

3 个海拔梯度下不同粒色青稞品质的差异分析

旺 姆¹, 羊海珍¹, 顿珠加布¹, 巴桑玉珍¹, 谢汝婷²

(1. 西藏自治区农牧科学院农业研究所, 西藏 拉萨 850032; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:为探明海拔梯度对不同粒色青稞品质的影响及营养品质含量之间的差异, 利用分层聚类、相关性分析及主成分分析法对 80 份青稞品种(系)在 3 个海拔梯度下的青稞籽粒中淀粉、蛋白质、膳食纤维、花青素和维生素 E 含量共 5 个籽粒品质性状进行分析。结果表明:不同海拔梯度下的 80 份青稞样品作方差分析, 3 个地区取得的数据按照海拔高低两两做差可以分为 6 类, 73.75% 的青稞蛋白质含量随着海拔的升高而降低且有显著差异, 45% 青稞淀粉含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异, 46.25% 的青稞维生素 E 含量随着海拔的升高而降低且有显著差异, 81.25% 青稞花青素含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异, 40% 青稞膳食纤维含量随着海拔的升高而升高并有显著差异。

关键词:海拔梯度; 不同粒色; 青稞; 品质

中图分类号: S512.3

文献标识码: A

Analysis of Differences in Quality of Hulless Barley with Different Grain Color at Three Elevation Gradients

Wangmu¹, YANG Haizhen¹, Dunzhujiabu¹, Basangyuzhen¹, XIE Ruting²

(1. Institute of Agricultural Sciences, Xizang Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa Xizang 850032, China; 2. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to investigate the influence of altitude gradient on the quality of hulless barley with different grain color and the differences of nutrient content, the present study used hierarchical clustering, correlation analysis, and principal component analysis to analyze the contents of five seed quality traits (starch, protein, dietary fiber, anthocyanin, and vitamin E) in 80 barley varieties (lines) at three altitude gradients. The results showed that the 80 barley samples from the three regions were subjected to a one-way ANOVA, and the data obtained from the three regions were divided into six categories according to the altitude. The protein content of 73.75% hulless barley decreased with increasing altitude and showed a significant difference. 45% of the barley starch content increased first and then decreased with increasing altitude and showed a significant difference. 46.25% of the barley vitamin E content decreased with increasing altitude and showed a significant difference. 81.25% of the barley anthocyanin content increased first and then decreased with increasing altitude and showed a significant difference. 40% of the barley dietary fiber content increased with increasing altitude and showed a significant difference.

Key words: altitude gradient; different grain color; hulless barley; quality

青稞由于受到生长地理位置和环境影响其品质差异较大, 同时, 青稞品质又受到基因型、环境及其互作的影响^[1-2]。海拔是影响作物产量和品质的重要环境因子之一, 海拔高度不同, 温度、光照强度、降水量等环境因子差异巨大, 因而会对作物的生长发育产生不同的影响, 并最终影响

到产量和品质^[3-4]。

国内外就海拔对作物产量和品质的影响开展了广泛的研究。谭亚玲等研究了 6 个水稻品种在不同海拔高度下的生长情况, 结果发现随着种植地海拔的升高, 水稻生育期延长, 株高变矮, 穗长变短, 有效穗、穗总粒数降低, 但千粒质量、

收稿日期: 2024-10-11

基金项目: 西藏自治区自然科学基金项目(XZ202201ZR0017G); 西藏自治区财政专项资金项目(XZNKYNYS-2023-C-013)。

作者简介: 旺姆(1989—), 女, 助理研究员, 主要从事青稞遗传育种研究, E-mail: Wm1252354663@163.com。

通信作者: 巴桑玉珍(1979—), 女, 副研究员, 主要从事青稞遗传育种研究, E-mail: alipulan@163.com;

谢汝婷(2001—), 女, 硕士, 主要从事油菜遗传育种研究, E-mail: xrt1866158@163.com。

结实率差异不大^[5]；Norman 等研究发现，在赤道几内亚的同纬度地带，在一定的高度范围内，海拔每升高 100 m，玉米的成熟期平均延迟 7.6 d^[6]；郭铭等通过对 4 个不同海拔地区大麦品种的农艺性状、产量的研究表明，海拔的高低对大麦生长发育、产量、品质都有很大影响^[7]；郑顺林等研究了不同海拔高度对紫色马铃薯产量、品质及花青素含量的影响，结果表明，随着海拔的升高，紫色马铃薯产量、粗蛋白、淀粉、花青素含量呈增加趋势^[8]；李敏等分析了 5 个苦荞品种在两个不同海拔高度下籽粒的黄酮、氨基酸、多酚的含量变化，表明不同海拔高度条件下品种间 3 种营养成分均呈现不同程度的变化^[9]；白婷等通过在 5 个不同海拔高度对 2 个推广型青稞品种品质方面的多重比较分析，发现海拔对青稞籽粒的品质影响显著^[10]。目前学者围绕海拔因子对作物品质的影响做了大量研究，但关于不同海拔梯度下不同粒色青稞的品质差异研究相对较少。本研究从青稞核心种质资源库中选取 80 份不同粒色的青稞品种(系)为材料，对其在 3 个海拔梯度下的籽粒

淀粉、蛋白质、膳食纤维、花青素和维生素 E 含量进行测定，并利用分层聚类、相关性及主成分分析法进行分析，以期对不同海拔生态区青稞生产布局及专用型青稞品种的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料源于青稞育种创新团队前期实验筛选的青稞核心种质资源，从中选取 80 份不同粒色的青稞种质资源，包括白青稞、蓝青稞、紫青稞和黑(褐)青稞各 20 份，均由西藏自治区农牧科学院农业研究所提供，具体品种名称及籽粒颜色见表 1。

1.2 试验设计

试验设置在林芝、拉萨、日喀则 3 个不同海拔高度地区种植，海拔高度分为 2 950 m(林芝市巴宜区米瑞乡)、3 630 m(拉萨市农业所试验地)、4 460 m(日喀则市聂拉木县琐作乡)，每个材料种植 3 行，每行 50 粒，行长 1 m，行距 0.25 m。播种前测定土壤 N、P、K 含量，确保参试点土壤处于中等肥力水平。

表 1 青稞品种(系)

序号	品种	粒色	序号	品种	粒色	序号	品种	粒色
1	藏青 3000	白色	28	藏 0918	蓝色	55	ZDM5769	褐色
2	13-6927	白色	29	藏 0119	蓝色	56	ZYM2162	褐色
3	12-10556	白色	30	ZDM4530	蓝色	57	藏 0603	褐色
4	康青 7 号	白色	31	ZDM5629	蓝色	58	隆子黑青稞	褐色
5	甘青 5 号	白色	32	藏 0338	蓝色	59	藏 0840	褐色
6	ZDM4494	白色	33	ZDM5454	蓝色	60	WDM03290	褐色
7	ZDM5504	白色	34	甘青 4 号	蓝色	61	藏 0438	褐色
8	藏 1348	白色	35	藏 0643	蓝色	62	旱地紫青稞	褐色
9	ZDM458	白色	36	ZDM4811	蓝色	63	ZDM5732	褐色
10	藏 0469	白色	37	ZDM08790	蓝色	64	藏 0644	褐色
11	阿里白青稞	白色	38	藏 0236	蓝色	65	藏 0699	褐色
12	藏青 13 号	白色	39	ZDM4795	蓝色	66	藏 0278	褐色
13	藏青 85 号	白色	40	ZDM4818	蓝色	67	藏 0920	褐色
14	藏青 2000	白色	41	ZDM4786	褐色	68	藏 0786	褐色
15	藏青 320	白色	42	ZDM4673	褐色	69	藏 0674	褐色
16	昆仑 14	白色	43	ZDM4381	褐色	70	藏 0929	紫色
17	喜拉 22	白色	44	ZDM5598	褐色	71	青永 161	紫色
18	藏青 18	白色	45	藏 0388	褐色	72	海南紫青稞	紫色
19	北青 9	白色	46	藏 0994	褐色	73	藏 0700	紫色
20	WDM03157	白色	47	ZDM5547	褐色	74	藏 0262	紫色
21	藏青 690	蓝色	48	ZDM08706	褐色	75	藏 0415	紫色
22	ZDM4789	蓝色	49	ZDM5736	褐色	76	藏 1312	紫色
23	ZDM4731	蓝色	50	ZYM2183	褐色	77	藏 0522	紫色
24	藏 0414	蓝色	51	藏 0678	褐色	78	藏 0333	紫色
25	ZDM5709	蓝色	52	藏 0315	褐色	79	藏 0328	紫色
26	ZDM5773	蓝色	53	针芝黑青稞	褐色	80	藏 0517	紫色
27	ZDM4303	蓝色	54	ZDM4275	褐色	/	/	/

1.3 测定指标

1.3.1 淀粉含量的测定

淀粉含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》(GB 5009.9-2016)。

1.3.2 蛋白质含量的测定

蛋白质含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5-2016)。

1.3.3 膳食纤维含量的测定

膳食纤维含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》(GB 5009.88-2014)。

1.3.4 花青素含量测定

花青素含量的测定参照《紫穗玉米花青素测定 分光光度法》(DB22/T 2529-2016)。

1.3.5 维生素 E 含量的测定

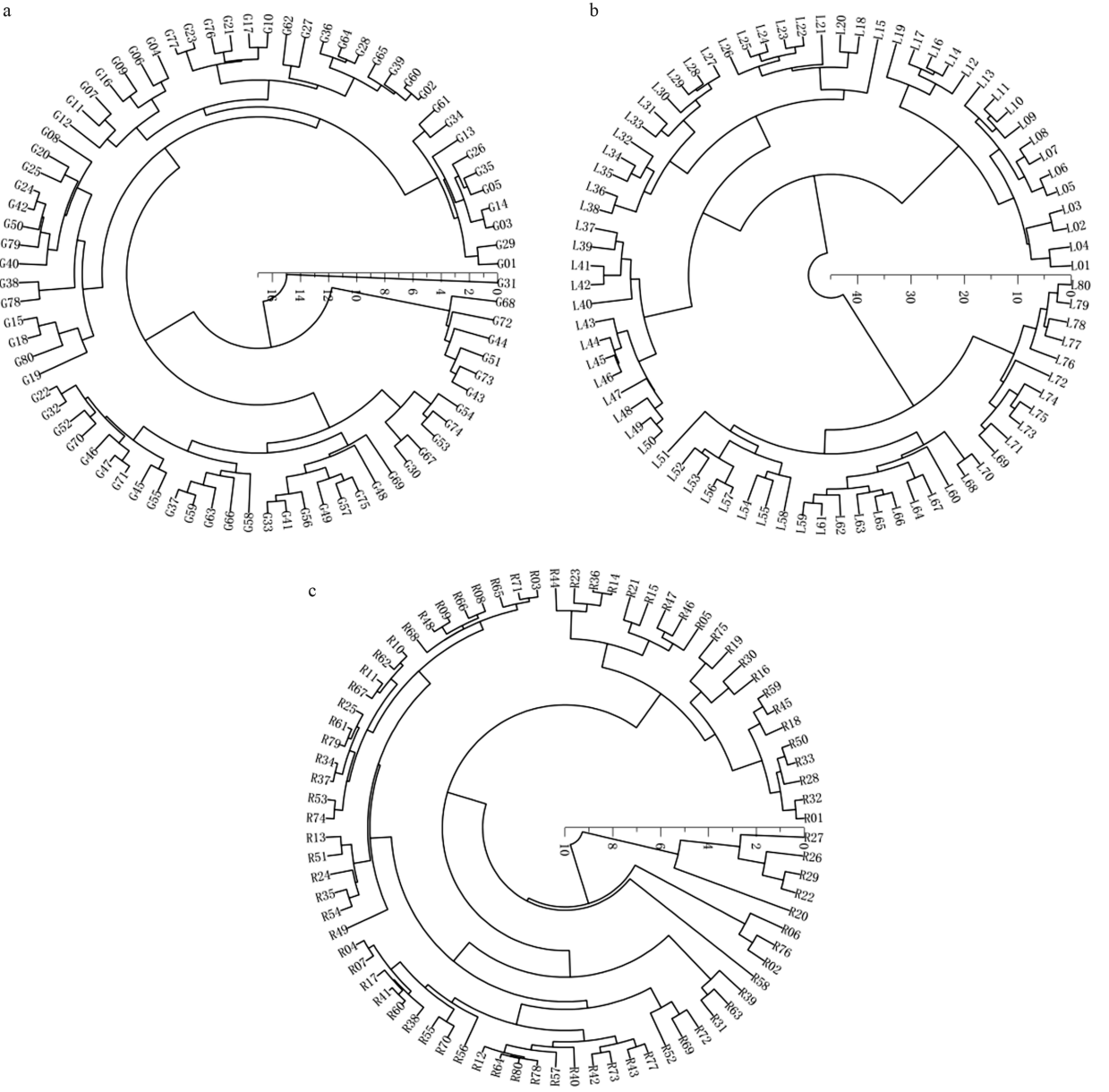
维生素 E 含量测定的方法参照《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》(GB 5009.82-2016)。

2 结果与分析

2.1 不同粒色青稞在不同地区基本营养品质聚类分析

2.1.1 林芝 80 个青稞品种营养成分聚类结果

根据淀粉、蛋白质、膳食纤维、花青素、维生素 E 含量,采用组间联接(平方欧氏距离)法,对林芝参试的青稞品种进行聚类分析,结果如图 1a、表 2 所示。



注:a.林芝;b.拉萨;c.日喀则

图 1 不同地区不同粒色青稞基本营养品质聚类分析图

表 2 林芝 80 个青稞品种营养成分聚类结果

类别	品种序号	蛋白质/ g · (100 g) ⁻¹	淀粉/ g · (100 g) ⁻¹	维生素 E/ g · (100 g) ⁻¹	花青素/ g · kg	膳食纤维/ g · (100 g) ⁻¹
Ⅰ类	G01、G02、G03、G04、G05、G06、 G07、G08、G09、G10、G11、G12、 G13、G14、G15、G16、G17、G18、 G19、G20、G21、G23、G24、G25、 G26、G27、G28、G29、G34、G35、 G36、G37、G38、G39、G40、G42、 G50、G58、G59、G60、G61、G62、 G63、G64、G65、G66、G76、G77、 G78、G79、G80	14.68	54.89	0.44	0.023	18.59
	G22、G30、G32、G33、G41、G43、 G44、G45、G46、G47、G48、G49、 G51、G52、G53、G54、G55、G56、 G57、G67、G68、G69、G70、G71、 G72、G73、G74、G75	17.52	47.48	0.44	0.032	19.44
Ⅲ类	G31	14.00	66.80	0.33	0.028	18.28

将参试青稞分为 3 大类,第一类包括 51 个品种,以白色、蓝色和紫色青稞为主,分别占第一类总品种的 39.21%、29.41%和 21.57%,此类青稞具有高含量的淀粉(54.89 g/100 g),维生素 E 含量与第二类持平,其余营养成分指标略低于第二类;第二类包括 28 个品种,以褐色为主,占第二类总品种 53.57%,另外还有 4 种蓝色青稞和 9 种紫色青稞,此类青稞具有高蛋白质含量

(17.52 g/100 g)、花青素含量(0.032 g/kg)和膳食纤维(19.44 g/100 g);第三类仅包括 1 个品种,为蓝色青稞。

2.1.2 拉萨 80 个青稞品种营养成分聚类结果

根据淀粉、蛋白质、膳食纤维、花青素、维生素 E 含量,采用组间联接(平方欧氏距离)法,对拉萨参试的青稞品种进行聚类分析,结果如图 1b、表 3 所示。

表 3 拉萨 80 个青稞品种营养成分聚类结果

类别	品种序号	蛋白质/ g · (100 g) ⁻¹	淀粉/ g · (100 g) ⁻¹	维生素 E/ g · (100 g) ⁻¹	花青素/ g · kg	膳食纤维/ g · (100 g) ⁻¹
Ⅰ类	L01、L02、L03、L04、L05、L06、L07、 L08、L09、L10、L11、L12、L13、L14、 L16、L17L18、L19、L20、L21、L22、 L23、L24、L25、L26、L27、L28、L29、 L30、L31、L33、L34、L35、L36、L37、 L38、L39、L40、L41、L42、L43、L44、 L45、L46、L47、L48、L49、L50、L52、 L53、L54、L55L56、L57、L58、L59、 L61、L62、L63、L64、L65、L66、L67、 L68、L69、L70、L71、L72、L73、L74、 L75、L76、L77、L78、L79、L80	12.99b	56.56a	0.30ab	0.166a	20.24a
	L15、L32	13.70b	45.35a	0.21b	0.102b	20.37a
Ⅲ类	L51、L60	12.15a	57.30a	0.44a	0.145a	27.54a

将参试青稞分为 3 大类,第一类包括 76 个品种,占据了 3 类中的大部分品种,此类青稞具有高含量的花青素(0.166 g/kg);第二类包括 2 个品种,1 株白色 1 株蓝色,此类青稞具有高蛋白质含量(13.70 g/100 g),其余营养成分指标略低于其他两类;第三类包括 2 个品种,均为褐色青稞,此类青稞具有高淀粉含量(57.30 g/100 g),高维生素 E 含量(0.44 g/100 g),高膳食纤维(27.54 g/100 g)。

2.1.3 日喀则 80 个青稞品种营养成分聚类结果

根据淀粉、蛋白质、膳食纤维、花青素、维生素 E 含量,采用组间联接(平方欧氏距离)法,对日喀则参试的青稞品种进行聚类分析,结果如图 1c、表 4 所示。

将参试青稞分为 3 大类,第一类包括 61 个品种,以紫色、褐色和白色青稞为主,分别占第一类总品种的 31.15%、26.23%和 22.95%,此类青稞具有高含量的淀粉(57.03 g/100 g),高花青素

含量(0.120 g/kg);第二类包括 18 个品种,以白色和蓝色为主,分别占第二类总品种的 44.44%、33.33%,另外还有 3 种褐色青稞和 1 种紫色青稞,此类青稞具有高蛋白质含量(10.47 g/100 g)

和膳食纤维(20.95 g/100 g),其余营养成分指标略低于第一类;第三类仅包括 1 个品种,为黑色青稞。说明青稞营养成分含量的差异同时受到品种、颜色及海拔的影响。

表 4 日喀则 80 个青稞品种营养成分聚类结果

类别	品种序号	蛋白质/ g · (100 g) ⁻¹	淀粉/ g · (100 g) ⁻¹	维生素 E/ g · (100 g) ⁻¹	花青素/ g · kg	膳食纤维/ g · (100 g) ⁻¹
I 类	R01、R02、R03、R04、R06、R07、R08、R09、R10、R11、R12、R13、R17、R18、R24、R25、R28、R31、R32、R33、R34、R35、R37、R38、R39、R40、R41、R42、R43、R45、R48、R49、R50、R51、R52、R53、R54、R55、R56、R57、R59、R60、R61、R62、R63、R64、R65、R66、R67、R68、R69、R70、R71、R72、R73、R74、R76、R77、R78、R79、R80	9.89	57.03	0.24	0.120	20.92
II 类	R05、R14、R15、R16、R19、R20、R21、R22、R23、R26、R27、R29、R30、R36、R44、R46、R47、R75	10.47	50.63	0.24	0.061	20.95
III 类	R58	15.90	54.40	0.50	0.066	20.74

2.2 不同青稞品种营养品质指标相关性分析

对青稞品种主要营养品质指标进行相关性分析,目的是为了揭示各个品质指标之间的关联程度,从而为青稞营养品质指标的合理选择提供一定依据;进行相关性分析,意味着通过测定部分指标就可以预测到与之相关指标的增减趋势,相关性越强,趋势越明显。

2.2.1 林芝 80 份青稞品种营养品质特征指标相关性分析

从表 5 可知,林芝 80 个青稞品种 5 项营养品质指标之间均表现出不同的相关性。蛋白质

与花青素、膳食纤维有正相关性且有极显著差异,蛋白质与淀粉、维生素 E 有负相关性且与淀粉的负相关性达极显著水平,表明花青素、膳食纤维、淀粉的改变影响青稞蛋白质的含量;淀粉与维生素 E、花青素、膳食纤维有负相关性,其中花青素和膳食纤维与淀粉的相关性达极显著水平,表明花青素、膳食纤维的改变影响青稞淀粉的含量;维生素 E 与花青素、膳食纤维有正相关性无显著差异;花青素与膳食纤维有正相关性并有极显著差异。

表 5 林芝 80 份青稞品种营养品质特征指标相关性分析

指标	蛋白质	淀粉	维生素 E	花青素	膳食纤维
蛋白质	1				
淀粉	-0.530**	1			
维生素 E	-0.026	-0.220	1		
花青素	0.424**	-0.345**	0.051	1	
膳食纤维	0.451**	-0.355**	0.139	0.423**	1

注: * 表示显著相关($p < 0.05$), ** 表示极显著相关($p < 0.01$),下同。

2.2.2 拉萨 80 份青稞品种营养品质特征指标相关性分析

从表 6 可知,拉萨 80 个青稞品种 5 项营养品质指标之间均表现出不同的相关性。蛋白质与维生素 E 有正相关性,蛋白质与淀粉、花青素、膳食纤维有负相关性且与淀粉的负相关性达显

著水平;淀粉与维生素 E、花青素有正相关性且与花青素的相关性达显著水平,淀粉与膳食纤维有负相关性;维生素 E 与花青素有正相关性且达极显著差异水平,维生素 E 与膳食纤维有负相关性,表明花青素的改变影响青稞维生素 E 的含量;花青素与膳食纤维有负相关性无显著差异。

表 6 拉萨 80 份青稞品种营养品质特征指标相关性分析

指标	蛋白质	淀粉	维生素 E	花青素	膳食纤维
蛋白质	1				
淀粉	-0.286 *	1			
维生素 E	0.017	0.117	1		
花青素	-0.196	0.257 *	0.370 * *	1	
膳食纤维	-0.188	-0.029	-0.112	-0.067	1

2.2.3 日喀则 80 份青稞品种营养品质特征指标相关性分析

从表 7 可知,日喀则 80 个青稞品种 5 项营养品质指标之间均表现出不同的相关性。蛋白质与淀粉、花青素、膳食纤维有负相关性且与花青素的负相关性达显著水平,蛋白质与维生素 E 有

正相关性;淀粉与维生素 E 有负相关性,淀粉与花青素、膳食纤维有正相关性且与花青素的相关性达显著水平;维生素 E 与花青素、膳食纤维有负相关性无显著差异;花青素与膳食纤维有正相关性也无显著差异。

表 7 日喀则 80 份青稞品种营养品质特征指标相关性分析

指标	蛋白质	淀粉	维生素 E	花青素	膳食纤维
蛋白质	1				
淀粉	-0.209	1			
维生素 E	0.086	-0.063	1		
花青素	-0.226 *	0.283 *	-0.015	1	
膳食纤维	-0.101	0.159	-0.144	0.108	1

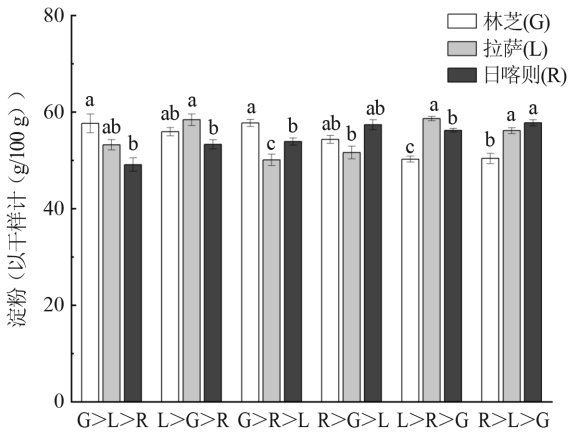
2.3 不同粒色青稞在 3 个海拔梯度下的品质差异分析

选取 3 个海拔梯度的 80 份青稞样品做方差分析,3 个地区取得的数据按照海拔高低两两做差可以分为 6 类,分别为:林芝>拉萨>日喀则(G>L>R)、拉萨>林芝>日喀则(L>G>R)、林芝>日喀则>拉萨(G>R>L)、日喀则>林芝>拉萨(R>G>L)、拉萨>日喀则>林芝(L>R>G)、日喀则>拉萨>林芝(R>L>G)。

青稞的淀粉含量在 2 个地区分为 6 个类型,G>L>R 占 6 种类型的 8.75%,L>G>R 占 8.75%,G>R>L 占 8.75%,R>G>L 占 8.75%,L>R>G 占 45%,R>L>G 占 20%(图 2)。8.75%的青稞淀粉含量随着海拔的升高而降低,8.75%的青稞淀粉含量随着海拔的升高先升高后降低,8.75%的青稞淀粉含量随着海拔的升高先降低后升高且有显著差异,8.75%青稞淀粉含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异,20%青稞淀粉含量随着海拔的升高而升高。

青稞的蛋白质含量在 3 个地区分为 4 个类型,G>L>R 占 4 种类型的 73.75%,L>G>R 占 20%,G>R>L 占 3.75%,R>G>L 占 2.5%(图 3)。73.75%的青稞蛋白质含量随着海拔的

升高而降低且有显著差异,20%的青稞蛋白质含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异,3.75%的青稞蛋白质含量随着海拔的升高先降低后升高但林芝显著高于拉萨和日喀则,2.5%青稞蛋白质含量随着海拔的升高先降低后升高。



注:不同小写字母表示组间在 0.05 水平上差异显著,下同。

图 2 海拔对青稞淀粉含量的影响

青稞的膳食纤维含量在 3 个地区分为 5 个类型,G>L>R 占 5 种类型的 2.5%,L>G>R 占 8.75%,R>G>L 占 18.75%、L>R>G 占 28.75%、R>L>G 占 40%(图 4)。2.5%的青稞膳食纤维含量随着海拔的升高降低且无显著差异,8.75%的青稞膳食纤维含量随着海拔的升高先升高后降低,18.75%青稞膳食纤维含量随着

海拔的升高先降低后升高有显著差异,28.75%青稞膳食纤维含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异,40%青稞膳食纤维含量随着海拔的升高升高有显著差异。

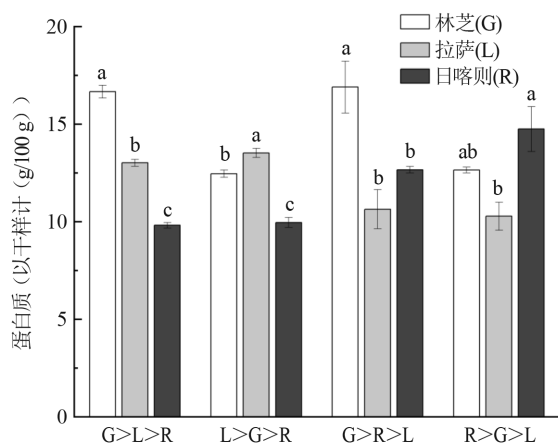


图 3 海拔对青稞蛋白质含量的影响

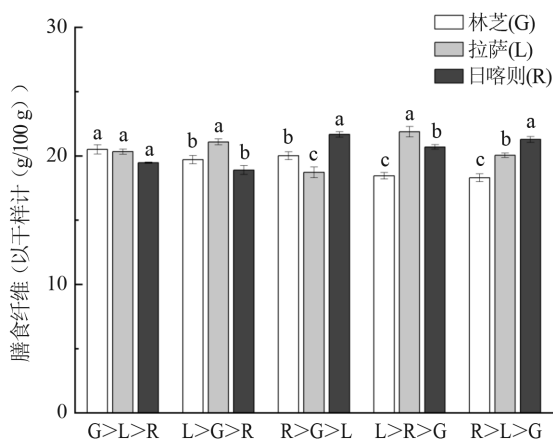


图 4 海拔对青稞膳食纤维含量的影响

青稞的花青素含量在 3 个地区分为 2 个类型, L>R>G 占 81.25%, R>L>G 占 17.50% (图 5)。81.25%青稞花青素含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异, 17.50%青稞花青素含量随着海拔的升高升高且有显著差异。

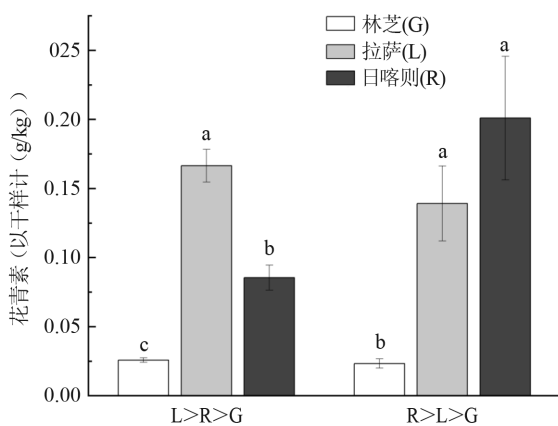


图 5 海拔对青稞花青素含量的影响

青稞的维生素 E 含量在 3 个地区分为 5 个类型, G>L>R 占 5 种类型的 46.25%, L>G>R 占 12.5%, G>R>L 占 28.75%, R>G>L 占 2.5%, L>R>G 占 5% (图 6)。46.25%的青稞维生素 E 含量随着海拔的升高降低且有显著差异, 12.5%的青稞维生素 E 含量随着海拔的升高先升高后降低且差异显著, 28.75%的青稞维生素 E 含量随着海拔的升高先降低后升高且有显著差异, 2.5%青稞维生素 E 含量随着海拔的升高先降低后升高无显著差异, 5%青稞维生素 E 含量随着海拔的升高先升高后降低。

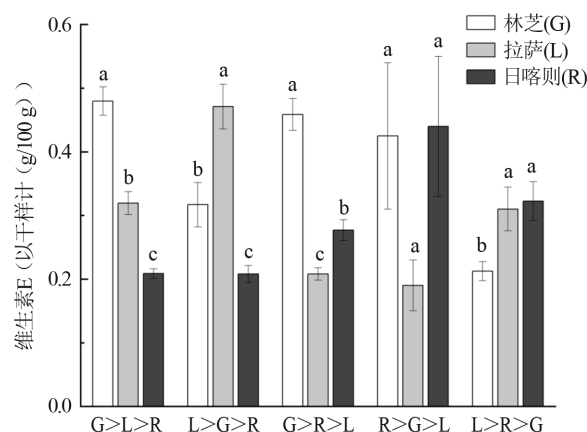


图 6 海拔对青稞维生素 E 含量的影响

3 讨论与结论

3.1 3 个地区的不同粒色青稞基本营养品质聚类分析

以测定的青稞基本营养成分含量为指标分别进行 3 个地区的聚类分析, 发现 80 个青稞品种在 3 个地区分别被分为 3 类: 在林芝和日喀则大多数青稞品种具有高淀粉含量, 而在拉萨大多数青稞品种具有高花青素含量, 说明青稞营养成分含量的差异同时受到品种、颜色及海拔的影响。

3.2 不同粒色青稞营养品质指标相关性分析

对青稞品种主要营养品质指标进行相关性分析, 3 个地区品质指标之间的相关性发生了改变, 在林芝蛋白质与花青素、膳食纤维有正相关性且有极显著差异, 蛋白质与淀粉、维生素 E 有负相关性且与淀粉的负相关性达极显著水平; 与林芝对比, 在拉萨蛋白质与维生素 E 从负相关性变为正相关性, 蛋白质与淀粉的相关性无变化, 蛋白质与花青素、膳食纤维从正相关性变为负相关性, 与淀粉的负相关性达显著水平; 在日喀则

蛋白质与淀粉、花青素、膳食纤维有负相关性且与花青素的负相关性达显著水平,蛋白质与维生素 E 有正相关性与拉萨对比相关性没有发生变化。在林芝淀粉与维生素 E、花青素、膳食纤维有负相关性,其中花青素和膳食纤维与淀粉的相关性达极显著水平,与林芝相比在拉萨淀粉与维生素 E、花青素从负相关性变为正相关性且与淀粉的相关性达显著水平。淀粉与膳食纤维保持负相关性,与林芝对比在日喀则淀粉与维生素 E 保持负相关性,淀粉与花青素、膳食纤维从负相关性变为正相关性,其中花青素与淀粉的相关性达显著水平。在林芝维生素 E 与花青素、膳食纤维有正相关性且无显著差异,与林芝相比在拉萨维生素 E 与花青素保持正相关性且达极显著差异水平,维生素 E 与膳食纤维从正相关性变为负相关性,与林芝相比在日喀则维生素 E 与花青素、膳食纤维从正相关性变为负相关性无显著差异。在林芝花青素与膳食纤维有正相关性也无显著差异,与林芝相比在拉萨花青素与膳食纤维从正相关性变为负相关性且无显著差异,与林芝相比日喀则花青素与膳食纤维保持正相关性也无显著差异。

3.3 海拔梯度对不同粒色青稞营养品质的影响

不同海拔梯度下的 80 份青稞样品作方差分析,3 个地区取得的数据按照海拔高低两两做差进行分类,参试青稞的淀粉含量在 3 个地区分为 6 个类型, $L>R>G$ 类别占比最高为 45%,该类别青稞淀粉含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异,白婷等研究说明藏青 25 和喜马拉雅 22 号的淀粉含量均随海拔的升高先降低后升高,其中两个品种在海拔 3 836 m 时达到最大,虽然与大部分参试品种变化不符合,但与分类中 $R>L>G$ 类别符合,该类别占青稞品种的 20%^[10];参试青稞的蛋白质含量在 3 个地区分为 4 个类型, $G>L>R$ 占 4 种类型的 73.75%,该类别青稞蛋白质含量随着海拔的升高降低且有显著性差异,白婷等研究中,蛋白质含量海拔在 3 658 m 时,蛋白质含量最高,在海拔 3 836 m 时,含量最低,虽然与大部分参试品种变化不符合,但与分类中 $L>G>R$ 类别符合,该类别占青稞品种的 20%;参试青稞的膳食纤维含量在 3 个

地区分为 5 个类型, $R>L>G$ 类别占比最高为 40%,该类别青稞膳食纤维含量随着海拔的升高升高有显著差异;参试青稞的花青素含量在 3 个地区分为 2 个类型, $L>R>G$ 占 81.25%,该类别青稞花青素含量随着海拔的升高先升高后降低且有显著差异, $R>L>G$ 占 17.5%,该类别青稞花青素含量随着海拔的升高升高且有显著差异;参试青稞的维生素 E 含量在 3 个地区分为 5 个类型, $G>L>R$ 占 5 种类型的 46.25%,占比最高,青稞维生素 E 含量随着海拔的升高降低且有显著差异。

参考文献:

- [1] RONG Y X, XU N Y, XIE B Y, et al. Sequencing analysis of β -glucan from hulless barley with high performance anion exchange chromatography coupled to quadrupole time of Flight mass spectrometry [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 73: 235-242.
- [2] ARKADIUSZ SZPICER, ANNA ONOPIUK, ANDRZEJ POLTORAK, et al. The influence of oat β -glucan content on the physicochemical and sensory properties of low-fat beef burgers [J]. CyTA Journal of Food, 2020, 18(1): 315-327.
- [3] 徐菲, 党斌, 杨希娟, 等. 不同青稞品种的营养品质评价 [J]. 麦类作物学报, 2016, 36(9): 1249-1257.
- [4] 顿珠加布, 旺姆, 巴桑玉珍. 推动西藏青稞产业高质量发展的建议 [J]. 农业科技与信息, 2022(21): 107-111.
- [5] 谭亚玲, 洪汝科, 陈金凤, 等. 海拔高度对不同水稻品种生长的影响研究 [J]. 种子, 2009, 28(7): 27-30.
- [6] NORMAN D. Transitioning from paternalism to empowerment of farmers in low income countries: Farming components to systems [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(8): 1490-1499.
- [7] 郭铭, 闫栋, 马增科, 等. 不同海拔地区对大麦农艺性状和品质的影响 [J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34(6): 22-29.
- [8] 郑顺林, 张仪, 李世林, 等. 不同海拔高度对紫色马铃薯产量、品质及花青素含量的影响 [J]. 西南农业学报, 2013, 26(4): 1420-1423.
- [9] 李梅, 田世龙, 胡新元, 等. 不同生态区马铃薯品种(系)营养品质的灰色关联度分析 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(3): 222-232.
- [10] 白婷, 靳玉龙, 朱明霞, 等. 海拔差异对青稞品质影响的研究 [J]. 中国粮油学报, 2019, 34(2): 34-39.