

青海高寒区不同红豆草种质资源生产性能与适应性 对比研究

马亚珺¹ 杨国柱^{2*} 严雅军³ 田海宁² 段晓明² 李俄仁措⁴

(1. 宁夏农林科学院 动物科学研究所, 宁夏银川 750004; 2. 青海大学 生态环境工程研究中心, 青海西宁 810016; 3. 四川大学 生命科学学院, 四川成都 610065; 4. 青海省三江集团有限责任公司, 青海西宁 810000)

摘要 为筛选适宜青海高寒半干旱地区种植的红豆草 (*Onobrychis viciaefolia*) 优良种质, 本研究比较了5份红豆草种质资源的关键性状。以青育1号、青育2号、HD8630、HD9245和蒙农为材料, 在同德县测定出苗率、农艺性状及产量表现。结果显示, 青育1号出苗率最高 (92.33%), 株高 (86.67 cm)、分枝数 (17.33 个) 和主根直径 (1.03 cm) 均显著优于其他种质 ($P < 0.05$); 其鲜草与干草产量也显著高于其余材料。综上, 青育1号适应性强、产量高, 适宜作为青海高寒区主推红豆草种质。

关键词 红豆草; 种质资源; 生产性能; 适应性; 高寒区; 青海

中图分类号: S541.4

文献标志码: A

文章编号: 2096-4781 (2026) 04-0487-06

DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2026.04.008

A Comparative Study of the Production Performance and Adaptability of Different Red Bean Grass Germplasm Resources in the Cold Region of Qinghai

MA Yajun¹, YANG Guozhu^{2*}, YAN Yajun³, TIAN Haining², DUAN Xiaoming², LI Erencuo⁴

(1. Institute of Animal Science, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750004, China; 2. Ecological and Environmental Engineering Research Center, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China; 3. College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China; 4. Qinghai Sanjiang Group Co., Ltd., Xining, Qinghai 810000, China)

Abstract: To screen superior germplasm of sainfoin (*Onobrychis viciaefolia*) suitable for cultivation in Qinghai's high-altitude, semi-arid regions, this study compared key traits among five sainfoin germplasm resources. Using Qingyu No. 1, Qingyu No. 2, HD8630, HD9245, and Mengnong as materials, germination rates, agronomic traits, and yield performance were measured in Tongde County. Results showed Qingyu No. 1 exhibited the highest germination rate (92.33%) and significantly outperformed other germplasm in plant height (86.67 cm), number of branches (17.33), and primary root diameter (1.03 cm) ($P < 0.05$). Its fresh and dry forage yields were also significantly higher than other materials. In summary, Qingyu No. 1 exhibits strong adaptability and high yield potential, making it suitable as the primary

收稿日期: 2025-10-23

作者简介: 马亚珺 (1993-), 男, 回族, 宁夏海原人, 博士, 助理研究员。研究方向: 主要从事牧草栽培与育种方面的研究。

通信作者: 杨国柱 (1960-), 男, 汉族, 山东莱州人, 本科, 教授。研究方向: 主要从事高原环境生态方面的研究。

基金项目: 青海省科技特派员专项项目 (2024-NK-P17); 中央财政林草科技推广示范项目 (青2023TG03, 青2023TG06)。

recommended sainfoin germplasm for Qinghai's high-altitude cold regions.

Key words: *Onobrychis viciaefolia*; Germplasm resources; Production performance; Adaptability; High-cold region; Qinghai

红豆草 (*Onobrychis viciaefolia*) 作为一种优质多年生豆科牧草, 因其富含蛋白质、适口性佳, 并兼具耐旱、耐寒、固氮培肥等综合优势, 被誉为干旱、半干旱地区的代表性生态牧草种质^[1]。该类地区生境严酷, 植被恢复困难, 红豆草不仅能提供优质饲草, 还能通过根系固氮改善土壤结构, 因此在生态与生产结合型农业中具有独特价值^[2]。

青藏高原是我国重要的生态安全屏障与畜牧业基地, 但同时也面临高寒、干旱、强辐射及生长季短等多重环境胁迫。近年来, 随着高原生态保护与草牧业可持续发展需求的日益迫切, 筛选与培育能够适应极端环境、兼具生态与生产功能的优质豆科牧草, 已成为区域草地农业与生态修复研究的关键课题^[3,4]。青海作为青藏高原的典型代表区域之一, 海拔高、气温低、无霜期短、蒸发强烈, 生态系统极为脆弱, 对引入牧草的适应性与稳定性提出了极高要求^[5]。在此背景下, 红豆草作为潜在适生豆种, 其引种与筛选工作对推动区域饲草保障、退化草地治理及农牧业系统转型具有深远意义。

尽管红豆草在青海等地已有一定的引种历史^[6], 但前期研究多集中于单一品种或小范围试种, 缺乏对多样化种质资源在高原极端环境下适应性、生产稳定性及生态效益的系统比较。早期引种材料来源不一, 适应性分化明显, 部分种质存在越冬困难、产量不稳等问题, 严重限制了其规模化推广与地方品种优化进程^[7]。因此, 开展多样化种质资源的田间比较评价, 明确其在真实生境中的农艺表现与生态适应性, 是推进红豆草在高寒地区实现科学推广与种质创新的前提。

本研究选取5份不同来源的红豆草种质, 在青海省同德县典型高寒半干旱区布设田间试验, 系统观测其出苗、物候、农艺性状及产量构成等指标, 旨在筛选出适应高原逆境的优良红豆草种质, 为区域人工草地建植、退化草地修复及草种优化配置提供科学依据与种源支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于青海省同德县, 属典型的高原大陆性气候。最高海拔4 671 m, 最低海拔2 648 m, 平均海拔3 660 m。年均气温0.4 °C ~ 0.6 °C, 年均降水量440 mm, 年均蒸发量 $\geq 1\ 600$ mm, 年日照时数2 500 ~ 2 800 h, 无绝对无霜期。土壤类型为高山草甸土/栗钙土, pH值7.2 ~ 8.0, 有机质含量2.1% ~ 3.4%。

1.2 试验材料

供试材料为5份红豆草种质: 青育1号、青育2号、HD8630、HD9245、蒙农, 均由青海大学生态环境工程研究中心提供。

1.3 试验设计

采用随机区组设计 (RCBD), 设3次重复。每个小区面积5 m × 3 m = 15 m²。播种方式为条播, 行距30 cm, 播种深度2 cm, 播种量为18 kg/hm²。

1.4 测定指标

出苗率测定: 播种后第20天调查, 每小区随机选取3行, 每行1 m, 统计出苗数。

$$\text{出苗率}(\%) = (\text{出苗总数} / \text{供试种子数}) \times 100\%^{[7]}$$

(1)

株高测定：开花期每小区随机选取 10 株，测量地面至植株顶端自然高度。

分枝数的测定：同期记录每株主茎上的一级分枝数。

主根直径的测定：挖取完整根系，用游标卡尺测量主根最粗处直径。

产量测定：初花期刈割，留茬 5 cm，整区称重得鲜草产量；65 ℃烘干至恒重得干草产量。

1.5 数据处理

使用 Excel 2022 进行初步整理，SPSS 26 进行方差分析与 Duncan 多重比较（ $P < 0.05$ ）。

2 结果分析

2.1 不同种质资源红豆草的出苗率比较研究

由表 1 可知，不同红豆草种质资源出苗率存在一定差异（ $P < 0.05$ ），出苗最高的是青育 1 号为 92.33%，出苗率最低的是蒙农为 80.67%。出苗率的排序为青育 1 号 > HD8630 > 青育 2 号 > HD9245 > 蒙农。结果表明，青育 1 号出苗率高，有利于提高高寒地区草地建植成功率。

表 1 不同种质资源红豆草种的出苗率

Tab.1 Germination rate of *Onobrychis viciaefolia* seeds from different germplasm resources

种质名称	出苗率/%
青育 1 号	92.33±0.57d
青育 2 号	84.00±0.56b
HD8630	87.67±0.88c
HD9245	82.33±1.15ab
蒙农	80.67±0.87a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ，Duncan 法，下同）。

2.2 不同种质资源红豆草的物候期比较研究

由表 2 可知，物候期观察显示，各红豆草种质在播种期一致条件下，出苗期和分枝期略有差异。青育 1 号、青育 2 号和 HD9245 出苗最早（5 月 26 日），而 HD8630 和蒙农分别延迟 1 d 和 2 d。尽管差异不大，但在高寒区短暂的无霜期内，早期出苗有助于延长生育期，提高干物质积累量。因此，青育 1 号等早发性种质在高原生态区更具生产潜力。

表 2 不同种质资源红豆草的物候期

Tab.2 Phenological stages of *Onobrychis viciaefolia* from different germplasm resources

种质名称	播种期(日/月)	出苗期(日/月)	分枝期(日/月)
青育 1 号	8/5	26/5	8/8
青育 2 号	8/5	26/5	8/8
HD8630	8/5	27/5	8/8
HD9245	8/5	26/5	8/8
蒙农	8/5	28/5	8/8

2.3 不同种质资源红豆草的农艺性状比较

由表 3 可知，青育 1 号在株高、分枝数和主根直径上均表现最优。其株高达 86.67 cm，分枝数为 17.33

个，主根直径为 1.03 cm，显著高于其他种质 ($P < 0.05$)。较高的株高和较多的分枝数有利于提高光能利用效率和单位面积产量，而粗壮的主根则增强了植株对干旱和贫瘠土壤的适应能力。相较之下，蒙农和 HD9245 在株高和根系发育方面表现较弱，可能限制其在干旱年份的稳产性。

表3 不同种质资源红豆草株高、分枝数、主根直径
Tab.3 Plant height, number of branches and primary root diameter of different *Onobrychis viciaefolia* germplasm resources

种质名称	株高/cm	分枝数/个	主根直径/cm
青育 1 号	86.67±1.20d	17.33±0.66c	1.03±0.08b
青育 2 号	81.00±0.57bc	14.33±0.33b	0.60±0.11a
HD8630	79.33±0.88b	13.67±0.31ab	0.91±0.06ab
HD9245	83.20±0.58c	10.67±1.20a	0.53±0.03a
蒙农	76.33±1.19a	12.33±0.33ab	0.57±0.12a

2.4 不同种质资源红豆草的产量比较

由表 4 可知，产量是衡量牧草种质生产性能的核心指标。本研究中，青育 1 号鲜草产量为 49 400 kg/ha，干草产量为 16 390 kg/hm²，均显著高于其他种质 ($P < 0.05$)。其他四种红豆草在产量上差异不显著，鲜草产量介于 36 667 ~ 44 180 kg/hm²，干草产量为 13 135 ~ 16 032 kg/hm²。该结果进一步验证了青育 1 号在高原环境下的高产优势，是红豆草的一个优异种质资源。

表4 不同种质资源红豆草鲜草产量、干草产量
Tab.4 Fresh forage yield and dry forage yield of different *Onobrychis viciaefolia* germplasm resources

种质名称	鲜草产量(kg/hm ²)	位次	干草产量(kg/hm ²)	位次
青育 1 号	49 400 ± 480 b	1	16 390 ± 165 b	1
青育 2 号	37 710 ± 1890 a	4	13 135 ± 735 a	5
HD8630	40 960 ± 465 a	3	13 830 ± 435 a	4
HD9245	36 667 ± 4350 a	5	14 362 ± 600 ab	3
蒙农	44 180 ± 540 a	2	16 023 ± 540 b	2

3 讨论

3.1 不同红豆草种质资源的出苗率

出苗率是决定牧草群体建成和早期生物量形成的关键环节^[8]。本研究中，青育 1 号的出苗率高达 92.33%，显著优于其他种质，这直观反映了其种子内在活力强、早期适应性优的特性^[9]。在高寒地区，早春低温与不稳定的水分条件对种子萌发构成严峻挑战，而青育 1 号的高出苗率可能与其种子休眠性弱、低温萌发阈值低等生理特性密切相关；这一表现也与豆科牧草抗寒性研究中“高活力种子是实现快速建植前提”的结论高度吻合^[10,11]。类似规律在禾本科作物中亦有体现，如樊廷录^[12]报道，种子活力较高的玉米其后期的生长性能也更为突出。相比之下，蒙农的出苗率最低（80%），可能归因于其对低温胁迫更为敏感，或种子本身存在一定的生理休眠机制，这与南丽丽^[13]的相关研究结果一致。因此，在高寒地区筛选红豆草种质时，必须将种子萌发阶段的耐寒性作为首要评价指标，为实现快速建植与高产稳产奠定群体基础。

3.2 不同种质资源红豆草的物候期

物候期是植物长期适应特定生境过程中形成的周期性发育规律，是其生态适应性的集中体现^[14]。本研究显示，尽管所有供试红豆草种质的播种期完全一致，但出苗期存在1~2 d的差异，其中青育1号与青育2号较早出苗，表明其能够更快突破早期环境胁迫，提前进入营养生长阶段。在高寒地区，生长季短暂、光热资源严重受限，物候期小幅提前意味着植株可更充分地利用早春有限的水热条件，延长有效光合时间，为干物质积累争取关键窗口期。已有研究明确指出，在无霜期较短的生态区，作物生育期即使仅提前1~2 d，也能显著增加生物量积累，最终转化为可观的产量优势^[15]。本研究中，青育1号等早出苗种质在鲜草与干草产量上均表现优异，正是这一生理生态机制的有力印证，同时也与曹国顺等人^[16]关于“早发促高产”在高原牧草系统中的研究结论相一致。因此，在高寒区红豆草种质筛选与育种实践中，将早发性作为核心评价指标，是有效提升牧草生产潜力、克服季节约束的重要策略。

3.3 不同种质资源红豆草的农艺性状

农艺性状是植物在特定生境中生长状况与抗逆能力的直观表征，直接反映其对环境胁迫的生理响应与适应策略^[17]。本研究中，青育1号在关键农艺性状上表现突出，其株高最高、分枝数最多、主根直径最大，构成显著的综合形态优势。较高的株高与较多的分枝数共同塑造了更为发达的地上冠层结构，这不仅增加了植株的光合作用面积，提高了光能捕获效率，也为高产量的形成奠定了结构性基础^[18,19]。与此同时，主根直径作为衡量根系发育程度的关键指标，与植物的机械锚定能力、深层土壤水分吸收及养分运输效率密切相关；青育1号具有最粗的主根，这一特征很可能赋予其更强的抗旱性与土壤固持能力，使其在青海高寒半干旱区常见的季节性干旱与土壤瘠薄条件下仍能维持相对稳定的生长表现^[20]。这一发现与多项研究中关于“深根系与粗主根是豆科牧草适应干旱与贫瘠生境关键性状”的结论高度一致^[21-23]。相比之下，蒙农与HD9245在根系发育方面相对较弱，这可能限制了其在干旱胁迫下的水分与养分获取能力，进而影响其在逆境中的产量稳定性与生态适应性。因此，在筛选适于高寒半干旱地区的红豆草种质时，应综合考量其地上与地下性状的协同发育水平，以选育出兼具高产潜力与强抗逆性的优良种质。

3.4 不同种质资源红豆草的产量

产量作为综合评价牧草种质资源经济与生态价值的关键指标，直接决定了品种的推广应用潜力^[24]。本研究结果显示，青育1号在鲜草和干草产量上均显著优于其他参试种质，这一高产表现并非偶然，而是其全生育期综合优势的必然结果：较高的出苗率确保了良好的群体建植基础，较早的物候发育有效延长了营养生长时间，而优良的株高、分枝数等地上形态特征与发达的主根系统则共同构建了理想的光合结构与抗逆基础，为其高产稳产提供了双重保障。该结果与祁星明等人^[6]关于红豆草在高寒地区适应性的研究结论相互印证，不仅从产量层面证实了红豆草在该地区推广的可行性，更明确了优良种质在产量表现上的巨大潜力。相比之下，其余4种红豆草种质产量水平相近且显著偏低，反映出其对高寒半干旱区特殊生境条件的整体适应性存在明显局限，特别是对持续低温、强辐射及季节性水分亏缺等逆境因子的响应能力不足，导致其光合效率与物质积累能力受限，最终影响产量表现。值得注意的是，这种产量差异不仅体现在生物量上，更关系到其在生态修复与农牧民增收中的实际价值。因此，青育1号的卓越产量表现，不仅为高寒地区牧草生产提供了优质种质资源，也为区域生态修复与草牧业可持续发展提供了可靠品种支撑，建议在其基础上进一步开展配套栽培技术研究，以充分挖掘其生产与生态潜力。

4 结论

本研究明确‘青育1号’红豆草为青海高寒半干旱区的优质红豆草种质之一,其较好的出苗率、农艺性状及产量表现,凸显了其在生态修复与饲草生产中的核心应用价值。该品种的成功筛选,不仅为缓解区域饲草短缺、修复退化草地提供了关键技术支撑,更对推动青藏高原草牧业提质增效与乡村振兴战略具有现实意义。未来应着力推进其品种审定与区域化推广,并通过深化其抗逆机理与稳产技术研究,为构建高原可持续农牧系统提供永续动力。

参考文献:

- [1] 南丽丽,温素军,魏凡,等.红豆草新品系的草产量及营养价值研究[J].草地学报,2020,28(2):383-388.
- [2] Lüscher A, Mueller-Harvey I, Soussana J F, et al. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review[J]. *Grass and Forage Science*, 2014, 69(2): 206-228.
- [3] 旦久罗布,谢文栋,王有侠,等.藏北高寒草原乡土生态草梭罗草播种量筛选试验研究[J].高原农业,2025,9(1):73-77+99.
- [4] 段丽辉,刘晓丽,韩冰,等.乡土物种补播对青藏高原高寒草甸群落稳定性的影响[J].草地学报,2021,29(8):1793-1800.
- [5] 颜春彩,石艳.青海省都兰县天然草地有害生物调查[J].高原农业,2025,9(2):205-210.
- [6] 祁星明,周学丽,童世贤.高寒牧区红豆草引种试验[J].青海草业,2015,24(4):18-20.
- [7] 云娜,石凤翎,王晓龙,等.EMS诱变对蒙农红豆草出苗和幼苗生长的影响[J].中国草地学报,2014,36(3):5-9.
- [8] 张琦,魏臻武,闫天芳,等.燕麦种质资源农艺性状遗传多样性的鉴定评价[J].草地学报,2021,29(2):309-316.
- [9] 惠文森.红豆草种子生活力和发芽率的相关性比较[J].西北民族大学学报(自然科学版),2008,29(3):59-61.
- [10] 曲艳,李青丰.四种豆科种子休眠及萌发特性的研究[J].草原与草业,2018,30(4):35-40.
- [11] 王传旗,梁莎,武俊喜,等.温度对西藏5种野生豆科牧草种子萌发的影响研究[J].种子,2017,36(10):1-5+11.
- [12] 樊廷录,王淑英,王建华,等.河西制种基地玉米杂交种种子成熟期与种子活力的关系[J].中国农业科学,2014,47(15):2960-2970.
- [13] 何海鹏,南丽丽,马彪,等.红豆草种质苗期耐寒性筛选及评价[J].中国草地学报,2023,45(5):41-49.
- [14] 霍锦,咎永黎,刁鹏,等.库尔勒香梨物候期特征及花期预测[J].中国农学通报,2025,41(14):111-119.
- [15] 刘世婷,刘明蕊,李国娥,等.植物物候研究进展[J].草业科学,2024,41(10):2402-2418.
- [16] 曹国顺,夏燕.甘南高寒牧区红豆草引种试验[J].甘肃农业,2015,(16):28-29.
- [17] 蔺美玲,张邦彦,武晋民,等.宁夏平原中度盐碱地小黑麦种质资源适应性评价[J/OL].草业科学,1-21[2025-10-11].
- [18] 王伟强,刘晶,田新会,等.甘农2号黑麦品种在青海省不同区域的适应性评价[J].草地学报,2021,29(3):504-514.
- [19] 刘晶,赵方媛,杜文华,等.甘肃省不同生态区高产优质小黑麦种质的筛选[J].草原与草坪,2019,39(5):44-52.
- [20] 张建文,张龙龙,张泉,等.57份紫花苜蓿种质农艺性状及产量分析和评价[J].畜牧与饲料科学,2022,43(2):69-77.
- [21] 李沛,王英哲,于澜,等.16个紫花苜蓿杂交组合农艺产量与品质性状综合评价[J].黑龙江畜牧兽医,2024(9):85-90,119.
- [22] 马福才,刘成凯,刘宝龙,等.柴达木盆地轻度盐碱地苜蓿种质资源评价[J].青海大学学报,2025,43(4):16-22.
- [23] 杜红旗,冯长松,吕先召,等.87个苜蓿品种草产量及其相关农艺性状评价分析[J].家畜生态学报,2025,46(5):90-99.
- [24] 杨航,赵雅姣,刘晓静.紫花苜蓿/燕麦间作的光合特征及其对产量的调控效应[J].草地学报,2023,31(1):187-195.