

# 休牧时期对高寒草甸垂穗披碱草种子大小和萌发特性的影响

马凯凯<sup>1</sup>, 白梅梅<sup>1</sup>, 李颖<sup>1</sup>, 鱼小军<sup>1\*</sup>, 徐晶晶<sup>2</sup>, 史志霁<sup>2</sup>, 戚新和<sup>2</sup>, 瞿丹<sup>2</sup>, 金辉亮<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省林业科技推广站, 甘肃 兰州 730046)

**摘要:**【目的】确定有利于垂穗披碱草(*Elymus nutans*)种子生长和提高种子萌发特性的休牧时期。【方法】在东祁连山天祝高寒草甸设置土壤解冻临界期—牧草枯黄期(RP1)、土壤解冻后期—牧草枯黄期(RP2)、牧草返青初期—牧草枯黄期(RP3)、牧草返青后期—牧草枯黄期(RP4)和当地传统休牧(优势牧草高5 cm—牧草枯黄期)(RP5)5个休牧时期, 研究不同时期休牧对垂穗披碱草种子大小、萌发特性及二者之间相关关系的影响。【结果】RP1休牧垂穗披碱草种子面积、周长、长宽比和长度均最大, 其中面积、周长和长度较RP5休牧分别增加了15.14%、10.22%和11.97%。RP4休牧千粒重显著高于RP1、RP2和RP5。与RP5相比, 提前休牧显著提高了垂穗披碱草种子的发芽势、发芽指数、发芽率、芽长和活力指数, RP1、RP2、RP3和RP4休牧种子的发芽率较RP5分别提高了84.86%、121.23%、127.27%和127.27%。相关性分析表明, 垂穗披碱草种子千粒重与发芽势、芽长呈极显著正相关。【结论】RP1休牧可提高垂穗披碱草种子面积、周长、长宽比和长度, 且种子具有较好的萌发特性, 有利于保护和恢复垂穗披碱草。

**关键词:**高寒草甸; 休牧; 垂穗披碱草; 种子大小; 萌发特性

**中图分类号:**S543.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)03-0178-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.03.021



高寒草甸是青藏高原分布最广、面积最大的草地类型<sup>[1]</sup>, 在生物多样性保护、生态系统维持和畜牧业生产等方面起着重要作用。然而, 近年来由于气候变化和人类活动等因素的影响, 高寒草甸呈现不同程度的退化<sup>[2-4]</sup>, 且由于青藏高原海拔高、气候寒冷导致枯草期长, 退化主要发生在冷季牧场<sup>[5]</sup>。青藏高原自身生态系统的脆弱性又使其退化后恢复速度很慢或很难恢复。因此, 高寒草甸冷季牧场的健康管理显得非常重要。

休牧因操作简单、成本低成为退化草地恢复的重要措施<sup>[6]</sup>。以往研究表明, 返青期是高寒草甸的忌牧期之一, 返青期放牧, 家畜因抢青而过度采食和践踏刚萌发的幼苗, 使植物的光合面积减少, 严重影响其后期的生长发育, 且刚返青的牧草不能满足家畜自身的营养需求, 会造成家畜的“春乏”现象<sup>[7-9]</sup>。而牧草返青之前, 土壤解冻先呈现“表融里冻”, 此时家畜践踏会将解冻的草皮从草地上剥离或形成“蹄坑”, 损伤植物地下器官, 进一步影响植物生长发育及种子繁殖<sup>[6]</sup>。

种子是高等植物的胚珠经受精过程形成的, 是植物遗传变异的载体<sup>[10]</sup>。种子的大小体现了植物对环境的适应机制, 种子的重量体现了植物的繁殖机制<sup>[11]</sup>。种子大小通常被认为是相对稳定的<sup>[12-14]</sup>, 而有研究表明同一植物的种子大小在不同种群间存在较大差异<sup>[15-16]</sup>。种子萌发是植物生命活动过程中重要

**收稿日期:**2022-05-15; **修回日期:**2022-06-09

**基金资助:**国家自然科学基金项目(31760695); 甘肃省草原生态修复治理科技支撑项目

**作者简介:**马凯凯(1996-), 女, 甘肃甘谷人, 硕士研究生。

E-mail:3313635959@qq.com

\*通信作者。E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

的环节,是植物开始定居和种群延续的基础<sup>[17]</sup>,直接关系到物种维持、繁衍和扩散等过程<sup>[18]</sup>。垂穗披碱草(*Elymus nutans*),禾本科披碱草属牧草,具有较高的饲用价值,能适应恶劣的高寒环境,表现出较好的抗虫、抗病和抗环境胁迫能力,且种子繁殖能力强<sup>[19]</sup>,在退化草地恢复中起着重要作用<sup>[20]</sup>。因此,本试验以垂穗披碱草种子为研究对象,通过在天祝高寒草甸冷季牧场研究不同时期休牧对垂穗披碱草种子大小、萌发特性以及二者之间相关关系的影响,确定有利于垂穗披碱草种子生长和提高种子萌发特性的休牧时期,旨在为高寒草甸的合理利用和科学管理提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在青藏高原东北缘的天祝高寒草甸,位于甘肃农业大学高山草原试验站附近(37°40'N,102°32'E),海拔2 960 m。年均温-0.1℃,>0℃积温1 380℃,年降水量416 mm,年蒸发量达到1 592 mm,无绝对无霜期,仅分冷热两季<sup>[6]</sup>。研究区优势种为线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*),建群种为珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、垂穗披碱草;伴生种有矮生嵩草(*K. humilis*)、藏异燕麦(*Helictotrichon tibeticum*)、球花蒿(*Artemisia smithii*)、阴山扁蓿豆(*Medicago-rhena var. inschanica*)等。主要放牧家畜为牦牛(*Bos grunniens*)和藏羊(*Ovis aries*)。

### 1.2 试验设计

休牧试验开始于2018年,根据当地土壤解冻深度和牧草返青情况,共设置5个休牧时期:(1)土壤解冻临界期(土壤表层开始解冻)-牧草枯黄期(RP1);(2)土壤解冻后期(土层解冻深度>10 cm)-牧草枯黄期(RP2);(3)牧草返青初期(牧草返青达到30%)-牧草枯黄期(RP3);(4)牧草返青后期(牧草返青达到70%~80%)-牧草枯黄期(RP4);(5)以当地传统休牧(优势牧草高5 cm-牧草枯黄期)(RP5)为对照,共设5块样地。

冷季牧场一般从10月开始放牧,但在试验过程中,考虑到10月至翌年2月土壤冻结、牧草枯黄,放牧对草地的影响较小,故各样地统一从翌年3月1日开始放牧。每个样地在放牧期间选择健康、毛色一致、体重为(180±20) kg的牦牛和(45±5) kg的藏羊进行混合放牧。各样地的面积根据合理载畜量的草地面积计算公式计算:

$$A = \frac{(I - B) \times D \times T}{Y \times U}$$

式中:A为样地面积(m<sup>2</sup>);I为放牧家畜的日食量(牦牛为5.8 kg干草,藏羊为1.7 kg干草<sup>[21]</sup>);B为放牧家畜的日补饲量(根据实地调查:牦牛和藏羊的日补饲量分别为1.23 kg和0.22 kg燕麦干草);D为放牧天数;T为放牧家畜头数(表1);Y为牧草产量(样方刈割约为2 895 kg/hm<sup>2</sup>);U为草地利用率(80%)<sup>[6]</sup>。

表1 休牧时间、放牧时间及样地面积

Table 1 Rest grazing time, grazing time and plot area

处理	休牧时间	放牧时间	放牧天数	放牧家畜	样地面积/m <sup>2</sup>
RP1	3月19日—翌年2月28日	3月1—18日	18	4头牦牛+4只藏羊	1 881
RP2	4月2日—翌年2月28日	3月1日—4月1日	32	4头牦牛+4只藏羊	3 344
RP3	4月16日—翌年2月28日	3月1日—4月15日	46	4头牦牛+4只藏羊	4 807
RP4	5月2日—翌年2月28日	3月1日—5月1日	62	4头牦牛+4只藏羊	6 478
RP5	5月21日—翌年2月28日	3月1日—5月20日	81	16头牦牛+16只藏羊	3 3855

注:RP1、RP2、RP3、RP4和RP5分别表示土壤解冻临界期-牧草枯黄期、土壤解冻后期-牧草枯黄期、牧草返青初期-牧草枯黄期、牧草返青后期-牧草枯黄期和当地传统休牧,下同。

### 1.3 测定指标与方法

1.3.1 种子采集 于2021年10月,在每块样地随机采集垂穗披碱草种子2 000粒,采集后将种子装入自

封袋带回实验室自然风干。

1.3.2 种子大小测定 采用多功能种子分析仪(1903817S,浙江托普云农科技股份有限公司,杭州)

对垂穗披碱草种子进行扫描分析,各处理分别选取300粒种子,每100粒为1组重复,测量种子的面积、周长、长宽比、长度和宽度。

随机选取清选好的种子100粒,用万分之一的电子天平称量种子百粒重,各处理重复3次,计算千粒重。

1.3.3 发芽指标测定 采用纸上发芽法进行发芽试验,挑选50粒种子,均匀置于铺有2层滤纸的培养皿中,各处理重复3次,将培养皿置于光周期12h,温度20℃,湿度70%的光照培养箱中,发芽期间每天定时补充水分以保持滤纸湿润并观察记录种子发芽数,发芽天数为14d。

发芽试验结束后在各培养皿中随机选取10株幼苗,测量幼苗根长和芽长,计算种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数。

发芽率(GP)=(发芽试验14d内的发芽种子数/供试种子数)×100%

发芽势(GE)=(发芽试验前6d的发芽种子数/供试种子数)×100%

发芽指数(GI)= $\sum(G_i/D_i)$

活力指数(VI)=GI×S

式中: $G_i$ 为第*t*天对应的发芽种子数, $D_i$ 为对应的发芽天数,S为幼苗长度。

#### 1.4 数据分析

采用Excel 2016进行数据整理计算,SPSS 26.0对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan法多重比较,显著性水平为0.05,Origin 2021对数据进行Pearson相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时期休牧垂穗披碱草种子大小

不同时期休牧垂穗披碱草种子大小存在显著差异( $P<0.05$ )(表2)。RP1休牧种子面积、周长、长宽比和长度均最大,其中面积、周长和长度较RP5休牧分别增加了15.14%、10.22%和11.97%。不同时期休牧下,种子千粒重均值为2.31g,其变化范围为1.62~2.82g。其中,RP4休牧下的千粒重显著高于RP1、RP2和RP5( $P<0.05$ )。种子大小各指标变异系数为5.86%~19.75%,依次表现为千粒重>长宽比>宽度>面积>长度>周长。

表2 垂穗披碱草种子大小参数  
Table 2 Seed size parameters of *E. nutans*

处理	面积/mm <sup>2</sup>	周长/mm	长宽比	长度/mm	宽度/mm	千粒重/g
RP1	7.15±0.10 <sup>a</sup>	16.72±0.11 <sup>a</sup>	5.87±0.16 <sup>a</sup>	7.67±0.06 <sup>a</sup>	1.37±0.02 <sup>ab</sup>	2.37±0.02 <sup>b</sup>
RP2	6.90±0.07 <sup>ab</sup>	16.21±0.09 <sup>ab</sup>	5.74±0.05 <sup>ab</sup>	7.47±0.05 <sup>ab</sup>	1.32±0.01 <sup>b</sup>	2.19±0.21 <sup>b</sup>
RP3	6.73±0.17 <sup>ab</sup>	16.08±0.26 <sup>ab</sup>	5.66±0.07 <sup>ab</sup>	7.37±0.12 <sup>ab</sup>	1.34±0.03 <sup>ab</sup>	2.57±0.11 <sup>ab</sup>
RP4	7.03±0.31 <sup>ab</sup>	15.93±0.57 <sup>ab</sup>	5.02±0.39 <sup>b</sup>	7.07±0.36 <sup>ab</sup>	1.52±0.09 <sup>a</sup>	2.82±0.15 <sup>a</sup>
RP5	6.21±0.34 <sup>b</sup>	15.17±0.51 <sup>b</sup>	5.31±0.15 <sup>ab</sup>	6.85±0.24 <sup>b</sup>	1.36±0.05 <sup>ab</sup>	1.62±0.04 <sup>c</sup>
均值	6.78±0.13	15.97±0.20	5.49±0.12	7.26±0.11	1.38±0.03	2.31±0.12
变异系数/%	7.07	4.68	7.91	5.86	7.58	19.75

注:不同小写字母表示不同时期休牧差异显著( $P<0.05$ ),下同。

### 2.2 不同时期休牧垂穗披碱草种子萌发特性

RP5休牧显著降低了垂穗披碱草种子的萌发,提前休牧能够明显促进垂穗披碱草种子的萌发(表3)。RP3休牧下,种子发芽势、发芽指数、活力指数最大。RP1、RP2、RP3和RP4休牧下,种子发芽率较RP5分别提高了84.86%、121.23%、127.27%和127.27%。不同时期休牧下,幼苗根长均值为3.72cm,变化范围为3.30~4.40cm。RP4休牧下,幼苗芽长最大

(7.47cm),较RP1和RP2分别提高了17.64%和14.05%。种子萌发特性各指标变异系数为11.37%~43.07%,依次表现为活力指数>发芽指数>发芽势>发芽率>根长>芽长。

### 2.3 垂穗披碱草种子大小和萌发特性的相关性分析

种子大小和萌发特性的12个指标相关性分析表明,有5对指标间呈极显著相关( $P<0.01$ ),7对指标间显著相关( $P<0.05$ )(图1)。千粒重与发芽势、芽

表3 垂穗披碱草种子萌发特性  
Table 3 Seed germination characteristics of *E. nutans*

处理	发芽势/%	发芽指数	发芽率/%	根长/cm	芽长/cm	活力指数
RP1	19.33±1.76 <sup>ab</sup>	3.46±0.18 <sup>ab</sup>	40.67±1.76 <sup>a</sup>	3.30±0.14 <sup>a</sup>	6.35±0.24 <sup>bc</sup>	33.38±1.85 <sup>ab</sup>
RP2	16.67±2.91 <sup>ab</sup>	4.36±0.57 <sup>a</sup>	48.67±4.81 <sup>a</sup>	3.69±0.47 <sup>a</sup>	6.55±0.06 <sup>b</sup>	44.62±5.85 <sup>a</sup>
RP3	22.00±5.03 <sup>a</sup>	4.40±0.86 <sup>a</sup>	50.00±8.08 <sup>a</sup>	4.40±0.46 <sup>a</sup>	6.97±0.40 <sup>ab</sup>	51.19±12.43 <sup>a</sup>
RP4	21.33±1.33 <sup>a</sup>	4.35±0.53 <sup>a</sup>	50.00±6.00 <sup>a</sup>	3.70±0.43 <sup>a</sup>	7.47±0.15 <sup>a</sup>	48.89±7.20 <sup>a</sup>
RP5	10.67±1.33 <sup>b</sup>	1.82±0.27 <sup>b</sup>	22.00±3.06 <sup>b</sup>	3.53±0.19 <sup>a</sup>	5.62±0.33 <sup>c</sup>	16.56±2.30 <sup>b</sup>
均值	18.00±1.54	3.67±0.33	42.27±3.48	3.72±0.17	6.59±0.19	38.93±4.33
变异系数/%	33.07	35.21	31.89	17.60	11.37	43.07

长,发芽指数与发芽率、活力指数,发芽率与活力指数呈极显著正相关( $P<0.01$ ),其中发芽指数与发芽率的相关系数最大,达到1。面积与周长,周长与长度,发芽势与发芽率、芽长、活力指数,发芽率与芽长,芽长与活力指数呈显著正相关( $P<0.05$ )。



图1 垂穗披碱草种子大小和萌发特性各指标相关性分析  
Figure 1 Correlation analysis of seed size and germination characteristics of *E. nutans*

注:\*\*表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关,\*表示在 $P<0.05$ 水平显著相关。A:面积;P:周长;LWR:长宽比;L:长度;W:宽度;SW:千粒重;GE:发芽势;GI:发芽指数;GP:发芽率;RL:根长;BL:芽长;VI:活力指数。

### 3 讨论

植物种子在长期进化过程中形成了一系列适应生存环境的对策,种子大小变异是植物遗传特性和自然选择的共同结果,系统发育是种子大小变异的内因,环境条件是其变化的外因<sup>[18]</sup>。休牧时期是一个复杂的环境因子,会造成不同的水、热、气、光照和土壤条件,成为影响种子大小变异的因素之一。本研究发

现,RP1休牧种子面积、周长、长宽比和长度均最大。这与秀花等<sup>[22]</sup>在内蒙古实施休牧后冰草(*Agropyron cristatum*)的表现一致。其原因可能是RP1休牧会保护植物的地下器官免受家畜践踏的损伤,进而为牧草的生长提供充分的根部营养,有利于牧草有性繁殖器官的发育,因此种子的形态较大。自然条件下种子传播距离除与母本植株的高度有关外,还与种子重量有关<sup>[6]</sup>。本研究发现,RP3和RP4休牧种子千粒重显著高于RP1、RP2和RP5。说明RP1、RP2和RP5休牧垂穗披碱草更倾向于产生小质量种子。本研究中,6个种子大小指标变异系数范围为5.86%~19.75%。表明不同时期休牧使种子的大小产生较大的分化,体现了种子适应不同时期休牧的生存对策<sup>[10]</sup>。

有研究表明,种子的萌发特性较形态特征对预测种子的存活更加准确<sup>[23]</sup>。较快的萌发速率和较高的萌发率能使植物在生长早期快速占据空间和资源,进而在生长和繁殖方面获得竞争优势<sup>[24-25]</sup>。本研究中,与RP5相比,提前休牧垂穗披碱草种子的发芽势、发芽指数、发芽率、芽长和活力指数均显著提高,说明提前休牧可为垂穗披碱草在空间和资源利用方面提供竞争优势,从而促进其生长和繁殖,影响植物群落动态。发芽率和发芽势能较好地反映种子萌发的速度、整齐性,发芽指数、活力指数则是种子萌发的综合指标,能更全面地反映种子萌发情况。根长和芽长可以反映幼苗生长的形态特征,也可以反映植物后期的生长状况<sup>[26]</sup>。本研究发现,不同时期休牧垂穗披碱草种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长和芽长变化趋势基本一致,均为RP3休牧时较大,说明

RP3 休牧垂穗披碱草种子出苗整齐,幼苗具有较强的生活力<sup>[27]</sup>。种子萌发特性各指标变异系数为 11.37%~43.07%,依次表现为活力指数>发芽指数>发芽势>发芽率>根长>芽长,表明活力指数具有较大的选择潜力。

目前关于种子大小与萌发特性之间的关系尚不明确<sup>[18]</sup>。许静等<sup>[28]</sup>对高寒草甸 32 科 524 种植物种子的萌发进行研究,结果表明种子大小与萌发率显著相关,小种子具有较高的萌发率和较快的萌发速度。Stanton<sup>[29]</sup>研究结果表明,大种子萌发速率显著高于小种子,种子大小和种子的萌发率、萌发速率呈显著负相关关系。魏巍<sup>[18]</sup>的研究结果表明,垂穗披碱草大种子比小种子有着较高的发芽率、发芽速率、胚根长和胚芽长。本研究通过对垂穗披碱草种子大小和萌发特性之间的相关性分析表明,种子千粒重与发芽势、芽长呈极显著正相关。RP5 休牧小种子的发芽率不高,随着休牧期提前,大种子的萌发性状较好,原因是大种子较小种子累积了更多的营养物质,在种子萌发过程中可以提供更多的营养和能量,对种子的发芽与成苗有着重要作用<sup>[30-31]</sup>,这说明提前休牧可以使垂穗披碱草承受更大的环境和自然风险,具有明显的竞争优势<sup>[32]</sup>。

## 4 结论

土壤解冻临界期一牧草枯黄期休牧有利于垂穗披碱草种子面积、周长、长宽比和长度的增加。提前休牧提高了垂穗披碱草成苗率。种子千粒重与发芽势、芽长呈极显著正相关。

### 参考文献:

- [1] Niu Y J, Zhu H M, Yang S W, *et al.* Overgrazing leads to soil cracking that later triggers the severe degradation of alpine meadows on the Tibetan Plateau [J]. *Land Degradation & Development*, 2019, 30(10): 1243-1257.
- [2] Gao Q Z, Li Y, Wan Y F, *et al.* Dynamics of alpine grassland NPP and its response to climate change in Northern Tibet [J]. *Climatic change*, 2009, 97(3): 515-528.
- [3] Squires V, Hua L M. North-West China's rangelands and peoples: facts, figures, challenges and responses [M]. *Towards Sustainable Use of Rangelands in North-West China* [M]. Dordrecht Springer, 2010: 3-18.
- [4] Miede G, Schleuss P M, Seeber E, *et al.* The Kobresia pygmaea ecosystem of the Tibetan highlands: Origin, functioning and degradation of the world's largest pastoral alpine ecosystem [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 648: 754-771.
- [5] 王巧玲, 花立民, 王贵珍, 等. 春季延迟放牧对高寒草甸草地群落特征及生产力的影响 [J]. *草地学报*, 2015, 23(5): 1068-1072.
- [6] 彭珍. 春季不同时期休牧对高寒草甸线叶嵩草和垂穗披碱草繁殖及根系的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [7] 李林栖, 马玉寿, 李世雄, 等. 返青期休牧对祁连山区中度退化草原化草甸草地的影响 [J]. *草业科学*, 2017, 34(10): 2016-2023.
- [8] 马玉寿, 李世雄, 王彦龙, 等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被的影响 [J]. *草地学报*, 2017, 25(2): 290-295.
- [9] 王超, 王晓丽, 施建军, 等. 返青期休牧对玛多高寒草原植物群落特征的影响 [J]. *草地学报*, 2021, 29(4): 763-771.
- [10] 刘文昊. 天山北坡不同地区野生无芒雀麦种子功能性状研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [11] 才文代吉. 高寒草甸种子雨与鼠丘土壤种子库特征 [D]. 西宁: 青海大学, 2019.
- [12] Silvertown, Jonathan W. Seed size, life span, and germination date as coadapted features of plant life history [J]. *The American Naturalist*, 1981, 118(6): 860-864.
- [13] Harper J L, Lovell P H, Moore K G. The shapes and sizes of seeds [J]. *Annual review of ecology and systematics*, 1970, 1(1): 327-356.
- [14] Thompson, John N. Variation among individual seed masses in *Lomatium grayi* under controlled conditions: magnitude and partitioning of the variance [J]. *Ecology*, 1984, 65(2): 626.
- [15] Janzen D H. Variation in seed size within a crop of a Costa Rican *Mucuna andrenna* [J]. *American Journal of Botany*, 1977, 64(3): 347-349.
- [16] Coomes D A, Grubb P J. Colonization, tolerance, competition and seed-size variation within functional groups [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18(6): 283-291.
- [17] 崔现亮, 罗娅婷, 毕廷菊, 等. 储藏和萌发温度对青藏高原东缘 12 种灌木种子萌发的影响 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33(1): 23-32.
- [18] 魏巍, 周娟娟, 白玛嘎翁, 等. 海拔梯度对西藏高原 3 种

- 禾本科牧草种子大小和萌发特性的影响[J]. 种子, 2018, 37(2): 29-33.
- [19] 刘蓉, 张卫国, 江小雷. 垂穗披碱草群落退化演替的植被特性及其与土壤性状的相关性研究[J]. 草业科学, 2010, 27(10): 96-103.
- [20] Ding Z T, Xu D M, Bai J, *et al.* Characterization and identification of ferulic acid esterase-producing lactobacillus species isolated from *Elymus nutans* silage and their application in ensiled alfalfa[J]. Journal of Applied Microbiology, 2019, 127(4): 985-995.
- [21] 许鹏. 草地资源调查规划学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] 秀花, 赵萌莉, 牛海, 等. 放牧胁迫下冰草表型性状的变化[J]. 草原与草业, 2013, 25(4): 38-46.
- [23] Saatkamp A, Affre L, Dutoit T, *et al.* Germination traits explain soil seed persistence across species: the case of Mediterranean annual plants in cereal fields. Annals of Botany, 2011, 107(3): 415-426.
- [24] Donohue K, Rubio de Casas R, Burghardt L, *et al.* Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges[J]. Annual review of ecology, evolution, and systematics, 2010, 41(1): 293-319.
- [25] Zhang C, Willis C, Burghardt L, *et al.* The community-level effect of light on germination timing in relation to seed mass: a source of regeneration niche differentiation [J]. New Phytologist, 2015, 204(3): 496-506.
- [26] 张凡凡, 于磊, 鲁为华, 等. 不同驯化年限野生线叶野豌豆种子特性及幼苗耐寒性[J]. 草业科学 2013, 30(11): 1771-1777.
- [27] 魏志刚, 高玉池, 杨传平, 等. 引种盐松不同地区种子表型性状和发芽特性[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(11): 7-10.
- [28] 许静, 杜国祯, 李文龙, 等. 温度和海拔对高寒草甸植物种子萌发进化特性的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(3): 377-383.
- [29] Stanton M L. Seed variation in wild radish: effect of seed size on components of seedling and adult fitness[J]. Ecology, 1984, 65(4): 1105-1112.
- [30] 李阳, 毛少利, 李倩. 温度和种子大小对菊叶委陵菜种子萌发特性的影响[J]. 分子植物育种, 2016, 14(1): 228-232.
- [31] 侯文焕, 赵艳红, 廖小芳, 等. 不同采收时间对玫瑰茄种子质量的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(12): 2913-2918.
- [32] 张小彦, 焦菊英, 王宁, 等. 种子形态特征对植被恢复演替的影响[J]. 种子, 2009, 28(7): 67-72.

## Effects of rest grazing periods on seed size and germination characteristics of *Elymus nutans* in alpine meadow

MA Kai-kai<sup>1</sup>, BAI Mei-mei<sup>1</sup>, LI Ying<sup>1</sup>, YU Xiao-jun<sup>1\*</sup>, XU Jing-jing<sup>2</sup>, SHI Zhi-zhen<sup>2</sup>,  
QI Xin-he<sup>2</sup>, QU Dan<sup>2</sup>, JIN Hui-liang<sup>2</sup>

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Forestry Science and Technology Promotion Station, Lanzhou 730046, China)

**Abstract:** 【Objective】 The objective of this study was to determine the rest grazing period conducive to the seed size and germination characteristics of *Elymus nutans*. 【Method】 Five rest grazing periods were set up in Tianzhu alpine meadow of east Qilian Mountain, including the critical period of soil thawing-grass withering period (RP1), the late period of soil thawing-grass withering period (RP2), the initial period of grass regreening-grass withering period

(RP3), the late period of grass regreening—grass withering period(RP4) and the local traditional rest grazing(when the dominant plant height was 5 cm—grass withering period) (RP5). The effects of rest grazing in different periods on the seed size and germination characteristics of *E. nutans* and the relationship between them were studied. 【Result】 The seed area, perimeter, length width ratio and length were the largest in RP1, and the area, perimeter and length were increased by 15.14%, 10.22% and 11.97%, respectively, compared with RP5. The thousand—grain weight of RP4 was significantly higher than that of RP1, RP2 and RP5. Compared with RP5, early rest grazing significantly improved the germination potential, germination index, germination percentage, bud length and vigor index. The germination percentages of RP1, RP2, RP3 and RP4 were 84.86%, 121.23%, 127.27% and 127.27% higher than RP5, respectively. Correlation analysis showed that thousand—grain weight was significantly positively correlated with germination potential and bud length. 【Conclusion】 RP1 rest grazing could improve the seed area, perimeter, length width ratio and length of *E. nutans*, and the seeds have better germination characteristics, which is conducive to the protection and restoration of *E. nutans* vegetation.

**Key words:** alpine meadow; rest grazing; *Elymus nutans*; seed size; germination characteristics

(责任编辑 刘建荣)