

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2019.02.010

# 加拿大一枝黄花在安徽合肥的 入侵生态因子分析

张震<sup>1\*</sup>, 曹亚蒙<sup>1</sup>, 钟耀华<sup>2</sup>, 王力超<sup>1</sup>, 刘静<sup>1</sup>, 邓丽丽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>安徽农业大学资源与环境学院, 安徽合肥 230036; <sup>2</sup>安徽金寨县茶谷和  
美丽乡村建设服务中心, 安徽金寨 237300

**摘要:**【目的】研究加拿大一枝黄花入侵区域的入侵格局, 分析其入侵性与当地生态环境之间的关系。【方法】通过随机布设样地方法量化了该植物入侵区域的海拔、坡度、植物群落等 22 个生境因子, 并进行主成分分析。【结果】(1) 加拿大一枝黄花生境的 22 个生态因子所含的生态信息可用 6 个综合因子表征: 土壤肥力因子、土壤理化因子、植被因子、复合因子、干扰因子和光源因子; (2) 加拿大一枝黄花的发生频率与速效钾、样地中植物总株数、杂草盖度、有机质、植物种数、海拔、坡度、乔木高度、乔木大小、土壤含水率等生态因子呈正相关, 但是与水源距、土壤有效磷、土壤全磷、土壤 pH 呈负相关。【结论】加拿大一枝黄花入侵可能与当地自然环境中的某些生态因子密切相关, 生态因子可能对其入侵成功产生抑制或促进作用。本研究有助于明确加拿大一枝黄花入侵的生态因子, 为该入侵植物的有效防治提供一定的理论依据。

**关键词:** 入侵植物; 加拿大一枝黄花; 生态因子; 主成分

## Factors contributing to the spread of the invasive plant *Solidago canadensis* L. in Hefei, Anhui Province, China

ZHANG Zhen<sup>1\*</sup>, CAO Yameng<sup>1</sup>, ZHONG Yaohua<sup>2</sup>, WANG Lichao<sup>1</sup>, LIU Jing<sup>1</sup>, DENG Lili<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China; <sup>2</sup>Tea Valley and Beautiful Rural Construction Service Center in Jinzhai County, Jinzhai, Anhui 237300, China

**Abstract:** 【Aim】 In order to study the ecological factors contributing to the invasion of *Solidago canadensis*, and the relationship between the invasion and the local ecological environment were analysed. 【Method】 By quantifying 22 habitat factors, such as elevation, slope, etc., the invasive patterns of different habitats with different characteristics were accurately described, and a principal component (PCA) analysis was carried out. 【Result】 (1) The ecological information which included 22 ecological factors according to the habitat of the plant could be expressed by six comprehensive factors: the soil resource factor, soil physical and chemical factor, vegetation factor, compound factor, interference factor and light source factor; (2) The frequency of occurrence of *S. canadensis* was positively correlated with available potassium, total plant density, weed coverage, organic matter, plant species number, elevation, slope, tree height, tree size, soil moisture content and was negative correlated with distance from water source, the available phosphorus, total phosphorus, and the soil pH. 【Conclusion】 This study is helpful to clarify the ecological factors of this invasive plant, and could provide a theoretical basis for its effective control.

**Key words:** invasive plant; *Solidago canadensis*; ecological factors; principal component

随着国际经济贸易的不断发展和全球气候变化, 植物入侵已成为世界性的经济和生态问题, 越来越多地受到生态学者的关注(王德艳等, 2017; 王明娜等, 2014)。外来入侵种往往具有适应能力

强、繁殖方式多样化等生态生物学特性, 对入侵地生物多样性、经济发展和人体健康造成严重危害(王宁等, 2016; 殷天颖, 2016; 周雨露等, 2016)。

目前, 我国入侵植物已达 380 多种, 其中菊科、

收稿日期(Received): 2018-09-22 接受日期(Accepted): 2018-11-02

基金项目: 国家自然科学基金(31772235); 国家重点研发计划(2016YFD0300205-03, 2017YFD0200604)

作者简介: 张震, 男, 教授, 博士。研究方向: 植物生态学和生态恢复

\* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: xjzhangzhen@163.com

豆科、禾本科和苋科植物较多,造成严重危害的杂草达 96 种(王瑞,2006;杨健,2013)。加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L. 原产于北美,最初作为庭园花卉引种栽培于我国上海、南京一带,目前已经广泛地逸生于浙江、上海、安徽、江西等地区,该入侵种在对蔬果林园和旱田作物产生严重影响的同时,对生态系统功能性、物种多样性造成了危害(陈彤等,2012;黄文生,2015;马明睿等,2014)。加拿大一枝黄花植株粗壮,株高 2.5 m 以上,具有快速繁殖能力和强烈的化感作用,在空间竞争中占有明显优势,从而在入侵地形成单优势种群,对土壤微生态环境产生影响,抑制本地物种的生长,引发区域生境的改变导致当地物种的丧失和物种多样性的下降(梁雷等,2016;钱振官等,2005;沈励花等,2007;唐昆,2015;徐文等,2014)。

为了明确加拿大一枝黄花的入侵格局,本研究通过对该植物入侵区域的各种生态因子进行量化与比较,从而进一步了解其入侵性与生态环境之间的关系,为加拿大一枝黄花的防治及分布区域预测提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

安徽省合肥市位于中国东部地区、长江下游,介于 31.11°–32.98°N、116.42°–118.19°E 间,总面积 11445.1 km<sup>2</sup>,地处江淮丘陵,地势总体为中部高、南北低,属亚热带湿润性季风气候,年平均温度 15.7 °C,降雨量近 1000 mm,年日照时间 2100 h(顾康康和祝玲玲,2017;李如忠等,2011)。

### 1.2 数据收集与处理

野外调查采用随机取样方法,以加拿大一枝黄花目击地为样地中心点,设置样地。选定样地中心点,设置 10 m×10 m 正方形样地,采用五点法在此样地设立 5 个 1 m×1 m 正方形样方,共设置 18 个样点。数据采集分 4 个不同层次,即乔木层、灌木层、地面层、土壤层,采用 22 个变量来表征加拿大一枝黄花生境的特征,各变量测定方法如下。

(1)海拔:样地中心点的海拔;(2)坡度:样地的宏观坡度,分为 0°–20°、20°–30°、30°–60°、60°–90°共 4 级;(3)土壤含水率:在样地取 0~20 cm 土壤带回,通过烘干法测得;(4)林型:分为农耕景观、荒地及弃耕地、常绿阔叶林、常绿落叶混交林、落叶阔叶、针阔混交林、针叶林、流石及苔草景观、退耕

坡地共 10 级;(5)样地中的植物种数:1~5、5~10、10~20 种;(6)样地中的植物总株数;(7)温度:以当地气象局所测温度为准;(8)乔木高度:样地中距中心点最近的一棵乔木的高度;(9)乔木大小:样地中距中心点最近的一棵乔木的胸径;(10)灌木数:样地中灌木的平均数;(11)杂草盖度:5 个 1 m×1 m 样地杂草盖度的平均值;(12)杂草高度:1~10、10~50、50~150 cm;(13)距水源距离:样地中心距最近水源距离;(14)耕地距:样地中心距最近耕地距离;(15)公路距:样地中心距最近公路的距离;(16)土壤全磷:使用碱熔-钼锑抗分光光度法测得;(17)土壤有机质:使用重铬酸钾容量法测得;(18)土壤总氮含量:使用凯氏定氮法测得;(19)有效磷:使用碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法测得;(20)缓效钾:使用热硝酸浸提-火焰光度计法测得;(21)速效钾:使用乙酸铵溶液浸提-火焰光度计法测得;(22)土壤 pH:带回实验室,使用 pH 计测得。

整理野外采集数据,进行标准化及加权平均,即为待分析数据。采用主成分分析(principal component analysis, PCA)方法提取加拿大一枝黄花生境的典型特征,探究表征加拿大一枝黄花生境的主要生态因子。上述数据分析均通过 SPSS 20.0 进行分析。

## 2 结果与分析

2017 年 11—12 月,共调查加拿大一枝黄花样地 18 个。数据分析结果表明,合肥各地的加拿大一枝黄花株高变异度较大(88~225 cm,  $n=13$ , 平均值 142.21 cm, 标准差 42.36 cm)。PCA 分析表明,前 6 个主成分的特征值均较大,其累积贡献率达 75.726%,说明前 6 个主成分基本包含了加拿大一枝黄花生境中“海拔”“坡向”等 22 个变量所含的信息,故取前 6 个主成分计算和辨析相应的特征向量,即可反映加拿大一枝黄花的生境(表 1)。

对加拿大一枝黄花样方中的各因子与主成分相关度分析(表 2),表明第一主成分中(以大于 0.5 作为一组)，“土壤全氮”“有机质”等 2 个因子的相关系数绝对值很高(>0.898),主要反映了加拿大一枝黄花入侵生境中土壤肥力特征,故将第一主成分定为“土壤肥力因子”。

第二主成分中,变量“水源距”“植株总数”“速效钾”“杂草盖度”“植物种类”的相关系数均很大(>0.571),反映了其生境的一般植被特征,故将第

二主成分命名为“植被因子”。

第三主成分中,“公路距”“海拔”“林型”“缓效钾”相关系数绝对值较大(>0.664),反映了加拿大一枝黄花生境中的人为干扰因子等条件对其影响,故将第三主成分命名为“干扰因子”。

第四主成分中,“有效磷”“全磷”“坡度”“灌木数”相关系数绝对值均大于0.628,主要反映了土壤磷含量、坡度等因子对加拿大一枝黄花的影响,故将第四主成分命名为“复合因子”。

第五成分中,“土壤pH”“土壤含水率”“温度”相关性系数绝对值均大于0.576,反映了加拿大一枝黄花入侵地土壤理化特征,故将其命名为“土壤理化因子”。

第六主成分中“乔木高度”“乔木大小”“杂草高度”等相关性系数绝对值大于0.552,可以反映加拿大一枝黄花生境内光照的一般情况,因此将其命名为“光源因子”(表3)。

对加拿大一枝黄花生境中的海拔、坡度、林型等22个因子进行相关分析,结果表明,加拿大一枝

黄花的发生频率与速效钾、样地中植物总株数、杂草盖度、有机质、植物种数、海拔、坡度、乔木高度、乔木大小、土壤含水率、公路距等生态因子呈正相关,与水源距、土壤有效磷、土壤pH、土壤全磷呈负相关。

### 3 讨论

目前普遍认为,入侵植物具有较强的繁殖能力、特殊的资源竞争优势、较好的表型可塑性以及化感抑制作用等,是造成入侵成功的主要原因。针对加拿大一枝黄花的研究是多方面的,如加拿大一枝黄花对水淹表现出正反馈,对干旱则表现出负反馈(杨柳青等,2011);在入侵地加拿大一枝黄花降低了土壤pH,提高了氮含量,与其他植物相比,入侵地土壤表层微生物生物量碳含量有所提高(梁雷等,2016);加拿大一枝黄花结实率较低,但仍可形成数量巨大的种子库(沈云霞等,2007)。但是,这些研究主要集中在加拿大一枝黄花对部分生态因子的影响和适应性,而入侵地不同生态因子对该入侵植物入侵性影响能力的研究较少。

表1 加拿大一枝黄花生境主成分特征值

Table 1 Characteristic value of principal component in the habitat of *S. canadensis*

变量 Variable	初始特征值 Initial eigenvalue			抽取后特征值 Extracted eigenvalue		
	特征值 Eigenvalue	贡献百分率 Contribution percentage/%	累积百分率 Cumulative percentage/%	特征值 Eigenvalue	贡献百分率 Contribution percentage/%	累积百分率 Cumulative percentage/%
海拔 Height	4.289	19.496	19.496	3.115	14.160	14.160
坡度 Falling gradient	3.633	16.514	36.011	3.087	14.034	28.194
土壤含水率 Soil moisture content	2.546	11.572	47.583	3.034	13.792	41.986
林型 Forest type	2.357	10.712	58.295	2.660	12.091	54.077
植物种数 Plant species	2.057	9.351	67.646	2.599	11.816	65.893
植物总数 Total density of plants	1.778	8.080	75.726	2.163	9.833	75.726
温度 Temperature	1.303	5.922	81.648			
乔木高度 Tree height	1.042	4.735	86.383			
乔木大小 Tree size	0.903	4.104	90.487			
灌木数 Shrub number	0.710	3.229	93.716			
杂草盖度 Weed coverage	0.452	2.055	95.771			
杂草高度 Weed height	0.390	1.773	97.543			
水源距 Distance from water source	0.250	1.138	98.681			
耕地距 Cultivated land distance	0.129	0.587	99.268			
公路距 Distance to nearest highway	0.064	0.292	99.560			
全磷 Total phosphorus	0.061	0.277	99.838			
有机质 Organic matter	0.036	0.162	100			
全氮 Total nitrogen	$1.49 \times 10^{-16}$	$6.77 \times 10^{-16}$	100			
有效磷 Available phosphorus	$5.42 \times 10^{-17}$	$2.46 \times 10^{-16}$	100			
缓效钾 Slowly available potassium	$-8.57 \times 10^{-19}$	$-3.90 \times 10^{-18}$	100			
速效钾 Available potassium	$-8.13 \times 10^{-17}$	$-3.70 \times 10^{-16}$	100			
土壤pH Soil pH	$-1.59 \times 10^{-16}$	$-7.24 \times 10^{-16}$	100			

表 2 加拿大一枝黄花生境主成分特征值特征向量的因子载荷矩阵

Table 2 Factor load matrix of the eigenvectors in the principal component analysis of *S. canadensis* habitats

变量 Variable	第一主成分 First principal component	第二主成分 Second principal component	第三主成分 Third principal component	第四主成分 Fourth principal component	第五主成分 Fifth principal component	第六主成分 Sixth principal component
全氮 Total nitrogen	0.911	0.092	0.099	0.032	0.049	0.069
有机质 Organic matter	0.898	0.176	0.058	-0.078	-0.024	0.169
水源距 Distance from water source	0.177	-0.903	-0.041	-0.016	-0.086	-0.067
植株总数 Total density of plants	0.296	0.700	0.432	-0.154	-0.001	0.052
速效钾 Available potassium	0.333	0.658	-0.211	-0.029	-0.413	-0.318
杂草盖度 Weed coverage	0.260	0.622	0.347	-0.165	0.135	-0.093
植物种类 Plant species	0.452	0.571	-0.378	-0.039	0.218	-0.342
公路距 Distance to nearest highway	0.185	-0.308	0.770	-0.322	0.192	0.111
林型 Forest type	-0.137	0.189	0.750	0.391	0.251	0.184
海拔 Height	0.079	0.135	0.744	0.187	0.098	0.064
缓效钾 Slowly available potassium	-0.046	0.267	0.664	0.025	-0.444	-0.105
有效磷 Available phosphorus	-0.188	-0.266	0.025	-0.787	0.255	-0.197
全磷 Total phosphorus	0.387	0.177	-0.132	-0.745	-0.162	0.044
坡度 Falling gradient	0.035	-0.199	0.289	0.676	0.167	-0.140
灌木数 Shrub number	0.040	-0.207	-0.265	0.628	0.393	0.210
土壤 pH Soil pH	-0.210	0.031	-0.052	-0.082	-0.820	-0.101
土壤含水率 Soil moisture content	-0.457	0.236	0.151	0.322	0.710	0.070
温度 Temperature	-0.162	0.066	0.219	0.071	0.576	-0.373
耕地距 Cultivated land distance	-0.407	-0.299	0.172	0.351	-0.486	-0.011
乔木高度 Tree height	0.101	-0.014	0.008	0.114	0.112	0.876
乔木大小 Tree size	0.143	-0.153	0.291	0.057	-0.110	0.710
杂草高度 Weed height	-0.502	0.136	-0.122	-0.162	0.069	0.552

表 3 加拿大一枝黄花生态因子的主成分分类及命名

Table 3 Classification and nomenclature of the principal components of the ecological factors of *S. canadensis*

主成分 Principal component	高载荷指标及其平均值 High load index and its average value	贡献率 Contribution rate/%	因子命名 Factor name
第一主成分 First principal component	全氮 Total nitrogen: (1085.0±227.6) mg · kg <sup>-1</sup> 有机质 Organic matter: (19.6±5.2) g · kg <sup>-1</sup>	14.160	土壤肥力因子 Soil fertility factor
第二主成分 Second principal component	水源距 Distance from water source: (600.3±405.0) m 植株总数 Total density of plants: (71.4±37.1) 株 速效钾 Available potassium: (128.2±35.4) mg · kg <sup>-1</sup> 杂草盖度 Weed coverage: (58.3±26.3) % 植物种类 Plant species: (6.3±1.9) 种	14.034	植被因子 Vegetation factor
第三主成分 Third principal component	公路距 Distance to nearest highway: (125.8±157.9) m 林型 Forest type 海拔 Height : (35.8±27.5) m 缓效钾 Slowly available potassium: (717.7±277.4) mg · kg <sup>-1</sup>	13.792	干扰因子 Interference factor
第四主成分 Fourth principal component	有效磷 Available phosphorus: (5.5±5.4) mg · kg <sup>-1</sup> 全磷 Total phosphorus: (316.6±62.2) mg · kg <sup>-1</sup> 坡度 Falling gradient: 10.3° ±17.4° 灌木数 Shrub number: (1.2±1.2) 株	12.091	复合因子 Compound factor
第五主成分 Fifth principal component	土壤 pH Soil pH: 6.9±0.9 土壤含水率 Soil moisture content: (21.2±6.2) % 温度 Temperature: (16.2±2.0) °C	11.816	土壤理化因子 Soil physical and chemical factors
第六主成分 Sixth principal component	乔木高度 Tree height: (8.5±5.8) m 乔木大小 Tree size: (9.6±7.0) cm 杂草高度 Weed height: (74.3 ±20.2) cm	9.833	光源因子 Light source factor

通过对设定的 22 个生态因子进行 PCA 分析, 表明在构成第一主成分的 4 个变量中, “土壤全氮”

“有机质”对加拿大一枝黄花生境生态变量的信息贡献较大(达 14.160%), 而且其相关系数都在

0.898之上(平均值为0.905),两因子与加拿大一枝黄花的入侵发生呈正相关。这一组因子对加拿大一枝黄花影响最大,作为第一主成分,其特征根为3115,贡献百分率和累积百分率均为14.16%,反映了其生境的一般土壤资源特征。土壤养分的提高与植物的生长竞争之间关系密切,通常认为微环境的土壤肥力高低对植物入侵有着重要意义。研究发现,在同等肥力水平下,入侵植物紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* (Spreng.) R. M. K. 相对于本地植物表现出更强的适应性,且肥力水平越高,其入侵能力越高(蒋智林等,2008);豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L. 种植区的土壤酶活性相较于空白区和本地植物种植区有显著提高,这表明豚草在入侵过程中比本地植物更快提高土壤肥力和土壤酶活性,对自己成功入侵形成优势(李会娜等,2009);土壤酶活性和土壤肥力是意大利苍耳入侵的重要驱动因子(李乔等,2013)。在本研究中发现土壤有机质和全氮对加拿大一枝黄花入侵有着积极作用。

第二主成分中,变量“水源距”“植株总数”“速效钾”“杂草盖度”“植物种类”的相关系数均很大(>0.571),平均值为0.691;该主成分特征根为3.087,贡献百分率和累积百分率分别为14.034%和28.194%。植物入侵与入侵地内的群落物种丰富度有关,即物种丰富度较低的群落更容易受到入侵(Elton,1958)。本研究发现,“样地内植物物种数”与加拿大的入侵呈正相关,这与贾桂康和薛跃规(2011)对广西省飞机草 *Eupatorium odoratum* L. 和紫茎泽兰的生态因子研究结果相符,表明植物入侵在某种程度上与群落多样性相关。在群落多样性影响植物可入侵性的同时,入侵植物也会改变入侵地的群落多样性,如喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. 在入侵地对乡土植物群落同时产生了正向和负向的影响,并且在其入侵量达到一定阈值时导致了植物多样性的下降(郭连金等,2009);在新疆地区入侵的黄花刺茄 *Solanum rostratum* Dunal. 和刺苍耳 *Xanthium spinosum* Linn. 影响了入侵区域的植物群落的结构和组成,降低了物种多样性,减少了物种数量(宋珍珍等,2012);许凯扬等(2004)认为喜旱莲子草的入侵和植物群落的物种多样性相关的同时,物种群落功能性也是考虑植物入侵的一个重要因素。

第三主成分中,“公路距”“海拔”“林型”“缓效

钾”相关系数绝对值较大(>0.664),平均值为0.732,各因子与加拿大一枝黄花发生频率呈正相关;该主成分特征根为3.034,贡献百分率和累积百分率分别为13.792%和41.986%。公路距与加拿大一枝黄花发生率相关性较大(0.77),且呈正相关,表明距离水源或公路越近,加拿大一枝黄花出现的概率就越大。植物入侵与人类活动的关系也是生态学家们近来来关注的一个重点,湖南省的入侵植物大多分布在人为干扰比较频繁的低海拔区域(王小冬和彭杨,2015);人类活动降低的区域,入侵植物的种类和数量都随之降低(Zhang *et al.*, 2012),这表明人类的干扰对物种的入侵有着重要的影响。“林型”和“坡度”可以间接反映植物可利用的光照资源,大多数外来植物对郁闭度小的人工林和人为干扰严重的生态系统影响较大(赵见明,2007),本研究发现,加拿大一枝黄花在林地中出现的概率比较大,这可能是由于以乔木为主的林地中物种多样性较低缘故。同时,植物入侵与海拔高度还有一定的关系,在北京地区,入侵植物在不同海拔高度均有分布,数量和海拔高度两者之间且呈现线性关系,海拔100~900 m 是入侵植物数量较多的区域(王苏铭等,2012)。

第四主成分中,“有效磷”“全磷”“坡度”“灌木数”相关系数绝对值均大于0.628,平均值达到0.709;该主成分特征值为2.66,贡献百分率为12.091%,累积百分率为54.077%。其中有效磷、全磷与加拿大一枝黄花发生频率呈负相关,坡度和灌木数与加拿大一枝黄花发生频率呈正相关。一般认为土壤环境会对土壤微生物产生影响,而土壤微生物群落的多样性和功能性与植物入侵也息息相关,外来植物假臭草 *Praxelis clematidea* (Griseb.) R. M. K.、五爪金龙 *Ipomoea cairica* (L.) Sweet 和南美蟛蜞菊 *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc. 可以改善入侵地土壤环境,提高土壤营养水平,形成对自身生长、繁衍、扩张有利的条件(陈国奇等,2008;全国明等,2016a, 2016b);黄顶菊 *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze.、豚草和三叶鬼针草 *Bidens pilosa* L. 3种菊科入侵植物对氮的利用能力显著高于本地植物,在入侵后会导致土壤速效钾含量显著下降(贾月月等,2015),这表明植物在入侵过程中利用自身对土壤养分的高效吸收来提高竞争能力。此外,坡度和灌木数对植物进行光合作用产生影响,进而对入侵

植物的生长、繁殖产生一定的抑制作用。

第五成分中,“土壤 pH”“土壤含水率”“温度”相关性系数绝对值均大于 0.576,平均值为 0.702,该主成分特征根为 2.599,贡献百分率为 11.816,累积百分率为 65.893%。土壤含水率可以反映土壤湿润度及植物可利用水资源状况,在丹江口库区植物只有 41.4%可以完全确定无入侵性,并认为水源是水生植物入侵的一个重要途径(何志恒和张全发,2007)。而本研究发现,加拿大一枝黄花出现频率随着与水源距离增加而降低,这可能与该入侵植物属于陆生植物有关。

第六主成分中,“乔木高度”“乔木大小”“杂草高度”等相关性系数绝对值绝对大于 0.552,可以反映加拿大一枝黄花生境内光照的一般情况,因此将其命名为“光源因子”;该主成分的平均值为 0.713,特征根为 2.163,贡献百分率和累积百分率分别为 9.833%和 75.726%。植物入侵与入侵地的可利用资源相关,在可利用资源充足的条件下,植物入侵发生的概率会更大。如:光强是影响剑叶金鸡菊 *Coreopsis lanceolata* L. 入侵的一个重要因素,在遮阴条件下,其资源利用能力下降(曾建军等,2012);黄顶菊较强的光合作用对其在高温干旱的条件下的入侵具有重要意义(皇甫超河等,2009);土壤资源也被认为是植物入侵成功的一个重要因素,如土壤水分含量、坡度、林冠层郁闭度、土壤翻耕程度、放牧程度是影响植物入侵的关键环境因子(陈国奇等,2008)。

综上所述,加拿大一枝黄花生境的信息可以由 6 个主要的综合因子来表征(含信息量的 95.45%),因此,在对加拿大一枝黄花生境进行较大尺度的生态研究时,可集中对上述的 6 个主成分(土壤肥力因子、植被因子、干扰因子、复合因子、土壤理化因子和光源因子)所含的 21 个变量进行量化比较。

### 参考文献

陈国奇,郭水良,印丽萍,2008. 外来入侵种植物学性状和环境因子间关系的典范对应分析. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 34(5): 571-577.

陈彤,刘文莉,张崇邦,王江,2012. 加拿大一枝黄花入侵对本土植物群落动态的影响及其机制. *植物生态学报*, 36(3): 253-261.

顾康康,祝玲玲,2017. 城市居住区开发强度与微气候的关

联性研究——以合肥市为例. *生态环境学报*, 26(12): 2084-2092.

郭连金,徐卫红,孙海玲,乐婉,梁熠萌,2009. 空心莲子草入侵对乡土植物群落组成及植物多样性的影响. *草业科学*, 26(7): 137-142.

何志恒,张全发,2007. 南水北调中线工程对具入侵性植物传播的潜在影响评估. *植物科学学报*, 25(4): 335-342.

皇甫超河,王志勇,杨殿林,2009. 外来入侵种黄顶菊及其伴生植物光合特性初步研究. *西北植物学报*, 29(4): 781-788.

黄文生,2015. 加拿大一枝黄花化学防治研究. *现代农业科技* (23): 119-120.

贾桂康,薛跃规,2011. 紫茎泽兰和飞机草在广西的入侵生境植物多样性分析. *生态环境学报*, 20(5): 819-823.

贾月月,张晓亚,闫静,殷吉林,张凤娟,2015. 3 种入侵菊科植物对入侵域土壤肥力的影响. *河北大学学报(自然科学版)*, 35(5): 494-502.

蒋智林,刘万学,万方浩,李正跃,2008. 紫茎泽兰与本地植物群落根际土壤酶活性和土壤肥力的差异. *农业环境科学学报*, 27(2): 660-664.

李会娜,刘万学,万方浩,曹远根,2009. 入侵植物豚草与本地植物马唐对土壤肥力与酶活性影响的比较. *中国生态农业学报*, 17(5): 847-850.

李乔,王月,张玉曼,贾月月,张凤娟,2013. 意大利苍耳入侵对土壤酶活与土壤肥力的影响. *河北科技师范学院学报*, 27(3): 6-9.

李如忠,周爱佳,童芳,吴亚东,张萍,喻佳,2011. 合肥市城区地表灰尘重金属分布特征及环境健康风险评价. *环境科学*, 32(9): 2661-2668.

梁雷,叶小齐,吴明,邵学新,李长明,2016. 加拿大一枝黄花入侵对杭州湾湿地围垦区土壤养分及活性有机碳组分的影响. *土壤*, 48(4): 680-685.

马明睿,杨洁,王强,唐丽红,由文辉,2014. 河岸带加拿大一枝黄花化学计量学及入侵机理研究. *中国环境科学*, 34(6): 1531-1539.

钱振官,沈国辉,柴晓玲,李涛,2005. 加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis* L.) 不同水浸液对作物种子发芽和生长的影响. *上海农业学报*, 21(3): 32-35.

全国明,代亭亭,章家恩,徐嘉琳,2016a. 假臭草入侵对土壤养分与微生物群落功能多样性的影响. *生态学杂志*, 35(11): 2883-2889.

全国明,毛丹鹃,章家恩,谢俊芳,秦钟,2016b. 五爪金龙、南美蟛蜞菊入侵对土壤化学和微生物学性质的影响. *植物营养与肥料学报*, 22(2): 437-449.

沈荔花,郭琼霞,林文雄,陈颖,黄振,2007. 加拿大一枝黄花对土壤微生物区系的影响研究. *中国农学通报*, 23

- (4): 323-327.
- 沈云霞, 何井瑞, 魏传芬, 金银根, 2007. 加拿大一枝黄花种子萌发过程中的超弱发光特性研究. 杂草学报 (1): 26-29.
- 宋珍珠, 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.
- 唐昆, 2015. 加拿大一枝黄花. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- 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.
- 王明娜, 戴志聪, 祁珊珊, 王晓莹, 杜道林, 2014. 外来植物入侵机制主要假说及其研究进展. 江苏农业科学, 42(12): 378-382.
- 王宁, 李卫芳, 周兵, 闫小红, 2016. 中国入侵克隆植物入侵性、克隆方式及地理起源. 生物多样性, 24(1): 12-19.
- 王瑞, 2006. 我国严重威胁性外来入侵植物入侵与扩散历史过程重建及其潜在分布区的预测. 博士学位论文. 北京: 中国科学院研究生院(植物研究所).
- 王苏铭, 张楠, 于琳倩, 赵容慧, 郝鹏, 李景文, 姜英淑, 沙海峰, 刘义, 张志翔, 2012. 北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素. 生态学报, 32(15): 4618-4629.
- 王小冬, 彭扬, 2015. 湖南省外来入侵植物现状分析. 科教导刊 (1): 168.
- 徐文, 吴耀, 岑铭松, 张莉丽, 尉吉乾, 2014. 加拿大一枝黄花入侵对农田土壤特性的影响初探. 中国植保导刊, 34(5): 63-65.
- 许凯扬, 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 2004. 植物群落的生物多样性及其可入侵性关系的实验研究. 植物生态学报, 28(3): 385-391.
- 杨健, 2013. 我国外来生物入侵的现状及管理对策研究. 硕士学位论文. 荆州: 长江大学.
- 杨柳青, 廖飞勇, 赵坤, 许潜, 冯加生, 吴红强, 2011. 水分胁迫对加拿大一枝黄花光合和荧光参数的影响. 北方园艺 (23): 12-14.
- 殷天颖, 2016. 外来植物入侵对土壤生物多样性和生态系统过程的影响. 农业与技术, 36(4): 31.
- 曾建军, 肖宜安, 周小军, 2012. 入侵植物剑叶金鸡菊克隆繁殖特性及群落特征. 植物研究, 32(2): 147-150.
- 赵见明, 2007. 瑞丽主要外来入侵植物. 西南林业大学学报 (自然科学), 27(1): 20-24.
- 周雨露, 李凌云, 高俊琴, 丁艳, 2016. 种间竞争对入侵植物和本地植物生长的影响. 生态学杂志, 35(6): 1504-1510.
- ELTON C S, 1958. *The Ecology of invasive animals and plants*. London: Methuen.
- ZHANG Y Y, FENG J Z, SANG W G, XUE D Y, 2012. Distribution of invasive plant species in relation to environmental and anthropogenic factors in five nature reserves in Northern China. *Journal of Resources and Ecology*, 3: 278-283.

(责任编辑: 郭莹)