

魏玉明, 杨超, 杨发荣, 等. 不同产地藜麦籽粒品质分析与评价[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(7): 45–53.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.07.006

不同产地藜麦籽粒品质分析与评价

魏玉明¹, 杨超², 杨发荣¹, 谢志军¹, 杨富民², 郭斌³, 黄杰¹, 刘文瑜¹

(1. 甘肃省农业科学院畜牧与绿色农业研究所, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃兰州 730070;

3. 甘肃省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要:为探究“甘味”农产品天祝藜麦的产地环境和品质优势,以采自天祝藏族自治县不同藜麦产地的土壤及藜麦籽粒为试验材料,采用食品安全国家标准规定的方法对其产地环境及产品品质进行检测分析评价。结果表明,天祝藜麦的产地环境达到绿色食品的标准,不同产区藜麦籽粒的理化指标、矿质元素、氨基酸含量等均存在一定差异,其中籽粒容重、千粒重、籽粒直径分别为 668.00~762.00 g/L、2.86~4.47 g 和 1.30~2.84 mm;蛋白质、脂肪、能量、碳水化合物、灰分和 Zn、Fe、Mn、Ca、Mg 及 Se 等营养物质含量分别为 10.80%~15.70%、4.60%~6.70%、1 508.10~1 629.08 kJ/100 g、64.750%~70.64%、2.30%~5.70% 和 18.20~31.40 mg/kg、67.90~1 978.00 mg/kg、5.33~60.60 mg/kg、416.00~2 604.00 mg/kg、1 522.00~2 776.00 mg/kg、0.03~0.16 mg/kg;不同产地藜籽粒均含有 17 种氨基酸,其中谷氨酸含量最高,总氨基酸含量为 91.48~128.63 mg/g,必需氨基酸含量为 30.81~44.68 mg/g。此外,产地土壤养分与藜麦籽粒品质间和各品质间均有较强的相关性。综合评价分析表明,23 个产区藜麦品质优劣顺序为 S13=S16>S20>S12>S1=S11=S15>S18=S19>S5>S9=S14>S3=S4=S22=S23>S7=S10=S21>S2=S17>S6>S8,其中天祝赛什斯镇和哈溪镇的综合得分最高,所产藜麦籽粒品质最佳。本研究科学客观地反映了天祝藜麦良好的产品品质和生产环境,为天祝藜麦的下一步开发利用提供数据支撑。

关键词:藜麦;天祝;产地环境;产品品质;综合评价

中图分类号:S519.037 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)07-0045-09

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)是来自南美洲安第斯中高海拔山区的一年生苋科假谷类草本植物^[1-2],富含蛋白质、氨基酸、矿物质等多种营养物质全营养完全蛋白碱性食物^[3-6],有“粮食之母”的美誉^[7]。联合国粮食及农业组织(FAO)认定的唯一一种单体即可满足人体基本营养需求的食物^[8],可满足高品质或特殊消费者的需求。我国自 20 世纪 80 年代引入^[9],2008 年开始规模化种植。目前,全国种植面积近 30 万亩(1 亩=667 m²),主要分布在甘肃、青海、山西、内蒙、河北等地^[10-11]。近年来,天祝藏族自治县藜麦年种植面积超过 10 万

亩,约占全国种植面积的 30%。在天祝藏族自治县,藜麦已成为高原特色“八大产业”之一,种植面积逐年扩大,是甘肃乃至全国藜麦种植面积最大的县域之一,天祝藏族自治县也因此获得“中国高原藜麦之都”的美誉。天祝藏族自治县坐落于祁连山东端,地处青藏、内蒙、黄土三大高原交汇地带^[12],属于典型的大陆性高原季风气候^[13],境内光照充足、昼夜温差大、气候冷凉、温度适宜,土壤富含有机质和矿物质,原生态无污染,纯天然祁连山雪水滋润着这片土地。天祝藏族自治县独有的生态条件为藜麦生长和营养物质积累奠定了基础,是生产高营养、无污染产品的理想地区;具有自然垄断特性,是发展特色产业、生产有机农产品的理想之地。

然而,目前在国内天祝藜麦产品知名度和品牌优势还远未形成,距离特色产业振兴战略要求还有很大距离。随着国民生活水平的不断提高,人们生活需求从“温饱”到“品质”转变,越来越重视自身的营养健康和保健功能,藜麦具有“营养黄金”的美誉,其营养品质评价研究已成为当前研究热点^[14-20]。但由于藜麦引入国内时间尚短,国人对其了解尚未深入,在购买过程中往往只关注藜麦籽粒

收稿日期:2024-03-03

基金项目:甘肃省特色优势农产品评价项目(编号:TYNPZ2021-11);甘肃省农业科学院重点研发项目(编号:2022GAAS19);甘肃省农业农村厅科技支撑项目(编号:KJZC-2023-14);甘肃省科技计划(编号:24CXNA034、23CXNA0005);东乡县藜麦全产业链建设项目。

作者简介:魏玉明(1981—),男,甘肃民勤人,硕士,副研究员,主要从事藜麦育种栽培及产品开发研究。E-mail:weiyuming513@163.com。

通信作者:杨发荣,研究员,主要从事藜麦育种栽培。E-mail:lzyf08@163.com。

的品相(大小、色泽等),却忽视了藜麦内在营养品质,这对藜麦加工利用和市场竞争能力有很大影响。因此,对藜麦主产区天祝藜麦开展营养品质评价非常必要,这对解决当地藜麦生产加工、提高商品率,逐步走向国内外市场具有重大意义。本研究从天祝藜麦产地环境、营养品质等方面开展系统研究,旨为天祝藜麦的品牌知名度和影响力拓展提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验样本来自甘肃省天祝藏族自治县松山镇、西大滩乡、华藏寺镇、石门镇、打柴沟镇、炭山岭镇、哈溪镇、祁连乡、大红沟乡、东大滩乡、朵什乡、赛什斯镇、安远镇等 13 个乡镇的 23 份样品。采集 2020—2021 年度收获的藜麦原粮为检测样本,测试样品为随机抽样,无明显发霉、腐败现象,详见表 1。

表 1 供试材料来源

编号	产地	编号	产地
S1	甘肃天祝松山镇	S13	甘肃天祝赛什斯镇
S2	甘肃天祝松山镇	S14	甘肃天祝炭山岭镇
S3	甘肃天祝松山镇	S15	甘肃天祝哈溪镇
S4	甘肃天祝松山镇	S16	甘肃天祝哈溪镇
S5	甘肃天祝松山镇	S17	甘肃天祝安远镇
S6	甘肃天祝华藏寺镇	S18	甘肃天祝安远镇
S7	甘肃天祝华藏寺镇	S19	甘肃天祝打柴沟镇
S8	甘肃天祝石门镇	S20	甘肃天祝西大滩乡
S9	甘肃天祝松山镇	S21	甘肃天祝祁连乡
S10	甘肃天祝朵什乡	S22	甘肃天祝大红沟乡
S11	甘肃天祝东大滩乡	S23	甘肃天祝大红沟乡
S12	甘肃天祝赛什斯镇		

1.2 试验方法

1.2.1 产地环境指标与测定方法 土壤 pH 值、全盐量、有机质含量、全氮含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量,分别参照 LY/T 1239—1999《森林土壤 pH 值的测定》、LY/T 1251—1999《森林土壤水溶性盐分分析》、LY/T 1237—1999《森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算》、LY/T1228—2015《森林土壤氮的测定》、LY/T1232—2015《森林土壤磷的测定》、LY/T1234—2015《森林土壤钾的测定》测定^[21]。

1.2.2 产品感官品质测定 藜麦籽粒容重参照 GB/T 5498—1985《粮食、油料检验容重测定法》测定,千粒重参照 GB/T 3543.7—1995《农作物种子检验规程 其他项目检验》(百粒法)测定;籽粒直径:

随机取 100 粒藜麦籽粒用种子分析仪(TJD-800)进行扫描,测定其最大直径。

1.2.3 产品品质指标与测定方法 藜麦籽粒中水分、蛋白质、脂肪、灰分含量分别参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB/T 5009.5—2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB/T 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的方法测定;碳水化合物含量和能量参照公式计算:

碳水化合物含量 = 1 - 水分含量 - 灰分含量 - 蛋白质含量 - 脂肪含量; (1)

能量 = 蛋白质含量 × 17 + 脂肪含量 × 37 + 碳水化合物含量 × 17。 (2)

参照阿特沃特系统能量折算系数,蛋白质折算系数为 17 kJ/g;脂肪折算系数为 37 kJ/g;碳水化合物折算系数为 17 kJ/g。

矿质元素钠(Na)、硒(Se)、铁(Fe)、钙(Ca)、锌(Zn)、磷(P)、镁(Mg)、锰(Mn)含量测定参考 GB/T 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》、GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》、GB 5009.90—2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》、GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》、GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》、GB 5009.87—2016《食品安全国家标准 食品中磷的测定》、GB 5009.241—2017《食品安全国家标准 食品中镁的测定》、GB 5009.242—2017《食品安全国家标准 食品中锰的测定》中的方法测定。

籽粒氨基酸含量测定采用全自动氨基酸分析仪(日立 L-8900)参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品氨基酸的测定》中的方法进行,色氨酸含量未测定。

1.3 综合评价

采用隶属函数法综合评价藜麦各项品质指标。

(1)综合评价隶属函数公式:

$U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), i = 1, 2, \dots, n(\text{正相关});$ (3)

$U(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), i = 1, 2, \dots, n(\text{负相关}).$ (4)

式中: $U(X_i)$ 表示指标*i*的隶属函数值; X_i 表示指标*i*的测定值; X_{\min} 表示指标*i*的最小值; X_{\max} 表示指标*i*的最大值。将各个待评价产地产品各个指标的具

体特性隶属值进行累加,并求取平均数,平均数越大表明其产地产品品质越优良。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 软件进行数据整理,采用 SPSS 27.0 软件进行差异显著性分析及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 天祝藜麦主产区产地环境分析

2.1.1 气候概况 天祝县以大陆性高原季风气候为主,冷凉干燥,光照充足、海拔高、昼夜温差较大,

降水分布不均。通过中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)获取 2017—2021 年 5 年的气象资料如表 2 所示,年均温度为 3.67 ℃,年均温差 13.95 ℃,4—10 月生长季平均温度 10.32 ℃、温差 12.91 ℃;年有效积温 1 463.76 ℃,可满足藜麦生长的积温条件;年降水量在 346.00 ~ 482.90 mm 之间,年均 402.72 mm,4—10 月平均降水量为 376.24 mm,降水主要集中在下半年作物生长季;年日照时数在 2 370.40 ~ 2 688.10 h 之间,4—10 月日照时数平均为 1 035.77 h,年平均空气湿度为 57.15%。

表 2 天祝县近 5 年气候条件

年份	年平均气温(℃)	年平均温差(℃)	年平均湿度(%)	年降水量(mm)	年日照时数(h)	年有效积温(℃)	4—10月平均气温(℃)	4—10月平均温差(℃)	4—10月降水量(mm)	4—10月日照时数(h)	年最热月平均温度(℃)	年最冷月平均温度(℃)
2017	3.38	13.53	56.26	346.00	2 688.10	1 465.20	9.78	12.17	323.00		24.8	-16.1
2018	3.55	13.75	60.78	516.20	2 607.90	1 472.60	10.49	12.73	478.90		23.1	-17.4
2019	3.85	12.93	58.49	482.90	2 370.40	1 529.10	10.09	12.63	458.30	513.60	21.6	-16.3
2020	3.59	14.58	56.18	307.30	2 387.70	1 445.60	10.29	13.74	278.60	1 283.60	23.2	-16.9
2021	3.99	14.96	54.03	361.20	2 421.00	1 406.30	10.92	13.28	342.40	1 310.10	25.0	-18.5
平均值	3.67	13.95	57.15	402.72	2 495.02	1 463.76	10.32	12.91	376.24	1 035.77	22.54	-17.04

2.1.2 土壤肥力 天祝藜麦产区多为山旱地,以高寒草甸土为主。从表 3 可以看出,天祝县藜麦主产区土壤富含有机质、N、P、K 和矿物质。其中 S12 的有效磷、速效钾含量测定值最高;除 S8 和 S21 外,各地的 pH 值均大于 8.0,符合绿色食品产地环境质量的要求;各产地土壤中有机质含量在 10.2% ~ 64.7% 之间,差异较大,除 S10、S17 和 S19 外,其余各产地土壤有机质均超过绿色食品产地环境质量 I 级(>15)标准;全盐量在 0.02% ~ 0.73% 之间,平均为 0.14%;碱解氮含量在 4.99% ~ 177.00% 之间,均值为 69.63%,表明天祝藜麦产区土壤供氮能力较强;有效磷含量在 2.20% ~ 26.00% 之间,平均含量为 9.32%,其中 6 个产区的有效磷含量符合绿色食品产地环境质量 I 级标准;23 个产区中 18 个产区的土壤中速效钾含量 > 120 mg/kg (I 级),且均值较 I 级标准高 49.61%;22 个产区的全氮含量均高于 1.0 g/kg (I 级)。依据 NY/T 391—2013《绿色食品产地环境质量》要求,除 S10 产区外,天祝藜麦主产区土壤均达到绿色食品标准的要求,其中速效钾、有效磷、全氮和有机质含量均达到了 I 级标准。

2.2 不同产地藜麦产品品质分析

2.2.1 理化品质 天祝藜麦 23 个产区 9 个理化指

标的变幅、平均值和变异系数详见表 4。不同产地藜麦籽粒的理化品质存在显著差异($P < 0.05$),各指标间的变异系数在 1.93% ~ 30.97% 之间(变异系数 > 10% 表示样本间差异较大)。从物理指标来看,各产地间藜麦籽粒水分含量、千粒重、粒径分别为 7.76% ~ 11.90%、2.86 ~ 4.47 g、1.30 ~ 2.84 mm,变异系数较大,分别为 9.93%、12.43% 和 12.98%;营养指标中灰分、脂肪含量分别在 2.30% ~ 5.70% 和 4.60% ~ 6.70% 之间,变异系数分别为 30.97% 和 11.07%,均属于中强等变异强度($CV \leq 10\%$ 为弱, $10\% < CV < 100\%$ 为中, $CV \geq 100\%$ 强)。由此可知,产地对藜麦籽粒灰分含量影响最大,其次是粒径、千粒重、脂肪、水分含量;不同产地藜麦籽粒理化品质存在较大差异,表现出不同程度的多样性。

2.2.2 矿质元素 由表 5 可知,天祝藜麦中富含多种人体有益的矿物元素,尤其是铁、锌、钙、镁、硒、锰等元素;而且不同产地的藜麦矿质元素含量有差别,其中钙元素含量最高,硒元素含量最低,除铁元素外,大量元素镁、钙、磷含量显著高于锌、锰、硒等微量元素($P < 0.05$),且镁、钙、磷、铁元素之间差异显著($P < 0.05$)。天祝藜麦 23 个产地 7 种元素含量的变异系数介于 15.13% ~ 127.96% 之间,属于中强等变异强度,其中变异幅度最大的为铁(Fe),

表 3 天祝藜麦主要产区土壤肥力含量

产地	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全盐量 (%)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)
S1	8.34	21.70	0.13	59.90	15.00	249.0	1.48
S2	8.40	21.50	0.04	51.00	2.92	161.0	1.15
S3	8.33	18.70	0.06	62.10	26.00	182.0	1.19
S4	8.24	27.80	0.06	92.40	7.29	87.7	1.72
S5	8.17	34.60	0.23	127.00	7.98	174.0	2.10
S6	8.46	24.40	0.08	33.30	2.62	188.0	1.48
S7	8.17	25.80	0.05	52.50	5.14	103.0	1.43
S8	7.92	29.80	0.07	68.70	24.9	206.0	1.86
S9	8.11	22.80	0.05	56.20	9.38	76.8	1.43
S10	8.19	10.20	0.08	37.70	4.48	78.8	0.62
S11	8.09	40.20	0.73	127.00	8.47	188.0	2.20
S12	8.04	42.40	0.11	89.40	20.30	427.0	2.24
S13	8.33	56.70	0.12	140.00	13.30	213.0	9.54
S14	8.22	64.70	0.14	151.00	13.00	259.0	9.52
S15	8.30	15.80	0.02	21.80	6.04	152.0	1.50
S16	8.24	20.40	0.16	21.20	12.80	298.0	1.46
S17	8.51	13.61	0.09	43.60	3.67	122.0	2.96
S18	8.04	16.00	0.11	78.00	6.70	159.0	1.12
S19	8.28	12.30	0.15	4.99	6.12	205.0	1.16
S20	8.15	37.30	0.17	177.00	9.71	159.0	2.38
S21	7.95	24.80	0.16	72.10	3.11	182.0	4.67
S22	8.20	19.90	0.22	10.91	3.16	102.0	1.38
S23	8.01	20.80	0.09	23.66	2.20	157.0	2.24
平均	8.20	27.05	0.14	69.63	9.32	179.53	2.47
绿色食品标准	>7.5	>15, I 级			>10, I 级	>120, I 级	>1.0, I 级

表 4 不同产地藜麦理化品质变异情况

项目	水分含量 (%)	灰分含量 (%)	蛋白质含量 (%)	脂肪含量 (%)	碳水化合物 含量(%)	能量 (kJ/100 g)	千粒重 (g)	容重 (g/L)	粒径 (mm)
平均值±标准差	10.27±1.02	3.39±1.05	13.34±1.13	5.42±0.60	67.59±1.81	1 576.17±30.36	3.70±0.46	708.30±24.50	2.08±0.27
最大值	11.90	5.70	15.70	6.70	70.64	1 629.08	4.47	762.00	2.84
最小值	7.76	2.30	10.80	4.60	64.50	1 508.10	2.86	668.00	1.30
极差	4.14	3.40	4.90	2.10	6.14	120.98	1.61	94.00	1.54
变异系数(%)	9.93	30.97	8.47	11.07	2.68	1.93	12.43	3.46	12.98

表 5 不同产地藜麦籽粒矿质元素含量变异情况

项目	锌含量 (mg/kg)	锰含量 (mg/kg)	铁含量 (mg/kg)	钙含量 (mg/kg)	镁含量 (mg/kg)	硒含量 (mg/kg)	磷含量 (mg/100 g)
平均值±标准差	25.24±3.82	14.89±11.98	392.00±501.60	908.77±494.27	1 991.41±303.05	0.07±0.03	395.05±67.58
最大值	31.40	60.60	1 978.00	2 604.00	2 776.00	0.16	497.00
最小值	18.20	5.33	67.90	416.00	1 522.00	0.03	288.00
极差	13.20	55.27	1 910.10	2 188.00	1 254.00	0.13	209.00
变异系数(%)	15.13	80.46	127.96	54.39	15.23	42.86	17.11

变异系数为 127.96%。说明天祝藜麦产区较多地域生态跨度较大,不同产地的种植环境、土壤、水质等有所差异,极大可能会导致种植的藜麦中含有的矿质元素种类和含量有所差异。

2.2.3 氨基酸含量分析 由表 6 可知,天祝不同产区的藜麦检测到 17 种氨基酸(色氨酸水解破坏未检测到),且含有 8 种人体必需氨基酸。各产地氨基酸总量(TAA)、必需氨基酸(EAA)变幅分别为 91.48 ~ 128.63 mg/g、30.81 ~ 44.68 mg/g,均值分别为 111.20 mg/g 和 38.20 mg/g。天祝藜麦 17 种氨基酸组分中以 Asp、Glu 和 Gly 为主,含量均 > 10 mg/g;而 Thr、Ser、Cys、Met、Ile、Tyr 和 Phe 等 7 种氨基酸含量较低(<5 mg/g)。天祝藜麦 17 种氨基酸、TAA 和 EAA 含量的变异系数在 4.56% ~ 9.78% 之间,属于弱变异水平,说明天祝藜麦各产区氨基酸变幅不大、比较稳定。

表 6 天祝不同产地藜麦籽粒氨基酸含量及变异程度

项目	含量(mg/g)				变异系数(%)
	平均值 ± 标准差	最大值	最小值	极差	
天冬氨酸	10.89 ± 0.94	12.74	8.82	3.92	8.63
苏氨酸	4.12 ± 0.35	4.79	3.32	1.47	8.50
丝氨酸	4.44 ± 0.35	5.14	3.67	1.47	7.88
谷氨酸	17.24 ± 1.29	19.77	14.33	5.44	7.48
甘氨酸	12.71 ± 0.58	13.85	11.40	2.45	4.56
丙氨酸	5.10 ± 0.43	5.99	4.12	1.86	8.43
胱氨酸	2.92 ± 0.25	3.37	2.39	0.98	8.56
缬氨酸	5.19 ± 0.45	6.11	4.15	1.96	8.67
蛋氨酸	2.25 ± 0.22	2.68	1.79	0.89	9.78
异亮氨酸	4.12 ± 0.34	4.81	3.34	1.47	8.25
亮氨酸	6.83 ± 0.57	8.00	5.55	2.45	8.35
酪氨酸	3.89 ± 0.36	4.58	3.11	1.47	9.33
苯丙氨酸	4.94 ± 0.41	5.78	4.02	1.76	8.30
赖氨酸	6.85 ± 0.58	7.99	5.54	2.45	8.47
组氨酸	5.22 ± 0.46	6.15	4.19	1.96	8.81
精氨酸	8.96 ± 0.76	10.49	7.26	3.23	8.48
脯氨酸	5.52 ± 0.46	6.45	4.49	1.96	8.33
氨基酸总量	111.20 ± 8.66	128.63	91.48	37.14	7.79
必需氨基酸	38.20 ± 3.23	44.68	30.81	13.87	8.46

2.3 不同产地藜麦相关性分析

2.3.1 产地土壤养分与产品品质间的相关性分析

对天祝藜麦 18 项品质指标与产地土壤养分指标进行了相关性分析,结果如表 7 所示,土壤 pH 值与籽粒能量呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为

0.97;有机质含量与籽粒灰分含量呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为 0.98;土壤碱解氮含量与能量呈极显著负相关($P < 0.01$),相关系数为 -0.99;土壤速效钾含量与籽粒镁元素含量呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为 0.97;全氮含量与籽粒灰分呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为 0.99。综上表明,产地土壤养分与藜麦籽粒品质间有较强的相关性,在生产实践中可提供理论指导。

2.3.2 天祝藜麦产品品质间的相关性分析 对天祝藜麦品质指标进行相关性分析,结果如表 8 所示,千粒重与籽粒直径呈极显著正相关($r = 0.55$),而与镁元素含量呈极显著负相关($r = -0.51$);灰分含量与锌、锰、铁、钙、镁元素含量呈极显著正相关($r = 0.55、0.75、0.92、0.86、0.72$),而与碳水化合物含量、能量和磷元素含量呈极显著负相关($r = -0.76、-0.73、-0.51$);蛋白质含量与 TAA 和 EAA 含量呈极显著正相关($r = 0.99、0.99$);碳水化合物含量与能量呈极显著正相关($r = 0.64$),与锌、锰、铁、钙含量呈极显著负相关($r = -0.56、-0.63、-0.73、-0.73$);能量与锌、锰、铁、钙含量呈极显著负相关($r = -0.71、-0.55、-0.67、-0.62$);锌元素含量与锰、铁、钙含量呈极显著正相关($r = 0.58、0.59、0.53$);锰元素含量与铁、钙、镁含量呈极显著正相关($r = 0.93、0.96、0.73$);铁元素含量与钙、镁含量呈极显著正相关($r = 0.95、0.72$);钙元素含量与镁含量呈极显著正相关($r = 0.75$);硒元素含量与磷含量呈极显著负相关($r = -0.49$);TAA 与 EAA 呈极显著正相关($r = 1.00$)。

2.4 综合评价

天祝藜麦 23 个产地的 19 个品质指标的隶属函数综合评价结果如表 9 所示,各产地藜麦综合品质的隶属函数平均值在 0.28 ~ 0.57 之间,其中 S13 和 S16 的平均值最高,达 0.57,S8 的平均值最低,只有 0.28。23 个产区藜麦品质优劣顺序为 S13 = S16 > S20 > S12 > S1 = S11 = S15 > S18 = S19 > S5 > S9 = S14 > S3 = S4 = S22 = S23 > S7 = S10 = S21 > S2 = S17 > S6 > S8。

3 讨论与结论

好的产地环境是保障农产品质量和安全的前提条件^[22]。通过对天祝县藜麦不同产区气候条件、土壤肥力的调查、抽样检测,结果表明天祝县气候冷燥,光照充足、海拔高、昼夜温差较大,降水适中

表 7 天祝藜麦不同产地土壤养分含量与产品品质间的相关性分析

指标	相关系数						
	pH 值	有机质含量	全盐量	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量	全氮含量
千粒重	0.10	0.29	0.96 *	-0.25	-0.08	-0.60	0.20
容重	-0.34	0.25	-0.76	0.44	-0.49	0.77	0.25
粒径	0.71	-0.48	-0.40	-0.67	-0.85	-0.35	-0.58
水分含量	0.91 *	-0.81	-0.43	-0.86	-0.53	-0.55	-0.88 *
灰分含量	-0.89 *	0.98 **	0.47	0.82	0.11	0.55	0.99 **
蛋白质含量	0.02	-0.17	0.55	0.97 *	0.86	-0.39	0.80
脂肪含量	0.64	-0.93 *	-0.43	-0.56	0.38	-0.39	-0.87
碳水化合物含量	0.05	0.32	-0.09	-0.07	-0.96 *	0.09	0.20
能量	0.97 **	-0.83	0.11	-0.99 **	-0.17	-0.93 *	-0.88 *
锌含量	-0.63	0.90 *	0.25	0.57	-0.49	0.48	0.83
锰含量	0.01	0.46	0.82	-0.15	-0.41	-0.41	0.35
铁含量	0.10	0.32	0.94 *	-0.24	-0.16	-0.58	0.23
钙含量	-0.49	0.85	0.60	0.38	-0.40	0.15	0.77
镁含量	-0.88 *	0.75	-0.31	0.92 *	-0.03	0.97 **	0.79
硒含量	0.36	-0.66	-0.95 *	-0.22	-0.10	0.19	-0.61
磷含量	-0.79	0.44	0.02	0.81	0.80	0.64	0.57
钠含量	-0.49	0.44	-0.62	0.57	-0.48	0.83	0.44
氨基酸总量	-0.29	0.05	0.46	0.25	0.96 *	-0.07	0.15
必需氨基酸含量	-0.28	0.04	0.46	0.24	0.96 *	-0.08	0.14

注：* 表示显著相关($P < 0.05$)；** 表示极显著相关($P < 0.01$)，表 8 同。

但分布不均；藜麦主产区土壤富含有机质、全氮、速效磷、速效钾和矿物质，土壤主要养分含量均符合 NY/T 391—2013《绿色食品 产地环境质量》标准^[23]要求，其中有机质、速效钾、有效磷和全氮含量均达到了 I 级标准。由此可见，天祝藜麦主产区的气候、土壤为藜麦生长提供了优良、绿色且肥沃的生产环境。

藜麦籽粒因其丰富突出的营养特性，被古印加人民和现代营养学家称为“营养黄金”^[1]，其中蛋白质、必需氨基酸、碳水化合物和矿物质等不同营养物质有着不同的功能特性，使得其在农业、工业、医药领域中都有广泛应用。本研究对天祝藏族自治县 23 个产地藜麦的蛋白质、脂肪、灰分、碳水化合物、氨基酸组分、矿物质元素含量等进行了检测，其中，天祝藜麦蛋白质含量 10.80% ~ 15.70%，与石振兴等报道的结果^[14,24]相近；灰分含量为 2.30% ~ 5.70%，略高于卢宇等测定的 2.2%^[20]；脂肪和碳水化合物含量与王思宇等的研究结果^[25-26]一致，与原产地秘鲁测定的结果^[27]相接近。表明天祝藜麦具有高品质的潜力。矿物质是人体必需的七大营养素之一，是构成人体组织和维持正常生理功能所必需的各种元素的总称^[28-29]。天祝藜麦中含有许多人体有益的矿质元素，如 Zn、Fe、Mn、Ca、Mg、Se

(0.07 mg/g)、P 等，其中 Ca (908.77 mg/g)、Mg (1 991.41 mg/g) 含量与张国香等报道的结果^[30]接近，Zn (25.24 mg/g)、P (395.05 mg/g)、Fe (392.00 mg/g)、Mn (14.86 mg/g) 等含量与赵丹青等的结果^[31-32]差异较大，这可能是由于天祝藜麦产区较多，地域气候类型多样，不同产地的种植环境、土壤成分及水质等不同，导致藜麦中的矿物质元素种类和含量有所差异；此外天祝藜麦富含 Se (0.07 mg/g) 元素，参照富硒米的标准，天祝藜麦可发展成富硒产品。全面而均衡的氨基酸含量是藜麦高品质的特点之一，天祝藜麦含有 17 种氨基酸（除色氨酸水解破坏未检出外），氨基酸总量为 91.48 ~ 128.63 mg/g，其中人体必需氨基酸最高达 44.68 g/kg，这一结果与李美凤报道的结果^[33]相近；各产地间氨基酸变异系数不大，说明氨基酸受环境影响不大。

相关性分析是衡量变量因素间的相关密切程度，天祝藜麦产品品质间及与不同产地土壤养分的相关性分析表明，天祝藜麦品质与土壤养分存在相关性，生产实践中可通过改善耕地土壤养分来提高藜麦品质；天祝藜麦各品质间同样存在不同程度的相关性，这也反映出同一地区的藜麦产品性状的一致性。

表 8 天祝藜麦产品品质间的相关性分析

指标	相关系数																		
	千粒重	容重	粒径	水分含量	灰分含量	蛋白质含量	脂肪含量	碳水化合物含量	能量	锌含量	锰含量	铁含量	钙含量	镁含量	硒含量	磷含量	钠含量	氨基酸总量	必需氨基酸含量
千粒重	1.00																		
容重	0.34	1.00																	
粒径	0.55**	0.00	1.00																
水分含量	-0.15	-0.28	0.12	1.00															
灰分含量	-0.18	-0.25	0.00	0.31	1.00														
蛋白质含量	-0.06	-0.04	-0.21	-0.38*	-0.05	1.00													
脂肪含量	-0.29	-0.02	-0.23	-0.02	0.10	-0.22	1.00												
碳水化合物含量	0.32	0.34	0.14	-0.50**	-0.76**	-0.31	-0.24	1.00											
能量	0.08	0.30	-0.16	-0.76**	-0.73**	0.16	0.35	0.64**	1.00										
锌含量	0.07	0.03	-0.09	0.41*	0.55**	0.22	-0.38*	-0.56**	-0.71**	1.00									
锰含量	-0.31	-0.08	-0.18	0.22	0.75**	0.08	0.05	-0.63**	-0.55**	0.58**	1.00								
铁含量	-0.21	-0.17	-0.06	0.32	0.92**	-0.05	0.14	-0.73**	-0.67**	0.59**	0.93**	1.00							
钙含量	-0.28	-0.16	-0.10	0.31	0.86**	0.00	0.16	-0.73**	-0.62**	0.53**	0.96**	0.95**	1.00						
镁含量	-0.51**	-0.11	-0.33	0.00	0.72**	0.02	0.04	-0.45*	-0.41*	0.34	0.73**	0.72**	0.75**	1.00					
硒含量	-0.25	-0.43*	0.03	0.28	0.23	0.07	0.40*	-0.46*	-0.14	-0.18	-0.12	0.07	0.07	-0.08	1.00				
磷含量	0.06	0.39*	-0.37*	-0.30	-0.51**	0.23	-0.42*	0.46*	0.31	0.07	-0.22	-0.44*	-0.44*	-0.08	-0.49**	1.00			
钠含量	-0.10	-0.22	0.16	0.07	0.01	0.39*	-0.07	-0.27	-0.07	0.09	0.04	-0.03	0.05	0.04	0.14	0.00	1.00		
氨基酸总量	-0.03	-0.05	-0.23	-0.44*	-0.05	0.99**	-0.19	-0.28	0.21	0.19	0.09	-0.05	0.00	0.04	0.05	0.25	0.35	1.00	
必需氨基酸含量	-0.03	-0.03	-0.23	-0.43*	-0.06	0.99**	-0.20	-0.28	0.20	0.20	0.10	-0.05	0.00	0.03	0.04	0.26	0.34	1.00**	1.00

表 9 不同产地藜麦籽粒营养价值隶属函数值

产地	隶属函数值																		必需氨基酸含量	均值	排序
	千粒重	容重	粒径	水分含量	灰分含量	蛋白质含量	脂肪含量	碳水化合物含量	能量	锌含量	锰含量	铁含量	钙含量	镁含量	硒含量	磷含量	钠含量				
S1	0.86	1.00	0.55	0.50	0.12	0.49	0.38	0.71	0.72	0.80	0.08	0.04	0.06	0.27	0.17	0.80	0.00	0.51	0.55	0.45	4
S2	0.51	0.00	0.50	0.93	0.76	0.27	0.48	0.21	0.19	0.67	0.11	0.31	0.29	0.42	0.69	0.24	0.15	0.27	0.27	0.38	10
S3	0.66	0.88	0.52	0.61	0.03	0.49	0.14	0.77	0.61	0.45	0.10	0.03	0.08	0.16	0.18	0.85	0.13	0.49	0.49	0.40	8
S4	0.72	0.73	0.59	0.47	0.03	0.53	0.24	0.80	0.73	0.33	0.13	0.02	0.10	0.23	0.00	0.72	0.07	0.56	0.59	0.40	8
S5	0.68	0.89	0.46	0.53	0.09	0.22	0.52	0.87	0.77	0.48	0.08	0.00	0.12	0.29	0.22	1.00	0.29	0.22	0.22	0.42	6
S6	0.16	0.40	0.44	0.81	0.15	0.20	1.00	0.50	0.74	0.27	0.11	0.08	0.26	0.41	0.26	0.07	0.38	0.20	0.20	0.35	11
S7	0.60	0.28	0.71	0.78	0.65	0.31	0.14	0.46	0.22	0.77	0.18	0.38	0.33	0.41	0.50	0.02	0.02	0.31	0.31	0.39	9
S8	0.37	0.18	0.55	0.83	0.09	0.00	0.10	0.99	0.44	0.33	0.07	0.00	0.11	0.34	0.12	0.63	0.14	0.00	0.00	0.28	12
S9	0.84	0.55	0.48	0.59	0.09	0.53	0.19	0.70	0.61	0.55	0.11	0.02	0.11	0.06	0.22	0.47	0.68	0.53	0.53	0.41	7
S10	0.79	0.37	0.38	0.00	0.21	0.45	0.48	1.00	1.00	0.16	0.01	0.02	0.00	0.36	0.22	0.68	0.15	0.56	0.54	0.39	9
S11	0.85	0.41	0.60	1.00	0.74	0.45	0.00	0.20	0.00	0.84	0.41	0.49	0.50	0.53	0.22	0.33	0.15	0.45	0.46	0.45	4
S12	0.18	0.45	0.50	0.83	0.29	0.69	0.00	0.36	0.31	0.78	0.21	0.08	0.15	0.49	0.50	0.98	0.82	0.69	0.69	0.47	3
S13	0.02	0.31	0.29	0.53	1.00	0.63	0.62	0.00	0.36	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	0.28	0.29	0.25	0.68	0.69	0.57	1
S14	0.72	0.17	0.41	0.57	0.00	0.61	0.62	0.55	0.82	0.22	0.05	0.00	0.05	0.16	0.53	0.72	0.13	0.68	0.68	0.41	7
S15	1.00	0.32	1.00	0.27	0.26	0.78	0.10	0.65	0.68	0.44	0.06	0.02	0.11	0.12	0.27	0.16	0.67	0.78	0.78	0.45	4
S16	0.78	0.38	0.55	0.64	0.56	0.86	0.29	0.11	0.39	0.96	0.28	0.34	0.45	0.58	0.27	0.67	1.00	0.86	0.86	0.57	1
S17	0.00	0.13	0.47	0.42	0.18	0.59	0.38	0.65	0.74	0.00	0.09	0.01	0.09	0.63	0.40	0.61	0.73	0.59	0.59	0.38	10
S18	0.33	0.70	0.45	0.16	0.47	0.67	0.43	0.58	0.76	0.23	0.12	0.13	0.27	0.71	0.40	0.49	0.04	0.67	0.67	0.44	5
S19	0.11	0.29	0.00	0.53	0.29	1.00	0.14	0.27	0.53	1.00	0.18	0.10	0.13	0.43	0.21	0.88	0.25	1.00	1.00	0.44	5
S20	0.49	0.45	0.62	0.90	0.97	0.27	0.81	0.00	0.22	0.73	0.45	0.70	0.49	0.56	0.44	0.01	0.43	0.27	0.27	0.48	2
S21	0.53	0.17	0.67	0.69	0.00	0.65	0.33	0.54	0.65	0.57	0.08	0.00	0.05	0.00	0.23	0.65	0.29	0.65	0.65	0.39	9
S22	0.40	0.19	0.55	0.81	0.18	0.63	0.67	0.26	0.61	0.23	0.03	0.04	0.20	0.06	1.00	0.00	0.45	0.63	0.63	0.40	8
S23	0.43	0.60	0.44	0.53	0.24	0.59	0.90	0.36	0.83	0.13	0.00	0.02	0.10	0.10	0.61	0.27	0.33	0.59	0.59	0.40	8

采用模糊综合评价法对天祝 23 个产区的藜麦品质进行综合质量评价,发现天祝藏族自治县赛什斯镇、炭山岭镇和哈溪镇所产藜麦产品品质品价较高。

综上所述,天祝藜麦产区气候适宜,土质优良,为藜麦优良品质提供了得天独厚的自然条件,同时也为天祝藜麦丰富营养物质的形成与积累奠定了基础,使得天祝藜麦籽粒质地紧密,富含矿质元素锌、铁、锰、钙、碳水化合物,且氨基酸全面,产品质量安全可靠,符合绿色食品认定要求。

参考文献:

- [1] FAO. Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture[M]. Rome:FAO,2013:1-16.
- [2] Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(15): 2541-2547.
- [3] 肖正春, 张广伦. 藜麦及其资源开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(2): 62-66.
- [4] 王晨静, 赵习武, 陆国权, 等. 藜麦特性及开发利用研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(2): 296-301.
- [5] 杨发荣, 黄杰, 魏玉明, 等. 藜麦生物学特性及应用[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 607-613.
- [6] Zhao P S, Li X F, Sun H, et al. Healthy values and de novo domestication of sand rice (*Agriophyllum squarrosum*), a comparative view against *Chenopodium quinoa* [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(19): 4188-4209.
- [7] 申瑞玲, 张文杰, 董吉林, 等. 藜麦的主要营养成分、矿物元素及植物化学物质含量测定[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2015, 30(增刊2): 17-21.
- [8] Filli K, Nkama I, Jideani V. The effect of extrusion conditions on the physical and functional properties of millet - Bambara groundnut based fura[J]. American Journal of Food Science and Technology, 2013, 1: 87-101.
- [9] 贡布扎西, 旺姆, 张崇玺, 等. 南美藜在西藏的生物学特性研究[J]. 西北农业学报, 1994, 3(4): 81-86.
- [10] 任贵兴, 杨修仕, 么杨. 中国藜麦产业现状[J]. 作物杂志, 2015(5): 1-5.
- [11] 魏玉明, 杨发荣, 刘文瑜, 等. 陇东旱塬区复种不同藜麦品种(系)的适应性初步评价[J]. 西北农业学报, 2020, 29(5): 675-686.
- [12] 《天祝藏族自治县志》编纂委员会编. 天祝藏族自治县志(1989—2005)[M]. 北京: 方志出版社, 2007.
- [13] 陈志杰, 白永平, 周亮. 高寒山地生态脆弱区聚落空间格局特征及成因识别: 以天祝藏族自治县为例[J]. 生态学报, 2020, 40(24): 9059-9069.
- [14] 石振兴. 国内外藜麦品质分析及其减肥活性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [15] 李凝. 藜麦矿物质元素分析及皂苷分离方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [16] 和丽媛, 王玲, 吕俊梅. 藜麦营养组成及生物学功能研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(4): 11-15.
- [17] Cao H W, Sun R L, Shi J R, et al. Effect of ultrasonic on the structure and quality characteristics of quinoa protein oxidation aggregates[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 77: 105685.
- [18] 方棋. 中国藜麦加工产业集聚调研及四川藜麦加工产业发展分析[D]. 成都: 成都大学, 2021.
- [19] 赵亚东, 党斌, 杨希娟, 等. 青海藜麦皂苷超声提取工艺及抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 45-51, 62.
- [20] 卢宇, 张美莉, 王欣, 等. 内蒙古藜麦的营养成分分析及评价[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(9): 50-54.
- [21] 陈静茹, 王晓巍, 颀建明, 等. 甘谷辣椒产地环境及产品品质分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(14): 251-256, 262.
- [22] 农业农村部新闻办公室. 农业农村部召开常务会议强调坚持保安全提品质一起抓 不断提升农产品质量安全水平[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 81.
- [23] 中华人民共和国农业农村部. 绿色食品 产地环境质量: NY/T 391—2021[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [24] 李想, 朱丽丽, 李小飞, 等. 青海柴达木盆地藜麦品质表现及营养成分聚类分析[J]. 华北农学报, 2020, 35(增刊1): 209-219.
- [25] 王思宇, 左文博, 朱凯莉, 等. 71 份藜麦品种资源的农艺性状及营养品质分析与评价[J]. 作物杂志, 2022(3): 63-72.
- [26] 王倩朝, 孔治有, 刘俊娜, 等. 藜麦籽粒主要营养及抗氧化成分遗传特性分析与评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2020, 35(6): 931-937.
- [27] Ponce de León Saavedra P, del Carmen Valdez - Arana J. Nutritional and functional evaluation of 17 quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) accessions cultivated in the Andean area of Peru[J]. Scientia Agropecuaria, 2021, 12(1): 15-23.
- [28] 胡秋霞, 张国香, 康乐, 等. 藜麦营养特性及开发利用研究进展[J]. 现代农业科技, 2022(15): 181-185.
- [29] 王洋, 杜会石, 鲍庆哈. 藜麦种质资源萌发期抗旱性综合评价及抗旱指标筛选[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(19): 62-68.
- [30] 张国香, 胡秋霞, 李刚. ICP-MS 测定不同产地藜麦中 27 种无机元素[J]. 食品工业, 2022, 43(5): 318-322.
- [31] 赵丹青, 开建荣, 路洁, 等. 宁夏不同产区、不同品种藜麦的主要营养成分和矿物元素含量分析[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(6): 62-65.
- [32] 陈志婧, 廖成松. 7 个不同品种藜麦营养成分比较分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 266-271.
- [33] 李美凤, 刘雨诗, 王丽姣, 等. 不同产地藜麦籽氨基酸组成及其营养价值评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 289-292, 308.