

塔里木盆地特有植物心叶水柏枝濒危原因调查

刘艳萍, 刘涛阳, 朱中原

(塔里木大学生命科学学院/新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

摘要 [目的]通过调查塔里木盆地特有植物心叶水柏枝濒危的原因,为心叶水柏枝的保育提供理论依据,并制定相应的保护措施。[方法]野外采样调查心叶水柏枝的生存环境与生态习性,通过不同的光照、温度、PEG 干旱胁迫、NaCl 胁迫确定种子萌发特性。[结果]心叶水柏枝种群数量小,片段化分布严重,脆弱的结构很难达到动态平衡,自我调节能力较差,不利于该区植被的恢复;果实可育率较低,仅有 28.6%;心叶水柏枝种子萌发率在 14 h 黑暗/10 h 光照下最高;温度为 25 ℃、PEG 浓度 10% 和 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,心叶水柏枝种子发芽率均较高。[结论]心叶水柏枝群落中物种相对单一,群落结构简单,自然条件恶劣,果实可育率低及人为干扰较多是其日趋濒危的主要原因,今后应该加强对心叶水柏枝分布区的保护,减少人为干扰,从而达到对其种质资源进行保护的日的。

关键词 心叶水柏枝;果实可育率;种子萌发;濒危原因

中图分类号 Q 948 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)16-0112-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.16.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Investigation on the Endangered Causes of Endangered Plant *Myricaria pulcherrima* in Tarim Basin

LIU Yan-ping, LIU Tao-yang, ZHU Zhong-yuan (College of Life Science, Tarim University/Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization in Tarim Basin of Xinjiang Production and Construction Corps, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract [Objective] In order to provide a theoretical basis for the conservation of *Myricaria pulcherrima* and formulating corresponding protection measures, we investigated the reasons for the endangered plant *M. pulcherrima* in Tarim Basin. [Method] Field sampling was conducted to investigate the living environment and ecological habits of *M. pulcherrima*. The seed germination characteristics were determined by different light, temperature, PEG drought stress and NaCl stress. [Result] The population of *M. pulcherrima* was small, the fragmentation distribution was serious, the fragile structure was difficult to reach the dynamic equilibrium, the self-regulation ability was poor, and it was unfavorable to the restoration of vegetation in this area. The fertility rate of fruit was only 28.6%. When the temperature was 25 ℃, the concentration of PEG was 10% and the concentration of NaCl was 50 mmol/L, the germination rate of seeds was higher. [Conclusion] The main reasons for the endangerment of *M. pulcherrima* are its relatively single species, simple community structure, poor natural conditions, low fruit fertility rate and more human disturbance. In the future, we should strengthen the protection of *M. pulcherrima* distribution area and reduce the human disturbance, so as to protect its germplasm resources.

Key words *Myricaria pulcherrima*; Fertility rate of fruit; Seed germination; Endangered causes

心叶水柏枝 (*Myricaria pulcherrima*) 属于柽柳科水柏枝属,是国家保护的特种^[1-2],同时也是塔里木盆地特有种植物的代表,第三纪的残遗种^[1],主要生长在干旱荒漠地带的河岸带,常构成单优群落。由于外界干扰,种群数量与种群密度都较少,该物种已处于濒危状态^[3]。王勇等^[3]对我国 10 个省市,35 个水柏枝属的植物类群进行了实地调查,研究了我国水柏属植物的地理分布、濒危现状及保护对策,但对心叶水柏枝的研究还比较少。该研究从心叶水柏枝群落结构、生物学特性等方面进行调查,同时研究在不同条件下种子的萌发特性,初步确定其濒危原因并提出保护策略。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于塔里木河流域,地理位置为 81°17'42"E、40°32'02"N; 81°17'12"E、40°32'01"N; 81°16'45"E、40°31'59"N; 属暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,年均温 10.7 ℃,年均降水量 50.4 mm,年均蒸发量 1 880.0 mm。该区植被组成简单,土壤类型为胡杨林土(吐咯依土)^[4]。

1.2 种群调查 2018 年 5—10 月在研究区域内设置面积为 200 m×200 m 的样地 3 个,以心叶水柏枝作为研究对象,每个样地再设置样方,灌木调查采用 5 m×5 m 的样方,草地调查

采用 1 m×1 m 的样方,每个样地均设置 10 个重复,记录各物种的名称、高度、盖度、多度、频度。多度:采用直接点法^[5];盖度:目测估计其投影盖度;高度:量取植物的自然高度;频度:计算包含该物种呈现的样方在所选取样方所占的比例。同时记录心叶水柏枝的果实数、可育果实数。

1.3 种子的采集和处理 于 2018 年 9—10 月采集成熟的种子,带回实验室置于通风处,自然风干,用细筛将种子筛出,在 4 ℃冰箱中保存备用。

1.4 种子萌发条件的筛选 种子萌发在新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室进行。每组设置 3 个重复,将 30 粒种子置于铺有湿润滤纸的培养皿中,再将培养皿放在人工气候培养箱中培养,相对湿度为 50%,每 24 h 观察一次,胚根突破种皮而外露视为种子萌发^[6],再观察 2 d 后结果没有新种子萌发时,一轮试验结束。

设计不同温度、光照、盐分胁迫、干旱胁迫下的萌发率试验。温度试验中,设置 24 h 黑暗,温度依次为 5、10、15、20、25、30 ℃,25/15 ℃,25/10 ℃ 和 30/10 ℃ (14/10 h)^[7],记为 W1~W9。光照试验中,将温度设置为恒定的 25 ℃,光照处理为 24 h 黑暗,24 h 光照,14 h 黑暗/10 h 光照,光照强度为 3 000 lx。PEG 模拟干旱胁迫时,温度设置为(20±1) ℃,12 h 的黑暗光照替换,干旱胁迫采用聚乙二醇 6000 (PEG-6000),将 PEG-6000 溶于沸腾的蒸馏水中,将其配制浓度分别为 0、10%、20%、22%、24%、26%、28%、30%、32% 的溶液模拟干

基金项目 国家自然科学基金项目“超干处理对塔里木盆地四种珍稀濒危植物种子活力影响机理的研究”(31160069)。

作者简介 刘艳萍(1977—),女,黑龙江庆安人,副教授,硕士,从事植物种质保存研究。

收稿日期 2019-12-28;修回日期 2020-02-10

旱胁迫^[8],记为 P1~P9。

NaCl 胁迫试验在 24 h 黑暗、25 °C 下进行,浓度为 0、50、100、150、200、250、300、350、400 mmol/L^[9],记为 N1~N9。

1.5 数据统计分析

1.5.1 数据分析。采用 DPS 和 SPSS 17 软件分析数据,单因素方差分析光照、温度、盐分胁迫和干旱胁迫对种子萌发的影响,Excel 2010 制图。

萌发率 $R_c = n/N \times 100\%$,式中, n 为已萌发的种子数, N 为总种子数。

1.5.2 重要值计算。相对多度、相对高度、相对盖度和相对频度分别为各物种的数量多度、高度、盖度和频度与群落中所有种的数量多度、高度、盖度和频度之和的百分比。

重要值 = (相对盖度 + 相对密度 + 相对高度 + 相对频度) / 4 × 100%^[10-11]

2 结果与分析

2.1 心叶水柏枝资源调查 经实地调查,心叶水柏枝一般生长在河滩上,分布区域广,但种群数量小,在分布区内其他物种较少,其生境破坏极严重,河流流向被人为改变,河边道路等基础设施建设较多,现其群落已呈片段化分布。从表 1 可看出,其种群大多都是新生种群,其果实可育率极低,仅有 28.64%,其生长地天气炎热干燥导致部分年长植株枯死以及新生种难以发芽,影响种群维持,不具有稳定的群落结构,但

其种子在适宜条件下萌发率较高,其种子特性为边开花边传播,开花时间较长,一般是随风和顺水传播。从调查结果看出,心叶水柏枝在群落中随机分布,在水多、地势低洼的地方分布较多,而在干旱的地方分布较少,其原因是与水资源的随机分布有关。

表 1 心叶水柏枝的相关特征数据

Table 1 Relevant characteristic data of *Myricaria pulcherrima*

| 样地 Sample plot | 分枝个数 Number of branches | 果实数 Number of of fruits | 可育果实数 Number of fertile fruits | 可育率 Fertility rate//% |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1.76 | 46.15 | 11.41 | 28.80 |
| 2 | 1.71 | 52.59 | 12.29 | 19.20 |
| 3 | 2.08 | 46.85 | 14.85 | 37.94 |
| 平均值 Average | 1.85 | 48.53 | 12.85 | 28.64 |
| 标准差 Standard deviation | 0.20 | 3.53 | 1.79 | 0.09 |

2.2 心叶水柏枝植物群落物种组成 从调查结果看出,群落中有 11 个物种,有 101 个植物个体,分属于 6 科 9 属,其中禾本科个体数最多,其次是菊科,再是怪柳科,是该区典型的植物群落结构(表 2)。物种相对单一,群落结构简单,如果人为破坏或者外界有干扰,脆弱的结构很难达到动态平衡,自我调节能力较差,不利于该区植被的恢复。

表 2 群落中科属种组成

Table 2 The composition of families and genera in the community

| 科 Family | 属 Genus | 植物种 Plant species | 物种平均个体数 Average number of individuals |
|-------------------|------------|---|---|
| 禾本科 Gramineae | 拂子茅属 | 假苇拂子茅 <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Hall.F.) Koel. | 56.0 |
| | 芦苇属 | 芦苇 <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steu | 5.0 |
| 香蒲科 Typhaceae | 香蒲属 | 小香蒲 <i>Typha minima</i> Funck | 3.0 |
| 菊科 Compositae | 菊属 | 刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i> (Willd.) MB. | 5.0 |
| | 旋覆花属 | 蓼子朴 <i>Inula salsoloides</i> (Turcz.) Ostrnf. | 12.0 |
| 杨柳科 Salicaceae | 杨属 | 胡杨 <i>Populus euphraticu</i> | 4.0 |
| | 杨属 | 灰胡杨 <i>Populus pruinosa</i> | 0.6 |
| 藜科 Chenopodiaceae | 藜属 | 灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> L. | 2.6 |
| 怪柳科 Tamaricaceae | 水柏枝属 | 心叶水柏枝 <i>Myricaria pulcherrima</i> Batal | 1.6 |
| | 怪柳属 | 多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb | 3.6 |
| | 怪柳属 | 刚毛怪柳 <i>Tamarix hispida</i> Willd. | 0.7 |

2.3 心叶水柏枝植物群落物种的重要值 从表 3 可以看出,在心叶水柏枝群落中,假苇拂子茅的多度、盖度与频度较高,重要值为 29.20%,为优势种,多枝怪柳和刚毛怪柳的多度、盖度与频度也较高,重要值均 ≥ 10%,为次优势种,芦苇是主要伴生种,胡杨、灰胡杨、蓼子朴、刺儿菜、灰绿藜为偶见种。在这些物种中,胡杨和灰胡杨为乔木,多枝怪柳和刚毛怪柳为灌木,心叶水柏枝为半灌木,其余为草本,乔灌木 3 层结构明显。虽然胡杨和灰胡杨为乔木植物,但是因为是小苗,在群落中不占优势;心叶水柏枝因为几乎不分枝,盖度较小,重要值较小;因为该处地处河岸,适合假苇拂子茅的繁殖,而且大部分呈丛分布,多度和盖度均较大,因此是群落中的优势种;

多枝怪柳和刚毛怪柳因为有一定的高度,且分枝多,因此相对高度和相对盖度较大,成为次优势种。从群落发展的角度,该群落有从草本占优势发展为灌木占优势,并逐渐发展为乔木群落的趋势。

2.4 光照对心叶水柏枝种子萌发的影响 由图 1 可知,在不同光照条件下心叶水柏枝种子萌发率没有显著差异 ($F = 2.332, P = 0.178$),在 24 h 黑暗和 24 h 光照的条件下,心叶水柏枝种子的萌发率差别不大,但在 14 h 黑暗/10 h 光照的条件下,心叶水柏枝种子萌发率高于其他 2 组。说明光照和黑暗交替有利于心叶水柏枝种子的发芽。

表3 群落中物种组成及其重要值

Table 3 Species composition and important values of community

| 植物种 Plant species | 相对高度 Relative height | 相对盖度 Relative coverage | 相对多度 Relative density | 相对频度 Relative frequency | 重要值 Important value // % |
|---|-------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 假苇拂子茅 <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Hall.F.) Koel. | 0.07 | 0.33 | 0.60 | 0.17 | 29.20 |
| 刚毛怪柳 <i>Tamarix hispida</i> Willd. | 0.14 | 0.19 | 0.05 | 0.06 | 11.14 |
| 多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb | 0.22 | 0.25 | 0.03 | 0.03 | 13.12 |
| 蓼子朴 <i>Inula salsoloides</i> (Turcz.) Ostrnf. | 0.07 | 0.01 | 0.05 | 0.06 | 4.52 |
| 芦苇 <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steu | 0.11 | 0.01 | 0.13 | 0.08 | 8.29 |
| 刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i> (Willd.) MB. | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.03 | 3.56 |
| 灰胡杨 <i>Populus pruinosa</i> | 0.08 | 0.04 | 0.01 | 0.08 | 5.19 |
| 灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> L. | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.14 | 4.83 |
| 心叶水柏枝 <i>Myricaria pulcherrima</i> Batal | 0.07 | 0.02 | 0.04 | 0.22 | 8.58 |
| 胡杨 <i>Populus euphratica</i> | 0.09 | 0.04 | 0.01 | 0.08 | 5.43 |

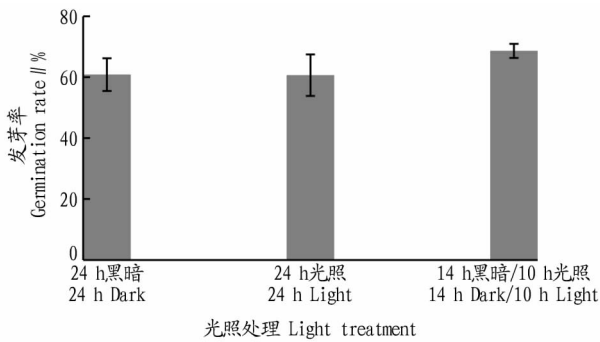


图1 不同光照处理对种子发芽率的影响

Fig.1 Effects of different light treatments on seed germination rate

2.5 PEG 模拟干旱胁迫、NaCl 浓度及温度对种子萌发率的影响 由图2(P1~P9)可知,从总体上看,随着 PEG-6000 浓度的升高,心叶水柏枝种子萌发率呈明显的下降趋势,且具有极显著性差异 ($F = 19.597, P = 0$)。心叶水柏枝种子在 10% 的 PEG-6000 浓度下,相比 0 的 PEG-6000 浓度,其发芽率还略有提高,由此可认为,轻微的水分胁迫对种子萌发影响不大;当 PEG-6000 浓度为 10%~20% 时,种子发芽率下降趋势明显,下降了 31.23%,种子萌发被明显抑制;PEG-6000 浓度在大于 22% 之后,种子萌发率达到了一个极低的水平,当 PEG-6000 浓度为 30% 时,种子萌发被完全抑制,说明水分在心叶水柏枝种子萌发过程中起着重要作用。

由图2(N1~N9)可知,随着 NaCl 浓度的增加,心叶水柏枝种子萌发率显著下降,NaCl 浓度对种子发芽率具有显著影响 ($F = 37.647, P = 0$),说明该种植物对 NaCl 浓度敏感;NaCl 浓度为 50 mmol/L 时种子发芽率为 66.33%,略高于对照。之后随着 NaCl 浓度的升高种子发芽率逐渐降低,NaCl 浓度为 400 mmol/L 时其发芽率降为 0。

由图2(T1~T9)可以看出,温度对心叶水柏枝种子的萌发率具有显著影响 ($F = 20.586, P = 0$),温度为 5 °C 时其发芽率较低,为 3%,当温度升至 10 °C 时,其发芽率增加至 55%,当温度为 25 °C 时,其发芽率最高为 71%,之后随着温度的升高,种子发芽率逐渐开始下降,说明心叶水柏枝最适萌发温

度为 25 °C。

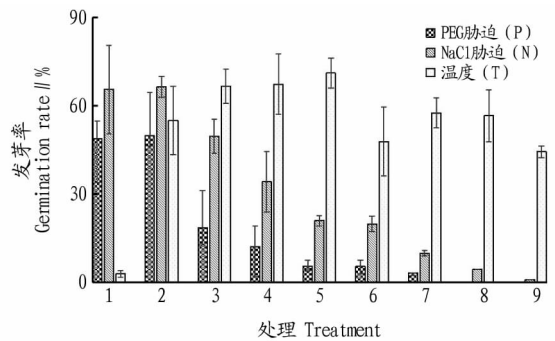


图2 不同 PEG、NaCl 及温度处理梯度对发芽率的影响

Fig.2 Effects of PEG, NaCl and temperature gradient on seed germination rate

3 结论与讨论

植物物种濒危原因总的来说大概分为两类,一类是植物自身因素,包括自身繁殖能力的不足或退化、遗传变异降低、分布区物种少导致竞争力下降、适应性差等,一类是外界因素,包括自然灾害与人类活动的影响,导致植物生存环境被破坏,以及人类对环境的污染导致其难以生存等。心叶水柏枝是塔里木盆地特有植物,此次调查取样地为暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,极端最高气温 40 °C,自然环境恶劣,果实可育率低。在塔里木河附近,修路、修桥等基础设施建设较多,导致河水流向改变与湿地生态系统被破坏,其生长环境被片段化严重,河水流向改变导致心叶水柏枝生长土壤松动,心叶水柏枝后代繁殖困难,种群密度低等,又有放牧、开荒垦田,也严重干扰了其生长繁殖。从植物自身因素分析,心叶水柏枝为无限花序,有着边开花边结实播种的特性,种子极小,但数量高,顶端生有柔毛,易于传播,但经实地采样调查发现,心叶水柏枝果实可育率极低,仅有 28.6%,并且植株普遍矮矮,大都是新生苗,分布区零散,且种群数量少。群落中禾本科个体数最多,其次是菊科,再是怪柳科,物种相对单一,群落结构简单,如果人为破坏或者外界有干扰,单一的结构很难达到动态平衡,自我调节能力较差,不利于该区植被恢复。

在心叶水柏枝群落中,假苇拂子茅为优势种,多枝怪柳

和刚毛怪柳为次优势种,芦苇是主要伴生种,胡杨、灰胡杨、藜子朴、刺儿菜、灰绿藜为偶见种。主要原因是假苇拂子茅兼具有性繁殖和无性繁殖两种方式,在恶劣气候来临之前,形成大量的种子,且种子可以随风传播到很远的地方,条件合适就可以萌发,保证了后代的存活,同时又因为是多年生的草本植物,又可以以根蘖的方式产生新的个体,因此是该群落的优势种。多枝怪柳和刚毛怪柳可以产生大量的种子,且个体相对高大,本身又是泌盐植物,耐盐耐旱,且为木本植物,因此为次优势种。藜子朴、刺儿菜、灰绿藜多数个体相对较小,在群落中不占优势。因为心叶水柏枝随水而居,其分布位置常常随着河岸的波动或者湿地位置迁移,种群数量也随之发生变化,在这样的环境下,胡杨和灰胡杨的定居也有诸多的不确定性,在该群落中胡杨和灰胡杨的个体相对较小,数量少,盖度和频度都不占优势,因此为偶见种。但是心叶水柏枝群落中,乔灌木植物均有分布,从群落发展的角度考虑,该群落是进展演替群落。

对其种子萌发率的研究表明,心叶水柏枝在黑暗光照交替条件下萌发率最高。心叶水柏枝种子萌发时不耐低温,在 5℃ 时其萌发率较低,为 4.67%,当温度为 10℃ 时其萌发率则大幅提高,在 25℃ 时其萌发率最高。这个温度在其开花结果的 8—9 月较为符合,但大量的种子萌发后常遭受河水断流、盐碱化严重等影响。在 NaCl 浓度高于 100 mmol/L 时,种子萌发受到抑制,在干旱胁迫试验中,PEG-6000 浓度为 0~10% 时,心叶水柏枝种子能较好萌发,在 PEG-6000 浓度高于 10% 时,种子萌发被明显抑制,PEG-6000 浓度高于 24% 时,种子发芽率大幅降低。说明轻微的干旱胁迫并不影响种子萌发,但是 PEG 浓度较高时其萌发受到抑制。塔里木河为季节性内陆河,夏季气温较高时河水流量较大,进入秋季,河流逐渐进入枯水期,其河水矿化度即可超出盐碱地区标准,且河床变得异常干旱,这些因素致使其遭受干旱胁迫、高

温胁迫与盐胁迫,幼苗及其当年生植株难以长久存活,导致其种群的数量和密度均逐渐变小,面临濒危。

塔里木盆地年平均降水量为 53 mm,年平均蒸发量达 1 969 mm,气候干燥,虽然其生存环境大多为河滩,在夏季水分较充足,但秋、冬、春三季河床较干旱,且分布区为盐碱地,土壤表层盐分较高,因此该植物常受盐、高温、干旱胁迫,导致部分或多数植株枯死。

综上所述,为保护其植物资源的永续利用,首先,通过宣传,加强人们对濒危物种的认知程度,并强调保护濒危物种的重要性;其次,将现代基础设施建设与环境保护相结合,强调保护环境的重要性,在水利方面的建设应当充分考虑是否会对植物生长造成影响;再次,对心叶水柏枝的分布区进行保护,尽量减少人类对其生长的影响,对牧民进行普及教育,划分放牧区,减少对其的破坏。

参考文献

- [1] 党荣理,潘晓玲.西北干旱荒漠区植物区系的特有现象分析[J].植物研究,2001,21(4):519-526.
- [2] 冯纛,严成,尹林克.新疆植物特有种及其分布[J].西北植物学报,2003,23(2):263-273.
- [3] 王勇,刘义飞,刘松柏,等.中国水柏枝属植物的地理分布、濒危状况及其保育策略[J].武汉植物学研究,2006,24(5):455-463.
- [4] 韩路,陈家力,王家强,等.塔河源荒漠河岸林群落物种组成、结构与植物区系特征[J].植物科学学报,2019,37(3):324-336.
- [5] 宋永昌.植被生态学[M].上海:华东师范大学出版社,2001.
- [6] 谢宗强.中国特有植物银杉及其研究[J].生物多样性,1995,3(2):99-103.
- [7] 陈山.不同利用方式土壤团聚体稳定性及其与有机质和铁铝氧化物的关系[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [8] 赵震锡,苏斯思.不同水分胁迫下胡杨种子活力测定分析[J].种子科技,2016,34(6):119-121.
- [9] 刘有军,刘世增,康才周,等.中国特有植物沙地云杉的濒危机制[J].水土保持通报,2018,38(3):60-65,73.
- [10] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方 I α 多样性的测度方法(下)[J].生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [11] 钱迎倩,马克平.生物多样性研究的原理与方法[M].北京:中国科学技术出版社,1994.

(上接第 44 页)

参考文献

- [1] 贺洪军,高凤菊,田艺心.玉米-大豆高效复合种植模式调研报告[J].黑龙江农业科学,2018(6):112-115.
- [2] 张岩.中国大豆发展现状分析[J].天津农林科技,2018(6):39-41.
- [3] 曹鹏鹏,任自超,高凤菊,等.鲁西北地区大豆/玉米间作适宜品种组合筛选[J].山东农业科学,2019,51(12):31-35,39.
- [4] 赵银月,黄国贤,詹和明,等.云南省适宜与玉米间作大豆品种的筛选与鉴定[J].大豆科学,2018,37(1):75-80.
- [5] 王静,林治安,李志杰,等.鲁西北地区夏玉米间作大豆适宜模式研究[J].安徽农业科学,2019,47(8):24-26.
- [6] 周颖,陈平,杜青,等.不同间套作模式对大豆农艺性状及系统经济效益的影响[J].四川农业大学学报,2018,36(6):745-750.
- [7] 马艳玮,蒲甜,李丽,等.玉米-大豆带状套作高产玉米品种的形态特征[J].玉米科学,2019,27(4):93-99.
- [8] 汤飞跃,陈文杰,韦清源,等.不同行比配置和玉米株型对玉米大豆间种

- 产量及效益影响[J].大豆科学,2019,38(5):726-732.
- [9] 杨小琴,王洋,齐晓宁,等.玉米间作体系的光合生理生态特征[J].土壤与作物,2019,8(1):70-77.
- [10] 任永福,陈国鹏,蒲甜,等.玉米-大豆带状种植中套作高光效玉米窄行穗位叶光合特性对弱光胁迫的响应[J].作物学报,2019,45(5):728-739.
- [11] 田艺心,曹鹏鹏,高凤菊,等.减氮施肥对间作玉米-大豆生长性状及经济效益的影响[J].山东农业科学,2019,51(11):109-113.
- [12] 李立坤,左传宝,于福兰,等.肥料减施下玉米-大豆间作对作物产量和昆虫群落组成及多样性的影响[J].植物保护学报,2019,46(5):980-988.
- [13] 徐长帅,高伟,冯雪梅,等.玉米大豆间作田间配置经济效益研究[J].种子科技,2015,33(11):44-46.
- [14] 任媛媛,王志梁,王小林,等.黄土塬区玉米大豆不同间作方式对产量和经济收益的影响及其机制[J].生态学报,2015,35(12):4168-4177.
- [15] 杨明颜,陈慧欢,孙歆,等.大豆植株对单侧遮阴的形态响应特征[J].中国油料作物学报,2017,39(1):60-64.