



伊犁绢蒿种子萌发对模拟氮沉降的响应

郑丽 孙宗玖 刘慧霞 周磊 周晨烨

Effect of simulated nitrogen deposition on the seed germination of *Seriphidium transiliense*

ZHENG Li, SUN Zongjiu, LIU Huixia, ZHOU Lei, ZHOU Chenye

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0553>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

封育年限对伊犁绢蒿荒漠土壤有机氮组分的影响

Effects of grazing exclusion length on soil organic nitrogen in *Seriphidium transiliense* desert

草业科学. 2017, 11(9): 1778 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0573>

微生物菌剂对伊犁绢蒿种子发芽特征的影响

Effects of microbial inoculant on *Seriphidium transiliense* seed germination characteristics

草业科学. 2020, 37(4): 612 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0400>

短期封育对伊犁绢蒿荒漠群落特征的影响

Effect of short-term fencing on *Seriphidium transiliense* desert community characteristics

草业科学. 2018, 12(5): 978 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0556>

伊犁绢蒿荒漠草地植物光谱特征

Spectral characteristics of main plant in *Seriphidium transiliense* desert grassland

草业科学. 2019, 36(7): 1765 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0535>

基于HJ-HSI数据的伊犁绢蒿荒漠草地生物量估测

Estimation of biomass based on HJ-HSI data in *Seriphidium transiliense* desert grassland

草业科学. 2017, 11(12): 2504 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0059>

氮引发对碱茅种子萌发特性的影响

Effect of nitrogen priming on the seed germination characteristics of *Puccinellia distans*

草业科学. 2019, 36(12): 3093 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0403>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0553

郑丽, 孙宗玖, 刘慧霞, 周磊, 周晨烨. 伊犁绢蒿种子萌发对模拟氮沉降的响应. 草业科学, 2023, 40(5): 1266-1273.

ZHENG L, SUN Z J, LIU H X, ZHOU L, ZHOU C Y. Effect of simulated nitrogen deposition on the seed germination of *Seriphidium transiliense*. Pratacultural Science, 2023, 40(5): 1266-1273.

伊犁绢蒿种子萌发对模拟氮沉降的响应

郑 丽¹, 孙宗玖^{1,2,3}, 刘慧霞¹, 周 磊¹, 周晨烨¹

(1. 新疆农业大学草业学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 西部干旱荒漠区草地资源与生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052;
3. 新疆草地资源与生态自治区重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 以新疆蒿类荒漠建群种伊犁绢蒿 (*Seriphidium transiliense*) 为对象, 采用尿素模拟氮沉降, 研究了施氮量 [0、0.4、0.8、1.2、1.6 g·(m²·a)⁻¹] 和施氮频率 (施 1 次、施 3 次) 对其种子萌发的影响。结果表明: 施氮量和施氮频率对伊犁绢蒿种子的发芽率、发芽势、发芽指数影响均不显著 ($P > 0.05$), 依次为 84.75%~89.50%、81.50%~88.50% 和 16.14~19.17。氮添加显著影响了伊犁绢蒿根长、芽长和幼苗干重 ($P < 0.01$), 且随施氮量增加呈下降趋势, 1 次施氮和 3 次施氮频率出现明显抑制效应的最小氮添加量分别为 0.4 和 1.2 g·(m²·a)⁻¹。相同氮添加量下 1 次施氮的抑制作用高于 3 次施氮, 尤其是高氮添加量下施氮频率间存在显著差异 ($P < 0.05$)。总之, 试验处理范围内氮沉降水平不影响伊犁绢蒿种子萌发出苗, 但会抑制其幼苗生长发育, 且相同氮添加量下多次施氮会减缓这种抑制作用。

关键词: 施氮量; 伊犁绢蒿; 施氮频率; 种子萌发; 新疆; 荒漠植物; 尿素

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2023)05-1266-08

Effect of simulated nitrogen deposition on the seed germination of *Seriphidium transiliense*

ZHENG Li¹, SUN Zongjiu^{1,2,3}, LIU Huixia¹, ZHOU Lei¹, ZHOU Chenye¹

(1. College of Grassland Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China;
2. Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of the Western Arid Region, Ministry of Education, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 3. Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: *Seriphidium transiliense*, a dominant species of sagebrush deserts in Xinjiang, was used to study the effects of nitrogen (N) addition rates [0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 g·(m²·a)⁻¹] and frequencies (once and thrice) on seed germination by simulating nitrogen deposition with urea. The results indicated that the nitrogen addition rate and frequency had no significant effects on the germination rate, germination potential, and germination index of *S. transiliense* seeds, which ranged from 84.75% to 89.50%, 81.50% to 88.50%, and 16.14 to 19.17, respectively. However, nitrogen addition had significant effects on the root length, shoot length, and dry weight of seedlings ($P < 0.01$), which decreased with increase in nitrogen levels. The minimum nitrogen addition conditions for growth inhibition were one-time addition of 0.4 g·(m²·a)⁻¹ and three-time addition of 1.2 g·(m²·a)⁻¹, and the inhibitory effect under single nitrogen addition was higher than that under three-time addition. There were significant differences in the *S. transiliense* response to addition frequencies at higher addition rates ($P < 0.05$). In conclusion, the level of nitrogen deposition (within the experimental treatment range) did not affect the seed germination and emergence of *S. transiliense*; however, it did inhibit seedling growth and development, which reduced after multiple additions of nitrogen at the same nitrogen addition rate.

收稿日期: 2022-07-05 接受日期: 2022-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32060408); 新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题 (2022D04003)

第一作者: 郑丽 (1997-), 女, 新疆阿瓦提人, 在读硕士生, 主要从事草地资源与生态方面研究。E-mail: 1747616130@qq.com

通信作者: 孙宗玖 (1975-), 男, 内蒙古敖汉人, 教授, 博士, 主要从事草地培育管理、草种资源评价等研究。E-mail: nmszj@21cn.com

Keywords: nitrogen addition gradients; *Seriphidium transiliense*; nitrogen addition frequencies; seed germination; Xinjiang; desert plants; urea

Corresponding author: SUN Zongjiu E-mail: nmszj@21cn.com

氮是植物体内重要的矿质营养物质,是组成核酸、蛋白质、酶、氨基酸等物质的关键元素^[1],也是陆地生态系统中限制植物生长、繁殖和生存的主要因素^[2]。荒漠生态系统是典型氮缺乏系统,不仅可利用氮含量较低,而且还面临剧烈的水热变化,致使植物生长发育受到明显的限制^[3]。随荒漠边缘绿洲农业的发展,大量含氮化合物被释放到临近的荒漠生态系统,氮积累水平明显增加^[4],不仅缓解了荒漠生态系统的氮素限制,还促进了草地植物的良性发育,带来了较大的生态效益^[5]。

种子萌发是植物生长的关键时期,对环境因子的响应十分敏感^[6]。氮沉降能在一定程度上促进植物种子萌发和幼苗生长,但超过耐受阈值时就会延迟种子萌发,降低发芽速度和幼苗存活率^[7-10],且不同植物种子萌发对氮沉降的响应差异较大,尚无规律可循^[11]。研究表明,施氮频率显著影响植物的生长发育^[12-14],但目前有关模拟氮沉降对种子萌发的影响均采用一次性氮素添加,并未考虑其添加频率。实际上,自然环境中氮沉降是一个持续积累的过程,用一次性氮素添加模拟氮沉降可能会掩盖其对植物种子萌发的实际情况。与此同时,对荒漠植物种子而言,有关干旱胁迫^[15-16]、盐胁迫^[17-18]、生长调节剂^[19]等对其萌发的影响已有开展,而有关氮沉降方面的研究鲜有报道^[20-21]。因此,研究荒漠植物种子萌发对氮增加的响应,对了解荒漠生态系统中种群的更新扩繁具有重要意义。

伊犁绢蒿 (*Seriphidium transiliense*) 系菊科绢蒿属多年生超旱生半灌木,在我国主要分布于新疆北部,是荒漠和荒漠草原的主要建群种之一,也是新疆春秋牧场中重要的饲用植物^[22]。由于具有较强的抗旱性和适应能力,伊犁绢蒿在维持荒漠生态系统的稳定和可持续发展中具有重要作用,也常常是退化荒漠草地补播修复的首选草种^[23]。但目前有关伊犁绢蒿种子萌发影响因素的研究仅涉及收获期^[24]、贮藏方式^[25]、微生物菌剂和干旱胁迫^[26-27]等方面,而有关氮沉降是否促进其种子萌发?如果有,是否受施氮频率限制等均值得关注。因此,本研究以伊犁绢蒿种子为对象,研究施氮量与施氮频率对其种

子萌发及幼苗生长的影响,明确其对氮沉降的响应规律,探讨不同施氮频率间种子萌发及幼苗生长的异同,以期为初步了解氮沉降对植物种子萌发的影响提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

伊犁绢蒿种子于2018年11月采自新疆乌鲁木齐水磨沟区荒漠草地(43°47' N, 87°41' E, 海拔453 m),室温贮藏在西部干旱荒漠区草地资源与生态教育部重点实验室内,千粒重为0.128 g,发芽率为85.75%。模拟氮沉降所用氮素为尿素[CO(NH₂)₂],含氮量为46%。

1.2 试验设计

以Li等^[28]对新疆氮沉降的定量估算为依据,荒漠草原的总氮沉降量为0.76 g·(m²·a)⁻¹,采用双因子(施氮量、施氮频率)试验设计,施氮量设置5个处理,即N₀ [0 g·(m²·a)⁻¹]、N₁ [0.4 g·(m²·a)⁻¹]、N₂ [0.8 g·(m²·a)⁻¹]、N₃ [1.2 g·(m²·a)⁻¹]、N₄ [1.6 g·(m²·a)⁻¹];施氮频率设置施氮1次和施氮3次两个处理。根据玻璃培养皿(直径90 mm)面积换算后,试验期内各处理每皿添加的尿素总量分别为0、0.225、0.450、0.675和0.900 mg。每处理各重复4次,合计40皿。将尿素溶于水后施入培养皿中,同一施氮量的两种施氮频率在试验期内的氮添加总量一致。其中,1次施氮是将试验期内的所有尿素全部溶于5 mL蒸馏水中,于种子着床当天全部施入。3次施氮是将试验期内的尿素总用量平均分成3份,其中1份溶于5 mL蒸馏水中,于种子着床当天施入,其余2份分别溶于1 mL蒸馏水中,在萌发第3天和第6天分次施入,而1次施氮处理则对应添加1 mL蒸馏水。

1.3 种子萌发试验

试验开始前,挑选籽粒饱满的伊犁绢蒿种子2 000粒,用75%酒精进行消毒处理,晾干后均匀放置于经高压灭菌处理后铺有双层滤纸的玻璃培养皿中,每皿各50粒。按照试验设计添加氮素后,

置于光照培养箱进行种子萌发试验。种子萌发条件为光照 12 h/25 ℃，黑暗 12 h/15 ℃。自种子着床之日起，以胚根突破种皮 1 mm、胚芽为种子长 1/2 作为发芽标准，每日在光期定时进行种子发芽数的记载，同时补充蒸馏水。试验期为 15 d，试验结束时立即在每皿中随机选取 10 株幼苗测量其根长、芽长，然后将其放于 80 ℃ 烘箱内烘干 24 h，称量其干重。

1.4 数据分析与统计

采用 Excel 进行数据整理，SPSS 23.0 分析数据，采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 对不同氮添加水平的发芽指标及根长、芽长、干重进行比较分析，Duncan 法进行多重比较检验显著性。采用独立样本 *t* 检验分析不同施氮频率对各施氮量间种子萌发及幼苗生长的差异。利用双因素方差分析 (Two-way ANOVA) 探讨施氮量和不同施氮频率对萌发指标和幼苗生长的影响及其交互作用。利用 Origin 2018 进行图形绘制，数据均采用平均值 ± 标准差表示。

$$\text{发芽率} = \frac{\text{实际发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$
$$\text{发芽势} = \frac{\text{前7 d内的发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$
$$\text{发芽指数} = \sum \frac{G_t}{D_t}.$$

式中：*G_t* 为在第 *t* 天的发芽数；*D_t* 为相应的发芽天数。

2 结果与分析

2.1 氮沉降对伊犁绢蒿种子发芽率、发芽势及发芽指数的影响

施氮量及施氮频率对伊犁绢蒿种子的发芽率、发芽势影响不显著 (*P* > 0.05) (图 1)，其中 1 次施氮方式下其发芽率、发芽势依次为 85.75%~88.25% 和 82.50%~87.00%，而 3 次施氮方式下则分别为 84.75%~89.50% 和 81.50%~88.50%。相同施氮量下施氮频率对伊犁绢蒿种子发芽指数影响不显著，但各施氮处理对其发芽指数的影响因施氮频率不同有所差异。1 次施氮下，各施氮处理对伊犁绢蒿种子发芽指数影响不显著，为 16.79~18.84，而 3 次施氮下，*N₃* (19.17) 显著高于 *N₁* (16.14) (*P* < 0.05)，与 *N₀*、*N₂*、*N₄* 差异不显著 (图 1)。图 2 看出，伊犁绢蒿种子萌发后期，萌发幼苗会出现不同程度死亡现象，且随施氮量增加死亡情况会有所加重，其中 1 次施氮 *N₄* 处理下最为严重。

2.2 氮沉降对伊犁绢蒿根长、芽长及幼苗重的影响

施氮频率相同时，伊犁绢蒿幼苗根长随施氮量的增加呈降低趋势 (图 2)。不同施氮频率，1 次施氮时所有氮添加处理伊犁绢蒿幼苗根长显著低于不施氮处理 (*N₀*)，而 3 次施氮时仅 *N₃*、*N₄* 处理显著

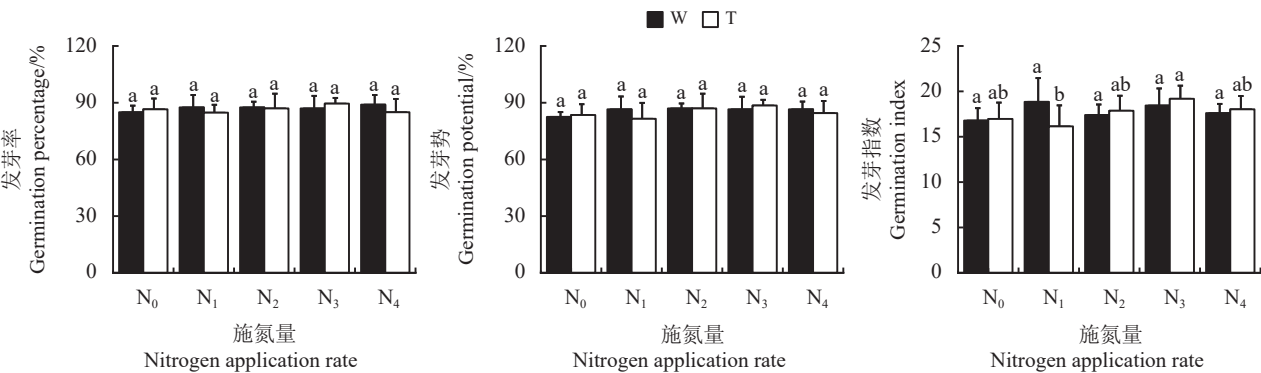


图 1 不同施氮处理对伊犁绢蒿种子萌发的影响

Figure 1 Effects of different nitrogen addition rates on the seed germination of *Seriphidium transiliense*

不同小写字母表示相同施氮频率不同施氮量间差异显著 (*P* < 0.05)；*和**分别表示相同施氮量不同施氮频率间在 0.05 和 0.01 水平差异显著；W：1 次施氮；T：3 次施氮；*N₀*：0 g·(m²·a)⁻¹；*N₁*：0.4 g·(m²·a)⁻¹；*N₂*：0.8 g·(m²·a)⁻¹；*N₃*：1.2 g·(m²·a)⁻¹；*N₄*：1.6 g·(m²·a)⁻¹。下同。

Different lowercase letters indicate significant difference between the different nitrogen application rates for the same frequency at the 0.05 level; * and ** indicate significant difference between the different nitrogen addition frequencies for the same nitrogen application rate at 0.05 and 0.01 level, respectively; W: single nitrogen addition; T: triple nitrogen addition; *N₀*: 0 g·(m²·a)⁻¹; *N₁*: 0.4 g·(m²·a)⁻¹; *N₂*: 0.8 g·(m²·a)⁻¹; *N₃*: 1.2 g·(m²·a)⁻¹; *N₄*: 1.6 g·(m²·a)⁻¹. This is applicable for the following figures as well.

低于 N_0 ($P < 0.05$)。施氮量相同时, 除 N_0 外, 3 次施氮伊犁绢蒿幼苗根长均高于 1 次施氮, 且 N_2 、 N_3 、 N_4 处理时, 前者极显著高于后者 69.95%~87.16% ($P < 0.01$)。

伊犁绢蒿幼苗芽长生长与施氮量和施氮频率有关 (图 3、图 2b)。1 次施氮时, 伊犁绢蒿幼苗芽长随施氮量增加呈先降低后升高趋势, 但施氮后幼苗芽长受到抑制, 均显著低于 N_0 处理 ($P < 0.05$)。3 次施氮时, 与 N_0 比, N_1 、 N_2 下伊犁绢蒿幼苗芽长增降不显著 ($P > 0.05$), N_3 、 N_4 则依次显著降低 40.11% 和 39.37% ($P < 0.05$)。施氮量在 N_1 、 N_2 时, 1 次施氮下伊犁绢蒿幼苗芽长极显著低于 3 次施氮 25.61% 和 24.89% ($P < 0.01$), 而在 N_3 、 N_4 时, 1 次施氮幼苗芽长则显著高于 3 次施氮 15.24% 和 29.18% ($P < 0.05$)。

1 次施氮时, 随施氮量增加伊犁绢蒿幼苗干重呈先升后降趋势 (图 3), 施氮量为 N_4 时显著降低 ($P < 0.05$); 3 次施氮时, 伊犁绢蒿幼苗干重在 N_1 、 N_2 、 N_3 时较 N_0 增降不显著, 但在 N_4 时显著降低 50.00% ($P < 0.05$)。施氮量相同时, 3 次施氮的伊犁绢蒿幼苗干重在 N_3 、 N_4 时显著高于 1 次施氮 8.89% 和

80.00% ($P < 0.05$)。

2.3 施氮量与施氮频率对种子萌发的总体影响

双因素方差表明 (表 1), 施氮量、施氮频率及两者的交互作用对伊犁绢蒿种子的发芽率、发芽势、发芽指数均无显著影响 ($P > 0.05$), 但对幼苗根长、芽长有极显著影响 ($P < 0.01$)。幼苗干重在单因素 (施氮量、施氮频率) 下均表现出极显著影响 ($P < 0.01$), 而两者交互后表现出显著影响 ($P < 0.05$)。

3 讨论

氮是植物生活史中各个阶段不可缺少的必需元素, 但对萌发阶段的种子来说, 对氮的需求不尽相同, 且氮添加对种子萌发的影响呈促进、抑制、无影响等多种结果^[7-10]。本研究中发现, 氮的添加量及其添加频率对伊犁绢蒿种子萌发均无显著影响, 各处理间种子发芽率、发芽势均增降不显著, 这与 Zhang 等^[21]对冷蒿 (*Artemisia frigida*) 和菊叶委陵菜 (*Potentilla tanacetifolia*) 上的研究结果相似。但与施苏丽等^[20]的研究不同, 相同施氮处理后骆驼蓬

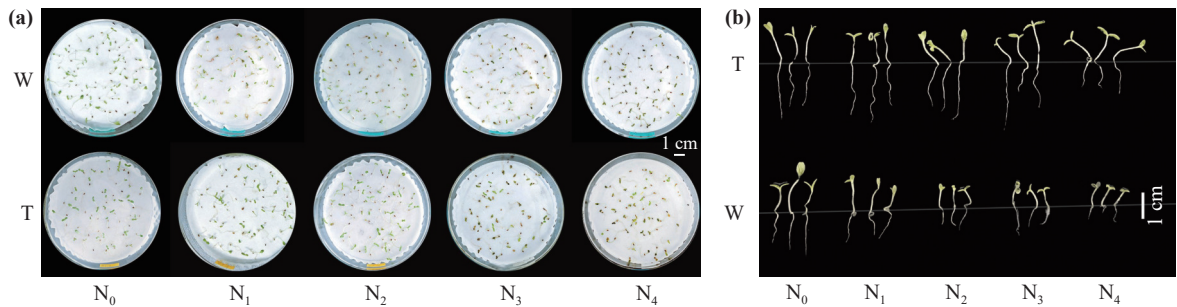


图 2 不同施氮处理下伊犁绢蒿种子萌发 (a) 及生长情况 (b) 对比
Figure 2 Comparison of seed germination (a) and growth (b) of *Seriphidium transiliense* under different nitrogen addition rates

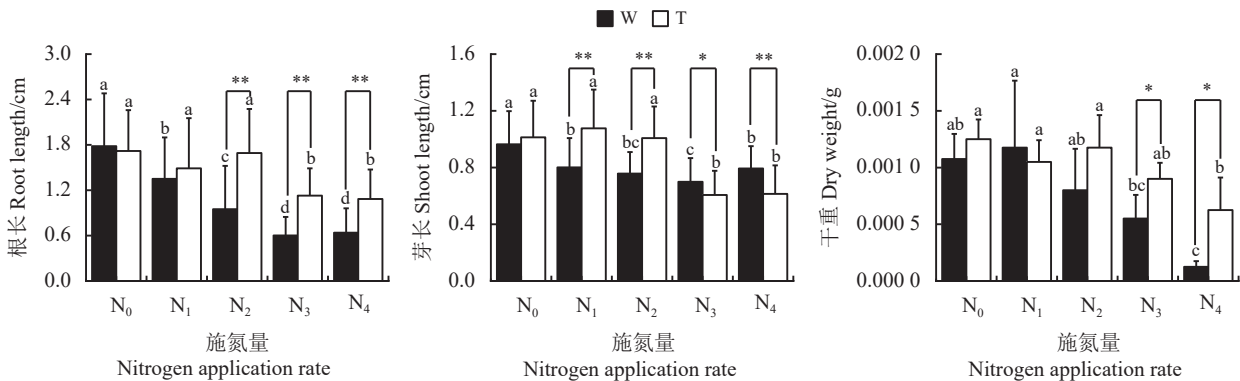


图 3 不同施氮处理对伊犁绢蒿幼苗根长、芽长与干重的影响
Figure 3 Effects of different nitrogen addition rates on root length, shoot length, and dry weight of *Seriphidium transiliense* seedlings

表 1 施氮量和施氮频率对伊犁绢蒿种子萌发指标和幼苗生长的双因素方差分析
Table 1 Two-way ANOVA analysis of nitrogen addition rate and frequency on seed germination indexes and seedling growth of *Seriphidium transiliense*

因子 Factor	自由度 df	发芽率 Germination percentage	发芽势 Germination potential	发芽指数 Germination index	根长 Root length	芽长 Shoot length	干重 Dry weight
施氮频率 Nitrogen addition frequency (F)	1	0.14	0.15	0.11	48.75**	8.54**	7.84**
施氮量 Nnitrogen addition intensity (I)	4	0.26	0.60	1.29	44.37**	40.22**	10.23**
F × I	4	0.50	1.55	1.34	7.76**	18.91**	1.41*

表中数值为F检验值; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$ 。
The values in the table are F-test values; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.

(*Peganum harmala*) 种子的发芽率显著降低 ($P < 0.05$), 而反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*) 则提升了近 3 倍。这由不同植物种子在启动萌发机制时对外界环境的感应和适应能力有所不同而致。种子作为生命体的延续, 种群更新的基础, 母体在生产种子时会分配大量的养分用于后代繁殖, 同时也为应对外部环境风险, 植物会采取各种措施加强种子抵御环境因素干扰的能力, 如坚硬的外壳、休眠机制等^[29]。因此, 对于氮素添加而言, 各类植物种子做出截然不同的响应也正能反映出植物在应对氮沉降时所做出的不同应对能力。伊犁绢蒿种子在萌发过程中对氮添加无响应, 说明其种子对外界环境变化有较强的适应能力, 氮耐受阈值较高, 对氮含量的变化不敏感, 致使在试验设计范围内的氮含量不足以引起其萌发特征发生明显变化。

幼苗生长初期对环境条件的反应十分敏感, 调控生长的各环境因子变化均会影响幼苗的存活和定居^[30-31]。众所周知, 氮对植物生长具有重要作用, 其含量高低会直接影响植物的生长发育和新陈代谢过程^[1]。如在农作物幼苗生长过程中, 适量的施用氮肥能有效促进其根芽生长和干物质积累^[7-8, 32]。在荒漠区, 植物生长因长期受氮素限制, 氮输入后一定程度上解除了这种制约效应, 如氮素添加促进了梭梭 (*Haloxylon ammodendron*)^[33]、盐角草 (*Salicornia europaea*)^[33]、涩芥 (*Malcolmia africana*)^[4]、钩刺雾冰藜 (*Bassia hyssopifolia*)^[4] 幼苗根长的增加。但本研究结果显示, 伊犁绢蒿幼苗生长期比种子期对氮素添加的响应更为敏感, 其生长受到显著抑制, 根长、芽长、幼苗干重均随施氮量增加呈下降趋势, 不过这与骆驼蓬、角蒿 (*Incarvillea sinensis*) 等对氮添加的响应相似^[17]。同为荒漠植物, 具有相似的生长环境, 在未达到其耐受阈值时氮素添加理应有利于植

物的生长, 但每种植物都有其各自适应环境变化的资源利用策略。对于资源获取型植物, 它们会努力从土壤中获取自身生长所需的各类养分, 当某一种养分资源较为丰富时, 会如同“饥饿”一般大量吸收并储存, 为后续生存做准备, 表现出较强的适应能力^[34]; 而保守型植物对资源的利用较为稳定, 不会因土壤养分的瘠薄和短期变化做出较大改变, 但过高养分供给会使其无法适应而出现死亡^[35]。伊犁绢蒿属于地带性分布植被, 其分布范围有限, 在对环境变化适应上可能属于保守型, 导致其此幼苗对氮素增加产生强烈的负响应。此外, 侯宝林^[36]研究发现, 不同植物对氮素形态的吸收喜好有所不同, 角果藜 (*Ceratocarpus arenarius*) 偏好吸收硝态氮, 而碱蓬 (*Suaeda glauca*) 更偏好吸收铵态氮。不同形态氮素对植物生长发育的影响有较大差异, 但施用混合态氮素会较单一形态氮素更利于植物生长^[37]。因此本研究中发现的氮添加对伊犁绢蒿种子萌发的影响还需要在其他氮源添加形式上进行验证。

氮素对植物生长的影响不仅与其含量有关, 还与添加频率相关。例如相同施氮水平下增加施氮频率, 马蹄金 (*Dichondra repens*) 植株根系干重显著提高 ($P < 0.05$)^[38]; 杂花苜蓿 (*Medicago varia*) 在施氮频率 6 次时获得最大地上生物量^[39]; 小麦 (*Triticum aestivum*) 生育期间, 分期施氮肥更有利于干物质的积累^[40]。本研究发现, 1 次施氮频率下的伊犁绢蒿幼苗根长、芽长、干重随施氮量增加下降的趋势快于 3 次施氮。其原因可能是, 与 3 次施氮相比, 1 次施氮时种子萌发后幼苗环境中的氮含量相对较高, 短时间内氮素在幼苗体内大量积累, 而幼苗在同化体内氮素时, 由于关键酶和能量等供应不足阻碍了氨基酸形成, 从而减缓了幼苗的生长速度, 同时阻碍关键酶等物质在体内的进一步合成, 随着施氮量

的增加这种负反馈效应加重,并持续作用于幼苗根、芽的生长^[1]。同时,根据观察,试验期间1次施氮下伊犁绢蒿种子萌发后期幼苗的死亡明显比3次施氮严重,尤其在 N_4 处理(图1)。另一方面可能是,相同施氮量下,低氮高频的施氮方式能使植物吸收更多的氮素。如每日添加氮素营养的生菜(*Lactuca sativa*)其硝酸盐含量显著高于间断添加($P < 0.05$)^[41],一年施4次氮肥的毛白杨(*Populus tomentosa*)林木年均氮吸收量显著高于一年两次($P < 0.05$)^[42]。

需要指出的是,本研究中氮添加对伊犁绢蒿种子萌发的影响仅是室内单一环境下通过培养皿纸上萌发获得的结果,自然条件下植物种子萌发对氮添加的响应会受到多种因素的综合影响,如土壤理

化性质、微生物活性及土壤的缓冲性等,因此本研究结果还有待于在野外自然条件下进一步验证。

4 结论

综上所述,低于 $1.6 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 的施氮量不影响伊犁绢蒿种子萌发,但会显著抑制幼苗生长($P < 0.05$)。两种施氮频率在幼苗生长中存在极显著差异($P < 0.01$),1次施氮较3次施氮对幼苗生长的抑制作用更强。此外,本研究仅探讨了伊犁绢蒿种子萌发初期对氮沉降的响应,其环境要素单一,且未涉及完整的生活史周期,因此,还需结合氮沉降对伊犁绢蒿种子萌发实地环境进行更深入的研究,以期更全面理解其对伊犁绢蒿种群更新扩繁的影响。

参考文献 References:

- [1] ANDREWS M, RAVEN J A, LEA P J. Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants. *Annals of Applied Biology*, 2013, 163(2): 174-199.
- [2] 侯宝林, 庄伟伟. 古尔班通古特沙漠一年生植物的氮吸收策略. *植物生态学报*, 2021, 45(7): 760-770.
HOU B L, ZHUANG W W. Nitrogen uptake strategy of annual plants in Gurbantünggüt Desert. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2021, 45(7): 760-770.
- [3] 康静, 任海燕, 王悦骅, 韩梦琪, 靳宇曦, 闫宝龙, 韩国栋. 短花针茅荒漠草原土壤呼吸对长期增温和氮素添加的响应. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(5): 151-157.
KANG J, REN H Y, WANG Y H, HAN M Q, JIN Y X, YAN B L, HAN G D. Responses of soil respiration to long-term climate warming and nitrogen fertilization in a desert steppe. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(5): 151-157.
- [4] 周晓兵, 张元明, 王莎莎, 张丙昌. 模拟氮沉降和干旱对准噶尔盆地两种一年生荒漠植物生长和光合生理的影响. *植物生态学报*, 2010, 34(12): 1394-1403.
ZHOU X B, ZHANG Y M, WANG S S, ZHANG B C. Combined effects of simulated nitrogen deposition and drought stress on growth and photo-synthetic physiological responses of two annual desert plants in Junggar Basin, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(12): 1394-1403.
- [5] 韩其飞, 李莹莹, 彭开兵, 李超凡, 黄晓东, 许文强. 大气氮沉降对中亚草地生态系统NPP的影响研究. *生态学报*, 2021, 41(21): 1-11.
HAN Q F, LI Y Y, PENG K B, LI C F, HUANG X D, XU W Q. Effects of atmospheric nitrogen deposition on net primary productivity of grassland ecosystem in Central Asia. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(21): 1-11.
- [6] 夏方山, 毛培胜, 闫慧芳, 王明亚. 水杨酸对植物种子及幼苗抗逆性的影响. *草业科学*, 2014, 31(7): 1367-1373.
XIA F S, MAO P S, YAN H F, WANG M Y. Effects of salicylic acid on stress resistance of seeds and seedling. *Pratacultural Science*, 2014, 31(7): 1367-1373.
- [7] 王鹤, 关琳, 张丽辉, 韩德复. 不同氮浓度对番茄种子萌发及幼苗生长的影响. *长春师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 37(8): 92-95.
WANG H, GUAN L, ZHANG L H, HAN D F. Effects of different concentration of nitrogen on seed germination and seedling growth of tomato. *Journal of Changchun Normal University (Natural Science Edition)*, 2018, 37(8): 92-95.
- [8] 付园园, 沙伟. 不同供氮水平对亚麻种子萌发及幼苗生长的影响. *种子*, 2005, 24(9): 1-3.
FU Y Y, SHA W. Effects of different nitrogen supply level on the germination and seedling growth of flax seeds. *Seed*, 2005, 24(9): 1-3.
- [9] 胡正华, 索福喜, 刘巧辉, 吴芳芳, 陈书涛. 模拟氮沉降对大豆萌发和幼苗生长的影响. *生态环境学报*, 2008, 17(6): 2397-2400.
HU Z H, SUO F X, LIU Q H, WU F F, CHEN S T. Effects of simulated nitrogen deposition on seed germination and seedling growth of soybean. *Ecology and Environment*, 2008, 17(6): 2397-2400.

- [10] VARMA V, IYENGAR S B, SANKARAN M. Effects of nutrient addition and soil drainage on germination of N-fixing and non-N-fixing tropical dry forest tree species. *Plant Ecology*, 2016, 217(8): 1043-1054.
- [11] ZHONG M X, MIAO Y, HAN S J, WANG D. Nitrogen addition decreases seed germination in a temperate steppe. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(15): 8441-8449.
- [12] 周荣, HAMDY A. 施氮次数及施氮量对青椒养分吸收行为的影响. 北京农业工程大学学报, 1994, 14(3): 24-28.
ZHOU R, HAMDY A. Effects of N application rate and frequency on nutrient uptake of pepper. *Journal of Beijing Agricultural Engineering University*, 1994, 14(3): 24-28.
- [13] 刘洋, 栗岩峰, 李久生. 东北黑土区膜下滴灌施氮管理对玉米生长和产量的影响. 水利学报, 2014, 45(5): 529-536.
LIU Y, LI Y F, LI J S. Effects of nitrogen management on the growth and yield of mulched and drip-irrigated maize in northeast Black Soil Regions. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2014, 45(5): 529-536.
- [14] 张云海, 何念鹏, 张光明, 黄建辉, 韩兴国. 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响. *生态学报*, 2013, 33(21): 6786-6794.
ZHANG Y H, HE N P, ZHANG G M, HUANG J H, HAN X G. Nitrogen deposition and *Leymus chinensis* leaf chlorophyll content in Inner Mongolian grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(21): 6786-6794.
- [15] 李欣勇, 张靖雪, 王文强, 盛伟, 虞道耿. 9种莎草科植物种子萌发期抗旱性评价. 草业科学, 2022, 39(6): 1208-1216.
LI X Y, ZHANG J X, WANG W Q, SHENG W, YU D G. Evaluation of drought resistance of nine *Cyperaceae* species seeds during germination. *Pratacultural Science*, 2022, 39(6): 1208-1216.
- [16] 何芳兰, 赵明, 王继和, 尉秋实, 张锦春. 几种荒漠植物种子萌发对干旱胁迫的响应及其抗旱性评价研究. 干旱区地理, 2011, 34(1): 100-106.
HE F L, ZHAO M, WANG J H, WEI Q S, ZHANG J C. Response to drought stresses and drought-resistances evaluation of seed germination of four desert vegetation. *Arid Land Geography*, 2011, 34(1): 100-106.
- [17] 杨景宁, 王彦荣. NaCl胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响. 草业学报, 2012, 21(5): 32-38.
YANG J Y, WANG Y R. Effects of NaCl stress on seed germination of four desert plant species. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(5): 32-38.
- [18] 王景瑞, 王立, 徐先英, 闫好原, 胡生新, 高承兵, 魏林源. 干旱荒漠区4种一年生植物种子萌发期耐盐性. 草业科学, 2020, 37(2): 237-244.
WANG J R, WANG L, XU X Y, YAN H Y, HU S X, GAO C B, WEI L Y. Experimental study on salt tolerance of seeds of four annual plants during germination. *Pratacultural Science*, 2020, 37(2): 237-244.
- [19] 李星辰, 单立山. 典型荒漠植物种子萌发最适赤霉素浓度研究. 防护林科技, 2018(10): 3-5, 9.
LI X C, SHAN L S. Optimum concentration of gibberellin in seeds of typical desert plant. *Protection Forest Science and Technology*, 2018(10): 3-5, 9.
- [20] 施苏丽, 陈海霞, 雷永琴, 王媛, 马丽, 杨君珑. 不同生活史对策草本种子萌发特征对氮添加的响应. 种子, 2015, 34(2): 69-73.
SHI S L, CHEN H X, LEI Y Q, WANG Y, MA L, YANG J L. Response of seed germination of herbs with different history life strategies to nitrogen additions. *Seed*, 2015, 34(2): 69-73.
- [21] ZHANG T, LIU M Z, HUANG X D, HUANG X D, HU W, QIAO N, SONG H Q, ZHANG B, ZHANG R, YANG Z L, LIU Y Z, MIAO Y, HAN S J, WANG D. Direct effects of nitrogen addition on seed germination of eight semi-arid grassland species. *Ecology and Evolution*, 2020, 10(16): 8793-8800.
- [22] 陶梦, 安沙舟, 孙宗玖, 靳发兰. 伊犁绢蒿生物学特性的初步研究. 牧草与饲料, 2008, 2(4): 27-30.
TAO M, AN S Z, SUN Z J, JIN F L. A preliminary study of biological characters of *Seriphidium transiliense*. *Journal of Forage & Feed*, 2008, 2(4): 27-30.
- [23] 郑伟. 伊犁绢蒿的生态学特性及利用和保护研究进展. 草原与草坪, 2013, 33(1): 68-75, 83.
ZHENG W. Research progress on utilization and conservation and of *Seriphidium transiliense*. *Grassland and Turf*, 2013, 33(1): 68-75, 83.
- [24] 江黎明, 孙宗玖, 汤丽斯, 江沙沙. 收获期对伊犁绢蒿种子含水率、千粒重及萌发行为的影响. 中国草地学报, 2019, 41(5): 7-16.
JIANG L M, SUN Z J, TANG L S, JIANG S S. Effects of harvest time on seed water content, 1000-grain weight and germination behavior of *Seriphidium transiliense*. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(5): 7-16.
- [25] 武文超, 汤丽斯, 刘慧霞, 崔雨萱, 孙强, 孙宗玖. 贮藏方式对伊犁绢蒿种子萌发及生理特性的影响. 草原与草坪, 2022, 42(1): 133-141.
WU W C, TANG L S, LIU H X, CUI Y X, SUN Q, SUN Z J. Effects of storage methods on the seed germination and physiological

- characteristics of *Seriphidium transiliense*. *Grassland and Turf*, 2022, 42(1): 133-141.
- [26] 汤丽斯, 孙宗玖, 李培英, 周磊, 江黎明. 微生物菌剂对伊犁绢蒿种子发芽特征的影响. *草业科学*, 2020, 37(4): 612-624.
TANG L S, SUN Z J, LI P Y, ZHOU L, JIANG L M. Effects of microbial inoculant on *Seriphidium transiliense* seed germination characteristics. *Pratacultural Science*, 2020, 37(4): 612-624.
- [27] 汤丽斯, 孙宗玖, 武文超, 刘慧霞, 崔雨萱. 生物菌剂浸种对干旱胁迫下伊犁绢蒿种子萌发的影响. *中国草地学报*, 2021, 43(2): 17-27.
TANG L S, SUN Z J, WU W C, LUI H X, CUI Y X. Effects of seed soaking with microbial inoculants on seed germination of *Seriphidium transiliense* under drought stress. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(2): 17-27.
- [28] LI K H, LIU X J, GENG F Z, XU W, LYU J L, DORE A J. Inorganic nitrogen deposition in arid land ecosystems of Central Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(24): 31861-31871.
- [29] JIANG Z M, XU G, JING Y J, TANG W J, LIN R C. Phytochrome B and REVEILLE1/2-mediated signalling controls seed dormancy and germination in Arabidopsis. *Nature Communications*, 2016, 7(12377): 1-10.
- [30] KITAJIMA K, FENNER M. Ecology of Seedling Regeneration. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Wallingford UK: CABI Publishing, 2000: 331-359.
- [31] HARPER J L. Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977: 59-67.
- [32] WANG S, WEI M, WU B D, CHENG H Y, JIANG K, WANG C Y. Does N deposition mitigate the adverse impacts of drought stress on plant seed germination and seedling growth? *Acta Oecologica*, 2020, 109: 1-12.
- [33] 龙楠. 不同施氮水平对盐碱地植物种子萌发及幼苗生长的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2011.
LONG N. Effect of nitrogen addition rate on seedling germination and seedling growth of saline-alkali land plants. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [34] HENNERON L, KARDOL P, WARDLE D A, CROS C, & FONTAINE S. Rhizosphere control of soil nitrogen cycling: A key component of plant economic strategies. *New Phytologist*, 2020, 228(4): 1269-1282.
- [35] GUO A X, ZUO X A, HU Y, YUE P, LI X Y, LYU P, ZHAO S L. Two dominant herbaceous species have different plastic responses to N addition in a desert steppe. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13(801427): 1-13.
- [36] 侯宝林. 古尔班通古特沙漠不同生活型草本植物对氮素吸收偏好性研究. 乌鲁木齐: 新疆师范大学硕士学位论文, 2022.
HOU B L. Nitrogen uptake preference of herbaceous plants with different life types in Gurbantunggut Desert. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2022.
- [37] 邹博坤, 王欣铭, 褚章杉, 黄馨慧, 陈雨峰, 钱永强. 氮素形态对野牛草生长及氮素吸收利用的影响. *草业学报*, 2022, 31(11): 1-10.
ZOU B K, WANG X M, CHU Z S, HUANG X H, CHEN Y F, QIAN Y Q. Effects of nitrogen forms on growth and nitrogen assimilation and utilization of *Buchloe dactyloides*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2022, 31(11): 1-10.
- [38] 邵钰. 施氮水平和频率对份野生马蹄金氮素代谢及坪用性状的影响. 成都: 四川农业大学硕士学位论文, 2012.
SHAO Y. Effects of nitrogen application rates and frequencies on nitrogen metabolism and turf characteristics of three native *Dichondra repens* forst. Master Thesis. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [39] 王瑞峰, 闫伟, 石凤翎. 根瘤菌、施氮量及频率对苜蓿生长和纤维含量的影响. *草地学报*, 2021, 29(10): 2372-2380.
WANG R F, YAN W, SHI F L. Effects of rhizobium, nitrogen application rate and frequency on alfalfa growth and fiber content. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(10): 2372-2380.
- [40] 李红梅. 减量分期施氮对小麦产量和氮素利用效率的影响. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2018.
LI H M. Effect of nitrogen reduction and application by stages on yield and nitrogen use efficiency in wheat. Master Thesis. Taian: Shandong Agricultural University, 2018.
- [41] 罗江宏, 李杰, 李娟, 胡海燕, 冯致. 施氮水平和间断施氮对生菜生长和品质的影响. *北方园艺*, 2022(11): 23-30.
LUO J H, LI J, LI J, HU H Y, FENG Z. Effects of nitrogen application level and intermittent nitrogen application on growth and quality of lettuce. *Northern Horticulture*, 2022(11): 23-30.
- [42] 席本野, 王焯, 贾黎明. 滴灌施肥下施氮量和施氮频率对毛白杨生物量及氮吸收的影响. *林业科学*, 2017, 53(5): 63-73.
XI B Y, WANG Y, JIA L M. Effects of nitrogen application rate and frequency on biomass accumulation and nitrogen uptake of *Populus tomentosa* under drip fertigation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2017, 53(5): 63-73.

(责任编辑 苟燕妮)