

文章编号: 1008-2786-(2017)5-753-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000275

秦岭山区沟渠植物和土壤 CNP 生态化学计量特征

赵培^{1*}, 王群盈², 刘志鹏³

(1. 商洛学院 城乡规划与建筑工程学院 陕西 商洛 726000; 2. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院 安徽 芜湖 241000;
3. 南京农业大学 资源与环境科学学院 南京 210095)

摘 要: 探究山区城市沟渠湿地环境中植物与土壤中 CNP 生态化学计量特征, 对于揭示植物对营养元素的吸收、净化以及植物对环境的适应与反馈能力, 指导沟渠植被恢复重建和山区城市规划具有十分重要的意义。在秦岭山区的商洛市三条沟渠中测定了植物多样性及主要植物根、叶、土壤的 C、N、P 含量。结果显示: 秦岭山区城市沟渠土壤 C 与全国平均水平相当, N 含量高于而 P 元素含量远低于全国的平均水平, 表现出沟渠土壤养分元素含量的不平衡。自然植被叶片 C、N、P 的平均含量分别为 $384.13 (\pm 19.35)$ 、 $24.65 (\pm 7.64)$ 和 $1.62 (\pm 0.53)$ mg/g, 叶的元素含量显著高于根和土壤; C:N、C:P 及 N:P 分别为 $17.06 (\pm 7.20)$ 、 $256.49 (\pm 78.59)$ 、 $16.05 (\pm 5.85)$ 。C:N 和 C:P 之比低于全国平均水平, 说明该地区城市沟渠自然植被固 C 效率低, 沟渠植物的生长受到 P 限制。土壤与植物的 N 含量存在显著的正相关关系 ($P < 0.05$), 而 C、P、C:N、C:P、N:P 间的相关性并不显著 ($P > 0.05$), 表明土壤的 N 含量影响植物体中的含量, 同时土壤含量也受到植物凋落物的影响。植物对元素的吸收利用显著影响着土壤-植被间元素的相互作用和再分配模式。

关键词: 秦岭山区; 自然植被; 化学计量; 城市沟渠

中图分类号: S154.4

文献标志码: A

人类活动影响下的山区环境生态要素的分布和循环规律是山区生态环境保育和可持续发展的重要科学依据^[1]。而山区城市沟渠是一种特殊的、重要的水-陆生态交错带, 是山区环境中物质元素汇集、传输和释放不可忽视的一个重要源汇, 其特点是人为干扰剧烈、水量水温极不规律、水体污染突出、生物会受到污染胁迫等。碳、氮、磷是影响城市沟渠生态系统植物生物量和生态功能最重要的生命元素, 探讨三者的关系能反应沟渠植物群落结构、功能变化的机理和此类特殊的水、路生态交错带中典型元素的循环规律等。生态化学计量学是通过分析生物或土壤的元素特别是 C、N、P 含量及比值关系, 解决植物和土壤养分相互作用、循环与迁移等方面难题,

认识养分耦合循环特征、驱动力及其机制等问题^[2]。基于该方法, 明确山区城市沟渠植物和土壤的三种元素的基本规律, 有助于阐明植物与土壤的相互作用关系, 以及解释植物如何改变养分利用方式来适应人为影响下的环境变化。

国内外关于植物和土壤的生态化学计量的探索已大量展开。元素在植物体内的积累与基质的 pH 值以及该元素在土壤或者水体中的浓度有关^[3]。通常, 植物体中的营养元素随土壤基质或者水体中的浓度增加而增加^[4]。Chapin 等^[5]和 Körner^[6]认为, 在贫瘠土壤上的植物, 对增加养分、水分等外界条件变化的生长反应并不强烈。从现有文献看, 对山区城市沟渠中土壤和植物的生态化学计量的报道

收稿日期 (Received date): 2015-11-16; 改回日期 (Accepted date): 2017-3-31

基金项目 (Foundation item): 商洛学院博士团队服务地方科技创新与经济社会发展能力提升专项 (SK2014-01-18); 商洛学院博士启动基金 (14SKY031) [Special Project for Doctor Team in Shangluo University for Service of Local Science and Technology Innovation and Promotion of Economic and Social Development (SK2014-01-18); Start-up Funds of Shangluo University (14SKY031)]

* 通讯作者 (Corresponding author): 赵培 (1982-), 男, 吉林磐石人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 流域环境 [Zhao Pei (1982-), male, born in Panshi, Jilin Province, Ph. D., assistant professor, mainly engaged in research on catchment environment] E-mail: pzhaosl@yeah.net

鲜见。在沟渠中,植物的生长和代谢除了受到径流的影响,土壤养分的不平衡以及污染物质环境也会对其产生作用,从而可能影响植物营养各种元素浓度^[7]。开展沟渠植物和土壤生态化学计量学研究,可望探明山区城市沟渠土壤如何作用于植物养分有效性和利用效率,明晰城市沟渠生态系统土壤-植物C、N、P循环特征,对明确人为活动如何改变湿地的生态功能有着重要意义。

本文将研究秦岭山区商洛市的三条典型城市沟渠的自然植被和土壤,采用生态化学计量学,方差和相关分析等,重点探究山区城市沟渠自然植被及土壤化学计量规律及关系,进一步查明沟渠植物对人类影响下地理环境变化的响应与适应机理,为山地城市沟渠土壤养分循环、植物限制性养分吸收与湿地恢复、重建、山区城市规划建设提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

商洛位于秦岭山区,是国家集中连片特困地区。海拔最高 2802.1 m,最低点 15.4 m。采样区域位于商洛市商州区,该区域是国家南水北调工程中线重要水源涵养区。地处秦岭,经度范围 $108^{\circ}34'20'' \sim$

$110^{\circ}01'25''$,纬度范围 $33^{\circ}02'30'' \sim 34^{\circ}24'40''$,年平均降水量约 758 mm,年平均气温 13.5°C ,气候特征为暖温带半湿润季风山地气候,森林覆盖率达 58.7%^[8]。商洛境内的河流分别汇入长江、黄河两大流域,丹江源头在该地域内,丹江流域面积占全市面积的 83.9%,是丹江沿岸人口最为集聚的市区之一。

采样的沟渠是城市排水的自然沟道,分别位于商洛学院旁、东关菜市场旁和黄沙桥,主要为传统土质沟渠,生长着大量自然植被,沟渠内水量较小,污水的主要来源是生活污水、屠宰场废水和菜腐烂物的释放等。商洛地区水资源基础设施建设严重滞后,未经处理的污水直接排放进入沟渠,因长期接纳大量污水,沟渠土壤、水质已被严重污染,制约了该地区经济社会的可持续发展,同时对丹江水质乃至丹江口水库水质安全构成威胁。

1.2 样品采集与分析

2015 年 5 月在商州区 3 条典型沟渠从上游、中游、下游布置 1 米 \times 1 米样方,调查植物多样性和测定生物量。主要植物种类有 18 种,多是旱生植物。在各样方中黑麦草、野菠菜、艾蒿这三种植物的生物量所占比重较大,平均占到样方生物量的 95.62% (表 1)。本文选择生物量最大的前 3 种植物。每种植物尽量选择大小一致、1~3 株、生长良好的个体作

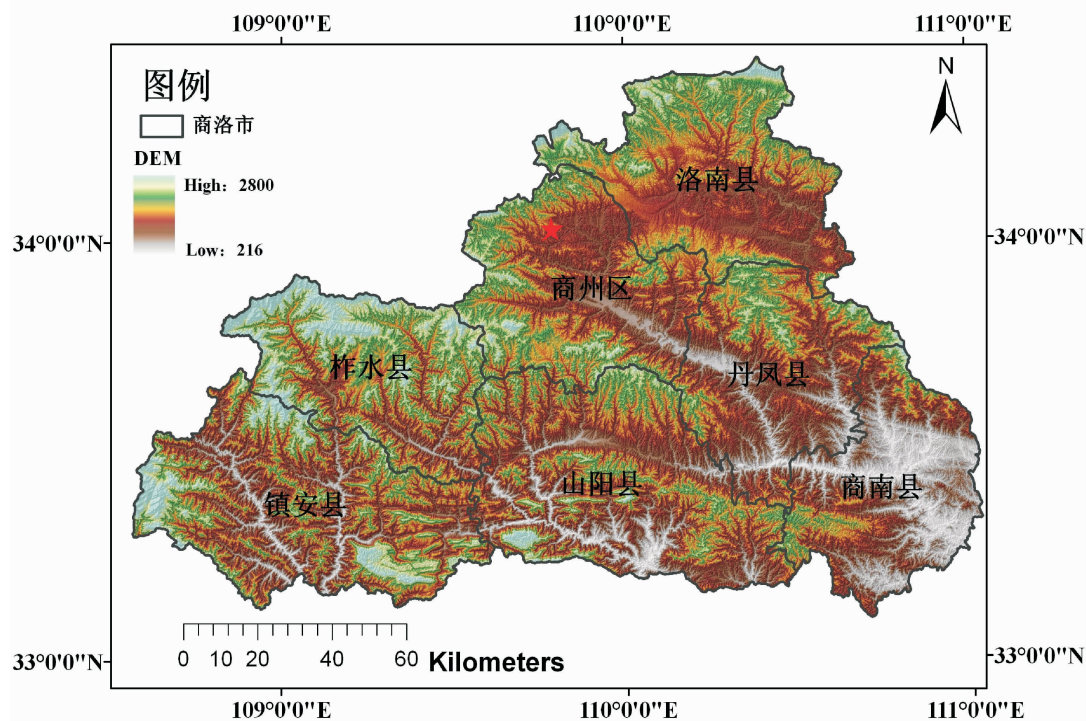


图 1 研究地商洛市在秦岭山区的位置

Fig. 1 The location of Shangluo City in Qinling Mountain

为取样植株,采集整株植物。植物在 60 ℃ 干燥 48 小时,随后将植物分根、叶粉碎后密封保存待分析。在每个样方采集 0 ~ 10 cm 深度土壤样品,装入带有标签的样品袋保存。土壤样品采用自然风干,除掉植物的根系后,用 60 目筛子过筛,分析测定土壤 C、N、P 含量。

采用重铬酸钾外加热法测定叶片、根和土壤 C 的含量,采用凯氏定氮法测定植物和土壤中 N 的含量,采用高氯酸-硫酸消化,钼锑抗比色法测定 P 的含量^[9]。

1.3 数据分析

采用 One Way ANOVA 及 t 检验分别对叶、根和

土壤 C、N、P 含量,检验 N:P、C:N 和 C:P 和之间的差异性,叶片的 N:P 与 C:N 和 C:P 的相关性。利用 Pearson 函数分析土壤 N 与 P,C 与 P,C 与 N 间的关系,并利用线性模型对其进行模拟分析。

2 结果与分析

2.1 土壤 C、N、P 含量及化学计量比

C、N、P 是生物生长、发育以及物质循环过程中重要的化学元素。秦岭山区商洛市城市沟渠的土壤 C 含量为 4.90 ~ 13.01 mg/g,平均值为 7.83 mg/g。根据全国土壤普查养分含量分级指标,属于中等水

表 1 样方植物组成、拉丁学名、最大高度、数量和生物量

Tab. 1 The species composition of plants, Latin names, maximum height, quantity and biomass in the quadrat

位置	植物名称	拉丁学名	最大高度 cm	数量(株)	生物量干重/g · m ⁻²	
					根	茎叶
SZ1s	野菠菜	Rumex acetosa L.	34.5	10	6.9	10.2
	艾蒿	Artemisia argyi H. Lév. & Vaniot	18	21	3.5	6.5
	黑麦草	Lolium perenne L.	55	3	1.2	5.1
	艾蒿	Artemisia argyi H. Lév. & Vaniot	27	63	8.7	18.2
SZQ1z	野菠菜	Rumex acetosa L.	60	19	35.5	41.5
	黑麦草	Lolium perenne L.	36	18	0.6	4.9
	过路黄	Lysimachia christinae Hance	26	3	0.1	0.8
	黑麦草	Lolium perenne L.	50	14	2.3	13.9
SZQ1x	水蓼	Polygonum hydropiper	22	11	0.5	8.1
	野菠菜	Rumex acetosa L.	63	9	3.4	13.0
	芥菜	Capsella bursa - pastoris	33	3	0.1	0.8
	早熟禾	Poa sibirica Roshev	19	20	0.2	1.1
SZQ2s	黑麦草	Lolium perenne L.	101	159	16.5	119.7
	野菠菜	Rumex acetosa L.	61	3	2.1	9.3
SZQ2z	黑麦草	Lolium perenne L.	58	248	26	166.8
	艾蒿	Artemisia argyi H. Lév. & Vaniot	20	4	2.0	4.4
SZQ2x	黑麦草	Lolium perenne L.	81	100	21.6	146.0
	续断菊	Sonchus asper (L.) Hill	55	68	3.2	16.7
	艾蒿	Artemisia argyi H. Lév. & Vaniot	33	44	24	29.2
	野菠菜	Rumex acetosa L.	53	12	4.0	7.2
SZQ3s	黑麦草	Lolium perenne L.	56	68	11.6	27.5
	鬼针草	Bidens pilosa	46	2	26.1	41.9
	黑麦草	Lolium perenne L.	48	33	10.1	19.7
SZQ3z	野菠菜	Rumex acetosa L.	61	6	7.9	25.2
	鬼针草	Bidens pilosa	41	1	8.8	17.8
	黑麦草	Lolium perenne L.	55	38	2.1	11.6
SZQ3x	艾蒿	Artemisia argyi H. Lév. & Vaniot	33	6	7.5	16.7
	野菠菜	Rumex acetosa L.	54	3	5.6	12.3
	鬼针草	Bidens pilosa	57	2	3.6	10.3

平,位于山区的商洛市代表沟渠的土壤 C 含量稍低于全国平均水平;土壤 N 含量为 0.78 ~ 1.64 mg/g,平均值为 1.09 mg/g,高于全国第二次土壤普查结果的全国平均耕地耕层土壤的全氮含量;土壤 P 含量为 0.45 ~ 0.83 mg/g,平均值 0.62 mg/g,属于极缺乏状态;土壤 C : N 为 7.04 ± 0.99, C : P 为 12.83 ± 4.64, N : P 为 1.87 ± 0.74。相关分析表明:土壤 C、N 含量显著相关($P < 0.01$), C、P 无显著相关性, N、P 也无显著相关性($P > 0.05$)。

2.2 植物 C、N、P 含量及 C : N、C : P、N : P

该城市典型沟渠中生物量最大的 3 种自然植被的根 C、N、P 含量分别为 328.24 (± 53.81)、14.03 (± 4.38) 和 1.72 (± 0.60) mg/g,变异系数分别为 16.39%、31.23% 和 35.06%;根的 C : N、C : P 及 N : P 分别为 26.06 (± 11.09)、219.51 (± 92.89)、8.81 (± 3.26),变异系数分别为 42.54%、42.36% 和 37.05% (表 1)。

沟渠三种自然植被叶片的 C、N、P 含量分别为 384.13 (± 19.35)、24.65 (± 7.64) 和 1.62 (± 0.53) mg/g,变异系数分别为 5.03%、30.78% 和 31.26%;叶的 C : N、C : P 及 N : P 分别为 17.06 (± 7.20)、256.49 (± 78.59)、16.05 (± 5.85),变异系数分别为

42.14%、30.64% 和 36.45% (表 2)。植物叶片的 C、N、P 含量均显著高于土壤($P < 0.01$),除 P 外,叶的 C、N 含量显著高于根的含量($P < 0.01$) (表 2)。3 种自然植被叶片 C 含量低于全球 492 种陆生植物叶片平均含量^[10], N 含量 24.65 (± 7.64) mg/g 比全球环境植物叶片平均 N 含量相对较高^[10],叶片 P 含量的平均值为 1.62 (± 0.53) mg/g,稍低于基于全球代表植物的分析结果^[11],却高于中国东部南北样带植物的研究结果^[12]。三种自然植物叶的 C : N (17.06 ± 7.20)、C : P (256.49 ± 78.59) 低于 Elser 等^[10]研究的全球陆地系统植物的平均水平。

2.3 叶、根及土壤 C、N、P 含量及化学计量比的相关性分析

植物叶片 N 和 P 含量呈极显著相关($P < 0.05$),但 C 和 N 以及 C 和 P 无显著相关($P > 0.05$) (图 2),说明叶片 N 含量的变化与叶片 P 含量的变化具有一致性。通过相关分析发现,土壤与植物叶片的 N 元素含量呈显著相关性($P < 0.05$)。土壤 C : P、C : N、C : P、N : P 与植物叶片各计量参数之间不存在着显著相关关系($n = 9, P > 0.05$) (图 3)。

表 2 丹江水源地沟渠植物根、叶和土壤 C、N、P 含量及化学计量比

Tab.2 The characteristics of C, N, P for three nature plants root, leaf and soil in the city ditches at headwater region of Dan River

化学计量		均值	标准差	变异系数	最小值	最大值	变程
根	C/(mg/g)	328.24a	53.81	16.39	195.52	381.21	185.69
	N/(mg/g)	14.03a	4.38	31.23	7.00	22.49	15.49
	P/(mg/g)	1.72a	0.60	35.06	0.61	2.52	1.91
	C : N	26.06	11.09	42.54	13.53	54.46	41.93
	C : P	219.51	92.89	42.36	87.66	378.38	290.71
	N : P	8.81	3.26	37.05	5.42	14.90	9.48
叶	C/(mg/g)	384.13b	19.35	5.03	333.16	405.57	72.41
	N/(mg/g)	24.65b	7.64	30.78	12.36	36.95	24.59
	P/(mg/g)	1.62a	0.53	31.26	0.96	2.10	1.14
	C : N	17.06	7.20	42.14	10.46	32.75	22.29
	C : P	256.49	78.59	30.64	180.73	423.70	242.97
	N : P	16.05	5.85	36.45	7.72	26.10	18.38
土壤	C/(mg/g)	7.67c	2.98	38.83	4.90	13.01	8.11
	N/(mg/g)	1.09c	0.35	32.45	0.78	1.64	0.86
	P/(mg/g)	0.62b	0.15	23.77	0.40	0.83	0.43
	C : N	7.04	0.99	14.12	5.64	8.63	2.99
	C : P	12.83	4.64	36.21	7.27	19.36	12.09
	N : P	1.87	0.74	39.28	1.04	3.11	2.07

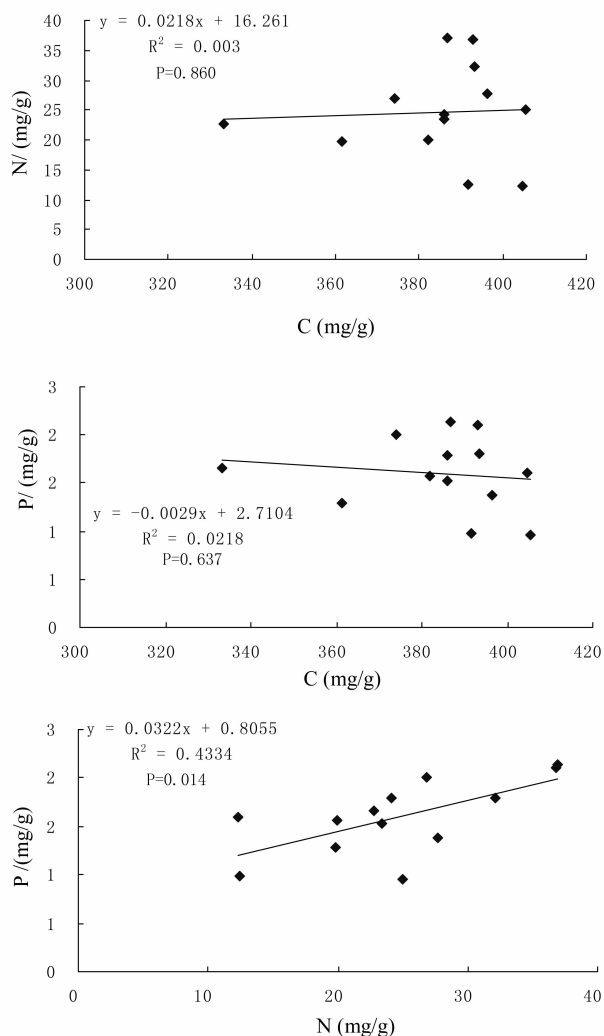


图2 叶片 C、N、P 含量间的回归分析

Fig.2 Regression analysis between leaf C and N, C and P, N and P content

3 讨论

土壤 C、N、P 的多少及成分组合状况,会影响植物元素的多少和组成状况,在植物正常生长发育和生态功能作用上具有重要作用^[13]。位于山区的商洛市代表沟渠的土壤 C 含量中等, N 含量较为丰富,而 P 含量极缺乏,属于贫瘠土壤,表现出土壤养分组成不均衡。沟渠土壤 N、P 含量除来源于矿物风化、凋落物归还、大气沉降外,洪水过程也会造成水体中 N、P 进入土壤。但除发生洪水外,沟渠的污水都是沿深沟流动,不会与沟渠植物、土壤广泛接触。研究结果表明土壤 C 与 N 的含量是显著的正相关关系,这点与胡启武等的研究发现相同^[13],然

而土壤 N 与 P 含量没有相关性,分析表明地区 P 极贫乏影响了两者的相关性。土壤的 C:N 比远小于 25,说明有机质累积速度小于分解速度,土壤具有较快的矿化作用,这也是造成土壤 N 含量较高的原因之一。

叶片是植物对环境变化做出反应的最敏感的指示部位。由于叶中 C、N、P 的含量和之间的比例相对稳定,从而可以植物生态系统本身的 N、P 养分限制格局和 C 积累。该城市沟渠植物叶片呈现低 C 高 N、P 的特征。三种自然植物叶的 C:N、C:P 低于全球陆地系统植物的平均水平,说明沟渠植物固 C 效率低下,与限制植物生长的 N、P 相联系,土壤养分不均衡限制了植物对 C 养分元素的利用、固定^[12]。较低的 C:P 说明进入到 rRNA 中 P 的浓度升高,主要是由于植物快速生长的需要核糖体快速的合成蛋白质需要大量的 P^[15],说明城市沟渠的植物生长迅速。该沟渠中都是一年生草本植物,加之洪水、污染的影响,植物必须快速生长,完成开花、结实、传播过程,是植物适应不利环境的一种表现。植物叶片 N:P 比值可以作为指示环境对植物生长养分供应状况^[16]。植物叶片 N:P 为 16.05(±5.85), >16, Aerts 和 Chapin 认为当叶片 N:P >16 时,群落水平上植物生长主要受 P 限制。该地区属于半湿润季风山地气候,水分不是限制植物生长的主要因素, P 是沟渠陆生植物生长的限制元素,在沟渠植被-土壤养分循环和物质累积上发挥更重要作用^[17]。中国土壤普遍磷含量较低,该地区沟渠植物较高的 P 含量表明了高效的磷元素利用效率和优势地位,这也是沟渠植物长期演替过程中适应环境的一种方式^[18]。

该地城市沟渠植物叶片 C 含量具有最小的变异性, P 具有最大的变异性,表明沟渠植物叶片 C 含量具有最强的稳定性。植物 C 不直接参与生产活动,主要起骨架作用。通常植物叶片内 N 相对于 P 有较小的变异性,主要原因是有机体内 N 比 P 具有更强的内稳态系数,从而 N 元素在环境变化条件下变异更小^[19]。植物根的 C、N、P 含量显著低于地上部分,体现出营养元素在植物器官上分配的不均衡性。土壤 N 含量与植物 N 含量表现出显著相关性 ($P < 0.05$),说明土壤 N 供应量影响植物 N 含量。此外植物叶片 N、P 含量显著相关,这不同于沙漠地区的植物^[2],而这与全球尺度的研究结果一致^[20],体现了该环境条件下沟渠的自然植被两种营养元素

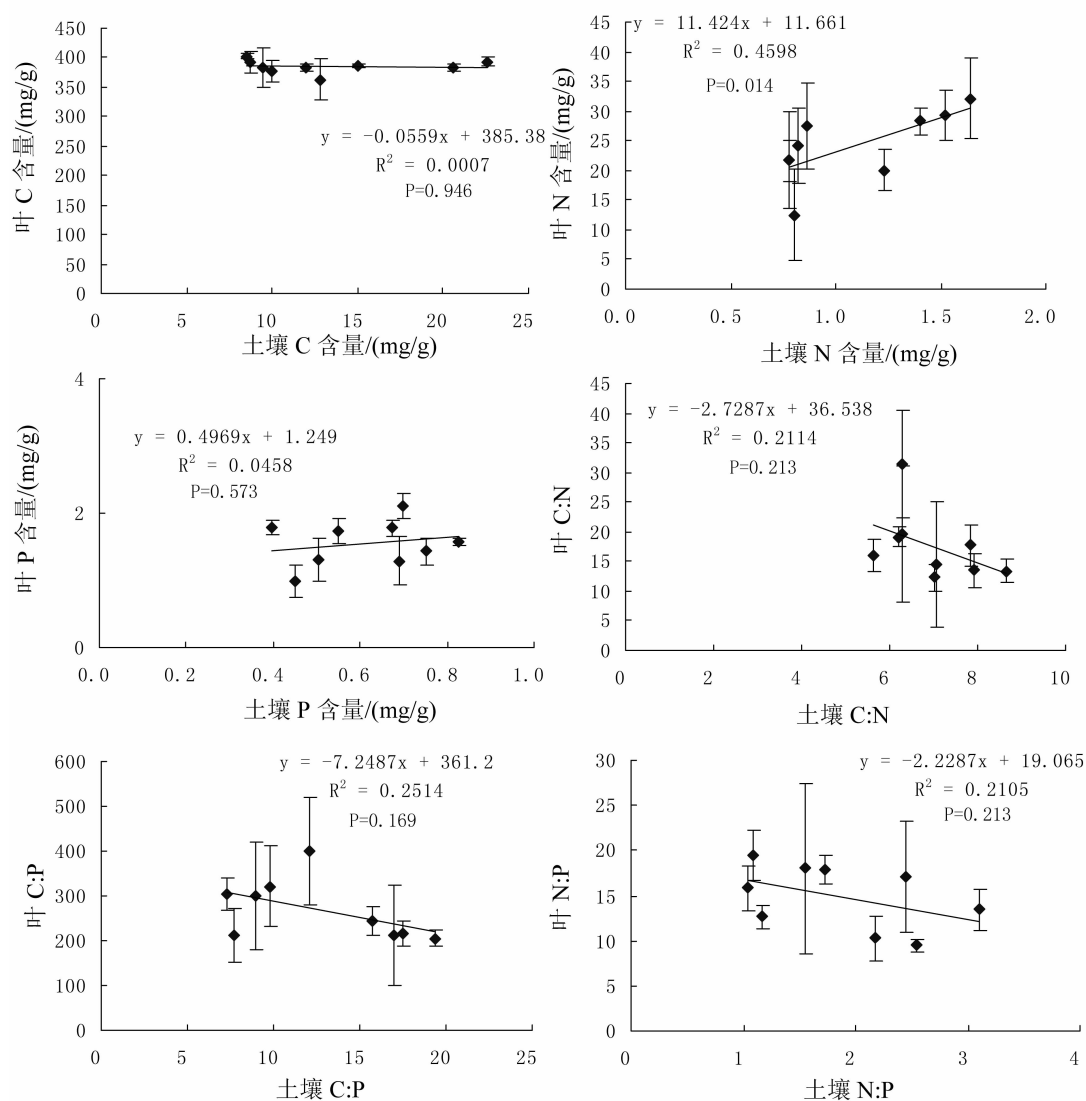


图3 土壤和植物 C、N、P、C:N、C:P、N:P 相关分析

Fig. 3 Correlation analysis between C, N, P, C:N, C:P and N:P in the leaf and soil

变化的一致性。这可能是由于物种间共同的植物系统发育的信号可能对于维持这种组织间的 N、P 平衡发挥着重要作用^[21]。土壤和植物之间的 C:N、C:P 和 N:P 无相关性 ($P > 0.05$), 这说明植物对土壤 N、P 元素的富集, 改变了土壤-植物之间的 C、N、P 循环和再分配比例。沟渠植物多是一年生草本植物, 较大的洪水过程发生在夏季, 待秋季以后径流量减少, 草本的凋落物没有被冲走, 而受微生物分解后的 N、P 元素仍归还于土壤, 植物的吸收利用改变了元素的归还速度和含量。此外, 人为排放的污水会加剧环境的恶劣程度, 让植物加速完成生长过程, 影响元素分布的变异性。研究期内, 沟渠中水体总磷含量达到 $1.13 \pm 0.32 \text{ mg/l}$, 含量较高, 但是并未引起土壤磷含量的升高, 再加上沟渠植物多为旱生

草本, 造成水体、土壤和植物之间养分循环和相互作用并不活跃, 因此, 沟渠植物对氮磷污染的去除效率不高。在山地地区, 城市沟渠都有一定的坡度, 水流流速较快, 冲击形成狭窄沟道而流走, 没有与土壤、植物充分接触。很多山区城市仍是贫困地区, 污染治理能力有限, 也多位于河流的上游, 沟渠元素的赋存和输出对河流上游生态乃至中下游的生态环境都会产生重要影响。为了保护 and 美化山区城市环境, 沟渠污染的防治可考虑引入更有效的水生植物, 加上改造沟道形态, 延缓流速, 增加植物-土壤-水体之间的相互作用, 例如建立高效人工沟渠湿地生态系统, 加强 N、P 等污染物的去除, 促进山区城市生态环境和景观的改善和美化。

4 结论

本文基于对丹江水源地-商洛市的三条城市沟渠土壤、植被的生态化学计量分析,得到以下主要结论:

(1)秦岭山区城市沟渠土壤含碳水平与全国相当,富氮贫磷,养分分布不均衡,土壤矿化速度快;

(2)典型植物叶片C:N:C:P低于全球陆地系统植物的平均水平,说明沟渠植物固C效率低下;典型植物叶片N:P为16.05(± 5.85),表明该地区沟渠植物群落水平上植物的生长受到P元素限制,P在沟渠植被-土壤养分循环和物质累积上发挥更重要作用。植物叶片N、P含量显著相关,表明了沟渠环境条件下自然植被两种营养元素变化的一致性。

(3)典型沟渠中污水TP含量达到1.13(± 0.32)mg/l,含量较高,但是并未引起土壤P含量的升高,再加上沟渠植物多为旱生草本,所以城市沟渠植物-土壤相互作用关系不密切,对N、P去除效率不高,应重建沟渠植被,以便更高效地固C和去除N、P,减轻城市沟渠污染和美化山区城市环境。

参考文献(References)

- [1] 钟祥浩. 20年来我国山地研究回顾与新世纪展望——纪念《山地学报》(原《山地研究》)创刊20周年[J]. 山地学报, 2002, 20(6): 646–659. [ZHONG Xianghao. Review if the Mountain research progress in China in recent 20 years andprospectin the new century[J]. Mountain Research, 2002, 20(6): 646–659]
- [2] 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. [LI Congjuan, Lei Jiaqiang, Xu Xinwen, et al. The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5760–5767]
- [3] RATNAM J, SANKARAN M, HANAN N P, et al. Nutrient resorption patterns of plant functional groups in a tropical savanna: variation and functional significance [J]. Oecologia, 2008, 157(1): 141–151.
- [4] MAYS P A, EDWARDS G S. Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed wetlands receiving acid mine drainage[J]. Ecological Engineering, 2001, 16(4): 487–500.
- [5] CHAPIN FS III, VITOUSEK P M, VAN CLEVE K. The nature of nutrient limitation in plant communities [J]. The American Naturalist, 1986, 127: 48–58.
- [6] KÖrner C. The nutritional status of plants from high altitudes[J]. Oecologia, 1989, 81(3): 379–391.
- [7] COLLINS B S, SHARITZ R R, COUGHLIN D P. Elemental composition of native wetland plants in constructed mesocosm treatment wetlands [J]. Bioresource Technology, 2005, 96(8): 937–948.
- [8] 赵培,赵希宁,唐家良. 商洛地区地表水离子组成特征及控制因素[J]. 人民长江, 2017, 48(1): 25–28. [ZHAO Pei Zhao Xining, TANG Jialiang. Ion composition and its controlling factors of surface water in Shangluo region. Yangtze River, 2017, 48(1): 25–28]
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2005: 30–33, 42–48, 76–78, 264–269. [BAO Shidan. Soil Agrochemical Analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 30–33, 42–48, 76–78, 264–269]
- [10] ELSER J J, STERNER R W, GOROKHOVA E, et al. Biological stoichiometry from genes to ecosystems [J]. Ecology Letters, 2000, 3(6): 540–550.
- [11] 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.
- [12] 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, 2008, 28(12): 2665–2673. [REN Shujie. YU Guirui, TAO Bo. et al. Leaf Nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2008, 28(12): 2665–2673]
- [13] 王维奇,徐玲琳,曾从盛,等. 河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7119–7124. [WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7119–7124]
- [14] 胡启武,欧阳华,刘贤德,等. 祁连山北坡垂直带土壤碳氮分布特征[J]. 山地学报, 2006, 24(06): 654–661. [HU Qiwu, OUYANG Hua, LIU Xiande, et al. Distribution characteristics of soil organic carbon and total nitrogen along the altitudinal belt in the northern slope of Qilian Mountains[J]. Mountain Research, 2006, 24(06): 654–661]
- [15] ÅGEN G I. The C: N: P stoichiometry of autotrophs-theory and observations[J]. Ecology Letters, 2004, 7(3): 185–191.
- [16] 李玉霖,毛伟,赵学勇,等. 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷化学计量特征研究[J]. 环境科学, 2010, 31(8): 1716–1725. [LI Yulin, MAO Wei, ZHAO Xueyong, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in typical desert and desertified regions, north China [J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2010, 31(8): 1716–1725]
- [17] AERTS R, Chapin Iii F S. The mineral nutrition of wild plants revisited[J]. Advances in Ecological Research, 2000, 30: 1–67.
- [18] 洪江涛,吴建波,王小丹. 藏北高寒草原紫花针茅根系碳氮磷生态化学计量学特征[J]. 山地学报, 2014, 32(04): 467–474. [HONG Jiangtao, WU Jianbo, WANG Xiaodan. Root C:N: P Stoichiometry of Stipa purpurea in Apine Steppe on the Northern

- Tibet[J]. Mountain Research, 2014, **32**(04): 467–474]
- [19] YU Q, ELSER J J, HE N, et al. Stoichiometric homeostasis of vascular plants in the Inner Mongolia grassland[J]. Oecologia, 2011, **166**(1): 1–10.
- [20] YUAN Z Y, CHEN H Y H, REICH P B. Global-scale latitudinal patterns of plant fine-root nitrogen and phosphorus[J]. Nature communications, 2011, **2**: 344.
- [21] KERKHOFF A J, FAGAN W F, ELSER J J, et al. Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants[J]. The American Naturalist, 2006, **168**(4): E103–E122.

The Stoichiometric Characteristics of C, N, P for Plants and Soil in the Ditches at Shangluo City of Qinling Mountain

ZHAO Pei^{1*}, WANG Qunying², LIU Zhipeng³

(1. College of Urban, Rural Planning and Architectural Engineering, Shangluo University, Shangluo 726000, China;

2. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;

3. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The ecological stoichiometric characteristics of plants and soil in urban wetland system (e. g. ditches) in hilly areas could improve the understanding of plant ability in nutrients absorption and purification, as well as their adaptability to environment. In this study, plant diversity was investigated in three ditches in Shangluo city located at Qinling Mountain area. The contents of total carbon (C), nitrogen (N), and phosphorus (P) in the soil, and roots and leaves of main plant species were measured. Results showed that the contents of soil C, N, and P were equivalent, higher and far below the national average, respectively. This indicated the existence of nutrient imbalance in ditch soil. The average contents of C, N, and P in natural plant leaves were 384.13 (± 19.35), 24.65 (± 7.64) and 1.62 (± 0.53) mg/g. The element contents in leaves were significantly higher than that in the roots and soil. The ratios of C:N, C:P, and N:P in the leaves were 17.06 (± 7.20), 256.49 (± 78.59) and 16.05 (± 5.85). The C:N and C:P ratios were lower than the national average, which indicated a low efficiency of carbon fixation and P constraints in the natural plant growth in the study area. The soil N content was significantly correlated with the plant N content ($P > 0.05$), while the contents of C and P, and the ratios of C:N and N:P in soil were not significantly correlated with these in the plants. This suggests that soil N content might affect N content in the plants, and in turn soil N content could be affected by plant litter. The results also indicated that soil-vegetation nutrition interactions and redistribution pattern should be significantly affected by the way of nutrients absorption by the plants.

Keywords: Qinling Mountain; natural vegetation; ecological stoichiometry; city ditch