

# 柠条锦鸡儿种子生产和活力对模拟降雨量改变的响应

陈丽茹<sup>1</sup>,李秧秧<sup>2\*</sup>

(1.西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100;2.西北农林科技大学 水土保持研究所,陕西 杨陵 712100)

**摘要:**利用降雨操纵试验(自然降雨、降雨增加45%和减少50%),研究了在降雨量改变第3年柠条锦鸡儿种子生产和活力对模拟降雨量改变的响应。结果表明,柠条锦鸡儿生长对增水和干旱均有显著响应;柠条锦鸡儿开花结荚和种子性状对增水无显著响应,但增水处理的单位枝长结荚数和结荚率、单位枝长种子数量、单粒种子重量及种子活力显著高于干旱处理。干旱显著降低了单位枝长种子数量、产量和种子活力(种子萌发后出苗率、株高和幼苗含氮量显著降低),表明干旱对种子生产的影响大于增水处理,提示生产上应尽可能用正常降雨年份的种子进行幼苗培育。

**关键词:**柠条锦鸡儿;种子生产;种子活力;降雨改变

中图分类号:S718.45

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2018)06-0020-06

## Responses of Seed Production and Vigor in *Caragana korshinskii* to Simulated Precipitation Variation

CHEN Li-ru<sup>1</sup>, LI Yang-yang<sup>2\*</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Using precipitation manipulation experiments (natural precipitation, +45% by irrigation and -50% by water removal), the responses of seed production and vigor in *Caragana korshinskii* to precipitation variation were studied during the third year of the experiment. The results indicated that the growth of *C. korshinskii* had obvious responses to both irrigation and drought. The flowering, pod-setting and seed traits showed no responses to irrigation, but the irrigated treatment had more pods per branch length and pod-setting ratio, seeds per branch length, single-seed weight and seed vigor than those of dry treatment. Meanwhile, drought significantly decreased seed quantity, production and vigor (manifested by lower germination, seedling height and plant N content during the germination experiment), indicating the effects of drought on seed production was more serious than irrigation. These results suggested that the seeds produced under normal precipitation year should be used in seedling cultivation.

**Key words:** *Caragana korshinskii*; seed production; seed vigor; precipitation variation

种子生产是种子植物生活史的一个重要阶段,受植物本身遗传因素和环境因子的综合影响。水分亏缺是制约黄土高原植物生长和繁殖的主要因素,水分胁迫如何影响该地区植物生长已有较多研究,但对种子繁殖生产的影响仍较少关注。在大的气候梯度上,草本植物种子产量、质量和活力随干旱程度

增加而下降<sup>[1-4]</sup>,也有研究认为两个干旱程度相似环境中草本植物种群的种子生产有很大的不同<sup>[5]</sup>,或干旱梯度上灌木及南苜蓿(*Medicago polymorpha*)种子或结荚性状无明显不同<sup>[6-7]</sup>,或降雨对种子生产的影响要小于其他因子<sup>[8-9]</sup>。在大的气候梯度上的研究由于受其他气象因素和土壤、植被性质等的综

收稿日期:2017-11-29 修回日期:2018-04-11

基金项目:国家自然科学基金(41371507)。

作者简介:陈丽茹,女,硕士,研究方向:树木水分生理生态。E-mail:493705238@qq.com

\*通信作者:李秧秧,女,研究员,研究方向:植物生理生态。E-mail:yyli@ms.iswc.ac.cn

合影响,很难确定是由于降水或土壤水分条件的唯一影响,模拟降雨量改变试验则提供了研究植物各种生理生态过程对土壤水分响应的良好平台。

关于模拟降雨量改变试验对种子生产和活力的影响仅有少量零星的研究,如增水提高了菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)种子产量,但对种子质量和萌发率无影响<sup>[10]</sup>;在克氏针茅(*Stipa krylovii*)上发现增水对每公顷的种子产量并未产生影响,但降低了种子活性<sup>[11]</sup>;连续3 a的增水或施肥显著增加了一种沙漠灌木成熟黑肉叶刺茎藜(*Sarcobatus vermiculatus*)植株单株的种子数和种子质量<sup>[12]</sup>;长期遮雨增加了地中海马基群落(*macchia*)生态系统植物开花数<sup>[13]</sup>,这些研究中降雨量改变对种子产量、质量和活力的影响并不相同,原因可能与植物生物学特性和土壤水分胁迫程度等有关。柠条锦鸡儿(下文简称柠条)是黄土高原水蚀风蚀交错带广泛分布的主要优势灌木,目前对柠条种子性状和萌发特性有一定研究<sup>[14-17]</sup>,但主要关注种子对萌发过程中环境因子的响应,较少涉及母体环境对种子生产的影响。为此,本研究采用模拟降雨量改变试验,研究了降雨改变对柠条种子生产的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

研究区位于山西省神木县六道沟小流域,试验区概况已在艾绍水<sup>[18]</sup>等(2017)研究、陈丽茹和李秧秧<sup>[19]</sup>(2018)研究中报道过。试验用柠条林的栽植年限为30 a左右,密度为2 100株/hm<sup>2</sup>。本试验共设3个水分处理,分别是对照(CK)、增水(Irrigation)和干旱(Dry),其中每个处理分别设有3个重复,每个重复的小区面积为50 m<sup>2</sup>,各小区随机排列;干旱处理在冠层上方1.5 m高处搭建遮雨棚进行遮雨,遮雨面积占小区面积的50%;增水处理比对照水分增加45%,每次降雨后(<5 mm的次降雨除外)将遮雨处理汇集的雨水全部补灌到增水处理小区,其中对照水分输入量为当地自然降雨,其中详细设计已在艾绍水<sup>[18]</sup>等(2017)研究、陈丽茹和李秧秧<sup>[19]</sup>(2018)研究中报道过。每个小区的土壤含水量采用中子管测定。本试验种子生产相关性状的观测在降水量改变的第3年(2016年)4—8月进行观测。

### 1.2 测定项目及方法

1.2.1 种子性状 每个小区随机选取5丛柠条,每丛选取5个从根茎结合部萌发的2年生枝条进行标记。2016年4月中旬调查每个分枝的开花数,并测量分枝的长度,然后每个分枝安装尼龙网袋,并在枝条下端用绳子绑住,以防止种子掉落。6月初记录

每个枝条上的豆荚数,8月中旬豆荚成熟,种子进出,此时收集每个尼龙网袋中的豆荚和种子,每袋随机抽取20荚,利用游标卡尺测量每个豆荚的长和宽,记录每袋中种子的数量和重量。每袋中随机取150~200粒种子,利用排水法测定种子体积。种子成熟前测量柠条冠幅、株高、分枝数以及当年生枝条长度。

1.2.2 种子活力 利用萌发试验来评价种子活力<sup>[20]</sup>。萌发试验于2016年8月20日至9月24日进行。每丛选取90粒种子,分为3组,每组30粒种子,种植于装有风沙土的花盆(直径15 cm,高度20 cm)中,播种深度为2 cm。播前充分灌水,多余水分从盆底漏出,萌发过程在自然条件下进行,并视天气情况补充水分。1个月后记录每盆种子萌发的幼苗数量,并利用直尺测量幼苗地上部分的高度,然后将获得的幼苗地上部分收获用烘箱105℃下杀青30 min,75℃烘至恒重,称其干重;烘干后的幼苗粉碎过0.25 mm的筛子,用硫酸-双氧水消煮,采用全自动凯氏定氮仪测定幼苗地上部分氮含量。

### 1.3 统计分析

土壤水分、植株生长及种子性状均用平均值±标准误差表示。用单因素方差分析进行处理间土壤水分、植株生长及种子性状的显著性检验,若方差分析达到显著后,用LSD法进行多重比较。所有统计分析均用SPSS16.0软件进行。

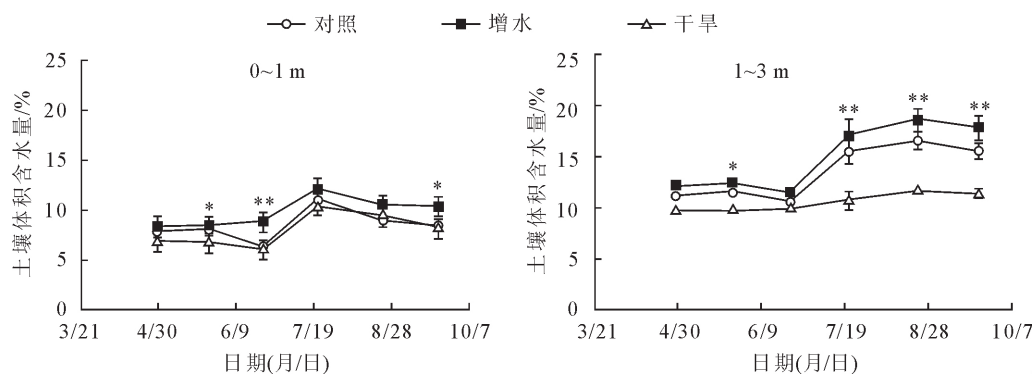
## 2 结果与分析

### 2.1 降水改变下柠条林地的土壤水分及其生长状况

2016年全年降水量为704.3 mm,相比多年平均降水量422.7 mm(1957—2011年)增加281.6 mm,亦高于2014年和2015年的全年降水量(分别为439.2 mm和388.4 mm)。柠条种子开花到成熟期间(4—8月)降雨量为509.8 mm,亦高于同时段多年平均值314.7 mm(1957—2011年),表明2016年是降水量相对充足的一年。2 a多的模拟降雨量改变导致土壤水分呈现明显的差异,在6次土壤含水量测定中,处理间0~1 m土壤含水量有3次达到显著差异,1~3 m土壤含水量有4次达到显著差异。在那些处理间达到显著差异的测定日期内,增水处理0~1 m的土壤体积含水量要高于对照和干旱处理,而后两者差异不大;干旱处理1~3 m土层的土壤体积含水量显著低于增水处理和对照,但增水处理和对照差异不大(图1)。0~3 m土层平均而言,对照、增水和干旱处理在种子生产的4—8月土壤平均体积含水量分别为10.84%、12.03%和9.17%。

柠条不同处理间冠幅、株高和当年生枝长均达到显著,而分枝数无显著差异。柠条增水处理的冠幅和当年生枝长显著大于对照,但株高与对照相比

无显著差异;干旱处理的冠幅和株高与对照相比并无显著差异,但当年生枝长显著降低。柠条生长对增水和干旱均存在一定的响应(表 1)。



注: \* 表示处理间差异显著, \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。

图 1 不同处理 0~1 m 和 1~3 m 土层的土壤体积含水量

Fig. 1 Soil volumetric water content (SVWC) within 0~1 m and 1~3 m soil layers among three different treatments

表 1 不同处理柠条样地植株生长状况

Table 1 Growth status of *C. korshinskii* under different treatments

处理	冠幅 /m	株高 /m	当年 生枝长/m	分枝数 /丛
对照	2.55 ± 0.24b	1.64 ± 0.08ab	0.17 ± 0.01b	19.67 ± 2.04
增水	3.16 ± 0.20a	1.79 ± 0.01a	0.23 ± 0.01a	21.50 ± 2.93
干旱	2.41 ± 0.19b	1.50 ± 0.09b	0.13 ± 0.01c	18.67 ± 1.71

注:不同小写字母表示处理间差异显著,  $P < 0.05$ 。下同。

## 2.2 降水改变下柠条的开花结实特性

不同处理间柠条单位枝长上开花数、单荚平均荚长和荚宽无显著差异,但单位枝长上结荚数和结荚率存在显著差异。与对照相比,增水和干旱处理单位枝长上结荚数和结实率并未达到显著水平,但干旱处理单位枝长上结荚数和结实率显著低于增水处理(图 2)。

柠条不同处理间单位枝长种子数量、种子产量和单粒种子重量及体积存在显著差异。增水处理的单位枝长种子数量和重量、单粒种子重量和体积与对照相比均无显著差异,但均显著高于干旱处理;和对照相比,干旱显著降低了柠条单位枝长的种子重量,而对单位枝长种子数量和单粒种子重量及体积则无显著影响(图 2)。

## 2.3 降水改变下柠条的种子活力

不同处理间柠条种子出苗率、幼苗高和幼苗含氮量存在显著差异,而柠条地上部分生物量在不同处理之间无显著差异。干旱显著降低了柠条的出苗率、幼苗高和幼苗氮含量,而增水处理与对照相比无显著差异(图 3)。

## 3 结论与讨论

模拟降雨量改变导致不同处理土壤含水量出现明显的差异,增水处理 0~1 m 的土壤体积含水量

要高于对照和干旱处理,而后两者差异不大。这种差异主要发生在旱季和生长季末,表明因旱季和生长季末降雨量小,对照和干旱处理间 0~1 m 土壤含水量间差异减小。2016 年是降雨较多的一年,且降雨主要发生在雨季,尽管风沙土有高的入渗能力,但干旱处理由于土壤含水量较低,降雨后水分并未下渗到 1 m 以下,而增水和对照处理降雨后,可能有部分水分入渗到深层,从而导致 1~3 m 土层增水处理和对照的高,而干旱处理 1~3 m 土壤含水量显著降低。增水处理和对照的 1~3 m 土层土壤含水量差异不显著,可能与增水处理柠条有高的耗水特性有关。

模拟降雨量改变影响柠条的生长,增水处理显著增大了柠条的冠幅和当年生枝长,干旱显著降低了柠条的当年生枝长,柠条生长对增水和干旱均有显著响应。和对照相比,株高对降雨改变的响应未达到显著水平,原因可能与柠条的生物学特性有关。

与生长性状相比,柠条开花结实和种子特性对增水无明显响应,但对干旱响应显著。干旱并未影响单位枝长开花数,但导致单位枝长结荚数和结荚率显著降低,原因与干旱导致的低土壤含水量使光合速率降低,光合产物的积累受到影响,从而直接影响花芽的分化进程,以致形成大量的不完全花<sup>[21-22]</sup>,从而降低了花朵的授粉质量,导致结荚率下降。干旱导致单位枝长种子数量和产量及单粒种子重量显著降低。资源有限条件下植物通过改变它们所产生的种子数量大小或质量来改变生殖策略<sup>[23-24]</sup>,能量充沛的植物能够产生大量高质量的种子<sup>[25-26]</sup>,本研究中干旱处理导致种子数量和重量显著降低,可能与干旱处理碳水化合物贮存少,给种子的转运少有

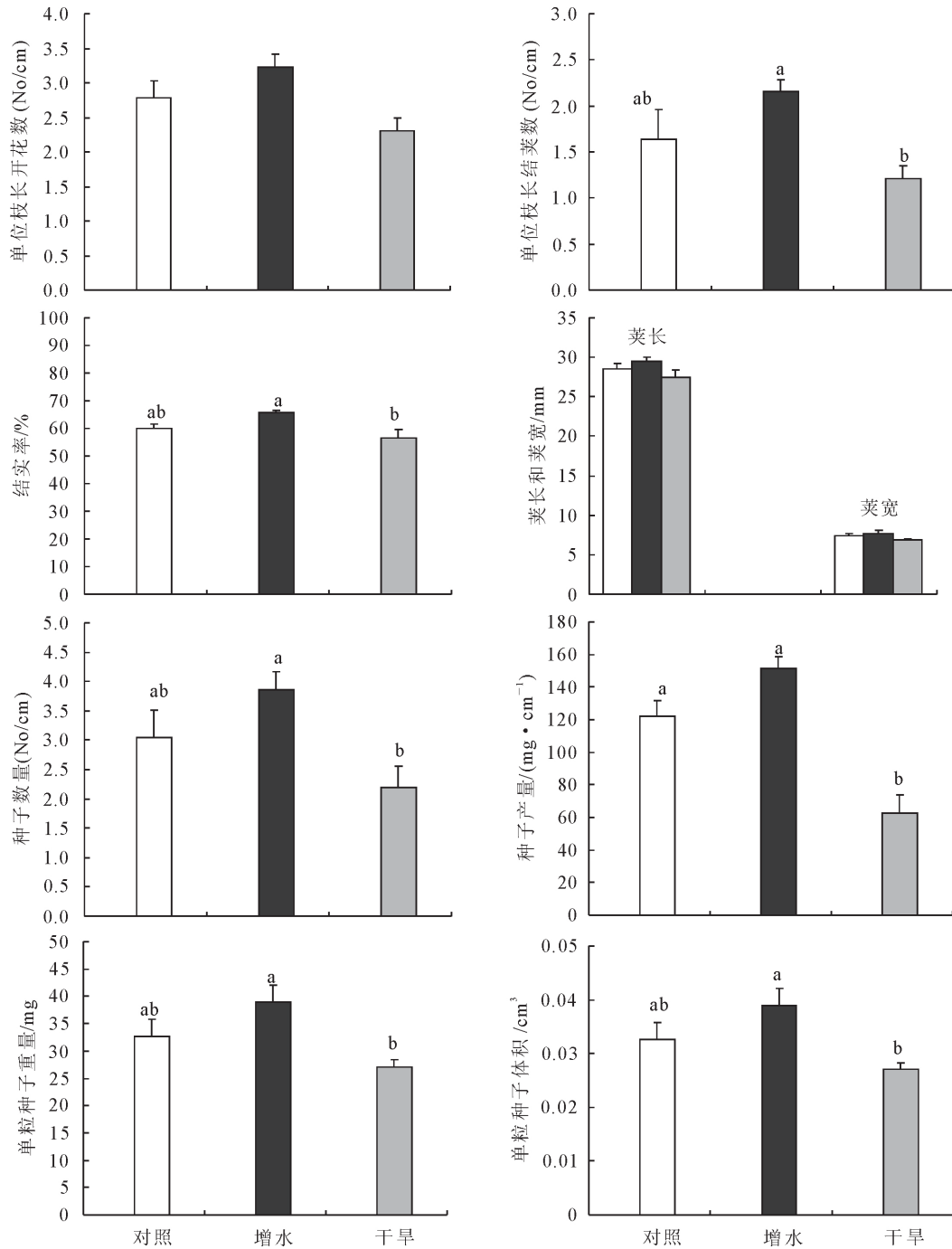


图 2 不同处理间柠条开花结实特性

Fig. 2 Flowering and seed-setting characteristics of *C. korshinskii* under different treatments

关。种子萌发试验表明干旱显著降低种子发芽率、幼苗高和幼苗含氮量,说明干旱降低了种子质量和活力。D. A. Roach<sup>[27-28]</sup>等(1987)研究发现,母体环境如降雨量和营养物质水平在本质上可以影响着种子大小和随后幼苗生长的成功与否。因此,种子大小很可能对幼苗的早期建成具有重要的影响。

本研究中,尽管和对照相比,增水处理对柠条开花结实和种子性状影响不大,但增水处理的单位枝长结荚数和结荚率、单位枝长种子数量和重量、单粒种子质量显著高于干旱处理,萌发试验增水处理的

种子出苗率、幼苗高和幼苗含氮量亦显著高于干旱处理,表明在小的降雨改变梯度上(增水与对照处理间设计年降雨量相差约 200 mm,但试验年份二者实际相差 317 mm),降雨对种子性状影响不大,而在大的降雨梯度上(增水处理和干旱处理设计年降雨量相差约 400 mm,在试验年份二者实际相差 669 mm),降雨对种子性状有显著影响,这可能是前人研究中降水改变对种子生产影响不一致<sup>[8-9]</sup>的重要原因。由于干旱处理种子的产量、质量和活力显著下降,因而建议在生产上采用年降雨量400 mm以

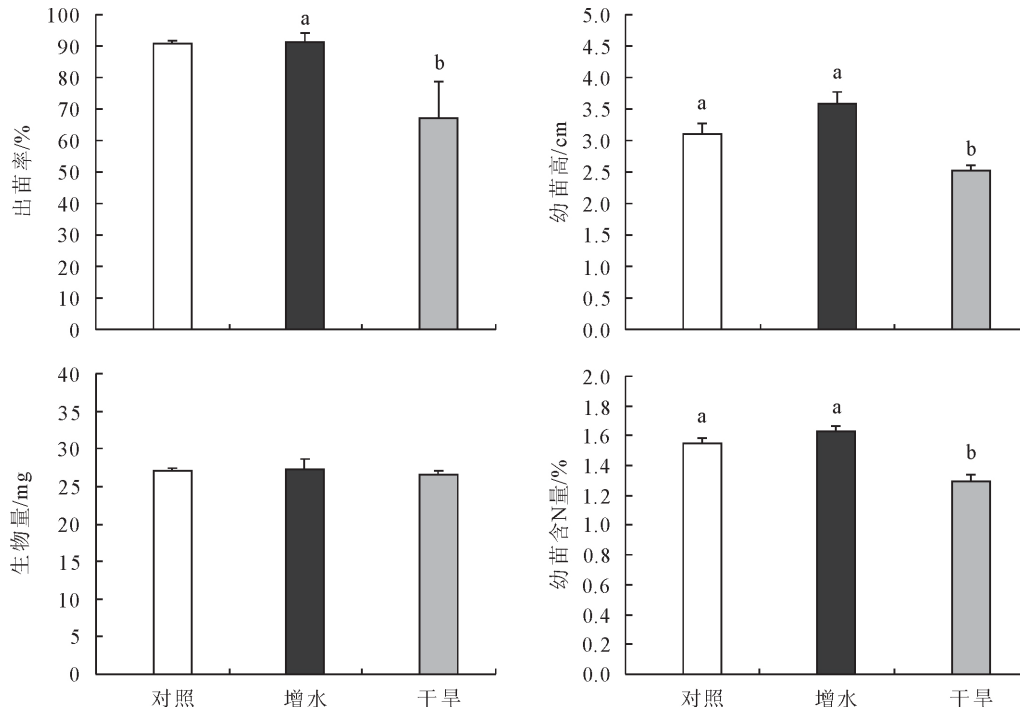


图3 不同处理柠条种子活力

Fig. 3 Seed vigor of *C. korshinskii* under different treatments

上区域的柠条种子进行播种或育苗。

干旱导致柠条种子数量和质量下降,是否会影响未来气候变化背景下柠条林的更新?成熟柠条以根际萌发的枝条为主要更新方式,在天然固定沙地上有少量更新幼苗<sup>[29]</sup>。植物采取何种方式更新与系统的历史、物种的组成、干扰程度、立地条件、恢复时间有关<sup>[30-31]</sup>,柠条高的萌蘖能力及干旱后种子数量和质量下降可能促使柠条主要依赖再萌蘖进行更新,因而长期干旱对天然柠条林的更新可能影响并不大。

本研究结果是在降雨改变第3年进行的,该年度年均降水量和种子生产期降水量均较多年平均值高,可能造成增水处理和对照间开花结实和种子特性差异减小,导致柠条开花结实和种子特性对增水无明显响应。同时,亦可能导致干旱与对照处理间差异减小,但即使如此,在本研究中亦发现干旱对柠条种子生产和活力有严重影响,说明连续2 a 多的干旱严重影响了柠条植株的生长和种子繁殖。

#### 参考文献:

- [1] ROMO L, CAMPOS, FLORES J L, *et al.* Seed germination of *Opuntia* species from an aridity gradient in central Mexico [J]. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 2010, 12(2): 181-198.
- [2] HAREL D, HOLZAPFEL C, STERNBERG M. Seed mass and dormancy of annual plant populations and communities decreases with aridity and rainfall predictability [J]. Basic and Applied Ecology, 2011, 12(8): 674-684.

plied Ecology, 2011, 12(8): 674-684.

- [3] MAY F, GILADI I, RISTOW M, *et al.* Plant functional traits and community assembly along interacting gradients of productivity and fragmentation [J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2013, 15(6): 304-318.
- [4] VOLIS S, MENDLINGER S, WARD D. Demography and role of the seed bank in Mediterranean and desert populations of wild barley [J]. Basic and Applied Ecology, 2004, 5(1): 53-64.
- [5] LEBRIJA-TREJOS E, LOBATO M C C, STERNBERG M. Reproductive traits and seed dynamics at two environmentally contrasting annual plant communities: from fieldwork to theoretical expectations [J]. Israel Journal of Ecology and Evolution, 2011, 57(1-2): 73-90.
- [6] BAKER H G. Seed weight in relation to environmental conditions in California [J]. Ecology, 1972, 53: 997-1009.
- [7] PARDES M, BECERRA V, ROJO C, *et al.* Ecotypic differentiation in *Medicago polymorpha* L. along an environmental gradient in central Chile. I. Phenology, biomass production and reproductive patterns [J]. Plant Ecology, 2002, 159(2): 119-130.
- [8] MOLES A T, WESTOBY M. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature [J]. Journal of Ecology, 2004, 92(3): 372-383.
- [9] VALENCIA-DIAZ S, MONTANA C. Temporal variability in the maternal environment and its effect on seed size and seed quality in *Flourensia cernua* DC (Asteraceae) [J]. Journal of Arid Environment, 2005, 63: 686-695.
- [10] LI Y, YANG H, XIA J, *et al.* Effects of increased nitrogen deposition and precipitation on seed and seedling production of *Potentilla tanacetifolia* in a temperate steppe ecosystem [J]. PLoS One, 2011, 6(12): e28601.
- [11] RONNENBERG K, HENSEN I, WESCHE K. Contrasting

- effects of precipitation and fertilization on seed viability and production of *Stipa krylovii* in Mongolia [J]. Basic and Applied Ecology, 2011, 12: 141-151.
- [12] BREEN A N, RICHARDS J H. Irrigation and fertilization effects on seed number, size, germination and seedling growth: implications for desert shrub establishment [J]. Oecologia, 2008, 157(1): 13-19.
- [13] RIPULLONE F, BORGHETTI M, RADDI S, et al. Physiological and structural changes in response to altered precipitation regimes in a mediterranean macchia ecosystem [J]. Trees, 2009, 23(4): 823-834.
- [14] 孙景宽, 张文辉, 张洁明, 等. 种子萌发期4种植物对干旱胁迫的响应及其抗旱性评价研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(9): 1811-1818.
- SUN J K, ZHANG W H, ZHANG J M, et al. Response to drought stresses and drought-resistances evaluation of four species during seed germination [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(9): 1811-1818. (in Chinese)
- [15] 曾彦军, 王彦荣, 萨仁, 等. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 953-956.
- ZENG Y J, WANG Y R, SA R, et al. Response of seed germination of three xeromorphic shrubs to drought stress [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(8): 953-956. (in Chinese)
- [16] 郑明清, 郑元润, 姜联合, 毛乌素沙地4种沙生植物种子萌发及出苗对沙埋及单次供水的响应[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2474-2484.
- ZHENG M Q, ZHENG Y R, JIANG L H. Effects of one-time water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of four popular psammophyte in Mu Us sandy land [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2474-2484. (in Chinese)
- [17] 聂春雷, 郑元润. 鄂尔多斯高原4种主要沙生植物种子萌发与出苗对水分和沙埋的响应[J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 32-41.
- NIE C L, ZHENG Y R. Effects of water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of four dominant psammophytes in the Ordos Plateau [J]. Acta Phytocologia Sinica, 2005, 29(1): 32-41. (in Chinese)
- [18] 艾绍水, 李秧秧, 陈丽茹. 沙柳和柠条灌丛分枝生长对模拟降雨改变的响应[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(3): 90-98.
- AI S S, LI Y Y, CHEN L R. Responses of the shoot growth in *Salix psammophila* and *Caragana korshinskii* to manipulated precipitation variation [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2017, 15(3): 90-98. (in Chinese)
- [19] 陈丽茹, 李秧秧. 沙柳和柠条茎水力学特性对模拟降雨改变的响应[J]. 应用生态学报, 2018, 29(2): 507-514.
- CHEN L R, LI Y Y. Responses of stem hydraulic traits in *Salix psammophila* and *Caragana korshinskii* to manipulated precipitation variation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(2): 507-514. (in Chinese)
- [20] BREEN A N, RICHARDS J H. Irrigation and fertilization effects on seed number, size, germination and seedling growth: implications for desert shrub establishment [J]. Oecologia, 2008, 157(1): 13-19.
- [21] 罗于洋, 王树森, 金花. 内蒙古西部干旱地区柠条开花结实特性及其果荚、种子发育研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(2): 169-174.
- LUO Y Y, WANG S S, JIN H. Study on blooming and seed setting characteristics in fruit and seed growth of *Caragana* in arid areas of Inner Mongolia [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(2): 169-174. (in Chinese)
- [22] 李彦瑾, 赵忠, 孙德祥, 等. 干旱胁迫下柠条锦鸡儿的水分生理特征[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(2): 1-4.
- LI Y J, ZHAO Z, SUN D X, et al. Hydrological physiological characteristics of *Caragana korshinskii* under water stress [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(2): 1-4. (in Chinese)
- [23] JANZEN D H. Variation in seed size within a crop of a Costa Rican *Mucana andreana* (Leguminosae) [J]. American Journal of Botany, 1977, 64(1): 347-349.
- [24] 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.
- [25] HOU J Q, ROMO J T. Seed weight and germination time affect growth of 2 shrubs [J]. Journal of Range Management, 1998, 51(6): 699-703.
- [26] DRENOVSKY R E, RICHARDS J H. Nitrogen addition increases fecundity in the desert shrub *Sarcobatus vermiculatus* [J]. Oecologia, 2005, 143: 349-356.
- [27] ROACH D A, WULFF R D. Maternal effects in plants [J]. Annual Review of Ecology Evolution and Systematic, 1987, 18(1): 209-235.
- [28] 孙黎黎, 张文辉, 何景峰, 等. 黄土高原丘陵沟壑区不同生境条件下柠条人工种群无性繁殖与更新研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 1-6.
- SUN L L, ZHANG W H, HE J F, et al. A sexual reproduction and regeneration of artificial *Caragana korshinskii* population in different habitats in hilly area of the Loess Plateau [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(1): 1-6. (in Chinese)
- [29] 王刚, 梁学功, 冯波. 沙漠植物的更新生态位. I. 油蒿、柠条和花棒的种子萌发条件的研究 [J]. 西北植物学报, 1995, 15(5): 102-105.
- WANG G, LIANG X G, FENG B. The regeneration niches of sand desert plants I. the studies of seed germination *Artemisia ordosica*, *Caragana korshinskii*, *Hedysarum scoparium* [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1995, 15(5): 102-105. (in Chinese)
- [30] BOND W J, MIDGLEY J J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2001, 16: 45-51.
- [31] BARSOU M. Relative contributions of sexual and asexual regeneration strategies in *Populus nigra* and *Salix alba* during the first years of establishment on a braided gravel bed river [J]. Evolutionary Ecology, 2002, 15: 255-279.