

旺姆,谢汝婷,巴桑玉珍,等.海拔梯度下不同粒色青稞品种(系)农艺性状及品质性状的变化[J].山西农业科学,2025,53(5):112-122.

WANG M,XIE R T,BASANG Y Z,et al. Changes in agronomic traits and quality traits of different grain colored highland barley varieties(lines) under altitude gradient[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2025,53(5):112-122.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2025.05.13

## 海拔梯度下不同粒色青稞品种(系) 农艺性状及品质性状的变化

旺姆<sup>1</sup>,谢汝婷<sup>2</sup>,巴桑玉珍<sup>1</sup>,羊海珍<sup>1</sup>,顿珠加布<sup>1</sup>

(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:**为了通过初步阐明不同粒色青稞农艺性状及品质性状对不同海拔梯度的响应规律,为海拔梯度调控青稞农艺性状和品质性状提供理论依据,研究以80份不同粒色的青稞品种为材料,采用二因素随机区组设计于林芝、拉萨、日喀则3个不同海拔梯度地区进行种植试验,分析不同海拔梯度下青稞农艺和品质性状的变化规律。结果表明,随海拔梯度升高,其株高先增加后降低,穗长、穗粒数、有效分蘖数及总分蘖数无显著变化;在抗倒伏方面,3个地区种植的80份青稞品种均表现出明显差异。在林芝,58.75%的青稞品种倒伏;在拉萨和日喀则,15%的青稞品种倒伏,其中ZDM5736和藏0786这2个材料有1/5出现倒伏。相关性分析表明,株高、穗长与穗粒数均呈极显著正相关,穗粒数与千粒质量呈极显著负相关,有效分蘖数与总分蘖数呈极显著正相关。聚类分析结果表明,在3个地区均可将参试品种分为5类,且第2类株高均为最低,可作为抗倒伏种质资源。随海拔梯度升高,73.75%的青稞蛋白质含量降低,45%的青稞淀粉含量先升高后降低,46.25%的青稞维生素E含量降低,81.25%的青稞花青素含量先升高后降低,40%的青稞膳食纤维含量升高。

**关键词:**海拔;粒色青稞;农艺性状;品质

中图分类号:S512.3

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2025)05-0112-11

## Changes in Agronomic Traits and Quality Traits of Different Grain Colored Highland Barley Varieties(lines) under Altitude Gradient

WANG Mu<sup>1</sup>,XIE Ruting<sup>2</sup>,BASANG Yuzhen<sup>1</sup>,YANG Haizhen<sup>1</sup>,DUNZHU Jiabu<sup>1</sup>

(1.Institute of Agriculture,Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences,Lhasa 850032,China;

2.College of Agronomy,Northwest A & F University,Yangling 712100,China)

**Abstract:** In order to elucidate the response of agronomic and quality traits of different grain-colored highland barley to different altitude gradients, provide a theoretical basis for regulating the agronomic and quality traits of highland barley by altitudinal gradient, in this study, 80 varieties of highland barley with different grain colors were selected as materials, and a two-factor random block design was adopted to carry out planting experiments in three different altitude gradients of Nyingchi, Lhasa, and Xigaze, and analyze the changes of agronomic and quality traits of highland barley under different altitude gradients. The results showed that the plant height first increased and then decreased with the elevation gradient, while the spike length, grain number per spike, effective tillering number, and total tillering number had no significant changes. In terms of lodging resistance, 80 highland barley varieties planted in the three different altitude gradients showed obvious differences. In Nyingchi, 58.75% of highland barley varieties lay down; In Lhasa and Xigaze, 15% of highland barley varieties lay down, among which ZDM5736 and Zang 0786 lay down by 1/5. Correlation analysis showed that plant height and spike length were extremely significantly positively correlated with grain number per spike, grain number per spike was

收稿日期:2024-12-10

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

作者简介:旺姆,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:顿珠加布,助理研究员,硕士,主要从事青稞遗传育种研究,E-mail:xjtu\_dunzhu@163.com

extremely significantly negatively correlated with 1000-grain weight, and effective tillering number was extremely significantly positively correlated with total tillering number. Cluster analysis showed that the tested varieties could be divided into 5 types in the three altitude gradient areas, and the second type was the lowest in height, which could be used as lodging resistant germplasm. The protein content of 73.75% of highland barley decreased with increasing altitude gradient. The starch content of 45% of highland barley first increased and then decreased. The vitamin E content of 46.25% of highland barley decreased; the anthocyanin content of 81.25% of highland barley first increased and then decreased; the dietary fiber content of 40% of highland barley increased.

**Keywords:** altitude; grain colored highland barley; agronomic traits; quality

青稞作为高寒地区重要的粮食作物之一,因其富含丰富的营养价值和经济潜力而逐渐成为青藏高原地区农业经济增长的核心支柱。海拔是影响作物农艺性状、产量及品质的重要环境因子,不同海拔梯度可通过改变植株个体所接收的温度、降水、肥料、光照强度等资源而影响作物的生理生长以及生产过程,进而影响其生长发育、产量和品质<sup>[1]</sup>。国内外就海拔对作物生长的影响已开展过广泛研究,结果发现,随种植地海拔梯度的升高,大部分作物生育期延长,如水稻生育期随海拔梯度的升高而延迟,并呈现出一定的线性关系,但所需积温相对稳定,且不受播种期差异和地域条件的影响<sup>[2]</sup>;玉米灌浆期延长<sup>[3]</sup>,其成熟期也随海拔梯度的升高平均延长 7.6 d;高海拔试验地种植的小麦品种其生育期较低海拔试验地延长近 60 d<sup>[4]</sup>。此外,作物株高、穗长、穗粒数、千粒质量、有效分蘖数及总分蘖数均会因海拔梯度的变化而变化。如水稻随海拔梯度的升高,其株高变矮,穗长变短,有效穗数、每穗粒数降低,但千粒质量、结实率差异不大<sup>[2]</sup>;荞麦随海拔梯度的升高,其株高、千粒质量及产量均受到显著影响<sup>[5]</sup>;薏苡随海拔梯度的升高,其株高增加,有效分蘖数、结实率、百粒质量呈现先升高后降低的趋势<sup>[6]</sup>;大麦随海拔梯度的升高,其株高增加,产量也随之增加,但其穗数、穗粒数和千粒质量无显著差异,且各性状指标在各品种间表现出相对的稳定性<sup>[7]</sup>。在品质性状方面,刘淑云等<sup>[3]</sup>通过分析玉米籽粒品质响应不同海拔梯度的变化规律指出,随海拔梯度的升高,玉米籽粒中赖氨酸和蛋白质含量增加,可溶性糖和淀粉含量降低。环秀菊等<sup>[8]</sup>通过研究不同海拔梯度对藜麦主要品质性状的影响发现,高海拔地区藜麦的可溶性蛋白质、类黄酮、维生素 E 含量较高,直链淀粉、矿质元素含量较少。郑顺林等<sup>[9]</sup>研究不同海拔梯度对紫色马铃薯产量、品质及花青素含量的

影响,结果表明,随着海拔梯度的升高,紫色马铃薯的产量、粗蛋白、淀粉、花青素含量呈不断增加趋势,而可溶性糖含量呈不断降低趋势。综上所述,不同海拔梯度对作物品种的生育期、农艺性状、产量及品质等均有显著影响,但因品种不同影响各异。

近年来,诸多育种工作者对此展开广泛研究,发现在西藏区域居于首位的是有关青稞产量的研究,且在食用型青稞方面取得了良好进展,而与之相关的青稞品质性状的研究较为稀少。为弥补青稞品质性状研究的不足,助力筛选青稞品种的最佳适应性区域,本研究以 80 份不同粒色的青稞品种(紫青稞、黑青稞、蓝青稞和白青稞)为材料,2024 年通过在林芝、拉萨、日喀则等 3 个不同海拔梯度地区种植,测定其株高、穗长等农艺性状及营养品质,探究这些指标随海拔梯度的变化规律,以为青稞高产的最佳生产区域布局提供参考,为不同海拔地区优质高产青稞品种的选育提供数据参考,为促进青稞产业的可持续发展奠定基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试材料源于西藏自治区农牧科学院青稞育种创新团队前期试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,包括紫青稞、黑青稞、蓝青稞和白青稞各 20 份,均由西藏自治区农牧科学院农业研究所提供(表 1)。

### 1.2 试验设计

试验采用二因素随机区组设计,以林芝(巴宜区米瑞乡,海拔 2 950 m)、拉萨(农业所试验地,海拔 3 630 m)、日喀则(聂拉木县琐作乡,海拔 4 460 m) 3 个海拔梯度地区为试点。小区面积为 20 m<sup>2</sup> (10 m×2 m),3 次重复,每份青稞材料每个海拔设 3 个小区,根据当地的农事安排进行春播灌溉。人

工条播,播种 3 行,行长 1 m,行距 0.25 m,每行 50 粒,其余按常规栽培措施进行田间管理。另外,播种前需测定土壤 N、P、K 含量,确保参试点土壤

处于中等肥力水平,试验条件一致,青稞成熟后陆续收割。

表 1 青稞品种(系)

Tab.1 Highland barley varieties(lines)

| 序号<br>Number | 品种<br>Variety | 粒色<br>Seed color | 序号<br>Number | 品种<br>Variety | 粒色<br>Seed color | 序号<br>Number | 品种<br>Variety | 粒色<br>Seed color |
|--------------|---------------|------------------|--------------|---------------|------------------|--------------|---------------|------------------|
| 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        | 紫色               |
| 8            | 藏 1348        | 白色               | 35           | 藏 0643        | 蓝色               | 62           | 旱地紫青稞         | 紫色               |
| 9            | ZDM458        | 白色               | 36           | ZDM4811       | 蓝色               | 63           | ZDM5732       | 紫色               |
| 10           | 藏 0469        | 白色               | 37           | ZDM08790      | 蓝色               | 64           | 藏 0644        | 紫色               |
| 11           | 阿里白青稞         | 白色               | 38           | 藏 0236        | 蓝色               | 65           | 藏 0699        | 紫色               |
| 12           | 藏青 13 号       | 白色               | 39           | ZDM4795       | 蓝色               | 66           | 藏 0278        | 紫色               |
| 13           | 藏青 85 号       | 白色               | 40           | ZDM4818       | 蓝色               | 67           | 藏 0920        | 紫色               |
| 14           | 藏青 2000       | 白色               | 41           | ZDM4786       | 褐色               | 68           | 藏 0786        | 紫色               |
| 15           | 藏青 320        | 白色               | 42           | ZDM4673       | 褐色               | 69           | 藏 0674        | 紫色               |
| 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 测定项目及方法

1.3.1 农艺性状测定 待青稞成熟后,于每小区随机选取 10 株长势均匀一致的植株,测定其株高、穗长、穗粒数、千粒质量、有效分蘖数、总分蘖数、芒型、倒伏量等。

1.3.2 营养品质测定 取样同 1.3.1,分别测定不同海拔梯度下不同粒色青稞所含蛋白质、淀粉、维生素 E、花青素、膳食纤维含量等。其中,蛋白质含量参照 GB 5009.5—2010 测定;淀粉含量参照 GB 5009.9—2016 测定;维生素 E 含量参照 GB 5009.82—

2016 测定;花青素含量参照 SP-I-07—2013 测定;膳食纤维含量参照 GB/T 5009.10—2003 测定。

### 1.4 数据分析

试验数据经 Excel 2016 汇总整理,使用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析、相关性分析、聚类分析和 Duncan 多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海拔对青稞农艺性状的影响

2.1.1 不同海拔青稞农艺性状表现 试验结果表

明,在不同海拔梯度地区播种的青稞其株高具有显著差异( $P<0.05$ )。随海拔梯度的升高,38个青稞品种其株高呈现先降低后增高的趋势,占总品种数的47.5%,其中26个品种达到显著水平( $P<0.05$ );在海拔梯度由2 950 m上升至3 630 m时,33个青稞品种株高表现降低,但当海拔梯度上升至4 460 m时株高无明显变化,占总品种数的38.75%;9个青稞品种的株高随海拔梯度的升高显著降低。此外,随海拔梯度的升高,45%的青稞穗长、55%的青稞穗粒数、61.25%的青稞有效分蘖数、60%的青稞总分蘖数均无显著影响,37.5%的青稞穗长先增加后降低,23.75%的青稞穗粒数降低,其中ZDM5547和ZYM2162这2个材料的穗

粒数降低尤为显著。在品种抗倒伏方面,3个海拔梯度地区种植的80个青稞品种表现出明显差异。在林芝,58.75%的青稞品种倒伏;在拉萨和日喀则,15%的青稞品种倒伏,其中ZDM5736和藏0786这2个材料有1/5倒伏。

2.1.2 不同海拔青稞农艺性状相关性分析 从表2可以看出,种植于林芝、拉萨、日喀则不同海拔梯度下的青稞其不同农艺性状指标间均存在一定程度的相关性。株高、穗长与穗粒数均呈极显著正相关,相关系数分别为0.176、0.145;穗粒数与千粒质量呈极显著负相关( $P<0.01$ ),相关系数为-0.186;有效分蘖数与总分蘖数呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数为0.906。

表2 林芝、拉萨、日喀则80个青稞品种的农艺性状平均值相关性分析  
Tab.2 Correlation analysis of average values of agronomic traits of 80 highland barley varieties from Nyingchi, Lhasa, and Xigaze

| 指标<br>Index                      | 株高<br>Plant height | 穗长<br>Spike length | 穗粒数<br>Grain number<br>per spike | 有效分蘖数<br>Effective tillering<br>number | 总分蘖数<br>Total tillering<br>number | 千粒质量<br>1000-grain<br>weight |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 株高 Plant height                  | 1                  |                    |                                  |                                        |                                   |                              |
| 穗长 Spike length                  | -0.055             | 1                  |                                  |                                        |                                   |                              |
| 穗粒数 Grain number per spike       | 0.176**            | 0.145*             | 1                                |                                        |                                   |                              |
| 有效分蘖数 Effective tillering number | 0.024              | -0.026             | -0.048                           | 1.00                                   |                                   |                              |
| 总分蘖数 Total tillering number      | 0.037              | 0.022              | -0.056                           | 0.906**                                | 1                                 |                              |
| 千粒质量 1000-grain weight           | 0.026              | -0.082             | -0.186**                         | -0.052                                 | -0.073                            | 1                            |

注:\*表示在0.05水平上显著相关,\*\*表示在0.01水平上极显著相关。  
Note: \* represented significant correlation at the 0.05 level, \*\* indicated extremely significant correlation at the 0.01 level.

2.1.3 不同海拔青稞农艺性状聚类分析 以青稞株高、穗长、穗粒数、有效分蘖数、总分蘖数、千粒质量为切入点,采用组间联接(平方欧氏距离)法,对参试的青稞品种进行聚类分析,结果如表3~5所示,在林芝,可将参试青稞分为五大类(图1)。第1类有66个品种,包括白色品种14个、蓝色品种18个、褐色品种18个、紫色品种16个;第2类有9个品种,包括白色青稞4个、蓝色和褐色青稞各2个、1个紫色品种,该类青稞株高为5个类群中最低,可作为抗倒伏种质育种;第3类有2个品种,均为白色青稞;第4类有2个品种,均为紫色青稞;第5类仅有1个品种,为紫色青稞。在拉萨,亦可将参试青稞分为五大类(图2)。第1类有71个品种,包含白色品种16个、蓝色品种20个、褐色

品种18个、紫色品种17个;第2类有2个品种,包括1个白色青稞和1个褐色青稞,该类青稞株高为5个类群中最低,可作为抗倒伏种质育种;第3类有2个品种,均为白色青稞;第4类有1个白色青稞;第5类有4个品种,包括3个紫色青稞、1个褐色青稞。在日喀则,参试青稞品种亦可分为五大类(图3)。第1类有72个品种,包含白色品种17个、蓝色品种17个、褐色品种19个、紫色品种19个;第2类有2个品种,包括1个白色青稞和1个蓝色青稞,该类青稞株高为5个类群中最低,可作为抗倒伏种质育种;第3类有2个品种,均为白色青稞;第4类有2个品种,包括1个蓝色青稞和1个褐色青稞;第5类有2个品种,分别为1个紫色青稞、1个蓝色青稞。

表 3 林芝 80 个青稞品种农艺性状聚类结果

Tab.3 Clustering results of agronomic traits of 80 highland barley varieties in Nyingchi

| 类别<br>Category | 品种序号<br>Variety number                                                                                                                                                                                                                                                                              | 株高/cm<br>Plant height | 穗长/cm<br>Spike length | 穗粒数/<br>(粒/株)<br>Grain num-<br>ber per spike | 有效分蘖数/<br>(个/株)<br>Effective til-<br>lering number | 总分蘖数/<br>(个/株)<br>Total tiller-<br>ing number | 千粒质量/g<br>1000-grain<br>weight |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
| I 类 Type I     | G01、G02、G03、G04、G05、G06、G08、G09、G11、<br>G12、G14、G15、G17、G19、G21、G22、G23、G24、<br>G25、G26、G27、G28、G29、G30、G31、G32、G35、<br>G36、G37、G38、G39、G40、G41、G42、G43、G45、<br>G46、G47、G48、G50、G51、G52、G53、G54、G55、<br>G56、G57、G58、G59、G60、G61、G62、G63、G64、<br>G65、G66、G67、G69、G70、G72、G74、G75、G76、<br>G77、G78、G79 | 116.15                | 6.18                  | 67.02                                        | 3.82                                               | 4.14                                          | 29.78                          |
| II 类 Type II   | G07、G10、G13、G16、G33、G34、G44、G49、G80                                                                                                                                                                                                                                                                 | 93.80                 | 5.93                  | 66.18                                        | 3.71                                               | 3.80                                          | 30.94                          |
| III 类 Type III | G18、G20                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 107.80                | 5.43                  | 24.00                                        | 7.70                                               | 8.50                                          | 40.45                          |
| IV 类 Type IV   | G68、G73                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 104.80                | 5.64                  | 85.00                                        | 3.80                                               | 3.90                                          | 18.25                          |
| V 类 Type V     | G71                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 134.20                | 7.48                  | 92.80                                        | 2.80                                               | 2.60                                          | 31.48                          |

表 4 拉萨 80 个青稞品种农艺性状聚类结果

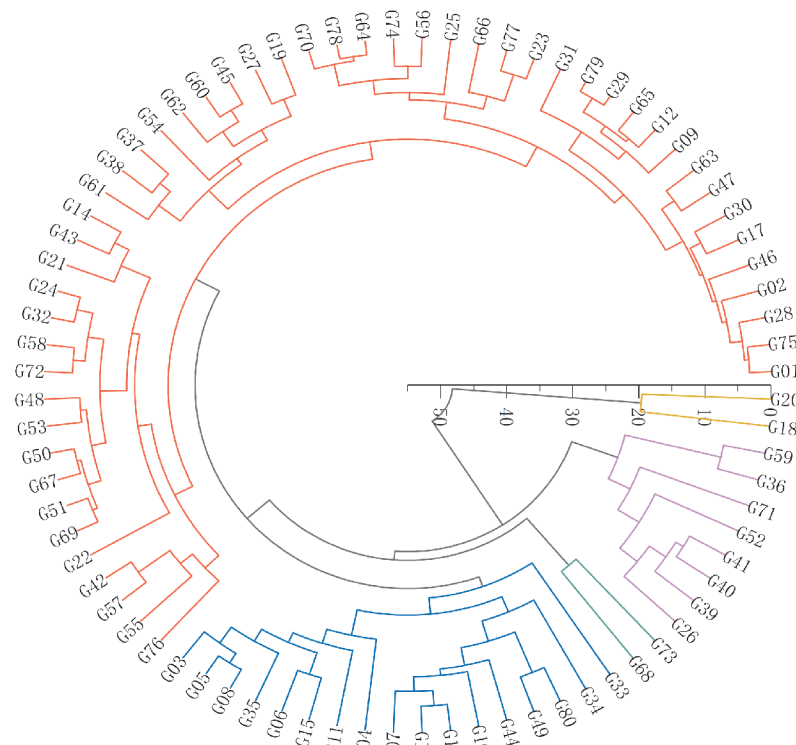
Tab.4 Clustering results of agronomic traits of 80 highland barley varieties in Lhasa

| 类别<br>Category | 品种序号<br>Variety number                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 株高/cm<br>Plant height | 穗长/cm<br>Spike length | 穗粒数/<br>(粒/株)<br>Grain num-<br>ber per spike | 有效分蘖数/<br>(个/株)<br>Effective til-<br>lering number | 总分蘖数/<br>(个/株)<br>Total tiller-<br>ing number | 千粒质量/g<br>1000-grain<br>weight |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
| I 类 Type I     | L01、L02、L03、L04、L05、L06、L07、L08、L09、L10、<br>L11、L12、L14、L15、L16、L17、L21、L22、L23、L24、<br>L25、L26、L27、L28、L29、L30、L31、L32、L33、L34、<br>L35、L36、L37、L38、L39、L40、L41、L42、L43、L45、<br>L46、L47、L48、L49、L51、L53、L54、L55、L56、L58、<br>L59、L60、L61、L62、L63、L65、L66、L67、L68、L71、<br>L72、L73、L74、L75、L76、L77、L78、L79、L80 | 74.28                 | 6.99                  | 59.21                                        | 3.77                                               | 4.09                                          | 31.64                          |
| II 类 Type II   | L13、L44                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 46.60                 | 5.58                  | 59.40                                        | 2.90                                               | 3.00                                          | 19.29                          |
| III 类 Type III | L18、L19                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 53.80                 | 8.04                  | 24.40                                        | 4.40                                               | 4.80                                          | 26.86                          |
| IV 类 Type IV   | L20                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 82.00                 | 6.36                  | 26.00                                        | 3.40                                               | 4.00                                          | 45.83                          |
| V 类 Type V     | L52、L64、L69、L70                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 96.70                 | 7.00                  | 74.10                                        | 4.55                                               | 4.70                                          | 33.73                          |

表 5 日喀则 80 个青稞品种农艺性状聚类结果

Tab.5 Clustering results of agronomic traits of 80 highland barley varieties in Xigaze

| 类别<br>Category | 品种序号<br>Variety number                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 株高/cm<br>Plant height | 穗长/cm<br>Spike length | 穗粒数/<br>(粒/株)<br>Grain num-<br>ber per spike | 有效分蘖数/<br>(个/株)<br>Effective til-<br>lering number | 总分蘖数/<br>(个/株)<br>Total tiller-<br>ing number | 千粒质量/g<br>1000-grain<br>weight |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
| I 类 Type I     | R01、R02、R03、R04、R05、R06、R07、R08、R09、<br>R10、R11、R12、R13、R14、R15、R17、R19、R21、<br>R22、R23、R25、R26、R27、R28、R29、R30、R31、<br>R32、R34、R35、R36、R37、R39、R40、R41、R42、<br>R43、R44、R45、R46、R47、R48、R49、R50、R52、<br>R53、R54、R55、R56、R57、R58、R59、R60、R61、<br>R62、R63、R65、R66、R67、R68、R69、R70、R71、<br>R72、R73、R74、R75、R76、R77、R78、R79、R80 | 83.97                 | 5.77                  | 59.09                                        | 4.40                                               | 3.86                                          | 34.83                          |
| II 类 Type II   | R16、R33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 59.00                 | 6.70                  | 71.00                                        | 4.10                                               | 3.70                                          | 36.42                          |
| III 类 Type III | R18、R20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 63.32                 | 5.00                  | 19.80                                        | 5.80                                               | 4.90                                          | 33.83                          |
| IV 类 Type IV   | R24、R51                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 110.45                | 7.21                  | 75.00                                        | 3.90                                               | 3.20                                          | 37.96                          |
| V 类 Type V     | R38、R64                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 272.36                | 6.63                  | 74.40                                        | 4.70                                               | 4.00                                          | 34.47                          |



红色代表第1类,蓝色代表第2类,黄色代表第3类,绿色代表第4类,紫色代表第5类。图2、3同

Red indicated type I , blue indicated type II , yellow indicated type III , green indicated type IV , purple indicated type V . The same as Fig.2 , 3

图1 林芝青稞品种聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of highland barley varieties in Nyingchi

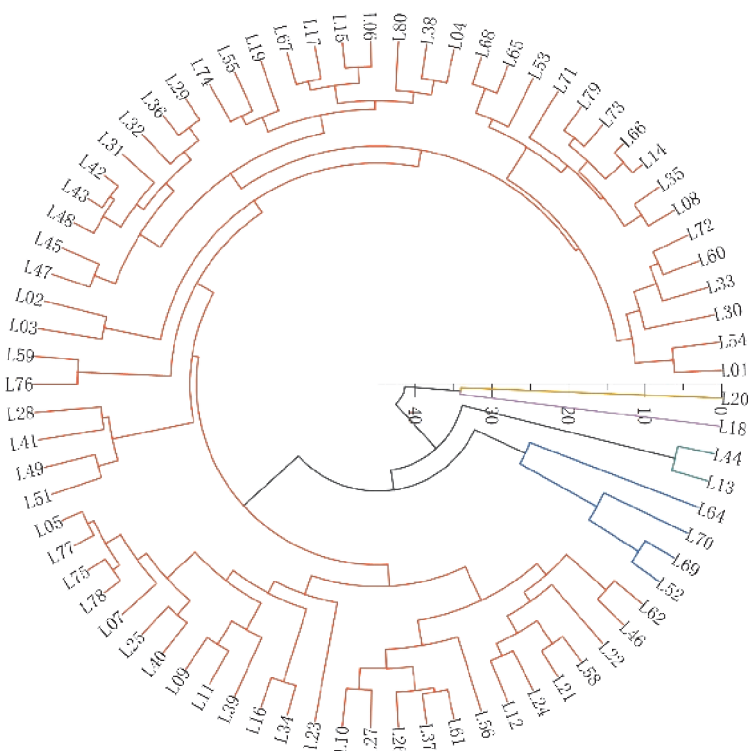


图2 拉萨青稞品种聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of highland barley varieties in Lhasa



**Fig.3 Cluster analysis of highland barley varieties in Xigaze**

析 林芝不同粒色青稞籽粒基本营养品质分析如

表6所示。

表6 林芝青稞籽粒营养品质分析

**Tab.6 Analysis of basic nutritional quality of highland barley with different grain colors in Linzhi**

| 粒色<br>Seed color | 数量/种<br>Number | 指标<br>Index | 蛋白质含量/<br>(g/100 g)<br>Protein content | 淀粉含量/<br>(g/100 g)<br>Starch content | 维生素E含量/<br>(g/100g)<br>Vitamin E content | 花青素含量/<br>(g/kg)<br>Anthocyanin content | 膳食纤维含量/<br>(g/100 g)<br>Dietary fiber content |
|------------------|----------------|-------------|----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 白色<br>White      | 20             | 平均值         | 14.67±0.45b                            | 55.86±0.53a                          | 0.35±0.02b                               | 0.02±0.001c                             | 17.33±0.41b                                   |
|                  |                | 变幅          | 11.80~19.10                            | 51.70~60.00                          | 0.20~0.54                                | 0.01~0.03                               | 13.22~20.71                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.14                                   | 0.042                                | 0.21                                     | 0.27                                    | 0.11                                          |
| 蓝色<br>Blue       | 20             | 平均值         | 14.74±0.51b                            | 54.50±1.01a                          | 0.51±0.03a                               | 0.02±0.001bc                            | 19.04±0.29a                                   |
|                  |                | 变幅          | 10.90~18.60                            | 46.50~66.80                          | 0.28~0.92                                | 0.02~0.04                               | 17.07~22.52                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.16                                   | 0.08                                 | 0.3                                      | 0.28                                    | 0.07                                          |
| 褐色<br>Brownness  | 20             | 平均值         | 17.11±0.63a                            | 48.67±0.71b                          | 0.51±0.02a                               | 0.03±0.002ab                            | 19.58±0.17a                                   |
|                  |                | 变幅          | 12.20~22.40                            | 42.30~54.10                          | 0.30~0.68                                | 0.02~0.06                               | 18.14~20.85                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.16                                   | 0.07                                 | 0.20                                     | 0.38                                    | 0.04                                          |
| 紫色<br>Purple     | 20             | 平均值         | 16.15±0.73ab                           | 50.75±0.98b                          | 0.37±0.03b                               | 0.04±0.01a                              | 19.56±0.26a                                   |
|                  |                | 变幅          | 11.60~22.10                            | 43.30~57.10                          | 0.18~0.62                                | 0.02~0.12                               | 17.17~21.90                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.20                                   | 0.09                                 | 0.38                                     | 0.70                                    | 0.06                                          |
| 总计<br>Total      | 80             | 平均值         | 15.67±0.31                             | 52.44±0.52                           | 0.44±0.02                                | 0.03±0.002                              | 18.88±0.18                                    |
|                  |                | 变幅          | 10.90~22.40                            | 42.30~66.80                          | 0.18~0.92                                | 0.01~0.12                               | 13.22~22.52                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.18                                   | 0.09                                 | 0.32                                     | 0.63                                    | 0.08                                          |

注:不同小写字母表示各品种间差异显著( $P<0.05$ )。下表同。

Note: Different letters indicated significant differences among the varieties ( $P < 0.05$ ). The same as below.

从表6可以看出,在林芝,不同粒色青稞品种间的营养成分存在显著差异。其中褐色青稞的蛋白质平均含量最高,为17.11 g/100 g,变异系数为0.16,与除紫色青稞品种外的其他品种间差异显著( $P<0.05$ );其次为紫色青稞,其蛋白质平均含量为16.15 g/100 g,与其他品种间差异均不显著;最低的属白色青稞,其蛋白质平均含量达14.67 g/100 g,变异系数为0.14,不同品种间差异最小。淀粉含量为42.30~66.80 g/100 g,白色青稞的淀粉平均含量最高,为55.86 g/100 g,褐色青稞的淀粉含量最低,为48.67 g/100 g,褐色和紫色青稞的淀粉含量间无显著差异,与白色和蓝色青稞的淀粉含量间差异显著( $P<0.05$ ),且白色和蓝色青稞的淀粉含量间无显著差异。维生素E含量为0.18~0.92 g/100 g,其中蓝色和褐色青稞的维生素E平均含量最高,均为0.51 g/100 g,且与其他粒色青稞间差异显著( $P<0.05$ )。白色青稞的维生素E平均含量最低,为0.35 g/100 g,且与紫色青稞间无显著差异。花青素含量为0.01~0.12 g/kg,紫色青稞的花青素平均含量最高,为0.04 g/kg,与除褐色青稞品种外的其他品种间差异显著( $P<0.05$ );白色青稞的花青素平均含量最低,为0.02 g/kg,与除蓝色青稞品种外的其他品种间差异显著( $P<0.05$ );然而蓝色和褐色青稞间花青素含量无显著差异。膳食纤维含量为13.22~22.52 g/100 g,其中褐色青稞的膳食纤维平均含量最高,为19.58 g/100 g,白色青稞相对较低,仅为17.33 g/100 g,蓝色、紫色和

褐色青稞间的膳食纤维含量差异不显著,且均显著高于白色品种( $P<0.05$ )。

2.2.2 拉萨不同粒色青稞籽粒基本营养品质分析 从表7可以看出,在拉萨,褐色青稞的蛋白质平均含量最高,为13.165 g/100 g,且在不同品种间差异最小,变异系数为0.088;紫色青稞的蛋白质平均含量最低,为12.735 g/100 g,变异系数为0.132。淀粉含量为44.10~63.70 g/100 g,紫色青稞的淀粉含量最高,为58.54 g/100 g,与除褐色青稞外其他青稞品种间差异显著( $P<0.05$ );蓝色青稞的淀粉含量最低,为53.34 g/100 g,与褐色青稞间差异显著( $P<0.05$ ),而白色与除紫色青稞之外的其他青稞品种间差异均不显著。维生素E含量为0.15~0.68 g/100 g,其中紫色青稞的维生素E平均含量最高,为0.381 g/100 g,且与其他粒色青稞间差异显著( $P<0.05$ )。白色青稞的维生素E平均含量最低,为0.252 g/100 g,且与除紫色青稞之外的其他青稞品种间无显著差异。花青素含量为0.04~0.55 g/kg,其中紫色青稞的花青素平均含量最高,为0.294 g/kg,与其他粒色青稞间差异显著( $P<0.05$ );白色青稞的花青素平均含量最低,为0.086 g/kg,与其他粒色青稞间差异显著( $P<0.05$ )。膳食纤维含量为14.43~28.18 g/100 g,且各粒色青稞的膳食纤维含量均无显著差异。其中褐色青稞的膳食纤维含量最高,为20.940 g/100 g;紫色青稞最低,仅为20.162 g/100 g。

表7 拉萨青稞籽粒营养品质分析  
Tab.7 Analysis of basic nutritional quality of highland barley with different grain colors in Lhasa

| 粒色<br>Seed color | 数量/种<br>Number | 指标<br>Index | 蛋白质含量/<br>(g/100 g)<br>Protein content | 淀粉含量/<br>(g/100 g)<br>Starch content | 维生素E含量/<br>(g/100 g)<br>Vitamin E content | 花青素含量/<br>(g/kg)<br>Anthocyanin content | 膳食纤维含量/<br>(g/100 g)<br>Dietary fiber content |
|------------------|----------------|-------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 白色<br>White      | 20             | 平均值         | 13.021±0.321a                          | 55.935±1.022bc                       | 0.252±0.023b                              | 0.086±0.006c                            | 20.365±0.313a                                 |
|                  |                | 变幅          | 8.92~16.30                             | 44.10~62.50                          | 0.15~0.53                                 | 0.04~0.13                               | 16.72~23.00                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.110                                  | 0.082                                | 0.411                                     | 0.314                                   | 0.069                                         |
| 蓝色<br>Blue       | 20             | 平均值         | 13.013±0.293a                          | 53.340±0.782c                        | 0.276±0.026b                              | 0.134±0.004b                            | 20.235±0.370a                                 |
|                  |                | 变幅          | 9.56~15.50                             | 46.60~59.80                          | 0.15~0.68                                 | 0.09~0.18                               | 14.43~22.34                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.101                                  | 0.066                                | 0.415                                     | 0.145                                   | 0.082                                         |
| 褐色<br>Brownness  | 20             | 平均值         | 13.165±0.260a                          | 57.360±0.732ab                       | 0.303±0.027b                              | 0.140±0.006b                            | 20.940±0.572a                                 |
|                  |                | 变幅          | 11.00~15.600                           | 52.30~63.70                          | 0.17~0.66                                 | 0.09~0.23                               | 16.94~28.18                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.088                                  | 0.057                                | 0.405                                     | 0.199                                   | 0.122                                         |
| 紫色 Purple        | 20             | 平均值         | 12.735±0.375a                          | 58.540±0.631a                        | 0.381±0.024a                              | 0.294±0.024a                            | 20.162±0.261a                                 |
|                  |                | 变幅          | 10.60~18.00                            | 52.90~63.70                          | 0.20~0.58                                 | 0.14~0.55                               | 17.15~22.02                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.132                                  | 0.048                                | 0.281                                     | 0.369                                   | 0.058                                         |
| 总计<br>Total      | 80             | 平均值         | 12.984±0.155                           | 56.294±0.451                         | 0.303±0.013                               | 0.164±0.011                             | 20.425±0.198                                  |
|                  |                | 变幅          | 8.92~18.00                             | 44.10~63.70                          | 0.15~0.68                                 | 0.04~0.55                               | 14.43~28.18                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.107                                  | 0.072                                | 0.397                                     | 0.596                                   | 0.087                                         |

2.2.3 日喀则不同粒色青稞籽粒基本营养品质分析 由表 8 可知,在日喀则,不同粒色青稞品种蛋白质含量差异均不显著。白色青稞的蛋白质平均含量最高,为 10.355 g/100 g,变异系数为 0.135;其次为褐色青稞,蛋白质平均含量为 10.157 g/100 g;紫色青稞的蛋白质平均含量最低,为 9.721 g/100 g,且不同青稞品种间差异最小。淀粉含量为 45.10~62.90 g/100 g,其中紫色青稞的总淀粉含量最高,为 57.545 g/100 g,与白色和蓝色青稞的总淀粉含量间差异显著( $P<0.05$ );蓝色青稞的总淀粉含量平均值最低,为 53.360 g/100 g,与白色、褐色青稞间差异不显著。维生素 E 含量为 0.13~0.55 g/100 g,

且各粒色青稞品种间差异均不显著。其中蓝色青稞的维生素 E 平均含量最高,为 0.254 g/100 g,白色青稞的维生素 E 平均含量最低,仅为 0.233 g/100 g。花青素含量为 0.03~0.65 g/kg,其中紫色青稞的花青素平均含量最高,为 0.217 g/kg,且与其他粒色青稞间差异显著( $P<0.05$ );白色青稞和蓝色青稞的花青素平均含量均最低,为 0.051 g/kg。膳食纤维含量为 17.69~24.80 g/100 g,且各粒色青稞品种间无显著差异。其中紫色青稞的膳食纤维平均含量最高,为 21.094 g/100 g,蓝色青稞相对较低,仅 20.708 g/100 g。

表 8 日喀则青稞籽粒营养品质分析

Tab.8 Analysis of basic nutritional quality of highland barley with different grain colors in Xigaze

| 粒色<br>Seed color | 数量/种<br>Number | 指标<br>Index | 蛋白质含量/<br>(g/100 g)<br>Protein content | 淀粉含量/<br>(g/100 g)<br>Starch content | 维生素 E 含量/<br>(g/100 g)<br>Vitamin E content | 花青素含量/<br>(g/kg)<br>Anthocyanin content | 膳食纤维含量/<br>(g/100 g)<br>Dietary fiber content |
|------------------|----------------|-------------|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 白色<br>White      | 20             | 平均值         | 10.355±0.314a                          | 55.410±0.813b                        | 0.233±0.014a                                | 0.051±0.004c                            | 20.911±0.227a                                 |
|                  |                | 变幅          | 8.76~14.20                             | 48.70~62.90                          | 0.15~0.36                                   | 0.03~0.10                               | 18.87~22.51                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.135                                  | 0.066                                | 0.273                                       | 0.361                                   | 0.048                                         |
| 蓝色<br>Blue       | 20             | 平均值         | 10.148±0.328a                          | 53.360±0.899b                        | 0.254±0.019a                                | 0.051±0.003c                            | 20.708±0.369a                                 |
|                  |                | 变幅          | 8.42~13.60                             | 45.10~58.80                          | 0.18~0.55                                   | 0.03~0.08                               | 17.69~24.80                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.144                                  | 0.075                                | 0.328                                       | 0.257                                   | 0.080                                         |
| 褐色<br>Brownness  | 20             | 平均值         | 10.157±0.370a                          | 55.905±0.582ab                       | 0.243±0.019a                                | 0.104±0.010b                            | 20.987±0.278a                                 |
|                  |                | 变幅          | 7.42~15.90                             | 51.10~60.20                          | 0.16~0.50                                   | 0.04~0.20                               | 18.24~22.83                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.163                                  | 0.047                                | 0.340                                       | 0.438                                   | 0.059                                         |
| 紫色<br>Purple     | 20             | 平均值         | 9.721±0.240a                           | 57.545±0.437a                        | 0.246±0.018a                                | 0.217±0.034a                            | 21.094±0.253a                                 |
|                  |                | 变幅          | 8.70~12.5                              | 53.60~62.70                          | 0.13~0.43                                   | 0.08~0.65                               | 18.53~23.21                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.110                                  | 0.034                                | 0.328                                       | 0.700                                   | 0.054                                         |
| 总计<br>Total      | 80             | 平均值         | 10.095±0.157                           | 55.555±0.385                         | 0.244±0.009                                 | 0.106±0.012                             | 20.925±0.142                                  |
|                  |                | 变幅          | 7.42~15.90                             | 45.10~62.90                          | 0.13~0.55                                   | 0.03~0.65                               | 17.69~24.80                                   |
|                  |                | 变异系数        | 0.139                                  | 0.062                                | 0.315                                       | 0.982                                   | 0.060                                         |

### 3 结论与讨论

适宜的海拔梯度对作物的农艺性状和经济性状研究具有重要意义。不同的海拔梯度会通过改变光、温、热、气、水等生态因子进而影响作物生长发育<sup>[10-11]</sup>,使其农艺性状表现和营养品质产生巨大差异。本试验中,随海拔梯度升高,青稞平均株高先增加后降低,研究结果与王泰伦等<sup>[12]</sup>、杨荣教等<sup>[13]</sup>的研究结果不一致,这可能是由于青稞品种不同或自身对环境的适应性不同造成,也可能是由于海拔升高导致温度降低,呼吸作用和光合作用受到抑制,减缓了植物的生长发育<sup>[14]</sup>;其穗长、穗粒

数、有效分蘖数及总分蘖数变化均不明显,研究结果与谭亚玲等<sup>[2]</sup>、安文静等<sup>[15]</sup>的研究结果不相符,这可能是由于不同品种适宜生长的生态区域不同;其千粒质量随海拔梯度的增加变化幅度不大,这与谭亚玲等<sup>[2]</sup>研究结果一致,与赵彩霞等<sup>[16]</sup>、郑地等<sup>[17]</sup>研究结果恰好相反,推断是品种本身的遗传因素对千粒质量影响较大,海拔等环境因素对其影响较小。通过对青稞株高、穗长、穗粒数、有效分蘖数、总分蘖数、千粒质量聚类分析表明,在林芝、拉萨、日喀则等 3 个不同海拔梯度地区均可将 80 个青稞品种分为 5 类,且第 2 类株高均为最低,揭示第 2 类青稞品种更适宜作为抗倒伏种质资源,

可在不同海拔梯度地区广泛应用。但是株高作为物种光竞争能力的主要决定因素,直接影响植株地上部分的生物产量<sup>[18]</sup>,因此,为提高青稞产量,在高海拔梯度下并不倾向于选择第2类青稞品种。此外,在品质性状方面,随海拔梯度的升高,73.75%的青稞蛋白质含量降低,45%的青稞淀粉含量先升高后降低,46.25%的青稞维生素E含量降低,81.25%的青稞花青素含量先升高后降低,40%的青稞膳食纤维含量升高,表明蛋白质、淀粉、膳食纤维可能在高海拔地区不利于其合成和积累,而维生素E、花青素等抗氧化成分受海拔影响较大,在高海拔地区更利于其合成和积累,这与前人研究基本一致<sup>[19-23]</sup>。

本试验从农艺及品质性状上初步阐明了青稞响应海拔梯度的变化规律,证明适宜的海拔梯度或生态区域可在一定程度上调控青稞的农艺性状、产量及品质,有利于其发挥出最大的经济效益和潜在价值,为青稞产业的繁荣进步奠定理论基础<sup>[24-25]</sup>。在生产实践中,当需要提高青稞株高时,可合理增加海拔梯度,使其在一定范围内随海拔梯度的升高而增加;当需要提高青稞维生素E、花青素含量时,也可适当增加海拔梯度,使其在一定范围内随海拔梯度的升高而增加;当有些青稞品种需要满足现代饮食结构需求,需要低淀粉、高膳食纤维含量时,亦可通过增加海拔梯度使其在一定范围内随海拔梯度的升高加以实现等。目前,围绕海拔梯度对青稞生长发育的影响研究大多仍集中于农艺及品质性状方面,筛选最适海拔梯度、选育优质青稞、探索优良种质一直是学者们研究的焦点问题。已有诸多研究发现<sup>[26-27]</sup>,海拔对作物生长的影响与其基因型还有一定的互作关系,未来可以多从分子水平出发,进一步解析青稞品种响应海拔梯度变化的适应性机制,为选育优质高产的青稞品种提供有价值的理论参考,为青藏高原青稞种植区域的合理布局和品种选择提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 傅抱璞,虞静明,卢其尧. 山地气候资源与开发利用[M]. 南京:南京大学出版社,1996.  
FU B P, YU J M, LU Q Y. Development and utilization of mountain climate resources[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1996.
- [2] 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.  
TAN Y L, HONG R K, CHEN J F, et al. Effects of altitude on growth of different rice varieties[J]. Seed, 2009, 28(7): 27-30.
- [3] 刘淑云,董树亭,胡昌浩. 不同海拔高度对玉米品质性状影响的研究[J]. 玉米科学, 2005, 13(2): 68-71.  
LIU S Y, DONG S T, HU C H. The study of latitude and altitude affecting to maize quality[J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(2): 68-71.
- [4] 王玉娇. 海拔条件和施氮量对小麦产量及品质的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2021.  
WANG Y J. Effects of altitude conditions and nitrogen application on wheat yield and quality[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- [5] 艾季翔,杨学乐,曹明锋,等. 石门烟区不同海拔高度荞麦品种(系)生态适应性研究[J]. 湖南农业科学, 2024(11): 10-16.  
AI J X, YANG X L, CAO M F, et al. Ecological adaptability of buckwheat cultivars at different altitudes in the tobacco-planting area of Shimen[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2024(11): 10-16.
- [6] 敖茂宏,宋智琴. 海拔对薏苡主要农艺性状及营养品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(7): 1526-1529.  
AO M H, SONG Z Q. Effect of altitude on main agronomic characters and nutritional quality of *Coix lacryma-jobi* L. [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(7): 1526-1529.
- [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.  
GUO M, YAN D, MA Z K, et al. Effects of altitude on the agronomic and qualitative characters of barley[J]. Barley and Cereal Sciences, 2017, 34(6): 22-29.
- [8] 环秀菊,孔治有,张慧,等. 海拔和播期对藜麦主要品质性状的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(2): 258-262.  
HUAN X J, KONG Z Y, ZHANG H, et al. Effect of altitude and sowing date on main quality properties of quinoa[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(2): 258-262.
- [9] 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.  
ZHENG S L, ZHANG Y, LI S L, et al. Effects of different altitudes on yield, quality and anthocyanin content of purple potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(4): 1420-1423.
- [10] 许静,杜国祯,李文龙,等. 温度和海拔对高寒草甸植物种子萌发进化特性的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(3): 377-383.  
XU J, DU G Z, LI W L, et al. Effects of temperature and altitude on the evolutionary characteristics of seed germination in an alpine meadow[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2013, 49(3): 377-383.
- [11] 马伟东,王静爱. 气候变化背景下青稞种植海拔高度的变化:以门源县为例[J]. 青海环境, 2024, 34(3): 129-133.  
MA W D, WANG J A. Changes in altitude of highland barley planting under the background of climate change: taking Menyuan county as an example[J]. Journal of Qinghai Environ-

- ment, 2024, 34(3):129-133.
- [12] 王泰伦, 李继由, 虞孝感. 滇西北高寒坝区生态环境对水稻生育及产量结构的地区效应[J]. 南京农业大学学报, 1984, 7(3):125-128.
- WANG T L, LI J Y, YU X G. Regional effect of ecological environment on rice growth and yield structure in alpine dam area of northwest Yunnan[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1984, 7(3):125-128.
- [13] 杨荣教, 郭梦逸, 王白昌, 等. 不同海拔条件下籼、粳稻生长发育差异分析[J/OL]. 分子植物育种, 2023: 1-12[2024-12-10] <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotat-FZZW20230831005.htm>.
- YANG R J, GUO M Y, WANG B C, et al. Analysis of growth and development differences between indica and Japonica rice under different altitude conditions[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2023: 1-12[2024-12-10] <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotat-FZZW20230831005.htm>.
- [14] AGURLA S, GAHIR S, MUNEMASA S, et al. Mechanism of stomatal closure in plants exposed to drought and cold stress[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2018, 1081:215-232.
- [15] 安文静, 张晓燕, 闫治斌, 等. 不同海拔高度对吉祥一号玉米农艺性状和经济效益的影响[J]. 农业科技与信息, 2014(11): 55-56.
- AN W J, ZHANG X Y, YAN Z B, et al. Effects of different altitudes on agronomic traits and economic benefits of Jixiang No.1 maize[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2014(11): 55-56.
- [16] 赵彩霞, 次仁白珍, 唐琳, 等. 不同海拔高度甘蓝型油菜农艺性状和品质性状变化分析[J]. 中国农学通报, 2021, 37(32): 51-56.
- ZHAO C X, CIRENBAIZHEN, TANG L, et al. The yield and quality of rapeseed (*Brassica napus* L.) at different altitudes[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(32): 51-56.
- [17] 郑地, 文春燕, 沈显华, 等. 藏区不同海拔条件下水稻产量构成和米质变化分析[J]. 作物杂志, 2020(5):199-203.
- ZHENG D, WEN C Y, SHEN X H, et al. Analysis on variation in rice yield components and quality at different altitudes in Tibet[J]. Crops, 2020(5):199-203.
- [18] SALAS FERNANDEZ M G, BECRAFT P W, YIN Y H, et al. From dwarves to giants? Plant height manipulation for biomass yield[J]. Trends in Plant Science, 2009, 14(8):454-461.
- [19] 李月仙, 周迎春, 宋记明, 等. 木薯农艺性状及品质对不同海拔梯度的响应[J]. 农学学报, 2022, 12(9):18-24.
- LI Y X, ZHOU Y C, SONG J M, et al. The response of agronomic traits and quality of cassava to different altitude gradients[J]. Journal of Agriculture, 2022, 12(9):18-24.
- [20] 霍仕平, 许明陆, 晏庆九. 纬度和海拔对西南地区中熟玉米品种灌浆期和粒重及株高的效应[J]. 中国农业气象, 1997, 18(4):24-27.
- HUO S P, XU M L, YAN Q J. The effect of latitude and altitude on grain filling period, 1 000 kernel weight and plant height of medium maturing maize varieties in southwest China[J]. Agricultural Meteorology, 1997, 18(4):24-27.
- [21] 陈学君, 曹广才, 贾银锁, 等. 玉米生育期的海拔效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3):527-532.
- CHEN X J, CAO G C, JIA Y S, et al. Influence of elevation on growth duration of maize (*Zea mays* L.) [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(3):527-532.
- [22] 史轸鑫. 西藏林芝市不同海拔对青稞品种(系)旗叶生理特性及产量的影响[D]. 西藏: 西藏农牧学院, 2023.
- SHI K X. Effects of different altitudes on physiological characteristics and yield of flag leaves of highland barley varieties (lines) in Nyingchi city, Xizang province[D]. Xizang: Xizang College of Agriculture and Animal Husbandry, 2023.
- [23] PURWANTO E, HIDAYATI W, NANDARIYAH. The yield and quality of black rice varieties in different altitude[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 142:012037.
- [24] 洛桑次仁, 巴桑玉珍, 顿珠加布, 等. 藏西南高海拔地区青稞产业发展现状与前景[J]. 农业展望, 2023, 19(7):87-91.
- LUOSANGCIREN, BA S, DUN Z, et al. Status and prospects of highland barley industry development in southwest Tibet high-altitude region[J]. Agricultural Outlook, 2023, 19(7): 87-91.
- [25] 吴成胜. 高海拔地区青稞种植管理及病虫害防治[J]. 农经, 2023(8):51-53.
- WU C S. Highland barley cultivation management and pest control in high altitude area[J]. Agriculture Economics, 2023 (8):51-53.
- [26] 何梅洁, 陈佳, 李娥贤, 等. 青稞产量性状的基因型与环境互作分析[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(7):10-12.
- HE M J, CHEN J, LI E X, et al. Analysis on the interaction between genotype and environment of highland barley yield traits[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(7):10-12.
- [27] XU C P, GUI Z H, HUANG Y X, et al. Integrated transcriptomics and metabolomics analyses provide insights into Qingke in response to cold stress[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(47):18345-18358.