DOI:10.11686/cyxb2026046 http://cyxb.magtech.com.cn
李文华, 徐昭, 王进, 等. 同质园环境下不同地理种源唐古特白刺幼苗生长特性研究. 草业学报, 2026, 35(11): 201－210.
LI Wen-hua, XU Zhao, WANG Jin, *et al*. A study of growth characteristics of *Nitraria tangutorum* seedlings from different geographic provenances in a common garden. Acta Prataculturae Sinica, 2026, 35(11): 201－210.

同质园环境下不同地理种源唐古特白刺幼苗生长特性研究

李文华[1,2], 徐昭[1], 王进[1,2*], 段玉芳[1,2], 张博文[1,2], 陈冬[1,2]
(1. 河西学院农业与生态工程学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 为全面评价不同地理种源唐古特白刺在河西走廊的引种表现, 以柴达木、河西走廊、阿拉善3个地理种源唐古特白刺种子为研究材料, 通过同质园试验, 分析了3个不同种源唐古特白刺幼苗的生长差异及其与种源地环境因子的关系。结果表明: 唐古特白刺的幼苗建成、早期生长及其根冠策略存在显著的种源差异($P<0.05$)。冗余分析表明这种差异主要受到种源地年均降水量的影响, 干旱种源地的唐古特白刺在引种地播种后, 其幼苗生长倾向于抑制地上部, 优先保证早期存活和根系生长。阿拉善种源的出苗率、成苗率和苗高最大, 分别较柴达木种源显著提高36.57%、41.09%、32.14%($P<0.05$), 这些均有利于幼苗早期存活。阿拉善种源的幼苗基径、分枝数、地上生物量均最小, 但各根系指标整体表现最优, 根冠比分别较柴达木、河西走廊提高48.62%、34.96%($P<0.05$), 表现出"重根系、保成活"的生长策略, 展现出较强的后期生长潜力。主成分综合评价表明, 阿拉善种源唐古特白刺在河西走廊的田间生长表现最佳, 利于引种。研究结果可为唐古特白刺优质种质资源的筛选提供依据。

关键词: 唐古特白刺; 地理种源; 同质园; 幼苗生长特性; 环境因子

A study of growth characteristics of *Nitraria tangutorum* seedlings from different geographic provenances in a common garden

LI Wen-hua[1,2], XU Zhao[1], WANG Jin[1,2*], DUAN Yu-fang[1,2], ZHANG Bo-wen[1,2], CHEN Dong[1,2]
1. *College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye* 734000, *China*; 2. *Key Laboratory of Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu, Zhangye* 734000, *China*

Abstract: A multi-trait evaluation was conducted to assess the seedling growth performance of *Nitraria tangutorum* from different geographic provenances in the Hexi Corridor. A standard species introduction experiment was conducted on *N. tangutorum* seedlings from three geographic provenances, namely, Chaidamu, Hexi Corridor, and Alashan. This study aimed to analyze the growth differences among *N. tangutorum* seedlings from these provenances and the contributions of environmental factors to the variation. It was found that there were significant provenance differences in the seedling establishment, early growth, and root-shoot strategies among *N. tangutorum* species from different provenances ($P<0.05$). Redundancy analysis revealed that these differences were primarily related to annual mean precipitation in the native environment of provenances. The seedlings from arid provenance tended to exhibit restricted aboveground growth and preferentially promote root growth. The seedlings from Alashan

收稿日期: 2026-02-04; 改回日期: 2026-03-12
基金项目: 甘肃省重点研发计划"名贵中药材锁阳及其寄主白刺、霸王人工栽培、示范与推广"(21YF5NA128)资助。
作者简介: 李文华(1994－), 女, 内蒙古东乌旗人, 在读硕士。E-mail: 1093928081@qq.com
*通信作者 Corresponding author. E-mail: wangjin0810@163.com

seeds displayed the highest seedling emergence rate, establishment rate, and seedling height, with values significantly higher ($P<0.05$) than seedlings from Chaidamu seeds by 36.57%, 41.09%, and 32.14%, respectively. These strategies collectively contributed to the early survival of seedlings. In addition, the seedlings from Alashan had the smallest basal diameter, number of branches, and aboveground biomass, but exhibited the most developed root characteristics. In particular, the root∶shoot was significantly higher than that of seedlings of Chaidamu and Hexi Corridor provenances by 48.62% and 34.96%, respectively ($P<0.05$). The seedlings of Alashan provenance displayed a growth strategy that promoted root development to ensure survival. Principal component analysis showed that *N. tangutorum* seed sourced from Alashan exhibited the best performance in the cultivation environment in the Hexi Corridor, and was therefore the recommended provenance for promotion. These research results will provide scientific support for the selection of superior germplasm material of *N. tangutorum* for introduction in the Hexi Corridor.

Key words: *Nitraria tangutorum*; geographic provenances; common garden; seedling growth characteristics; environmental factors

唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)具有良好的抗旱、抗寒、耐盐碱特性,防风固沙性能突出,是我国干旱地区生物治沙的主要造林树种,同时也是一种药食同源的野生植物,其种子、叶、果实均可入药,并且还是中药材锁阳(*Cynomorium songaricum*)的寄主,具有广阔的开发利用前景[1]。近年来,多地争相开发白刺资源,某些地方甚至出现了过度采食和砍伐野生白刺等问题[2]。因此,研究人工引种种植唐古特白刺技术是解决该问题的必然选择,对野生白刺资源保护、资源开发及生态修复具有重要意义。

白刺种子具有深度休眠特性[3-4],自然条件下发芽率低,且萌发周期长,严重制约了其规模化育苗。目前关于人工种植唐古特白刺的关键技术研究主要集中在种子休眠特性[5]、休眠破除技术[6-7]及干旱盐碱胁迫响应[8-9]等方面,且侧重于单一种源的室内试验研究。已有研究表明,植物性状在很大程度上受到所处环境的影响[10],其会根据环境条件进行适应性调节[11],这是植物长期应对环境变化所采取的生存策略[12]。同一物种不同地理种源质量[13-14]及其在相同生长环境下繁育的幼苗生长和功能性状会存在地理差异[15-16],且这些差异与原产地地理气候条件相关[17]。唐古特白刺自然分布范围广,主要分布在我国柴达木地区、河西走廊、内蒙古、新疆等干旱荒漠高寒地区[3]。由于各种源地海拔、气候等自然环境差异显著,不同地理环境导致种源质量参差不齐[18-19]。所以筛选优良唐古特白刺种质资源也是实现人工引种栽培的关键所在。在白刺种源优选方面,李清河等[19]、高暝等[20]和种培芳等[21]分别从水分梯度、渗透胁迫的生理生长响应和光合能力等方面开展了相关研究。张景波等[22]和刘生龙等[18]分别在内蒙古磴口、甘肃民勤进行了唐古特白刺种源初选试验,综合株高、地径、冠幅等基础生长和抗逆指标筛选出阿拉善盟吉兰太和甘肃民勤的种源表现较为突出。但目前针对不同地理种源唐古特白刺在河西走廊引种生长表现的系统研究仍较为匮乏。

基于此,本研究以柴达木地区、河西走廊、阿拉善3个典型区域唐古特白刺种子为试验材料,采用同质园试验,探究不同地理种源唐古特白刺种子田间萌发及幼苗生长差异,为河西走廊唐古特白刺优良种质资源的筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

唐古特白刺种子于2024年10月采集于青海海西州都兰县、甘肃张掖甘州区、内蒙古阿拉善右旗,3个区域各随机采集10个样点进行混合。将野外采集的充分成熟的白刺果实带回实验室,清水浸泡24 h,然后装入尼龙网袋反复搓揉,冲洗去除果肉及杂质,之后在室内阴干,将获取的净种子在4 ℃冷柜内贮存备用。

1.2 试验地概况

同质园田间试验于2025年4—10月在张掖市河西学院农业科技园(39°4′ N,100°18′ E,海拔1430 m)开展。

该地区地处河西走廊中段，年平均气温 7.1 ℃，年平均降水量 128.7 mm，试验地土壤主要为沙质土。

1.3 试验方法

1.3.1 种子处理 2025 年 4 月，选取 3 个不同地理种源唐古特白刺种子，要求同一种源地种子颗粒饱满、大小形状基本一致。将唐古特白刺种子放入清水中，剔除空秕粒、烂粒、虫蚀粒和杂质，根据课题组前期研究成果[6]，采用 2 mol·L^{-1} NaOH 溶液浸泡 1 h，然后用清水洗净，与清洗后的河沙进行混合，放置在 5 ℃冰箱中低温层积 30 d，以破除休眠。

1.3.2 同质园田间试验 同质园试验设置 3 个不同地理种源处理，分别为柴达木种源（青海都兰县）、河西走廊种源（张掖甘州区）、阿拉善种源（阿拉善右旗），随机区组试验设计，重复 3 次。选择地势平坦、土壤条件相对均匀的砂质土壤试验地（12 m×10 m），春季翻地、耙平，四周设置 3 m 保护带，防止边际效应。在试验地垂直于肥力梯度方向划分 3 个区组，再在每个区组内部划出 3 个试验小区（3 m×3 m），尽量保证唐古特白刺幼苗有充分的生长空间、无种间竞争的栽培条件。2025 年 4 月 30 日将处理好的唐古特白刺种子按照小区设计开沟 2～3 cm 均匀条播，行距 40 cm，每个小区播种量统一为 200 粒种子，之后覆土压实，立即浇水，每 2 d 滴灌浇水 1 次，共浇 5 次，确保出苗。出苗后每周浇水 1 次，适时拔除杂草，其他田间管理方法均保持一致。10 月 12 日在落叶前测量当年生唐古特白刺生长性状。

1.4 测定指标与方法

田间出苗率：在播种后 15 d 统计出苗数，出苗率＝出苗数/播种数×100%。

田间成苗率：在 10 月 12 日统计唐古特白刺成苗数，成苗率＝成苗数/播种数×100%。

植株生长指标测定：10 月 12 日试验结束后每个小区随机选取 5 株当年生唐古特白刺苗木，利用盒尺测量苗高，采用电子数显游标卡尺（DL91150，中国浙江宁波）测量基径，然后带回实验室，置于 105 ℃烘箱杀青 30 min，80 ℃烘干至恒重，计算单株生物量。

枝条分枝数：采用由内向外的枝序确定方法，以主干上萌生出的枝条作为一级枝条，一级枝条上的分枝为二级枝条，统计其数量。

根系指标：挖取测量生长指标的 5 株唐古特白刺的全部根系，清洗根系表面附着的土壤，滤纸吸干表面水分，统计每株侧根数，用盒尺测量主根长，采用恒美 HM-GX02 根系扫描仪（中国山东潍坊）测定根系总面积、根系总体积、根系直径及根总长等指标。最后，将所有根系样品放入 65 ℃烘箱 48 h 烘干至恒重，称量根干重。

1.5 数据分析

采用 SPSS 23.0 软件进行方差分析，多重比较采用 LSD 法。采用冗余分析（redundancy analysis，RDA）法分析白刺生长性状与环境因子的关系，参考王剑博等[23]关于白刺叶片性状与环境因子的冗余分析方法，本研究选取年均降水量、年均气温、海拔 3 个关键环境因子。利用主成分分析进行综合评价。采用 Excel 2019、Origin 2024 和 Canoco 5 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同地理种源对唐古特白刺田间出苗率和成苗率的影响

林木种子的出苗率和成苗率在林业生产中具有重要价值。从图 1 可以看出，唐古特白刺种子田间出苗率和成苗率具有显著的种源效应（$P<0.05$）。出苗率和成苗率均表现为阿拉善＞河西走廊＞柴达木，阿拉善种源地的出苗率和成苗率分别较柴达木种源地显著提高了 36.57% 和 41.09%（$P<0.05$）。

2.2 不同地理种源对唐古特白刺枝条性状的影响

从图 2 可以看出，不同种源地对唐古特白刺苗高和二级分枝数影响显著（$P<0.05$），而对基径和一级分枝数的影响未达到显著水平。阿拉善种源的当年生唐古特白刺苗高最大，较柴达木种源显著提高 32.14%（$P<0.05$），较河西走廊种源提高 20.14%，但差异不显著。基径、一级分枝数和二级分枝数均表现为河西走廊种源＞柴达木种源＞阿拉善种源，其中河西走廊种源的二级分枝数显著高于柴达木和阿拉善种源（$P<0.05$）。

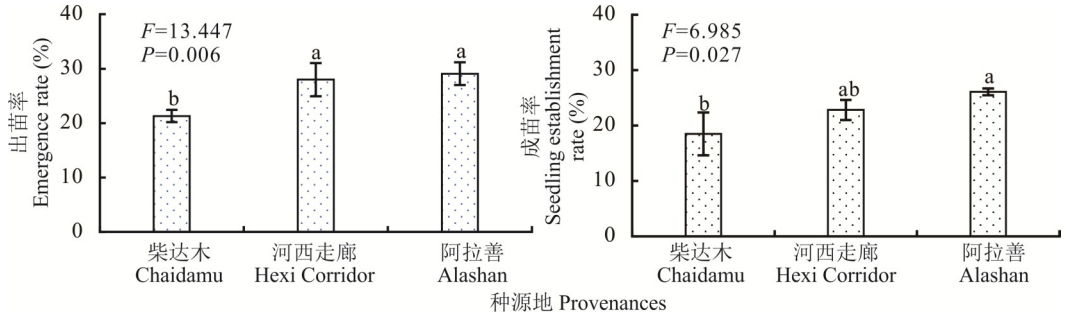


图1 不同地理种源对唐古特白刺种子田间出苗率和成苗率的影响

Fig. 1 Effects of different geographic provenances on field emergence rate and seedling establishment rate of *N. tangutorum*

不同的小写字母代表不同处理间在0.05水平上差异显著($P<0.05$),下同。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at the 0.05 level ($P<0.05$), the same below.

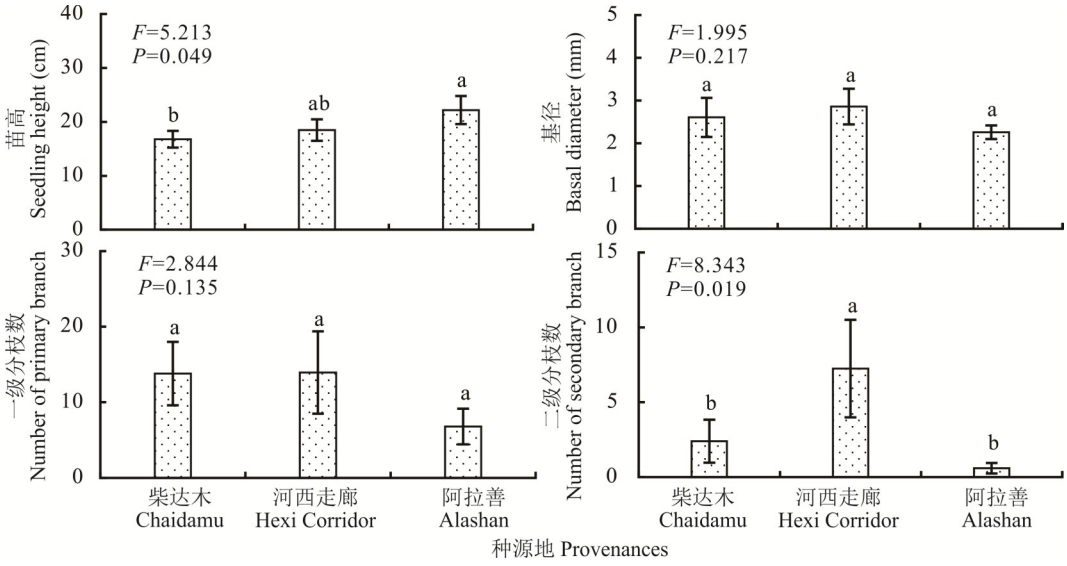


图2 不同地理种源对唐古特白刺幼苗枝条性状的影响

Fig. 2 Effect on branches morphology of *N. tangutorum* seedlings from different geographic provenances

2.3 不同地理种源对唐古特白刺生物量和根冠比的影响

从图3可以看出,唐古特白刺根冠比具有显著的种源效应($P<0.05$),而种源对地上生物量和根干重的影响不显著。地上生物量表现为柴达木种源>河西走廊种源>阿拉善种源。根干重和根冠比表现为阿拉善>河西走廊>柴达木,其中阿拉善根冠比分别较柴达木、河西走廊显著提高48.62%、34.96%($P<0.05$)。

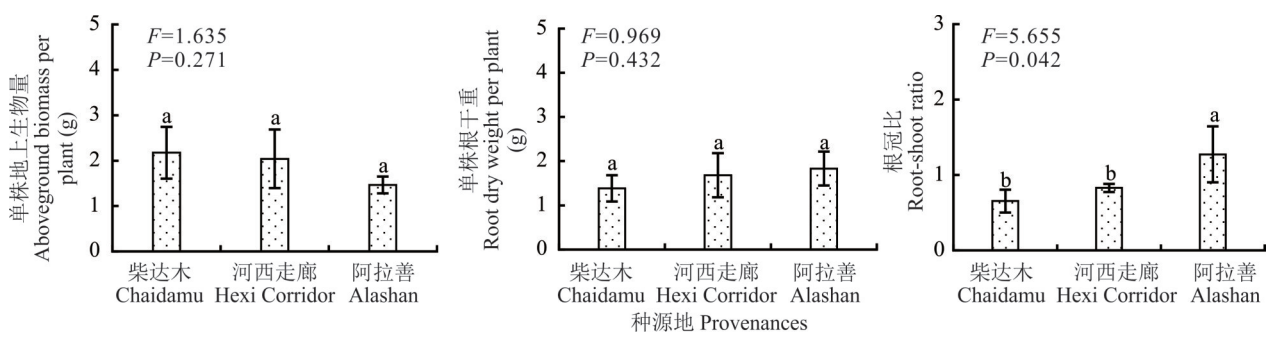


图3 不同地理种源对唐古特白刺幼苗生物量和根冠比的影响

Fig. 3 Effect on biomass and root-shoot ratio of *N. tangutorum* seedlings from different geographic provenances

2.4　不同地理种源对唐古特白刺根系特征的影响

由表1可知，当年生唐古特白刺的根总长、根总表面积、根总体积、侧根数均存在显著的种源变异（$P<0.05$），而种源对根平均直径和主根长影响未达到显著水平。各项根系指标（除了根平均直径）均表现为阿拉善种源＞河西走廊种源＞柴达木种源，其中阿拉善种源的根总长、根总表面积、根总体积、侧根数分别较柴达木种源显著提高了52.63%、21.75%、15.43%、43.46%（$P<0.05$）。3个种源的根平均直径无显著差异。

2.5　唐古特白刺生长性状的相关性分析

从图4可以看出，当年生唐古特白刺的出苗率、成苗率、苗高与地上部生长指标（基径、分枝数、生物量）呈一定负相关关系，与根系指标呈正相关。总体来看，各根系指标之间呈正相关关系，地上生长指标之间呈正相关关

表1　不同地理种源对唐古特白刺根系特征的影响

Table 1　Effect on root traits of *N. tangutorum* seedlings from different geographic provenances

种源地 Provenances	根总长 Total root length (cm)	根平均直径 Root average diameter (mm)	根总表面积 Total root surface area (mm^2)	根总体积 Total root volume (mm^3)	主根长 Main root length (cm)	侧根数 Number of lateral roots
柴达木 Chaidamu	76.89±24.05b	0.92±0.08a	5039±325b	3474±181b	25.59±3.71a	7.80±1.35b
河西走廊 Hexi Corridor	87.29±17.10ab	0.97±0.04a	5187±408b	3765±101ab	28.83±2.33a	10.92±1.01ab
阿拉善 Alashan	117.36±6.67a	0.94±0.02a	6135±208a	4010±563a	32.07±4.85a	11.19±2.26a
F 检验值 *F* test value	5.339	0.713	10.091	5.300	2.217	5.014
显著性 Significance	*	ns	*	*	ns	*

*：$P<0.05$；**：$P<0.01$；ns：无显著性 No significance. 不同的小写字母代表不同处理间在0.05水平上差异显著（$P<0.05$）。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at the 0.05 level ($P<0.05$).

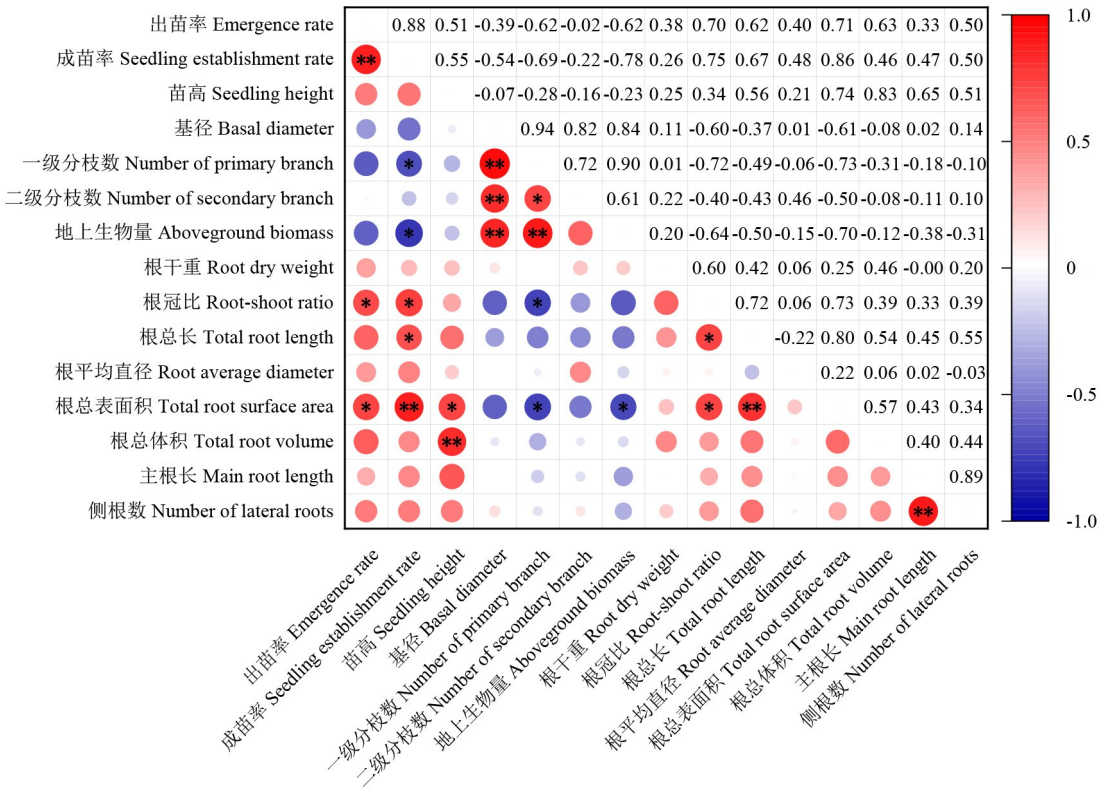


图4　唐古特白刺幼苗生长性状的相关性分析

Fig. 4　Correlation analysis of growth characteristics of *N. tangutorum* seedlings

和*分别表示在0.01和0.05水平（双尾）相关性显著。 and * indicate the significant correlation at 0.01 and 0.05 level (two-tailed), respectively.

系,而根系指标与地上生长指标呈负相关关系。说明唐古特白刺在地上—地下资源分配中存在权衡效应。根冠比、根总长、根总表面积三者间呈显著正相关($P<0.05$)。说明当唐古特白刺将光合产物更多分配给根系来提高根冠比时,首先促进根系长度和根表面积的增加。主根长与侧根数显著正相关($P<0.05$),说明根系生长具有纵横协同发育策略。

2.6 唐古特白刺植株生长性状与环境因子的冗余分析

由表2的蒙特卡罗检验可知,年均降水量是影响唐古特白刺幼苗生长性状的主要因子,解释率为68.5%,贡献率为89.3%($P<0.05$),年均气温和海拔影响较小且不显著。说明种源地的年均降水量是影响唐古特白刺生长的决定性因子。由图5各环境因子的箭头与各生长性状的夹角可以看出,唐古特白刺地上部指标(基径、一级分枝数、二级分枝数、地上生物量)与年均气温呈负相关关系,与年均降水量和海拔呈正相关。出苗率、成苗率、苗高和根系指标与年平均气温呈正相关,与年均降水量和海拔呈负相关。

表2 环境因子蒙特卡罗检验

Table 2 Monte Carlo test of environmental factors

环境因子 Environmental factors	解释率 Explanation rate (%)	贡献度 Contribution (%)	*F*检验值 *F* test value	*P*值 *P* value
年均降水量 Annual mean precipitation	68.5	89.3	15.2	0.010
年均气温 Mean annual temperature	5.4	7.0	1.2	0.552
海拔 Altitude	2.9	3.7	0.6	0.298

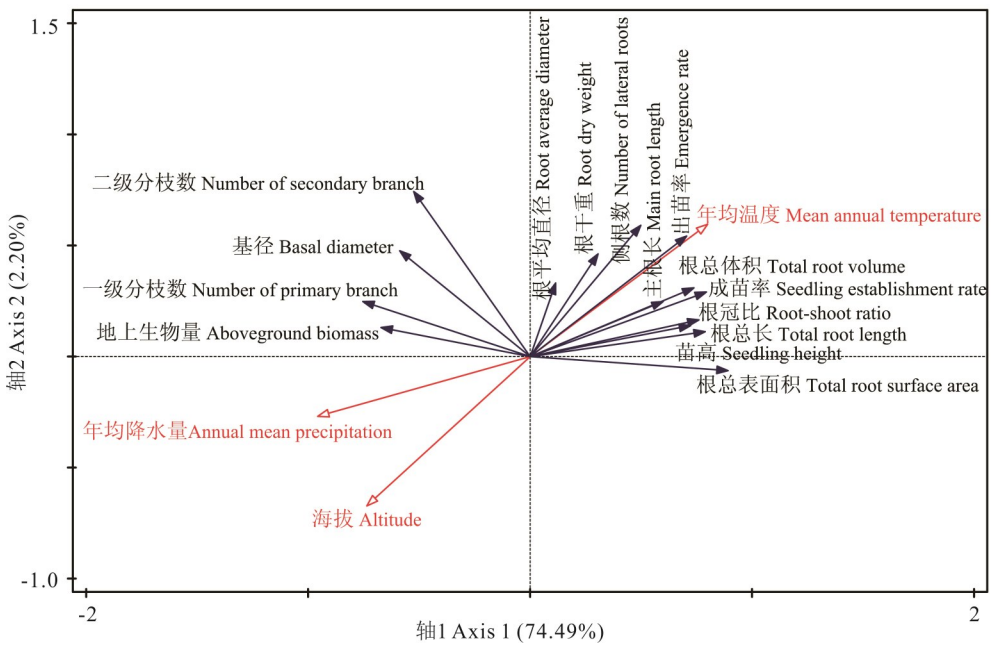


图5 唐古特白刺幼苗生长性状与种源地环境因子的冗余分析

Fig. 5 Redundancy analysis between seedling growth characteristics of *N. tangutorum* and environmental factors of provenances

2.7 不同种源地唐古特白刺植株性状的主成分评价

唐古特白刺的各项生长指标存在一定的关联性,为正确评价其综合生长状况,需通过主成分分析方法将多个原有变量进行线性变换,重新组合成几个代表性好的线性不相关的综合指标。唐古特白刺生长性状主成分分析结果(表3)表明:前4个主成分的特征值大于1,累计贡献率达到88.155%,能够反映唐古特白刺生长性状的基本信息。由表4不同种源地对当年生唐古特白刺幼苗生长影响的主成分综合评价结果可知:各种源地对唐古特白刺生长影响的综合主成分顺序为阿拉善种源>河西走廊种源>柴达木种源。

表 3　不同种源地唐古特白刺生长性状的主成分分析

Table 3　Principal component analysis of growth traits of *N. tangutorum* seedlings from different provenances

指标 Index	主成分 Principal component (PC)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
特征值 Eigenvalue	7.215	2.916	1.661	1.431
贡献率 Contribution rate (%)	48.100	19.438	11.075	9.542
累积贡献率 Cumulative contribution rate (%)	48.100	67.538	78.613	88.155

表 4　不同种源地唐古特白刺植株生长性状的主成分值

Table 4　Principal component values of growth traits of *N. tangutorum* from different provenances

种源地 Provenances	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	综合得分 Comprehensive values	排序 Sorting
柴达木 Chaidamu	3.504	−4.648	−3.631	−2.084	−2.839	3
河西走廊 Hexi Corridor	2.652	0.054	−0.083	1.284	1.642	2
阿拉善 Alashan	−3.390	4.594	3.714	0.800	3.086	1

3　讨论

3.1　不同地理种源唐古特白刺幼苗生长差异

在林木育苗中优化植物的幼苗建成和早期生长是提高荒漠植物造林成活的关键。本试验结果表明，种源地对唐古特白刺种子田间出苗率、成苗率、苗高、二级分枝数、根系特征（除了主根长和根平均直径）和根冠比等指标影响显著（$P<0.05$），说明不同地理种源的唐古特白刺在张掖地区进行田间直播引种时，其幼苗建成、早期生长性状及根冠策略均存在显著的种源差异（$P<0.05$）。这是因为植物在漫长的进化过程中形成了对原生境的遗传记忆[12−13]，深刻影响着幼苗的早期生长和适应能力。

具体来看，来自干旱恶劣荒漠环境的阿拉善种源，其幼苗表现出典型的抗逆境生长策略。阿拉善种源的出苗率、成苗率、苗高均大于河西走廊和柴达木种源。这是因为水分是影响荒漠植物种子萌发的主要原因，荒漠生态系统降水稀少且极不稳定，因而一年内多数时间并不适合种子萌发，所以荒漠植物形成了随时响应水分的生存策略[24]，这也可能与种子休眠较浅有关，因此在引种水土环境好转时表现出最高的田间萌发潜力。阿拉善种源快速的苗高生长可能有利于沙生植物光合器官尽快脱离地表高温沙层或避免幼苗被流沙掩埋导致幼苗死亡[25]。以上这些生长策略均有利于保障幼苗的早期存活。此外，本研究发现，在 3 个种源地中阿拉善种源的唐古特白刺幼苗基径、一级分枝数、二级分枝数和地上生物量等地上生长指标表现最小，而根冠比、根干重和各项根系生长指标（除了根平均指标）均最大。说明唐古特白刺根冠性状间权衡关系存在显著的种源地差异。总体来看，河西走廊种源的当年生唐古特白刺地上部生长发育较好，但阿拉善种源通过限制幼苗基径、分枝数、地上生物量等地上部生长，将有限的光合产物优先向根部输送促进根系生长，拥有最发达的根系和最高的根冠比。可见，阿拉善种源唐古特白刺表现出抑制地上部徒长、优先保障根系发育的生长策略。这是因为在干旱生态系统中植物抑制地上部生长有利于减少植株蒸腾失水，发达的根系增强了植物吸水和适应干旱的能力[26−27]，确保在干旱生境中的早期存活。这一现象也符合 Bloom 等[28]提出的植物资源最优分配理论，即在资源贫瘠环境下，植物会调整资源分配策略，将新增生物量优先分配至对生长限制最强的资源获取器官上。

综合以上分析，本研究中原来恶劣环境下的阿拉善种源，在引种到环境较好的张掖地区后，展现出最好的后期应对干旱环境的生长潜力。这可能源于该物种对原生境的遗传记忆，也是植物通过自身调节对外部环境产生适应的结果。种培芳等[21,29]研究发现，不同地理种群白刺的抗旱性随生境条件趋于恶劣而逐渐增强，原本在恶劣生境条件下拥有较低光合能力的白刺种源在水分条件好转时却表现出较高的光合能力。本研究结果与种培芳

等[21,29]的研究结论相近。

3.2 不同种源唐古特白刺幼苗的生长性状与环境因子间的关系分析

在同质园栽培条件下,排除外界因素,唐古特白刺种源间的生长差异主要受遗传因素的影响。一般认为,同一物种不同地理种源的遗传变异与原产地的环境因子密切相关[12-13,23],是植物对原生境长期气候环境适应性进化的结果。本研究冗余分析表明,种源地年均降水量是影响3个唐古特白刺种源差异的关键驱动因子。唐古特白刺地上部指标与年均降水量呈正相关,出苗率、成苗率、苗高和根系指标与年均降水量呈负相关。这进一步说明种源地原生境的水分条件主导了唐古特白刺幼苗的资源分配策略以及生长性状分异,干旱种源地的唐古特白刺幼苗倾向于减弱地上部分徒长,优先保证早期存活和根系生长。王剑博等[23]的冗余分析表明,种源地降水量是影响同质园白刺叶片功能性状的决定性环境因子。袁野梅等[30]研究发现针茅(*Stipa* spp.)植物生长对干旱因子最为敏感,各根系特性与降水量均呈负相关。胡云锋等[31]研究发现草原植被地上生物量与夏季降水量呈显著正相关。裴玉亮等[32]研究表明梭梭(*Haloxylon* sp.)的苗高、根长、毛根数与年降水量呈显著的负相关关系。本研究结果与以上结论均相似。

3.3 对唐古特白刺种源的评价及引种建议

种源选择是人工植被建成的关键。本研究基于主成分分析的综合评价结果表明,3个种源在张掖地区的引种表现排序为阿拉善种源>河西走廊种源>柴达木种源,即阿拉善种源的唐古特白刺幼苗生长综合评价最佳。刘生龙等[18]开展了唐古特白刺种源试验,结果表明民勤(阿拉善边缘)种源在生长量和抗逆性上显著优于柴达木地区和玉门(河西走廊)种源。张景波等[22]综合生长量和抗旱指标筛选出阿拉善盟吉兰太的唐古特白刺种源表现最为突出。本试验结果与上述研究均相近。建议在干旱区引种或防风固沙林建设中,优先选用阿拉善唐古特白刺种源,利用其"重根系、保成活"的生物学特性来提高造林成功率。本研究结果也为干旱荒漠地区生态修复工程中的唐古特白刺种源选择提供了科学依据。

4 结论

本研究发现唐古特白刺的幼苗建成、早期生长及其根冠策略存在显著的种源差异,且这种差异源自该物种对原生境的遗传记忆,主要受到种源地年均降水量的影响。来自干旱种源地的唐古特白刺在河西走廊引种地播种后,其幼苗生长倾向于抑制地上部徒长,优先保证早期存活和根系生长以增强生存竞争力。阿拉善种源的唐古特白刺在张掖地区引种综合表现最优,其展现出最高的田间萌发潜力与苗高生长速率,尽管当年生植株基茎细、分枝少,但通过提高根冠比,优先保障根系发育以适应干旱环境,具有最强的后期生长潜力,利于干旱地区推广引种。

参考文献 References:

[1] Jiang S R, Wang L Y, Jia W J, *et al*. Study on phenolic acids and α-glucosidase inhibitory activity of *Nitraria tangutorum* fruit. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(6): 1719-1727.
蒋思绒, 王路雅, 贾雯靖, 等. 唐古特白刺果实酚酸类化学成分及α-葡萄糖苷酶抑制活性研究. 中草药, 2023, 54(6): 1719-1727.

[2] Yang X Y, Zhang H X, Tang X, *et al*. *Nitraria* resources in China and their utilization. World Forestry Research, 2013, 26(5): 64-68.
杨秀艳, 张华新, 唐欣, 等. 我国白刺植物资源及其开发利用. 世界林业研究, 2013, 26(5): 64-68.

[3] Guo L, Zhao X H, Bai F, *et al*. Regional differences in morphological characters and nutrient contents in the leaves of *Nitraria tangutorum*. Journal of Northwest Forestry University, 2022, 37(1): 41-46.
郭璐, 赵杏花, 白凤, 等. 唐古特白刺叶片形态与营养物质含量的地域采样点差异. 西北林学院学报, 2022, 37(1): 41-46.

[4] Ren S F. Study on the mechanisms underlying the causes and release of seed dormancy of *Nitraria roborowskii* Kom. Urumqi: Xinjiang University, 2023.
任尚福. 大果白刺种子休眠成因及解除机制研究. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2023.

[5] Tu C Y. Studies on seed germination and salt-resistance mechanism in seedling of *N. tangutorum*. Lanzhou: Gansu Agricultural

University, 2010.
屠彩芸. 唐古特白刺种子发芽及其幼苗抗盐机理研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.

[6] Wang J, Feng Q, Liu W, *et al*. A method for breaking dormancy of *Nitraria tangutorum*: China, 110226439B. 2022-07-05.
王进, 冯起, 刘蔚, 等. 一种唐古特白刺休眠解除方法: 中国, 110226439B. 2022-07-05.

[7] Ji M, Yang J P, Shao T J. Introduction and seedling cultivation of *Nitraria* L. Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2004(3): 7－10, 13.
季蒙, 杨俊平, 邵铁军. 白刺属引种及育苗试验研究. 内蒙古林业科技, 2004(3): 7－10, 13.

[8] Luo G H, Wang J, Yan X, *et al*. Effect of drought stress on imbibition, germination and seedling growth of *Nitraria tangutorum*. Journal of Desert Research, 2014(6): 1537－1543.
罗光宏, 王进, 颜霞, 等. 干旱胁迫对唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)种子吸胀萌发和幼苗生长的影响. 中国沙漠, 2014(6): 1537－1543.

[9] Wang J H, Chen W, Ma R J. Effects of salt stress on seed germination and seedling growth of *Nitraria tangutorum*. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2014, 50(1): 92－97.
王桔红, 陈文, 马瑞君. 不同盐胁迫对唐古特白刺种子萌发和幼苗生长的影响. 西北师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(1): 92－97.

[10] Sultan E S. Plant developmental responses to the environment: eco-devo insights. Current Opinion in Plant Biology, 2009, 13(1): 96－101.

[11] Monshausen B G, Gilroy S. The exploring root-root growth responses to local environmental conditions. Current Opinion in Plant Biology, 2009, 12(6): 766－772.

[12] Wei L L, Xu T T, Ma Z J, *et al*. Variation in leaf and root functional traits of *Caragana jubata* across different provenances in a common garden. Chinese Journal of Applied Ecology, 2024, 35(11): 3005－3014.
魏庐潞, 徐婷婷, 马周娟, 等. 同质园环境下不同种源鬼箭锦鸡儿根叶功能性状差异. 应用生态学报, 2024, 35(11): 3005－3014.

[13] He G H, Li Q, Lu L, *et al*. Comparative study on plant functional traits of *Ormosia microphylla* seedlings from different provenances in a common garden. Guihaia, (2025-10-14) [2026-04-23]. https://link. cnki. net/urlid/45. 1134. Q. 20251013. 0949. 002.
何国华, 李茜, 卢励, 等. 不同地理种源小叶红豆同质园幼树植物功能性状比较研究. 广西植物, (2025-10-14)[2026-04-23]. https://link. cnki. net/urlid/45. 1134. Q. 20251013. 0949. 002.

[14] Bai X H, Chen W Y, Li Q, *et al*. Seed germination and seedling growth characteristics of *Glycyrrhiza uralensis* from different provenances. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(7): 196－209.
白小红, 陈文燕, 李琴, 等. 不同种源乌拉尔甘草种子萌发及幼苗生长比较研究. 草业学报, 2025, 34(7): 196－209.

[15] Jin N Q, Yang B, Wei X L, *et al*. Comparison of growth and physiological characteristics of *Ormosia henryi* seedling from different provenances. Guihaia, 2021, 41(12): 2051－2060.
金念情, 杨彬, 韦小丽, 等. 不同种源花榈木苗期生长及生理特性比较. 广西植物, 2021, 41(12): 2051－2060.

[16] Yuan H J, Cheng X R, Yu M K, *et al*. Geographical variation of growth traits among different *Quercus acutissima* provenances. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(8): 2791－2799.
苑海静, 成向荣, 虞木奎, 等. 不同种源麻栎生长性状的地理变异. 应用生态学报, 2021, 32(8): 2791－2799.

[17] Alberto J R, Luis B D S, Ricardo A, *et al*. Adaptation of Mediterranean forest species to climate: Lessons from common garden experiments. Journal of Ecology, 2021, 110(5): 1022－1042.

[18] Liu S L, Gao Z H, Cui J G, *et al*. Provenance test of the growth of *Nitraria tangutorum*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1997, 17(6): 115－118.
刘生龙, 高志海, 崔建国, 等. 唐古特白刺种源试验. 西北植物学报, 1997, 17(6): 115－118.

[19] Li Q H, Zhang J B, Li H Q, *et al*. Responses of different provenances of *Nitraria tangutorum* seedlings in photosynthetic physiological and growth characteristics to water gradients. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(1): 52－56.
李清河, 张景波, 李慧卿, 等. 不同种源白刺幼苗生理生长对水分梯度的响应差异. 林业科学, 2008, 44(1): 52－56.

[20] Gao M, Li Y, Chong P F, *et al*. Physiological responses of *Nitraria tangutorum* from different geographic provenances under osmotic stress. Acta Prataculturae Sinica, 2011, 20(3): 99－107.
高暝, 李毅, 种培芳, 等. 渗透胁迫下不同地理种源白刺的生理响应. 草业学报, 2011, 20(3): 99－107.

[21] Chong P F, Su S P, Gao M, *et al*. Comparative analysis on gas exchange characteristics of four geographical provenances of

Nitraria tangutorum. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(2): 307－312.
种培芳, 苏世平, 高暝, 等. 4个地理种源白刺气体交换特性比较. 草业学报, 2013, 22(2): 307－312.

[22] Zhang J B, Li Q H, Zhang H Y. Selection of fine provenances of *Nitraria tanguticum*. Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2008, 34(3): 5－8, 13.
张景波, 李清河, 张宏怿. 唐古特白刺优良种源选育初报. 内蒙古林业科技, 2008, 34(3): 5－8, 13.

[23] Wang J B, Shan L S, Xie T T, *et al*. Research on the variation of functional characteristics in leaves of wild *Nitraria tangutorum* introduced to a common garden. Chinese Journal of Grassland, 2024, 46(1): 47－55.
王剑博, 单立山, 解婷婷, 等. 野外白刺引种至同质园叶片功能性状变异研究. 中国草地学报, 2024, 46(1): 47－55.

[24] Wang Y R, Yang L, Hu X W. Seed dormancy release and soil seed bank of three arid desert plants under burial conditions. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 774－780.
王彦荣, 杨磊, 胡小文. 埋藏条件下3种干旱荒漠植物的种子休眠释放和土壤种子库. 植物生态学报, 2012, 36(8): 774－780.

[25] Qu H, Zhao H L, Zhou R L, *et al*. Effects of sand burial on survival and photosynthesis characteristics of two Chenopodiaceae annuals. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(1): 79－85.
曲浩, 赵哈林, 周瑞莲, 等. 沙埋对两种一年生藜科植物存活及光合生理的影响. 生态学杂志, 2015, 34(1): 79－85.

[26] Schenk H J, Jackson R B. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. Journal of Ecology, 2002, 90(3): 480－494.

[27] Gao X L, Liu X Q, Ma L N, *et al*. Root vertical distributions of two *Artemisia* species and their relationships with soil resources in the Hunshandake desert, China. Ecology and Evolution, 2020, 10(6): 3112－3119.

[28] Bloom A J, Chapin F S, Mooney H A. Resource limitation in plants－An economic analogy. Annual Review of Ecology and Systematics, 1985, 16(1): 363－392.

[29] Chong P F, Su S P, Gao M, *et al*. Systematic evaluation on drought resistance of *Nitraria tangutorum* from four geographical populations. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(3): 213－218.
种培芳, 苏世平, 高暝, 等. 4个地理种群唐古特白刺的抗旱性系统评价. 水土保持通报, 2011, 31(3): 213－218.

[30] Yuan Y M, Liu J Y, Gao X L, *et al*. Root traits of seven *Stipa* species and their relations with enviromental factors in temperate grasslands. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(21): 8784－8794.
袁野梅, 柳隽瑶, 高秀丽, 等. 温带草原7种针茅植物根系特征及其对环境因子变化的适应. 生态学报, 2022, 42(21): 8784－8794.

[31] Hu Y F, Batunacun, Biligejifu, *et al*. The relationship between vegetation characteristics and hydro-thermic factors along the Ulanbattar-Xilinhot grassland transect of the Mongolian Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3258－3266.
胡云锋, 巴图娜存, 毕力格吉夫, 等. 乌兰巴托－锡林浩特样带草地植被特征与水热因子的关系. 生态学报, 2015, 35(10): 3258－3266.

[32] Pei Y L, Huang J H, Ning H S. Analysis on growth characteristics of *Haloxylon* sp. from different provenances and relationship between geographical and environmental factors. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(4): 662－669.
裴玉亮, 黄俊华, 宁虎森. 不同种源梭梭属植物生长特性及其与地理环境因子之间的关系分析. 新疆农业科学, 2012, 49(4): 662－669.