西藏日土县播量和施氮量对高寒青稞“喜马拉 23 号”产量和性状的影响

降志兵[1]，同 坚[1]，旦增坚参[2]，顿珠卓玛[2]，
益西卓玛[2]，谈建鑫[1]，梁 莎[1]，王生萍[1]

（1.西藏自治区农牧科学院农业研究所/省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室，西藏 拉萨 850000；2.日土县农牧业综合服务管理中心，西藏 日土 859700）

摘 要：为明确高寒春青稞新品种“喜马拉 23 号”在西藏阿里地区日土县高寒农区（海拔 4 400 m）的适宜播量与施氮量，在日土县热帮乡设置播量和施氮量两组单因素随机区组试验，系统研究不同处理对“喜马拉 23 号”产量构成因素、开花期干物质积累与分配、蛋白质含量及氮肥利用效率的影响。结果表明：①播量显著影响群体结构与产量，播量为 14 kg/667 m^2 时每 667 m^2 穗数最高，产量最高达 325.63 kg/667 m^2。②施氮量显著调控产量与氮素利用效率，施氮量为 9 kg/667 m^2 时每 667 m^2 穗数与穗粒数协同最优，产量达 312.64 kg/667 m^2，氮肥农学效率最高。③开花期单株干物质积累量各器官从大到小依次表现为茎鞘、穗、叶片，蛋白质含量从大到小依次表现为叶片、穗、茎鞘；适量的播量和施氮量有利于各器官干物质和蛋白质的合理积累与分配。综合产量与氮素利用效率，“喜马拉 23 号”在日土县高寒农区的最优播量为 14 kg/667 m^2、最优施氮量为 9 kg/667 m。

关键词：高寒农区；青稞；“喜马拉 23 号”；播量；施氮量；产量；氮肥利用效率

中图分类号：S512.3 **文献标识码**：A

Effects of seeding rate and nitrogen application rate on yield and agronomic traits of spring highland barley “himala 23” in Rutok County, Xizang

Jiang Zhibing[1], Tong Jian[1], Danzengjiancan[2], Dunzhuzhuoma[2], Yixizhuoma[2], Tan Jianxin[1], Liang Sha[1], Wang Shengping[1]

(1.Institute of Agriculture, Xizang Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences / State Key Laboratory of Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement, Lhasa Xizang 850000, China; 2.Rutok County Agriculture and Animal Husbandry Integrated Service Center, Rutok Xizang 859700, China)

Abstract: To clarify the suitable seeding and nitrogen application rates of the new alpine spring highland barley cultivar “Himala 23” grown at an altitude of 4 400 m in Rutok County, Ngari Prefecture, Xizang, two single-factor randomized block field trials of seeding rate and nitrogen supply were set up in Rebang Township. The influences of different treatments on yield components, dry matter accumulation and distribution at anthesis, grain protein content and nitrogen use efficiency were systematically studied.The results showed: ① Seeding rate significantly regulated population structure and grain yield; the treatment of 14 kg per 667 m^2 obtained the maximum panicle number and the highest yield of 325.63 kg per 667 m^2. ② Nitrogen application rate exerted significant effects on grain yield and nitrogen use efficiency. The rate of 9 kg per 667 m^2 balanced panicle number and grains per panicle optimally, reaching a yield of 312.64 kg per 667 m^2 with the highest agronomic nitrogen efficiency. ③ At flowering stage, dry matter accumulation of individual organs followed the sequence of stem-sheath>spike>leaf,

收稿日期：2026-02-24

基金项目：阿里高寒农区青稞新品种高产高效栽培技术研究与应用项目（日土县、札达县）（QYXTZX-AL2024-02）。

作者简介：降志兵（1989—），男，本科，助理研究员，主要从事农作物高产栽培技术研究，E-mail：nysjzb@126.com。

通信作者：王生萍（1955—），女，硕士，研究实习员，主要从事青稞栽培生理研究，E-mail：wsp09100@163.com。

while protein content ranked leaf>spike>stem-sheath. Appropriate seeding and nitrogen dosage facilitated balanced accumulation and partitioning of dry matter and protein in various organs.Combining grain yield and nitrogen utilization efficiency, the optimal seeding rate is 14 kg/667 m^2 and the optimal nitrogen application rate is 9 kg/667 m^2 for "Himala 23" in alpine farmlands of Rutok County.

Key words: alpine agricultural area; highland barley; "Himala 23"; seeding rate; nitrogen application rate; grain yield; nitrogen use efficiency

青稞 *Hordeum vulgare* 为禾本科大麦属的一种禾谷类作物，因其内外颖壳易分离、籽粒裸露，又称裸大麦、元麦、米大麦[1-2]。青稞耐寒性强、生育期短、蛋白质含量高、营养成分丰富[3]，是青藏高原地区种植面积最大、产量最多、分布最广的农作物，始终占西藏全区粮食作物种植面积和产量的70%以上[4]。青稞不仅是藏族人民的传统主食，其秸秆也是牦牛和绵羊等高原家畜的主要饲草，在西藏经济发展和社会稳定中具有重要地位[5]。日土县位于西藏阿里地区西北部，是阿里地区最干燥的区域[6]，地处高原亚寒带季风半干旱气候区，平均海拔4 300～4 500 m，寒冷干燥、降水稀少，昼夜温差大，无霜期短[7-8]。该区域是青稞种植的极限生态区之一，当地农家品种青稞株高较矮、易倒伏、秸秆和籽粒产量低，不能满足当地居民生活需求和畜牧业发展，亟需引进产量高、抗性强的青稞新品种以及配套的栽培技术。"喜马拉23号"是西藏日喀则市农科所从康马县卓嘎乡农家品种中经系统选育而成的高寒春青稞新品种，具有早熟、耐寒、高产、抗倒伏等优良特性，适宜在海拔4 300～4 500 m高寒农区种植[9-10]。该品种在日喀则市高寒山谷农区的多点试验示范中表现突出，较当地农家品种显著增产[9]。韦泽秀等[11]在浪卡子县试种研究显示，"喜马拉23号"秸秆生物量和籽粒产量均显著高于当地品种，籽粒产量较当地品种增产50.05%。然而，针对阿里地区日土县高寒农区的播量与施氮量研究尚未见报道。

针对以上问题，本研究以高寒春青稞新品种"喜马拉23号"为材料，在日土县热帮乡开展播量和施氮量田间试验，探究不同处理对"喜马拉23号"产量构成、干物质积累、蛋白质含量及氮肥利用效率的影响，明确该品种在日土县高寒农区的最佳播量与施氮量，以促进该品种在阿里日土县的推广应用中实现降本增效。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地点位于西藏自治区阿里地区日土县热帮乡龙门卡村，地理位置33°2′22″N，80°19′48″E，海拔为4 400 m，属于高原亚寒带季风半干旱气候区，寒冷干燥、降水稀少，试验地为新改造高标准农田建设地块，土层厚度20～30 cm，肥力较差，保水保肥能力弱，土壤类型为沙壤土，播前0～20 cm土层基础养分状况见表1。

表1　试验点土壤养分

pH值	有机质 /(g·kg^{-1})	全氮 /(g·kg^{-1})	全磷 /(g·kg^{-1})	全钾 /(g·kg^{-1})	水解性氮 /(mg·g^{-1})	有效磷 /(mg·g^{-1})	速效钾 /(mg·g^{-1})
9.14	13.0	0.42	0.72	19.3	22.4	3.7	82

1.2　试验材料

供试作物品种为高寒春青稞"喜马拉23号"。供试肥料：尿素（含N 46%）、磷酸二铵（含N 18%、P_2O_5 46%）、过磷酸钙（含P_2O_5 12%）、氯化钾（含K_2O 60%）及腐熟农家肥（牛羊粪）。

1.3　试验设计

采用单因素随机区组设计，分播量试验和施氮量试验，各试验独立进行。

播量试验：设3个播量处理：10 kg/667 m^2（M1）、14 kg/667 m^2（M2）、18 kg/667 m^2（M3），每处理3次重复，共9个小区，小区面积20 m^2（4 m×5 m），小区间设50 cm隔离带。施肥方案：所有处理施肥统一，播前施腐熟农家肥1 m^3/667 m^2、尿素6 kg/667 m^2、磷酸二铵10 kg/667 m^2、氯化钾2.5 kg/667 m^{2}作底肥；四叶一心期和拔节期分别追施尿素5 kg/667 m^2，其他田间管理同当地大田。

施氮量试验：设4个纯氮施用量处理：0（N0）、6 kg/667 m^2（N1）、9 kg/667 m^2（N2）、12 kg/667 m^2（N3），每处理3次重复，共12个小

区，小区面积 20 m^2（4 m×5 m），小区间设 50 cm 隔离带。所有处理播种量统一为 15 kg/667 m^2，行距 25 cm；播前施腐熟农家肥 500 kg/667 m^2、过磷酸钙 30 kg/667 m^2、氯化钾 2.5 kg/667 m^2 作底肥；氮肥分两次施用，基追比 6∶4，四叶一心期追施剩余氮肥，其他管理措施同当地大田。

1.4 群体与产量性状

采用“一米双行法”，每个小区随机选取 3 个调查点。苗期调查基本苗数，分蘖期调查最高茎蘖数，成熟期调查有效穗数、穗粒数，千粒质量取品种均值（36.75 g），计算理论产量、氮肥偏生产力和氮肥农学效率。

1.5 干物质积累量及蛋白质含量

在青稞开花期，每个处理取单行 20 个代表性整株植株，按茎＋叶鞘（统称茎鞘）、叶片和穗分装，105 ℃杀青 1 h，80 ℃烘干至恒质量，分别称量各部分干物质质量；利用考马斯亮蓝 G250 染色法测定开花期茎鞘、叶片和穗的蛋白质含量。

1.6 数据处理

采用 Excel 2021 整理数据，SPSS 27.0 进行单因素方差分析（ANOVA），并通过 Duncan 新复极差法进行多重比较（$\alpha=0.05$）。

2 结果与分析

2.1 不同播量和施氮量处理对“喜马拉 23 号”产量及构成因素的影响

2.1.1 不同播量处理对产量及构成因素的影响

由表 2 可知，不同播量处理对“喜马拉 23 号”产量及构成因素具有显著影响。基本苗随播量增加呈先降低后上升趋势，M3 处理基本苗最高为 14.33 万株/667 m^2，M2 处理最低为 10.95 万株/667 m^2，但各处理间差异不显著。最高茎蘖数同样随播量增加而增加，M3 处理最高为 30.67 万株/667 m^2，M1 处理最低为 26.35 万株/667 m^2，各处理间差异不显著。每 667 m^2 穗数随播量增加呈先上升后下降趋势，以 M2 处理最高，为 20.87 万穗/667m^2，显著高于 M1 和 M3，M1 与 M3 间差异不显著。穗粒数随播量增加呈下降趋势，M1 处理最高为 46.86 粒，M3 处理最低为 40.72 粒，但各处理间差异不显著。产量以 M2 处理最高，达 325.63 kg/667 m^2，显著高于 M1 和 M3，M1 与 M3 间差异不显著。氮肥偏生产力以 M2 处理最高，为 35.55 kg/kg，显著高于 M1 和 M3。上述结果表明，播量 14 kg/667 m^2 处理下“喜马拉 23 号”群体结构合理，每 667 m^2 穗数、产量及氮肥偏生产力均达到最优水平，继续增加播量导致每 667 m^2 穗数、产量和氮肥偏生产力下降。

2.1.2 不同施氮量处理对产量及构成因素的影响

由表 3 可知，不同施氮量处理对“喜马拉 23 号”产量及构成因素具有显著影响。基本苗在各处理间差异不显著，以 N3 处理最高为 17.37 万株/667 m^2。最高茎蘖数随施氮量增加呈先降后升趋势，N3 处理最高为 30.76 万株/667 m^2，N1 处理最低为 21.38 万株/667 m^2，但各处理间差异不显著。每 667 m^2 穗数随施氮量增加呈先升后降趋势，N2 处理最高为 18.47 万穗/667 m^2，N0 处理最低为 14.62 万穗/667 m^2，各处理间差异不显著。穗粒数随施氮量增加呈先升后降趋势，N2 处理最高为 46.57 粒，N0 处理最低为 28.38 粒，N2 与 N0 间差异显著。产量随施氮量增加呈先升后降趋势，N2 处理产量最高为 312.64 kg/667 m^2，显著高于 N0、N1 和 N3，N1 与 N3 间差异不显著，但均显著高于 N0。氮肥农学效率以 N2 最高（17.81 kg/kg），较 N1 和 N3 分别提高 32.4%和 166.6%，显著高于 N3（6.68 kg/kg），施氮的增产效益最优，N3 与 N1、N2 间差异显著。氮肥偏生产力随施氮量增加持续下降，N1 最高（38.84 kg/kg），N3 与 N1、N2 间差异显著。上述结果表明，施氮量 N2（9 kg/667 m^2）处理下每 667 m^2 穗数和穗粒数协同提高，产量和氮肥农学效率均达到最优水平，可在保证较高产量的同时维持较优的氮肥利用效率，是该区域“喜马拉 23 号”适宜的施氮水平；过量施氮 N3（12 kg/667 m^2）导致每 667 m^2 穗数和穗粒数下降，氮肥利用效率显著降低。

表 2 不同播量处理对产量及构成因素的影响

处理	基本苗 /（万株·667 m^{-2}）	最高茎蘖数 /（万株·667 m^{-2}）	每 667 m^2 穗数 /（万穗·667 m^{-2}）	穗粒数 /粒	产量 /（kg·667 m^{-2}）	氮肥偏生产力 /（kg·kg^{-1}）
M1	11.26±1.22 a	26.35±6.16 a	14.22±3.00 b	46.86±6.66 a	240.02±13.75 b	26.20±1.50 b
M2	10.95±1.94 a	26.44±4.55 a	20.87±3.21 a	42.98±8.22 a	325.63±55.31 a	35.55±6.04 a
M3	14.33±2.52 a	30.67±2.42 a	14.58±1.23 b	40.72±5.18 a	219.73±45.39 b	23.99±4.95 b

注：同一列不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异具有统计学意义。下同。

表3　不同施氮量处理对产量及构成因素的影响

处理	基本苗/(万株·667 m^{-2})	最高茎蘖数/(万株·667 m^{-2})	每667 m^2穗数/(万穗·667 m^{-2})	穗粒数/粒	产量/(kg·667 m^{-2})	氮肥农学效率/(kg·kg^{-1})	氮肥偏生产力/(kg·kg^{-1})
N0	13.20±2.67 a	22.44±8.57 a	14.62±1.50 a	28.38±1.72 b	152.35±16.38 c	—	—
N1	16.73±2.43 a	21.38±2.15 a	17.73±2.50 a	36.48±13.25 ab	233.07±72.95 b	13.45±2.84 a	38.84±12.16 a
N2	13.61±1.76 a	26.18±3.44 a	18.47±2.17 a	46.57±6.97 a	312.64±22.97 a	17.81±2.55 a	34.74±2.55 a
N3	17.37±2.10 a	30.76±1.46 a	17.16±2.61 a	37.29±5.22 ab	232.48±21.39 b	6.68±1.79 b	19.37±1.78 b

2.2　不同播量和施氮量处理对开花期干物质积累与分配的影响

由图1和图2可知，在播量和氮肥试验中，开花期“喜马拉23号”干物质在植株地上部分不同器官中的积累量都从大到小依次为茎鞘、穗、叶片。在不同播量处理下，茎鞘、穗、叶片干物质积累量，随播量增加均呈下降趋势。在不同播量处理间，从分配比例看，茎鞘占55%～56%，穗占28%～29%，叶片占15%～17%，播量未明显改变干物质分配格局，表明高播量下个体生长受到抑制，单株干物质积累量降低。在不同施氮量处理下，适量施氮（N2）有利于穗和叶片干物质积累，过量施氮（N3）则导致各器官干物质积累量降低。在不同氮肥处理间，从分配比例看，茎鞘占53%～57%，穗占25%～28%，叶片占18%～21%。施氮量变化未明显改变干物质分配格局。

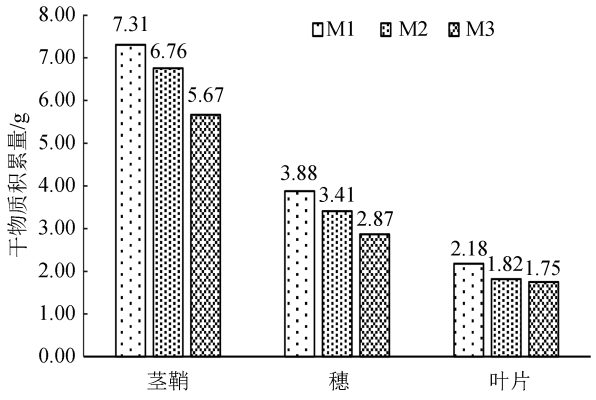


图1　播量试验干物质质量

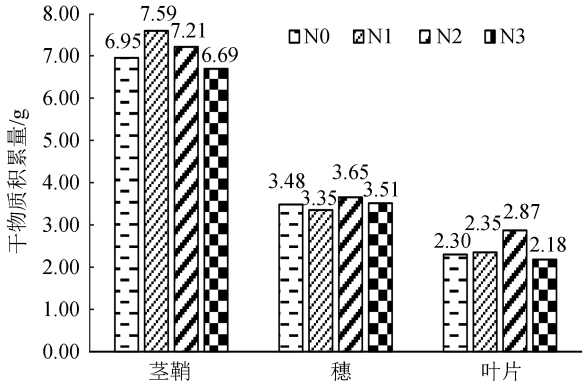


图2　氮肥试验干物质质量

2.3　不同播量和施氮量处理对开花期蛋白质含量的影响

由图3和图4可知，在播量和氮肥试验中，开花期“喜马拉23号”各器官蛋白质含量从大到小依次为叶片、穗、茎鞘。在不同播量处理下，茎鞘蛋白质含量随播量增加而降低，叶片蛋白质含量随播量增加呈上升趋势，表明较高播量下茎鞘蛋白质含量降低而叶片蛋白质含量升高，可能与高密度下植株氮素向光合器官（叶片）分配增加有关。不同施氮量处理下，茎鞘和叶片蛋白质含量随施氮量增加呈先升后降趋势，穗蛋白质含量持续上升，表明适量施氮能显著促进植株各器官蛋白质积累，过量施氮则导致茎鞘和叶片蛋白质含量下降。但播量和施氮量变化未明显改变蛋白质分配格局。

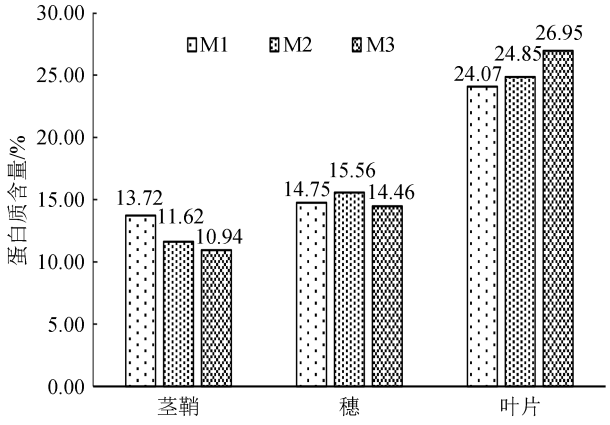


图3　播量试验蛋白质含量

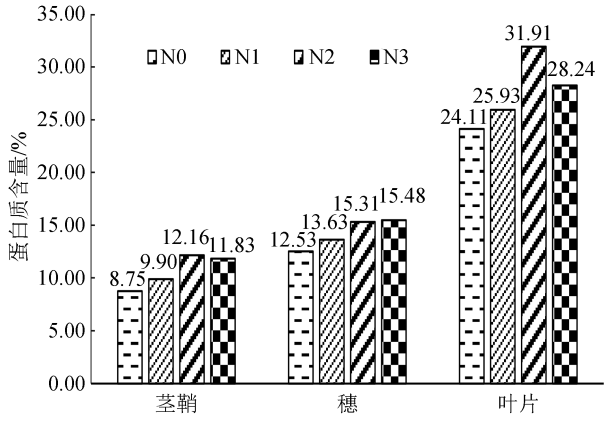


图4　氮肥试验蛋白质含量

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 播量对高寒春青稞产量与干物质积累的调控机理

播量通过调控作物群体结构，影响基本苗、每 667 m^2 穗数和穗粒数的协同变化，进而影响产量形成[12-13]。在本研究中，播量从 10 kg/667 m^2 增加至 14 kg/667 m^2 时，每 667 m^2 穗数从 14.22 万穗/667 m^2 显著提高至 20.87 万穗/667 m^2，穗粒数虽略有下降，但每 667 m^2 穗数的增加弥补了穗粒数的减少，产量显著提高；而播量继续增加至 18 kg/667 m^2 时，每 667 m^2 穗数急剧下降至 14.58 万穗/667 m^2，穗粒数进一步降至 40.72 粒，产量显著降低。这可能是由于高密度条件下群体内个体间对光照、水分和养分的竞争加剧，导致分蘖成穗率降低，有效穗数减少，同时个体生长受到抑制，穗粒数下降[14]。

在干物质积累方面，本研究中不同播量处理下开花期单株干物质积累量随播量增加而降低，M1 处理各器官干物质质量均高于 M2 和 M3 处理，表明低密度下单株生长空间充足，光合产物积累量大，较高的密度则会抑制单株干物质积累。然而，低密度下单株优势未能转化为群体产量优势，M2 处理通过合理的群体密度实现了每 667 m^2 穗数与穗粒数的最佳平衡，产量最高。

3.1.2 施氮量对青稞氮素利用与产量形成的影响

施氮量对青稞干物质积累、蛋白质含量和产量形成具有重要的调控作用，王志龙等[15]研究发现青稞蛋白质含量主要受施氮量影响，本研究同样证实施氮量对各器官蛋白质含量具有明显的调控作用，随着施氮量从 0 增加至9 kg/667 m^2，每 667 m^2 穗数、穗粒数和产量均显著提高，茎鞘、穗和叶片的蛋白质含量也随施氮量增加而上升，表明合理施氮能促进植株氮素吸收和干物质积累，增加每 667 m^2 穗数和穗粒数，从而提高产量[16-17]。然而，施氮量继续增加至 12 kg/667 m^2 时，每 667 m^2 穗数和穗粒数均下降，产量显著降低，各器官蛋白质含量也出现下降趋势。这可能是过量施氮导致植株营养生长过旺，群体郁闭，光合效率降低，同时氮素在茎鞘中过度积累而向穗部转运不足[18-19]。

氮肥利用效率是评价施肥合理性的重要指标。在本研究中，氮肥农学效率以 N2 处理最高为 17.81 kg/kg，表明 9 kg/667 m^2 施氮量下每增施 1 kg 纯氮所增加的产量最高，施氮的增产效益最优。N3 处理最低，说明过量施氮导致大量氮素以挥发、淋溶或反硝化等形式损失，不仅降低了氮肥利用效率，还可能造成土壤氮素残留和环境污染[18]。

3.2 结论

1)播量显著影响“喜马拉 23 号”的群体构建与产量形成。播量 14 kg/667 m^2 处理下每667 m^2 穗数最高(20.87 万穗/667 m^2)，产量达 325.63 kg/667 m^2，氮肥偏生产力为 35.55 kg/kg，均显著高于其他处理，是该品种在日土县高寒农区的适宜播量。播量过低群体不足，过高则个体竞争加剧，产量均显著降低。

2)施氮量对青稞产量和氮素利用具有显著的调控作用。施氮量 9 kg/667 m^2 处理下每 667 m^2 穗数和穗粒数协同提高，产量达 312.64 kg/667m^2，氮肥农学效率最优(17.81 kg/kg)，可在保证较高产量的同时维持较优的氮肥利用效率，可作为该区域推荐施氮量，过量施氮则导致产量和氮效率显著下降。

3)开花期干物质积累量在各器官中从大到小依次表现为茎鞘、穗、叶片，蛋白质含量从大到小依次表现为叶片、穗、茎鞘，适当播量和施氮有利于干物质和蛋白质在各器官间的合理分配。

4)综合产量与氮素利用效率方面，本试验条件下“喜马拉 23 号”在日土县高寒农区的最优播量为 14 kg/667 m^2，最优施氮量为 9 kg/667 m^2，该配套技术可实现降本增效与高产栽培目标，为“喜马拉 23 号”在日土县及类似生态区的高产高效生产提供技术支撑。后续需开展多年多点试验及播量与施氮量互作效应研究，进一步验证和优化该配套技术。

参考文献：

[1] 朱睦元，张京.大麦(青稞)营养分析及其食品加工 [M].杭州：浙江大学出版社，2015.

[2] 党斌，杨希娟，肖明，等.青稞加工利用综述 [J].青海

农林科技,2009(1):25-27,77.

[3] 看措.高寒地区不同行距、播种量及施肥量对青稞种子产量的影响[J].新农业,2019(3):15.

[4] 强小林,迟德钊,冯继林.青藏高原区域青稞生产与发展现状[J].西藏科技,2008,30(3):11-17.

[5] 白婷,靳玉龙,朱明霞,等.西藏地区不同青稞品种秸秆饲用品质分析[J].饲料工业,2019,40(12):59-64.

[6] 李维肖,王兆锋,张镱锂,等.西藏阿里地区耕地的时空分异特征及其影响因素[J].农业工程学报,2024,40(15):233-244.

[7] 李超逸,程丽,方江平,等.西藏阿里地区群落分类与物种多样性[J].区域治理,2021(5):31-36.

[8] Li Qun,Wu Puxia,Fan Huaye,et al.Spatial distribution pattern and natural causes analysis of sandy desertification land in Ali area[J].Sustainability,2022,14(14):8734.

[9] 安震.高寒春青稞"喜马拉23号"选育及多点试验示范[J].西藏农业科技,2019,41(增刊1):96-98.

[10] 拉巴穷达.高寒春青稞新品种"喜马拉23号"栽培技术要点[J].种子科技,2020,38(19):41-42.

[11] 韦泽秀,彭君,卓玛,等.几个高寒早熟青稞品种在浪卡子县的试种研究初探[J].中国农学通报,2022,38(27):6-12.

[12] Khan S,Anwar S,Kuai Jie,et al.Optimization of nitrogen rate and planting density for improving yield,nitrogen use efficiency,and lodging resistance in oilseed rape[J].Frontiers in Plant Science,2017,8:532.

[13] 甘雅文,唐亚伟,扎西罗布,等.株距对青稞主要农艺性状及产量的影响[J].安徽农业科学,2021,49(20):45-47,79.

[14] 刘仁建,扎西罗布,危文波,等.不同播种密度对南繁青稞产量及农艺性状的影响[J].西藏农业科技,2020,42(1):37-40.

[15] 王志龙,王志伟,乔祥梅,等.密度和氮肥对青稞'云大麦12号'品质的影响[J].中国农学通报,2023,39(16):1-6.

[16] 宋明丹,李正鹏,冯浩.不同水氮水平冬小麦干物质积累特征及产量效应[J].农业工程学报,2016,32(2):119-126.

[17] 陆景陵.植物营养学-上册[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[18] 马瑞萍,刘国一,高雪,等.不同施肥模式对青稞产量、品质及土壤环境的影响[J].西藏农业科技,2019,41(增刊1):6-10.

[19] Kong Lingan,Xie Yan,Hu Ling,et al.Remobilization of vegetative nitrogen to developing grain in wheat(*Triticum aestivum*)[J].Field Crops Research,2016,196:134-144.