

张婷,代群威,邓远明,等. 九寨沟优势植物凋落物叶片淋溶的碳氮磷释放特征[J]. 中国岩溶, 2021, 40(1): 133-139.
DOI: 10. 11932/karst20210114

九寨沟优势植物凋落物叶片淋溶的 碳氮磷释放特征

张婷¹, 代群威^{1,2}, 邓远明¹, 李琼芳³, 董发勤¹, Bowen Li⁴,

Bruce W. Fouke⁵, 李相邑¹

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 西南科技大学核废物与环境安全国防重点学科实验室, 四川 绵阳 621010; 3. 西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010; 4. 密歇根理工大学材料科学系, 美国 霍顿 49931; 5. 伊利诺伊大学香槟分校地质与生物系, 美国 厄巴纳 61801)

摘要:通过对九寨沟水体中两种优势植物落叶的碳氮磷淋溶动态分析发现:初期总溶解碳氮磷释放在48 h内逐渐稳定,表明短期的淋溶过程就可以导致较大比例的元素释放;磷的短期平均可溶出比例为29.61%,表明淋溶是植物磷元素释放的重要途径;估算得出九寨沟植物叶片碳氮磷贡献总量分别可达 $20\ 577\ \text{t}\cdot\text{a}^{-1}$, $2\ 101\ \text{t}\cdot\text{a}^{-1}$, $1\ 402\ \text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。研究表明九寨沟植物凋落物淋溶是水体碳氮磷的重要来源,也是影响钙华沉积的重要因素。分析凋落物养分溶出特征,可为九寨沟生态系统的健康发展提供数据支撑。

关键词:凋落物叶片;淋溶;碳氮磷释放;钙华沉积;九寨沟

中图分类号:Q948 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2021)01-0133-07 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

植物凋落物叶片是陆地和水生生态系统有机质和营养元素的重要来源,在维持土壤肥力、促进生态系统正常的物质循环和能量流动发挥重要作用^[1]。植被吸收利用的养分中,90%以上的N、P以及60%以上的其他矿质元素均来自于植物体通过凋落物归还到土壤中的营养^[2]。植物凋落物叶片的碳氮磷养分归还是一个长期的过程,自然情况下需要长达几年才能将凋落物叶片完全分解。但大量研究表明,植物凋落物叶片存在初期淋溶效应,即植物凋落物叶片在水流冲刷的短时间内就能溶出其所含大部分碳氮磷物质^[3-4]。Lavery等^[5]发现,在最初的14 d里,

中国海棠释放了大约50%的DOC,并估计需要大约3 a的时间才能释放出剩余的DOC。植物凋落物在水中的快速降解可能为碳氮磷等主要元素和微量元素提供一个高度不稳定的水域,尤其是在丰水期^[6]。由于植物凋落物的不同化学特征反映在淋溶的元素中,气候变化驱动的植物演替有可能显著影响邻近的水生系统^[7-8]。目前由于缺乏植物凋落物淋溶释放动力学的数据,人们对植物凋落物分解对河水化学的定量贡献缺乏全面的认识^[9]。

近年来,九寨沟风景区(以下简称九寨沟)局部地段地表水量明显减少,水质亦有变化,一些核心景观地段水体受到污染呈富营养化趋势,藻类爆发,钙华也有退化现象。朱成科等^[10]对五花海、珍珠滩进

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41872288, 41973053, 41572035)

第一作者简介:张婷(1994—),女,硕士研究生,研究方向:环境生态修复。E-mail: zzz_ting@163.com。

通信作者:代群威(1978—),男,博士,教授,研究方向:环境污染调控与生态修复。E-mail: qw_dai@163.com。

收稿日期:2020-09-20

行水质评价,认为九寨沟五花海和珍珠滩已受轻度污染,磷成为湖泊的限制性营养元素。钙华分布于世界各地的岩溶地区,但对这些生境中凋落物的处理研究较少^[11]。研究表明,植物凋落物分解过程中可能出现的较高浓度的CO₂、较低的pH、溶出的磷和增加的有机质含量都会阻碍钙华沉积^[12]。

九寨沟以水和钙华为核心,水环境极易受到污染。因此,在该地区开展植物凋落物淋溶特征研究对了解落叶层在九寨沟水体中所扮演的角色以及在钙华沉积中潜在的作用具有重要意义。本研究选取九寨沟优势植物凋落物叶片,对其淋溶特征进行分析,研究目标是:

- (1)量化九寨沟两种优势植物叶片的碳氮磷释放;
- (2)探究植物叶片溶出对实际水体碳氮磷的贡献。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

九寨沟地处青藏高原东缘,海拔2 000~4 880 m,是长江水系嘉陵江上游白水江源头的一条大支沟,沟长约50 km,流域面积641.35 km²,植被覆盖率为80.39%,森林覆盖率为38.24%^[13]。九寨沟处于喀斯特钙华堆积地貌背景下,由于高含钙泉水出露而形成的特有钙华景观和独特的峡谷湖泊及河滩湿地-森林景观是该地区特有的旅游景观资源,该地区是森林植被与水体为主的自然生态系统^[14]。九寨沟年均气温为7.3℃,最冷月(1月)和最热月(7月)的气温分别为-8.7℃和16.8℃。年平均相对湿度为60%~70%,年平均降水量为622 mm,且年变率较小(10%~15%)^[15]。受气候垂直变化影响,植物类型以及组成也呈现显著的垂直分布特征,从高到低分别是针阔混交林带、亚高山针叶林带以及灌丛草甸带。针阔混交林带分布在海拔1 800~2 800 m,主要包括冷杉(*Abies ernestii*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)等针叶树以及红桦(*Betula albo-sinensis*)和青冈(*Quercus glauca Thunb*)等落叶阔叶树^[16]。

1.2 植物凋落物叶片的选取与采集

选择九寨沟以青冈叶为代表的阔叶和以冷杉叶为代表的针叶作为优势植物的凋落物叶片。课题组于2019年9月前往九寨沟进行植物凋落物叶片样品采集,所收集样品均为采样点观景台栈道上的当季

凋落物叶片,青冈叶片采集于五花海,冷杉叶采集于镜海。样品收集完成后放置在实验室风干,备用。

1.3 植物凋落物叶片碳氮磷的淋溶与测定

九寨沟植物凋落物叶片全碳采用岛津TOC分析仪测定,全氮与全磷采用硫酸-双氧水消解后,分别采用纳氏试剂比色法与钼锑抗比色法测定。

用剪刀将凋落物叶片剪切成为3~4 cm的长条,样品准确称取1.00 g置于500 mL锥形瓶中,于每个锥形瓶中加入300 mL超纯水,每个样品设置3个平行样,所有锥形瓶置于恒温摇床上振荡,摇床振荡频率设置为180 r·min⁻¹,温度设置为10℃。分别在第1 h、4 h、8 h、16 h、24 h、36 h、48 h测定淋溶液TOC、TN、TP浓度值。淋溶液中TOC采用岛津TOC分析仪测定,TN与TP分别采用国标法(HJ636-2012)与国标法(GB11893-89)进行测定。

1.4 水体采集与碳氮磷测定

本课题组于2019年4月与9月于九寨沟进行水样采集,由于地震等原因导致九寨沟景区不完全开放,最终确定九寨沟采样点包括珍珠滩、镜海、诺日朗群海、诺日朗瀑布、双龙海瀑布,各采样点海拔依次降低。九寨沟水体TOC、TN、TP样品采集后,使用浓H₂SO₄现场调节pH<2进行保存,随后送回实验室进行测定。TOC测试采用岛津TOC测定仪测定,TN采用国标法(HJ636-2012)进行测定,TP采用国标法(GB11893-89)进行测定。

2 结果

2.1 九寨沟植物凋落物叶片TOC、TN、TP快速淋溶特征

九寨沟植物凋落物叶片TOC、TN、TP溶出规律如图1所示,溶出量随着时间的延长呈现缓慢增加的趋势,青冈叶溶出量大于冷杉叶。且在第48 h时,青冈叶和冷杉叶TOC、TN、TP的平均淋溶速率分别为0.037 mg·(g·h)⁻¹、0.002 mg·(g·h)⁻¹、0.003 mg·(g·h)⁻¹。通过计算两种植物凋落物叶片不同溶出时间段溶出量占第48 h淋溶量的比例,发现青冈叶第4 h的TOC、TN和TP溶出量分别占叶片快速淋溶总量的48.77%、57.34%和46.37%。鉴于此,本文尝试将描述快速吸附过程的动力学模型用于探讨植物叶片TOC、TN、TP的快速溶出动力学。设定植物叶片TOC、TN、TP的溶出动力学模型为式(1):

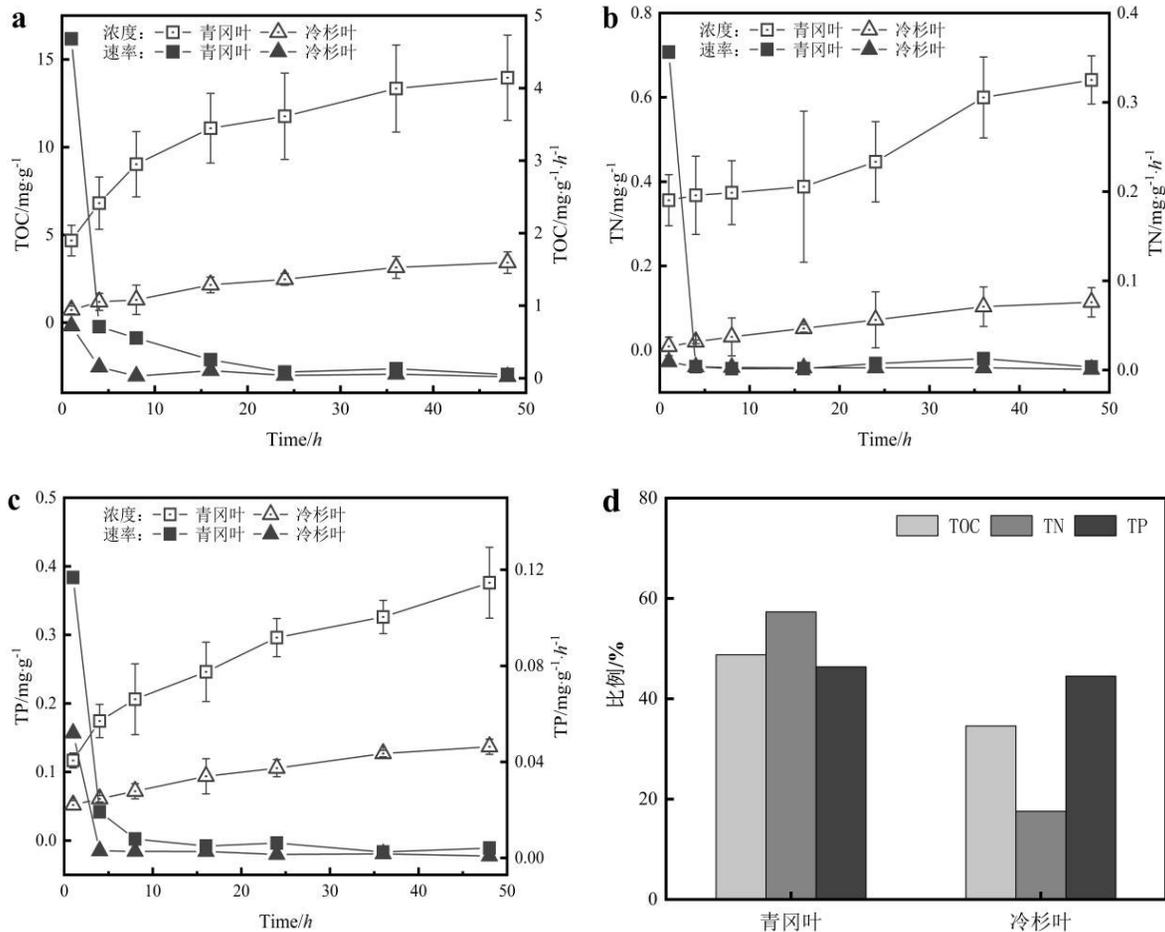


图 1 九寨沟植物凋落物叶片 TOC, TN, TP 溶出浓度及速率

Fig. 1 Dissolution concentration and rate of TOC, TN and TP from withered leaves of plants in Jiuzhaigou valley (a) TOC, (b) TN, (c) TP, and (d) The proportion of the leaching amount of litter leaves at 4 h in the leaching amount at 48 h

$$\frac{t}{d_i} = k_d + \frac{1}{d_e} t \quad (1)$$

式中: t 为作用时间, h ; d_i 为单位质量凋落物叶片溶出量, $mg \cdot g^{-1}$; k_d 为溶出动力学常数, $h \cdot g \cdot mg^{-1}$; d_e 为溶出平衡时最高单位质量凋落物叶片溶出量, $mg \cdot g^{-1}$ 。

溶出动力学模型拟合结果(图 2 和表 1)表明,青冈叶 TOC 溶出的拟合度最高,其 d_e 可达 $14.925 mg \cdot g^{-1}$,并且 48 h 后 TOC 的实际溶出量(d_i)占模拟计算得出的溶出平衡时溶出量(d_e)的 93.54%。

2.2 九寨沟植物凋落物叶片全碳氮磷特征

对九寨沟植物凋落物叶片全碳氮磷含量研究表明(图 3),青冈和冷杉凋落物叶片全氮含量与全磷含量分别为 $56.18 mg \cdot g^{-1}$, $1.19 mg \cdot g^{-1}$ 和 $18.33 mg \cdot g^{-1}$, $0.49 mg \cdot g^{-1}$,具有明显的正相关关系;而凋落物叶片全碳含量与全氮全磷含量呈负相关。通过对九寨沟植物叶片快速淋溶总量占全量的比例进行分析,结

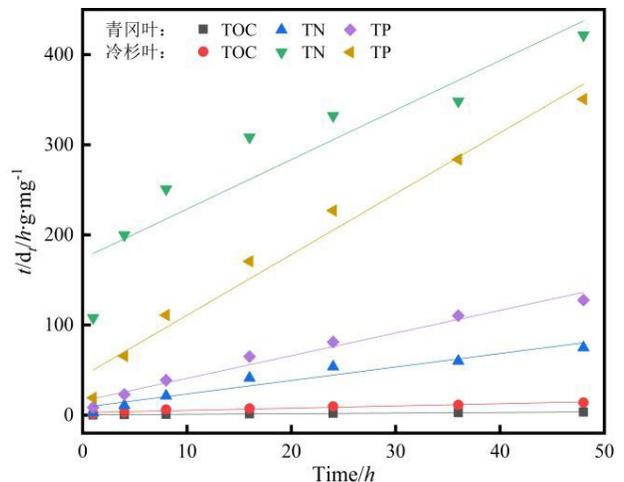


图 2 植物凋落物叶片 TOC, TN, TP 溶出动力学

Fig. 2 Dissolution dynamics of TOC, TN and TP in plant withered leaves

果如图 4。不同元素对淋溶的响应特性存在差异,磷比碳和氮更易被溶出,48 h TP 可溶出比例平均高达

29.61%, TOC, TN 快速淋溶总量次之, 平均分别占 2.09%, 0.88%。TP 可溶出比例是 TOC 可溶出比例的 14.17 倍, 是 TN 可溶出比例的 33.65 倍。

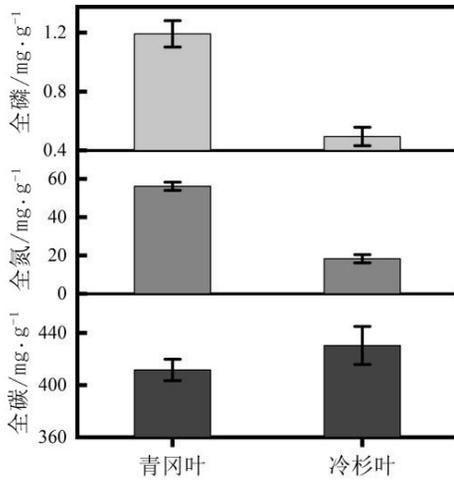


图3 植物凋落物叶片全碳氮磷含量

Fig. 3 Total carbon, nitrogen and phosphorus contents in plant withered leaves

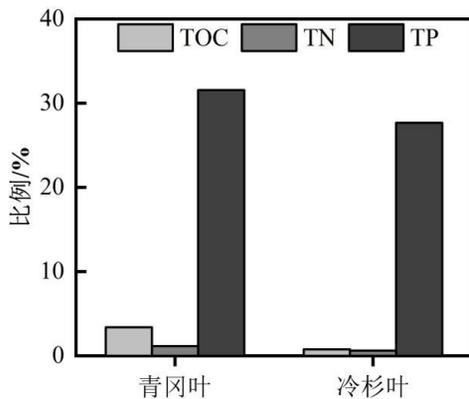


图4 植物凋落物叶片 48 h 淋溶碳氮磷占比

Fig. 4 Proportion of leached carbon, nitrogen and phosphorus in plant withered leaves for 48 h

2.3 九寨沟植物凋落物叶片碳氮磷贡献量估算

基于前文中植物凋落物叶片的淋溶结果, 本文提出一种九寨沟植物凋落物叶片碳氮磷贡献量的估算公式:

$$Y = B \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot C \quad (2)$$

式中: Y 为植物凋落物叶片碳氮磷贡献量, $t \cdot a^{-1}$; B 为区域总生物量, $t \cdot a^{-1}$; A_1 为不同类型叶片生物量占比, %; A_2 为叶周转率, %。生物量周转率是指森林生物量在一年内通过凋落物的形式所流出的量占生物量库存总量的百分比, 而叶周转率是生物量周转率中凋落物叶片所占的比例; C 为单位质量叶片碳氮磷

表1 九寨沟植物凋落物叶片 TOC、TN、TP 溶出动力学模型拟合结果

Table 1 Fitting results of TOC, TN and TP dissolution dynamic models of plant withered leaves in Jiuzhaigou valley

项目	k_d /h·g· mg ⁻¹	d_c /mg· g ⁻¹	R	Formula	
TOC	0.31	14.93	0.996	$t/d_t = 0.31 + 0.07t$	
青冈叶	TN	8.61	0.67	0.960	$t/d_t = 8.61 + 1.49t$
	TP	15.73	0.40	0.984	$t/d_t = 15.73 + 2.51t$
冷杉叶	TOC	2.81	4.05	0.965	$t/d_t = 2.81 + 0.25t$
	TN	173.80	0.18	0.904	$t/d_t = 173.80 + 5.49t$
	TP	43.32	0.15	0.984	$t/d_t = 43.32 + 6.75t$

贡献量, $mg \cdot g^{-1}$, 以植物凋落物叶片快速淋溶总量计。

九寨沟总生物量 B 约为 $8.26 \times 10^6 t \cdot a^{-1}$, 其中针叶林占比在 70% 以上, 阔叶林约占 5%, 针阔混交林约占 20% 左右, 其余为灌丛群落^[17]。同时九寨沟针叶林是以冷杉、云杉群落为主的常绿针叶林, 而阔叶林则是以栎属、青冈属群落为主的落叶阔叶林。文献指出常绿针叶林叶周转率为 3.56%, 落叶阔叶林叶周转率为 95.24%, 混交林叶周转率为 58.82%^[18]。

九寨沟植物凋落物叶片碳氮磷贡献量估算结果见表 2, 碳氮磷贡献总量分别为 $20\ 577 t \cdot a^{-1}$, $2\ 101 t \cdot a^{-1}$, $1\ 402 t \cdot a^{-1}$ 。

2.4 九寨沟水体 CNP 变化特征

九寨沟水体的主要补给来源于大气降水, 通过对九寨沟县 1989–2018 年逐月平均降水量变化分析, 九寨沟县 5–10 月的月平均降水量累计值可占全年的 93.6%^[19], 因此, 对九寨沟 4 月平水期与 9 月丰水期的水体进行采样, 水体 TOC、TN、TP 浓度测定结果见图 5。查阅文献得知九寨沟多年平均降水量为 622 mm, 折合 $4 \times 10^8 m^3$, 径流总量 $2.85 \times 10^8 m^3$, 蒸发损失 $1.15 \times 10^8 m^3$ ^[20], 用上文得出的凋落物叶片碳氮磷贡献量估算值与实际水体中 TOC、TN、TP 浓度做对比, 结果表明植物凋落物叶片对九寨沟水体的磷贡献高达 30.41%, 碳和氮贡献达 6.70% 和 2.06%。

3 讨论

3.1 九寨沟植物凋落物叶片 TOC、TN、TP 快速淋溶分析

植物凋落物溶出成分的释放有两个阶段: 快速

表 2 九寨沟植物凋落物叶片碳氮磷贡献量

Table 2 Contribution of carbon, nitrogen and phosphorus to plant withered leaves in Jiuzhaigou valley

贡献指标	叶片类型	区域总生物量 $B/t \cdot a^{-1}$	不同类型叶片生物量占比 $A_1/\%$	叶周转率 $A_2/\%$	单位质量叶片碳氮磷贡献量 $C/mg \cdot g^{-1}$	不同叶片类型碳氮磷贡献量/t	优势叶片碳氮磷贡献量 $Y/t \cdot a^{-1}$
TOC	针叶	8 257 913	0.70	0.36	3.42	6 642.02	20 577
	阔叶		0.05	0.95	13.96	5 490.28	
	混交		0.20	0.59	8.69	8 444.61	
TN	针叶	8 257 913	0.70	0.36	0.11	220.80	2 101
	阔叶		0.30	0.95	0.64	1 513.52	
	混交		0.20	0.59	0.38	366.87	
TP	针叶	8 257 913	0.70	0.36	0.14	265.58	1 402
	阔叶		0.30	0.95	0.38	887.46	
	混交		0.20	0.59	0.26	249.19	

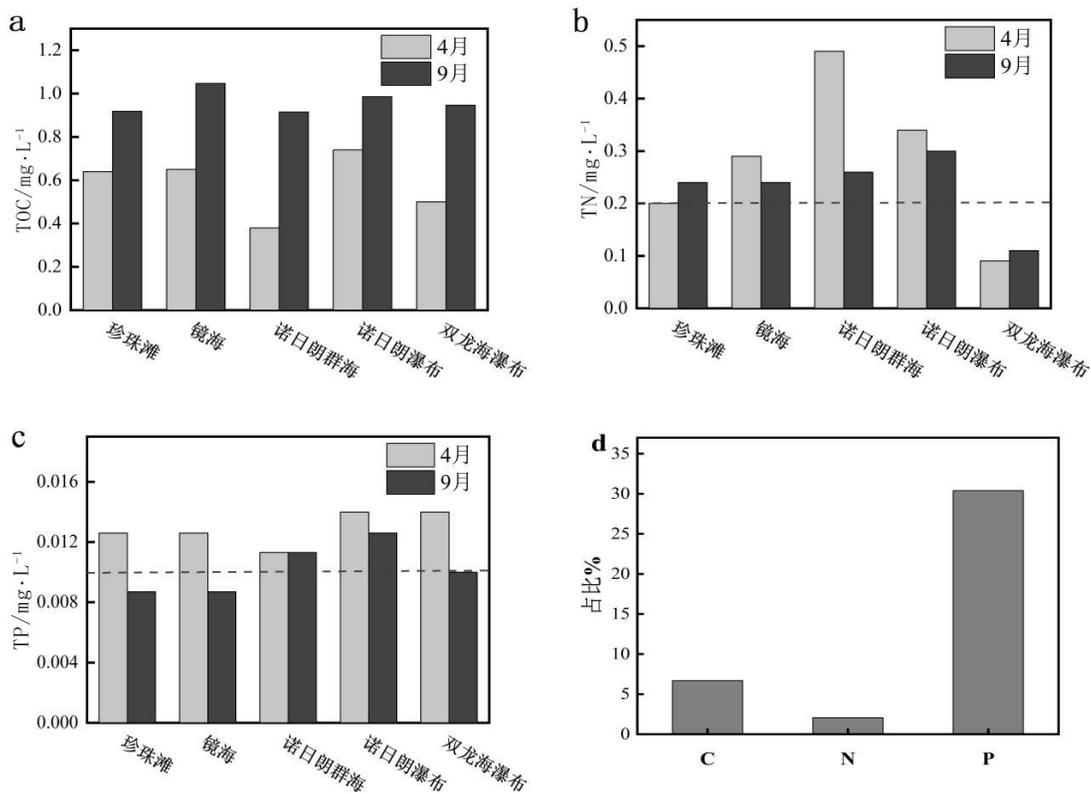


图 5 九寨沟水体碳(a)、氮(b)、磷(c)含量和植物凋落物叶片(d)对水体中各元素含量贡献

Fig. 5 Ratios of contributions from contents of carbon (a), nitrogen (b), phosphorus (c) and plant litter leave (d) to water mass in Jiuzhaigou valley

溶出和长期释放^[9],青冈叶和冷杉叶的溶出速率在初期呈陡峭的下降趋势,快速溶出区间在4 h内。TOC、TN、TP的溶出速率差异可能归因于叶片中的非结构性碳水化合物和其他活性有机质^[21]。Halima等^[22]对8种植物168个样本凋落物的淋溶实验结果显示,干物质淋失趋于稳定时长在24~48 h,与本研究结论一致。对叶片不同溶出时间段溶出量占快速淋溶总量

的比例分析表明,青冈叶具有初期溶出量大、溶出速率快的特性。溶出动力学模型拟合结果分析表明,青冈叶和冷杉叶的TOC、TN、TP快速淋溶48 h后基本达到溶出平衡。因此可将九寨沟植物凋落物叶片48 h溶出量认定为叶片TOC、TN、TP快速淋溶总量。

青冈和冷杉凋落物叶片全碳含量与全氮、全磷含量的差异性,可能是由于大部分碳元素在植物体

中以纤维素、木质素等不溶性大分子有机物形态存在,其水溶性很弱,因此总碳含量可能更多受到叶片本身有机碳成分的影响。快速淋溶总量占全量的比例分析表明,磷比碳和氮更易被溶出,TP可溶出比例平均高达29.61%,结果与豆鹏鹏等^[23]的研究结果相似,表明淋溶是磷元素释放的重要途径。

3.2 九寨沟植物凋落物叶片 TOC、TN、TP 溶出贡献

Audry 等^[9]研究表明,植物凋落物是地表水元素的重要来源,并且植物凋落物淋溶对水体成分贡献非常显著。凋落物的分解过程会影响养分循环,从而影响水生生物(包括藻类和细菌)的丰度^[24]。九寨沟植物叶片凋落的时间集中在秋冬季节,其贡献的大量碳氮磷进入水体,影响水体中碳氮磷含量,甚至导致九寨沟水体富营养化。植物凋落物叶片对九寨沟水体的磷贡献高达30.41%,碳和氮贡献达6.70%和2.06%,表明植物凋落物叶片是水体重要的碳氮磷贡献源。另外,九寨沟水体碳氮磷含量还受到旅游和大气沉降的影响^[13]。水体 TOC 浓度变化与生物量呈正相关关系^[25],表明九寨沟水体在9月有大量藻类滋生。张金流等^[26]研究了地表水中溶解有机碳(DOC)浓度变化对黄龙风景区各景点钙华沉积速率的影响,结果发现钙华沉积速率与 DOC 浓度呈现明显的负相关变化趋势。因此,九寨沟水体 TOC 浓度的变化可能对钙华沉积产生影响。

九寨沟4月的TN,TP浓度总体高于9月,这与Vorobyev 等^[27]得出的可溶性元素P与流量呈负相关的研究结论相似。9月丰水期对水体中的TN,TP有一定的稀释作用,同时氮磷作为微生物生长的必要营养物质会被大量消耗。依据地表水水域分类标准,九寨沟水体属I类水($TN \leq 0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $TP \leq 0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),而九寨沟TN,TP均有超标的情况,特别是在4月,正是凋落物叶片的快速淋溶作用体现显著时期,凋落物氮含量的增加可能导致水体中N:P比率的增加^[28]。鉴于磷通常是微生物生长的主要限制资源,水体中磷含量的增加将对藻类密度产生强烈的正面影响^[29]。因此植物凋落物叶片短期快速溶出的磷进入九寨沟水体,可能会引起藻类植物的过度繁殖。

4 结 论

凋落物淋溶是凋落物分解过程中的一个重要特征机制,是凋落物养分循环的重要环节,本文研究了

九寨沟两种优势植物凋落物叶片在48h快速淋溶过程中碳氮磷的淋溶动态,为估算碳氮磷在流域的释放提供了上限。结果表明:

(1)九寨沟植物叶片 TOC, TN, TP 淋溶规律相似,并且有初期溶出比例高,易溶出的特性;

(2)不同元素对淋溶的响应特性存在差异,磷比碳和氮更易被溶出,平均高达29.61%;

(3)估算了植物凋落物叶片碳氮磷贡献总量,表明植物凋落物叶片是水体重要的碳氮磷贡献源;

(4)凋落物叶片对水体成分贡献显著,为藻类生长提供大量营养源。

此外,为了更好地了解凋落物叶片淋溶对钙华沉积的潜在贡献,可进一步研究凋落物叶片淋溶作用对藻类生长的影响以及钙华沉积的影响。

参考文献

- [1] 刘璐,赵常明,徐文婷,等.神农架常绿落叶阔叶混交林凋落物养分特征[J].生态学报,2019,39(20):7611-7620.
- [2] Chapin F S, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M]. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, 2011.
- [3] 程志辉,李法云,李海燕,等.辽东山地水源涵养林典型植被凋落物C、N、P溶出特征及其影响因素[J].生态学杂志,2019,38(4):107-116.
- [4] 邓远明.九一黄景区典型人为与自然源碳氮磷贡献与钙华沉积特征研究[D].绵阳:西南科技大学,2020.
- [5] Lavery P S, McMahon, K, et al. Release of Dissolved Organic Carbon from Seagrass Wrack and Its Implications for Trophic Connectivity[J].Mar Ecol Prog Ser,2013(494):121-133.
- [6] Frayssé F, Pokrovsky O S, Meunier J D. Experimental Study of Terrestrial Plant Litter Interaction With Aqueous Solutions [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2010, 74(1): 70-84.
- [7] Hernes P J, Spencer R G M, Dyda R Y, et al. The Genesis and Exodus of Vascular Plant DOM from an Oak Woodland Landscape[J]. Front Earth, 2017(5): 9.
- [8] Textor S R, Guillemette F, Zito P A, et al. An Assessment of Dissolved Organic Carbon Biodegradability and Priming in Blackwater Systems[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2018, 123(9): 2998-3015.
- [9] Audry S, Akerman A, Riotte J, et al. Contribution of Forest Fire Ash and Plant Litter Decay on Stream Dissolved Composition in A Sub-humid Tropical Watershed (Mule Hole, Southern India) [J]. Chemical Geology, 2014, 372: 144-161.
- [10] 朱成科.九寨沟核心景区湖泊水环境与藻类相关性研究[D].重庆:西南大学,2007.
- [11] Miliša M, Belančić A, Kepčija R M, et al. Calcite Deposition in Karst Waters Is Promoted by Leaf Litter Breakdown and Vice Versa. Annales de Limnologie-International Journal of

- Limnology, 2010, 46(4): 225-232.
- [12] Plant L J, House W A. Precipitation of Calcite in The Presence of Inorganic Phosphate[J]. Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects, 2002, 203(1): 143-153.
- [13] 乔雪, 江丽君, 唐亚, 等. 九寨沟大气氮、磷和硫沉降的通量及水环境意义[J]. 山地学报, 2014(5): 633-640.
- [14] 党政, 任锦海, 安超, 等. 7.0级地震对九寨沟核心景观和水化学影响[J]. 中国岩溶, 2019, 38(2): 186-192.
- [15] 杨俊义, 万新南, 范晓, 等. 九寨沟水环境系统动态模拟[J]. 四川地质学报, 2002(1): 16-20.
- [16] 鄢春华, 王蓓, 邹振东, 等. 九寨沟针阔混交林的夜间液流及其分配特征研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(4): 732-738.
- [17] 蓝振江, 蔡红霞, 曾涛, 等. 九寨沟主要植物群落生物量的空间分布[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(3): 299-306.
- [18] 周涛, 史培军, 贾根锁, 等. 中国森林生态系统碳周转时间的空间格局[J]. 中国科学:地球科学, 2010(5): 632-644.
- [19] 文凤娟, 张辉, 王全兰. 九寨沟县近30年气候特征分析[J]. 农家参谋, 2019(12): 179.
- [20] 李蕾. 九寨沟亚高山流域汞的迁移转化特征[D]. 成都: 四川师范大学, 2020.
- [21] Liu S, Jiang Z, Zhou C, et al. Leaching of Dissolved Organic Matter From Seagrass Leaf Litter and Its Biogeochemical Implications[J]. 海洋学报(英文版), 2018, 37(8): 84-90.
- [22] Halima M, Biyanzi P, Ibrahima A. Changes in Organic Compounds During Leaf Litter Leaching: Laboratory Experiment on Eight Plant Species of The Sudano-guinea Savannas of Ngaoundere, Cameroon [J]. Iforest Biogeosciences Forestry, 2008, 1(1): 27-33.
- [23] 豆鹏鹏, 王芳, 马瑜, 等. 叶凋落物碳、氮和磷元素对模拟淋溶的响应[J]. 科学通报, 2018, 63(30): 63-72.
- [24] Marks, JC. Revisiting the Fates of Dead Leaves That Fall into Streams. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2019, 50(1): 547-568.
- [25] 冯峰, 王辉, 方涛, 等. 东湖沉积物中微生物量与碳、氮、磷的相关性[J]. 中国环境科学, 2006(3): 88-91.
- [26] 张金流, 鲍祥. 溶解有机碳对黄龙钙华沉积的影响[J]. 安庆师范大学学报(自然科学版), 2017, 23(1): 78-82.
- [27] Vorobyev S N, Pokrovsky O S, Kolesnichenko L G, et al. Biogeochemistry of Dissolved Carbon, Major and Trace Elements During Spring Flood Periods on The Ob River[J]. Hydrological Processes, 2019, 33(11): 1579-1594.
- [28] Moss, B. Nitrogen, Macrophytes, Shallow Lakes and Nutrient Limitation: Resolution of ACurrent Controversy? [J]. Hydrobiologia, 2013, 710(1): 3-21.
- [29] Scott J T, Cotner J B, Lapara T M. Variable Stoichiometry and Homeostatic Regulation of Bacterial Biomass Elemental Composition. Frontiers in Microbiology, 2012(3): 42.

Release characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus from withered leaves of dominant plants in Jiuzhaigou valley

ZHANG Ting¹, DAI Qunwei^{1,2}, DENG Yuanming¹, LI Qiongfang³, DONG Faqin¹, Bowen Li⁴, Bruce W. Fouke⁵, LI Xiangyi¹

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. Fundamental Science on Nuclear Wastes and Environmental Safety Laboratory, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 3. School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 4. Michigan Technological University, Department of Materials Science, 1400 Townsend Dr., Houghton, MI, 49931, US; 5. Carl R. Woese Institute for Genomic Biology, Department of Geology, and Department of Microbiology, University of Illinois Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801, US)

Abstract The dynamic analysis of C, N, and P leaching of the leaves of two dominant plants in Jiuzhaigou reveals that the release of initial total dissolved C, N, and P gradually stabilizes within 48 h, indicating that the short-term leaching process can lead to the release of a larger proportion of elements. The short-term average leaching ratio of phosphorus is 29.61%, indicating that leaching is an important way to release phosphorus from plants. The total contributions of carbon, nitrogen and phosphorus to plant leaves in Jiuzhaigou are estimated to be 20,577 t·a⁻¹, 2,101 t·a⁻¹ and 1,402 t·a⁻¹, respectively. Research suggests that the leachate of plant withered leaves is an important source of carbon, nitrogen and phosphorus, and an important factor affecting the deposition of travertine in Jiuzhaigou. The nutrient dissolution characteristics of litter presented above can provide data support for the healthy development of Jiuzhaigou ecosystem.

Key words withered leaf, leaching, carbon, nitrogen and phosphorus release, travertine deposition, Jiuzhaigou

(编辑 张玲)