

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2020.02.008

粗毛牛膝菊对呼和浩特植物多样性的影响

贺俊英¹, 杨霞¹, 史树德^{2*}
¹内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 内蒙古呼和浩特 010022;
²内蒙古农业大学农学院, 内蒙古呼和浩特 010019

摘要:【目的】粗毛牛膝菊为内蒙古地区新发现的一种入侵植物,在呼和浩特的入侵范围不断扩大、种群数量日益增加。了解其入侵后对本地植物多样性产生的影响,可为及时防控提供预警与理论依据。【方法】通过样方调查法结合数理统计,分析 21 个样地中植物物种丰富度指数(S)、Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 指数(J)的差异。【结果】入侵样地中共有 73 种植物,隶属 25 科 55 属,其中菊科种类最多,共 18 种,占总种数的 24.66%,禾本科、藜科种类次之,分别占 17.81%和 5.48%。粗毛牛膝菊入侵地中,其重要值(IV)呈现不同程度的增加,表现为 IV 随着相对密度、相对频度、相对盖度的增大而增大。与对照组相比,粗毛牛膝菊入侵地中的 S 、 H 、 D 和 J 指数均下降,下降最大幅度分别为 65.2%、78.6%、62.2%和 72.6%,其中 H 指数下降幅度最大。重要值与各多样性指数(S 、 D 、 H 和 J)间的关系表现为:随着粗毛牛膝菊重要值的增大,各多样性指数均下降,当 $IV>0.551$ 时, H 指数显著降低($P<0.05$);当 $IV>1.10$ 时, H 和 J 指数极显著降低($P<0.01$),呈明显的负相关。【结论】粗毛牛膝菊的入侵已对呼和浩特的植物多样性造成了威胁,应及时展开科学的防控措施。

关键词: 粗毛牛膝菊; 外来入侵植物; 采样方法; 呼和浩特; 植物多样性



开放科学标识码
(OSID 码)

Effects of the invasive weed, *Galinsoga quadriradiata* Ruiz et Pav. on plant diversity in Hohhot City, Inner Mongolia

HE Junying¹, YANG Xia¹, SHI Shude^{2*}
¹College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China;
²College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China

Abstract: 【Aim】*Galinsoga quadriradiata* is a new invasive plant in the Inner Mongolia Autonomous Region, with an expanding range and an increasing size of population in Hohhot City. To understand the impact of the invasion of *G. quadriradiata* on local plant diversity that can provide early warning and theoretical basis for timely prevention and control, the plant diversity in the invaded areas was examined. 【Method】Based on the surveys and mathematical statistics, the differences in four indices were analyzed in 21 quadrats: species richness (S), Simpson index (D), Shannon-Wiener index (H) and Pielou index (J). 【Result】There were 73 plant species identified in the invasive quadrats, belonging to 55 genera and 25 families, in which 18 species were Compositae, accounting for 24.66% of all the species. The second most diverse groups were Gramineae and Chenopodiaceae accounting for 17.81% and 5.48%, respectively. In these invaded regions, the important values (IV) of *G. quadriradiata* showed varying degrees of increase, which characterized by IV raise followed to the addition of relative density, relative frequency and relative coverage. Compared with the control plots, the S , H , D and J showed a similar downward trend in invaded plots, the maximum declines range were 65.2%, 78.6%, 62.2%, and 72.6%, respectively, all of which H index fell sharpest. The relationship between the IV and the above mentioned four indices (e.g., D , H and J) showed that the four indices decreased with the raise of the IV index of *G. quadriradiata*, when the IV index was greater than 0.551, the H index was reduced significantly ($P<0.05$). Similarity, when the IV index was >1.10 , the D and J indices were significantly reduced ($P<0.01$). 【Conclusion】The invasion of *G. quadriradiata* adversely affected the local plant diversity in Hohhot, and preventive and control measures should be launched in a timely manner.

Key words: *Galinsoga quadriradiata*; invasive plant; sample method; Hohhot; plant diversity

收稿日期(Received): 2020-02-07 接受日期(Accepted): 2020-03-29
基金项目: 国家自然科学基金(31560084)
作者简介: 贺俊英, 女, 博士, 副教授。研究方向: 外来入侵植物。E-mail: hjy@imnu.edu.cn
* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: shishudezju@163.com

外来入侵植物是指从其自然分布区通过各种活动(有意或无意)引入当地后,给当地的生态系统造成明显影响或损害的植物(王德艳等,2017;徐海根和强胜,2018)。我国外来入侵植物的种类不断增多,危害也随之增加(冯建孟等,2011)。目前34个省(市、自治区)已全部被外来入侵植物“攻陷”(石青等,2017;赵紫华等,2019)。内蒙古自治区的入侵植物种类虽然不多,但危害和发展势头也不容小觑,应及时展开各方面研究工作。

粗毛牛膝菊 *Galinsoga quadriradiata* Ruiz et Pav., 别名睫毛牛膝菊, 一年生草本植物, 菊科牛膝菊属。原产南美洲和中美洲, 20 世纪中叶随园艺植物引种传入我国, 1943 年在四川成都首次采到标本(李振宇和解焱, 2002)。近 10 年来在我国多个省份都有分布(杜珍珠等, 2014; 田焕焕等, 2015; 袁剑等, 2011)。粗毛牛膝菊结实量大, 传播能力强, 扩散速度快, 危害较重, 能入侵农田、草坪等, 给城市绿化带来巨大威胁(陶萍等, 2017); 对秋收作物、蔬菜、观赏花卉、果树等也有危害(徐海根和强胜, 2011)。粗毛牛膝菊入侵内蒙古地区的情况未有报道, 本实验团队于 2017 年的野外调查中首次发现, 于 2017 年 7 月—2019 年 9 月展开调查, 发现呼和浩特所辖的 4 个区、3 个县和 1 个旗有分布, 数量在增加, 危害也在上升。目前, 关于粗毛牛膝菊的研究, 大多集中在分布范围、生物学特性、种子萌发、形态结构和遗传分化等方面(昌恩梓等, 2012; 李晓春等, 2015; 陶波等, 2013; 田陌等, 2011; Cauwer et al., 2013)。较多学者通过入侵植物对入侵地植物多样性影响的研究来解释其入侵机制(孔令杰等, 2017; 叶美金, 2018; 郑景明和马克平, 2010; Mavimbla et al., 2018; Wang et al., 2019)。然而, 关于粗毛牛膝菊入侵对内蒙古地区植物多样性的影响尚属空白。本文展开了粗毛牛膝菊入侵后对呼和浩特植物多样性影响的相关分析, 以期对粗毛牛膝菊的安全性评价及深入研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域与方法

呼和浩特市地处内蒙古自治区中部, 位于 $110^{\circ}46' - 112^{\circ}10'E$, $40^{\circ}51' - 41^{\circ}8'N$ 。共包括 4 个区、4 个县和 1 个旗。北靠大青山, 东接蛮汉山, 南部为土默川平原, 为重要的农牧业生产区, 四季气候变化明显, 降水集中在 7—8 月, 年均降水量 $335.2 \sim$

534.6 mm (王迎迎, 2017)。

基于连续 2 年(2017—2018)的前期调查基础, 2019 年 6—8 月在粗毛牛膝菊典型分布地带划分出研究样地 16 个, 此 16 个样地按地理位置大致归属于呼和浩特的 5 个区域(即赛罕区、回民区、玉泉区、新城区、土默特), 于每个区域内无粗毛牛膝菊入侵的地带划分出 5 个对照样地(对照样地和入侵样地的立地因子和植被类型尽量一致, 便于比较), 共 21 个样地。因为粗毛牛膝菊在灌丛或林下生长少, 所有样地内均以草本为主。于每个样地内选择 5 个代表性的样方, 样方大小 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, 记录各样方内植物的种类、数量和盖度。部分植物种类现场鉴定, 部分采集标本后于实验室内鉴定。

1.2 数据分析方法

利用重要值(IV)、物种丰富度指数(S)、Simpson 优势度指数(D)、Shannon-Winener 多样性指数(H)和 Pielou 均匀度指数(J)等指标分析植物多样性, 计算公式(马克平, 1994)如下:

重要值(IV) = 相对密度(RD) + 相对频度(RF) + 相对盖度(RC)。

物种丰富度指数(S)为样地中出现物种数。

Simpson 指数(D): $D = 1 - \sum N_i(N_i - 1) / N(N - 1)$

Shannon-Winener 指数(H): $H = -\sum P_i \ln P_i$

Pielou 指数(J): $J = H / \ln S$

式中: N 为所有物种个体数; N_i 为第 i 个物种个体数, P_i 为第 i 个物种个体数占总个体数的比例。数据处理使用 Excel 2010 和 SPSS 18.0。

2 结果与分析

2.1 样地中植物种类组成

入侵样地共分布 73 种植物, 隶属 25 科 55 属, 但每个科中所包含的植物种类数目不同(表 1), 菊科植物种类最多, 有 18 种, 占总种数的 24.66%; 其次为禾本科, 有 13 种, 占总种数的 17.81%; 藜科占 5.48%; 苋科、旋花科、十字花科等 5 科各占 4.11%; 蓼科、石竹科、蔷薇科等 6 科各占 2.74%; 马齿苋科、毛茛科、景天科等 11 科仅含 1 种。

出现频率较高或数量较多的物种有粗毛牛膝菊、紫花地丁 *Viola philippica* Mak.、车前 *Plantago asiatica* L.、蒲公英 *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.、蒺藜 *Polygonum aviculare* L.、苦苣菜 *Sonchus oleraceus* L.、繁缕 *Stellaria media* (L.) Cyr.、藜 *Chenopodium album* L.等。

表 1 入侵样地植物种类组成
Table 1 Composition of plant species in invasive sites

科 Family	属数 No.of genera/个	占属百分比 Percentage of genera/%	种数 No.of species/个	占种百分比 Percentage of species/%
蓼科 Polygonaceae	2	3.636	2	2.740
藜科 Chenopodiaceae	2	3.636	4	5.479
苋科 Amaranthaceae	2	3.636	3	4.110
马齿苋科 Portulacaceae	1	1.818	1	1.370
石竹科 Caryophyllaceae	2	3.636	2	2.740
毛茛科 Ranunculaceae	1	1.818	1	1.370
十字花科 Cruciferae	3	5.455	3	4.110
景天科 Crassulaceae	1	1.818	1	1.370
蔷薇科 Rosaceae	1	1.818	2	2.740
豆科 Leguminosae	2	3.636	2	2.740
酢浆草科 Oxalidaceae	1	1.818	1	1.370
牻牛儿苗科 Geraniaceae	1	1.818	1	1.370
蒺藜科 Zygophyllaceae	1	1.818	1	1.370
大戟科 Euphorbiaceae	2	3.636	2	2.740
锦葵科 Malvaceae	2	3.636	3	4.110
堇菜科 Violaceae	1	1.818	3	4.110
伞形科 Umbelliferae	1	1.818	1	1.370
旋花科 Convolvulaceae	3	5.455	3	4.110
唇形科 Labiatae	1	1.818	1	1.370
茄科 Solanaceae	1	1.818	1	1.370
车前科 Plantaginaceae	1	1.818	2	2.740
菊科 Compositae	12	21.818	18	24.658
禾本科 Gramineae	9	16.364	13	17.808
鸭跖草科 Commelinaceae	1	1.818	1	1.370
百合科 Liliaceae	1	1.818	1	1.370
合计 Total	55	100	73	100

2.2 样地植物多样性指数的分析

根据各样地中植物种类数量和盖度计算粗毛牛膝菊的重要值(表 2),以及所有样地的植物多样性指数(表 3)。

从表 2 可以看出,对照样地中粗毛牛膝菊的重要值均为 0,即粗毛牛膝菊未入侵;但在入侵样地中,粗毛牛膝菊的重要值均不同程度地增加,重要值<0.5 的样地仅 1 个,重要值>1.0 的样地包括 9 个,其中 TMT1、YQ1、YQ2 和 HM3 的值较大,表明粗毛牛膝菊在其对应群落中占的优势也越大;另外,粗毛牛膝菊的重要值随着相对密度、相对频度和相对盖度的增大而增大。

从表 3 可知,粗毛牛膝菊入侵地与对照地(CK)之间的 4 种植物多样性指数存在较大差异。入侵地的多样性指数均下降,其中 CK 组的物种丰富度指数(S)为 18~23,而入侵地的物种丰富度指数为 8~17,呈下降趋势,下降最大幅度为 65.2%;CK 组的 Simpson 优势度指数(D)为 0.816~0.886,组间差异较小,入侵地的 Simpson 优势度指数为

0.335~0.824,也呈下降趋势,除了 QSH1 样地外,其他样地下降明显,最小值仅为 0.335,下降最大幅度 62.2%,达到显著差异;CK 组的 Shannon-Wiener 多样性指数(H)为 2.195~2.380,值高,组间差异较小,而入侵地 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.510~1.960,下降明显,最小值仅为 0.510,下降最大幅度为 78.6%,达到显著差异;CK 组 Pielou 均匀度指数(J)为 0.731~0.778,组内差异也较小,而入侵样地 Pielou 均匀度指数(J)下降到 0.213~0.822,除了 HM2 和 TMT2 样地外,其他样地下降明显,最小值为 0.213,下降幅度达 72.6%,达到显著差异。

2.3 粗毛牛膝菊重要值与多样性指数关系分析

为了进一步揭示重要值与多样性指数间的关系,将重要值按从小到大的顺序,划分为 5 个梯度:CK 组(0)、第一梯度(0.001~0.550)、第二梯度(0.551~1.100)、第三梯度(1.101~1.650)、第四梯度(1.651~2.200),计算每个梯度的平均值;同时将每个梯度重要值对应样方的 4 种多样性指数也分别计算平均值,进行方差分析。

表 2 各样地粗毛牛膝菊的重要值
Table 2 The importance values of *G. quadriradiata* at the investigated sites

样地编号 No. of plot	相对密度 Relative density	相对频度 Relative frequency	相对盖度 Relative coverage	重要值 Important value
SH1	0.575	0.139	0.426	1.140
SH2	0.460	0.102	0.477	1.039
SH3	0.453	0.139	0.277	0.869
XC1	0.356	0.086	0.301	0.743
XC2	0.289	0.104	0.267	0.660
XC3	0.641	0.128	0.684	1.453
HM1	0.604	0.125	0.535	1.264
HM2	0.317	0.135	0.246	0.698
HM3	0.798	0.139	0.646	1.583
YQ1	0.807	0.094	0.770	1.671
YQ2	0.637	0.132	0.698	1.467
TKT1	0.466	0.102	0.641	1.209
HLGE1	0.406	0.086	0.495	0.987
QSH1	0.258	0.089	0.199	0.546
TMT1	0.881	0.135	0.892	2.108
TMT2	0.249	0.089	0.139	0.477
CK1~5	0	0	0	0

SH:赛罕区;XC:新城区;HM:回民区;YQ:玉泉区;TKT:托克托;HLGE:和林格尔;QSH:清水河;TMT:土默特;CK:对照。
SH: Saihan District; XC: Xincheng District; HM: Huimin District; YQ: Yuquan District; TKT: Tuoketuo; HLGE: Helingeerxian; QSH: Qinchuihe; TMT: Tumotezuo; CK: Control.

表 3 各样地的 4 种多样性指数
Table 3 The plant diversity indices at the investigated sites

样地编号 No. of plot	丰富度指数 Richness index (<i>S</i>)	Simpson 指数 Simpson index (<i>D</i>)	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index (<i>H</i>)	Pielou 指数 Pielou index (<i>J</i>)
SH1	13cdef	0.633abc	1.46def	0.569bdef
SH2	16bdef	0.676abc	1.489def	0.537bdef
SH3	13c	0.668abc	1.405def	0.507bdef
XC1	15bcde	0.801ab	1.958abcd	0.723abcd
XC2	15bcde	0.799ab	1.846abcde	0.682abcde
XC3	11fg	0.514cd	1.168fg	0.487def
HM1	13cdef	0.557bcd	1.216fg	0.474ef
HM2	8g	0.768abc	1.709bdef	0.822a
HM3	9g	0.351d	0.824gh	0.375fg
YQ1	17b	0.335d	0.79gh	0.279g
YQ2	11efg	0.558bcd	1.245efg	0.519cdef
TKT1	15bcd	0.522cd	1.602cdef	0.591abcdef
HLGE1	16bc	0.718abc	1.645cdef	0.593abcdef
QSH1	16bc	0.824a	1.96abcd	0.709abcde
TMT1	11defg	0.353d	0.51h	0.213g
TMT2	9g	0.639abc	1.733bdef	0.789ab
入侵地平均值 Invision site mean	13.15±3.319 *	0.607±0.162 **	1.41±0.428 **	0.554±0.171 **
CK1	21a	0.886a	2.369a	0.778ab
CK2	22a	0.867a	2.259ab	0.731abc
CK3	18b	0.816ab	2.195abc	0.759abc
CK4	23a	0.886a	2.331a	0.743abc
CK5	22a	0.852a	2.38a	0.77abc
对照平均值 CK mean	21.26±2.446	0.861±0.029	2.307±0.078	0.756±0.019

SH:赛罕区;XC:新城区;HM:回民区;YQ:玉泉区;TKT:托克托;HLGE:和林格尔;QSH:清水河;TMT:土默特;CK:对照。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); * 和 ** 表示同一指标在对照与入侵样地间差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。
SH: Saihan District; XC: Xincheng District; HM: Huimin District; YQ: Yuquan District; TKT: Tuoketuo; HLGE: Helingeerxian; QSH: Qinchuihe; TMT: Tumotezuo; CK: Control. The different lower-case letters indicate significant difference ($P<0.05$). * and ** for the same site and prameter show significant difference between control and test sample at 0.05 and 0.01 level.

由表 4 可知,CK 组的 4 种植物多样性指数平均值都高于入侵地的平均值,并与入侵地存在明显差异。且随着各样地重要值的增大,4 种指数均表现出基本一致的下降趋势,但重要值的大小与每个多样性指数下降的显著程度有差别,其中随着粗毛牛膝菊重要值的增大,物种丰富度指数虽呈下降,但其值变化不明显,但另外 3 个多样性指数的变化

较明显,当重要值达到 0.550(第二梯度)后,Shannon-Wiener 指数下降明显,与 CK 组达到显著差异($P<0.05$);当重要值达到 1.10(第三梯度)后,Simpson 指数与 Pielou 指数的下降明显,与 CK 组达到极显著差异($P<0.01$)。以上分析发现,当粗毛牛膝菊入侵后,其重要值增加时,当地的植物多样性便下降。

表 4 粗毛牛膝菊对植物多样性指数影响的统计学分析
Table 4 Statistical analysis of the effects of *G. quadriradiata* on plant diversity

重要值 Importance value	丰富度指数 Richness index (S)	Simpson 指数 Simpson index (D)	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index (H)	Pielou 指数 Pielou index (J)
CK 组 The control gradient	21.20±1.924A	0.861±0.029A	2.307±0.078A	0.756±0.019A
第一梯度 The first gradient	12.50±4.950B	0.732±0.131A	1.847±0.161AB	0.748±0.058A
第二梯度 The second gradient	13.83±3.061AB	0.738±0.060A	1.675±0.209BC	0.644±0.120AB
第三梯度 The third gradient	12.00±2.098B	0.523±0.094B	1.253±0.267C	0.503±0.077B
第四梯度 The fourth gradient	14.00±4.243AB	0.344±0.013C	0.650±0.198D	0.246±0.047C

不同大写字母表示差异显著($P<0.01$)。
The different capital letters indicate significant difference at the $P<0.01$ level.

3 讨论

本研究认为,粗毛牛膝菊入侵后,入侵地的 4 种植物多样性指数与未入侵地相比,均呈现出下降趋势,下降的幅度较大,二者之间差异显著,与加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L.(吴竞伦,2005)、紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* (Spreng.) R.M. King et H.Rob.(丁晖等,2007)、豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L.(邓旭等,2010)、少花蔊菜 *Cenchrus pauciflorus* Benth(王坤芳等,2015)、黄花刺茄 *Solanum rostratum* L.和刺苍耳 *Xanthium spinosum* Linn.(宋珍珍,2012)入侵特性结果一致。因此,粗毛牛膝菊入侵呼和浩特市后,从多样性指数的变化反映出其正在改变入侵地的植物群落结构,若进一步蔓延,势必会对植物种类本来就偏少的呼和浩特造成更大的不利。应及时展开防治和防除。

该研究调查中,入侵地粗毛牛膝菊的重要值相比对照样地都有不同程度的增大。而重要值越大,代表着在群落中的影响越大(乔建军,2019)。说明粗毛牛膝菊入侵后,由于其在群落中的影响增大,会逐渐成为入侵地的优势种,从而对当地植物造成影响。另外,粗毛牛膝菊的重要值和 4 种多样性指数间的关系密切,随着重要值的增大,样地的物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数均呈下降趋势。在重要值达到 0.551 时,Shannon-Wiener 指数下降明显,与对照组相比,

差异显著($P<0.05$);Simpson 指数与 Pielou 指数也在下降,但差异不显著($P>0.05$)。而当重要值达到 1.101 后,Simpson 指数与 Pielou 指数的差异极显著($P<0.01$)。其他外来入侵植物也有类似的结果,如当大花金鸡菊 *Coreopsis grandiflora* Nutt. ex Chapm. 重要值高于 20.25% 时,入侵地物种丰富度明显下降,二者存在显著相关性(毕巍巍等,2013);三裂蜆蝶菊 *Wedelia trilobata* (L.) Pruski 入侵后,随着重要值的增大,入侵地 3 种多样性指数均明显下降,差异显著或极显著,因此,认为三裂蜆蝶菊具有较大的竞争优势(朱慧和吴双桃,2012);空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. 的重要值大小与其丰富度呈显著相关,其值达到 1.5 后,则本地植物多样性下降(林金成等,2005);黑荆树 *Acacia mearnsii* DE Wild. 入侵后,随着其重要值的增大,Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数明显减小,对群落稳定性有一定威胁(柯倩倩等,2010)。

物种丰富度体现单位面积样方中出现的物种数;Shannon-Wiener(H)指数体现物种个体出现的紊乱性和不确定性,即群落的复杂程度,数值越小复杂程度越小,多样性就越低;Simpson 指数体现物种奇异度,数值越小,群落中植物种类越趋于集中;Pielou 指数体现物种在群落内分布的均匀度程度,数值越小群落结构越简单(毕巍巍等,2013;邓旭等,2010)。本实验条件下,采用 4 种多样性指数结

合重要值共同分析,以避免单一因素分析导致偏差,认为粗毛牛膝菊入侵呼和浩特后,粗毛牛膝菊数量的增加正在降低呼和浩特植物的物种多样性,已对本地植物造成了一定威胁。进一步的研究应该关注粗毛牛膝菊在更大范围内的影响,同时应尽早展开科学的防控。

参考文献

- 毕巍巍,徐萌,韩东洋,郭绍霞,2013. 大花金鸡菊入侵对植物多样性的影响. 草业科学, 30(5): 687-693.
- 昌恩梓,齐淑艳,孔令群,李晓春,申柳,2012. 牛膝菊属两种外来入侵植物叶片的形态解剖结构比较研究. 东北师大学报(自然科学版), 44(4): 108-113.
- 邓旭,王娟,谭济才,2010. 豚草入侵湖南对植物多样性的影响. 中国农学通报, 26(18): 309-314.
- 丁晖,徐海根,刘志磊,2007. 外来入侵植物紫茎泽兰对植物多样性的影响. 生态与农村环境学报, 23(2): 29-32, 75.
- 杜珍珠,阎平,任珊珊,曹婷,黄刚,2014. 新疆菊科 3 种新的外来植物种. 干旱区研究, 31(5): 863-865.
- 冯建孟,董晓东,徐成东,查凤书,2011. 中国外来入侵植物的风险评价及空间分布格局. 西南大学学报(自然科学版), 33(2): 57-63.
- 柯倩倩,南康武,郑思思,冯幼义,胡仁勇,丁炳扬,2010. 外来种黑荆树的群落特征及其对物种多样性的影响. 浙江大学学报(理学版), 37(3): 324-329.
- 孔令杰,柳旭,韩月龙,杨康,贾月月,张凤娟,2018. 黄顶菊与 3 种本地植物竞争对丛枝菌根真菌种类和多样性的影响. 生物安全学报, 27(3): 224-232.
- 林金成,强胜,吴海荣,2005. 外来入侵杂草空心莲子草对植物生物多样性的影响. 农村生态环境, 21(2): 28-32.
- 李振宇,解焱,2002. 中国外来入侵种. 北京:中国林业出版社.
- 李晓春,齐淑艳,姚静,杨柳,2015. 入侵植物粗毛牛膝菊种群遗传多样性及遗传分化. 生态学杂志, 34(12): 3306-3312.
- 马克平,1994. 生物群落多样性的测度方法. 生物多样性, 2(3): 162-168.
- 乔建军,2019. 黄花刺茄入侵对张家口市本地物种多样性的影响. 现代农村科技, 54(5): 51-52.
- 石青,陈雪,罗雪晶,陈凤新,任晓鸿,2017. 京津冀外来入侵植物的种类调查与分析. 生物安全学报, 26(3): 215-223.
- 宋珍珍,2012. 两种入侵植物在新疆的分布、群落特点及对物种多样性的影响. 硕士学位论文. 乌鲁木齐:新疆农业大学.
- 陶波,董玉梅,汤东生,2013. 入侵杂草牛膝菊和粗毛牛膝菊种子成熟与萌发研究. 湖北农业科学, 52(2): 331-333.
- 陶萍,高玲,董志芳,耿其勇,陆白昆,2017. 灯盏花苗期恶性杂草粗毛牛膝菊防除试验. 云南农业, 32(9): 59-61.
- 田焕焕,刘秋宇,柯杰,覃瑞,刘虹,2015. 湖北省植物分布新记录(一). 西北植物学报, 35(6): 1269-1272.
- 田陌,张峰,王璐,梁晓庆,姜东亮,邵显会,任毅,2011. 入侵物种粗毛牛膝菊(*G. alinsoga quadriradiata*)在秦岭地区的生态适应性. 陕西师范大学学报(自然科学版), 39(5): 71-75.
- 王德艳,张大才,胡世俊,闫晓慧,2017. 云南菊科入侵植物入侵机制及其利用研究进展. 生物安全学报, 26(4): 259-265.
- 王坤芳,纪明山,彭爽,2015. 不同入侵程度下少花蔊菜对植物群落特征影响. 东北农业大学学报, 46(11): 16-21.
- 王迎迎,2017. 呼和浩特市种子植物资源多样性研究. 硕士学位论文. 呼和浩特:内蒙古农业大学.
- 吴竞仑,李永丰,王一专,刘丽萍,2005. 苏南地区加拿大一枝黄花繁殖地的植物群落. 江苏农业学报, 21(3): 176-179.
- 徐海根,强胜,2011. 中国外来入侵生物. 北京:科学出版社.
- 叶美金,杨洁,羊蓉,王蝶,周文丽,2018. 城市入侵植物防治对策初探. 现代园艺, 40(16): 75-76.
- 袁剑,王正平,杨桂馥,2011. 大连地区苗圃外来恶性杂草的防治措施. 北京农业, 31(30): 126.
- 赵紫华,苏敏,李志红,惠苍,2019. 外来物种入侵生态学. 植物保护学报, 46(1): 1-5.
- 郑景明,马克平,2010. 入侵生态学. 北京:高等教育出版社.
- 朱慧,吴双桃,2012. 三裂蜆蟆菊入侵对植物多样性的影响及其根提取物的抑草效应. 西北农业学报, 21(8): 38-44.
- CAUWER B D, DEVOS R, CLAERHOUT S, BULCKE R, REHEUL D, 2013. Seed dormancy, germination, emergence and seed longevity in *Galinsoga parviflora* and *G. quadriradiata*. *Weed Research*, 54: 38-47.
- MAVIMBELA L Z, SIEBEN E J J, PROCHES S, 2018. Invasive alien plant species, fragmentation and scale effects on urban forest community composition in Durban, South Africa. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 48: 1-14.
- WANG Y J, CHEN D, YAN R, YU F H, KLEUNEN M V, 2019. Invasive alien clonal plants are competitively superior over co-occurring native clonal plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 40: 125484.

(责任编辑:郭莹)