# Adaptation Evaluation of Barley Varieties in High-Altitude Saline-Alkali Soils

**Danzengyuzhen**

Kongma Township Agricultural and Animal Husbandry Comprehensive Service Center, Gangba County, Shigatse, Xizang, 857700, China

**Abstract**

The combination of soil salinization and low temperature, cold and drought stress in Xizang's high-altitude agricultural areas has made highland barley production in a dilemma of compound stress. Salt alkali stress causes both osmotic and alkaline damage during the germination stage of barley, as well as morphological physiological synergistic damage during the seedling stage and oxidative stress response of the protective enzyme system, forming a damage chain that runs through the entire growth period. The current variety evaluation system has low accuracy in identifying this chain. According to the structural limitations of Xizang's high-altitude saline alkali land, such as the variety adaptation gap, the lack of salt tolerant germplasm, the coupling imbalance of agronomic traits, and the single evaluation index, this paper starts with the physiological mechanism of saline alkali stress, analyzes the stress resistance response law of highland barley from germination to the whole growth period, reveals the internal contradiction of the current variety promotion system in the ecological area, and proposes a comprehensive adaptability evaluation framework based on the coupling of membership function method and principal component analysis, which provides a methodological basis for the scientific screening and promotion of highland barley varieties in the plateau saline alkali land.

**Keywords**

Highland barley; Saline alkali stress; adaptive evaluation; high altitude; Xizang Plateau; comprehensive evaluation index

# 高海拔盐碱地青稞品种适应性评价

旦增玉珍

岗巴县孔玛乡农牧综合服务中心，中国·西藏 日喀则 857700

**摘要**

西藏高海拔农业区土壤盐碱化问题和低温寒旱胁迫深度叠加，使得青稞生产一直处在复合胁迫的困境之中。盐碱胁迫对青稞萌发阶段的渗透和碱性双重损害、幼苗期形态—生理协同损害以及保护酶系统氧化胁迫反应，形成一条贯穿整个生育期的伤害链，目前的品种评价体系对于这条链的识别精度很低。根据西藏高海拔盐碱地品种适配缺口、耐盐种质缺乏、农艺性状耦合失衡和评价指标单一等结构上的限制，本文从盐碱胁迫生理机制入手，分析青稞萌发期到全生育期的抗逆响应规律，揭示出目前品种推广体系在该生态区的内在矛盾，提出基于隶属函数法和主成分分析耦合的综合适应性评价框架，为高原盐碱地青稞品种的科学筛选和推广提供方法论依据。

**关键词**

青稞；盐碱胁迫；适应性评价；高海拔；西藏高原；综合评价指数

## 1 引言

西藏青稞耐盐种质筛选存在资源稀缺、应用受限的问题，达标强耐盐碱种质占比极低，现有耐盐材料推广范围窄、田间验证数据匮乏。究其原因，本地农家青稞种质的系统收集与分子评价体系不完善，大量潜在耐盐资源未被挖掘；内地引进耐盐材料难以适配高原低氧复合胁迫，无法稳定发挥耐盐特性。种质引进与筛选渠道受限，育种工作只能依托本地种质原地发掘，而相关基础评价投入不足，难以支撑育种需求。

【作者简介】旦增玉珍（1987-），女，藏族，中国西藏山南人，本科，中级农艺师，从事农业技术推广研究。

## 2 盐碱胁迫的生理机制

### 2.1 萌发阶段的抑制规律

碳酸钠和碳酸氢钠的共存使土壤溶液在高离子浓度之外又增加了显著的碱性毒害，在西藏碳酸盐型盐碱土中尤其如此，它的危害机制比单一NaCl盐渍环境要复杂得多。低浓度胁迫下种子吸水启动萌发的信号通路还能保持基本运转，发芽势和发芽指数处于相对稳定的耐受区间；胁迫浓度继续上升的时候，细胞膜完整性快速崩解，种胚蛋白质合成体系被不可逆抑制，发芽率急剧下降。低浓度促进、高浓度抑制的浓度效应在西藏本地青稞品种材料中普遍存在，品种间

抑制起始浓度有明显的分化[1]。部分藏系农家品种在中低浓度$Na_2CO_3$胁迫下萌发耐受性比一些人工选育的推广品种要好，说明长期高原自然选择压力对于耐盐萌发基因资源的保存有着重要的意义。这说明一种被现有的评价体系长期忽略的判断出现了，萌发阶段的品种之间差异，正是全生育期适应性分级的早期预测窗口，以这种判断为基础来建立初筛指标体系的技术条件已经基本具备，但是迟迟没有被纳入规范化评价流程当中。

### 2.2 幼苗生长的伤害阈值

进入幼苗期以后，盐碱胁迫造成的伤害就从萌发障碍转变为更复杂的形态—生理协同损伤。根系是最早受到盐碱胁迫压力影响的器官，根长缩减的速率常常比芽长和鲜重下降要快，说明根系细胞的离子区隔化能力是决定品种早期耐性的关键生理节点。当胁迫浓度超过一定范围的时候，大部分西藏青稞品种的根长和芽长就会突然减少，鲜重损失也会随之增加，系统性的生理损伤也进入到全面激活的状态[2]。耐盐品种的形态伤害阈值一般比敏感品种要高得多，它的根系细胞在同样的离子浓度下保持膜电位稳定的能力也更强，$Na^+/K^+$稳态调节机制也更加完善。相反，敏感品种在浓度还没有达到农业危害水平的时候就出现了根系萎缩和幼苗黄化的现象，说明很多现在还在西藏高海拔盐碱地上推广的品种，其实际适配潜力已经被系统性高估了。因此幼苗期形态指标的量化评价要成为品种适应性评价的主要指标，不能再是评价体系中可选的参考性状。

### 2.3 生理指标的响应特征

超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）和过氧化氢酶（CAT）一起构成了青稞抵抗盐碱胁迫的主要防御体系。胁迫初期，三类保护酶的活性普遍升高，说明细胞对于活性氧的积累有主动清除的反应；胁迫强度不断增大时，敏感品种的酶活性会在达到峰值之后迅速下降，耐盐品种则可以维持较长时间的高活性平台期，二者的分化在胁迫中后期更加明显。西藏农牧科学院藏青稞材料耐盐碱性系统筛选项目对大量西藏青稞种质材料进行了$NaHCO_3$胁迫处理，结果表明，材料间生理响应的差异非常大，大部分材料在高浓度胁迫下酶活性剧烈变化，只有少数材料可以一直保持相对稳定的保护酶系统。以发芽率作为单一的筛选标准，会忽略很多在苗期就表现出较强耐性的材料，从而造成种质资源评价的系统性偏差，在高原盐碱地育种中已经造成了可以量化的育种资源损失[3]。

## 3 高海拔盐碱地的品种掣肘

### 3.1 生态适应的品种缺口

西藏目前推广青稞品种的选育背景大多集中在拉萨河谷和林芝温暖湿润的农业核心区，进入日喀则岗巴县高寒区和那曲边缘农区之后，品种的耐冻性、短生育期适应性和盐碱耐受性协同要求已经大大超出了它的综合性能边界。海拔四千三百米以上的高寒农区，仍然依靠产量低、抗逆性强的地方农家品种来维持基本的生产，体现出现代选育品种在极端高寒盐碱生态条件下所存在的覆盖真空[4]。田间实测数据给这一覆盖真空提供直接的产量证明。以一个典型的高海拔盐碱农区为例，全乡耕地总面积是3208.57亩，盐碱地面积为2892.6亩，占全乡耕地总面积的90.1%，全部种植青稞。盐碱地中耐盐青稞种植面积为1155.6亩，总产量661134.38斤，折合单产572.11斤／亩；当地普通青稞种植面积1737亩，总产量382172.82斤，单产仅220.02斤／亩。两者单产相差约352斤，耐盐青稞单产是当地普通青稞的2.6倍。从图中可以看出，在相同的盐碱地条件下，品种选择对于产量的影响已经大于了其他所有的农艺管理因素的总和，现有的推广体系中当地普通青稞品种在盐碱地上的产量潜力已经被系统性地长期接受，而造成的产量损失是可以用品种更换来弥补的。深层原因就是育种目标的单一化。长期以产量为中心的育种思路，把抗逆复合性状的改良放在了次要位置。高海拔盐碱生态区对于青稞品种提出的适应性要求，本质上是对传统育种目标函数的重新定义，而不是参数微调，忽视了这种本质的差别，就是造成现有品种体系在该生态区失效的结构性原因[4]。

### 3.2 耐盐种质的资源匮缺

西藏青稞耐盐种质筛选存在资源稀缺、应用受限的问题，达标强耐盐碱种质占比极低，现有耐盐材料推广范围窄、田间验证数据匮乏。究其原因，本地农家青稞种质的系统收集与分子评价体系不完善，大量潜在耐盐资源未被挖掘；内地引进耐盐材料难以适配高原低氧复合胁迫，无法稳定发挥耐盐特性。种质引进与筛选渠道受限，育种工作只能依托本地种质原地发掘，而相关基础评价投入不足，难以支撑育种需求。

### 3.3 农艺性状的耦合失衡

盐碱胁迫会重组青稞农艺性状关联结构，植株矮化虽可提升抗倒伏能力，但会伴随穗长缩短、千粒重降低，制约产量潜力，形成难以破解的性状耦合困境。西藏青稞区试表明，该性状失衡持续损耗产量增益，且盐碱环境会加剧矮化带来的生物量下降、养分吸收低效等问题，进一步压缩产量空间。当前育种路线受限于性状耦合约束，暂无法实现抗倒稳产与高产性状的协同突破。

### 3.4 评价体系的指标单一

现行青稞品种区域试验方案主要的评价维度仍然

是产量，对于耐盐碱性、抗寒性、抗倒伏性等重要的抗逆性状没有建立系统的量化标准。该种指标结构的单一性在普通农业生态区可以满足基本筛选的要求，在高海拔盐碱复合胁迫区域几乎完全失效，一个能在该区域稳定存活并保持基本产量水平的品种所具有的综合抗逆价值，远远大于其产量绝对值所能反映的实际贡献。前面耐盐青稞和当地普通青稞单产相差2.6倍的实测结果，从侧面说明用产量绝对值作为唯一评价标准所造成的判断失真——如果只根据区试环境下的产量排名来推荐品种，而没有加入盐碱耐受性的独立评价维度，那么这样的量级的产量差距在推广决策中就会一直存在并无法被看见[5]。评价标准缺乏生态针对性，造成各个试验站点数据横向可比性严重受损，从而使得基于稀疏网点数据的品种推荐结论不可靠。高海拔盐碱生态区建立专门的评价体系，不但是技术层面的方法修补，也是对现有的方法论框架系统性偏差的结构性纠正。

## 4 适应性评价的优化路径

### 4.1 区域试验的网点加密

研究依托拉萨、林芝、日喀则、山南、那曲等西藏主要农业生态区试验站，对海拔梯度进行系统性加密布设，以此消除生态适配评价盲区。海拔变化会引发积温、土壤性质、盐碱含量的显著差异，原有稀疏试验网点数据外推误差较大，会严重影响筛选结果准确性。针对日喀则高寒区、那曲边缘农区等试验点位缺失问题，需通过多年多点联合试验补齐数据。各生态站点统一设置盐碱胁迫梯度处理，规避自然环境波动的干扰。同时构建层级化区试网络，以多地站点分别作为基准、中度胁迫与极端复合胁迫验证场景，保障评价精准度。

### 4.2 耐盐种质的系统筛选

本研究构建萌发期、苗期、全生育期三阶段耐盐鉴定体系，有效提升种质筛选效率，弥补单一萌发指标筛选造成的信息缺失问题。研究分阶段设置差异化筛选指标：萌发期以发芽相关性状的相对盐害率开展初筛，苗期依托生长指标与叶绿素含量胁迫响应系数进行复筛，全生育期结合农艺性状与保护酶活性完成精筛。通过主成分与聚类分析剔除指标冗余信息，依托D值划定耐盐分级标准，实现种质耐盐性规范化、可对比的精准分类。此外，藏系地方品种普遍具备优异耐盐性，为本地特色种质资源挖掘提供了重要依据。

### 4.3 目标性状的权重调适

高海拔盐碱地青稞综合适应性评价需依据区域胁迫优先级优化指标权重：将耐盐碱性作为核心首要指标，抗寒性、抗倒伏性为次要指标，适当降低产量相关性状权重，避免单一产量评价压制耐盐筛选效果。此次权重调整重塑了育种价值导向，确立了盐碱胁迫区稳产优先于高产的育种理念，将极端环境稳产能力作为核心育种目标，使评价体系更贴合高海拔盐碱地的实际生产需求。

### 4.4 综合评级的指数构建

隶属函数法为青稞多性状耐盐综合评价提供规范数学方法，可将不同量纲指标归一化至0–1区间，消除量纲差异干扰。通过加权各指标隶属度得到综合适应性D值，为种质耐盐分级提供连续数据支撑。该分级体系经西藏青稞试验验证，耐盐等级区分效果显著。同时评价框架具备可迭代性，可依托长期多点数据持续优化参数，提升评价精度，助力该方法落地为区域生产决策依据。

## 5 结语

高海拔盐碱地青稞品种适应性评价系统性重构，从方法层面的技术迭代需求角度来说，更深层次的结构性缺陷也得到了体现，即西藏高原农业生产以及品种管理在应对复合胁迫的时候所存在的结构性不足。盐碱胁迫生理机制的细致描述给评价指标的科学选取打下了生物学根基，区试网点空间优化和种质筛选流程的多阶段覆盖一起形成支撑体系的基础设施，多性状权重调整和综合评价指数标准化创建赋予了整个评价体系在极端生态区条件下真正落地的操作可行性。田间产量对比数据表明，耐盐青稞单产可达当地普通青稞的2.6倍以上，这一差距的存在既是品种推广结构亟待调整的直接依据，也是综合适应性评价体系加快落地的现实驱动力。立足于西藏农业实际，把青稞品种评价从单一的产量导向转变为综合的抗逆性导向，是提高高原粮食生产韧性的又一重要途径。

## 参考文献

[1] 于嘉文,宋明丹,韩梅,李正鹏.青海东部农业区不同作物的盐碱适应性及土壤改良效果评价[J].四川农业大学学报,2025,43(2):389-396.

[2] 曾兴权,王玉林,原红军,羊海珍,许从萍.青稞高原适应性的多组学研究进展与展望[J].西藏农业科技,2025,47(1):2-9.

[3] 郝熠镭,姚有华,姚晓华,马宏,吴昆仑,崔永梅.青稞种质资源萌发期耐盐碱性的鉴定评价[J].植物遗传资源学报,2025,26(10):1995-2007.

[4] 段成伟,杨鑫光,孙华方,张渭泽,王丽蓉,李婷.柴达木盆地盐碱地禾谷类作物耐盐碱综合评价与筛选[J].干旱地区农业研究,2025,43(6):23-38.

[5] 刘朝荣,陈永成,陈莹,张旭东,胡天宇,苏力合,张凡凡,王旭哲,姚琨,马春晖.新疆盐碱化土壤下不同羊草的耐盐碱性差异研究[J].草业学报,2026,35(4):29-41.