

戚德辉,郝咪娜,温仲明. 延河流域不同植被区植物叶片碳、氮、磷化学计量特征及其影响因子[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):224-228.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.058

延河流域不同植被区植物叶片碳、氮、磷化学计量特征及其影响因子

戚德辉¹, 郝咪娜¹, 温仲明^{2,3}

(1. 浙江省水利水电勘测设计院, 浙江杭州 310002; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;

3. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西杨凌 712100)

摘要:以延河流域不同植被区优势物种叶片为研究对象,测定并分析不同植被区植物叶片以及 0~60 cm 土壤中碳(C)、氮(N)、磷(P)含量及其生态化学计量比,采用方差分析和逐步回归分析的方法,分析不同植被区植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比的差异及影响因素。结果表明:叶氮含量、叶磷含量、叶碳氮比、叶氮磷比在不同植被带间差异显著($P < 0.05$),森林区植物生长主要受磷限制,草原区植物生长主要受氮限制,而森林草原区植物生长受氮、磷两者共同限制。植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与气候、地形、土壤因子间存在不同的相关关系。影响叶碳含量的主要因子是坡位,其次是坡度;影响叶氮含量的主要因子是坡度,其次是年均蒸发量;影响叶磷含量的主要因子是年均降水量;影响叶碳氮比的主要因子是土壤磷含量,其次是年均蒸发量;叶氮磷比受土壤碳含量影响最大,7—9 月平均降水量次之,坡度影响最小。

关键词:延河流域;生态化学计量特征;植被区;回归分析

中图分类号: Q948 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0224-04

生态化学计量学(ecological stoichiometry)是近年来新兴的运用生态学和化学计量学基本原理研究生态系统能量平衡、多重化学元素平衡以及元素平衡对生态交互作用影响的一种理论^[1-2]。生态化学计量学有助于解决植物和生态系统养分供应与需求平衡等方面的难题,对于研究植物通过改变养分利用策略来适应环境变化的机制具有重要意义^[3]。因此,目前生态化学计量学成为生态研究的热点和重要内容^[4]。植物叶片生态化学计量学在不同时空尺度、不同生态系统、不同功能群以及种内、种间水平上得到了广泛研究,但是植物叶片化学计量特征主要受哪些因素影响,目前尚无一致结论^[5]。如 He 等对中国草地 213 种优势植物的生态化学计量特征进行研究,发现中国草地植物氮(N)、磷(P)及氮磷比(N/P)与温度和降水的变化没有显著关系^[6-7]。Zheng 等对黄土高原植物研究发现,位于 34°~38°N 的植物叶片碳氮比(C/N)、碳磷比(C/P)与纬度和年均气温不相关,N/P 与纬度呈正相关,但与年均气温不相关^[8]。丁凡等研究发现植物化学计量特征与土壤养分有关^[9],也有研究表明叶片化学计量特征不受气候和土壤的限制^[10]。延河流域地形复杂、支离破碎、起伏较大,地形对降水、温度等气候因子具有强烈的再

分配作用,使得该区植被生境复杂多样^[11],在不同环境下植物营养限制状况可能会存在较大差异。了解该流域不同植被区植物叶片生态化学计量变化特征及其影响因素,对于研究植物对气候、地形和土壤等极端环境的响应与反馈机制、揭示延河流域植物营养的限制情况以及限制植物生长的主要环境因子有重要意义。

本研究以延河流域不同植被区优势物种叶片为对象,测定并分析不同植被区植物叶片生态化学计量特征及其与土壤、气候因子的关系,目的在于了解延河流域植物叶片生态化学计量变化特征、揭示延河流域叶片生态化学计量变化的主要影响因子,以加深对该流域植物生存策略和功能特性的了解,为揭示延河流域不同植被区植物养分限制因子提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

延河流域(36°23'~37°17' N, 108°45'~110°28' E)是黄河中游水土流失最严重的区域之一。延河流域属于大陆性季风气候,海拔 495~1 795 m,平均海拔 950 m,年平均气温 9℃,年平均降水量约 500 mm,年均水面蒸发量约 1 000 mm。该流域地形复杂、支离破碎、起伏较大。地形对降水、温度等气候因子具有强烈的再分配作用,使得该区植被生境复杂多样,受气候影响,该区从北到南依次为草原区、森林草原区、森林区^[11]。

1.2 野外调查与样品采集

本研究于 2014 年 7—9 月进行调查,在 3 个植被区分别选取 3 个人为干扰较少、植物发育良好的完整断面,即在每个植被区选择 3 个阳坡、3 个阴坡,然后在阳坡和阴坡按照阳顶、上坡、中坡、下坡等不同坡位选择样地,在每个样地选择

收稿日期:2016-10-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:41271297);中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号:KZCX2-EW-406)。

作者简介:戚德辉(1988—),男,山东滨州人,硕士,助理工程师,主要从事资源环境监测与评价方面的研究。E-mail: qdh271897661@163.com。

通信作者:温仲明,博士,副研究员,主要从事水土保持和生态修复研究。E-mail: zmw@ms.iswc.ac.cn。

1~2 个样方,共选择样地 57 个,其中,森林区和森林草原区各 21 个、草原区 15 个。共采集植物 52 种,其中乔木占 7.9%、灌木占 17.8%、草本占 74.3%,样点分布见图 1。样品采集采用典型样方法,乔木 10 m×10 m、灌木 5 m×5 m、草本 1 m×1 m。对样方进行群落学调查,包括盖度、丰富度、多度、高度以及生物量等信息。确定每个样方内的优势植物,选取长势良好、没有遮阴、大小基本一致的植株采集叶片,选定的每株植物采集完全伸展、没有病虫害的成熟叶片足量,带回室内,叶片于 105 ℃ 杀青 15 min,然后于 65 ℃ 烘干至恒质量。在样方内分别取 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层土样,每个土层以“S”形采样,重复 6 次,土壤样品用冷藏箱低温带回实验室,挑出其中的石砾和植物根系,土壤自然风干,之后研磨并过筛,装自封袋待用。

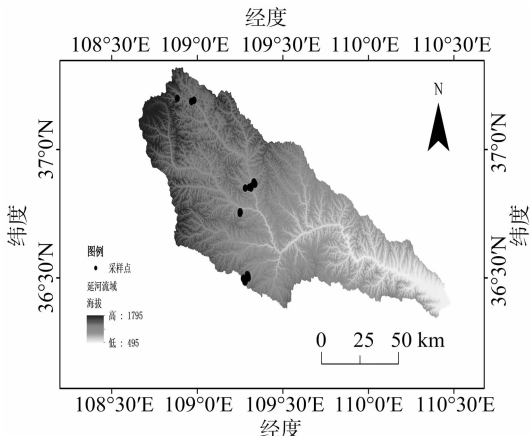


图1 研究区样点分布

1.3 样品测定

将烘干的叶片用植物粉碎机粉碎,磨成 0.15 mm 粉末后测定粉碎样品中的全碳、全氮和全磷含量。叶片和土壤全碳含量用重铬酸钾外加热法测定;全氮含量采用凯氏定氮法测定;全磷含量采用钼锑抗比色法测定^[12]。

1.4 环境数据的提取

气象数据是通过手持 GPS 在野外记录各样点的经纬度信息,然后从现有的环境因子专题图中提取得到。各专题图基于 25 m×25 m 的 DEM 数据,采用薄板样条函数进行插值生成,具体专题图的生成方法见文献[13]。主要包括年均降水量 (mean annual precipitation, 简称 MAP)、年均温 (mean annual temperature, 简称 MAT)、年均蒸发量 (简称 ET)。坡向 (aspect, 包括阳坡、阴坡 2 个坡向)、坡位等地形因子在野外实测得到。

1.5 数据处理

首先用 Excel 对数据进行预处理,使其满足正态分布,然后采用 SPSS 19.0 统计分析软件对不同植被区间的植物叶片化学计量特征进行单因素方差分析 (One - Way ANOVA) 以及多重比较,探讨不同植被区间的植物叶片生态化学计量学特征差异,对植物叶片 C、N、P 含量及其化学计量比与土壤因子、气候因子和地形因子进行相关性分析,采用回归分析,分析影响植物叶片养分及生态化学计量比的主要因素,从而深入探讨各影响因子与植物叶片养分及生态化学计量比间的相互作用机制。

2 结果与分析

2.1 不同植被带间植物叶片生态化学计量特征

由表 1 可以看出,叶氮含量 (LN)、叶磷 (LP) 含量、叶碳氮比 (LC/LN)、叶氮磷比 (LN/LP) 在部分植被带间差异显著 ($P<0.05$),而叶碳 (LC) 含量、叶碳磷比 (LC/LP) 差异不显著。森林草原区、森林区叶氮含量分别为 (19.834 ± 0.818)、(19.070 ± 0.781) g/kg,显著高于草原区叶氮含量的 (14.496 ± 0.784) g/kg;森林草原区、森林区叶磷含量分别为 (1.528 ± 0.085)、(1.233 ± 0.077) g/kg,显著低于草原区叶磷含量的 (1.782 ± 0.220) g/kg;森林草原区、森林区叶碳氮比分别为 24.951 ± 0.994 、 28.788 ± 1.753 ,显著低于草原区叶碳氮比的 39.703 ± 2.302 ;森林草原区、森林区叶氮磷比分别为 15.351 ± 1.041 、 16.554 ± 1.317 ,显著高于草原区叶氮磷比的 10.102 ± 0.856 。

表 1 不同植被带植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比

植被带	叶碳含量 (g/kg)	叶氮含量 (g/kg)	叶磷含量 (g/kg)	叶碳/叶氮	叶碳/叶磷	叶氮/叶磷
草原区	488.731 ± 11.487a	14.496 ± 0.784a	1.782 ± 0.220a	39.703 ± 2.302a	378.271 ± 35.831a	10.102 ± 0.856a
森林草原区	475.407 ± 7.603a	19.834 ± 0.818b	1.528 ± 0.085b	24.951 ± 0.994b	388.106 ± 37.420a	15.351 ± 1.041b
森林区	485.667 ± 12.910a	19.070 ± 0.781b	1.233 ± 0.077b	28.788 ± 1.753b	441.212 ± 39.624a	16.554 ± 1.317b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与气候、地形、土壤因子间的相关关系

相关分析结果如表 2 所示,结果表明:叶碳含量与年均温和 4—10 月平均气温呈显著负相关;叶氮含量与年均降水量、7—9 月平均降水量、1 月平均气温和年均温呈极显著正相关,与 4—10 月平均气温呈显著正相关,与年均蒸发量呈极显著负相关;叶磷含量与年均降水量、7—9 月平均降水量和 1 月平均气温呈显著负相关,与年均蒸发量呈显著正相关;叶碳/叶氮比与年均降水量、7—9 月平均降水量、1 月平均气温、年均温和 4—10 月平均气温呈极显著负相关;叶氮/叶磷比与年均降水量、7—9 月平均降水量、1 月平均气温呈极显著正相

关,与年均温呈显著正相关,与年均蒸发量呈极显著负相关。叶碳含量与坡度呈显著负相关,与坡位呈显著正相关;叶氮含量与海拔呈极显著负相关;叶碳/叶氮比与海拔呈极显著正相关;叶氮/叶磷比与坡度呈显著负相关。叶氮含量与土壤全碳含量和土壤全磷含量呈极显著正相关;叶碳/叶氮比与土壤全碳含量和土壤全磷含量呈极显著负相关。

2.3 植物叶片生态化学计量特征与影响因子回归分析

2.3.1 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与气候因子间的关系 基于逐步回归分析法,建立植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与气象因子的数学模型。从表 3 可以看出,影响叶碳含量的主要气象因子是 4—10 月平均气温,影响

表 2 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与气候、地形、土壤因子间的相关系数

类别	相关系数												
	MAP	ET	rain ₇₋₉	tem ₁	MAT	tem ₄₋₁₀	EL	SL	SPO	SA	SC	SN	SP
LC	-0.024	0.136	-0.030	-0.167	-0.261 *	-0.289 *	0.246	-0.277 *	0.294 *	-0.117	-0.125	-0.069	-0.158
LN	0.461 **	-0.508 **	0.484 **	0.484 **	0.411 **	0.327 *	-0.414 **	-0.211	-0.029	0.045	0.414 **	0.168	0.399 **
LP	-0.309 *	0.286 *	-0.304 *	-0.274 *	-0.182	-0.110	0.159	0.063	0.162	-0.170	-0.108	-0.208	-0.005
LC/LN	-0.486 **	0.587 **	-0.514 **	-0.572 **	-0.537 **	-0.462 **	0.534 **	0.109	0.048	0.020	-0.460 **	-0.185	-0.510 **
LC/LP	0.178	-0.082	0.172	0.051	-0.077	-0.144	0.091	-0.182	-0.175	0.007	-0.119	0.038	-0.061
LN/LP	0.534 **	-0.488 **	0.544 **	0.445 **	0.274 *	0.146	-0.254	-0.271 *	-0.205	-0.009	0.201	0.198	0.228

注：“*”“**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。rain₇₋₉ 为 7—9 月平均降水量；tem₁ 为 1 月份平均气温；tem₄₋₁₀ 为 4—10 月平均气温；EL 为海拔；SL 为坡度；SPO 为坡位；SA 为坡向；SC 为土壤全碳含量；SN 为土壤全氮含量；SP 为土壤全磷含量；下同。

表 3 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量特征与气候因子的回归分析

指标含量	回归方程	F 值	R ²	P 值
叶碳含量	LC = -24.826tem ₄₋₁₀ + 880.947	5.026	0.084	0.029
叶氮含量	LN = -0.055ET + 68.834	19.142	0.258	0.000
叶磷含量	LP = -0.007MAT + 4.731	5.808	0.096	0.019
叶碳/叶氮	LC/LN = 0.153ET - 109.321	28.892	0.344	0.000
叶氮/叶磷	LN/LP = 0.147rain ₇₋₉ - 27.581	23.070	0.296	0.000

叶氮含量和叶碳氮比的主要气象因子是年均蒸发量,影响叶磷含量的主要气象因子是年均降水量,影响叶氮磷比的主要气象因子是 7—9 月平均降水量,这些影响都达到了显著水平。

2.3.2 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与地形因子间的关系 基于逐步回归分析法,建立植物叶片 C、N、P 含量

及生态化学计量比与地形因子的数学模型。从表 4 可以看出,影响叶碳含量的主要地形因子是坡度和坡位,并且坡位影响大于坡度,影响叶氮含量和叶氮/叶磷比的主要地形因子是坡度和海拔,并且坡度影响大于海拔,影响叶碳/叶氮比的主要地形因子是海拔,这些影响都达到了显著水平。

表 4 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与地形因子的回归分析

指标含量	回归方程	F 值	R ²	P 值
叶碳含量	LC = -1.463SL + 12.227SPO + 489.481	5.134	0.160	0.034
叶氮含量	LN = -0.142SL - 0.020ET + 46.898	9.004	0.250	0.021
叶碳/叶氮	LC/LN = 0.055EL - 40.255	21.900	0.164	0.000
叶氮/叶磷	LN/LP = -0.016EL - 0.201SL + 39.945	5.300	0.164	0.019

2.3.3 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与土壤因子间的关系 基于逐步回归分析法,建立植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与土壤因子的数学模型。从表 5 可以看

出,影响叶氮含量和叶碳/叶氮比的主要土壤因子是土壤磷含量和土壤碳含量,并且土壤磷含量大于土壤碳含量,这些影响都达到了显著水平。

表 5 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与土壤因子的回归分析

指标含量	回归方程	F 值	R ²	P 值
叶氮含量	LN = 6.523SP + 0.284SC + 12.065	10.661	0.283	0.005
叶碳/叶氮	LC/LN = -0.731SC - 20.384SP + 47.306	18.329	0.404	0.001

2.4 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量特征与气象、地形、土壤因子综合关系

基于逐步回归分析法,建立植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量特征与综合因子的回归模型。从表 6 中可以看出,影响叶碳含量的主要因子是坡度和坡位,并且坡位的影响大于坡度,叶碳含量随坡度的增加而减少,随着坡位的升高而升高;影响叶氮含量的主要因子是坡度和年均蒸发量,并且坡度的影响大于年均蒸发量,叶氮含量随坡度和年均蒸发量的增加而减少;影响叶磷含量的主要因子是年均降水量,叶磷含量随年均降水量的增加而降低;影响叶碳/叶氮比的主要因子是土壤磷含量和年均蒸发量,并且土壤磷含量的影响更大,叶碳/叶氮比随土壤磷含量增加而降低,随年均蒸发量的增加而增加;影响叶氮/叶磷比的主要因子中,土壤碳含量影响最大,7—9 月平均降水量次之,坡度影响最小,叶氮/叶磷比随土壤

碳含量和坡度的增加而减少,随 7—9 月平均降水量的增加而增加。这些影响都达到了显著水平。

3 讨论

3.1 不同植被带植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比 在不同植被带,叶氮含量、叶磷含量、叶碳/叶氮比和叶氮/叶磷比差异显著(P<0.05),而叶碳含量、叶碳/叶磷比差异不显著。叶碳含量在 3 个植被带间差异不显著,可能是因为叶碳含量主要受坡度和坡位的影响,受降水和温度的影响相对较小。森林草原区和森林区叶氮含量分别为(19.834±0.818)、(19.070±0.781)g/kg,显著高于草原区叶氮含量(14.496±0.784)g/kg。从本研究可以看出,叶氮含量与年均降水量、7—9 月平均降水量、1 月平均气温和年均温呈极显著正相关,与 4—10 月平均气温呈显著正相关,与年均蒸发量呈

表 6 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比与综合因子逐步回归分析

指标含量	回归方程	<i>F</i> 值	<i>R</i> ²	<i>P</i> 值
叶碳含量	$LC = -1.463SL + 12.227SPO + 489.481$	5.134	0.160	0.034
叶氮含量	$LN = -0.149SL - 0.060ET + 76.919$	14.148	0.344	0.010
叶磷含量	$LP = -0.007rainaver + 4.731$	5.808	0.096	0.019
叶碳/叶氮	$LC/LN = -14.698SP + 0.118ET - 71.063$	20.347	0.430	0.006
叶氮/叶磷	$LN/LP = -0.274SC - 0.196SL + 0.201rain_{7-9} - 35.562$	13.573	0.434	0.050

极显著负相关。而从草原带到森林带,降水和温度逐渐增加,蒸发量减少,因此叶氮含量的这种变化规律主要与各植被区的气候条件相关。而叶磷含量与年均降水量、7—9 月平均降水量和 1 月平均气温呈显著负相关,与年均蒸发量呈显著正相关,因此森林草原区和森林区叶磷含量分别为(1.528 ± 0.085)、(1.233 ± 0.077) g/kg,显著低于草原区叶磷含量(1.782 ± 0.220) g/kg。植物生长过程中所需要的氮元素来自于凋落物分解过程中的养分释放^[14-15],草原带较低的降水量和温度制约分解的速度进而导致养分可利用性降低,进一步影响植物体内的氮含量。从北向南,自草原带到森林带,降水逐渐增多,土壤淋溶严重,有效养分含量低,从而导致植物叶片 P 含量较低^[16]。森林草原区和森林区叶碳/叶氮比分别为(24.951 ± 0.994)、(28.788 ± 1.753),显著低于草原区叶碳/叶氮比(39.703 ± 2.302),这主要是由森林带和森林草原带叶氮含量显著高于草原带造成的。森林草原区和森林区叶氮/叶磷比分别为(15.351 ± 1.041)、(16.554 ± 1.317),显著高于草原区叶氮/叶磷比(10.102 ± 0.856)。有研究表明:氮/磷比的临界值可以作为判断氮和磷相对限制的指标^[17],当氮/磷比小于 14 时,认为植物生长主要受氮的限制;当氮/磷比大于 16 时,认为植物生长主要受磷的限制;当氮/磷比大于 16 小于 14 时,则植物生长同时受氮、磷两者的限制或者均不缺少^[18]。由此可以认为,森林区植物生长主要受磷的限制,草原区植物生长主要受氮的限制,而森林草原区植物生长受氮、磷两者的共同限制。

3.2 植物叶片 C、N、P 含量及生态化学计量比的影响因子

回归分析表明,叶碳含量受坡位影响最大,坡度次之,这是因为地形的变化会形成不同的气候和土壤小环境^[19]。研究表明,不同坡位形成的小生境差异较大,如上坡位具有太阳辐射和紫外线照射强、土层薄、土壤贫瘠、土壤含水量低、温度较高等特点^[20],相关分析和回归分析表明,叶碳含量与坡位呈正相关,因此,在上坡位,植物通过投入较多的干物质以保护自身不受损伤来抵御恶劣的生存环境。叶氮含量主要受坡度的影响,其次是年均蒸发量,并且叶氮含量与二者呈显著负相关关系。叶氮含量与年均降水量、7—9 月平均降水量、1 月平均气温和年均温呈极显著正相关,这与施宇等对黄土丘陵区植物的研究^[21]一致,植物通过较高的叶氮含量在有限生长季内产生较高的光合作用生产力来维持植物体正常的生理活动。叶氮/叶磷比受土壤碳含量影响最大,7—9 月平均降水量次之,坡度影响最小。即叶氮/叶磷比受土壤、气候、地形因子的综合影响。

参考文献:

[1] Elser J J, Dobberfuhl D R, Mackay N A, et al. Organism size, life history, and N : P stoichiometry[J]. Bioscience, 1996, 46(9) : 674 -

684.
[2] 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(1) : 2 - 6.
[3] 李从娟, 雷加强, 徐新文, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 CNP 的化学计量特征[J]. 生态学报, 2013, 33(18) : 5760 - 5767.
[4] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs[J]. Nature, 2000, 408(6812) : 578 - 580.
[5] 陶冶, 张元明. 古尔班通古特沙漠 4 种草本植物叶片与土壤的化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3) : 659 - 665.
[6] He J S, Fang J, Wang Z, et al. Stoichiometry and large - scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China[J]. Oecologia, 2006, 149(1) : 115 - 122.
[7] He J S, Wang L, Flynn D F, et al. Leaf nitrogen, phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes[J]. Oecologia, 2008, 155(2) : 301 - 310.
[8] Zheng S X, Shangguan Z P. Spatial patterns of leaf nutrient traits of the plants in the Loess Plateau of China[J]. Trees, 2007, 21(3) : 357 - 370.
[9] 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, 30(1) : 77 - 81.
[10] Bowman W D, Bahn L, Damm M. Alpine landscape variation in foliar nitrogen and phosphorus concentrations and the relation to soil nitrogen and phosphorus availability[J]. Arctic Antarctic and Alpine Research, 2003, 35(2) : 144 - 149.
[11] 王婧, 温仲明, 张春梅, 等. 延河流域植物群落高度变化与群落构建[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2) : 181 - 185.
[12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
[13] 温仲明, 赫晓慧, 焦峰, 等. 延河流域本氏针茅 (*Stipa bungeana*) 分布预测——广义相加模型及其应用[J]. 生态学报, 2008, 28(1) : 193 - 201.
[14] Elser J J, Bracken M E, Cleland E E, et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems[J]. Ecology Letters, 2007, 10(12) : 1135 - 1142.
[15] Craine J M, Morrow C, Stock W D. Nutrient concentration ratios and co - limitation in South African grasslands[J]. New Phytologist, 2008, 179(3) : 829 - 836.
[16] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(30) : 11001 - 11006.
[17] Thompson K, Parkinson J A, Band S R, et al. A comparative study of leaf nutrient concentrations in a regional herbaceous flora[J]. New Phytologist, 1997, 136(4) : 679 - 689.

江 伟,于小飞,田永兰,等. 镉污染对文冠果土壤微生物的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):228-231.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.059

镉污染对文冠果土壤微生物的影响

江 伟,于小飞,田永兰,柴 阳,熊元武,钟 馨,张化永

(华北电力大学工程生态学与非线性科学研究中心,北京 102206)

摘要:为了研究镉添加对文冠果土壤微生物的影响,基于 0、10、50、100 mg/kg 等 4 个不同浓度镉污染条件下文冠果的盆栽试验,采用 Biolog Eco 微平板研究不同镉浓度添加处理下土壤微生物多样性的差异,并运用统计学上的主成分分析方法研究镉污染对文冠果土壤微生物代谢图谱的影响。结果表明,(1)高浓度的镉污染增加了文冠果根系土壤微生物的多样性,低浓度的镉污染则降低了微生物的多样性;(2)文冠果土壤微生物群落受到镉污染和生长期的影响,并且在镉浓度为 10 mg/kg 时,发现土壤中存在镉抗性微生物种群;(3)低浓度 10 mg/kg 的镉污染可以提高文冠果土壤微生物的代谢活性,在第 2 生长期表现最明显,与空白处理相比平均颜色变化率(average well color development,简称 AWCD)提高 172.20%;高浓度 50、100 mg/kg 的镉污染对土壤微生物的代谢活性具有一定的抑制作用,但并不明显。综合分析认为,第 2 生长期时,文冠果土壤微生物受镉污染影响最大,这一结论为实现能源木本植物修复镉污染土壤提供了理论基础。

关键词:镉污染;文冠果;土壤微生物多样性;Biolog Eco 微平板;主成分分析法

中图分类号: Q145;S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0228-04

土壤重金属污染已经成为一个世界性问题,在当代科学领域备受关注^[1-2]。据报道,由于工业废水不合理排放、农业化学药品不合理使用、含镉磷肥的使用以及汽车尾气排放等,我国农业主产区土壤中的镉含量已经有明显的积累现象^[3]。镉污染对我国农业生产有重要影响,首先,农作物从受污染土地中吸收镉,农作物生长发育受到抑制,产量大幅降低^[4]。其次,土壤镉污染也会使农产品中的重金属镉含量超标,而使植物蛋白质、叶绿素、糖、维生素 C 等含量降低^[5]。因此,如何有效地处理土壤中的镉污染,已经成为近年来环境保护领域的突出问题。

文冠果(*Xanthoceras sorbifolium* Bunge)属于无患子科文冠果属,落叶小乔木,适应性强,在草沙地、撂荒地、多石的山区、黄土丘陵和沟壑等处,甚至在崖畔上都能正常生长发育。我国的分布范围为 8°37'~47°20'N、73°20'~120°25'E,遍布华北、华东及西北地区。其种子含油率高达 74%,由文冠

果籽油制备的生物柴油相关烃脂类成分含量高,内含 18C 的烃类占 93.4%,且无硫、氮等因子污染环境,符合现行的优质生物柴油指标,是北方理想的木本油料树种^[6]。

针对镉污染日益严重的现状,植物修复技术成为一种新型的、低成本的、环境友好的解决土壤镉污染问题的手段,尤其适合发展中国家。利用文冠果来修复重金属镉污染土壤,再将收获的文冠果果实用于生物柴油的生产,既可以改善环境质量,又可以实现资源化。有研究表明,文冠果对镉污染具有较高的耐受性,其生长过程中的株高、茎粗、生物量等仅在土壤中镉达到 200 mg/kg 时才受到显著抑制^[7]。截至目前,对文冠果生长过程中土壤微生物的变化与重金属之间关系的研究尚未见报道,而文冠果种植地区的土壤污染却不容忽视,其在生物能源产出和土壤污染修复方面的作用会在未来能源环境领域逐渐凸显。

本研究采用温室盆栽试验,通过长期试验,考察不同生长期下的文冠果土壤微生物对重金属镉的响应,采用 Biolog Eco 微平板研究人工污染土壤中外源镉不同浓度对土壤微生物活性与功能多样性的影响,以期为实现能源木本植物修复镉污染土壤提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选取的文冠果购自河南省洛阳市嵩县绿源绿化种苗科研有限公司。

收稿日期:2016-10-02

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2009ZX07210-009、2015ZX07203-011、2015ZX07204-007);国家自然科学基金(编号:39560023);山东省环境瓶颈解析与突破(编号:SDHBPJ-ZB-08)。

作者简介:江 伟(1992—),男,安徽安庆人,硕士,主要从事生物能源和生态信息等研究。E-mail:w4356y@163.com。

通信作者:张化永,博士,教授,主要从事能源与污染控制生物学等方向研究。Tel:(010)61773250;E-mail:rceens@ncepu.edu.cn。

[18] Tessier J T, Raynal D J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation [J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 40(3): 523-534.

[19] 刘旻霞. 高寒草甸坡向梯度上植物群落组成及其氮磷化学计量学特征的研究[D]. 兰州:兰州大学,2013.

[20] 祁 建, 马克明, 张育新. 北京东灵山不同坡位辽东栎(*Quercus liaotungensis*)叶属性的比较[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 122-128.

[21] 施 宇, 温仲明, 龚时慧, 等. 黄土丘陵区植物功能性状沿气候梯度的变化规律[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 107-111.