

青海不同产地蕨麻营养成分分析及品质评价

谭亮¹, 李军乔^{*2}, 李玉林¹, 王环¹, 杲秀珍¹,
赵静¹, 马家麟¹, 冀恬¹, 王虹蕾¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所/青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室, 青海 西宁 810001; 2. 青海民族大学 生态环境与资源学院/青海省特色经济植物高值化利用重点实验室, 青海 西宁 810007)

摘要: 以青海 7 个不同产地的蕨麻为研究对象, 对其营养成分进行差异比较、主成分分析和品质综合评价, 为以青海蕨麻为食品原料或辅料的产品开发和利用提供依据。采用 SPSS 19.0 分别对青海 7 个不同产地蕨麻的营养成分进行主成分分析和多重比较分析, 并对蕨麻品质贡献大的指标性营养成分进行综合评价。此外, 还对青海蕨麻与其他食品的关键营养成分进行差异比较分析。结果表明, 各样品间指标性营养成分存在差异, 但具有高蛋白质、高膳食纤维、低脂肪、极低钠、丰富的氨基酸和脂肪酸种类、多种矿物质的特点。与其他食品营养成分比较分析发现青海蕨麻中膳食纤维、维生素 B₂、维生素 C、Ca、K、Na 质量分数高, 脂肪、淀粉质量分数低, 能量低。综合评价总排名前三位的蕨麻分别来自玉树州囊谦县、海南州贵南县和西宁市湟源县。研究发现不同青海产地蕨麻的营养成分质量分数的差异与当地海拔高度有一定相关性, 并与不同海拔对应的气候因素密切相关, 同时还可能与蕨麻品种、培育和遗传改良、生态适应性有关。本研究表明青海蕨麻具有良好的营养价值和开发前景, 可为其质量控制提供依据。

关键词: 蕨麻; 青海不同产地; 营养成分分析; 品质综合评价

中图分类号: TS 201.4 文章编号: 1673-1689(2022)01-0095-17 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.01.012

Analysis of Nutritional Compositions and Evaluation of Quality in *Potentilla anserina* L. from Qinghai Different Producing Areas

TAN Liang¹, LI Junqiao^{*2}, LI Yulin¹, WANG Huan¹, GAO Xiuzhen¹,
ZHAO Jing¹, MA Jialin¹, JI Tian¹, WANG Honglei¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology / Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resource, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2. The College of Ecological Environment and Resources/Qinghai Provincial Key Laboratory of High-Value Utilization of Characteristic Economic Plants, Qinghai Minzu University, Xining 810007, China)

Abstract: The samples of *Potentilla anserina* L. from seven different producing areas in Qinghai were used to study the differences, principal component analysis and quality comprehensive

收稿日期: 2021-03-28

基金项目: 青海省中央引导地方科技发展资金项目(2021ZY027); 青海省自然科学基金面上项目(2021-NK-911); 青海省重点实验室发展建设专项(2021-ZJ-Y14)。

作者简介: 谭亮(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事中藏药及食品的成分分析、质量标准及提取工艺研究。

E-mail: tanliang@nwipb.cas.cn

* 通信作者: 李军乔(1968—), 女, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事生物资源开发利用研究。E-mail: ljqlily2002@sina.com

evaluation of nutritional components, providing a basis for the development and utilization of Qinghai *Potentilla anserina* L. as food raw material or product excipients. SPSS 19.0 was used to conduct principal component analysis and multiple comparative analysis of nutrients of *Potentilla anserina* L. from seven different producing areas in Qinghai, and the index components contributing greatly to the quality of *Potentilla anserina* L. were comprehensively evaluated. In addition, the differences of key nutrients between *Potentilla anserina* L. from Qinghai and other foods were compared and analyzed. The results showed that there were differences in the index nutrients among the samples, but with the characteristics of 'high protein, high dietary fiber, low fat, very low sodium, rich in amino acids and fatty acids, rich in nutrition and various mineral elements'. Compared with nutrients in other foods, it was found that the contents of dietary fiber, vitamin B₂, vitamin C, Ca, K and Na in *Potentilla anserina* L. were high, while the contents of fat, starch and energy were low. The top three *Potentilla anserina* L. were from Nangqian county in Yushu tibetan autonomous prefecture, Guinan county in Hainan tibetan autonomous prefecture and Huangyuan county in Xining city. It was found that the differences of nutrient mass fraction in *Potentilla anserina* L. from varied producing areas in Qinghai were related to the local altitude, and was closely related to the climatic factors corresponding to different altitudes. It might also be related to the varieties, breeding, genetic improvement and ecological adaptability. This study indicated that *Potentilla anserina* L. from Qinghai had favorable nutritional value and development prospect, which could provide a basis for its quality control.

Keywords: *Potentilla anserina* L., different producing areas in Qinghai, analysis of nutritional compositions, comprehensive evaluation of quality

蕨麻是鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina* L.) 的变种, 属蔷薇科 (Rosaceae) 委陵菜属 (*Potentilla*)^[1], 主要分布于青藏高原, 是高寒草甸的优势种和建群种, 是一种具有匍匐茎型莲座状的多年生草本植物^[2]。蕨麻主要分布在青海省、西藏自治区、甘肃省 (甘南州)、四川省 (阿坝州和甘孜州地区), 其中青海省分布广、种质资源丰富、产量高、品质佳、种植面积大, 青海省也是我国唯一系统研究蕨麻的省份^[3]。蕨麻只在青海等高寒地区根系才会膨大, 可食用, 又称“人参果”“延寿果”, 是青海、西藏及甘肃一带人民历来喜爱的民间食品及藏药的主要成分。蕨麻富含淀粉、蛋白质、膳食纤维、氨基酸、维生素、矿物质、皂苷、多糖等多种营养和活性成分^[4], 具有滋补、口感佳特性, 是青海省最具特色的优势植物资源之一, 也是藏族居住区一种带有强烈民族意味的民俗礼品。

目前, 有关蕨麻的研究主要有作为藏药的本草考证与商品特征研究、民族植物学研究、生态适应性及栽培技术研究、草地资源及其保护利用研究、

自然资源状况的初步研究、品种 SSR 指纹图谱的构建及遗传相似性分析研究、生物学特性及应用研究等^[5-11]。在关于蕨麻营养成分的研究中^[12-17], 其研究材料为市售, 产地不详, 或者仅来自青海省内一个产地蕨麻中部分营养成分的分析, 系统性分析不够; 也有对青海蕨麻不同采收季节、不同形状块根的化学成分研究^[18-19], 但鲜见有对青海不同产地蕨麻之间营养成分的多重比较分析、主成分分析筛选、关键品质评价的报道。

青海省具有独特的地理位置及良好的生态环境, 拥有丰富的野生蕨麻资源, 是蕨麻地道的原产地。青海省亦是我国唯一的野生蕨麻资源人工种植驯化主产区, 目前蕨麻种植已成为青海省脱贫攻坚支柱性农产品加工产业。为此, 本文中以青海 7 个不同产地的蕨麻为研究对象, 每个产地按主要产蕨麻的地点进行采集, 在其营养成分分析和单因素方差差异比较分析的基础上先通过主成分分析从 55 种营养成分中筛选出对蕨麻品质贡献大的 22 种指标性营养成分, 然后利用这些筛选出的指标性营养

成分进行蕨麻品质综合评价,通过主成分因子得分标准化值分布图得出青海不同产地蕨麻的归属分布情况。此外,还对青海蕨麻与其他食品的关键营养成分进行差异比较分析。本研究表明人工种植的蕨麻同样可具有高品质,这为青海省蕨麻质量控制、开发利用与加工提供了数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验方法

1.1.1 蕨麻样品前处理 分别采自青海省7个不同产地21个采样地点的蕨麻,用纯净水洗净,置阴凉通风处阴干。临用前粉碎,过100目筛,装入密封

袋中密封,置干燥器中避光保存备用(具体样品信息见表1)。

1.1.2 常规营养成分的测定方法 水分测定参照《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3—2016)中“第一法 直接干燥法”,灰分测定参照《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》(GB 5009.4—2016)中“第一法 食品中总灰分的测定”,蛋白质测定参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2016)中“第一法 凯氏定氮法”,脂肪测定参照《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB 5009.6—2016)中“第一法 索氏抽提法”,粗纤维测定参照《植物类食品中粗纤维的测

表1 采自青海不同产地的蕨麻样品

Table 1 Samples of *Potentilla anserina* L. collected from Qinghai different producing areas

产地代号	产地	平均海拔/m	采样地点	地点代号	地理坐标	收集时间
1	海南藏族自治州泽库县	3 960	宁秀乡	NX1	35°12'21.10"N 100°51'11.86"E	20200521
			泽曲镇	ZQ1	35°12'21.10"N 100°51'11.86"E	
			王家乡	WJ1	35°23'23.57"N 100°57'17.29"E	
2	果洛藏族自治州达日县	4 300	满掌乡	MZ2	33°15'19.12"N 100°16'35.69"E	
			吉迈镇	JM2	33°15'19.12"N 100°16'35.69"E	
			德昂乡	DA2	33°25'18.85"N 100°07'10.64"E	
3	玉树藏族自治州囊谦县	3 700	娘拉乡	NL3	32°04'50.75"N 96°50'50.27"E	20200519
			香达镇	XD3	32°04'50.75"N 96°50'50.27"E	
			白扎乡	BA3	31°55'58.99"N 96°36'5.85"E	
4	海南藏族自治州贵南县	2 800	沙沟乡	SG4	35°53'9.28"N 100°51'48.14"E	20200523
			塔秀乡	TX4	35°35'58.92"N 100°26'43.23"E	
			过马营镇	GM4	35°48'48.90"N 101°06'51.08"E	
5	海西蒙古族藏族自治州都兰县	2 800	香日德镇	XR5	36°02'54"N 100°08'43.84"E	20200517
			夏日哈镇	XRH5	36°25'27.24"N 98°09'2.17"E	
			宗加镇	ZJ5	36°26'4.38"N 96°27'23.80"E	
6	海北藏族自治州门源回族自治县	2 950	北山乡	BS6	37°25'4.44"N 101°37'6.79"E	20200515
			青石嘴镇	QS6	37°27'59.66"N 101°25'6.31"E	
			浩门镇	HM6	37°22'34.44"N 101°37'25.63"E	
7	西宁市湟源县	3 050	日月藏族乡兔尔干村	TR7	36°31'9.34"N 101°09'9.21"E	
			日月藏族乡牧场村	MC7	36°31'9.34"N 101°09'9.21"E	
			巴燕乡	BY7	36°46'2.43"N 101°08'4.44"E	

定》(GB/T 5009.10—2003),膳食纤维测定参照《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》(GB 5009.88—2014),碳水化合物测定参照运用《食品营养成分基本术语》(GB/Z 21922—2008)中“2.2.8”进行计算。

1.1.3 生物活性成分的测定方法 总皂苷测定参照《保健食品理化及卫生指标检验与评价技术指导原则》(2020年版)中“十四、保健食品中总皂苷的测定”,单宁测定参照《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定 分光光度法》(NY/T 1600—2008),总黄酮测定参照《植物源性食品中总黄酮的测定》(DB43/T 476—2009),总多酚测定参照《植物提取物及其制品中总多酚含量的测定 分光光度法》(T/AHFIA 005—2018),淀粉测定参照《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》(GB 5009.9—2016)中“第二法 酸水解法”,总糖测定参照《枸杞》(GB/T 18672—2014)中附录 B,多糖测定参照《枸杞》(GB/T 18672—2014)中附录 A,维生素 B₁ 测定参照《食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定》(GB 5009.84—2016)中“第一法 高效液相色谱法”,维生素 B₂ 测定参照《食品安全国家标准 食品中维生素 B₂ 的测定》(GB 5009.85—2016)中“第一法 高效液相色谱法”,维生素 C 测定参照《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》(GB 5009.86—2016)中“第一法 高效液相色谱法”, α -维生素 E 测定参照《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》(GB 5009.82—2016)中“第一法 食品中维生素 A 和维生素 E 的测定 反相高效液相色谱法”。

1.1.4 氨基酸及其组分的测定方法 参照《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124—2016)中方法测定。

1.1.5 脂肪酸及其组分的测定方法 参照《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》(GB 5009.168—2016)中“第二法 外标法”,试样前处理采用水解-提取法。

1.1.6 矿物质元素的测定方法 锆测定参照《食品中锆的测定》(GB/T 5009.151—2003)中“第一法 原子荧光光谱法”,硒测定参照《食品安全国家标准 食品中硒的测定》(GB 5009.93—2017)中“第一法 氢化物原子荧光光谱法”,其余矿物质元素测定参照《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》(GB 5009.268—2016)中“第二法 电感耦合等离子体发

射光谱法”,样品消解采用微波消解法。

1.2 实验材料

1.2.1 实验仪器 KjeltecTM 8400 全自动凯氏定氮仪;丹麦 FOSS 公司产品;SZC-C 脂肪测定仪、SLQ-201 粗纤维测定仪、DF-602 膳食纤维测定仪;上海纤检仪器有限公司产品;Cary 300Bio 紫外-可见分光光度仪;美国瓦里安公司产品;Agilent 1260 高效液相色谱仪、Agilent 7890A 气相色谱仪、Agilent 725 电感耦合等离子体发射光谱仪;美国安捷伦科技公司产品;CEM MARS-6 微波消解系统;上海沃珑仪器有限公司产品;Waters 1525 高效液相色谱仪;美国沃特世公司产品;S-433D 全自动氨基酸分析仪;德国塞卡姆公司产品;AFS-933 原子荧光光谱仪;北京吉天仪器有限公司产品。

1.2.2 实验标准品 没食子酸标准品(批号:110831-201906)、芦丁标准品(批号:100080-201811)、人参皂苷 Re 标准品(批号:110754-202028)、维生素 B₁ 标准品(批号:100390-201806)、维生素 B₂ 标准品(批号:100369-201905)、维生素 C 钠标准品(批号:100296-201605)、*dl*- α -生育酚(批号:190168-201601)、*D*-无水葡萄糖标准品(批号:110833-201908);购于中国食品药品检定研究院;18 种氨基酸混标(货号:AAS18-5 mL)、37 种脂肪酸甲酯混标(货号:CRM47885);购于西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;各单元素标准溶液(100~1 000 μ g/mL);购于中国计量科学研究院。

1.2.3 实验质控样品 小麦粉中水分质控样品(样品编号:QC-CP-007)、小麦粉中灰分质控样品(样品编号:QC-CP-008)、小麦粉中蛋白质质控样品(样品编号:QC-CP-009)、大豆粉中脂肪质控样品(样品编号:QC-CP-003)、食品中粗纤维质控样品(样品编号:QC-FE-028)、饼干中总膳食纤维质控样品(样品编号:QC-BF-007)、苹果汁中总糖质控样品(样品编号:QC-FJ-009)、奶粉中铜质控样品(样品编号:QC-MK-035)、奶粉中钙质控样品(样品编号:QC-MK-043)、奶粉中铁质控样品(样品编号:QC-MK-045)、奶粉中锌质控样品(样品编号:QC-MK-046)、奶粉中硒质控样品(样品编号:QC-MK-048);购于大连中食国实检测技术有限公司;食用油中单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸质控样品(样品编号:QC-CO-708)、婴儿配方乳粉中总脂肪酸质控样品(样品编号:QC-IP-722)、婴儿配方奶粉

中钾、钠、镁质控样品(样品编号:QC-IP-724):购于中国检科院测试评价中心;小麦粉中淀粉质控样品(样品编号:GZKT-QC-020):购自广州康坦生物技术有限公司。

1.2.4 实验试剂 氢氧化钠、氨水、焦性没食子酸、无水乙醚、石油醚(沸程 30~60 °C)、无水乙醇、辛烷磺酸钠、四丁基氯化铵、三氟化硼甲醇、硼氢化钾、抗坏血酸、乙酸镁、硼酸、甲基红指示剂、溴甲酚氯指示剂、亚甲基蓝指示剂、甲基叔丁基醚、三氯甲烷(分析纯):购于天津百世化工有限公司;苯酚(分析纯):购于天津市光复精细化工研究所;盐酸、浓硫酸(分析纯):购于甘肃白银瑞斯物资贸易有限公司;正庚烷、乙腈、甲醇(色谱纯):购于山东禹王实业有限公司化工分公司;硝酸、氢氟酸、过氧化氢(优级纯):购于苏州晶瑞化学股份有限公司;实验用水为去离子水。

1.3 数据统计分析

测定结果以同一产地不同采样地点的蕨麻样品分别测定后的均值±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,并依据《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》(GB 28050—2011)中附录 C 能量和营养成分含量声称的要求、条件和同义语进行分析^[20]。首先采用单因素方差分析对青海不同产地蕨麻之间营养成分的质量分数差异进行多重比较,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,并用 *t* 检验进行各组均值间的配对比较,差异显著性水平为 $P<0.05$ 。然后通过主成分分析从所有营养成分数据中筛选出对蕨麻品质贡献大的指标性营养成分,然后利用这些筛选出的指标性营养成分作为评判指标进行蕨麻品质综合评价,以特征值 $\lambda>1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数,以达到较高的主成分累积方差贡献率,从而能有效地解释青海不同产地蕨麻中指标性营养成分的总变异。最后将前 2 个主成分因子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蕨麻样品的主成分因子得分标准化值分布图,得出青海不同产地蕨麻的归属分布情况。

2 结果与分析

2.1 青海不同产地蕨麻中常规营养成分分析

由表 2 可知,青海不同产地蕨麻中水分质量分数为 6.86~7.56 g/hg,灰分质量分数为 2.88~3.25 g/hg,蛋白质质量分数为 9.49~12.50 g/hg(其中海南州贵南县和海北州门源县蕨麻的蛋白质质量分数又可换算为营养成分质量分数(NRV),分别为 20.83%和 20.03%,两者均大于 20.00%,表明为高蛋白质食品^[20]),脂肪质量分数为 1.16~1.66 g/hg(<3.00 g/hg(以样品质量计),属于低脂肪食品),粗纤维质量分数为 1.85~2.36 g/hg,膳食纤维质量分数为 10.5~16.2 g/hg(>6.00 g/hg(以样品质量计),属于高膳食纤维食品),碳水化合物质量分数为 62.8~68.2 g/hg。

表 2 青海不同产地蕨麻中常规营养成分质量分数($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 2 Mass fractions of routine nutritional components in *Potentilla anserina* L. samples collected from different producing areas in Qinghai($\bar{x}\pm s, n=3$)

单位:g/hg

产地代号	质量分数						
	水分	灰分	蛋白质	脂肪	粗纤维	膳食纤维	碳水化合物
1	7.12±0.55 ^a	3.18±0.15 ^b	9.49±0.50 ^a	1.38±0.12 ^a	1.94±0.15 ^a	12.3±1.0 ^a	67.4±3.3 ^{ab}
2	6.86±0.39 ^a	3.00±0.22 ^{ab}	9.78±0.77 ^a	1.66±0.12 ^b	2.36±0.10 ^b	10.5±1.0 ^a	68.2±4.9 ^b
3	7.56±0.40 ^a	3.25±0.30 ^b	10.51±0.95 ^a	1.25±0.10 ^a	1.92±0.12 ^a	16.2±1.5 ^b	62.8±4.0 ^a
4	7.48±0.62 ^a	3.00±0.21 ^{ab}	12.50±1.14 ^a	1.21±0.09 ^a	1.85±0.13 ^a	12.6±1.2 ^a	64.0±5.3 ^{ab}
5	7.45±0.28 ^a	3.15±0.17 ^b	11.03±0.88 ^a	1.18±0.09 ^a	2.02±0.17 ^{ab}	10.8±0.9 ^a	67.6±6.0 ^b
6	7.50±0.36 ^a	3.03±0.25 ^{ab}	12.02±1.02 ^a	1.16±0.12 ^a	1.95±0.17 ^a	11.4±1.2 ^a	66.8±5.5 ^b
7	7.47±0.51 ^a	2.88±0.19 ^a	10.72±1.01 ^a	1.41±0.11 ^{ab}	2.21±0.15 ^{ab}	11.3±1.0 ^a	66.6±4.5 ^{ab}

注:同列上标不同小写字母表示青海不同产地蕨麻营养成分之间差异显著, $P<0.05$;同列上标相同小写字母表示青海不同产地蕨麻营养成分之间差异不显著, $P>0.05$ 。同下表 3~7。

通过单因素方差分析对青海不同产地蕨麻之间常规营养成分的质量分数差异进行多重比较,结果表明:果洛州达日县的蕨麻中脂肪、粗纤维和碳水化合物质量分数最高,玉树州囊谦县的蕨麻中水分、灰分和膳食纤维质量分数最高,海南州贵南县的蕨麻中蛋白质质量分数最高;各产地之间水分、蛋白质、脂肪、碳水化合物和膳食纤维质量分数差异不显著($P>0.05$),而灰分和粗纤维质量分数差异显著($P<0.05$)。

在主成分分析中以上述7个常规营养成分为评判指标,以特征值 $\lambda>1$ 的方差贡献率确定最优的主成分,结果前2个主成分累积方差贡献率达到82.496%,能有效地解释蕨麻中常规营养成分的总变异。通过主成分在常规营养成分上旋转后的因子载荷矩阵得知:在第1主成分中,水分、蛋白质、脂

肪具有较大的载荷系数值;在第2主成分中,灰分和膳食纤维具有较大的载荷系数值。由以上结果确定水分、蛋白质、脂肪、灰分和膳食纤维这5个成分可作为对蕨麻品质分析贡献大的指标性营养成分。

2.2 青海不同产地蕨麻中生物活性成分分析

由表3~4可知,青海不同产地蕨麻中总皂苷质量分数为2.01~2.95 g/hg,单宁质量分数为1.25~2.91 mg/hg,总黄酮质量分数为0.71~3.06 g/hg,总多酚质量分数为1.10~2.60 g/hg,淀粉质量分数为41.3~46.8 g/hg,总糖质量分数为32.9~38.3 g/hg,多糖质量分数为3.22~11.98 g/hg,维生素B₁质量分数为0.110~0.376 mg/hg,维生素B₂质量分数为0.076~0.548 mg/hg,维生素C质量分数为1.66~12.08 mg/hg, α -维生素E质量分数为1.13~3.25 mg/hg。

表3 青海不同产地蕨麻中生物活性成分质量分数($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 3 Mass fractions of bioactive components in *Potentilla anserina* L. samples collected from different producing areas in Qinghai ($\bar{x}\pm s, n=3$)

产地代号	质量分数						
	总皂苷/(g/hg)	单宁/(mg/hg)	总黄酮/(g/hg)	总多酚/(g/hg)	淀粉/(g/hg)	总糖/(g/hg)	多糖/(g/hg)
1	2.48±1.5 ^{ab}	1.99±0.21 ^b	1.76±0.15 ^b	2.10±0.21 ^{cd}	42.6±2.8 ^{ab}	38.3±3.0 ^b	9.78±0.77 ^{bc}
2	2.01±1.2 ^a	1.25±0.10 ^a	0.71±0.06 ^a	1.10±0.12 ^a	44.7±3.3 ^{abc}	33.9±3.1 ^{ab}	3.22±0.29 ^a
3	2.31±1.8 ^{ab}	1.58±0.12 ^{ab}	1.06±0.10 ^{ab}	1.55±0.13 ^{abc}	41.3±4.0 ^a	34.0±2.5 ^{ab}	8.05±0.65 ^{bc}
4	2.43±2.0 ^{ab}	2.78±0.20 ^c	3.06±0.17 ^c	2.60±0.10 ^d	45.1±3.5 ^{abc}	32.9±2.5 ^a	7.14±0.60 ^{ab}
5	2.73±2.0 ^{ab}	1.92±0.15 ^b	1.64±0.12 ^{ab}	1.74±0.10 ^{abc}	44.4±2.7 ^{abc}	36.4±3.2 ^{ab}	11.98±0.83 ^c
6	2.85±2.2 ^b	1.67±0.12 ^{ab}	1.19±0.12 ^{ab}	1.47±0.12 ^{ab}	45.2±2.5 ^{bc}	35.9±2.2 ^{ab}	11.16±0.75 ^c
7	2.95±2.5 ^{ab}	2.91±0.20 ^c	2.65±0.15 ^c	2.10±0.12 ^{cd}	46.8±3.6 ^c	33.9±2.7 ^{ab}	5.85±0.44 ^{ab}

表4 青海不同产地蕨麻中生物活性成分质量分数($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 4 Mass fractions of bioactive components in *Potentilla anserina* L. samples collected from different producing areas in Qinghai ($\bar{x}\pm s, n=3$)

单位:mg/hg

产地代号	质量分数			
	维生素 B ₁	维生素 B ₂	维生素 C	α -维生素 E
1	0.210±0.015 ^a	0.112±0.011 ^{ab}	10.41±0.76 ^{abc}	3.06±0.22 ^b
2	0.192±0.020 ^a	0.195±0.015 ^b	1.66±0.12 ^a	1.13±0.10 ^a
3	0.203±0.022 ^a	0.548±0.033 ^{ab}	7.35±0.52 ^{ab}	2.24±0.18 ^{ab}
4	0.110±0.012 ^a	0.076±0.009 ^{ab}	12.08±1.09 ^{bc}	2.49±0.15 ^{ab}
5	0.239±0.020 ^{ab}	0.112±0.010 ^{ab}	11.96±1.04 ^{bc}	2.88±0.25 ^b
6	0.376±0.025 ^b	0.123±0.010 ^a	11.56±0.85 ^c	2.81±0.17 ^b
7	0.252±0.025 ^{ab}	0.119±0.008 ^{ab}	8.01±0.60 ^{abc}	3.25±0.20 ^b

通过单因素方差分析对青海不同产地蕨麻之间生物活性成分的质量分数差异进行多重比较,结果表明:海南州泽库县的蕨麻中总糖质量分数最

高,玉树州囊谦县的蕨麻中维生素B₂质量分数最高,海南州贵南县的蕨麻中总黄酮、总多酚、维生素C质量分数最高,海西州都兰县的蕨麻中多糖质量

分数最高,海北州门源县的蕨麻中维生素 B₁ 质量分数最高,西宁市湟源县的蕨麻中总皂苷、单宁、淀粉和 α-维生素 E 质量分数最高;各产地之间总皂苷、淀粉、总糖、维生素 C 和 α-维生素 E 质量分数差异不显著 ($P>0.05$),而单宁、总黄酮、总多酚、多糖、维生素 B₁ 和维生素 B₂ 质量分数差异显著 ($P<0.05$)。

在主成分分析中以上述 11 个生物活性成分为评判指标,以特征值 $\lambda>1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数,结果前 3 个主成分累积方差贡献率达到 88.141%,能有效地解释蕨麻中生物活性成分的总变异。通过主成分在生物活性成分上旋转后的因子载荷矩阵得知:在第 1 主成分中,单宁、总黄酮和总多酚具有较大的载荷系数值;在第 2 主成分中,多

糖具有较大的载荷系数值;在第 3 主成分中,淀粉具有较大的载荷系数值。由以上结果确定单宁、总黄酮、总多酚、淀粉、多糖这 5 个成分可作为对蕨麻品质分析贡献大的指标性成分。

2.3 青海不同产地蕨麻中氨基酸组分分析

由表 5 可知,青海不同产地蕨麻中氨基酸种类丰富,均检测出了 17 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸,2 种半必需氨基酸,8 种非必需氨基酸。各产地总氨基酸质量分数为 6.685~10.666 g/hg。Arg 质量分数最高为 0.995~2.871 g/hg;其次是 Asp,其质量分数为 0.818~1.691 g/hg;Gly、Lys、Ile 质量分数也较高,分别为 0.590~0.890、0.505~0.735、0.530~0.730 g/hg;而 Cys 和 Met 质量分数最低,分别为 0.017~

表 5 青海不同产地蕨麻中氨基酸组分质量分数 ($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 5 Mass fractions of amino acids composition in *Potentilla anserina* L. samples collected from different producing areas in Qinghai ($\bar{x}\pm s, n=3$)

单位:g/hg

产地代号	质量分数					
	天冬氨酸(Asp)	苏氨酸(Thr) [#]	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)
1	1.278±0.101 ^b	0.365±0.029 ^{ab}	0.283±0.020 ^{ab}	0.503±0.035 ^a	0.653±0.055 ^{ab}	0.470±0.040 ^{ab}
2	0.850±0.075 ^a	0.440±0.032 ^b	0.310±0.033 ^{ab}	0.520±0.028 ^{ab}	0.890±0.065 ^c	0.570±0.040 ^b
3	1.180±0.084 ^{ab}	0.435±0.021 ^b	0.315±0.029 ^{ab}	0.555±0.043 ^{ab}	0.840±0.073 ^c	0.575±0.032 ^b
4	0.895±0.052 ^{ab}	0.305±0.022 ^a	0.235±0.025 ^a	0.475±0.033 ^a	0.590±0.050 ^a	0.415±0.042 ^a
5	1.254±0.107 ^{ab}	0.324±0.019 ^{ab}	0.254±0.025 ^{ab}	0.486±0.030 ^a	0.610±0.032 ^{bc}	0.428±0.022 ^{ab}
6	1.691±0.150 ^b	0.398±0.035 ^b	0.303±0.016 ^b	0.616±0.047 ^b	0.739±0.060 ^{bc}	0.507±0.041 ^{ab}
7	0.818±0.066 ^a	0.327±0.028 ^a	0.252±0.018 ^{ab}	0.502±0.050 ^a	0.612±0.060 ^{ab}	0.418±0.037 ^a
产地代号	质量分数					
产地代号	脯氨酸(Pro)	半胱氨酸(Cys)	缬氨酸(Val) [#]	甲硫氨酸(Met) [#]	异亮氨酸(Ile) [#]	亮氨酸(Leu) [#]
1	0.455±0.033 ^{ab}	0.021±0.002 ^{ab}	0.368±0.025 ^{ab}	0.042±0.003 ^{bc}	0.583±0.055 ^{ab}	0.370±0.025 ^{abc}
2	0.520±0.030 ^{bc}	0.029±0.003 ^c	0.430±0.025 ^{ab}	0.044±0.005 ^{bc}	0.730±0.060 ^b	0.530±0.044 ^c
3	0.495±0.050 ^{bc}	0.026±0.002 ^{bc}	0.435±0.031 ^b	0.068±0.005 ^d	0.710±0.052 ^{ab}	0.500±0.033 ^c
4	0.430±0.025 ^{ab}	0.017±0.001 ^a	0.335±0.028 ^a	0.010±0.002 ^a	0.600±0.045 ^{ab}	0.365±0.028 ^a
5	0.490±0.029 ^{bc}	0.018±0.002 ^a	0.360±0.025 ^{ab}	0.016±0.001 ^{ab}	0.530±0.036 ^{ab}	0.382±0.025 ^{abc}
6	0.537±0.042 ^c	0.023±0.003 ^b	0.415±0.030 ^{ab}	0.045±0.003 ^{bc}	0.648±0.049 ^{ab}	0.453±0.037 ^{bc}
7	0.380±0.031 ^a	0.019±0.001 ^{ab}	0.350±0.020 ^{ab}	0.029±0.003 ^b	0.552±0.051 ^a	0.382±0.028 ^{ab}
产地代号	质量分数					
产地代号	酪氨酸(Tyr)	苯丙氨酸(Phe) [#]	组氨酸(His) [*]	赖氨酸(Lys) [#]	精氨酸(Arg) [*]	氨基酸总量(TAA)
1	0.135±0.010 ^{ab}	0.235±0.022 ^{ab}	0.298±0.025 ^{ab}	0.593±0.044 ^{ab}	1.685±0.152 ^{ab}	8.328±0.661 ^{ab}
2	0.170±0.015 ^b	0.300±0.019 ^c	0.320±0.018 ^b	0.730±0.037 ^b	2.510±0.174 ^b	9.880±0.759 ^b
3	0.165±0.015 ^{ab}	0.295±0.033 ^c	0.320±0.028 ^{ab}	0.735±0.033 ^{bc}	2.290±0.196 ^{ab}	9.945±0.547 ^{ab}
4	0.098±0.011 ^a	0.195±0.017 ^a	0.230±0.023 ^a	0.505±0.051 ^a	0.995±0.103 ^a	6.685±0.621 ^a
5	0.106±0.011 ^{ab}	0.204±0.015 ^a	0.252±0.020 ^{ab}	0.542±0.037 ^{ab}	1.870±0.122 ^{ab}	8.130±0.773 ^{ab}
6	0.148±0.014 ^b	0.274±0.015 ^{bc}	0.319±0.025 ^b	0.692±0.052 ^b	2.871±0.183 ^b	10.666±0.893 ^b
7	0.113±0.012 ^a	0.202±0.016 ^a	0.247±0.021 ^{ab}	0.545±0.050 ^a	1.333±0.087 ^a	7.073±0.555 ^a

注: # 表示为必需氨基酸, * 表示为半必需氨基酸。

0.029、0.010~0.068 g/hg。支链氨基酸(Leu、Ile、Val)质量占总氨基酸质量的 16.5%;脂肪族氨基酸(Gly、Ala、Val、Leu、Ile、Met、Cys、Arg、Lys、Asp、Glu、Ser、Thr)质量占总氨基酸质量的 87.0%;芳香族氨基酸(Phe、Tyr)质量占总氨基酸质量的 4.3%;吡啶族氨基酸(His)质量占总氨基酸质量的 3.3%;药用氨基酸(Glu、Asp、Arg、Gly、Phe、Tyr、Met、Leu、Lys)质量分数最高,其质量占总氨基酸质量的 66.4%;鲜味氨基酸(Glu、Asp)质量占总氨基酸质量的 19.1%;EAA/TAA(必需氨基酸与总氨基酸质量分数比值)为 31.2%,EAA/NEAA(必需氨基酸与非必需氨基酸质量分数比值)为 72.0%;Thr(0.370 g/hg)接近 FAO/WHO 氨基酸标准模式谱(4.0 mg/g)^[21]。

通过单因素方差分析对青海不同产地蕨麻之间氨基酸组成的质量分数差异进行多重比较,结果表明:果洛州达日县的蕨麻中苏氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸质量分数最高,玉树州囊谦县的蕨麻中丝氨酸、丙氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、组氨酸和赖氨酸质量分数最高,海北州门源县的蕨麻中天冬氨酸、谷氨酸、脯氨酸和精氨酸质量分数最高,并且总氨基酸质量分数也最

高;各产地之间 17 种氨基酸和总氨基酸质量分数差异均显著($P<0.05$)。

在主成分分析中以上述 17 种氨基酸为评判指标,以特征值 $\lambda>1$ 的方差贡献率确定最优的主成分,结果前 2 个主成分累积方差贡献率达到 93.455%,能有效地解释蕨麻中氨基酸组分的总变异。通过主成分在氨基酸组份上旋转后的因子载荷矩阵得知,除了脯氨酸和甲硫氨酸 2 种氨基酸以外,其余 15 种氨基酸(占总氨基酸的 94.1%)均分布在第 1 主成分和第 2 主成分中,具有较大的载荷系数值。因此,忽略不在两个主成分中的氨基酸,将氨基酸总量直接作为对蕨麻品质分析贡献大的指标性营养成分。

2.4 青海不同产地蕨麻中主要脂肪酸组分分析

由表 6 可知,青海不同产地蕨麻中脂肪酸种类丰富,含有棕榈酸、油酸、亚麻酸和亚油酸等 11 种脂肪酸,包括 5 种饱和脂肪酸、6 种不饱和脂肪酸(其中又含有 4 种单不饱和脂肪酸和 2 种多不饱和脂肪酸),总脂肪酸质量分数为 11.264~16.132 mg/g。亚油酸质量分数最高(3.07~5.38 mg/g),其次是十一烷酸(1.82~4.39 mg/g)、油酸(2.24~3.45 mg/g)和棕

表 6 青海不同产地蕨麻中主要脂肪酸组成质量分数($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 6 Mass fractions of major fatty acids composition in *Potentilla anserina* L. collected from different producing areas in Qinghai($\bar{x}\pm s, n=3$)

单位:mg/g

产地代号	质量分数					
	癸酸 [#]	十一烷酸 [#]	棕榈酸 [#]	硬脂酸 [#]	油酸 [△]	十八碳烯酸 [△]
1	0.041 4±0.003 9 ^c	1.82±0.11 ^a	1.79±0.15 ^c	0.552±0.043 ^d	3.45±0.27 ^c	0.200±0.016 ^f
2	0.026 6±0.003 1 ^a	3.33±0.17 ^b	2.13±0.18 ^d	0.599±0.035 ^c	3.19±0.30 ^c	0.134±0.011 ^d
3	0.031 3±0.002 5 ^b	3.58±0.33 ^{bc}	1.25±0.10 ^{ab}	0.179±0.021 ^b	2.33±0.25 ^a	0.065±0.008 ^a
4	0.028 3±0.002 5 ^{ab}	4.05±0.35 ^{cd}	1.13±0.10 ^a	0.097±0.010 ^a	2.35±0.20 ^a	0.262±0.025 ^b
5	0.025 4±0.001 9 ^a	3.38±0.35 ^b	1.35±0.11 ^b	0.203±0.015 ^b	2.45±0.18 ^a	0.076±0.007 ^b
6	0.024 9±0.002 7 ^a	3.32±0.30 ^b	1.24±0.09 ^{ab}	0.332±0.022 ^c	2.24±0.23 ^a	0.166±0.013 ^c
7	0.029 3±0.003 1 ^b	4.39±0.28 ^d	1.27±0.09 ^{ab}	0.293±0.020 ^c	2.83±0.19 ^b	0.098±0.008 ^c
产地代号	质量分数					
	亚油酸 [*]	亚麻酸 [*]	十七烷酸 [#]	十九烯酸 [△]	二十二碳烯酸 [△]	
1	5.32±0.44 ^c	0.466±0.036 ^f	0.048 3±0.003 3 ^{bc}	0.207±0.017 ^d	0.492±0.037 ^c	
2	5.38±0.36 ^c	0.537±0.044 ^{cd}	0.073 2±0.005 6 ^d	0.200±0.010 ^d	0.532±0.034 ^d	
3	3.40±0.29 ^{ab}	0.621±0.050 ^b	0.049 2±0.004 2 ^{bc}	0.107±0.010 ^c	0.635±0.052 ^{cd}	
4	3.24±0.25 ^{ab}	0.364±0.040 ^c	0.044 5±0.003 0 ^b	0.073±0.009 ^b	0.340±0.024 ^b	
5	3.55±0.25 ^{ab}	0.169±0.014 ^a	0.033 8±0.002 8 ^a	0.051±0.003 ^a	0.254±0.025 ^a	
6	3.07±0.30 ^a	0.415±0.032 ^{bc}	0.041 5±0.002 9 ^b	0.083±0.005 ^b	0.332±0.022 ^b	
7	3.71±0.33 ^b	0.488±0.030 ^{bc}	0.053 6±0.004 7 ^c	0.098±0.007 ^c	0.449±0.033 ^c	

注:[#]表示为饱和脂肪酸,^{*}表示多不饱和脂肪酸,[△]表示单不饱和脂肪酸。

桐酸(1.13~2.13 mg/g),而亚麻酸(0.169~0.621 mg/g)、十七烷酸(0.033 8~0.073 2 mg/g)和癸酸(0.024 9~0.041 4 mg/g)质量分数最低;蕨麻中饱和脂肪酸平均质量分数为 5.26 mg/g (占总脂肪酸质量的 40.4%), 不饱和脂肪酸平均质量分数为 7.77 mg/g (占总脂肪酸质量的 59.6%)。根据 WHO/FAO 总脂肪和脂肪酸膳食推荐摄入量的推荐^[2],蕨麻中总饱和脂肪酸能量占总能量的 1.43%, 蕨麻中 n-6 系列多不饱和脂肪酸能量占总能量的 1.08%。

通过单因素方差分析对青海不同产地蕨麻之间脂肪酸组成的质量分数差异进行多重比较,结果表明:黄南州泽库县的蕨麻中癸酸、油酸、十九烯酸质量分数最高,果洛州达日县的蕨麻中棕榈酸、硬脂酸、亚油酸、十七烷酸质量分数最高,玉树州囊谦县的蕨麻中亚麻酸、二十二碳烯酸质量分数最高,海南州贵南县的蕨麻中十八碳烯酸质量分数也最高,西宁市湟源县的蕨麻中十一烷酸质量分数最高;各产地之间上述 11 种脂肪酸质量分数差异显著($P<0.05$)。

在主成分分析中以上述 11 种脂肪酸为评判指标,以特征值 $\lambda>1$ 的方差贡献率确定最优的主成分

数,结果前 3 个主成分累积方差贡献率达到 95.443%, 能有效地解释蕨麻中脂肪酸组分的总变异。通过主成分在脂肪酸组分上旋转后的因子载荷矩阵得知:在第 1 主成分中,棕榈酸、硬脂酸和亚油酸具有较大的载荷系数值;在第 2 主成分中,十一烷酸具有较大的载荷系数值;在第 3 主成分中,亚麻酸具有较大的载荷系数值。由以上结果确定棕榈酸、硬脂酸、亚油酸、十一烷酸、亚麻酸 5 个成分可作为对蕨麻品质分析贡献大的指标性营养成分。

2.5 青海不同产地蕨麻中矿物质元素分析

由表 7 可知,青海不同产地蕨麻中主要含有 9 种矿物质元素,包括 4 种常量元素 K、Na、Mg、Ca,5 种必需微量元素 Ge、Fe、Se、Zn、Cu。K 质量分数最高(7.41~8.90 g/kg),其次质量分数较高的 2 种元素依次为 Ca(0.99~1.44 g/kg)和 Mg(1.01~1.28 g/kg),再次为 Na(44.2~214.2 mg/kg)、Fe(28.2~121.3 mg/kg)、Zn(16.8~22.3 mg/kg),质量分数最低的 4 种元素依次为 Cu(5.10~7.82 mg/kg)、Ge(27.2~43.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$)、Se(1.28~9.52 $\mu\text{g}/\text{kg}$);按能量和营养成分含量声称的要求和条件^[20],蕨麻中平均含有 Mg(113.6 mg/hg 换算成 NRV 为 37.8%)、Fe(6.14 mg/hg 换算成 NRV

表 7 青海不同产地蕨麻中各种矿质元素质量分数($\bar{x}\pm s, n=3$)

Table 7 Mass fractions of mineral elements in *Potentilla anserina* L. collected from different producing areas in Qinghai ($\bar{x}\pm s, n=3$)

产地代号	质量分数				
	锗(Ge) [#] ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	镁(Mg) [#] (g/kg)	铁(Fe) [#] (mg/kg)	钠(Na) [#] (mg/kg)	硒(Se) [#] ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
1	36.4±3.0 ^{ab}	1.18±0.09 ^{ab}	53.7±2.9 ^{abc}	82.5±7.3 ^{ab}	1.28±0.11 ^a
2	43.3±3.0 ^b	1.01±0.10 ^a	121.3±6.8 ^c	49.7±3.2 ^a	ND
3	28.4±2.5 ^a	1.28±0.12 ^b	86.3±7.0 ^{abc}	44.5±3.0 ^a	ND
4	27.2±2.3 ^a	1.17±0.08 ^{ab}	51.4±4.4 ^{ab}	102.7±8.0 ^{ab}	2.65±0.17 ^a
5	28.8±2.5 ^a	1.16±0.12 ^{ab}	44.6±4.4 ^{ab}	214.2±13.5 ^{ab}	9.52±0.76 ^a
6	27.6±2.2 ^a	1.05±0.10 ^a	44.7±3.5 ^b	72.1±5.4 ^b	1.52±0.13 ^a
7	27.8±1.9 ^a	1.10±0.10 ^a	28.2±2.3 ^a	44.2±3.0 ^a	3.97±0.30 ^a
产地代号	质量分数				
	钾(K) [#] (g/kg)	钙(Ca) [#] (g/kg)	锌(Zn) [#] (mg/kg)	铜(Cu) [#] (mg/kg)	
1	8.90±0.62 ^b	1.44±0.15 ^b	18.4±1.5 ^{ab}	5.56±0.40 ^a	
2	7.41±0.57 ^a	0.99±0.08 ^a	21.8±1.7 ^b	7.82±0.49 ^b	
3	8.34±0.72 ^{ab}	1.34±0.09 ^{ab}	22.3±1.5 ^b	5.10±0.51 ^a	
4	8.40±0.55 ^{ab}	1.38±0.11 ^b	17.9±1.3 ^{ab}	5.91±0.38 ^a	
5	8.56±0.70 ^b	1.25±0.11 ^{ab}	16.8±1.7 ^a	5.16±0.35 ^a	
6	8.49±0.80 ^b	1.22±0.10 ^{ab}	19.6±1.6 ^{ab}	5.60±0.42 ^a	
7	8.47±0.83 ^b	1.34±0.12 ^b	20.1±1.8 ^{ab}	5.39±0.44 ^a	

注:[#]表示常量元素,^{*}表示必需微量元素,ND表示未检出。

为 41.0%)、Cu (0.579 mg/hg 换算成 NRV 为 38.6%)、K (836.7 mg/hg 换算成 NRV 为 41.8%), 该 4 种元素 NRV 均为每 100 g 蕨麻中相应矿物质元素的质量占该营养参考值的比例大于 30.0%, 因此蕨麻属于富含多种矿物质的食品; 蕨麻中 Na 平均质量分数为 8.71 mg/hg < 40.00 mg/hg, 属于极低钠食品。

通过单因素方差分析对青海不同产地蕨麻之间矿物质元素的质量分数差异进行多重比较, 结果表明: 黄南州泽库县的蕨麻中 K、Ca 质量分数最高, 果洛州达日县的蕨麻中 Ge、Fe、Cu 质量分数最高, 玉树州囊谦县的蕨麻中 Mg、Zn 质量分数最高, 海西州都兰县的蕨麻中 Na、Se 质量分数也最高; 各产地之间除了 K、Ca、Zn 质量分数差异不显著 ($P > 0.05$) 以外, 其余 6 种矿物质元素质量分数差异均显著 ($P < 0.05$)。

在主成分分析中以上述 9 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, 结果前 2 个主成分累积方差贡献率达到 80.059%, 能有效地解释蕨麻中矿物质元素的总变

异。通过主成分在矿物质元素上旋转后的因子载荷矩阵得知: 在第 1 主成分中, K、Ca、Cu 具有较大的载荷系数值; 在第 2 主成分中, Na、Se、Zn 具有较大的载荷系数值。由以上结果确定 K、Ca、Cu、Na、Se、Zn 6 个成分可作为对蕨麻品质分析贡献大的指标性营养成分。

2.6 青海不同产地蕨麻品质主成分分析和综合评价

从 55 种营养成分筛选出对蕨麻品质贡献较大的 22 种指标性营养成分, 在主成分分析中以水分、灰分、蛋白质、脂肪、膳食纤维、单宁、总黄酮、总多酚、淀粉、多糖、总氨基酸、Na、Se、K、Ca、Zn、Cu、十一烷酸、棕榈酸、硬脂酸、亚油酸、亚麻酸 22 种指标性营养成分为评判指标, 以特征值 $\lambda > 1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数。结果如表 8 所示, 前 5 个主成分累积方差贡献率达到 97.028%, 能有效地解释蕨麻品质的总变异。因此提取特征值 $\lambda > 1$ 的前 5 个主成分代替上述 22 种关键指标性营养成分对青海不同产地蕨麻品质进行评价与判断。

表 8 青海蕨麻品质评价因子的特征值和累积方差贡献率

Table 8 Eigenvalue and accumulative contribution rate of quality evaluation of *Potentilla anserina* L. samples

主成分	初始特征值			旋转载荷平方和		
	总计	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	总计	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	9.215	41.888	41.888	6.150	27.955	27.955
2	4.460	20.273	62.162	4.831	21.959	49.914
3	3.391	15.413	77.574	3.794	17.246	67.160
4	3.265	14.840	92.415	3.472	15.784	82.944
5	1.015	4.613	97.028	3.098	14.084	97.028
6	0.654	2.972	100.000			

表 9 是蕨麻 22 种指标性成分的主成分旋转后的因子载荷矩阵, 该矩阵反映了品质指标对主成分载荷系数的相对大小和作用方向。结果表明: 在第 1 主成分中, 水分、蛋白质具有较大的正载荷系数值, 棕榈酸、硬脂酸、亚油酸具有较大的负载荷系数值, 所以第 1 主成分主要反映上述 5 个指标性营养成分的品质特性; 在第 2 主成分中, 单宁、总黄酮、总多酚具有较大的正载荷系数值, 总氨基酸具有较大的负载荷系数值, 所以第 2 主成分主要反映上述 4 个指标性营养成分的品质特性; 在第 3 主成分中, Na、Se 具有较大的负载荷系数值, 亚麻酸具有较大的正载荷系数值, 所以第 3 主成分主要反映 Na、Se、亚麻酸这 3 个指标性营养成分的品质特性; 在第 4

主成分中, 多糖、K 具有较大的正载荷系数值, 所以第 4 主成分主要反映多糖、K 的品质特性; 在第 5 主成分中, 灰分、膳食纤维具有较大的正载荷系数值, 淀粉具有较大的负载荷系数值, 所以第 5 主成分主要反映灰分、膳食纤维、淀粉 3 个指标性营养成分的品质特性。

用表 9 中各指标变量的主成分载荷系数值除以特征值的平方根, 得到 5 个主成分中每个指标对应的特征向量, 以每个品质指标的相关矩阵的特征向量为权重构建这 5 个主成分的函数表达式, 如下:

$$Y_1 = 0.368X_1 - 0.023X_2 + 0.326X_3 - 0.299X_4 + 0.151X_5 + 0.119X_6 + 0.108X_7 + 0.075X_8 + 0.063X_9 + 0.119X_{10} - 0.006X_{11} + 0.032X_{12} + 0.079X_{13} + 0.074X_{14} + 0.081X_{15} - 0.004X_{16} -$$

$$0.217X_{17}+0.288X_{18}-0.369X_{19}-0.355X_{20}-0.358X_{21}-0.162X_{22}$$

$$Y_2=0.092X_1-0.134X_2+0.064X_3-0.028X_4+0.024X_5+0.409X_6+0.420X_7+0.420X_8+0.109X_9-0.073X_{10}-0.432X_{11}+0.023X_{12}+0.097X_{13}+0.191X_{14}+0.312X_{15}-0.194X_{16}-0.128X_{17}+0.009X_{18}-0.141X_{19}-0.153X_{20}-0.017X_{21}+0.038X_{22}$$

$$Y_3=-0.026X_1-0.075X_2-0.091X_3+0.154X_4+0.233X_5-0.002X_6-0.042X_7-0.031X_8-0.074X_9-0.235X_{10}+0.141X_{11}-0.499X_{12}-0.450X_{13}-0.058X_{14}+0.072X_{15}+0.373X_{16}+0.058X_{17}-0.026X_{18}+0.027X_{19}+0.124X_{20}+0.059X_{21}+0.449X_{22}$$

$$Y_4=0.154X_1+0.175X_2+0.027X_3-0.292X_4+0.021X_5+0.045X_6+0.035X_7+0.132X_8-0.101X_9+0.432X_{10}+0.042X_{11}+0.106X_{12}+0.071X_{13}+0.460X_{14}+0.313X_{15}-0.250X_{16}-0.338X_{17}-0.330X_{18}-0.133X_{19}+0.026X_{20}+0.050X_{21}+0.086X_{22}$$

$$Y_5=0.077X_1+0.502X_2-0.179X_3-0.104X_4+0.457X_5-0.168X_6-0.136X_7-0.002X_8-0.522X_9+0.097X_{10}+0.066X_{11}+0.049X_{12}-0.074X_{13}+0.098X_{14}+0.202X_{15}+0.097X_{16}-0.185X_{17}-0.162X_{18}-0.016X_{19}-0.125X_{20}+0.031X_{21}+0.112X_{22}$$

将上述第 1~5 主成分的方差贡献率 α_1 (27.955%)、 α_2 (21.959%)、 α_3 (17.246%)、 α_4 (15.784%)、 α_5 (14.084%) 作为权数, 计算主成分综合评价模型:

$$F=\alpha_1Y_1+\alpha_2Y_2+\alpha_3Y_3+\alpha_4Y_4+\alpha_5Y_5, \text{ 即 } F=0.27955Y_1+0.21959Y_2+0.17246Y_3+0.15784Y_4+0.14084Y_5$$

根据主成分综合评价模型计算出青海不同产地蕨麻的综合得分(见表 10)。结果显示, 主要反映第 1 主成分中排名前两位的蕨麻分别来自海北州门源县和玉树州囊谦县, 主要反映第 2 主成分中排名前两位的蕨麻分别来自海南州贵南县和西宁市湟源县, 主要反映第 3 主成分中排名前两位的蕨麻

表 9 主成分在各品质指标上旋转后的因子载荷矩阵

Table 9 Rotated component matrix of the principal components on quality indicators

品质指标	载荷系数值				
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
水分	0.912	0.203	-0.050	0.287	0.135
灰分	-0.058	-0.294	-0.147	0.326	0.883
蛋白质	0.809	0.141	-0.177	0.051	-0.315
脂肪	-0.741	-0.062	0.299	-0.544	-0.183
膳食纤维	0.374	0.053	0.454	0.039	0.805
单宁	0.294	0.900	-0.003	0.084	-0.295
总黄酮	0.268	0.923	-0.082	0.066	-0.239
总多酚	0.185	0.924	-0.060	0.246	-0.004
淀粉	0.156	0.239	-0.145	-0.189	-0.919
多糖	0.294	-0.161	-0.458	0.805	0.170
总氨基酸	-0.015	-0.950	0.274	0.078	0.117
钠	0.080	0.051	-0.971	0.197	0.086
硒	0.195	0.213	-0.876	0.133	-0.131
钾	0.184	0.419	-0.112	0.858	0.172
钙	0.200	0.686	0.141	0.584	0.356
锌	-0.011	-0.427	0.726	-0.466	0.170
铜	-0.538	-0.281	0.113	-0.630	-0.325
十一烷酸	0.715	0.019	-0.051	-0.614	-0.286
棕榈酸	-0.915	-0.311	0.053	-0.247	-0.029
硬脂酸	-0.881	-0.336	0.242	0.048	-0.220
亚油酸	-0.987	-0.038	0.115	-0.094	0.055
亚麻酸	-0.401	0.084	0.875	0.160	0.198

注: -代表负的作用方向。

表 10 青海不同产地蕨麻品质综合评价结果

Table 10 Comprehensive evaluation results of quality for *Potentilla anserina* L. samples collected from Qinghai different producing areas

样品编号	Y_1	排名	Y_2	排名	Y_3	排名	Y_4	排名	Y_5	排名	F	总排名
1	-3.89	7	1.20	3	0.62	4	2.59	1	0.96	2	-0.18	5
2	-3.09	6	-2.06	6	0.29	5	-2.90	7	-0.78	5	-1.89	7
3	2.04	2	-1.04	5	1.65	1	-0.62	5	3.16	1	1.00	1
4	1.76	3	2.93	1	-0.35	6	-0.99	6	-0.13	4	0.93	2
5	0.44	5	-0.51	4	-4.17	7	0.30	3	0.48	3	-0.61	6
6	2.10	1	-2.83	7	0.79	3	2.03	2	-1.88	7	0.16	4
7	0.63	4	2.31	2	1.18	2	-0.41	4	-1.81	6	0.59	3

分别来自玉树州囊谦县和西市市湟源县,主要反映第 4 主成分中排名前两位的蕨麻分别来自海南州泽库县和海北州门源县,主要反映第 5 主成分中排名前两位的蕨麻分别来自玉树州囊谦县和海南州泽库县,综合评价总排名前三位的蕨麻分别来自玉树州囊谦县、海南州贵南县、西市市湟源县。

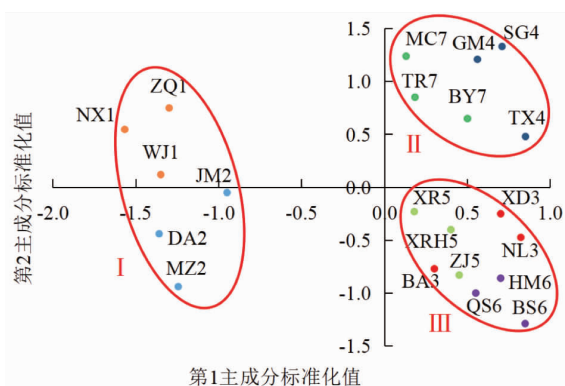
将第 1 主成分和第 2 主成分因子得分的标准化值分别作为 x 轴和 y 轴,在二维坐标系内得到蕨麻样品的主成分因子得分标准化值分布图(见图 1)。代表青海 7 个不同产地的 21 个采样地点被分为独立的 3 类,反映了 21 个不同采样地点的蕨麻样品的指标性营养成分存在一定差异,同一产地的不同采样地点的蕨麻之间指标性营养成分差异小,而不同产地的蕨麻之间指标性营养成分差异大。其中,将海南州泽库县和果洛州达日县的蕨麻样品归

为 I 类,将海南州贵南县和西市市湟源县的蕨麻样品归为 II 类,将玉树州囊谦县、海西州都兰县和海北州门源县的蕨麻样品归为 III 类;从蕨麻样品产地地理位置分析,将青海省北部、西部和南部产地(海拔在 2 800 ~3 700 m)归为一类,将青海省中部产地(海拔在 2 900 m 左右)归为一类,将青海省东部和东南部产地(海拔在 4 000 m 以上)归为一类。

2.7 青海蕨麻与其他食品之间营养成分差异比较分析

本研究中将青海蕨麻与 9 种谷类作物食品、4 种食用豆类作物食品、2 种薯类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品中关键营养成分进行比较分析^[23],数据单位已换算一致并保持同一营养成分的质量分数小数位数统一,见表 11~12。

常规营养成分的差异比较结果显示:青海蕨麻中蛋白质质量分数(11.2 g/hg)高于 6 种谷类作物食品(除大米 12.7 g/hg、小麦 11.9 g/hg、燕麦 15.0 g/hg 以外)和 2 种薯类作物食品;青海蕨麻中脂肪质量分数(1.3 g/hg)低于 7 种谷类作物食品(除大米 0.9 g/hg、小麦 1.3 g/hg 以外);青海蕨麻中膳食纤维质量分数(11.8 g/hg)高于 8 种谷类作物食品(除青稞 16.0 g/hg 以外)、3 种食用豆类作物食品(除大豆 15.5 g/hg 以外)和 2 种薯类作物食品;青海蕨麻中碳水化合物质量分数(66.6 g/hg)高于 5 种谷类作物食品(除大米 71.8 g/hg、青稞 73.2 g/hg、小米 73.5 g/hg、高粱米 70.4 g/hg 以外)、4 种食用豆类作物食品和 2 种薯类作物食品以及 1 种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中能量(1 358.9 kJ/hg)低于 6 种谷类作物食品(除小麦 1 326.3 kJ/hg、大麦 1 284.5 kJ/hg、荞麦 1 355.6 kJ/hg 以外)和 2 种食用豆类作物食品(除绿豆 1 322.1 kJ/hg、赤小豆 1 292.9 kJ/hg 以外),



图中不同颜色圆点表示不同产地,相同颜色圆点代表同一产地的不同采样地点。

图 1 蕨麻样品的主成分因子得分标准化值分布图

Fig. 1 Distribution map of standardized values of principal component factor scores in *Potentilla anserina* L. samples

但高于2种薯类作物食品和1种藜科藜属干果类食品。

生物活性成分的差异比较结果显示:青海蕨麻中淀粉质量分数(44.8 g/hg)低于9种谷类作物食品、2种食用豆类作物食品(除大豆32.0 g/hg、蚕豆35.0 g/hg以外),但高于2种薯类作物食品和1种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中维生素B₁质量分数(0.28 mg/hg)低于6种谷类作物食品(除大米0.00 mg/hg、玉米0.21 mg/hg、荞麦0.28 mg/hg以外),但高于2种薯类作物食品和1种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中维生素B₂质量分数(0.15 mg/hg)高于8种谷类作物食品(除荞麦0.16 mg/hg以外)、3种食用豆类作物食品(除大豆0.20 mg/hg以外)和1种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中维生素C质量分数(10.3 mg/hg)高于9种谷类作物食品、4种食用豆类作物食品和1种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中α-维生素E质量分数(2.82 mg/hg)高于5种谷类作物食品(除燕麦3.07 mg/hg、玉米3.89 mg/hg、小米3.63 mg/hg、荞麦4.40 mg/hg

以外)、1种食用豆类作物食品(除大豆18.90 mg/hg、绿豆10.95 mg/hg、赤小豆14.36 mg/hg以外)、2种薯类作物食品和1种藜科藜属干果类食品。

矿物质元素的差异比较结果显示:青海蕨麻中Ca质量分数(128 mg/hg)高于8种谷类作物食品(除燕麦186 mg/hg以外)、3种食用豆类作物食品(除大豆191 mg/hg以外)、2种薯类作物食品和1种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中Fe质量分数(6.1 mg/hg)高于4种谷类作物食品(除青稞40.7 mg/hg、大麦6.4 mg/hg、燕麦7.0 mg/hg、高粱米6.3 mg/hg、荞麦6.2 mg/hg以外)、1种薯类作物食品(除甘薯130.0 mg/hg以外)和1种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中K质量分数(837 mg/hg)高于9种谷类作物食品、1种食用豆类作物食品(除大豆1503 mg/hg、蚕豆1117 mg/hg、赤小豆860 mg/hg以外)、2种薯类作物食品和1种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中Na质量分数(8.7 mg/hg)高于7种谷类作物食品(除大米21.5 mg/hg、青稞77.0 mg/hg以外)、3种食用豆类作物食品(除蚕豆86.0 mg/hg以外)、1

表 11 青海蕨麻与其他食品之间常规营养成分、生物活性成分质量分数的差异比较

Table 11 Comparison of the mass fractions differences in routine nutritional components and bioactive components between *Potentilla anserina* L. from Qinghai and other foods

食品类别	食品名称	质量分数				能量/(kJ/hg)	质量分数				
		蛋白质/(g/hg)	脂肪/(g/hg)	膳食纤维/(g/hg)	碳水化合物/(g/hg)		淀粉/(g/hg)	维生素B ₁ /(mg/hg)	维生素B ₂ /(mg/hg)	维生素C/(mg/hg)	α-维生素E/(mg/hg)
谷类作物食品	大米	12.7	0.9	0.6	71.8	1 447.7	75.0	0.00	0.08	0.0	0.70
	青稞	8.1	1.5	16.0	73.2	1 418.4	56.0	0.34	0.11	0.0	0.96
	小麦	11.9	1.3	10.8	64.4	1 326.3	64.0	0.40	0.10	0.0	1.82
	大麦	10.2	1.4	9.9	63.4	1 284.5	63.0	0.43	0.14	0.0	1.23
	燕麦	15.0	6.7	5.3	61.6	1 535.5	60.0	0.30	0.13	0.0	3.07
	玉米	8.7	3.8	6.4	66.6	1 401.6	73.2	0.21	0.13	0.0	3.89
	小米	9.0	3.1	1.6	73.5	1 497.9	70.0	0.33	0.10	0.0	3.63
	高粱米	10.4	3.1	4.3	70.4	1 468.6	67.5	0.29	0.10	0.0	1.88
	荞麦	9.3	2.3	6.5	66.5	1 355.6	70.0	0.28	0.16	0.0	4.40
食用豆类作物食品	大豆	35.0	1.6	15.5	18.7	1 502.0	32.0	0.41	0.20	0.0	18.90
	蚕豆	21.6	1.0	1.7	59.8	1 401.6	35.0	0.09	0.13	2.0	1.60
	绿豆	21.6	0.8	6.4	55.6	1 322.1	57.2	0.25	0.11	0.0	10.95
	赤小豆	20.2	0.6	7.7	55.7	1 292.9	58.0	0.16	0.11	0.0	14.36
薯类作物食品	甘薯	1.1	0.2	1.6	23.1	414.0	24.0	0.04	0.04	26.0	0.28
	马铃薯	2.0	0.2	0.7	16.5	318.0	16.0	0.08	0.04	27.0	0.34
藜科藜属干果类食品	藜麦	14.5	6.9	8.9	57.8	1 338.0	40.8	0.18	0.08	4.1	2.30
蔷薇科委陵菜属块根类食品	蕨麻	11.2	1.3	11.8	66.6	1 358.9	44.8	0.28	0.15	10.3	2.82

表 12 青海蕨麻与其他食品之间各种矿质元素质量分数的差异比较

Table 12 Comparison of the mass fractions differences in mineral elements between *Potentilla anserina* L. from Qinghai and other foods

食品类别	食品名称	质量分数							
		钙 Ca/ (mg/hg)	铁 Fe/ (mg/hg)	钾 K/ (mg/hg)	钠 Na/ (mg/hg)	铜 Cu/ (mg/hg)	镁 Mg/ (mg/hg)	锌 Zn/ (mg/hg)	硒 Se/ (μ g/hg)
谷类作物食品	大米	8	5.1	49	21.5	0.52	12.0	0.69	4.60
	青稞	113	40.7	644	77.0	5.13	65.0	2.38	4.60
	小麦	34	5.1	289	6.8	0.43	4.0	2.33	4.05
	大麦	66	6.4	49	0.0	0.63	158.0	4.36	9.80
	燕麦	186	7.0	214	3.7	0.45	177.0	2.59	4.31
	玉米	14	2.4	300	3.3	0.25	96.0	1.70	3.52
	小米	41	5.1	284	4.3	0.54	107.0	1.87	4.74
	高粱米	22	6.3	281	6.3	0.53	129.0	1.64	2.83
食用豆类作物食品	荞麦	47	6.2	401	4.7	0.56	258.0	3.62	2.45
	大豆	191	8.2	1 503	2.2	1.35	199.0	3.34	6.16
	蚕豆	31	8.2	1 117	86.0	0.99	57.0	3.42	1.30
	绿豆	81	6.5	787	3.2	1.08	125.0	2.18	4.28
薯类作物食品	赤小豆	74	7.4	860	2.2	0.64	138.0	2.20	3.80
	甘薯	23	130.0	130	28.5	0.18	12.0	0.15	0.48
藜科藜属干果类食品	马铃薯	8	0.8	342	2.7	0.12	23.0	0.37	0.78
	藜麦	43	4.3	272	2.3	0.60	152.3	2.50	2.80
蔷薇科委陵菜属块根类食品	蕨麻	128	6.1	837	8.7	0.58	113.4	1.95	0.27

种薯类作物食品(除甘薯 28.5 mg/hg 以外)和 1 种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中 Cu 质量分数(0.58 mg/hg)高于 7 种谷类作物食品(除青稞 5.13 mg/hg、大麦 0.63 mg/hg 以外)和 2 种薯类作物食品;青海蕨麻中 Mg 质量分数(113.4 mg/hg)高于 5 种谷类作物食品(除大麦 158.0 mg/hg、燕麦 177.0 mg/hg、高粱米 129.0 mg/hg、荞麦 258.0 mg/hg 以外)、1 种食用豆类作物食品(除大豆 199.0 mg/hg、绿豆 125.0 mg/hg、赤小豆 138.0 mg/hg 以外)和 2 种薯类作物食品;青海蕨麻中 Zn 质量分数(1.95 mg/hg)高于 4 种谷类作物食品和 2 种薯类作物食品;青海蕨麻中 Se 质量分数(0.27 μ g/hg)低于 9 种谷类作物食品、4 种食用豆类作物食品、2 种薯类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品。

3 讨论

本研究中以青海 7 个不同产地的蕨麻为研究对象进行了营养成分分析,采用单因素方差分析比较了不同产地的蕨麻之间营养成分的差异,然后通

过主成分分析从 55 种营养成分中筛选出对蕨麻品质贡献大的 22 种指标性营养成分,利用这些筛选出的指标性营养成分进行蕨麻品质综合评价,最后通过主成分因子得分标准化值分布图得出不同产地蕨麻的归属分布情况。此外,还对青海蕨麻与其他食品的关键营养成分进行差异比较分析。结果表明青海蕨麻具有高蛋白质、低脂肪、极低钠、丰富的氨基酸和脂肪酸种类、多种矿物质的特点。与其他食品营养成分比较分析发现青海蕨麻中膳食纤维、维生素 B₂、维生素 C、Ca、K、Na 质量分数高,脂肪、淀粉质量分数低,能量低。不同产地蕨麻的营养成分质量分数存在差异与当地海拔高度有一定相关性,并与不同海拔对应的气候因素(年平均气温、年平均降水量、年蒸发量、年日照时数、年太阳辐射量等)密切相关,同时还可能与蕨麻品种、培育和遗传改良、生态适应性有关。

3.1 青海不同产地蕨麻的营养成分存在差异原因分析

蕨麻在高海拔生活环境中含有相对较高质量

分数的脂肪、可溶性糖等营养成分,淀粉、总皂苷、总糖质量分数在高低海拔两个生活环境中的含量变化不明显,蛋白质质量分数则在低海拔生活环境中相对较高。海拔不同,该蕨麻产区的温度指数、光合辐射、紫外线、土壤因素等也不同,从而使得蕨麻中的各营养成分质量分数也不同。

1) I类蕨麻产地(黄南州泽库县和果洛州达日县产地)相较II类蕨麻产地(海南州贵南县和西宁市湟源县产地)和III类蕨麻产地(玉树州囊谦县、海西州都兰县和海北州门源县产地),年平均气温最低(-2.2℃)、年日照时数最低(2 630 h)、年太阳辐射量最低(607 kJ/cm²)、年蒸发量最低(1 266 mm),但雨热同季,降水量较丰富且集中,年平均降水量最高(460 mm)。黄南州泽库县和果洛州达日县生活环境相似,黄南州泽库县属高原亚寒带湿润气候,果洛州达日县属高寒半湿润性气候,虽然两地年日照时数(分别为2 566~2 675 h和2 430~2 840 h)、年太阳辐射量(分别为607~653 kJ/cm²和335~837 kJ/cm²)相对较低,光合作用也就相对较弱,不利于蕨麻通过光合作用积累营养成分,但黄南州泽库县和果洛州达日县年平均降水量相对较高(分别为460、541 mm)、而年蒸发量又相对较低(分别为1 325.8、1 205.9 mm),有助于土壤中能够储存更多的雨水。而雨水可以溶有更充足的氧气,冲洗掉土壤中更多的盐分,雨水中的氮素有利于蕨麻根、叶同时吸收,其弱酸性可中和北方土壤的碱性,有利于蕨麻的生长,同时黄南州泽库县和果洛州达日县海拔相对最高(分别为3 960、4 300 m)、年平均气温相对较低(分别为-2.4~-2.8℃和-0.1~-3.5℃),蕨麻需要储藏更多的营养成分,为其初始生长提供足够的能量以抵御严寒的环境,从而起到对光合作用一定的弱补偿作用。

2) II类蕨麻相较I类和III类,年日照时数居中(2 685 h)、年太阳辐射量居中(628 kJ/cm²)、年蒸发量居中(1 371 mm)、年平均降水量低(406 mm),但年平均气温最高(2.7℃)。海南州贵南县和西宁市湟源县生活环境相似,均属于典型的高原大陆性气候,介于高原亚寒带和中温带之间,两地海拔(分别为3 050、2 800 m)、年日照时数(分别为2 662、2 708 h)、年太阳辐射量(分别为586、649 kJ/cm²)、年平均气温(分别为3.0、2.3℃)、年平均降水量(分别为409、404 mm)、年蒸发量(分别为1 364、1 379

mm)相对接近。年平均气温最高,日间温差大有助于蕨麻的生长。气温对蕨麻生长的影响是综合性的,既可以通过影响光合、呼吸、蒸腾等代谢过程,也可以通过影响有机物的合成和运输等代谢过程来影响蕨麻的生长,还可以直接影响土壤温度、气温以及水肥的吸收和输导来影响蕨麻的生长。此外,两地气温日差大,日温较高夜温较低能促进蕨麻营养的积累(白天温度较高有利于光合速率的提高,为蕨麻生长提供了充足的营养物质;夜温降低可减少呼吸作用对蕨麻中有机物的消耗)。此外,较低的夜温有利于蕨麻根的生长和细胞分裂素的合成,因而也提高了蕨麻的生长速率。

3) III类蕨麻相较I类和II类,年日照时数最高(2 854 h)、年太阳辐射量最高(661 kJ/cm²)、年蒸发量最高(1 497 mm)、年平均降水量除了海西州都兰县外居中(441 mm),年平均气温除了海西州都兰县外居中(-0.7℃,海西州都兰县最高为4.0℃)。除了海西州都兰县外,玉树州囊谦县和海北州门源县生活环境相似,两地年日照时数(分别为2 757、2 728 h)、年太阳辐射量(分别为644、649 kJ/cm²)、年平均气温(分别为-0.5、-0.8℃)、年平均降水量(分别为419、464 mm)、年蒸发量(分别为1 502、1 427 mm)相对接近,虽然海拔存在一定差异(分别为2 950、3 700 m),但均属于典型的高原亚寒带气候,该蕨麻产区的温度指数、光合辐射、紫外线、土壤因素等可能受到海拔的影响不是很大。年日照时数和年太阳辐射量最高均有助于蕨麻的生长,光照是影响植物生长发育众多外界环境(如温度、重力、水、矿物质等)中最为重要的条件,是植物整个生长和发育过程中的重要调节因子,对植物的生长起促进作用。而海西州都兰县属于介于高原亚寒带和中温带的高原大陆性气候,地处柴达木盆地东南隅,全境可分为汗布达山区和柴达木盆地两种地貌类型。干旱少雨(年平均降水量最低为196 mm),日照充足(年日照时数3 078 h、年太阳辐射量690 kJ/cm²),东部气候温凉,年平均气温最高(4.0℃),光合作用强、气温高、昼夜温差大有利于蕨麻生长并积累营养成分,从而对干旱降水量少起到一定的补偿作用。

3.2 青海蕨麻相较于其他食品的优势与特色

将青海蕨麻与9种谷类作物食品、4种食用豆类作物食品、2种薯类作物食品和1种藜科藜属干果类食品中关键营养成分进行比较分析,结果发现

青海蕨麻中膳食纤维、维生素 B₂、维生素 C、Ca、K、Na 质量分数高,脂肪、淀粉质量分数低,能量低。

1) 除青稞和大豆以外,青海蕨麻中膳食纤维质量分数高于 8 种谷类作物食品、3 种食用豆类作物食品、2 种薯类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品。膳食纤维在消化系统中有吸收水分的作用,增加肠道及胃内的食物体积,可增加饱足感;又能促进肠胃蠕动,可舒解便秘;同时膳食纤维也能吸附肠道中的有害物质以便排出,改善肠道菌群,为益生菌的增殖提供能量和营养。蕨麻中的膳食纤维是健康饮食不可缺少的,在保持消化系统健康上扮演着重要的角色,经常食用可以起到预防心血管疾病、癌症、糖尿病以及其他疾病的作用。

2) 除荞麦和大豆以外,青海蕨麻中维生素 B₂ 质量分数高于 8 种谷类作物食品、3 种食用豆类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品。维生素 B₂ 为体内黄酶类辅基的组成部分(黄酶在生物氧化还原中发挥递氢作用),当缺乏时就会影响机体的生物氧化,使代谢发生障碍。因此,食用蕨麻可防治口、眼和外生殖器部位的炎症,如口角炎、唇炎、舌炎、眼结膜炎和阴囊炎等。

3) 除甘薯和马铃薯以外,青海蕨麻中维生素 C 质量分数高于 9 种谷类作物食品、4 种食用豆类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品。维生素 C 是一种水溶性维生素,在氧化还原代谢反应中起调节作用,缺乏可引起坏血病。食用蕨麻能够促进体内胶原蛋白合成、加速伤口愈合、抗氧化、促进铁的吸收和叶酸的利用以及增加造血功能等的作用。

4) 除了少部分粮食作物食品如燕麦、大豆等以外,青海蕨麻中 Ca 质量分数高于 8 种谷类作物食品、3 种食用豆类作物食品、2 种薯类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中 K 质量分数高于 9 种谷类作物食品、1 种食用豆类作物食品、2 种薯类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品;青海蕨麻中 Na 质量分数高于 7 种谷类作物食品、3 种食用豆类作物食品、1 种薯类作物食品和 1 种藜科藜属干果类食品。因此,常食用蕨麻可以起到促进骨骼和牙齿的生长和调节体内环境条件。钙具有构成机体组织如骨骼、牙齿等的重要成分,钾、钠与蛋白质共同作用维持细胞内外液适宜渗透压和酸碱平衡等。

5) 除大米和小麦以外,青海蕨麻中脂肪质量分

数低于 7 种谷类作物食品。脂肪是人体组织细胞的一个重要成分,脂肪与蛋白质结合生成的脂蛋白,在调节人本生理机能、完全生化反应方面具有重要的作用。但人的体内吸收了过多脂肪,容易发胖,还可能致癌,比如乳腺癌、结肠癌、直肠癌和胰腺癌等癌症,还会出现心脏病、高血压等症状。食用蕨麻这种低脂肪的食品可防止身体过度肥胖,减少各种因高脂肪而产生的如高血压、动脉硬化、关节炎等疾病。

6) 青海蕨麻中淀粉低于 9 种谷类作物食品和 2 种食用豆类作物食品,能量低于 6 种谷类作物食品和 2 种食用豆类作物食品。食物中高淀粉可抑制肠癌的发生,但吃多了淀粉类食物会长胖,淀粉在人体里会转化成葡萄糖,从而给人体提供能量。而多余的能量没有及时消耗就会被人体以脂肪的形式储备起来,因此不利于减肥者食用。蕨麻这种低淀粉、低能量的食品有利于健身者减少脂肪积聚,降低甘油三酯和极低密度脂蛋白含量从而用于治疗高血脂,减少胰岛素输出从而减少炎症,改善血糖和胰岛素水平从而延缓身体老化、延长寿命。

4 结 语

海南州贵南县和海北州门源县蕨麻为高蛋白食品(两者 NRV 均大于 20.00%)。各产地蕨麻均属于低脂肪食品(<3.00 g/hg)、高膳食纤维食品(>6.0 g/hg)、极低钠食品(<40.00 mg/hg),主要含有 17 种氨基酸和 11 种脂肪酸(总饱和脂肪酸能量占总能量的 1.43%<10.00%,满足脂肪需要量专家委员会推荐总饱和脂肪酸的能量要求;n-6 系列多不饱和脂肪酸占能比为 1.08%>1.00%,满足脂肪需要量专家委员会推荐 n-6 系列多不饱和脂肪酸摄入量为能量的 1%~2%能预防其缺乏病的要求),富含多种矿物质(主要含有 9 种,其中 Mg、Fe、Cu、K 4 种元素 NRV 均为每 100 g 蕨麻中相应矿物质元素的质量占该营养素参考值的比例大于 30.0%)。与其他食品营养成分相比,青海蕨麻中膳食纤维、维生素 B₂、维生素 C、Ca、K、Na 质量分数高,脂肪、淀粉质量分数低,能量低。

蕨麻样品的主成分因子得分标准化值分布图将海南州泽库县和果洛州达日县的蕨麻样品归为 I 类,将海南州贵南县和西宁市湟源县的蕨麻样品归为 II 类,将玉树州囊谦县、海西州都兰县和海北

州门源县的蕨麻样品归为Ⅲ类。不同产地蕨麻的营养成分质量分数存在差异与当地海拔高度有一定相关性,并与不同海拔对应的气候因素(年平均气温、年平均降水量、年蒸发量、年日照时数、年太阳辐射量等)密切相关。海拔不同,该蕨麻产区的温度指数、光合辐射、紫外线、土壤因素等也不同,从而使得蕨麻中的各营养成分质量分数也不同。此外,不符合规律的情况可能与蕨麻品种、培育和遗传改良、生态适应性有关。

主成分综合评价模型综合评价总排名前三位的蕨麻分别来自玉树州囊谦县、海南州贵南县、西宁市湟源县。但也不能完全孤立地依据蕨麻中的各营养成分质量分数来评价其相对综合品质,还应将各营养成分之间的相互作用以及对食用植物次生代谢产物的影响等多方位来评价。作者旨在说明人工种植的蕨麻同样可具有高品质,从而为满足人们对营养价值更高、更均衡的蕨麻的需求,为促进地方经济的发展起到积极的作用。

参考文献:

- [1] 张彦芬,吴学明,高辉,等. 青藏高原东北部鹅绒委陵菜资源及开发利用前景的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(3): 193-196.
- [2] 周华坤,周兴民,周立,等. 鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)生长特征[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 9-17.
- [3] 青海经济植物志编写组. 青海经济植物志[M]. 西宁:青海人民出版社, 1978.
- [4] 中国科学院西北高原生物研究所. 青海经济植物志[M]. 西宁:青海人民出版社, 1987.
- [5] 罗文蓉,杨扶德. 藏药蕨麻(卓尔玛)本草考证与商品特征[J]. 甘肃中医, 2007, 20(3): 15-16.
- [6] 拉本. 藏药蕨麻的民族植物学研究[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2013, 22(3): 12-17.
- [7] 李军乔. 鹅绒委陵菜的生态适应性及栽培技术研究[J]. 中国野生植物资源, 2005, 24(4): 36-37.
- [8] 王守云. 鹅绒委陵菜草地资源及其保护利用[J]. 养殖与饲料, 2008, 7(9): 66-69.
- [9] 李军乔,史俊通,余青兰. 蕨麻(*Potentilla anserina* L.)自然资源状况的初步研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 181-184.
- [10] 马斌,李军乔,刘贺贺,等. 蕨麻品种 SSR 指纹图谱的构建及遗传相似性分析[J]. 分子植物育种, 2019, 17(13): 4367-4377.
- [11] 李军乔. 野生资源植物:蕨麻(*Potentilla anserina* L.)的生物学特性及应用研究[D]. 兰州:西北农林科技大学, 2004.
- [12] 孙洁,吕加平,薄海波. 藏药蕨麻的营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 411-414.
- [13] 李栋元,毛东风,杨具田,等. 蕨麻营养成分测定与分析[J]. 中兽医医药杂志, 2007, 26(3): 43-44.
- [14] 王峰,卢建雄,申晓蓉. 蕨麻营养成分测定[J]. 食品与药品, 2007, 9(7): 33-34.
- [15] 李伟,穆文娟. GC-MS 法分析甘肃和青海蕨麻中的脂肪酸成分[J]. 氨基酸和生物资源, 2014, 36(3): 53-55.
- [16] 魏永生. 气相色谱/质谱法分析蕨麻中的脂肪酸成分[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 310-313.
- [17] 沈宁东. 蕨麻优良种质资源选育及成分分析[D]. 西宁:青海大学, 2008.
- [18] 李军乔,温馨,包锦渊,等. 不同采收季节蕨麻的化学成分研究[J]. 中草药, 2014, 45(9): 173-175.
- [19] 李军乔,包锦渊,温馨,等. 藏药蕨麻不同形状块根有效成分分析[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(11): 2591-2593.
- [20] 中华人民共和国卫计委. 食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则:GB 28050-2011[S]. 北京:中国标准出版社, 2011.
- [21] FAO/WHO. FAO Nutrition Meeting Report Series on Energy and Protein Requirements[C]. Roma:FAO, 1973: 52-63.
- [22] 刘兰,刘英惠,杨月欣. WHO/FAO 新观点:总脂肪和脂肪酸膳食推荐摄入量[J]. 中国卫生标准管理, 2010, 1(3): 67-71.
- [23] 北京华数互动科技有限公司. 911 查询:身体健康/食物营养成分[DB/OL]. (2019-09-19)[2021-04-17]. <https://yingyang.911cha.com/>.