加土著居民的主要传统食物^[2,3], 藜麦穗部颜色可呈红色、紫色、黄色, 种子颜色主要有白色、黑色以及红色^[4]。其中, 黑色和红色系藜麦的籽粒较小, 带有的颜色其实是藜麦种子的外皮颜色, 去掉种皮后胚乳胚芽也是浅色的, 但口感没有白色好。藜麦具有一定的耐旱、耐寒、耐盐性, 生长范围约为海平面到海拔 4 500 m 左右的高原上, 最适高度为海拔 3 000 ~ 4 000 m 的高原或山地地区。藜麦在青海、西藏、甘肃、山西、四川等地均有广泛种植, 其富含蛋白质、氨基酸、矿物质元素、多不饱和脂肪酸、叶酸等, 不含麸质和胆固醇, 是一种低脂、低热量、低糖的碱性食物, 被联合国国际粮农组织 (FAO) 确认的唯一一种能满足人体基本营养需求的单体植物, 被正式推荐为最适宜人类的完美“全营养食品”, 具有“超级谷物”之美誉^[5]。

目前, 有关藜麦的营养成分分析研究多来自如内蒙古、甘肃、云南、西藏、四川、山西、陕西、宁夏、南美等产地^[6-13], 有关于青海藜麦的产品质构特性、发酵工艺优化及抗氧化特性、皂苷超声提取工艺、酚类、有机酸、糖醇、胺类、多酚、生物碱、槲皮素和山柰酚等的研究^[14-19], 也有关于青海藜麦的元素分析^[20,21], 但研究仅为锌、镁、铜、铅、砷等几种金属元素的测定, 对于青海海西州不同地区藜麦之间、青海海西州地区与国内外其他产地的不同颜色藜麦之间的多种矿物质元素的差异比较、主成分分析和综合评价未见相关文献报道。青藏高原的藜麦生长在海拔 3 000 m 以上的高寒地带, 昼夜温差大、日照时间长, 并且干旱无污染, 非常有利于营养物质的积累, 土壤中有机质、矿物质元素丰富, 具有较高的营养价值。本文以青海海西州 3 个地区 7 个不同地点、不同颜色的藜麦以及辽宁、黑龙江、秘鲁、美国不同颜

色的藜麦为研究对象, 在其多种矿物质元素成分分析的基础上先进行多重比较差异分析, 然后对青海海西州不同地区藜麦之间、青海海西州地区与国内外其他产地的不同颜色藜麦之间的多种矿物质元素进行主成分分析和综合评价, 通过主成分因子得分图筛选出藜麦不同产地和不同颜色之间的归属分布情况, 并评选出藜麦中矿物质元素质量相对更佳的产地。本研究旨在为说明适宜引种并能够收获品质较优良藜麦的地区, 同时也为青海高原藜麦的质量控制、资源的开发利用与加工提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

藜麦样品分别采自青海海西州 3 个地区 7 个不同地点、不同颜色的藜麦以及收集同时期来自辽宁、黑龙江、秘鲁、美国不同颜色的藜麦共 21 批, 阴干, 临用前粉碎, 过 40 目筛, 装入密封袋中密封, 置干燥器中保存, 备用(见表 1)。

各单元素标准溶液 (1 000 mg/L, 国家标准物质研究中心); Sc、Ge、In、Bi 混合标准溶液 (100 mg/L, 美国安捷伦公司); ICP-MS 调谐液 (10 mg/L, 美国瓦里安公司); 硝酸、高氯酸为优级纯; 实验用水为去离子水 (电阻率 18.2 MΩ · cm)。

1.2 仪器

Agilent 7800 电感耦合等离子体质谱仪 (inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS, 美国安捷伦公司); 优普 UPH-IV-10T 超纯水机 (四川优普超纯科技有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 矿物质元素含量测定方法

测定方法采用 GB 5009. 268-2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定; 样品前处理采用湿法消解法。湿法消解过程: 称取 0.5 g 样品于 100 mL 锥形瓶中, 加入 20 mL 混合酸 (硝酸: 高氯酸 = 9: 1, V/V), 浸泡过夜。置于电热板加热消解, 消解时如出现碳化现象需再补加 1 mL 硝酸, 待消解完全后,

表1 收集的青海海西州和国内外其他产地的藜麦样品

Table 1 The CQW samples collected from Haixi Prefecture regions of Qinghai and other domestic and foreign producing areas

样品编号 Sample No.	样品来源 Sample source	样品颜色 Sample color	地理坐标 Geographic coordinates	平均海拔 Mean altitude (m)	收集时间 Collection time
LM-01	海西州乌兰县希里沟镇	红色	N36°55'46.78'' E98°28'48.89''	4 000	2019.9.27
LM-02	海西州德令哈市柯鲁柯镇莲湖村	红色	N37°18'41.73'' E97°12'10.15''	2 980	2019.9.28
LM-03	海西州格尔木市大格勒乡	红色	N36°26'38.84'' E95°45'11.78''	2 780	2019.9.29
LM-04	海西州格尔木市大格勒乡	红白双色	N36°26'38.84'' E95°45'11.78''	2 780	2019.9.29
LM-05	海西州格尔木市乌图美仁乡	红白双色	N36°54'32.44'' E93°09'47.66''	2 780	2019.9.29
LM-06	海西州乌兰县柯柯镇	红白双色	N36°59'10.62'' E98°15'6.89''	4 000	2019.9.27
LM-07	海西州乌兰县茶卡镇塔拉村	白色	N36°47'34.30'' E99°04'34.85''	4 000	2019.9.27
LM-08	海西州德令哈市柯鲁柯镇安康村	白色	N37°17'44.20'' E97°10'20.76''	2 980	2019.9.28
LM-09	海西州德令哈市柯鲁柯镇莲湖村	白色	N37°18'41.73'' E97°12'10.15''	2 980	2019.9.28
LM-10	海西州格尔木市乌图美仁乡	红白黑三色	N36°54'32.44'' E93°09'47.66''	2 780	2019.9.29
LM-11	海西州格尔木市大格勒乡	白色	N36°26'38.84'' E95°45'11.78''	2 780	2019.9.29
LM-12	海西州德令哈市柯鲁柯镇莲湖村	黑色	N37°18'41.73'' E97°12'10.15''	2 980	2019.9.28
LM-13	海西州乌兰县柯柯镇东村	白色	N36°59'1.94'' E98°16'56.34''	4 000	2019.9.27
LM-14	海西州乌兰县柯柯镇中村	白色	N36°59'27.74'' E98°14'31.14''	4 000	2019.9.27
LM-15	海西州乌兰县柯柯镇西村	白色	N36°59'19.21'' E98°14'33.66''	4 000	2019.9.27
LM-16	海西州乌兰县茶卡镇乌兰哈达村	白色	N36°47'34.30'' E99°04'34.85''	4 000	2019.9.27
LM-17	辽宁省阜新市	白色	N42°0'47.95'' E121°39'22.21''	146	2019.10.11
LM-18	黑龙江省哈尔滨五常市	白色	N44°55'54.88'' E127°10'2.86''	450	2019.10.12
LM-19	秘鲁普诺	红白黑三色	S9°11'24'' W75°0'55''	3 800	2019.9.25
LM-20	秘鲁普诺	白色	S15°50'3.12'' W75°1'21.84''	3 800	2019.9.25
LM-21	美国奥林匹亚	红色	N47°1'48'' W122°31'48''	2 920	2019.9.17

蒸发酸至无色或淡黄色,冷却,用一级水将消解液转移至25 mL容量瓶中,定容至刻度,摇匀,待测。同时做试剂空白试验。

1.3.2 仪器工作参数

ICP-MS工作参数:等离子体射频功率:1 500 W;雾化器流量:1.01 L/min;辅助器流量:0.9 L/

min;扫描次数:3次;稳定时间:40 s;重复测量次数:3次;样品进样时间:30 s;雾化室温度:2 °C。

1.4 数据统计分析

测定结果以同一批次的藜麦样品分别测定3次后的均值±标准误差($\bar{x} \pm s$)表示,采用SPSS 19.0软件进行数据处理和统计分析。首先采用单因素方

差分析对青海海西州 3 个地区 7 个不同地点的藜麦之间和青海海西州地区与国内外其他产地的不同颜色藜麦之间各矿物质元素的含量差异进行多重比较,若方差具有齐次性时,采用 LSD 检验;若方差不具有齐次性时,采用 Tamhane's T2 检验,用 *t* 检验进行各组均值间的配对比较,差异显著性水平为 $P < 0.05$;其次通过主成分分析的因子得分图筛选出藜麦不同产地和不同颜色之间的归属分布情况;最后对藜麦中的 20 种矿物质元素进行综合评价以评选出含量相对更佳的产地。

2 结果与分析

2.1 青海海西州各地区藜麦中矿物质元素分析

由表 2 可知:(1)青海海西州各地区藜麦中主要含有 6 种常量元素:K、Na、Mg、Ca、S、P,含有 6 种必需微量元素:Fe、Co、Cu、Zn、Se、Mo,含有 7 种对人体有益,可能需要的微量元素:Al、V、Mn、Ni、B、Ti、Sr,含有 1 种非必需元素:Ba,不含有稀土元素。(2)含有最多的 5 种元素依次为 P(3 791.425 ~ 4 758.303 mg/kg)、S(2 995.880 ~ 3 610.086 mg/kg)、K(2 347.318 ~ 3 137.877 mg/kg)、Mg(1 324.440 ~ 1 943.750 mg/kg)、Ca(325.676 ~ 575.555 mg/kg),其次是 Fe(32.941 ~ 54.419 mg/kg)、Na(9.659 ~ 50.824 mg/kg)、Zn(22.035 ~ 28.831 mg/kg)、Mn(15.633 ~ 21.425 mg/kg),再次是 Cu(4.113 ~ 7.460 mg/kg)、B(1.258 ~ 6.838 mg/kg)、Al(2.150 ~ 6.574 mg/kg)、Sr(2.614 ~ 4.718 mg/kg),含有最少的 4 种元素依次为 Se(0.018 ~ 0.037 mg/kg)、V(0.007 ~ 0.023 mg/kg)、Ti(0.009 ~ 0.013 mg/kg)、Co(0.003 ~ 0.006 mg/kg)。(3)按能量和营养成分含量声称的要求和条件^[22],青海海西州各地区藜麦中平均含有 Mg(1 572.355 mg/kg 换算为 52.4% NRV)、Mn(18.838 mg/kg 换算为 62.8% NRV)、Cu(6.156 mg/kg 换算为 41.0% NRV)、P(4 453.261 mg/kg 换算为 63.6% NRV),该 4 种元素均为每 100 g 藜麦中 ≥ 30% NRV,因此藜麦属于富含多种矿物质元素的食品。此外,藜麦中平均含有 Na 26.095 mg/kg (< 50 mg/kg),属于不含钠食品。

单因素方差分析多重比较结果显示:(1)青海海西州藜麦中 K、Mg、Ca、Ti、Mn、Fe、Co、Cu、Zn、Sr、Mo、S、P 这 13 种元素在 3 个地区 7 个不同地点之间无显著性差异($P > 0.05$)。(2) a. 乌兰县茶卡镇样品平均含有 Na 最高(50.824 mg/kg),除了德令哈市柯鲁柯镇安康村外,与其他 5 个样品的地点之间

存在显著性差异($P < 0.05$);b. 格尔木市乌图美仁乡样品平均含有 B 最高(6.838 mg/kg),除了乌兰县柯柯镇外,与其他 5 个样品的地点之间存在显著性差异($P < 0.05$);c. 格尔木市乌图美仁乡样品平均含有 Al 最高(6.574 mg/kg),与其他 6 个样品的地点之间存在显著性差异($P < 0.05$);d. 格尔木市乌图美仁乡样品平均含有 V 最高(0.023 mg/kg),除了德令哈市柯鲁柯镇安康村外,与其他 5 个样品的地点之间存在显著性差异($P < 0.05$);e. 乌兰县柯柯镇样品平均含有 Ni 最高(0.879 mg/kg),除了乌兰县希里沟镇外,与其他 5 个样品的地点之间存在显著性差异($P < 0.05$);f. 乌兰县柯柯镇样品平均含有 Se 最高(0.037 mg/kg),除了乌兰县希里沟镇和德令哈市柯鲁柯镇莲湖村外,与其他 4 个样品的地点之间存在显著性差异($P < 0.05$);g. 格尔木市乌图美仁乡样品平均含有 Ba 最高(0.701 mg/kg),与其他 6 个样品的地点之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

进一步对青海海西州产藜麦与云南、甘肃、内蒙古、山西、浙江、陕西、宁夏、拉萨等其他国产有文献报道的藜麦中矿物质元素含量差异进行比较分析,数据有效数位和单位保持一致,见表 3。结果显示:(1)不同产地藜麦中 Mg、Cu、Zn 这 3 种元素之间无显著性差异($P > 0.05$):a. 除了山西和青海海西藜麦中 Mg 含量较低(依次为 958.000、1 572.167 mg/kg)无显著性差异($P > 0.05$)以外,二者与其余 7 个产地藜麦中 Mg 之间存在显著性差异($P < 0.05$);b. 除了山西和陕西藜麦中 Cu 含量较低(依次为 4.500、4.055 mg/kg)无显著性差异($P > 0.05$)以外,二者与其余 7 个产地藜麦中 Cu 之间存在显著性差异($P < 0.05$);c. 除了云南和内蒙古藜麦中 Zn 含量较高(依次为 34.983、38.463 mg/kg)无显著性差异($P > 0.05$)以外,二者与其余 5 个产地藜麦中 Zn 之间存在显著性差异($P < 0.05$)。(2)不同产地藜麦中 K、Na、Ca、Mn、Fe、Se、P 这 7 种元素之间存在显著性差异($P < 0.05$):a. 内蒙古藜麦中 K 含量最高(10 991.000 mg/kg),青海海西州藜麦中 K 含量最低(2 721.329 mg/kg),青海海西州和山西、云南和内蒙古、甘肃和陕西和宁夏、浙江和拉萨这 4 组之间藜麦中 K 含量存在显著性差异($P < 0.05$);b. 内蒙古藜麦中 Na 含量最高(58 900.000 mg/kg),陕西藜麦中 Na 含量最低(12 930.000 mg/kg),陕西、青海海西州、甘肃和山西和拉萨、内蒙古这 4 组之间藜

麦中 Na 含量存在显著性差异 ($P < 0.05$) ; c. 浙江藜麦中 Ca 含量最高 (787.000 mg/kg), 拉萨藜麦中 Ca 含量最低 (425.000 mg/kg), 青海和云南和拉萨、甘肃和内蒙古和宁夏、浙江和陕西这 3 组之间藜麦中 Ca 含量存在显著性差异 ($P < 0.05$) ; d. 云南藜麦中 Mn 含量最高 (57.780 mg/kg), 内蒙古藜麦中 Mn 含量最低 (14.800 mg/kg), 内蒙古、青海和甘肃和宁夏、山西和浙江和陕西、云南这 4 组之间藜麦中

Mn 含量存在显著性差异 ($P < 0.05$) ; e. 陕西藜麦中 Fe 含量最高 (141.825 mg/kg), 青海海西州藜麦中 Fe 含量最低 (43.318 mg/kg), 青海和甘肃、浙江、云南和内蒙古、山西、拉萨、陕西和宁夏这 6 组之间藜麦中 Fe 含量存在显著性差异 ($P < 0.05$) ; f. 云南藜麦中 Se 含量最高 (0.079 mg/kg), 青海海西州藜麦中 Se 含量最低 (0.028 mg/kg), 青海、云南、陕西这 3 组之间藜麦中 Se 含量存在显著性差异 ($P < 0.05$) ;

表 2 青海海西州不同地区藜麦样品中各种矿物质元素测定结果 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 The results of various mineral elements in the CQW samples collected from Haixi Prefecture different regions of Qinghai ($\bar{x} \pm s$) (mg/kg)

产地编号 Origin No.	钾 K	钠 Na	硼 B	镁 Mg	铝 Al	钙 Ca	钛 Ti	钒 V	锰 Mn	铁 Fe
HX-1	2 694.904 ± 194.255 ^a	9.659 ± 0.666 ^a	2.354 ± 0.111 ^{ab}	1 324.440 ± 77.261 ^a	2.150 ± 0.103 ^a	403.263 ± 21.543 ^b	0.011 ± 0.001 ^a	0.009 ± 0.001 ^b	16.025 ± 0.835 ^a	47.937 ± 2.335 ^b
HX-2	3 011.652 ± 266.417 ^a	21.335 ± 1.731 ^c	6.372 ± 0.252 ^{cd}	1 581.632 ± 122.345 ^a	3.050 ± 0.140 ^b	343.650 ± 15.005 ^a	0.013 ± 0.001 ^a	0.007 ± 0.001 ^a	20.241 ± 2.121 ^b	34.488 ± 1.500 ^a
HX-3	2 347.318 ± 158.339 ^a	50.824 ± 2.779 ^d	1.258 ± 0.094 ^a	1 542.114 ± 120.440 ^a	4.124 ± 0.320 ^{cd}	393.902 ± 29.282 ^{ab}	0.011 ± 0.001 ^a	0.013 ± 0.002 ^c	15.633 ± 0.818 ^a	53.116 ± 3.921 ^b
HX-4	2 468.369 ± 247.495 ^a	13.440 ± 2.061 ^b	5.349 ± 0.362 ^c	1 467.242 ± 92.856 ^a	4.182 ± 0.352 ^{cd}	399.258 ± 36.173 ^{ab}	0.013 ± 0.001 ^a	0.018 ± 0.001 ^d	21.425 ± 3.022 ^b	34.525 ± 1.842 ^a
HX-5	3 137.877 ± 383.703 ^a	23.105 ± 1.594 ^c	6.838 ± 0.527 ^d	1 526.381 ± 113.781 ^a	6.574 ± 0.393 ^e	538.476 ± 27.880 ^c	0.011 ± 0.002 ^a	0.023 ± 0.002 ^e	20.939 ± 2.343 ^b	32.941 ± 1.807 ^a
HX-6	2 734.603 ± 141.649 ^a	41.832 ± 2.222 ^d	5.567 ± 0.226 ^e	1 943.750 ± 202.006 ^a	2.718 ± 0.152 ^{ab}	575.555 ± 24.639 ^e	0.012 ± 0.001 ^a	0.022 ± 0.002 ^e	20.344 ± 1.930 ^b	54.419 ± 2.897 ^b
HX-7	2 653.126 ± 273.103 ^a	22.687 ± 1.795 ^c	2.691 ± 0.165 ^b	1 624.266 ± 107.332 ^a	3.787 ± 0.214 ^c	325.676 ± 25.457 ^a	0.009 ± 0.001 ^a	0.009 ± 0.001 ^b	17.421 ± 1.807 ^a	45.888 ± 2.323 ^b
产地编号 Origin No.	钴 Co	镍 Ni	铜 Cu	锌 Zn	硒 Se	锶 Sr	钼 Mo	钡 Ba	硫 S	磷 P
HX-1	0.004 ± 0.000 ^{ab}	0.791 ± 0.036 ^d	4.113 ± 0.333 ^a	24.131 ± 1.334 ^a	0.035 ± 0.002 ^d	2.614 ± 0.106 ^a	0.172 ± 0.013 ^{bc}	0.217 ± 0.015 ^b	3 264.363 ± 143.340 ^a	3 791.425 ± 184.123 ^a
HX-2	0.004 ± 0.000 ^b	0.879 ± 0.044 ^d	6.840 ± 0.451 ^b	26.826 ± 2.701 ^a	0.037 ± 0.004 ^d	4.451 ± 0.333 ^{bc}	0.179 ± 0.010 ^{bc}	0.392 ± 0.033 ^c	3 610.086 ± 171.200 ^a	4 722.110 ± 142.459 ^a
HX-3	0.003 ± 0.000 ^a	0.672 ± 0.015 ^{bc}	6.243 ± 0.651 ^{ab}	23.637 ± 2.249 ^a	0.023 ± 0.002 ^b	3.732 ± 0.250 ^b	0.196 ± 0.028 ^c	0.172 ± 0.025 ^{ab}	3 230.219 ± 180.317 ^a	4 451.368 ± 351.217 ^a
HX-4	0.005 ± 0.000 ^b	0.576 ± 0.029 ^{ab}	7.144 ± 0.803 ^{bc}	22.035 ± 2.718 ^a	0.022 ± 0.002 ^b	3.850 ± 0.126 ^b	0.190 ± 0.023 ^c	0.202 ± 0.020 ^b	3 306.444 ± 254.772 ^a	4 582.087 ± 271.333 ^a
HX-5	0.004 ± 0.000 ^b	0.593 ± 0.053 ^b	7.460 ± 0.413 ^{bc}	23.627 ± 2.128 ^a	0.018 ± 0.002 ^a	3.347 ± 0.193 ^{ab}	0.163 ± 0.009 ^b	0.701 ± 0.055 ^d	2 995.880 ± 156.812 ^a	4 165.556 ± 132.569 ^a
HX-6	0.006 ± 0.001 ^c	0.467 ± 0.026 ^a	6.022 ± 0.280 ^{ab}	28.831 ± 1.515 ^a	0.027 ± 0.002 ^{bc}	4.718 ± 0.340 ^c	0.131 ± 0.022 ^a	0.335 ± 0.029 ^c	3 393.656 ± 108.334 ^a	4 758.303 ± 266.660 ^a
HX-7	0.003 ± 0.000 ^a	0.612 ± 0.051 ^b	5.293 ± 0.463 ^{ab}	28.005 ± 2.947 ^a	0.033 ± 0.003 ^{cd}	3.148 ± 0.162 ^a	0.162 ± 0.023 ^b	0.148 ± 0.021 ^a	3 292.006 ± 349.166 ^a	4 665.828 ± 148.341 ^a

注:产地编号中的大写字母“HX”代表海西地区的拼音缩写;数字“1~7”依次代表产地海西州乌兰县希里沟镇、海西州乌兰县柯柯镇、海西州乌兰县茶卡镇、海西州格尔木市大格勒乡、海西州格尔木市乌图美仁乡、海西州德令哈市柯鲁柯镇安康村、海西州德令哈市柯鲁柯镇莲湖村;同列上标不同小写字母表示不同地区藜麦的矿物质元素含量之间差异显著, $P < 0.05$; 同列上标相同小写字母表示不同地区藜麦的矿物质元素含量之间差异不显著, $P > 0.05$ 。

Note: The capital letters "HX" in the origin number represent Pinyin abbreviation of Haixi regions; The numbers "1~7" in turn represent the origins of Xiligou Town, Wulan County, Haixi Prefecture; Keke Town, Wulan County, Haixi Prefecture; Chaka Town, Wulan County, Haixi Prefecture; Dagele Township, Geermu City, Haixi Prefecture; Wutumeiren Township, Geermu City, Haixi Prefecture; Ankang Village, Keluke Town, Delingha City, Haixi Prefecture; Lianhu Village, Keluke Town, Delingha City, Haixi Prefecture; Different capital letters in the same column of superscripts indicate a statistically significant difference compared between the contents of the mineral elements in the CQW samples from different regions ($P < 0.05$); The same capital letters in the same column of superscripts indicate that there was no significant difference compared between the contents of the mineral elements in the CQW samples from different regions ($P > 0.05$).

表3 青海海西州地区与国内其他产地的不同藜麦样品中各种矿物质元素测定结果($\bar{x} \pm s$)
Table 3 The results of various mineral elements in the CQW samples collected from Haixi Prefecture regions of Qinghai and other domestic producing areas($\bar{x} \pm s$) (mg/kg)

产地 Producing areas	钾 K	钠 Na	镁 Mg	钙 Ca	锰 Mn	铁 Fe	铜 Cu	锌 Zn	硒 Se	磷 P
青海海西州 Qinghai Haixi Prefecture	2 721.329 ^a	26 095.208 ^b	1 572.167 ^b	426.322 ^a	18.838 ^b	43.318 ^a	6.156 ^b	25.273 ^a	0.028 ^a	4 453.487 ^c
云南香格里拉 Shangri-la, Yunnan Province	10 612.000 ^d	-	1 949.000 ^{bc}	569.000 ^{ab}	57.780 ^d	75.310 ^c	6.607 ^b	34.983 ^b	0.079 ^c	4 816.000 ^{cd}
甘肃武威市天祝县 Tianzhu County, Wuwei City, Gansu Province	8 386.000 ^c	42 700.000 ^c	2 411.000 ^c	641.000 ^b	19.840 ^b	46.650 ^a	6.240 ^b	25.200 ^a	-	4 130.000 ^{bc}
内蒙古锡林郭勒盟 Xilin Gol League, Inner Mongolia Province	10 991.000 ^d	58 900.000 ^d	2 007.000 ^c	595.000 ^b	14.800 ^a	72.630 ^c	6.943 ^b	38.463 ^c	-	5 192.000 ^d
山西省忻州市静乐县 Jingle County, Xinzhou City, Shanxi Province	3 716.000 ^a	37 900.000 ^c	958.000 ^a	547.000 ^{ab}	41.800 ^c	88.928 ^d	4.500 ^a	28.200 ^{ab}	-	-
浙江省庆元县百山祖镇 Baishanzu Town, Qingshui County, Zhejiang Province	7 090.000 ^b	-	2 122.000 ^c	787.000 ^c	38.000 ^c	59.000 ^b	21.000 [*]	160.000 [*]	-	5 100.000 ^d
陕西榆林市、延安市、 咸阳市、安康市 Yulin City, Yan'an City, Xianyang City, Ankang City, Shaanxi Province	9 190.000 ^c	12 930.000 ^a	1 988.000 ^{bc}	743.000 ^c	35.650 ^c	141.825 ^f	4.055 ^a	26.200 ^a	0.062 ^b	3 500.000 ^b
宁夏中卫市、固原市、 吴忠市、彭阳县 Zhongwei City, Guyuan City, Wuzhong City, Pengyang County, Ningxia	8 970.000 ^c	240 000.000 [*]	2 075.000 ^c	655.000 ^b	25.350 ^b	130.700 ^f	6.625 ^b	-	0.200 [*]	3 678.000 ^b
拉萨贡扎 Zhagong, Lhasa	7 255.000 ^b	47 800.000 ^c	2 263.000 ^c	425.000 ^a	-	99.700 ^e	-	24.000 ^a	-	2 200.000 ^a

注:“-”表示没有数据;^{*}数据可疑,不进行比较分析;同列上标不同小写字母表示不同产地藜麦的矿物质元素含量之间差异显著, $P < 0.05$;同列上标相同小写字母表示不同产地藜麦的矿物质元素含量之间差异不显著, $P > 0.05$ 。

Note: “-” means no data; ^{*}Suspicious data, no comparative analysis was made; Different capital letters in the same column of superscripts indicate a statistically significant difference compared between the contents of the mineral elements in the CQW samples from different regions ($P < 0.05$); The same capital letters in the same column of superscripts indicate that there was no significant difference compared between the contents of the mineral elements in the CQW samples from different regions ($P > 0.05$).

g. 内蒙古藜麦中 P 含量最高(5 192.000 mg/kg), 拉萨藜麦中 P 含量最低(2 200.000 mg/kg), 拉萨、甘肃和陕西和宁夏、青海和云南、内蒙古和浙江这 4 组之间藜麦中 P 含量存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 青海海西州地区与国内外其他产地的不同颜色藜麦中矿物质元素分析

由表4可知:(1)除了青海海西州各地区不同颜色的藜麦以外,辽宁阜新、黑龙江哈尔滨和秘鲁普诺的白色藜麦、美国奥林匹亚的红色藜麦、秘鲁普诺的红白黑三色藜麦均主要含有 6 种常量元素、6 种必需微量元素、7 种可能需要的微量元素和 1 种非必需元素,不含有稀土元素(具体元素同“2.1”下内容)。(2)除青海海西州以外其他国内外产地藜麦中,含有最多的 5 种元素依次为 S(1 310.267 ~ 4

430.108 mg/kg)、K(2 218.288 ~ 3 006.059 mg/kg)、P(1 259.460 ~ 3 092.055 mg/kg)、Mg(1 367.237 ~ 1 503.211 mg/kg)、Ca(295.114 ~ 414.273 mg/kg),其次是 Fe(16.801 ~ 44.430 mg/kg)、Zn(19.409 ~ 28.077 mg/kg)、Mn(14.895 ~ 29.032 mg/kg)、Na(8.753 ~ 30.042 mg/kg),再次是 Cu(6.076 ~ 8.114 mg/kg)、B(0.370 ~ 13.922 mg/kg)、Al(1.683 ~ 11.635 mg/kg)、Sr(0.923 ~ 3.520 mg/kg),含有最少的 4 种元素依次为 Se(0.013 ~ 0.069 mg/kg)、V(0.005 ~ 0.023 mg/kg)、Ti(0.009 ~ 0.014 mg/kg)、Co(0.004 ~ 0.008 mg/kg)。(3)按能量和营养成分含量声称的要求和条件^[22],国内外其他产地的不同颜色藜麦中平均含有 Mg(1 424.247 mg/kg 换算为 47.5% NRV)、Mn

(18.980 mg/kg 换算为 63.3% NRV)、Cu (6.960 mg/kg 换算为 46.4% NRV)、P(2 368.033 mg/kg 换算为 33.8% NRV), 该 4 种元素均为每 100 g 黍麦中 $\geq 30\%$ NRV, 因此国内外其他产地的黍麦同样属于富含多种矿物质元素的食品。此外, 国内外其他产地的黍麦中平均含有 Na 17.084 mg/kg (< 50 mg/kg), 属于不含钠食品。

单因素方差分析多重比较结果显示:(1) 青海海西州各地区不同颜色的黍麦、辽宁阜新、黑龙江哈尔滨和秘鲁普诺的白色黍麦、美国奥林匹亚的红色黍麦、秘鲁普诺的红白黑三色黍麦中 K、Mg、Ca、Ti、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、S、P 这 12 种元素之间无显著性差异($P > 0.05$)。(2)a. 青海海西州红白黑三色黍麦平均含有 Na 最高(34.188 mg/kg), 除了青海

海西州白色、黑色黍麦以及秘鲁普诺白色黍麦外, 与其他 6 个不同颜色样品的产地之间存在显著性差异($P < 0.05$); b. 黑龙江哈尔滨白色黍麦平均含有 B 最高(9.660 mg/kg), 除了秘鲁普诺白色黍麦外, 与其他 8 个不同颜色样品的产地之间存在显著性差异($P < 0.05$); c. 辽宁阜新白色黍麦平均含有 Al、V、Se、Ba 最高(依次为 11.635、0.023、0.069、0.476 mg/kg), 与其他 9 个不同颜色样品的产地之间存在显著性差异($P < 0.05$); d. 青海海西州红白双色黍麦平均含有 Sr 最高(4.412 mg/kg), 与其他 9 个不同颜色样品的产地之间存在显著性差异($P < 0.05$); e. 青海海西州白色黍麦平均含有 Mo 最高(0.712 mg/kg), 与其他 9 个不同颜色样品的产地之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

表 4 青海海西州地区与国内外其他产地的不同颜色黍麦样品中各种矿物质元素测定结果($\bar{x} \pm s$)

Table 4 The results of various mineral elements in the CQW samples with different colors collected from Haixi Prefecture regions of Qinghai and other domestic and foreign producing areas($\bar{x} \pm s$) (mg/kg)

样品代号 Sample code	钾 K	钠 Na	硼 B	镁 Mg	铝 Al	钙 Ca	钛 Ti	钒 V	锰 Mn	铁 Fe
QHH	2 772.106 ± 164.220 ^a	9.676 ± 0.652 ^a	1.407 ± 0.101 ^c	1 485.359 ± 95.404 ^a	4.540 ± 0.233 ^b	371.354 ± 24.172 ^a	0.012 ± 0.001 ^b	0.008 ± 0.000 ^d	22.374 ± 1.182 ^b	48.432 ± 2.250 ^c
QHBB	3 411.066 ± 150.149 ^a	17.773 ± 1.077 ^b	2.095 ± 0.134 ^c	1 529.856 ± 104.321 ^a	7.333 ± 0.174 ^c	485.019 ± 17.470 ^b	0.012 ± 0.001 ^{bc}	0.016 ± 0.001 ^e	24.026 ± 1.074 ^b	39.035 ± 2.041 ^c
QHB	2 713.254 ± 147.369 ^a	27.961 ± 1.485 ^c	5.863 ± 0.208 ^d	1 566.910 ± 116.418 ^a	6.614 ± 0.304 ^c	405.333 ± 20.316 ^b	0.013 ± 0.001 ^{bc}	0.014 ± 0.001 ^e	18.030 ± 0.898 ^a	39.882 ± 1.733 ^c
QHHBH	2 594.306 ± 99.027 ^a	34.188 ± 1.869 ^{cd}	0.740 ± 0.022 ^b	1 607.099 ± 93.226 ^a	6.566 ± 0.263 ^c	342.195 ± 20.242 ^a	0.009 ± 0.001 ^a	0.016 ± 0.001 ^e	14.755 ± 1.172 ^a	45.685 ± 2.230 ^c
QHHH	2 760.401 ± 150.077 ^a	22.110 ± 1.531 ^{bc}	2.044 ± 0.143 ^c	1 572.232 ± 99.959 ^a	2.376 ± 0.103 ^a	339.750 ± 30.880 ^a	0.010 ± 0.001 ^{ab}	0.003 ± 0.000 ^a	16.931 ± 1.000 ^a	44.692 ± 1.317 ^c
LFB	3 006.059 ± 212.340 ^a	19.909 ± 1.004 ^b	13.922 ± 0.847 ^f	1 388.176 ± 78.087 ^a	11.635 ± 0.779 ^d	414.273 ± 18.756 ^b	0.009 ± 0.001 ^a	0.023 ± 0.002 ^f	16.102 ± 0.831 ^a	18.227 ± 1.205 ^a
HHB	2 218.288 ± 181.222 ^a	15.862 ± 1.228 ^b	9.660 ± 0.777 ^e	1 367.237 ± 76.134 ^a	4.252 ± 0.222 ^b	354.400 ± 12.153 ^a	0.010 ± 0.001 ^b	0.015 ± 0.001 ^e	18.084 ± 0.866 ^a	44.430 ± 1.937 ^c
BLB	2 429.367 ± 204.198 ^a	30.042 ± 2.175 ^c	9.043 ± 0.682 ^e	1 388.684 ± 122.873 ^a	4.170 ± 0.174 ^b	410.326 ± 10.409 ^b	0.013 ± 0.001 ^{bc}	0.009 ± 0.001 ^d	16.722 ± 0.894 ^a	16.801 ± 1.844 ^a
MGH	2 646.118 ± 183.096 ^a	8.753 ± 0.819 ^a	0.755 ± 0.075 ^b	1 473.690 ± 117.327 ^a	1.683 ± 0.119 ^a	295.114 ± 8.252 ^a	0.014 ± 0.001 ^c	0.005 ± 0.000 ^b	14.859 ± 1.175 ^a	27.220 ± 1.521 ^b
BLHBH	2 390.346 ± 121.247 ^a	10.882 ± 0.933 ^a	0.370 ± 0.021 ^a	1 503.211 ± 103.076 ^a	2.321 ± 0.184 ^a	393.092 ± 33.274 ^a	0.012 ± 0.001 ^b	0.007 ± 0.000 ^c	29.032 ± 1.463 ^b	18.838 ± 1.483 ^a
样品代号 Sample code	钴 Co	镍 Ni	铜 Cu	锌 Zn	硒 Se	锶 Sr	钼 Mo	钡 Ba	硫 S	磷 P
QHH	0.004 ± 0.000 ^a	0.926 ± 0.053 ^c	4.510 ± 0.307 ^a	25.041 ± 1.485 ^b	0.034 ± 0.001 ^d	2.140 ± 0.179 ^b	0.188 ± 0.015 ^b	0.153 ± 0.010 ^a	3 073.006 ± 252.154 ^b	4 318.470 ± 200.067 ^c
QHBB	0.004 ± 0.000 ^a	0.603 ± 0.036 ^b	7.907 ± 0.441 ^c	28.783 ± 1.966 ^b	0.037 ± 0.002 ^d	4.412 ± 0.182 ^c	0.178 ± 0.012 ^b	0.381 ± 0.010 ^c	3 465.565 ± 141.783 ^{bc}	4 436.386 ± 313.310 ^c
QHB	0.005 ± 0.000 ^a	0.663 ± 0.029 ^b	6.591 ± 0.355 ^b	26.030 ± 1.731 ^b	0.032 ± 0.001 ^d	3.865 ± 0.169 ^d	0.712 ± 0.031 ^d	0.374 ± 0.018 ^c	3 334.212 ± 290.355 ^{bc}	4 376.873 ± 248.756 ^c

续表4(Continued Tab. 4)

样品代号 Sample code	钴 Co	镍 Ni	铜 Cu	锌 Zn	硒 Se	锶 Sr	钼 Mo	钡 Ba	硫 S	磷 P
QHHBHQHHB	0.003 ± 0.000 ^a	0.631 ± 0.041 ^b	7.172 ± 1.403 ^{bc}	28.622 ± 1.943 ^b	0.013 ± 0.00 ^a	2.004 ± 0.150 ^b	0.169 ± 0.014 ^{ab}	0.185 ± 0.018 ^a	2 890.348 ± 4 149.959 ± 243.276 ^b 218.387 ^c	
QHHHQHHH	0.004 ± 0.000 ^a	0.481 ± 0.033 ^a	4.733 ± 0.318 ^a	27.848 ± 2.222 ^b	0.038 ± 0.002 ^d	3.769 ± 0.166 ^d	0.157 ± 0.012 ^a	0.132 ± 0.009 ^a	2 842.046 ± 4 840.861 ± 181.147 ^b 348.068 ^c	
LFB	0.004 ± 0.000 ^a	0.382 ± 0.027 ^a	6.460 ± 0.176 ^b	19.409 ± 1.329 ^a	0.069 ± 0.002 ^f	1.554 ± 0.118 ^{ab}	0.119 ± 0.010 ^a	0.476 ± 0.026 ^d	2 752.227 ± 2 333.241 ± 146.359 ^b 159.450 ^b	
HHB	0.008 ± 0.000 ^b	0.407 ± 0.030 ^a	6.076 ± 0.182 ^b	25.015 ± 1.485 ^b	0.017 ± 0.001 ^b	0.923 ± 0.069 ^a	0.322 ± 0.027 ^c	0.222 ± 0.009 ^b	3 082.557 ± 3 092.055 ± 208.420 ^b 187.765 ^b	
BLB	0.005 ± 0.000 ^a	0.353 ± 0.022 ^a	7.128 ± 0.482 ^{bc}	20.900 ± 1.666 ^a	0.037 ± 0.003 ^d	2.630 ± 0.224 ^{bc}	0.238 ± 0.021 ^{bc}	0.329 ± 0.010 ^c	4 430.108 ± 2 961.266 ± 267.399 ^d 238.459 ^b	
MGH	0.004 ± 0.000 ^a	0.721 ± 0.045 ^b	7.018 ± 0.509 ^b	21.086 ± 2.086 ^a	0.050 ± 0.003 ^e	0.973 ± 0.078 ^a	0.152 ± 0.009 ^a	0.365 ± 0.015 ^c	1 754.400 ± 2 202.358 ± 147.654 ^a 122.431 ^b	
BLHBH	0.008 ± 0.000 ^b	1.083 ± 0.054 ^c	8.114 ± 0.488 ^c	28.077 ± 1.690 ^b	0.024 ± 0.002 ^c	3.520 ± 0.161 ^d	0.124 ± 0.008 ^a	0.130 ± 0.008 ^a	1 310.267 ± 1 259.460 ± 127.202 ^a 120.228 ^a	

注:样品代号“QHH、GHHB、QHB、QHHB、QHHH、LFB、HBB、BLB、MGH、BLHBH”依次代表青海海西州(红色)、青海海西州(红白双色)、青海海西州(白色)、青海海西州(红白黑三色)、青海海西州(黑色)、辽宁阜新(白色)、黑龙江哈尔滨(白色)、秘鲁普诺(白色)、美国奥林匹亚(红色)、秘鲁普诺(红白黑三色);同列上标不同小写字母表示不同产地、不同颜色藜麦的矿物质元素含量之间差异显著, $P < 0.05$;同列上标相同小写字母表示不同产地、不同颜色藜麦的矿物质元素含量之间差异不显著, $P > 0.05$ 。

Note: The sample code "QHH, GHHB, QHB, QHHB, QHHH, LFB, HBB, BLB, MGH, BLHBH" in turn represent Qinghai Haixi Prefecture (Red), Qinghai Haixi Prefecture (Double colors of red and white), Qinghai Haixi Prefecture (White), Qinghai Haixi Prefecture (Three colors of red, white and black), Qinghai Haixi Prefecture (Black), Fuxin, Liaoning (White), Harbin, Heilongjiang (White), Peru puno (White), Olympia, The United States (Red), Peru puno (Three colors of red, white and black); Different capital letters in the same column of superscripts indicate a statistically significant difference compared between the contents of the mineral elements in the CQW samples from different regions and different colors ($P < 0.05$); The same capital letters in the same column of superscripts indicate that there was no significant difference compared between the contents of the mineral elements in the CQW samples from different regions and different colors ($P > 0.05$).

2.3 青海海西州各地区藜麦中矿物质元素主成分分析与综合评价

在主成分分析中以 20 种矿物质元素为评判指标,以特征值 $\lambda > 1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数,前 5 个主成分累积方差贡献率达到 95.446%,能有效地解释青海海西州各地区藜麦中矿物质元素的总变异。因此提取特征值 $\lambda > 1$ 的前 5 个主成分代替上述 20 种矿物质元素对青海海西州各地区藜麦中矿物质元素进行评价与判断。根据主成分综合评价模型计算出青海海西州各地区藜麦中矿物质元素的综合得分,见表 5。结果显示,主要反映第 1 主成分中排名前两位的藜麦分别来自海西

州格尔木市大格勒乡和海西州格尔木市乌图美仁乡;主要反映第 2 主成分中排名前两位的藜麦分别来自海西州格尔木市乌图美仁乡和德令哈市柯鲁柯镇莲湖村;主要反映第 3 主成分中排名前两位的藜麦分别来自海西州格尔木市大格勒乡和德令哈市柯鲁柯镇莲湖村;主要反映第 4 主成分中排名前两位的藜麦分别来自海西州格尔木市大格勒乡和海西州乌兰县柯柯镇;主要反映第 5 主成分中排名前两位的藜麦分别来自德令哈市柯鲁柯镇安康村和海西州格尔木市大格勒乡。综合评价总排名前两位的藜麦分别来自海西州格尔木市大格勒乡和海西州格尔木市乌图美仁乡。

表 5 青海海西州各地区藜麦中矿物质元素综合评价结果

Table 5 Comprehensive evaluation results of mineral elements in CQW from Haixi Prefecture different regions of Qinghai

产地编号 Origin No.	Y_1	排名 Ranking	Y_2	排名 Ranking	Y_3	排名 Ranking	Y_4	排名 Ranking	Y_5	排名 Ranking	F	总排名 Total ranking
HX-1	-1.317	6	-1.495	5	0.818	3	-3.603	7	0.130	4	-1.136	7
HX-2	-2.294	7	-2.037	6	-0.258	5	1.378	2	1.185	3	-0.624	5
HX-3	-0.279	5	-2.156	7	-1.887	6	1.353	3	-1.927	6	-0.977	6
HX-4	1.703	1	-0.797	4	3.061	1	1.510	1	1.448	2	1.308	1
HX-5	1.550	2	0.324	1	-0.200	4	-1.032	6	-1.055	5	0.058	2
HX-6	1.084	3	-0.709	3	-2.442	7	-0.199	5	2.471	1	0.057	3
HX-7	0.569	4	-0.285	2	0.909	2	0.594	4	-2.251	7	-0.038	4

将第1和第2主成分得分的标准化值分别作为X轴和Y轴,在二维坐标系内得到主成分因子的样品分布图(见图1)。图中显示:代表青海海西州3个地区7个不同地点的16批藜麦样品被分为独立的2类,反映了16批青海海西州藜麦样品中的矿物质元素存在一定差异。将海西州格尔木市(平均海拔2 780 m)和德令哈市柯鲁柯镇安康村(平均海拔2 980 m)的藜麦样品归为I类,将海西州乌兰县(平均海拔4 000 m)的藜麦样品归为II类,结果显示其矿物质元素质量与当地海拔高度有相关性,海拔相对接近地区的藜麦中矿物质元素质量也比较相近。分析其原因是处于不同海拔地区的气候因素对藜麦中矿物质元素的影响至关重要。海拔不同,该地区的温度指数、光合辐射、紫外线、土壤因素等也不同,从而使得藜麦中的营养成分含量也发生不同程度的变化^[23]。据中国天气网青海气候与气候变化分析:(1)年平均气温:海西州格尔木市和德令哈市在4.0 °C左右,海西州乌兰县在3.4 °C左右。(2)年平均降水量:海西州格尔木市和德令哈市在150 mm左右,海西州乌兰县在190 mm左右。(3)年平均日照时长:海西州格尔木市和德令哈市年平均日照时长为2 950 h左右,海西州乌兰县年平均日照时长为2 870 h左右。虽然海西州格尔木市和德令哈市的年平均降雨量低于海西州乌兰县,但是二者的年平均气温相对较高,年平均日照时长相对较长,这两个因素成为海西州格尔木市和德令哈市地区藜麦中矿物质元素质量排名靠前且归属为同一类的关键气候因素。

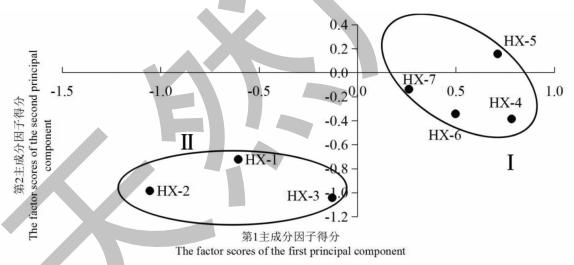


图1 青海海西州不同地区藜麦在第1、2主成分上的因子得分分布

Fig. 1 The factor scores distribution of CQW from Haixi Prefecture different regions of Qinghai at the first principal component and the second principal component

2.4 青海海西州地区与国内外其他产地的不同颜色藜麦中矿物质元素主成分分析与综合评价

在主成分分析中以20种矿物质元素为评判指

标,以特征值 $\lambda > 1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数,前7个主成分累积方差贡献率达到95.288%,能有效地解释青海海西州地区与国内外其他产地不同颜色的藜麦中矿物质元素的总变异。因此提取特征值 $\lambda > 1$ 的前7个主成分代替上述20种矿物质元素对青海海西州地区与国内外其他产地不同颜色的藜麦中矿物质元素进行评价与判断。根据主成分综合评价模型计算出青海海西州地区与国内外其他产地不同颜色的藜麦中矿物质元素的综合得分,见表6。结果显示,主要反映第1主成分中排名前两位的藜麦分别为青海海西州和秘鲁普诺的红白黑三色藜麦;主要反映第2、6主成分中排名前两位的藜麦为秘鲁普诺的白色和红白黑三色藜麦;主要反映第3主成分中排名前两位的藜麦分别为辽宁阜新的白色藜麦和青海海西州的红白黑三色藜麦;主要反映第4主成分中排名前两位的藜麦分别为辽宁阜新的白色藜麦和美国奥林匹亚的红色藜麦;主要反映第5主成分中排名前两位的藜麦分别为青海海西州的红白双色藜麦和秘鲁普诺的红白黑三色藜麦;主要反映第7主成分中排名前两位的藜麦分别为青海海西州的白色藜麦和黑龙江哈尔滨的白色藜麦。综合评价总排名前三位的藜麦分别为青海海西州的红白双色藜麦、青海海西州的白色藜麦和秘鲁普诺的红白黑三色藜麦。

将第1和第2主成分得分的标准化值分别作为X轴和Y轴,在二维坐标系内得到主成分因子的样品分布图,见图2。图中显示:代表青海海西州与国内外共5个产地的5种不同颜色的21批藜麦样品被分为独立的5类,反映了21批不同产地、不同颜色藜麦样品中的矿物质元素存在一定差异。将辽宁阜新(平均海拔146 m)和黑龙江哈尔滨(平均海拔450 m)产白色藜麦归为I类,将青海海西州(平均海拔3 200 m)和美国奥林匹亚(平均海拔2 920 m)产红色藜麦归为II类,将青海海西州产白色和红白双色2种颜色的藜麦归为III类,将青海海西州(平均海拔3 200 m)和秘鲁普诺(平均海拔3 800 m)产红白黑三色藜麦和青海海西州产黑色藜麦归为IV类,将秘鲁普诺(平均海拔3 800 m)产白色藜麦单独归为V类。同理其矿物质元素质量除了可能与当地海拔高度的相关性与各产地不同海拔的气候因素(主要包括气温、降水量和日照时长等)密切相关外,还可能与引种的藜麦品系、培育和遗传改良、生长环境、生态适应性有关。(1)将辽宁阜新和黑龙

表 6 青海海西州地区与国内外其他产地不同颜色的藜麦中矿物质元素综合评价结果

Table 6 Comprehensive evaluation results of mineral elements in CQW from Haixi Prefecture different regions of Qinghai and other domestic and foreign producing areas

样品代号 Sample code	Y_1	排名 Ranking	Y_2	排名 Ranking	Y_3	排名 Ranking	Y_4	排名 Ranking	Y_5	排名 Ranking	Y_6	排名 Ranking	Y_7	排名 Ranking	F	总排名 Total ranking
QHH	-0.33	7	-1.85	10	-0.66	6	0.37	4	0.36	4	-2.83	10	-0.10	5	-0.73	9
QHHB	1.20	5	-0.17	7	0.81	4	1.46	3	3.12	1	0.16	6	-0.12	6	0.98	1
QHB	1.39	4	0.55	5	0.56	5	0.22	6	0.26	5	-0.05	7	3.04	1	0.74	2
QHHBH	2.97	1	1.61	3	1.56	2	-1.15	8	-1.77	9	0.47	5	-0.90	9	0.64	4
QHHH	2.02	3	1.22	4	-1.74	8	0.27	5	0.02	6	-1.95	9	-1.34	10	0.00	7
LFB	-2.29	8	-0.15	6	3.12	1	2.10	1	-0.54	7	0.59	4	-0.90	8	0.27	5
HHB	-2.41	10	-0.22	8	1.07	3	-2.99	10	-0.79	8	-1.20	9	0.55	2	-1.00	10
BLB	-2.36	9	3.21	1	-1.93	9	-0.19	7	0.84	3	1.33	2	0.01	4	0.03	6
MGH	-0.09	6	-1.52	9	-2.04	10	2.05	2	-2.64	10	1.14	3	0.45	3	-0.43	8
BLHBH	2.15	2	2.20	2	-0.76	7	-2.14	9	1.15	2	2.34	1	-0.69	7	0.73	3

江哈尔滨产白色藜麦归为Ⅰ类的关键气候因素是年平均降水量(辽宁阜新在 509 mm 左右、黑龙江哈尔滨在 529 mm 左右)和年平均日照时长(辽宁阜新在 1 700 h 左右、黑龙江哈尔滨在 1 600 h 左右),受年平均气温影响不大(辽宁阜新在 8.0 °C 左右,黑龙江哈尔滨在 4.5 °C 左右)。此外,可能还与均为东北地区引种相同品系的白色藜麦有关。(2)将青海海西州(平均海拔 3 200 m)和美国奥林匹亚(平均海拔 2 920 m)产红色藜麦归为Ⅱ类与气候因素无明显相关性(a. 年平均气温:海西州在 4.0 °C 左右,美国奥林匹亚在 10.0 °C 左右;b. 年平均降水量:海西州在 170 mm 左右,美国奥林匹亚在 1 000 mm 左右;c. 年平均日照时长:海西州在 2 900 h 左右,美国奥林匹亚在 1 500 h 左右)。分析可能与经过培育和遗传改良得到的增强型红色藜麦明显不同于其他颜色藜麦,如红色藜麦和白色藜麦除了颜色上有差别外,二者在口感上和营养价值方面均有差别。在口感方面红色藜麦要比白色藜麦更加脆一些,在营养方面红色藜麦的蛋白质、叶酸含量均比白色藜麦高,而白色藜麦大多数矿物质元素含量高于红色藜麦。(3)即使在青海海西州引种了不同培育品系和遗传改良得到的白色和红白双色 2 种不同颜色藜麦,但将两种藜麦归为Ⅲ类的关键因素可能与相同的生长环境以及生态适应性有关。白色和红白双色藜麦长期生活在相同海拔、相同气候因素的环境条件下,二者会形成相同的生活类型,它们的生理特性也会具有趋同适应性。(4)将青海海西州(平均海

拔 3 200 m)、秘鲁普诺(平均海拔 3 800 m)产红白黑三色藜麦和青海海西州产黑色藜麦归为Ⅳ类与气候因素无明显相关性(a. 年平均气温:海西州在 4.0 °C 左右,秘鲁普诺在 20.0 °C 左右;b. 年平均降水量:海西州在 170 mm 左右,秘鲁普诺在 600 mm 左右;c. 年平均日照时长:海西州在 2 900 h 左右,秘鲁普诺在 1 800 h 左右),分析原因其一是在青海海西州引种的黑色和红白黑三色 2 种藜麦的生长环境相同,可能形成了生理特性趋同的生态适应;原因其二是分别产于秘鲁普诺和海西州的红白黑三色藜麦均为经过培育和遗传改良得到的商业型混色藜麦,二者矿物质元素差异小可能是由于引种相同品系而受到不同生长环境的影响较小。(5)将秘鲁普诺(平均海拔 3 800 m)产白色藜麦单独归为Ⅴ类可能是由于与其他产地引种的藜麦品系、培育和遗传改良、生长环境、生态适应性差异较大造成。但也不能孤立地依据藜麦中的矿物质元素含量的高低来评价其综合质量,而应分析元素之间的相互作用,以及对食用植物次生代谢产物的影响,多方位来评价其综合质量。

3 结论

本研究对青海海西州 3 个地区 7 个不同地点、不同颜色的藜麦以及辽宁、黑龙江、秘鲁、美国不同颜色的藜麦进行多种矿物质元素成分分析、多重比较差异分析、主成分分析和综合评价。通过主成分因子得分图筛选出藜麦不同产地和不同颜色之间的归属分布情况,并评选出藜麦中矿物质元素质量相

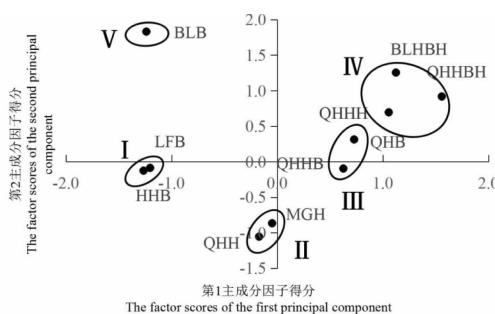


图 2 青海海西州地区与国内外其他产地不同颜色的藜麦在第 1、2 主成分上的因子得分分布

Fig. 2 The factor scores distribution of CQW from Haixi Prefecture different regions of Qinghai and other domestic and foreign producing areas at the first principal component and the second principal component

对更佳的产地。结果不同产地和不同颜色的藜麦均含有含有 6 种常量元素、6 种必需微量元素、7 种对人体有益可能需要的微量元素和 1 种非必需元素。平均含有的 Mg、Mn、Cu、P 均为每 100 g 藜麦中 ≥ 30% NRV, 属于富含多种矿物质元素的食品。平均含有的 Na < 5 mg/100 g, 属于不含钠食品。青海海西州不同地区的藜麦之间的 Na、B、Al、V、Ni、Se、Ba 元素存在显著性差异 ($P < 0.05$) , 青海海西州与国内外其他产地的不同颜色藜麦之间的 Na、B、Al、V、Se、Sr、Mo、Ba 元素存在显著性差异 ($P < 0.05$) 。主成分分析结果显示: 青海海西州 3 个地区 7 个不同地点的藜麦主要分为 2 类, 其矿物质元素质量与当地海拔高度有相关性。青海海西州与国内外其他产地的不同颜色藜麦主要分为 5 类, 其矿物质元素质量除了与当地海拔高度有关外, 可能还与引种的藜麦品系、培育和遗传改良、生长环境、生态适应性有关。综合评价分别来自青海海西州的格尔木市大格勒乡和格尔木市乌图美仁乡的藜麦中矿物质元素质量相对更佳, 与国内外其他产地的不同颜色藜麦相比, 来自青海海西州的白色和红白双色藜麦、秘鲁普诺的红白黑三色藜麦中矿物质元素质量相对更佳。本研究旨在为说明适宜引种并能够收获品质较优良藜麦的地区, 同时也为青海高原藜麦的质量控制、资源的开发利用与加工提供数据支撑。

参考文献

- Xu TC, He GQ, Li ZG, et al. Nutritional components in *Chenopodium quinoa* at different elevations [J]. Chin Agr Sci Bull (中国农业通报), 2017, 33: 129-133.

- Shi ZX. Quality analysis of domestic and foreign quinoa assessments and the anti-obesity activity research [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation (中国农业科学院), 2016.
- Repo-Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen SE. Nutritional value and use of the andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) [J]. Food Rev Int, 2003, 19: 179-189.
- Sun YX, Chi WJ. Analysis on the promotion prospect of quinoa [J]. J Green Sci Technol (绿色科技), 2017 (7): 197-198.
- FAO. Quinoa: an ancient crop to contribute to world food security [D]. Italy: Food and Agriculture Organization, 2011.
- Jisang DJ, Lin CB, Jie B. Based on the nutritional components of different quinoa resources in Tibet Province [J]. Tibet's Sci Technol (西藏科技), 2019 (7): 10-12.
- Deng JL, Xia C, Zhang YJ, et al. Nutrition composition analysis on quinoa cultivated in Lasa [J]. Food Nutr China (中国食物与营养), 2017, 23: 55-58.
- Shen RL, Zhang WJ, Dong JL, et al. Nutritional components, health-promoting effects of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and its application in the food industry [J]. J Chin Cereals Oils Assoc (中国粮油学报), 2016, 31: 150-155.
- Deng WC, Wang N, Fu ZG, et al. Determination of trace elements in quinoa by microwave digestion and ICP-OES [J]. Guangzhou Chem Ind (广州化工), 2016, 44: 146-148.
- Shi Y, Zhang QW, Dong LJ. Analysis and promotion of nutritional value of quinoa planted in different areas of Shaanxi [J]. J Salt Sci Chem Ind (盐科学与化工), 2020, 49: 29-32.
- Shen RL, Zhang WJ, Dong JL, et al. Determination of main nutritional component, mineral element and phytochemical in *Chenopodium quinoa* Willd [J]. J Zhengzhou Univ Light Ind: Nat Sci (郑州轻工业学院学报: 自科版), 2015, 30: 17-21.
- Zhao DQ, Kai JR, Lu J, et al. Analysis of main nutritional components and mineral element contents of different varieties of quinoa in different producing areas of Ningxia [J]. Cereals Oils (粮食与油脂), 2019, 32: 62-65.
- Chen ZJ, Liao CS. A comparative study of 7 different varieties of *Chenopodium quinoa* [J]. Sci Technol Food Ind (食品工业科技), 2020, 41 (23): 266-271.
- Wei YL. Effects of different processing conditions on texture characteristics of Qinghai quinoa complex yoghurt [J]. Farm Prod Process (农产品加工), 2019 (12): 28-31.
- Zhang WG, Zhang J, Dang B, et al. Optimization on fermentation conditions and the antioxidant characteristics of Chinese quinoa rice wine [J]. Food Mach (食品与机械), 2019, 35: 174-178.

(下转第 136 页)