

DOI:10.11686/cyxb2021174

http://cyxb.magtech.com.cn

曲婷, 周立业. 入侵植物少花蒺藜草异型种子萌发策略及其幼苗生长特性. 草业学报, 2022, 31(6): 91—100.

QU Ting, ZHOU Li-ye. Seed germination strategy and seedling growth characteristics of heteromorphic seeds of the invasive weed *Cenchrus incertus*. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(6): 91—100.

# 入侵植物少花蒺藜草异型种子萌发策略及其幼苗生长特性

曲婷, 周立业\*

(内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028000)

**摘要:**少花蒺藜草为科尔沁沙地的一种恶性入侵杂草, 靠种子进行繁殖, 其同一果实刺苞内多包含2粒种子, 种子具有异型性(其中一粒相对较大、外形似芒果且有一小部分外露在刺苞中, 称为M型种子; 另一粒相对较小、外形似李子, 称之为P型种子), 野外调查发现少花蒺藜草通常以M型种子萌发为主。为探究少花蒺藜草刺苞果皮对异型种子的萌发是否产生影响、M型种子是否对P型种子的萌发产生抑制以及两异型种子的萌发在种群拓展中的作用, 在实验室条件下测定少花蒺藜草带刺苞(正常条件下)、去刺苞(将果皮解剖取出单独的M型、P型种子)、模拟刺苞(以纱布模拟刺苞果皮将取出的两异型种子进行再次包裹)4种处理下两种异型种子的萌发特征以及正常条件下的刺苞(只萌发M型)、单独的M型、P型及刺苞内P型种子(去除刺苞中已萌发的M型种子形成的幼苗)形成幼苗的生长特征。结果表明: 1) 刺苞果皮对两种异型种子的萌发均无显著影响; 2) M型种子抑制P型种子的萌发, 抑制率达到52.5%; 3) 刺苞内M型种子形成幼苗的地上生物量、地下生物量分别比刺苞内P型种子形成幼苗增加0.1298和0.1068 g·株<sup>-1</sup>, M型种子形成幼苗的叶面积、根冠比分别比P型种子形成幼苗显著增加84.3%和356.3%。上述研究表明: 刺苞内M型种子比P型种子具有更强的发芽能力, M型种子形成的幼苗具有更好的存活策略, P型种子作为备用种子当年或翌年补充种群数量。

**关键词:**少花蒺藜草; 异型种子; 萌发策略; 刺苞; 生长特性

## Seed germination strategy and seedling growth characteristics of heteromorphic seeds of the invasive weed *Cenchrus incertus*

QU Ting, ZHOU Li-ye\*

College Agronomy of Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, China

**Abstract:** *Cenchrus incertus* is a noxious invasive weed in Horqin sandy land of Northeastern China. *C. incertus* is by seed and the seeds are heteromorphic with two phenotypes, a larger mango-shaped type (type M) and a smaller plum-shaped type (type P). This study explored whether the pericarp of *C. incertus* has an effect on the germination of heteromorphic seeds, whether the type M seeds has an inhibitory effect on the germination of type P seeds, and whether the germination of two heteromorphic seeds affects the population expansion. In this study, the germination and early seedling growth of M and P type seeds was tested when planted alone or together and imitate the spiniferous bracts (wrapping the two heteromorphic seeds with the cloth again to simulate the spiniferous bracts), and the spiniferous bracts under normal condition (only germinating M-type), single M-type, P-type and P-type

收稿日期: 2021-05-06; 改回日期: 2021-06-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31460634)和内蒙古留学人员创新创业项目(2019年立项)资助。

作者简介: 曲婷(1995-), 女, 内蒙古通辽人, 在读硕士。E-mail: qu7in9@163.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: toni2002@126.com

seeds in the spiniferous bracts (removing the seedlings from the germinating M-type seeds) were measured to form the seedling growth characteristics. It was found that: 1) The pericarp had no significant effect on the germination of the two heteromorphic seed types. 2) The M type seeds inhibited the germination of P type seeds, the inhibition rate was up to 52.5%. 3) The aboveground biomass and underground biomass of M type seeds in spathes was 0.1298 and 0.1068  $\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ , respectively, greater than P type seeds, and the leaf area and root:shoot ratios of M type seeds in bracts were, respectively, 84.3% and 356.3% ( $P<0.05$ ) higher than those of P type seeds. The above studies show: the M type seed in the bract has stronger germinating ability than the P type seed, the M type seed produces seedlings with better survival strategies through more rapid early growth; the P type seed acts as a reserve seed in the current year or the following year to enhance the population numbers.

**Key words:** *Cenchrus incertus*; seed heteromorphism; germination strategy; bract; growth characteristic

科尔沁沙地是我国面积最大、人口密度最高、交通干道最集中的沙地<sup>[1]</sup>。禾本科蒺藜属一年生草本植物少花蒺藜草(*Cenchrus incertus*),原产于北美洲热带沿海地区,20世纪40年代传入我国,根据调查资料,少花蒺藜草从1983年在科尔沁沙地首次被记录以来,由点向面扩散,侵占了许多草场、农田,目前已成为科尔沁沙地危害最为严重的入侵杂草之一<sup>[2-3]</sup>。少花蒺藜草的入侵已严重影响了草地资源的正常利用及群落组成<sup>[4-5]</sup>,使本来脆弱的生态系统进一步恶化,造成了不可逆转的破坏,给当地农牧民日常生活和畜牧业生产造成了极大损失<sup>[6-7]</sup>。

少花蒺藜草靠种子进行繁殖,在适宜环境下种子可随时萌发、扩散进而维持种群的建立和延续<sup>[8]</sup>,种子表现为异型性(较大的为M型种子,较小的为P型种子)。种子异型性是植物在长期进化过程中应对干扰、胁迫等外界条件的一种主动适应<sup>[9]</sup>,是许多旱区一年生植物产生的在形态结构和萌发特性等方面存在差异的现象<sup>[10]</sup>,种子异型形态特征表现为种子大小、形状、颜色、种皮纹理和二级结构等存在差异<sup>[11-13]</sup>。而种子异型行为是生态行为,主要体现在种子传播能力、种子萌发与休眠特性、种子库持久能力及幼苗生长特性等方面<sup>[14-16]</sup>,具有种子异型性的植物可在生长过程中降低单次萌发的风险,提高幼苗存活率,从而确保种群成功建立和顺利繁殖<sup>[17]</sup>。

前期研究发现,野外条件下少花蒺藜草通常以M型种子萌发为主,P型种子采取休眠策略;早期对少花蒺藜草M型种子萌发所形成的植株进行去除,P型种子会被激发补充种群数量,晚期去除,刺苞内的P型种子保持休眠状态以待来年在适宜条件下萌发,P型种子会根据其所处环境不同从而采取萌发或休眠的生存策略对少花蒺藜草成功入侵以及完成生活史起了关键作用<sup>[18]</sup>。本研究以少花蒺藜草刺苞及异型种子为对象,通过测定M型和P型种子的萌发特征及其形成幼苗的形态特征和生物量特征,分析少花蒺藜草异型种子的萌发策略以及在科尔沁沙地的适应和入侵机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况与供试材料

少花蒺藜草刺苞取于通辽市辽河镇四合屯(43°40' N, 122°04' E),该地属于温带半干旱季风性气候,海拔187 m,年平均气温为5.6℃,平均日照3000 h左右, $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温3000~3200℃,无霜期147 d,年平均降水量为350~400 mm,降水大多集中在6-8月。少花蒺藜草刺苞及异型种子见图1。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 模拟刺苞、两种异型种子及刺苞的萌发试验** 试验所用刺苞取于2019年10月,为保证种子正常萌发,试验开始于2020年11月。将同一刺苞内的两种异型种子取出,用纱布进行包裹模拟刺苞果皮并用针线将纱布缝合,记为模拟刺苞处理(图2)。萌发试验采用水培法,将模拟刺苞、M型种子、P型种子及刺苞各30粒置于培养皿中,以滤纸为萌发床,加入适量蒸馏水,培养皿加盖放置在(25±1)℃的培养箱里,经常变换培养皿在培养箱中的位置,确保所有种子所处的环境均一,每处理6个重复。每日记录各处理发芽情况(种子萌发以胚根长度为种子或刺苞长度、胚芽露出种子或刺苞长度的1/2为标准),并用直尺测定刺苞及两种异型种子的胚根、胚芽长,测定时间从种子发芽开始,并计算生长速率。

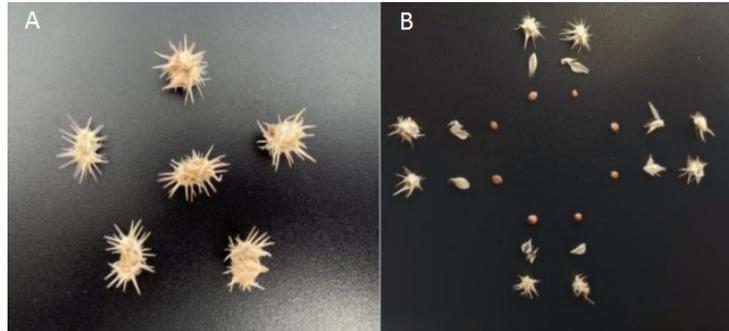


图 1 少花蒺藜草刺苞(A)和刺苞内异型种子(B)

Fig. 1 Bract (A) and seeds in the bract (B) of *C. incertus*

**1.2.2 刺苞及异型种子形成幼苗的形态及生物量特征的测定** 将少花蒺藜草刺苞、M型和P型种子均匀一致地播种于相同规格的花盆(花盆上口直径20 cm,高12 cm)中,栽培基质为沙土和蛭石(体积比=1:1),播种前浇透水,在每个花盆内种植50粒刺苞(种子),刺苞覆土0.5 cm,异型种子覆土0.3 cm,两种异型种子各设置5个重复,刺苞设置10个重复(前5个重复测定刺苞内M型种子形成幼苗的形态及生物量特征,后5个重复待刺苞内M型种子出苗后,挖出幼苗,在盆中清洗干净,去除已萌发M型幼苗的地上及地下部分,将留存有P型种子的刺苞再次进行种植,将此处理记为刺苞内P型种子萌发的幼苗),当以上4种处理的幼苗株高达到10 cm左右时测定生长指标。

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 生长指标的测定** 1) 发芽率=最终发芽种子数/供试种子总数 $\times 100\%$ ,24小时内无新增发芽种子视为种子发芽终止<sup>[19]</sup>。

2) 发芽势:按照发芽过程中日发芽种子数达到最高峰(本试验为发芽后第3天)发芽的种子数占供测样品种子数的百分率计算<sup>[19]</sup>。

3) 发芽指数(germination index, GI): $GI = \sum(Gt/Dt)$ ,式中:Dt为萌发天数,Gt为Dt相对应的每天发芽种子数<sup>[20]</sup>。

4) 活力指数(vigor index, VI): $VI = S \times GI$ ,式中:S为平均胚根长,GI为发芽指数<sup>[20]</sup>。

5) 胚根(胚芽)生长速率=胚根(胚芽)的长度/生长所需时间。

**1.3.2 幼苗叶面积的测定** 当少花蒺藜草株高达到10 cm时,选择健康且长势一致的植株,用YMJ-CH型智能叶面积扫描仪(杭州市余杭区)测量第2、3片长势接近的功能叶叶面积、叶片长、叶片宽,每个花盆内随机选取10株植物,进行3次重复,取平均值。

**1.3.3 幼苗生物量的测定** 当株高达到10 cm时,浇水后连根挖出幼苗,用自来水洗净泥土后用滤纸吸干植株表面水珠,选取30株生长一致的植株,将每个植株的根、茎、叶分别分离,将冲洗干净的根、茎和叶装入牛皮纸袋,在105℃下杀青15 min,75℃烘干至恒重,用电子天平称量各部分干重。

比叶面积=叶片面积/叶片生物量

叶片生物量比=叶片生物量/总生物量

根生物量比=根生物量/总生物量



图 2 少花蒺藜草模拟刺苞的发芽试验

Fig. 2 Experiment of simulating the germination of bract of *C. incertus*

茎生物量比=茎生物量/总生物量

根冠比=根生物量/地上生物量

叶根比=叶片生物量/根生物量

#### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2007 进行作图,用 WPS 进行表格的制作,用 SPSS 23.0 数据处理系统进行统计及差异显著性检验,显著度水平为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 少花蒺藜草刺苞、模拟刺苞及异型种子的发芽特性

**2.1.1 发芽率和发芽势** 刺苞(M型种子)、模拟刺苞内M型种子及独立条件下M型种子的发芽率分别为93.3%、90.0%和90.0%,三者之间差异不显著( $P>0.05$ ),表明刺苞对M型种子的萌发无显著影响;刺苞内P型种子(刺苞内同时发2芽)的发芽率为40.6%,模拟刺苞内P型种子的发芽率为41.7%,独立条件下P型种子的发芽率为85.6%,刺苞内P型种子与模拟刺苞内P型种子的发芽率无显著差异( $P>0.05$ ),独立条件下P型种子的发芽率分别比刺苞及模拟刺苞内P型种子发芽率显著增加110.8%和105.3%,模拟刺苞内P型种子保持较低的发芽率(图3),表明抑制P型种子萌发的主要因素不是刺苞果皮而是M型种子,M型种子对P型种子在刺苞内及模拟刺苞内的抑制率分别为52.5%和51.4%(图4)。单独M型种子的发芽势为70.0%;单独P型种子的发芽势为72.2%;刺苞内M型种子的发芽势为68.9%,三者之间无显著差异( $P>0.05$ );模拟刺苞内M型种子的发芽势为48.3%,显著低于独立的M型及刺苞(M型种子)的31.0%和29.9%;模拟刺苞内P型种子的发芽势为8.3%,独立条件下P型种子的发芽势为68.3%,模拟刺苞内P型种子的发芽势显著低于独立的P型种子87.8%(图3)。

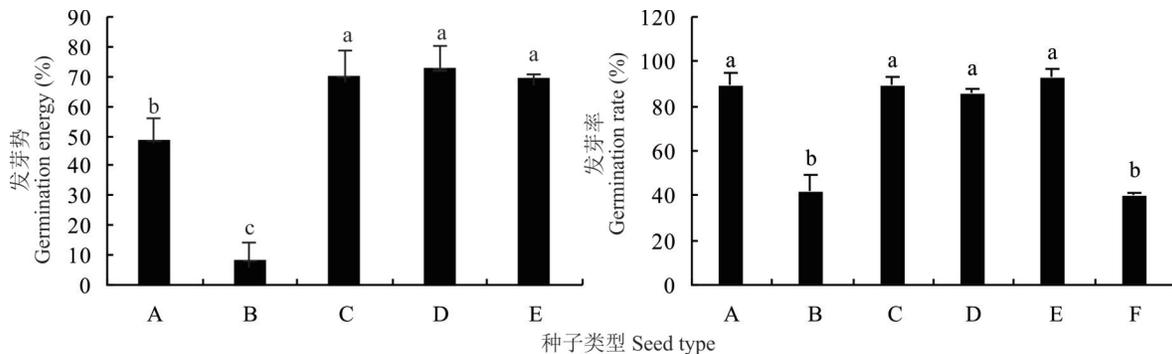


图3 少花蒺藜草刺苞及种子的发芽率及发芽势

Fig. 3 Germination rate and germination energy of bract and seed of *C. incertus*

不同小写字母表示不同类型种子之间差异显著( $P<0.05$ )。图中字母A为模拟M型、B为模拟P型、C为M型、D为P型、E为刺苞、F为刺苞内P型处理。下同。Different lowercase letters indicated significant difference among different types at 0.05 level. The letters A is simulated M type, B is simulated P type, C is M type, D is P type, E is the bur, F is P type in the bur. The same below.

**2.1.2 发芽指数和活力指数** 刺苞(M型种子)、模拟刺苞内M型种子及独立条件下M型种子的发芽指数分别为6.47、5.23和7.58,独立条件下M型种子的发芽指数分别显著高于刺苞(M型种子)及模拟刺苞内M型种子17.2%和44.9%( $P<0.05$ );模拟刺苞内P型种子的发芽指数为0.75,独立条件下P型种子的发芽指数为6.68,模拟刺苞内P型种子的发芽指数显著低于独立条件下P型种子88.8%( $P<0.05$ )(图5)。

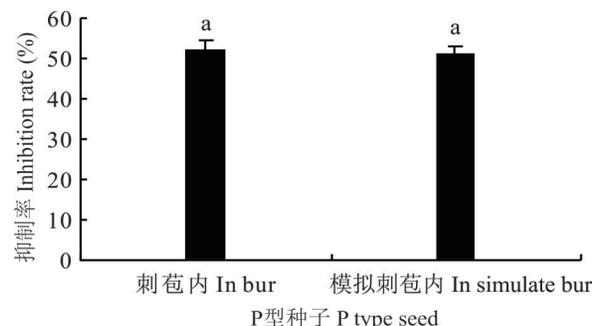


图4 M型种子对P型种子的抑制率

Fig. 4 Inhibition rate of M seed to P seed

刺苞(M型种子)、模拟刺苞内 M 型种子及独立条件下 M 型种子的活力指数分别为 71.01、14.98 和 87.50,刺苞及模拟刺苞内 M 型的活力指数分别显著低于独立条件下 M 型种子 18.8% 和 82.9% ( $P < 0.05$ ); 模拟刺苞内 P 型种子的活力指数为 1.75, 独立条件下 P 型种子活力指数为 59.83, 模拟刺苞内 P 型种子的发芽指数显著低于独立条件下 P 型种子 97.1% ( $P < 0.05$ ) (图 5)。

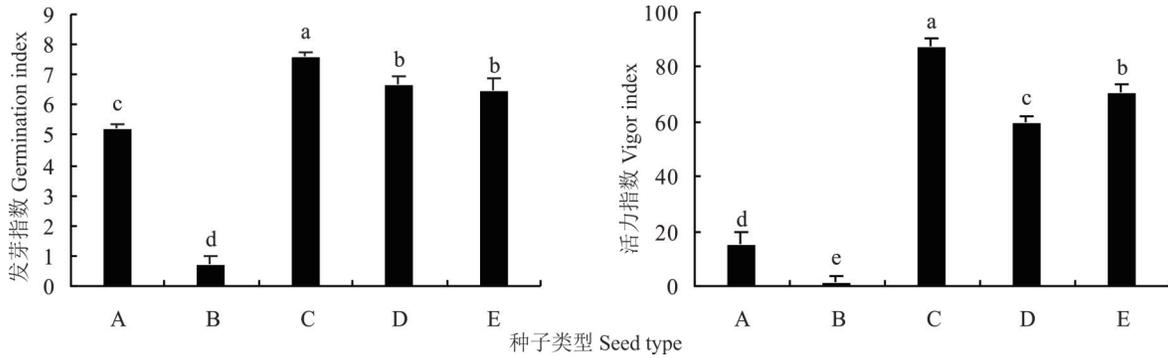


图 5 少花蒺藜草刺苞、种子的发芽指数及活力指数

Fig. 5 Germination index and vigor index of bract and seed of *C. incertus*

**2.1.3 胚根及胚芽的生长速率** 由图 6 可知,少花蒺藜草刺苞及两异型种子胚根的初始萌发时间为 24 h,在前 3 d 胚根的生长速率表现为刺苞 > P 型种子 > M 型种子,3 d 后生长速率为 M 型种子 > P 型种子 > 刺苞。胚芽的初始萌发时间为 24 h,在前 3 d 的生长速率表现为 M 型种子 = 刺苞 > P 型种子,最终的生长速率为 P 型种子 > M 型种子 > 刺苞。图 7 为模拟刺苞内 M、P 型种子发芽图片,大部分只有 M 型种子萌发。

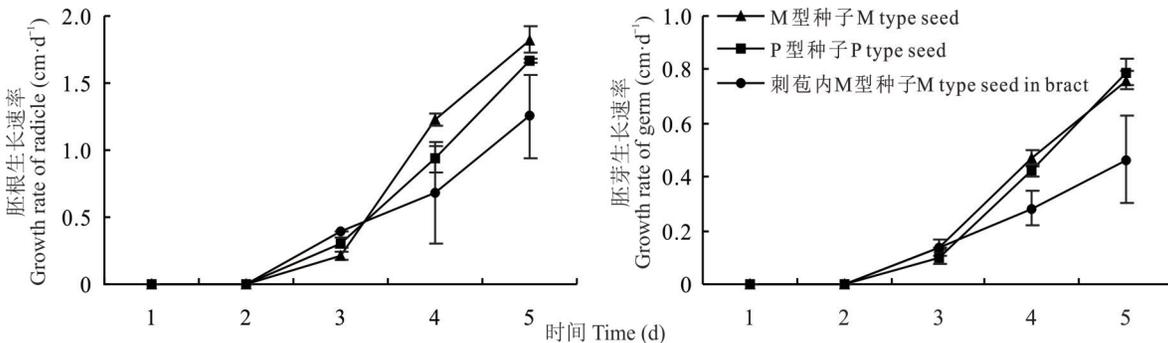


图 6 少花蒺藜草刺苞、种子胚根及胚芽的生长速率

Fig. 6 Growth rate of spiny bract, seed radicle and germ of *C. incertus*



图 7 模拟刺苞内只有 M 型种子发芽 (A, B) 和 M 型、P 型种子同时发芽 (C)

Fig. 7 Only M type seeds germinated in the bract (A, B) and M type and P type seeds germinated simultaneously (C)

## 2.2 少花蒺藜草刺苞及异型种子幼苗的形态及生物量特征

从形态特征分析,刺苞萌发幼苗的叶面积分别显著高于独立的P型种子及刺苞内P型种子萌发的幼苗51.9%和84.3%,刺苞萌发的幼苗与M型种子萌发的幼苗叶面积无显著差异;刺苞内P型种子萌发幼苗的比叶面积分别显著高于M型种子、P型种子及刺苞萌发幼苗87.2%、68.3%和392.2%,M型、P型种子萌发幼苗的比叶面积无显著差异。

从生物量特征分析,刺苞萌发幼苗的地上生物量显著高于其他三者,M型种子萌发幼苗的地上生物量低于刺苞76.7%,P型种子萌发幼苗的地上生物量低于刺苞的82.7%,刺苞内P型种子萌发幼苗的地上生物量低于刺苞的86.5%,M型、P型种子萌发幼苗的地上生物量无显著差异;刺苞萌发幼苗的地下生物量显著高于其他三者,M型种子萌发幼苗的地下生物量显著低于刺苞79.1%,P型种子萌发幼苗的地下生物量显著低于刺苞68.5%,刺苞内P型种子萌发幼苗的地下生物量低于刺苞97.1%,M型与P型种子的地下生物量无显著差异;P型种子萌发幼苗的根冠比显著高于其他种子及刺苞萌发幼苗的根冠比,M型种子、刺苞以及刺苞内P型种子萌发幼苗的根冠比分别低于P型种子50.8%、45.5%、88.1%,M型种子与刺苞的根冠比无显著差异。

从生物量分配特征角度分析,M型种子、刺苞以及刺苞内P型种子萌发幼苗的根生物量比分别显著低于P型种子萌发幼苗29.8%、26.3%和52.6%,M型种子与刺苞无显著差异(表1)。结果表明,刺苞及种子所萌发的幼苗会根据获得的营养物质及对自身能力的支配产生不同的生长分配策略。

表1 少花蒺藜草刺苞、异型种子萌发幼苗的形态特征及生物量特征

Table 1 Morphological and biomass characteristics of seedlings germinated with bract and heteromorphic seed of *C. incertus*

特征 Characteristics	变量 Variable	M型种子萌发的 幼苗 M seedling germination	P型种子萌发的 幼苗 P seedling germination	刺苞(M型)萌发 的幼苗 Bur seed- ling germination	刺苞内P型种子萌发 的幼苗 P seedling germination in bur
形态特征 Morpho- logical characteristics	叶面积 Leaf area ( $\text{cm}^2 \cdot \text{piece}^{-1}$ )	1.83±0.34a	1.31±0.26b	1.99±0.35a	1.08±0.38c
	比叶面积 Specific leaf area ( $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ )	130.51±24.45b	145.22±28.77b	49.65±8.74c	244.36±87.49a
生物量特征 Bio- mass characteristics	叶生物量 Leaf biomass ( $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ )	0.024±0.0033b	0.019±0.0029c	0.110±0.0045a	0.012±0.0025c
	茎生物量 Stem biomass ( $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ )	0.011±0.0016b	0.007±0.0008c	0.039±0.0021a	0.008±0.0002c
	地下生物量 Underground biomass ( $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ )	0.023±0.0016b	0.035±0.0053b	0.110±0.0099a	0.003±0.0003c
	地上生物量 Aboveground biomass ( $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ )	0.035±0.0049b	0.026±0.0021b	0.150±0.0040a	0.020±0.0002c
	总生物量 Total biomass ( $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ )	0.058±0.0058b	0.061±0.0041b	0.250±0.0120a	0.023±0.0003c
	根冠比 Root shoot ratio	0.660±0.0900b	1.340±0.2700a	0.730±0.0600b	0.160±0.0130c
	叶根比 Leaf root ratio	1.060±0.1400b	0.570±0.1800c	1.010±0.0600b	3.750±0.2600a
生物量分配特征 Biomass distribu- tion characteristics	叶生物量比 Leaf biomass ratio	0.42±0.023b	0.32±0.062c	0.42±0.006b	0.51±0.004a
	根生物量比 Root biomass ratio	0.40±0.033b	0.57±0.054a	0.42±0.020b	0.14±0.010c
	茎生物量比 Stem biomass ratio	0.19±0.010b	0.12±0.013c	0.16±0.014b	0.35±0.012a

注:不同字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters mean significant difference among different treatments at 0.05 level.

## 3 讨论

### 3.1 少花蒺藜草异型种子的萌发策略

任何植物在特定环境中的持续繁衍和生存都依赖其自身的功能特征,在植物的众多特性中,种子是植物物种延续、扩大种群生态位空间的生命载体<sup>[21-22]</sup>,种子萌发是植物生长阶段极为重要的时期,发芽率、发芽势等是检验种子生活力、反映种子发芽能力和发芽时间的重要指标<sup>[23]</sup>。本研究结果中M型种子在刺苞内外均具有较高的萌发率,表明刺苞果皮对M型种子的萌发无显著影响;模拟刺苞试验表明,在无刺苞果皮的情况下,P型种子仍具有较低萌发率,显示刺苞果皮对P型种子的萌发无显著影响,结合野外调查,少花蒺藜草在自然条件下受到外界环

境影响时,P型种子会在季节周期内对环境进行感应(被激发),选择当年萌发生长完成生命周期或是选择次年适宜环境条件下萌发生长拓展种群数量(采取机会主义策略),可见,刺苞果皮对两种异型种子的萌发均无显著影响,可见刺苞果皮的作用一是对种子进行保护,避免家畜啃食,二是由于刺苞果皮具有倒刺更易于通过人和牲畜携带进行传播扩散,从而扩大其在种群中的生态位<sup>[24]</sup>。P型种子在独立条件下比非独立条件下萌发率高,说明M型种子对P型种子的萌发产生了一定的抑制效应,前期试验表明,M型种子的浸提液降低了P型种子的萌发率,说明M型种子可能存在某种化感物质对P型种子的萌发产生了一定程度的影响,有关M型种子内的化感物质将在后续的试验中进行研究;本研究结果中M型种子在两种培养条件下均具有较好的发芽能力,马赫等<sup>[10]</sup>研究表明野榆钱菠菜(*Atriplex aucheri*)3种异型种子的萌发物候不同步,大种子提前萌发2 d,较小种子提前萌发7 d,且大种子的出苗率显著高于另外两小种子的出苗率;王梦茹等<sup>[25]</sup>对钠猪毛菜(*Salsola nitraria*)的研究表明,异型种子中较大的种子具有更顽强的生命力和适应能力,较大种子具有更强地对光、水、肥资源的竞争和利用能力以及对资源缺乏环境的忍耐和适应能力<sup>[26]</sup>,这也与魏梦浩等<sup>[27]</sup>对盐角草(*Salicornia europaea*)的研究结果一致,盐角草3种类型的种子在大小和质量上有着显著差异,一般大粒种子有较大的胚,萌发和生长一般较快;小粒种子存在休眠,可形成种子库,确保物种延续。

### 3.2 少花蒺藜草刺苞及种子形成幼苗的生长特性

在不同的物种种群内,种子的大小变异主要发生在植物的个体内及个体间,种子大小和幼苗更新对策是植物生活史策略的重要组成部分<sup>[28]</sup>。从种子到幼苗阶段是植物种群生活史中亏损最严重的时期之一,而幼苗更新对策又是植物生活史对策中最重要的阶段,因为幼苗更新是植物种群扩大、扩散和延续的一个主要方面<sup>[29-31]</sup>。植物在幼苗阶段是通过将更多的资源分配到功能组织来更好地获取资源<sup>[32-33]</sup>。为了构建和维持植物正常的生长,幼苗主要将资源向茎投入,也可通过调节生物量的分配来更好地适应环境<sup>[34-35]</sup>。本研究中,刺苞形成的幼苗(刺苞中M型种子萌发的幼苗)与独立条件下M型种子形成的幼苗在形态特征及生物量特征方面均具有较高的优势,原因是种子大小与幼苗生物量呈显著正相关<sup>[36]</sup>,潘慧超等<sup>[37]</sup>研究表明,相对较大的种子形成的幼苗生长快,获得的资源更多,具有更强的竞争能力,对植被的更新贡献更大;本研究中4种处理条件下形成幼苗的生物量特征之间差异显著,表明少花蒺藜草异型种子及刺苞会根据自身所处环境对吸收到的营养物质进行分配从而调整自身的存活策略,这一结果与许多学者对植物受到资源限制时通常会调节植物地上部和地下部生物量资源以适应环境变化的研究结果一致<sup>[38-40]</sup>。根系是生长最重要的地下营养器官,植物为适应环境,根系表现出明显的可塑性,从而导致植物在根系生长、分布结构和地上部生物量分配上产生差异<sup>[41-42]</sup>。本研究中,少花蒺藜草两种异型种子根系生长速率的差异不显著,表明两种异型种子根系均具有较高的生长能力,当M型种子形成的植株无法完成种群扩展的使命时,P型种子可以迅速生根发芽以维持或补充种群数量。

## 4 结论

刺苞吸足水分后依旧采取保守萌发策略(大多数只发1芽);M型种子在适宜条件下迅速萌发,快速完成生活史得以维持种群数量,P型种子在同样拥有相对较高萌发活力的同时作为后备力量补充种群数量,这种相互感应与配合的萌发及生长策略是少花蒺藜草在科尔沁沙地迅速扩散蔓延的重要原因之一。少花蒺藜草M、P型种子补偿性萌发策略是其强入侵性的生物学基础,有效控制刺苞形成或对已形成刺苞进行灭活技术的研发是遏制少花蒺藜草种群蔓延的关键。

### 参考文献 References:

- [1] Zhai P M, Zou X K. Change in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951—2003. *Advances in Climate Change Research*, 2005(1): 16—18.  
翟盘茂, 邹旭恺. 1951—2003年中国气温和降水变化及其对于干旱的影响. *气候变化研究进展*, 2005(1): 16—18.
- [2] Xu J. The distribution and biology characteristics of alien invasive plant *Cenchrus pauciflorus*. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.

- 徐军. 外来入侵植物—少花蒺藜草的分布与生物学特性研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [3] Wang R, Zhang T, Song Z, *et al.* The effect of *Cenchrus pauciflorus* on nitrogen mineralization of Horqin sandy soil. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(4): 709—716.  
王然, 张婷, 宋振, 等. 少花蒺藜草对科尔沁沙地土壤氮转化效应的研究. *生态环境学报*, 2020, 29(4): 709—716.
- [4] Song Z, Zhang Y L, Fu W D, *et al.* Genetic diversity analysis of different populations of *Cenchrus pauciflorus* in Northern China. *Ecology and Environmental Sciences*, 2019, 28(8): 1499—1506.  
宋振, 张衍雷, 付卫东, 等. 少花蒺藜草在中国北方地区的不同种群遗传多样性分析. *生态环境学报*, 2019, 28(8): 1499—1506.
- [5] Tian X, Zhang Z X, Chen Y D. Seed bank and seed structure characteristics of seed vigor of *Cenchrus pauciflorus* in Korqin sandy land. *Chinese Journal of Grassland*, 2015, 37(6): 85—90.  
田迅, 张志新, 陈艳东. 科尔沁沙地不同地区少花蒺藜草种子库与种子活力结构特征. *中国草地学报*, 2015, 37(6): 85—90.
- [6] Zhang T, Fu W D, Zhang R H, *et al.* Effects of invasive *Cenchrus spinifex* on nitrogen pools in sandy grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(5): 1522—1532.  
张婷, 付卫东, 张瑞海, 等. 少花蒺藜草入侵对沙质草地氮库的影响. *应用生态学报*, 2017, 28(5): 1522—1532.
- [7] Liu L P, Ni H W, Xie Y Q, *et al.* Seed germination and emergence characteristics of *Cenchrus pauciflorus* Benth. *Weed Science*, 2014, 32(4): 8—11.  
刘露萍, 倪汉文, 谢亚琼, 等. 少花蒺藜草种子萌发与出苗特性. *杂草科学*, 2014, 32(4): 8—11.
- [8] Ma J B, Zhang Y L, Tian X, *et al.* Studies on physiological adaptability of *Cenchrus pauciflorus* in different growth periods of Horqin sandy land. *Grassland and Turf*, 2020, 40(6): 52—57, 64.  
马金宝, 张永莉, 田迅, 等. 科尔沁沙地少花蒺藜草不同生育时期生理适应性的研究. *草原与草坪*, 2020, 40(6): 52—57, 64.
- [9] Zhang Z X, Bai Y G, Tian X. Field sandbur (*Cenchrus pauciflorus*) seeds in the same bur respond differently to temperature and water potential in relation to germination in a semi-arid environment, China. *PLoS One*, 2016, 11(12): e0168394.
- [10] Ma H, Wei Y, Mu C. Investigation of growth characteristics of seedlings from three types of heteromorphic seeds of *Atriplex aucheri*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(3): 126—134.  
马赫, 魏岩, 穆晨. 野榆钱菠菜三种异型种子幼苗的生长特性. *草业学报*, 2018, 27(3): 126—134.
- [11] Maun M A, Payne A M. Fruit and seed polymorphism and its relation to seedling growth in the genus *Cakile*. *Canadian Journal of Botany*, 1989, 67: 2743—2750.
- [12] Venable D L, Burquez A. Quantitative genetics of size, shape, life history, and fruit characteristics of the seed-heteromorphic composite *Heterosperma pinnatum* L. variation within and among populations. *Evolution*, 1989, 43: 113—124.
- [13] Ellison A M. Effect of seed dimorphism on the density-dependent dynamics of experimental populations of *Atriplex triangularis* (Chenopodiaceae). *American Journal of Botany*, 1987, 74(8): 1280—1288.
- [14] Imbert E. Ecological consequences and ontogeny of seed heteromorphism. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2002, 5: 13—36.
- [15] Pollux B J A, Verbruggen E, Van Groenendael J M, *et al.* Intraspecific variation of seed floating ability in *Sparganium emersum* suggests a bimodal dispersal strategy. *Aquatic Botany*, 2009, 90: 199—203.
- [16] Toorop P E, Cuerval R C, Begg G S, *et al.* Co-adaptation of seed dormancy and flowering time in the arable weed *Capsella bursa-pastoris* (shepherd's purse). *Annals of Botany*, 2012, 109: 481—489.
- [17] Wang L, Dong M, Huang Z Y. Review of research on seed heteromorphism and its ecological significance. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(5): 578—590.  
王雷, 董鸣, 黄振英. 种子异型及其生态意义的研究进展. *植物生态学报*, 2010, 34(5): 578—590.
- [18] Qu T, Tian X, Zhou L Y. Seed heteromorphism and population maintenance strategy of the invasive plant *Cenchrus pauciflorus*. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(8): 2622—2628.  
曲婷, 田迅, 周立业. 入侵植物少花蒺藜草种子异型性及种群维持策略. *生态学杂志*, 2020, 39(8): 2622—2628.
- [19] Liu L, Meng S C. Revision bulletin of 2012 international seed inspection regulations. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2012, 26(5): 762—763.  
刘玲, 孟淑春. 2012版《国际种子检验规程》修订通报. *核农学报*, 2012, 26(5): 762—763.
- [20] Liu W Y, Yang H W, Wei X H, *et al.* Effects of exogenous nitric oxide on seed germination, physiological characteristics and active oxygen metabolism of *Medicago truncatula* under NaCl stress. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(2): 85—95.

- 刘文瑜, 杨宏伟, 魏小红, 等. 外源NO调控盐胁迫下蒺藜苜蓿种子萌发生理特性及抗氧化酶的研究. 草业学报, 2015, 24(2): 85—95.
- [21] Wei Y, Dong M, Huang Z Y. Seed polymorphism, dormancy, and germination of *Salsola affinis* (Chenopodiaceae), a dominant desert annual inhabiting the Junggar Basin of Xinjiang, China. Australian Journal of Botany, 2007, 55: 1—7.
- [22] Du G Z, Wei Q. Trade-offs between flowering time, plant height, and seed size within and across 11 communities of a Qinghai—Tibetan flora. Plant Ecology, 2010, 209: 321—333.
- [23] Li Y, Yu X J, Zhao Y S, *et al.* Effects of seed soaking with salicylic acid and abscisic acid on seed germination and seedling growth of *Medicago ruthenica* at low temperature. Acta Agrestia Sinica, 2021, 29(1): 174—181.
- 李颖, 鱼小军, 赵一珊, 等. 水杨酸和脱落酸浸种对低温下扁蓿豆种子萌发和幼苗生长的影响. 草地学报, 2021, 29(1): 174—181.
- [24] Gu W, Ma M. Study on the reproductive biology characteristics of invasive plant *Xanthium spinosum* L. Journal of Shihezi University (Natural Science Edition), 2019, 37(3): 332—338.
- 顾威, 马森. 外来入侵植物刺苍耳的繁殖生物学特性研究. 石河子大学学报(自然科学版), 2019, 37(3): 332—338.
- [25] Wang M R, Wei Y. Seed polymorphism and germination behavior of *Salsola nitraria* in the Gurbantunggut Desert. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(3): 85—92.
- 王梦茹, 魏岩. 古尔班通古特沙漠纳猪毛菜种子异型性及其萌发行为研究. 草业学报, 2019, 28(3): 85—92.
- [26] Leishman M R, Wright I J, Moles A T, *et al.* The evolutionary ecology of seed size//Fenner M. Seeds: The ecology of regeneration in plant communities. New York: CABI Publishing, 2000: 31—57.
- [27] Wei M H, Huang J H. Seed polymorphism and germination behavior of *Salicornia europaea* inhabiting in the area of Ayding Lake. Pratacultural Science, 2015, 32(12): 2064—2070.
- 魏梦浩, 黄俊华. 艾丁湖盐角草种子异型性及萌发特性. 草业科学, 2015, 32(12): 2064—2070.
- [28] Zhang Z X, Zhang K, Tian X. Characteristics of biological components of *Cenchrus pauciflorus* under wet and dry habitats. Pratacultural Science, 2012, 29(12): 1899—1902.
- 张志新, 章恺, 田迅. 干旱与灌溉生境下少花蒺藜草生物构件的特征. 草业科学, 2012, 29(12): 1899—1902.
- [29] Wu G L, Du G Z. Relationships between seed size and seedling growth strategy of herbaceous plant: A review. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 191—197.
- 武高林, 杜国祯. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展. 应用生态学报, 2008, 19(1): 191—197.
- [30] Kitajima K, Fenner M. Ecology of seedling regeneration//Fenner M, ed. Seeds: The ecology of regeneration in plant communities (2nd Edition). New York: CABI Publishing, 2000: 331—359.
- [31] Burth-Smith G S, Grime J P, Tilman D. Seedling resistance to herbivory as a predictor of relative abundance in a synthesized prairie community. Oikos, 2003, 101: 345—353.
- [32] Sun Y, Yan X F. Seed emergence and growth of *Caragana korshinskii* in different habitats. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(7): 186—195.
- 孙毅, 闫兴富. 不同生境下柠条种子出苗及幼苗生长特征. 草业学报, 2016, 25(7): 186—195.
- [33] Falster D S, Westoby M. Plant height and evolutionary games. Trends in Ecology and Evolution, 2003, 18(7): 337—343.
- [34] Wu G L, Du G Z, Chen M, *et al.* Response of seedling root of six herbaceous species to light and nutrient in al-pine meadow of Qinghai—Tibetan Plateau. International Journal of Botany, 2006, 2(4): 395—401.
- [35] Wu G L, Chen M, Zhou X H, *et al.* Response of morphological plasticity of three herbaceous seedlings to light and nutrition in the Qinghai—Tibetan Plateau. Asian Journal of Plant Science, 2006, 5(4): 635—642.
- [36] Lloret F, Casanovas C, Pen"uelas J. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. Functional Ecology, 1999, 13: 210—216.
- [37] Pan H C, Wang J F, Ao Y N, *et al.* Effects of seed size and bract of *Ceratoides arborescens* on germination and seedling growth under drought stress. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(2): 399—405.
- 潘慧超, 王俊锋, 敖云娜, 等. 干旱胁迫下华北驼绒藜种子大小及苞片对萌发和幼苗生长的影响. 应用生态学报, 2021, 32(2): 399—405.
- [38] Dong M, Alateng B, Xing X R, *et al.* Genet features and ramet population features in the rhizomatous grass species *Psammochloa villosa*. Chinese Journal of Plant Ecology, 1999, 23(4): 15—23.
- 董鸣, 阿拉腾宝, 邢雪荣, 等. 根茎禾草沙鞭的克隆基株及分株种群特征. 植物生态学报, 1999, 23(4): 15—23.
- [39] Xiao C W, Dong M, Zhou G S, *et al.* Response of *Salix psammophila* seedlings to simulated precipitation change in Ordos

plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 171–176.

肖春旺, 董鸣, 周广胜, 等. 鄂尔多斯高原沙柳幼苗对模拟降水量变化的响应. *生态学报*, 2001, 21(1): 171–176.

- [40] Sun S C, Chen L Z. Leaf growth and photosynthesis of *Quercus liaotungensis* in Dongling Mountain region. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 212–217.

孙书存, 陈灵芝. 东灵山地区辽东栎叶的生长及其光合作用. *生态学报*, 2000, 20(2): 212–217.

- [41] Fitter A H. Functional significance of roots. In: Atkinson D. *Ecological interactions in soil: Plants, microbes and animals*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985: 87–106.

- [42] Grime J P, Campbell B D, Mackey J M L, *et al.* Root plasticity, nitrogen capture and competitive ability. In: Atkinson A. *Plant root growth: An ecological perspective*. Oxford: Blackwell Scientific Press, 1991: 381–397.