

河岸带加拿大一枝黄花化学计量学及入侵机理研究

马明睿,杨洁,王强,唐丽红,由文辉* (华东师范大学环境科学系,上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室,上海 200062)

摘要: 通过对河岸带土壤与加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis* L.)全年各生长期氮、磷质量分数的研究,分析河岸带土壤环境特性,以期探究加拿大一枝黄花成功入侵河岸带的机理.结果显示:研究区土壤中氮元素质量分数上层 1.22mg/g,下层 0.96mg/g、磷元素质量分数上层 0.59mg/g,下层 0.55mg/g,较全国土壤平均氮、磷质量分数均偏低,年际变化不明显.N/P 平均值较低,且随季节变化逐渐减小.加拿大一枝黄花各部位氮磷质量分数为叶>茎>根.与其他草本植物相比,植株中氮质量分数稍低,磷质量分数则明显偏高.随植物生长期的变化,植株各部分氮磷质量分数均显示前期较高,中期有所下降,后期逐渐升高的趋势.加拿大一枝黄花 N/P 变化范围 2.25~4.75,明显低于其他草本植物,主要原因在于植株有很高的磷质量分数以及土壤环境中氮素的匮乏,说明其生长受到氮素的限制.对植株茎、叶、根中氮、磷元素与 N/P 进行相关分析表明,茎、叶中磷质量分数与 N/P 具有显著负相关关系($P<0.05$),而根中氮质量分数与 N/P 具有极显著正相关关系($P<0.01$).说明了磷素主导了植物地上部分的生长,而氮素主导地下部分.研究区内土壤氮质量分数严重匮乏、磷质量分数也明显偏低,但加拿大一枝黄花植株中氮质量分数仅稍低于其他草本植物,磷质量分数却显著高于其他植物,可以认为其对氮、磷元素的吸收、积累能力远高于其他草本植物,这可能是加拿大一枝黄花得以在河岸带特殊环境中成功入侵的机理.

关键词: 河岸带; 土壤特性; 加拿大一枝黄花; 生态化学计量学; 入侵机理

中图分类号: X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2014)06-1531-09

Nitrogen and phosphorus stoichiometry and invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L. in riparian zone. MA Ming-rui, YANG Jie, WANG Qiang, TANG Li-hong, YOU Wen-hui* (Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration College of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China). *China Environmental Science*, 2014,34(6): 1531~1539

Abstract: By analyzing several environmental properties of soil in the riparian zone, particularly, our studies on nitrogen and phosphorus content of *Solidago Canadensis* L. each growth period one year, revealed mechanism of how *S. Canadensis* L. successfully invaded in riparian zone. Research results show that: Nitrogen content, in the upper and lower soil area respectively, is 1.22mg/g and 0.96mg/g. In comparison, phosphorus content in the upper soil is 0.59mg/g, in the lower one is 0.55mg/g, which are lower than national average soil nitrogen and phosphorus content. In addition, obvious interannual variation was not observed and N/P average we measured was apparently low and decreased with the seasons changed. Each part of the *S. Canadensis* L. nitrogen and phosphorus content is leaf > stem > root. Comparing with other herbs, the nitrogen content of *S. Canadensis* L. is much low, however, the phosphorus content is obviously on the high side. Along with the change of vegetation growth, nitrogen and phosphorus content of each part in the plant demonstrates a trend of decreasing at beginning then increases at the end. N/P of *S. Canadensis* L. ranging from 2.25 to 4.75, is significantly lower than the other herbs. Plants of *S. Canadensis* L. has a high phosphorus content and a lack of nitrogen in the soil so as to its growth was limited by N. By analyzing nitrogen and phosphorus in plant stem, leaf, root element and the N/P correlation shows that the phosphorus content in the stem and leaf and N/P has significant negative correlation ($P < 0.05$), while nitrogen content in the root and the N/P has a significant positive correlation ($P < 0.01$) which illustrates the phosphorus dominated the growth of plants and nitrogen dominated the underground part. With a grave shortage of soil nitrogen content and phosphorus content obviously lower in the study, the nitrogen content in the plant of *S. Canadensis* L. is only

收稿日期: 2013-10-11

基金项目: 上海市市容绿化局项目(G102407)

* 责任作者, 教授, youwenhui1964@126.com

slightly lower than other herbaceous plants and the phosphorus content is significantly higher than that of other plants. It could be probably that its ability of absorption and accumulation nitrogen and phosphorus is much higher than other herbs, which might be the mechanism of *S. canadensis* invaded in the special environment of riparian zone successfully.

Key words: riparian zone; soil properties; *solidago canadensis*; ecological stoichiometry; invasion mechanisms

河岸带是受淡水有规律影响的半陆地过渡带,是一种重要的生态交错带,作为连接水生生态系统和陆地生态系统的枢纽^[1],具有明显的边缘效应,是地球生物圈中最复杂的生态系统之一^[2].作为一种典型的开放系统,由于频繁的自然和人为干扰,以及动态的营养水平和水文条件,河岸带极易被外来植物所入侵^[3-5].而河流滨岸带生态系统的退化往往伴随着原始植被的退化和大量外来物种的入侵^[6].

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis* L.),菊科(Asteraceae)多年生草本,原产于北美,20世纪30年代作为庭园植物引种入上海、南京,到八十年代逸出成为野生种^[7],之后迅速在我国东部地区扩散,是一种典型的外来入侵杂草,已被列入中国重要外来有害植物名录^[8].国内外学者针对加拿大一枝黄花的生物生态学特征^[9-12]、化感作用^[13-16]、种子生物学与扩散特征^[17-18]、以及对土壤特性影响^[19-21]等方面开展了研究工作.

生态化学计量学是研究生物系统能量和化学元素平衡的科学^[22].Red field^[23]发现海洋浮游生物具有特定C、N和P组成规律后,在水生生态系统中,逐渐发展和确立了生态化学计量学.十年来,陆地生态系统方面^[24-27]和湿地生态系统^[28-29]的研究也逐渐开展起来并得到了较大发展.陆生生态系统和湿地生态系统中,氮、磷是限制植物生长最普遍的2种元素^[30],对植物功能起到非常重要的作用.对植物氮、磷浓度及氮磷比的研究,是当下植物功能生态学研究热点^[31].由于不同植物对土壤营养需求的差异,会导致植物氮、磷质量分数及N/P的不同,故植物的化学计量学特征可指示植物的入侵情况^[32].国外也有一些学者对入侵种生态化学计量学特征进行了研究^[33-34],但对于加拿大一枝黄花的生态化学计量学研究

罕有报道.

本文选择加拿大一枝黄花重度入侵的河岸带作为研究区,对加拿大一枝黄花的氮磷化学计量学特征进行研究,以期能够探究其在氮、磷质量分数及其生态化学计量方面的特殊性,再结合土壤化学计量学特征,为揭示加拿大一枝黄花入侵河岸带的机理提供新思路.

1 研究方法

1.1 样地设置

本研究样地设置在上海市闵行区樱桃河中段北岸河岸带,位于东经121.4520°,北纬31.0342°,为撂荒地,该地区属于北亚热带海洋性季风气候,四季分明,雨量适中,日照充足.加拿大一枝黄花经过多年生长,非常茂盛.为能够完全反应滨岸带生境,故依次按加拿大一枝黄花与河岸距离,在3、10、25m处设置3条样带,每次每条样带上设置3个平行样方进行样品采集.

1.2 采样时间

采样时间参照加拿大一枝黄花的生长周期进行,并考虑当时天气因素,即采样前3d内无降雨,分别于幼苗期(4月20日),成熟期(6月29日),开花期(9月2日),结果期(11月23日)对样地不同样带进行植被和土壤的样品采集.

1.3 样品采集

每条样带中,在加拿大一枝黄花生长茂盛的位置,选取3个1m×1m的样方进行调查,连根采集样方内加拿大一枝黄花,带回实验室分析.

在每个植物样方中,加拿大一枝黄花根系附近,去除地面植物和凋落物,使用直径为3.6cm的不锈钢采样器在每个点分别按0~10cm、10~20cm深度分层采取土样,用于测定土壤理化

性质指标.

1.4 样品处理

将植物根、茎、叶分离,在 75℃(48h)恒温下烘干至恒重,然后进行粉碎,装袋备用^[35].将土壤样品在 105℃(8h)恒温干燥箱中烘干至恒重.将植物样品和土壤样品进行浓硫酸硝化,然后采用 Skalar San++流动注射分析仪(Skalar,荷兰)进行 N、P 质量分数的测定.

1.5 数据分析

数据分析采用 SPSS 18 统计软件,对不同生长期间的土壤、植物数据进行单因素方差分析(SPSS,One-way ANVOA),并进行 LSD 法进行多重比较.对植物 N 质量分数、P 质量分数与 N/P 进行正态分布检验(SPSS,Shapiro-Wilk tests),在各数据不能满足正态分布的情况下,进行了自然对数转换.对以上各组数据之间进行相关分析(SPSS,Bivariate Pearson)并进行双侧显著性检验.

2 结果与分析

2.1 河岸带土壤养分化学计量特征及变化

样地中不同加拿大一枝黄花生长期间的土壤养分统计结果如表 1.土壤上层(0~10cm)全氮、全磷质量分数变化规律相似,幼苗期最高,之后有所降低,在开花期少量回升,结果期又表现出下降趋势,幼苗期与结果期差异显著,全氮、全磷质量分数全年平均(1.22±0.30)mg/g、(0.59±0.06)mg/g,下层土壤(10~20cm)全氮、全磷质量分数均低于上层,且生长时期间差异不显著,全氮年均(0.96±0.14)mg/g,全磷年均(0.55±0.04)mg/g.根际土壤 N/P 范围在 1.55~2.29,总体平均值 1.88±0.28.上层土壤 N/P 值始终高于下层土壤;上层土壤该值在幼苗期最高,经过下降、上升再下降的波动过程,各时期差异不显著($P>0.05$);下层土壤 N/P 则是先上升后降低,在成熟期达到最大值,各时期之间差异亦不显著($P>0.05$).

表 1 各时期土壤全氮、全磷质量分数及 N/P
Table 1 Soil total N, P and N/P in different growth periods

时期	土壤全氮质量分数(mg/g)		土壤全磷质量分数(mg/g)		土壤 N/P	
	0~10cm	10~20cm	0~10cm	10~20cm	0~10cm	10~20cm
幼苗期	1.53±0.59a	0.99±0.05a	0.66±0.08a	0.58±0.07a	2.29±0.69a	1.73±0.22a
成熟期	1.23±0.31ab	1.08±0.24a	0.58±0.04ab	0.57±0.02a	2.10±0.38a	1.89±0.38a
开花期	1.29±0.06ab	0.99±0.20a	0.59±0.04ab	0.56±0.05a	2.19±0.26a	1.77±0.29a
结果期	0.82±0.15b	0.76±0.20a	0.52±0.00b	0.49±0.03a	1.57±0.28a	1.55±0.38a
年均	1.22±0.30	0.96±0.14	0.59±0.06	0.55±0.04	2.04±0.32	1.74±0.14

注:同列数据不同字母表示在0.05水平上差异显著,下同

2.2 加拿大一枝黄花氮磷质量分数及变化

加拿大一枝黄花植株各部分全氮质量分数如图 1,叶中含氮量最高,平均为(17.01±1.43)mg/g,茎与根中含氮量差别较小,平均值分别为(6.31±1.37)mg/g 和(5.85±2.04)mg/g.叶幼苗期含氮量最高(18.36±0.53)mg/g,在成熟期有所降低至(15.11±1.94)mg/g 后持续上升,幼苗期和成熟期差异显著($P<0.05$),其他时期间差异不显著($P>0.05$);根中全氮质量分数变化趋势与叶相似,幼苗期较高,成熟期下降至最低值(3.85±0.57)mg/g,之后持续上升,结果期达到最高值

(8.61±2.72)mg/g,结果期与幼苗期、成熟期之间均有显著差异($P<0.05$);茎含氮量则表现出持续下降的趋势,幼苗期质量分数最高(4.90±1.09)mg/g,之后 3 个时期基本保持稳定,有少量减少,幼苗期与其他 3 个时期间均有显著差异($P<0.05$).

植株各部分全磷质量分数中(图2),叶质量分数也为最高,平均(3.31±0.58)mg/g,茎中平均质量分数为(2.28±0.47)mg/g,根中为(1.87±0.14)mg/g.叶幼苗期质量分数最高(3.87±0.71)mg/g,直至开花期降低至最低值(2.55±0.32)mg/g,在结果期又

有所回升,开花期与幼苗期、结果期均有显著差异($P<0.05$),而成熟期与其他时期均无显著差异($P>0.05$);茎全磷质量分数在幼苗期也为最高(2.81 ± 0.62)mg/g,之后持续下降至结果期的(1.85 ± 0.96)mg/g,幼苗期与结果期间有显著差异($P<0.05$);根的含磷量呈先降后升再降的过程,但波动幅度很小,且各时期间差异均不显著($P>0.05$).

著高于茎、根.叶中 N/P 在植株幼苗期、成熟期保持稳定,开花期迅速升高之后又回落,开花期与前两时期有显著差异($P<0.05$).茎、根中,N/P 在幼苗期到开花期变化趋势相似,呈先降低后增高趋势,但在开花期后,茎 N/P 保持稳定,根 N/P 有较快速提升,接近叶 N/P 水平,茎各时期差异不显著($P>0.05$),根在结果期与其他时期有显著差异($P<0.05$). (图 3)

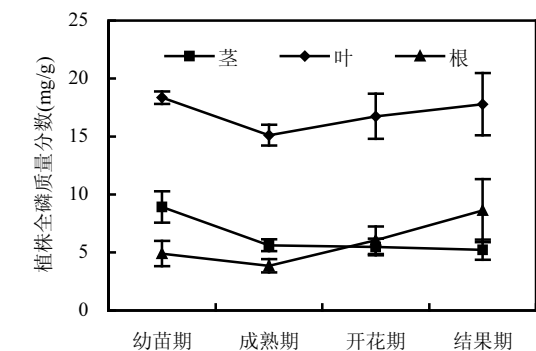


图 1 加拿大一枝黄花全氮质量分数动态
Fig 1 Total N in different growth periods of *Solidago canadensis* L.

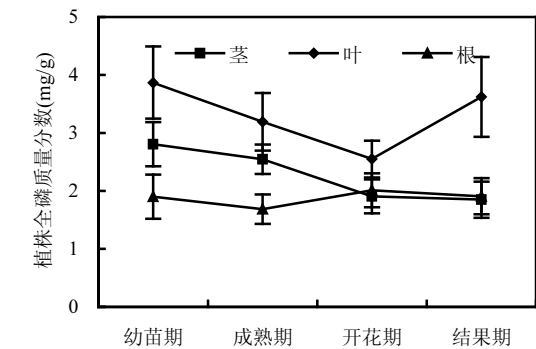


图 2 加拿大一枝黄花全磷质量分数动态
Fig.2 Total P in different growth periods of *Solidago canadensis* L.

2.3 加拿大一枝黄花氮磷化学计量学特征特征及变化

加拿大一枝黄花茎、叶、根中 N/P 范围(表 2)分别在 2.25~3.24,4.75~6.71,2.71~4.45,平均值为 $2.88\pm0.44,5.32\pm0.93,3.12\pm0.94$,年均叶 N/P 显

表 2 加拿大一枝黄花各器官 N/P

Table 2 N/P ratio indifferent organs of *Solidago canadensis* L.

生长期	茎	叶	根
幼苗期	3.24±0.53a	4.85±0.82b	2.71±1.14b
成熟期	2.25±0.35a	4.75±0.28b	2.29±0.16b
开花期	2.97±0.96a	6.71±1.71a	3.01±0.40b
结果期	3.05±1.03a	4.98±0.87ab	4.45±0.90a

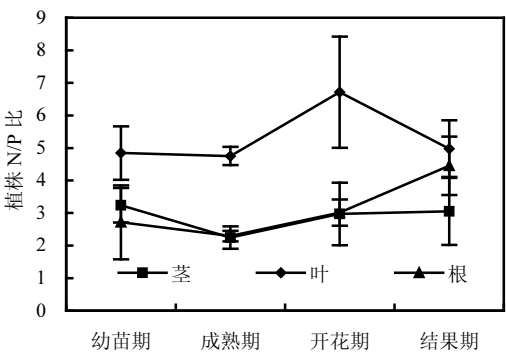


图 3 加拿大一枝黄花 N/P 比不同生长时期动态
Fig.3 N/P ratio in different growth periods of *Solidago canadensis* L.

2.4 加拿大一枝黄花 N、P 质量分数与 N/P 相关性分析

分别对加拿大一枝黄花茎、叶、根中的 N、P 质量分数与 N/P 进行相关分析,结果如图 4. 茎中 P 质量分数与 N/P 有显著负相关关系($P<0.05$),叶中 P 质量分数与 N/P 负相关关系极显著($P<0.01$),茎、叶 N 质量分数与 N/P 不存在显著相关性.根中 N 质量分数与 N/P 具极显著正相关关系($P<0.01$),P 质量分数与 N/P 则不存在显著相关.

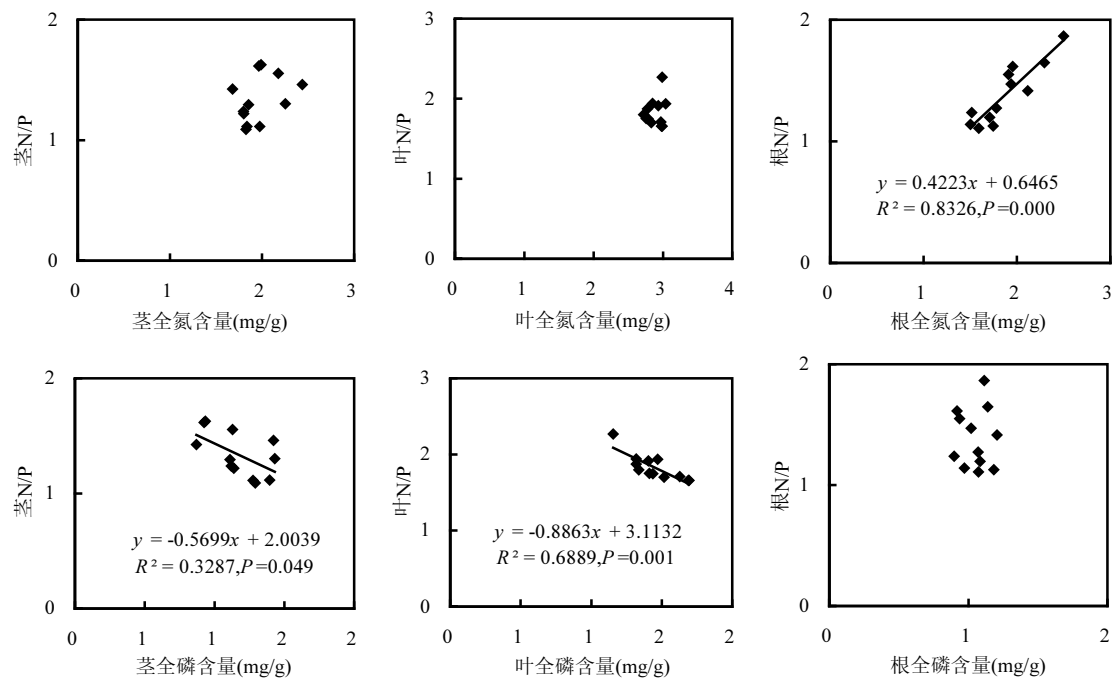


图4 加拿大一枝黄花 N、P 质量分数与 N/P 相关性
Fig.4 Relationships between N,P and N/P of Solidago Canadensis L.

3 讨论

3.1 河岸带土壤氮磷化学计量特征

河岸带特殊的地位导致了其特殊的生境条件,而土壤理化性质是反映河岸带生境的重要因素^[36].Tian 等^[37]对全国土壤理化性质的研究结果表明,全国土壤全氮平均值上层 1.87mg/g,下层 1.34mg/g,全磷质量分数上层 0.78mg/g,下层 0.71mg/g,本研究区内土壤中,总氮全年平均质量分数上层 1.22mg/g,下层 0.96mg/g,总磷上层 0.59mg/g,下层 0.55mg/g.可见,本样地中各层土壤氮、磷质量分数均比全国平均值低,尤其是氮质量分数,说明研究区土壤氮、磷养分较为贫乏.但综合本研究结果与前人对太子河^[38]、秦淮河^[39]、海城河^[40]河岸带土壤理化性质的研究结果(表 3),发现除太子河全磷含量较全国水平略高外,其他河岸带土壤中含氮量、含磷量普遍较全国水平低.这可能与河岸带土壤含水率高,且受到地表径流冲刷作用明显,导致了 N、P 等营养元素流失较为严重有关.

表 3 河岸带土壤氮、磷含量
Table 3 Soil total N, P in riparian zone

样地	土壤全氮质量分数(mg/g)	土壤全磷质量分数(mg/g)
全国 ^[37]	1.87	0.78
太子河 ^[38]	1.41	0.81
秦淮河 ^[39]	1.47	0.35
海城河 ^[40]	1.22	0.69

上层土壤含氮量、含磷量及 N/P 均高于下层,这与 Tian 等^[37]的研究结果相同,也与国内其他河岸带土壤研究^[36,38-40]得出的趋势相符合.上层土壤含氮量、含磷量在一年内呈下降趋势,在加拿大一枝黄花幼苗期和结果期有显著差异,但是幼苗期与成熟期、开花期之间,成熟期、开花期与结果期之间都不存在显著差异,表明含量的减少是持续渐变的.下层土壤则在各时期均无显著差异,这是由于腐殖质层对上层土壤的营养盐补充更为明显,且河岸带土壤含水率较高,草本植物根系较浅,主要吸收上层土壤营养,导致上层土壤营养物质质量分数更高且变化更为明显.冬季植物枯萎,叶片脱落,营养物质进入土层开始新一轮的

营养物质周转,第二年春季凋落物中营养物质开始分解,进入土壤,随着时间推移,地表凋落物逐渐减少,土壤营养元素补充减少,而植物吸收能力逐渐增强,又有一部分因淋融作用下渗,土壤中的营养元素含量持续下降,结果期地表凋落物已消耗殆尽,而植物吸收更多的养分进行繁殖及过冬,导致了土壤营养元素含量偏低.而下层土壤中植物根系吸收较少,且得到上层土壤营养物质淋融作用的补充,故仅有少量减少.土壤 N/P 整体呈下降趋势,说明氮质量分数的减少速率高于磷质量分数,流失更快,可能成为该生境的限制因子.

3.2 加拿大一枝黄花植株氮磷质量分数及动态

本研究中加拿大一枝黄花植株中氮质量分数均大于磷质量分数,植株各部位含氮量、含磷量全年平均值均为叶>茎>根,此结果与任莉等^[41]及袁惠燕等^[42]对加拿大一枝黄花各部位质量分数的研究趋势一致.叶是植物主要光合作用器官,因此也是植株吸收营养物质最多的部位,而根、茎是营养物质吸收、运输的主要器官,营养物质的积累较少.叶中年均含氮量 17.01mg/g,年均含磷量 3.31mg/g,与 Han 等^[43]对全国 753 种植物叶片氮磷质量分数的研究以及任书杰^[44]对中国东部南北样带 654 种植物叶片氮、磷质量分数研究中草本植被相比,本研究氮质量分数稍低,而磷质量分数则高于两篇文献,与 He 等^[45-46]对中国草地研究结果相比也有同样的区别.一般认为,植物中磷质量分数受不同生长或发育速率的有机体 rRNA 中磷质量分数变化的影响^[47],即生长、发育速度较快的植物有较高的磷质量分数,所以可以认为,加拿大一枝黄花磷质量分数偏高是由其快速的生长导致.根中年均含氮量、含磷量为 5.85mg/g,1.87mg/g,与徐冰等^[48]的研究相比,氮质量分数偏低而磷质量分数相近.与温带草地植物相关研究相比^[49]氮质量分数偏低、磷质量分数则偏高.也可以说明,氮为本研究区内主要限制植物生长的元素.

植物生长各阶段为了满足植物不同生长速率对养分的需求,植物体内结构性物质、功能性物质以及储藏性物质在分配比例上会表现出不同的特征,高等植物可能会不断地调整体内营养

物质的分配^[50].幼苗期,植物体将功能性物质向幼嫩组织转移,以供应植物迅速生长所需的营养元素;在开花期,又将营养物质向生殖器官中转移,以利于繁殖更多后代;而到了结果期,一方面会将营养物质转移入果实、种子中,另一方面,多年生草本为了保证植物越冬存活,以及来年新生组织的快速生长,又会将营养物质向根部转移^[51].另外,随着植物生长速率的加快,生物量快速增加,也会导致氮磷等营养元素的质量分数下降,产生稀释效应^[52].

研究区内的加拿大一枝黄花,在幼苗期,生物量小但积累了较多的营养物质,都有较高的氮、磷质量分数,尤其是生长快速的叶中,随着植株的生长,生物量快速增高,稀释效应逐渐明显,植株内各部分的氮、磷质量分数都有所下降.到达成熟期之后,植株生长速率变慢,氮质量分数逐渐稳定,有所回升,但由于花的分化以及种子的产生过程需要大量 rRNA,故茎、叶中的部分磷元素转移到了生殖器官中,自身磷质量分数继续下降,另一方面,可能与梅雨季降水量较大,叶片中磷更容易被淋融有关^[53].到结果期时,已接近冬季,植株将营养物质运输回流至根部储存,为越冬以及下一年地下根状茎进行无性繁殖做好营养的准备.叶中磷质量分数在结果期又有所上升,推测原因可能是因为植株内磷质量分数高于其根部的需求量,回流作用较小,另一方面部分叶脱落前,其中磷也转移到了未脱落叶中,此效应还需进一步研究证实.

3.3 加拿大一枝黄花氮磷化学计量学特征

在多数生态系统中,氮和磷是限制植物生长的重要养分因子^[54].N/P 化学计量学在养分循环和生态系统功能的研究中极为重要,可通过植物的 N/P 大小来判断植物生长的限制营养因子.一般认为,当植物的 N/P<14 时,植物生长受氮限制,当 N/P>16 时,植物生长受磷限制,当介于二者之间时,为二者共同限制或都不限制^[55].

研究中,加拿大一枝黄花 N/P 变化范围在 2.25~4.75,与以往研究中的结果对比^[45-46,48-49]偏低,生长各时期各器官中 N/P 均小于 14,说明植物生长主要受氮元素限制,这与样地土壤环境中氮

质量分数匮乏有关.如果将河岸带撂荒地看做次生裸地,而加拿大一枝黄花可以认为是演替过程中的先锋种,这也验证了阎恩荣等^[35]认为的次生演替的灌草丛阶段,植物群落主要受氮素的限制作用这一假说.另一方面,生长速率假说认为生长速率较高的生物具有较低的 N/P.这是由于生物快速生长需要合成大量的蛋白质,其核糖体 RNA 是生物体内磷的主要贮藏库,因此,生长速率高的生物有较低的 N/P^[56].而加拿大一枝黄花作为入侵种,生长速率远大于其他草本植物,这也可以解释为何其具有相对较低的 N/P.

植株叶片中 N/P 随时间变化为先增加后降低,这与荣钺钺等^[51]、吴统贵等^[57]研究结果中的趋势相同.在幼苗期和成熟期,植株内各部分氮、磷质量分数变化趋势基本一致,所以 N/P 仅有少量下降.在开花期,植株中的磷转移入生殖器官中,而氮素变化不明显,导致了植株各部分尤其是叶中的 N/P 上升.结果期,叶中氮回流入根中,而根向其他器官的运输作用减弱,使其氮质量分数有明显上升,导致了 N/P 的快速上升.

对于植株茎、叶、根中氮、磷质量分数与 N/P 的相关关系研究发现,植物茎、叶中磷质量分数与 N/P 具有显著负相关关系($P<0.05$),根中氮质量分数与 N/P 具有极显著正相关关系($P<0.01$),由此可知,加拿大一枝黄花地上部分各生长期磷质量分数对 N/P 的动态起主导作用^[58],而地下部分则主要受氮质量分数的主导.这与吴统贵等^[57]对杭州湾 3 种植物化学计量学研究,以及周鹏等^[49]对温带草地优势种的研究结果相符合.这也可以解释为什么根在越冬前 N/P 上升,储存了更多的氮元素.

3.4 基于氮磷化学计量学河岸带加拿大一枝黄花入侵机理浅析

杨惠敏等^[32]认为,由于不同植物对土壤营养需求的差异,会导致植物氮、磷质量分数及 N/P 的不同,故植物的化学计量学特征可指示植物的入侵情况.Gonzalez 等^[33]发现在土壤氮浓度较低条件下,陆生生态系统中植物入侵种的产量比原生种高.Funk 等^[34]则认为在有限资源条件下,入侵种具有更高的养分利用效率.

研究区土壤中氮质量分数与全国平均质量分数相比^[39],严重匮乏,但加拿大一枝黄花生长状况良好(成熟期后,盖度 80%,平均株高 184cm,密度 35.5 株/ m^2 ,地上生物量 459.5g/ m^2 ,罕有伴生种存在,能够在群落中占绝对优势),且氮质量分数仅稍低于草本植被的平均值^[43-46],这说明它对土壤中的氮素有较强的吸收、积累能力.这与任莉等^[41]对加拿大一枝黄花的研究结果相同,也与其他入侵植物吸收氮素能力的特征相似.如李伟华等^[59]研究发现对土壤氮素较强的利用能力可能是植物成功入侵的重要机制之一,而 Hawkes 等^[60]同样发现入侵植物通过改变土壤微生物群落组成从而加速了氮素循环.研究区内的土壤磷质量分数,也略低于全国平均质量分数^[37],但加拿大一枝黄花植株中的磷质量分数却高于全国对于草本植被的相关研究结果^[43-44,46].这可以反应出加拿大一枝黄花对土壤中的磷素同样有很强的吸收作用.虽然其植株各部分 N/P 较低,生长受到氮素限制,但究其原因其含磷量较其他植物更高.

4 结语

由于滨岸带的特殊低氮、磷土壤环境,导致对土壤氮、磷有高利用效率的加拿大一枝黄花更易于入侵该区域.入侵后,一方面,加拿大一枝黄花能够快速、大量的吸收、积累氮、磷元素,导致土壤中的营养元素更为缺乏,保持低氮、磷土壤环境,使其他物种受到严重的胁迫;另一方面,相对其他物种更充足的营养物质供给,使其植株快速生长,株高、株幅、生物量的快速增大,为争夺更多的阳光提供了有利条件,最终成为新生境的绝对优势种.

参考文献:

- [1] Michael Emc Clain, Elizabeth W Boyer, Dent C Lisa, et al. Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems [J]. *Ecosystems*, 2003,(6): 301-312.
- [2] 岳 隽,王仰麟.国内外河岸带研究的进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 2005,24(5):33-40.
- [3] 陈吉泉.河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用 [J].

- 应用生态学报, 1996,7(4):439-448.
- [4] Rowntree K M. An assessment of the potential impact of alieninvasive vegetation on the geomorphology of river channels in SouthAfrica [J]. South African Journal of Aquatic Science, 1991,17:28-43.
- [5] Planty Tabacchi A M, Tabacchi E, Naiman R J, et al. Invisibility of species rich communities in riparian zones [J]. Conservation Biology, 1996,10:598-607.
- [6] 左 倬,蒋 跃,薄芳芳,等.平原河网地区滨岸带外来植物入侵现状 & 影响研究—以上海青浦区为例 [J]. 生态环境学报, 2010,(3):665-671.
- [7] 王 朋,梁文举,孔垂华,等.外来杂草入侵的化学机制 [J]. 应用生态学报, 2004,15(4):707-711.
- [8] 方 芳,郭水良,黄林兵.入侵杂草加拿大一枝黄花的化感作用 [J]. 生态科学, 2004,23(4):331-343.
- [9] 吴海荣,强 胜.加拿大一枝黄花生物生态学特性及防治 [J]. 杂草科学, 2005,(01):52-56.
- [10] 黄 华.外来入侵植物加拿大一枝黄花生态适应性研究 [D]. 浙江师范大学, 2006.
- [11] 阮海根,王 坚,陆慧明,等.加拿大一枝黄花生物学特性初步试验 [J]. 中国植保导刊, 2004,(06):5-8.
- [12] Ewald Weber. Morphological variation of the introduced perennial *Solidago canadensis* L.sensulato (Asteraceae) in Europe [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 1997,123(3):197-210.
- [13] 黄洪武,李 俊,董立尧,等.加拿大一枝黄花对植物化感作用的研究 [J]. 南京农业大学学报, 2009,32(1):48-54.
- [14] 方 芳,郭水良,黄林兵.入侵杂草加拿大一枝黄花的化感作用 [J]. 生态科学, 2004,(04):331-334.
- [15] Jorgen Lam, Lars P. Christensen, Thyge Färch, et al. Acetylenes from the roots of *Solidago specis* [J]. Phytochemistry Oxford, 1992,31(12):4159-4161.
- [16] Zhang Shanshan, Jin Yili, Tang Jianjun, et al. The invasive plant *Solidago canadensis* L. suppresses local soil pathogens through allelopathy [J]. Applied Soil Ecology, 2009,41(2):215-222.
- [17] 黄 华,郭水良.外来入侵植物加拿大一枝黄花繁殖生物学研究 [J]. 生态学报, 2005,11:3-11.
- [18] 沈国辉,钱振官,柴晓玲,等.加拿大一枝黄花种子生物学特性研究 [J]. 上海农业学报, 2004,(04):105-107.
- [19] 陆建忠,裘 伟,陈家宽,等.入侵种加拿大一枝黄花对土壤特性的影响 [J]. 生物多样性, 2005,04:347-356.
- [20] 王锦文,王君丽,王 江,等.加拿大一枝黄花入侵对土壤酶活性的影响研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011,17:117-12.
- [21] Liang Jin, Gu Yongjian, Xiao Ming, et al. The history of *Solidago canadensis* invasion and the development of its mycorrhizal associations in newly-reclaimed land. [J]. Functional Plant Biology, 2004,31(10):979-986.
- [22] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere [M]. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2002.
- [23] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment [J]. American Scientist, 1958,46:205-221.
- [24] 陈 滨,赵永军,张文广,等.生态化学计量学研究进展 [J]. 生态学报, 2010,30:1628-1637.
- [25] 贺金生,韩兴国.生态化学计量学:探索从个体到生态系统的统一化理论 [J]. 植物生态学报, 2010,34:2-6.
- [26] Moe S J, Stelzer R S, Forman M R, et al. Recent advances in ecological stoichiometry: Insights for population and community ecology [J]. Oikos, 2005,(109):29-39.
- [27] Elser J J, Sterner R W, Gorokhova E, et al. Biological stoichiometry from genes to ecosystems [J]. Ecology Letters, 2000,(3):540-550.
- [28] 王维奇,全 川,曾从盛.不同质地湿地土壤碳、氮、磷计量学及厌氧碳分解特征 [J]. 中国环境科学, 2010,30(10):1369-1374.
- [29] 王维奇,王 纯,刘白贵.盐度对湿地枯落物分解过程中碳氮磷化学计量比的影响 [J]. 中国环境科学, 2012,32(9):1683-1687.
- [30] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur [J]. Biogeochem, 1991,13:87-115.
- [31] 丁 凡,廉培勇,曾德慧.松嫩平原草甸三种植物叶片 N、P 化学计量特征及其与土壤 N、P 浓度的关系 [J]. 生态学杂志, 2011,(1):77-81.
- [32] 杨惠敏,王冬梅.草-环境系统植物碳氮磷生态化学计量学及其对环境因子的响应研究进展 [J]. 草业学报, 2011,20:244-252.
- [33] Gonzalez A L, Kominoski J S, Danger M, et al. Can ecological stoichiometry help explain patterns of biological invasions? [J]. Oikos, 2010,119:779-790.
- [34] Funk J L, Vitousek P M. Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems [J]. Nature, 2007,446:1079-1081.
- [35] 阎恩荣,王希华,周 武.天童常绿阔叶林演替系列植物群落的 N:P 化学计量特征 [J]. 植物生态学报, 2008,(1):13-22.
- [36] 杨春璐,马溪平,侯 伟,等.南芬细河河岸带土壤理化性质分析 [J]. 科技导报, 2012,(3):61-66.
- [37] Tian Hanqin, Chen Guangsheng, Zhang Chi, et al. Pattern and variation of C: N: P ratios in China's soils: a synthesis of observational data [J]. Biogeochemistry, 2010,98:139-151.
- [38] 杨春璐,马溪平,李法云,等.太子河北支河岸带土壤理化性质分析 [J]. 辽宁农业科学, 2010,(5):1-5.
- [39] 李冬林,韩 丽,阮宏华,等.秦淮河河岸带土壤理化性质分析 [J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2008,(4):17-22.
- [40] 杨春璐,马溪平,李法云,等.海城河河岸带土壤理化性质分析 [J]. 生态科学, 2010,(3):262-267.
- [41] 任 莉,汪恩锋,汪文烈.加拿大一枝黄花对土壤营养元素吸收与转运特征 [J]. 生物学杂志, 2010,27:27-30.
- [42] 袁惠燕,张国彪,徐建方,等.加拿大一枝黄花生物学特性调查及

- 植株成分分析 [J]. 杂草科学, 2008,(3):43-44.
- [43] Han W X, Fang J Y, Guo D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753terrestrial plant species inChina [J]. New Phytol, 2005,168(2):377-385.
- [44] 任书杰,于贵瑞,陶 波,等.中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究 [J]. 环境科学, 2007,12:2665-2673.
- [45] He J S, Fang J Y, Wang Z H, et al. Stoichiometry and large scale patterns of leafcarbon and nitrogen in the grasslands of China [J]. Oecologia, 2006,149:115-122.
- [46] He J S, Wang L, Flynn D F B, et al. Leaf nitrogen: phosphorus stoichiometry across Chinese grassland Biomes [J]. Oecologia, 2008,155:301-310.
- [47] Elser J J, Dobberfuhl D, Mackay N A, et al. Organism size, life history, and N: P cycle [J]. Biogeochemistry, 1996,37:237-252.
- [48] 徐 冰,程雨曦,甘慧洁,等.内蒙古锡林河流域典型草原植物叶片与细根性状在种间及种内水平上的关联 [J]. 植物生态学报, 2010,3401:29-38.
- [49] 周 鹏,耿 燕,马文红,等.温带草地主要优势植物不同器官间功能性状的关联 [J]. 植物生态学报, 2010,3401:7-16.
- [50] 牛得草,董晓玉,傅 华.长芒草不同季节碳氮磷生态化学计量特征 [J]. 草业科学, 2011,28:915-920.
- [51] 荣钺钺,刘京涛,夏江宝,等.莱州湾湿地柽柳叶片 N、P 生态化学计量学特征 [J]. 生态学杂志, 2012,31:3032-3037.
- [52] Sardans J, Peñuelas J, Estiarte M. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland [J]. Applied Soil Ecology., 2008,39(2):223-235.
- [53] 郑淑霞,上官周平.黄土高原地区植物叶片养分组成的空间分布格局 [J]. 自然科学进展, 2006,(8):965-973.
- [54] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur [J]. Biogeochem, 1991,13:87-115.
- [55] Koerselman W, Meuleman A F. 1996. The vegetation N: Pratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. J Appl Ecol, 33:1441-1450.
- [56] Elser J J, Acharya K, Kyle M, et al. Growth rate-stoichiometry couplings in diverse biota [J]. Ecology Letters, 2003,6:936-943.
- [57] 吴统贵,吴 明,刘 丽,等.杭州湾滨海湿地 3 种草本植物叶片 N,P 化学计量学的季节变化 [J]. 植物生态学报, 2010,34(1): 23-28.
- [58] Vanni M J, Flecker A S, Hood J M, et al. Stoichiometry of nutrient recycling by vertebrates in atropical stream: linking biodiversity and ecosystem function [J]. Ecology Letters, 2002, 5:285-293.
- [59] 李伟华,张崇邦,林洁筠,等.外来入侵植物的氮代谢及其土壤氮特征 [J]. 热带亚热带植物学报, 2008,16(4):321-327.
- [60] Hawkes C V, Wren I F, Herm an D J, et al. Plant invasion altersnitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community [J]. Ecology Letters, 2005,8:976-985.

作者简介: 马明睿(1986-),男,内蒙古包头人,硕士,主要从事城市生态学与植被生态学研究。

保护海洋生态, 减少碳排放 世界各地开展环境日纪念活动

2014 年世界环境日的主题是“提高你的呼声,而不是海平面”,旨在唤起全球对气候变化和小岛屿国家的关注.围绕这一主题,世界各地的人们开展了丰富多样的纪念活动.

2014 年世界环境日官方活动主办国巴巴多斯在 6 月 1 日——环境日活动周的第一天举行了一场宗教仪式,旨在让人们懂得感恩,小心保护土地和珊瑚礁,并展示人们如何与自然和谐共处,如何抑制浪费与破坏的欲望,如何利用和分享丰富的资源.1994 年,第一届小岛屿发展中国家可持续发展国际会议就是在这一加勒比岛国举行的.

尼泊尔加德满都 Maitri 学校的学生承诺对废纸进行回收利用,并在学校设定一块无塑料袋区域,禁止使用塑料.在英国威尔士的格温内思郡,来自英格兰柴郡比兹堂学校的艺术生组织了一场清洁海滩活动.在澳大利亚洛根生态行动节(LEAF)上,大家在一起学习和分享生态生活的小贴士,这一活动每年约有 1.5 万人参与.

埃塞俄比亚在环境日这天举行了一项名为“为 Wenchi 湖链接爱”的活动,数千人参与植树,并寻找木柴的替代品,防止进一步毁林.Wenchi 湖是非洲最有名的火口湖之一,也是附近农民主要的生计来源,周围山区的土壤侵蚀成为对 Wenchi 湖最大的威胁.保护行动得到了埃塞俄比亚前总统的支持.

摘自《中国环境报》

2014-06-05