

不同类型的少花蒺藜草种子萌发对水分和光照的响应

霍艳利, 曲婷, 高凯, 周立业* (内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028000)

摘要 [目的]了解少花蒺藜草(*Cenchrus incertus*)异型种子对水分和光照的要求。[方法]以少花蒺藜草异型种子为研究对象,采用10个水分梯度(依次为土壤最大持水量的10%~100%)和5种光照强度(全光照、50%光照、25%光照、15%光照、全黑暗),观察少花蒺藜草异型种子的萌发特性。[结果]各水分梯度少花蒺藜草发芽率表现为刺苞>M型种子>P型种子(除50%水分梯度外),随着水分梯度的提高,刺苞及两异型种子的发芽率均呈现先升高后降低的趋势,刺苞在水分梯度60%、M型种子和P型种子在水分梯度50%时发芽率达到最大;发芽势、发芽指数和活力指数呈先升高后降低的趋势,在水分梯度为土壤最大持水量的50%~60%时达到最高值;随着水分梯度的提高,刺苞、M型种子与P型种子的胚根长和胚芽长呈先升高后降低的变化趋势;各光照强度下少花蒺藜草发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均表现为M型种子>P型种子>刺苞,随着光照强度的增加,发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数呈现上升趋势,在全光照下达到最高值,胚根长和胚芽长均在全光照条件下达到最高值。

关键词 少花蒺藜草;异型种子;萌发;水分;光照

中图分类号 X173 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)04-0051-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Response of Seed Germination of Different Types of *Cenchrus incertus* to Water and Light

HUO Yan-li, QU Ting, GAO Kai et al (College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028000)

Abstract [Objective] To understand the water and light requirements of heterotypic seeds of *Cenchrus incertus*. [Method] Taking the heteromorphous seeds of *Cenchrus incertus* as the research object, 10 water gradients (10%–100% of the maximum water holding capacity of soil) and 5 light intensities (full light, 50% light, 25% light, 15% light and full dark) were used, the germination characteristics of heterotypic seeds of *Cenchrus incertus* were observed. [Result] The germination rate of *Cenchrus incertus* under each water gradient was in the order of bract > M-type seed > P-type seed (except for the 50% water gradient). With the increase of water gradient, the germination rate of bur and two heterotypic seeds both increased first and then decreased, the germination rate reached the maximum when the water gradient of bract was 60%, and the water gradient of M-type seeds and P-type seeds was 50%. The germination potential, germination index and vigor index increased first and then decreased, and reached the highest value when the water gradient was 50%–60% of the maximum soil water holding capacity. With the increase of water gradient, the radicle and germ length of bract, M-type and P-type seeds increased at first and then decreased; the germination rate, germination potential, germination index and vigor index of *Cenchrus incertus* under different light intensities were M-type seed > P-type seed > bract. With the increase of light intensity, the germination rate, germination potential, germination index and vigor index showed an upward trend, reaching the highest value under full light, and the length of radicle and germ reached the highest value under full light.

Key words *Cenchrus incertus*; Heteromorphism seed; Germination; Water; Light

少花蒺藜草(*Cenchrus incertus* M.A.Curtis),禾本科蒺藜草属一年生草本植物,原产北美洲的美国和墨西哥、中美洲、欧洲及热带沿海地区,20世纪40年代传入我国^[1-2],现已成为科尔沁沙地危害严重的恶性杂草之一^[3]。少花蒺藜草以种子进行繁殖,种子具异型性,每个刺苞含1~3粒种子,多为2粒,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,另一粒较小、外形似李子的种子称之为P型种子^[4]。

种子萌发是种子植物生活史中实现种群更新和物种延续的关键环节之一^[5],且会受到很多因素如温度、光照、水分、氧气等的影响^[6]。种子异型性是干旱区一年生植物的一种普遍现象,并被认为是许多一年生植物对异质性环境的独特适应方式,在植物生活史对策和生态适应机制方面具有重要的研究价值^[7]。异型种子在萌发过程因环境因素的影响会采取相应的生长策略,以确保在严酷的环境中成功定居与繁衍。有研究发现,盐角草(*Salicornia europaea*)异型种子萌发在受到温度的影响时,A、B型种子采取“机会主义”策略,

而C型种子采取“保守主义”策略^[8];盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)异型种子萌发对光照敏感不同,黑色种子萌发被黑暗所抑制,光条件下萌发更好,而棕色种子对光照不敏感^[9];异子蓬(*Suaeda aralocaspica*)异型种子对盐分的响应采取耐盐与避盐策略,棕色种子没有休眠且有耐高盐能力采取“耐盐”策略,而黑色种子的耐盐能力差采取“避盐”策略^[10];褐色猪毛菜(*Salsola korshinskyi*)C型种子在应对温度与降雨时采取“谨慎”萌发策略^[11]。王坤芳等^[12]认为少花蒺藜草异型种子在相同条件下M型种子发芽率高于P型种子;田迅等^[13]研究发现少花蒺藜草异型种子对温度的感应不同,M型种子萌发可以适应高温,P型种子萌发较低采取“保守主义”策略。水分和光照是种子萌发的必要条件,为了更深入了解少花蒺藜草异型种子对水分和光照的要求,该研究采用培养皿沙培法和水培法,以科尔沁沙地少花蒺藜草两异型种子为研究对象,观察其不同光照与水分下的萌发与生长情况,探究少花蒺藜草异型种子对水分和光照条件的响应策略,了解其在科尔沁沙地的适应和入侵机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况 该试验所用刺苞和砂土取自于通辽市丰田镇(122°02'E、43°03'N),该地区属于中温带半干旱的大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热,降水多集

基金项目 国家自然科学基金项目(31460634)。

作者简介 霍艳利(1996—),女,内蒙古通辽人,硕士研究生,研究方向:草地生态。*通信作者,教授,博士,硕士生导师,从事草地生态方面的研究。

收稿日期 2021-05-30

中在6—8月份,年日照时数3 113 h,是少花蒺藜草的重度入侵区。

1.2 试验设计

1.2.1 水分设置。该试验采集砂土过筛去杂并在105℃下烘干24 h至恒重(土壤田间最大持水量为18.37%)。按照最大持水量设定10个水分浓度梯度,依次为土壤最大持水量的10%~100%,将带刺苞的种子以及去除刺苞的M型种子和P型种子分别在不同水分梯度的培养皿(土壤基质为砂土,Φ=9 cm)中进行萌发试验,将刺苞作为对照,每个培养皿中30个种子,覆土深度为刚好没过种子,试验共计30个处理,每个处理设置6个重复,用喷壶浇水后称重并置于光照培养箱中(SPX-250-GB)培养,每日称重保持持水量相同(减去30粒刺苞重量),观察并记录种子发芽数。以胚根长为种子的长度、胚芽长为种子的1/2长度作为萌发标准,以连续3 d内无新增发芽数视为发芽结束。

1.2.2 光照条件。取30粒种子置于铺有一层滤纸的培养皿中,加入不定量蒸馏水(隔天补足水分),水分没过种子的50%,分别进行全光照(6 000 lx)、50%光照(3 000 lx,1层纱布覆盖)、25%光照(1 500 lx,2层纱布覆盖)、15%光照(900 lx,3层纱布覆盖)处理,(25±1)℃,12 h光照/12 h黑暗,每个处理设6次重复,观察并记录种子发芽数。以连续3 d内无新增发芽数视为发芽结束。

1.3 测定指标 发芽率(GP)、发芽势(GE)、发芽指数(GI)和活力指数(VI)的计算公式如下:

$$GP = \frac{\text{最终发芽种子数}}{\text{种子总数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$GE = \frac{\text{第3天发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$GI = \sum (Gt/Dt) \quad (3)$$

$$VI = S \times GI \quad (4)$$

式中,Dt为萌发天数,Gt为Dt相对应的每天萌发种子数。S为平均胚根长,GI为发芽指数。

胚根长、胚芽长:种子萌发7 d后将根部砂土清洗干净,使用直尺测定胚根和胚芽在舒展状态下的长度,记录数据。根芽比=胚根长/胚芽长。

1.4 数据处理与统计方法 该试验所有数据均用Microsoft Office Excel 2010制作图表,SPSS 19.0数据处理系统分析差异显著性,显著性水平为0.05。

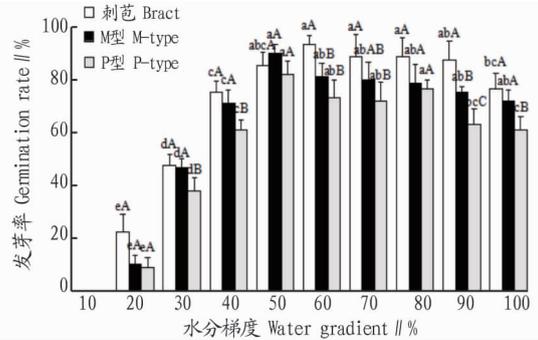
2 结果与分析

2.1 水分梯度对少花蒺藜草种子萌发和胚根、胚芽生长的影响

2.1.1 不同水分梯度下少花蒺藜草种子的发芽率、发芽势。由图1可知,除50%水分梯度外,在同一水分梯度下的发芽率均表现为刺苞>M型种子>P型种子。刺苞与两异型种子的发芽率随着水分梯度的增加均表现为先升高后降低的趋势,且在水分梯度为土壤田间最大持水量的10%时发芽率均为0。当水分梯度为60%时刺苞发芽率最高,为93.33%,显著高于20%、30%、40%、100%水分梯度($P<0.05$),在此梯度下,刺苞与两异型种子差异显著($P<0.05$);M型种子与P型种子在水分梯度为50%时发芽率最高,分别为90.00%和

82.22%,与20%、30%、40%水分梯度具有显著性差异($P<0.05$),在此梯度下,三者差异不显著($P>0.05$)。此后,随着水分梯度的提高发芽率呈下降趋势。

由图2可知,各水分梯度下刺苞、M型种子、P型种子的发芽势均表现为先增加后降低的趋势,在水分梯度为10%时三者发芽势均为0。刺苞和M型种子在水分梯度为60%时发芽势最高,分别为71.11%、70.00%,除与70%水分梯度无显著差异,显著高于其他水分梯度($P<0.05$);在此梯度下,刺苞、M型种子与P型种子差异不显著($P>0.05$);P型种子在水分梯度为50%发芽势最高,为72.22%,在此梯度下,三者差异不显著($P>0.05$)。此后,发芽势随着水分梯度的提高呈下降趋势。

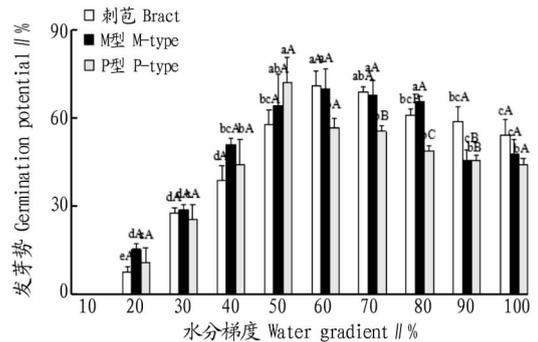


注:不同小写字母表示同一类型种子不同水分梯度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一水分梯度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different water gradients of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same water gradient ($P<0.05$)

图1 不同水分梯度下少花蒺藜草种子的发芽率

Fig.1 Germination rate of *C. incertus* seeds under different water gradients



注:不同小写字母表示同一类型种子不同水分梯度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一水分梯度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different water gradients of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same water gradient ($P<0.05$)

图2 不同水分梯度下少花蒺藜草种子的发芽势

Fig.2 Germination potential of *C. incertus* seeds under different water gradients

芽长最长,为4.07 cm,在水分梯度为20%时胚芽长最短,为1.80 cm,二者差异显著($P<0.05$);M型种子在水分梯度为50%时胚芽长最长,为3.20 cm,在水分梯度为20%时胚芽长最短,为1.37 cm,二者差异显著($P<0.05$);P型种子在水分梯度为50%时胚芽长最长,为2.67 cm,在水分梯度为20%时胚芽长最短,为0.77 cm,二者差异显著($P<0.05$);在水分梯度为50%时,刺苞、M型种子和P型种子胚芽长差异不显著($P>0.05$);在水分梯度为60%时,刺苞与M型种子、P型种子差异显著($P<0.05$),M型种子与P型种子差异不显著($P>0.05$)。

由表2可知,刺苞、M型种子和P型种子的根芽比均在水分梯度为70%达到最大值,且表现出P型种子>M型种子>刺苞。刺苞在70%时根芽比为4.26,显著高于20%、30%、40%水分梯度($P<0.05$);M型种子在70%时根芽比为4.85,与20%、30%、40%、50%、100%水分梯度差异显著($P<0.05$);P型种子在70%时根芽比为5.19,显著高于100%水分梯度($P<0.05$)。

表2 不同水分梯度下少花蒺藜草种子的根芽比

Table 2 Root-shoot ratio of *C. incertus* seeds under different water gradients

水分梯度 Water gradients // %	刺苞 Bract	M型 M-type	P型 P-type
10	—	—	—
20	1.70±0.37 cB	2.59±0.17 bB	4.09±2.88 abA
30	1.62±0.32 cB	2.39±0.21 bB	4.87±0.50 aA
40	1.76±0.62 bcB	3.13±0.50 bAB	3.81±0.25 abA
50	4.13±1.07 aA	2.70±0.08 bA	2.93±0.58 abA
60	3.16±0.80 abcA	4.02±0.61 abA	4.28±0.93 aA
70	4.26±1.03 aA	4.85±1.05 aA	5.19±2.53 aA
80	3.64±0.83 abA	4.37±0.43 abA	3.80±0.91 abA
90	4.33±0.21 aA	3.66±0.68 abA	2.84±1.50 abA
100	3.70±0.27 aA	2.85±0.41 bA	2.46±0.75 bA

注:不同小写字母表示同一类型种子不同水分梯度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一水分梯度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

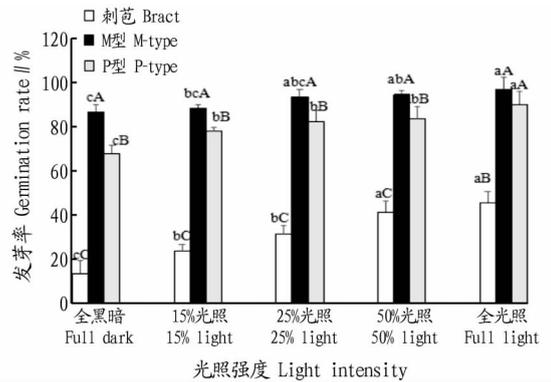
Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different water gradients of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same water gradient ($P<0.05$)

2.2 光照强度对少花蒺藜草种子的萌发和胚根、胚芽生长的影响

2.2.1 不同光照强度下少花蒺藜草种子的发芽率、发芽势

由图5可知,在同一光照强度下的发芽率均表现为M型种子>P型种子>刺苞,刺苞与两异型种子的发芽率随着光照强度的增加表现为上升趋势。刺苞的发芽率在全光照时最高,为45.56%,显著高于25%光照、15%光照和全黑暗($P<0.05$);M型种子的发芽率在全光照时最高,为96.67%,与15%光照和全黑暗差异显著($P<0.05$);P型种子的发芽率在全光照时最高,为90.0%,显著高于15%光照、25%光照、50%光照和全黑暗($P<0.05$);在全光照时,刺苞的发芽率显著低于M型种子和P型种子,M型种子与P型种子差异不显著($P>0.05$)。

由图6可知,在同一光照强度下的发芽势均表现为M型种子>P型种子>刺苞,刺苞与两异型种子的发芽势随着光照



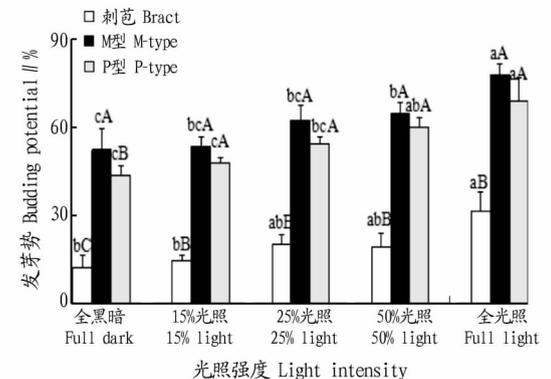
注:不同小写字母表示同一类型种子不同光照强度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一光照强度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different light intensities of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same light intensity ($P<0.05$)

图5 不同光照强度下少花蒺藜草种子的发芽率

Fig.5 Germination rate of *C. incertus* seeds under different light intensities

强度的增加表现为上升趋势。M型种子在全光照时发芽势最高,为77.78%,在全黑暗条件下发芽势最低,为52.22%,具有显著差异($P<0.05$);P型种子在全光照下发芽势最高,为68.89%,在全黑暗条件下发芽势最低,为43.33%,具有显著差异($P<0.05$);刺苞在全光照下发芽势最高,为31.11%,在全黑暗条件下发芽势最低,为12.22%,具有显著差异($P<0.05$);在全光照时,刺苞的发芽势显著低于M型种子和P型种子($P<0.05$),M型种子与P型种子间差异不显著($P>0.05$)。



注:不同小写字母表示同一类型种子不同光照强度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一光照强度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

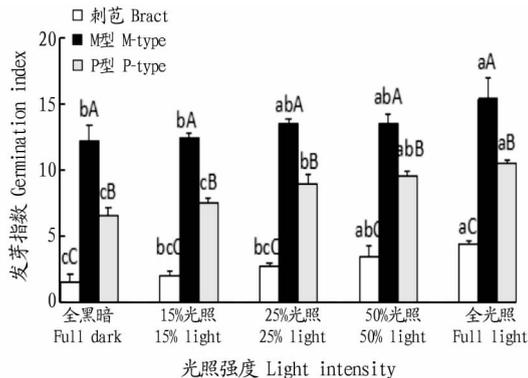
Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different light intensities of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same light intensity ($P<0.05$)

图6 不同光照强度下少花蒺藜草种子的发芽势

Fig.6 Germination potential of *C. incertus* seeds under different light intensities

2.2.2 不同光照强度下少花蒺藜草种子的发芽指数、活力指

数。由图 7 可见,刺苞、M 型种子和 P 型种子的发芽指数均随着光照强度的增加呈现上升趋势。各相同光照强度下,发芽指数表现为 M 型种子>P 型种子>刺苞,三者具有显著差异($P<0.05$);M 型种子的发芽指数在全光照强度下最高,为 15.41,在全黑暗时最低,为 12.27,二者具有显著差异($P<0.05$);P 型种子的发芽指数在全光照强度下最高,为 10.50,在全黑暗时最低,为 6.60,二者具有显著差异($P<0.05$);刺苞的发芽指数在全光照强度下最高,在全黑暗时最低,分别为 4.48、1.53,二者具有显著差异($P<0.05$)。



注:不同小写字母表示同一类型种子不同光照强度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一光照强度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different light intensities of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same light intensity ($P<0.05$)

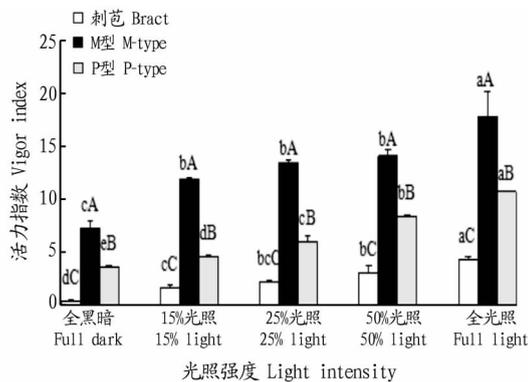
图 7 不同光照强度下少花蒺藜草种子的发芽指数

Fig.7 Germination index of *C. incertus* seeds under different light intensities

由图 8 可知,刺苞、M 型种子和 P 型种子的活力指数均随着光照强度的增加呈现上升趋势。在同一光照强度下时,活力指数表现为 M 型种子>P 型种子>刺苞,三者具有显著差异($P<0.05$);M 型种子的活力指数在全光照强度下最高,为 17.94,在全黑暗时最低,为 7.40,二者具有显著差异($P<0.05$);P 型种子的活力指数在全光照强度下最高,为 10.84,在全黑暗时最低,为 3.73,二者具有显著差异($P<0.05$);刺苞的发芽指数在全光照强度下最高,在全黑暗时最低,分别为 4.51、0.56,二者具有显著差异($P<0.05$)。

2.2.3 不同光照强度下少花蒺藜草种子的胚根长、胚芽长和根芽比。由表 3 可知,刺苞、M 型种子和 P 型种子胚根长整体随光照强度的增加呈逐渐上升趋势。刺苞在全光照时胚根长最长,为 0.99 cm,在全黑暗时胚根长最短,为 0.37 cm,二者差异显著($P<0.05$);M 型种子在全光照胚根长最长,为 1.13 cm,在全黑暗胚根长最短,为 0.60 cm,二者差异显著($P<0.05$);P 型种子在全光照胚根长最长,为 1.03 cm,在全黑暗胚根长最短,为 0.54 cm,二者差异显著($P<0.05$);在全光照时刺苞、M 型种子、P 型种子胚根长差异不显著($P>0.05$)。

由表 3 可知,刺苞、M 型种子、P 型种子胚芽长整体随光照强度的增加呈逐渐上升趋势。刺苞在全光照时胚芽长最



注:不同小写字母表示同一类型种子不同光照强度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一光照强度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different light intensities of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same light intensity ($P<0.05$)

图 8 不同光照强度下少花蒺藜草种子的活力指数

Fig.8 Vigor index of *C. incertus* seeds under different light intensities

长,为 0.82 cm,全黑暗时胚芽长最短,为 0.37 cm,二者差异显著($P<0.05$);M 型种子在全光照时胚芽长最长,为 0.68 cm,在全黑暗时胚芽长最短,为 0.47 cm,二者差异不显著($P>0.05$);P 型种子在全光照时胚芽长最长,为 0.74 cm,在全黑暗时胚芽长最短,为 0.11 cm,二者差异显著($P<0.05$);在全光照时刺苞、M 型种子、P 型种子胚芽长差异不显著($P>0.05$)。

由表 4 可知,M 型种子和刺苞的根芽比分别在全光照、15%光照强度时最大,分别为 1.66、2.20;M 型种子、刺苞的根芽比均在全黑暗时最小,分别为 1.28、1.00,显著小于全黑暗的 P 型种子的根芽比($P<0.05$);P 型种子的根芽比在全黑暗时最大,为 4.91,在 25%光照强度时最小,为 1.13。

3 讨论

种子萌发是某一物种从潜在种群转为现实种群的关键,是植物生长发育过程中的重要阶段,对植物种群的延续具有重要意义^[14-15]。水分是影响少花蒺藜草种子萌发的一个重要因素之一^[16],该试验中少花蒺藜草刺苞与两异型种子在不同水分条件下发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均表现为先升高后降低的趋势,在同一水分梯度下发芽率基本为刺苞>M 型种子>P 型种子。因为同一刺苞内 M 型种子大于 P 型种子,种子大小是影响种子萌发的重要因子,大种子比小种子有较高的萌发能力和幼苗存活率,这与侧柏、黑松种子萌发的结果一致^[17-18]。水分会影响植物根系的生长发育,也有研究表明不同水分梯度下两异型种子的胚根长会产生一定程度的差异,由于水分是沙化草地的主要限制因素,沙化草地上的植物生长状况依赖于根系对土壤水分及养分吸收能力的强弱,在贫瘠的环境条件下,良好的根系构型可以提高植株对资源的利用^[19]。同一水分梯度时胚芽长表现为刺苞>M 型种子>P 型种子。

表3 不同光照强度下少花蒺藜草种子的胚根长、胚芽长

Table 3 Average radicle and germ of *C. incertus* seeds under different light intensities

cm

光照强度 Light intensity	刺苞 Bract		M型 M-type		P型 P-type	
	胚根长 Radicle length	胚芽长 Germ length	胚根长 Radicle length	胚芽长 Germ length	胚根长 Radicle length	胚芽长 Germ length
全黑暗 Full dark	0.37±0.14 bA	0.37±0.15 bA	0.60±0.31 bA	0.47±0.27 aA	0.54±0.10 cA	0.11±0.03 bB
15%光照 15% light	0.88±0.23 aAB	0.40±0.24 aA	0.96±0.35 abA	0.60±0.19 aA	0.62±0.21 bcB	0.54±0.10 aA
25%光照 25% light	0.83±0.17 aA	0.53±0.22 aA	0.98±0.25 abA	0.62±0.21 aA	0.68±0.42 bcA	0.60±0.19 aA
50%光照 50% light	0.90±0.20 aA	0.73±0.37 aA	1.03±0.14 abA	0.64±0.35 aA	0.91±0.30 abA	0.68±0.10 aA
全光照 Full light	0.99±0.47 aA	0.82±0.50 aA	1.13±0.31 aA	0.68±0.42 aA	1.03±0.09 aA	0.74±0.25 aA

注:不同小写字母表示同一类型种子不同光照强度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一光照强度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different light intensities of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same light intensity ($P<0.05$)

表4 不同光照强度下少花蒺藜草种子的根芽比

Table 4 Root-shoot ratio of *C. incertus* seeds under different light intensities

光照强度 Light intensity	刺苞 Bract	M型 M-type	P型 P-type
全黑暗 Full dark	1.00±0.12 aB	1.28±0.27 aB	4.91±0.33 aA
15%光照 15% light	2.20±1.04 aA	1.60±0.88 aA	1.15±0.16 cA
25%光照 25% light	1.57±0.14 aA	1.58±0.27 aA	1.13±0.57 cA
50%光照 50% light	1.23±0.15 aA	1.61±0.43 aA	1.34±0.21 cA
全光照 Full light	1.21±0.52 aA	1.66±0.21 aA	1.39±0.18 bA

注:不同小写字母表示同一类型种子不同光照强度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一光照强度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different light intensities of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same light intensity ($P<0.05$)

水分会影响少花蒺藜草的生长,干旱条件下其表现为存活,而灌溉生境下表现为竞争和繁殖^[20],试验表明当水分梯度在40%~100%时,两异型种子发芽率和发芽势均较高,说明在此条件下M型种子、P型种子能够得到适当的水分以供自身得到良好的发育。不同水分条件对胚根的影响相对较小,说明在少花蒺藜草生长过程中,水分向根的供给较为均衡且除了极为干旱的条件下(土壤含水量占田间最大持水量的10%时),少花蒺藜草两异型种子的胚根都能够得到正常的生长。两异型种子胚芽的生长状态均呈现先升高后下降的趋势,可能的原因为胚根的生长存在最适的水分条件。通过观察,少花蒺藜草在生长过程M型种子首先萌发,在M型种子所萌发的植株可以完成生活史时,P型种子选择休眠以待下一年萌发,这使得少花蒺藜草一年生的植物行使了两年生植物的生长过程,所处环境使其自身得到进化从而增加了生命周期。这也与“植物在长期的环境适应过程中,进化形成了应对恶劣环境的独特机制,例如产生2种或者2种以上类型的种子能够确保至少有一部分后代在剧烈变化的环境中存活”这一结论相一致^[21]。

光照是影响种子萌发的重要环境因子,光照既可促进种子萌发,也可对一些种子的萌发具有抑制作用,植物种子的萌发对光照的响应不同^[22-23]。例如,飞扬草(*Euphorbia hirta*)种子在光照和部分遮阴条件下萌发率高、在黑暗中萌发率较低^[24];可可(*Theobroma cacao*)种子萌发率与是否有光照无关,黑暗处理甚至有利于增加可可种子的发芽势^[15];意大利苍耳(*Xanthium italicum*)种子萌发阶段对光照没有严格需

求,发芽率在全光照和全黑暗条件下均能超过90%以上^[25]。该试验结果表明少花蒺藜草刺苞、M型种子、P型种子在全光照及全黑暗处理下均能发芽,且随着光照强度的增加,发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均呈逐渐上升的趋势,说明光照不是少花蒺藜草种子萌发的必要条件,但是光照强度对少花蒺藜草种子萌发具有促进作用^[26]。在同一处理下,刺苞、M型种子、P型种子发芽率和发芽势的大小顺序为M型种子>P型种子>刺苞,可能的原因为M型种子和P型种子更能直接感应光照强度,进而促进种子的萌发,刺苞上布满了长度4~7 mm的刺,使得其与去除了刺苞的种子的实际水分条件并不相同,前者可能只有少部分能够接触到水,而后者可能2/3以上都是浸没在水中的。这可能是造成刺苞种子萌发率低于M型种子和P型种子的主要原因。该试验中M型种子和P型种子的发芽率在全光照条件与全黑暗条件下均差异较小,而刺苞的发芽率在全光照条件下约为全黑暗条件下的2倍多,可能刺苞的萌发对光的需求更多,这一结果与曲波等^[26]的研究结果一致。从种子萌发到幼苗建立是植物生活史中最为敏感的阶段,有研究指出,中等强度的光照有利于植物幼苗的生长^[27],该研究中刺苞、M型种子和P型种子的胚根长和胚芽长均在全光照条件下最大,而且随着光照的减弱而减小,表现出光照更能促胚根和胚芽的生长,这一结果与闫兴富等^[28]的研究结果一致。

4 结论

少花蒺藜草刺苞、M型种子在水分梯度为50%时、P型种子在水分梯度60%时、光照强度为全光照时刺苞及两异型种子具有更好的萌发特性,科尔沁沙地夏季多日照时数和降水量的特征更适合少花蒺藜草种子的萌发和生长,为少花蒺藜草在科尔沁沙地成功定殖、扩散提供了更好的保障。

参考文献

- [1] 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[J].草原与草坪,2020,40(6):52-57,64.
- [2] 李振宇,解焱.中国外来入侵种[M].北京:中国林业出版社,2002:134-135.
- [3] 孙忠林,淑琴,高凯,等.少花蒺藜草入侵现状、适应机制和防控策略[J].草地学报,2020,28(5):1196-1202.
- [4] 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[J].生态学杂志,2020,39(8):2622-2628.
- [5] 徐亮,李策宏,熊铁一.不同水分条件下水青树种子萌发特性研究[J].种子,2006,25(11):33-35.
- [6] 胡宗英,孙泽威.影响农牧作物种子萌发的因素[J].安徽农业科学,2013,41(32):12537-12538.

(下转第63页)

表 2 NDVI 与降雨量、温度之间偏相关系数占比统计

Table 2 Statistics of the proportion of partial correlation coefficients between NDVI, rainfall and temperature

%

气象因子 Meteorological factors	全省 Whole province		淮阳丘陵农业生态区 Huaiyang Hilly Agricultural Ecological Zone		长江中下游平原农业生态区 Agro-ecological zone in the plains of the middle and lower reaches of the Yangtze River	
	$R \geq 0$	$R < 0$	$R \geq 0$	$R < 0$	$R \geq 0$	$R < 0$
同期降雨量 Rainfall over the same period	39.45	60.55	51.95	48.05	36.90	63.10
前一期降雨量 Rainfall in the previous period	51.37	48.63	46.62	53.38	58.24	41.76
同期温度 Temperature over the same period	65.46	34.54	57.03	42.97	53.61	46.39
前一期温度 Temperature in the previous period	49.38	50.62	35.48	64.52	44.03	55.97
气象因子 Meteorological factors	天目山—怀玉山山地常绿阔叶林生态区 Agro-ecological zone of Tianmu Mountain-Huaiyu Mountain Mountain Evergreen Broad-leaved Forest		华北平原农业生态区 Agro-ecological zone of North China Plain		大别山常绿阔叶林生态区 Ecological Zone of Evergreen Broad-leaved Forest in Dabie Mountains	
	$R \geq 0$	$R < 0$	$R \geq 0$	$R < 0$	$R \geq 0$	$R < 0$
同期降雨量 Rainfall over the same period	37.85	62.15	32.83	67.17	40.95	59.05
前一期降雨量 Rainfall in the previous period	73.17	26.83	27.76	72.24	85.76	14.24
同期温度 Temperature over the same period	92.51	7.49	51.21	48.79	94.25	5.75
前一期温度 Temperature in the previous period	87.49	12.51	30.91	69.09	71.40	28.60

参考文献

- [1] 黄晓云,林德根,王静爱,等.气候变化背景下中国南方喀斯特地区 NPP 时空变化[J].林业科学,2013,49(5):10-16.
- [2] PENG J,LIU Z H,LIU Y H,et al.Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent[J].Ecol Indic,2012,14(1):28-39.
- [3] CHU H S, VENEVSKY S, WU C, et al. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015[J].Sci Total Environ,2019,650(P12):2051-2062.
- [4] GU Z J, DUAN X W, SHI Y D, et al. Spatiotemporal variation in vegetation coverage and its response to climatic factors in the Red River Basin, China [J].Ecol Indic,2018,93:54-64.
- [5] ZHANG Y, ZHANG C B, WANG Z Q, et al. Vegetation dynamics and its driving forces from climate change and human activities in the Three-River Source Region, China from 1982 to 2012 [J].Sci Total Environ,2016,563/564:210-220.
- [6] 王恩鲁,汪小钦,陈芸芝.时间序列植被覆盖度断点检测方法研究[J].地球信息科学学报,2017,19(10):1355-1363.
- [7] 徐雨晴,陆佩玲,于强.气候变化对植物物候影响的研究进展[J].资源科学,2004,26(1):129-136.
- [8] ZHOU L M, TUCKER C J, KAUFMANN R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J].Geophys Res Atmos,2001,106(D17):20069-20083.
- [9] 张宏群,杨元建,苟尚培,等.安徽省植被和地表温度季节变化及空间分布特征[J].应用气象学报,2011,22(2):232-240.
- [10] 邓凯,黄长江,袁慧慧,等.基于 MODIS 的 2007—2017 安徽省植被指数时空变化特征研究[J].黑龙江工程学院学报,2018,32(6):24-27.
- [11] 张蓓蓓,蔡宏,田鹏举,等.2000—2017 年贵州省植被覆盖时空变化特征及其对气候变化的响应[J].地球与环境,2020,48(4):461-470.
- [12] ZHANG X, LIU L Y, WU C S, et al. Development of a global 30 m impervious surface map using multisource and multitemporal remote sensing datasets with the Google Earth Engine platform [J].Earth Syst Sci Data,2020,12(3):1625-1648.
- [13] 王家录,李维杰,王勇,等.2005—2014 年重庆石漠化地区 NDVI 的时空变化及其与气候因子相关性分析[J].水土保持研究,2021,28(2):217-223.
- [14] TUCKER C J, SLAYBACK D A, PINZON J E, et al. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999 [J].Int J Biometeorol,2001,45(4):184-190.
- [15] 史娜娜,全占军,韩煜,等.东北林草交错区植被 NDVI 时空特征及其与气候因子关系分析[J].水土保持研究,2016,23(5):175-182.
- [16] 王凤,孙即霖,吴德星.2011 年春夏长江中下游旱涝急转特征及原因分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2014,44(3):10-16.
- [17] 信忠保,许炳心,郑伟.气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J].中国科学(D 辑:地球科学),2007,37(11):1504-1514.
- [18] LARIOS E, BÚRQUEZ A, BECERRA J X, et al. Natural selection on seed size through the life cycle of a desert annual plant [J].Ecology,2014,95(11):3213-3220.
- [19] 张旭东,王智威,韩清芳,等.玉米早期根系构型及其生理特性对土壤水分的响应[J].生态学报,2016,36(10):2969-2977.
- [20] 张志新,田迅,干旱和灌溉条件下少花蒺藜草分株生物量分配特征[J].草业科学,2011,28(2):185-188.
- [21] UNGAR I A. Population ecology of halophyte seeds [J].Botanical review,1987,53(3):301-334.
- [22] 李发明,刘淑娟,张莹花,等.光照和沙埋对沙生针茅种子萌发与幼苗出土的影响[J].中国农学通报,2013,29(31):47-52.
- [23] 刘有军,纪永福,马全林,等.温度和光照对 3 种一年生植物种子萌发的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(4):810-814.
- [24] 李雪枫,周高羽,王坚.温度、光照和水分对飞扬草种子萌发和幼苗生长的影响[J].草业科学,2017,34(7):1452-1458.
- [25] 何影,马森.入侵植物意大利苍耳种子萌发对环境因子的响应[J].生态学报,2018,38(4):1226-1234.
- [26] 曲波,朱明星,王巍,等.4 种环境因子对少花蒺藜草 (*Cenchrus pauciflorus* Benth.) 种子萌发的影响[J].种子,2011,30(3):28-30,35.
- [27] 闫兴富,曹敏.光照对绒毛番龙眼种子萌发的影响[J].云南植物研究,2008,30(2):183-189.
- [28] 闫兴富,周立彪,李静,等.遮阴对紫荆种子萌发和幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2010,38(4):176-179.

(上接第 56 页)

- [7] KÖNIG D. Beiträge zur Kenntnis der deutschen Salicornien [J]. Mitt Florist-Sozial Arbeitsgem, 1960, 8: 5-58.
- [8] 魏梦浩,黄俊华.艾丁湖盐角草种子异型性及萌发特性[J].草业科学,2015,32(12):2064-2070.
- [9] 卫晓雅,合展,赵瑞华,等.盐地碱蓬二型性种子的萌发和休眠及生态适应特性[J].西北植物学报,2017,37(4):758-766.
- [10] 宋以刚,李利,曾歆花,等.异子蓬二型性种子萌发对盐胁迫的响应[J].草业学报,2014,23(1):192-198.
- [11] 李宽亮,刘彤,李勇冠,等.褐翅猪毛菜种子异型性及其萌发特性研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2012,30(3):276-281.
- [12] 王坤芳,纪明山,李彦,等.少花蒺藜草种子萌发及幼苗生长特性初探[J].江西农业大学学报,2015,37(6):999-1004.
- [13] 田迅,付美玲,周立业,等.ABA 和温度对少花蒺藜草异型性种子萌发的影响[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2018,33(4):339-342.
- [14] 曹玲玲,甘小洪,何松.不同种源及基质对水青树种子萌发及幼苗初期生长的影响[J].广西植物,2012,32(5):656-662.
- [15] 吕彤,樊玉坤,兰芹英,等.不同温度、水分和光照条件对可可种子萌发的影响[J].普洱学院学报,2019,35(6):7-10.
- [16] 雷强,郑根昌,石立媛,等. NaCl 和 PEG 胁迫对少花蒺藜草种子萌发的影响[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2016,31(6):492-496.
- [17] 付锦雪,张晨星,王晓霞,等.水分胁迫和种子大小对侧柏种子萌发的影响[J].种子,2020,39(2):50-57.