

文章编号: 100F 1498(2004) 01 0006 06

# 西藏色季拉山冷杉林生态系统 养分的淋溶输出研究

辛学兵<sup>1,2,3</sup>, 王景生<sup>3</sup>, 翟明普<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;  
3. 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝 860000)

摘要: 西藏色季拉山冷杉林生态系统中土壤地表水和土壤渗漏水中离子和元素的输出量占降水养分输入量的比重很小, 均不超过 1%。地表枯落物和土壤中的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、N 被淋溶; K、Zn、P 被吸附; 土壤总的淋溶量从大到小的顺序为:  $\text{SO}_4^{2-}$  >  $\text{Cl}^-$  >  $\text{HCO}_3^-$  > C > Mg > N > Ca > Fe > Na > Zn > P > K; 土壤总的淋溶系数显示的次序为  $\text{HCO}_3^-$  > Ca >  $\text{SO}_4^{2-}$  > Na >  $\text{Cl}^-$  > N > Mg > C > Fe > P > K > Zn。

关键词: 西藏; 冷杉林生态系统; 养分; 淋溶输出

中图分类号: S791.14 文献标识码: A

在森林土壤生态系统中, 物质的输入和输出决定着生态系统的稳定性。养分的输出主要是以地表径流和土壤渗漏水形式进行的, 国内外这方面的报道很多<sup>[1~5]</sup>。在西藏地区由于受地理条件的限制, 尚未见这方面的研究报道。在西藏东南部的冷杉(*Abies georgei* Orr.) 林内进行这方面的研究, 主要是填补高海拔地区(3 900 m 左右)养分循环基础数据的空白, 为深入研究西藏高原森林生态系统的物质循环和能量流动奠定基础。

## 1 试验地概况

试验观测地属于西藏高山森林生态系统定位站, 位于色季拉山东南坡, 海拔 3 850 m, 具体位置  $94^{\circ}25' \sim 94^{\circ}45' \text{ E}$ ,  $29^{\circ}35' \sim 29^{\circ}57' \text{ N}$ , 年平均气温  $-0.73^{\circ}\text{C}$ , 年均日照时数 1 150.6 h, 日照百分率 26.1%, 年均相对湿度 78.83%。研究地区年均降水量 1 134.1 mm, 蒸发量 544.0 mm, 6—9 月为雨季, 占全年降水的 75%~82%, 属较典型的亚高山温带半湿润气候区。土壤以酸性棕壤为主, 土层较厚, 腐殖质化过程明显, 在海拔较高的冷杉林下常有明显的灰化层。试验林面积  $1 \text{ hm}^2$ , 海拔 3 850~3 950 m, 坡度  $25^{\circ}$ , 坡位中, 林分组成为急尖长苞冷杉原始纯林, 平均胸径 76 cm, 平均树高 38 m, 郁闭度 0.7, 平均年龄 200 a, 为成过熟原始林。林下植被主要有西南花楸(*Sorbus rehderiana* Koehne)、柳叶忍冬(*Lonicera lenceolata* Wall.)、冷蕨(*Cystopteris* sp.)、草莓(*Fragaria* sp.)等。

收稿日期: 2003-02-12

基金项目: 中国林科院院“西藏冷杉林生态系统养分循环研究”资助

作者简介: 辛学兵(1967—), 男, 山西临汾人, 副研究员。

## 2 研究材料与方法

### 2.1 地表径流及壤中流观测

1997 年, 青藏高原生态系统定位站建立了两个  $10\text{ m} \times 15\text{ m}$  径流观测场, 即林内径流场、林外径流场。场内垂直坡向长  $10\text{ m}$ , 平行坡向长  $15\text{ m}$ , 周围是  $20\text{ cm}$  厚的水泥墙, 深  $1.5\text{ m}$ , 露出地面  $20\text{ cm}$  (防止区外水流入), 形成  $150\text{ m}^2$  的集水区, 出水口宽  $1.20\text{ m}$ , 分 5 层(含地表层), 每层相距  $30\text{ cm}$ 。分别设置 5 个水桶测定其流量。第 1 层为地表径流, 第 2 至 5 层为土壤渗漏水, 5 层以下均作为深层入渗量。

### 2.2 土壤渗透能力的测定

用双环测渗仪来测定, 双环测渗仪内径为  $18\text{ cm}$ , 外径  $36\text{ cm}$ , 环高  $5\text{ cm}$ 。实验时打入地下  $5\text{ cm}$ , 同时往内、外筒加水, 水位一直保持  $5\text{ cm}$  (注意保持内外水位相同和记录水温)。记录每下降  $1\text{ cm}$  水位所用时间, 再加水至  $5\text{ cm}$ , 反复多次, 直至每下降  $1\text{ cm}$  水位所需时间相同为止。分 A、B、C 3 个土壤层测定, 每月测定 1 次。

### 2.3 水体的养分含量测定<sup>[6]</sup>

Cl<sup>-</sup> ——硝酸银滴定法; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ——硫酸钡比浊法; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ——钼蓝比色法; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ——双指示剂滴定法; N(水解性 N) ——碱解蒸馏法; Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> ——火焰光度法; Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 和其它离子 ——原子吸收光谱法。

## 3 结果与分析

### 3.1 地表径流和土壤渗漏水的化学组成

地表径流和土壤渗漏水中的养分离子在随土壤水运动的过程中, 土壤胶体会对养分离子的产生吸附作用, 从而影响径流和渗漏水中的养分离子的含量, 使不同土层深度的养分离子的含量分布不均, 产生差异<sup>[3~5]</sup>。在 6、7、8、9 月份冷杉林地产生地表径流和土壤渗漏水, 即集中在雨季, 其它月份基本上没有形成地表径流和土壤渗漏水(表 1)。土壤渗漏水的高峰期比地表径流要晚一些, 说明水分在土壤中的垂直渗漏和水平运移比地表径流滞后。

表 1 不同月份的冷杉林地地表径流量和土壤渗漏水量  $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$

项目	土壤渗漏水量 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$				
	6 月	7 月	8 月	9 月	合计
地表径流量	1.0	3.0	3.1	1.5	8.6
壤中流量	0.4	1.5	2.6	2.7	7.2

大气降水经过森林生态系统的作用流出后, pH 值略有降低, 经过冷杉树冠的水 pH 值为 6.62, 呈中性偏酸, 但经过土壤的过滤、吸附后又恢复到 7.66, 呈中性偏碱(表 2)。显然大气降水中的 H<sup>+</sup> 通过土壤时已滞留于土壤中, 交换出部分阳离子, 使冷杉林下的土壤呈酸性。

表 2 西藏色季拉山冷杉林地地表径流和土壤渗漏水中元素和离子含量

项目	pH 值	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	N	C	P	K	Na	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe
林内雨/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	6.62	12.13	7.81	41.75	2.82	32.83	0.21	0.15	0.03	0.58	3.94	0.18	4.11	0.83
地表径流/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	7.77	17.77	5.08	75.11	3.53	30.18	0.03	0.00	0.01	0.50	3.07	—	0.11	0.46
增大倍数		0.46 - 0.35	0.80	0.25 - 0.08	0.87 - 0.99	0.76 - 0.14	0.22	—	0.97	0.45				
土壤渗漏水/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	7.66	46.07	8.83	68.30	3.05	23.72	0.04	0.00	0.10	2.47	4.07	0.09	0.41	0.81
增大倍数		2.80	0.13	0.64	0.08 - 0.28	0.81 - 0.99	2.03	3.24	0.03 - 0.50	0.90 - 0.03				

在森林生态系统中,地表径流和土壤渗漏水中的养分一方面是来自大气降水和对林冠、树干的淋溶;另一方面则来自于枯枝落叶腐解后的养分淋溶、淋洗补充<sup>[6,7]</sup>。这些元素被降水所溶解并进入土壤中进行养分循环,虽受到植被层、土壤层的阻隔和截面的过滤、吸附作用,但仍有部分元素随水流出。在地表径流中, $\text{SO}_4^{2-}$ 含量最大,P含量最小,分别为75.11、0.209  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;土壤渗漏水中, $\text{SO}_4^{2-}$ 的含量最大(68.3  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),K的含量最小(0.001  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

林内降水到达地面后形成地表径流,化学组成发生了较大的变化。 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{N}(\text{NO}_3^- - \text{N}, \text{NH}_4^+ - \text{N})$ 的含量增加了0.25~0.8倍,表明地表枯落物层经过降水的淋溶,这些离子和元素进入水中,并输出系统外。特别是 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 的大量淋溶,减轻了土壤酸化的程度,但对输出水而言,则增加了酸性物质的含量。其它离子和元素如: $\text{Cl}^-$ 、C、P、K、Na、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe等含量均有不同程度的减少,其中K、Zn元素被吸附达97%以上,P、Na元素被吸附达76%以上,Fe元素被吸附45%,减少的十分明显,说明这些离子和元素在地表枯落物层中被强烈吸附和固定。

土壤胶体的表面主要是由有机的交换基和无机的交换基构成,前者主要是腐殖酸,后者主要是粘土矿物,它们在土壤中互相结合着,形成复杂的有机胶质复合物,这些物质在土壤的渗漏水运动过程中对水中化学组成的影响是至关重要的<sup>[3,8,9]</sup>。土壤渗漏水的养分含量与林外雨相比,大部分离子和元素的含量大幅度增加,其中Ca、 $\text{HCO}_3^-$ 、Na的含量增加了2.03~3.24倍;Mg、N、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 的含量增加了0.03~0.64倍。这说明土壤中这些离子和元素在水分的垂直渗漏和水平运移过程中被淋溶出来,并随之输出系统之外,因此,对整个生态系统而言,这部分养分是流失的。其它一些元素如C、P、K、Cu、Zn、Fe等,经土壤和地被物的层层作用,大部分被吸附、滞留于土壤中,表明冷杉林内土壤对此类元素具有极强的固定作用,其中P、K、Zn元素的吸附率均超过了90%,Cu元素的吸附率也达到了50%。

比较地表枯落物和土壤的淋溶特征可以发现:地表枯落物中较易被淋失的离子和元素依次为: $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、N;土壤中较易被淋溶出来的离子和元素依次为:Ca、 $\text{HCO}_3^-$ 、Na、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、N、Mg。

比较地表枯落物和土壤的吸附特征可以发现:地表枯落物较易吸附的离子和元素依次为:K、Zn、P、Na、Fe、 $\text{Cl}^-$ 、Mg、Ca、C、Cu;土壤较易吸附的离子和元素依次为:K、Zn、P、Cu、C、Fe。

土壤地表水和渗漏水中所携带的养分数量是森林生态系统养分循环的重要参数之一。水中各种养分离子的含量及其迁移规律既受林分及其凋落物的影响,又受土壤化学组成、吸收性能及物理性质的制约,因此,地表水和渗漏水中各种离子的含量及迁移、留存、淋失等状况,不一定能表现出显著的相关性。

### 3.2 地表径流中养分输出量的季节变化

地表径流中养分输出量的季节变化随地表径流量的季节变化而变化(表3)。在旱季没有地表径流的形成,也没有养分的输出。在雨季,地表径流中养分的输出与同期降雨量的大小成正相关关系,所有离子和元素的输出在7、8月份达到最高值。年输出量最大的为 $\text{SO}_4^{2-}$ ,最小的为K元素,分别为645.9、0.017  $\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,总的输出顺序依次为: $\text{SO}_4^{2-}$  > C >  $\text{HCO}_3^-$  >  $\text{Cl}^-$  > N > Mg > Ca > Fe > P > Na > K。

表 3 西藏色季拉山冷杉林地表径流养分输出量

 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 

月份	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	N	C	P	K	Na	Ca	Mg	Fe
6	17.77	5.08	75.11	3.53	30.18	0.03	0.00	0.01	0.50	3.07	0.11
7	53.31	15.24	225.33	10.60	90.54	0.08	0.01	0.02	1.51	9.20	0.32
8	55.09	15.75	232.84	10.96	93.56	0.08	0.01	0.03	1.56	9.51	0.33
9	26.66	7.62	112.67	5.30	45.27	0.04	0.00	0.01	0.75	4.60	0.16
总计	152.82	43.70	645.95	30.39	259.55	0.23	0.02	0.07	4.32	26.38	0.91

### 3.3 土壤渗漏水中养分输出量的季节变化

通过土壤渗漏水的垂直及土层内的水平运动, 渗漏的养分能全面、均衡地供植物根系吸收; 而土壤对渗漏水养分的滞留, 可使渗漏水中的养分保持及贮存在土壤中, 供森林生长发育所需。土壤渗漏水养分输出量随土壤渗漏水的季节变化而变化(表 4)。在旱季由于没有土壤渗漏水的形成, 因此也没有养分的输出。在雨季, 土壤渗漏水中养分的输出与同期降雨量相比, 有大约一个月的滞后期。所有离子和元素的输出在 8、9 月份达到最高值。年输出量最大的为  $\text{SO}_4^{2-}$ , 最小的为 K 元素, 分别为:  $491.8$ 、 $0.007 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 总的输出顺序依次为:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{C} > \text{Cl}^- > \text{Mg} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Na} > \text{Zn} > \text{P} > \text{K}$ 。各种营养元素的土壤渗漏水输出量可以划分为五个等级: C ( $170.8 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、Mg、N 和 Ca ( $17.8 \sim 29.3 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、Fe ( $2.95 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、Na、Zn 和 P ( $0.29 \sim 0.72 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、K ( $0.007 \sim 2 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。比较地表径流水和土壤渗漏水的养分输出量可以发现, Na、Ca、Mg 等元素在渗漏水中输出量明显高于地表径流, 说明这些元素被凋落物或土壤表层所吸附, 而在深层土壤中被淋溶。

表 4 西藏色季拉山冷杉林林地土壤渗漏水养分输出量

 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 

月份	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	N	C	P	K	Na	Ca	Mg	Zn	Fe
6	18.40	3.50	27.30	1.20	9.50	0.02	0.00	0.04	1.00	1.60	0.04	0.16
7	69.10	13.20	102.50	4.60	35.60	0.06	0.00	0.15	3.70	6.10	0.14	0.62
8	119.80	23.00	177.60	7.90	61.70	0.10	0.00	0.26	6.40	10.60	0.23	1.07
9	124.40	23.80	184.40	8.20	64.00	0.11	0.01	0.27	6.70	11.00	0.24	1.11
总计	331.70	63.60	491.80	22.00	170.80	0.29	0.01	0.72	17.80	29.30	0.65	2.95

### 3.4 土壤地表水和土壤渗漏水中养分的淋溶

土壤地表水和土壤渗漏水中离子和元素的输出量占降水养分输入量的比重很小(表 5), 均不超过 1%, 说明土壤枯落物层和土壤本身具有极强的吸附功能, 也说明了色季拉山冷杉林生态系统具有良好的水土保持性能。土壤总的淋溶量从大到小的顺序为:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{C} > \text{Mg} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Na} > \text{Zn} > \text{P} > \text{K}$ ; 土壤总的淋溶系数显示的次序为  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na} > \text{Cl}^- > \text{N} > \text{Mg} > \text{C} > \text{Fe} > \text{P} > \text{K} > \text{Zn}$ 。

表 5 西藏色季拉山冷杉林林地土壤淋溶的养分量

 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 

项目	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	N	C	P	K	Na	Ca	Mg	Zn	Fe
林内降水	51.99	33.45	179.47	12.03	141.24	0.90	0.64	0.13	2.48	16.84	17.57	3.55
养分流失	0.48	0.106	1.14	0.052	0.43	0.0005	0.0003	0.00079	0.022	0.055	0.0007	0.0039
淋溶量	-51.5	-33.34	-178.3	-12.0	-140.8	-0.90	-0.64	-0.13	-2.46	-16.79	-17.57	-3.55
淋溶系数	-0.99	-1.00	-0.99	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-0.99	-0.99	-1.00	-1.00	-1.00

## 4 结论

地表枯落物和土壤的淋溶特征显示: 地表枯落物中较易被淋溶出来的离子和元素为:  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、N; 土壤中较易被淋溶出来的离子和元素为: Ca、 $\text{HCO}_3^-$ 、Na、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、N、Mg, 其中 Ca、Na、 $\text{Cl}^-$ 、Mg 在地表枯落物中被强烈固定, 但在土壤中被淋溶出来。

地表枯落物和土壤的吸附特征显示: 地表枯落物较易吸附的离子和元素为: K、Zn、P、Na、Fe、 $\text{Cl}^-$ 、Mg、Ca、C、Cu; 土壤中较易吸附的离子和元素为: K、Zn、P、Cu、C、Fe, 其中 K、Zn、P 在两者中均被强烈吸附。

地表径流中养分的输出量与同期降雨量的大小成正相关关系。输出量顺序依次为:  $\text{SO}_4^{2-}$  > C >  $\text{HCO}_3^-$  >  $\text{Cl}^-$  > N > Mg > Ca > Fe > P > Na > K。

土壤渗漏水中养分的输出量与同期降雨量相比, 有大约一个月的滞后期。输出量顺序依次为:  $\text{SO}_4^{2-}$  >  $\text{HCO}_3^-$  > C >  $\text{Cl}^-$  > Mg > N > Ca > Fe > Na > Zn > P > K。

土壤地表水和土壤渗漏水中离子和元素的输出量占降水养分输入量的比重很小, 均不超过 1%, 说明土壤枯落物层和土壤本身具有极强的吸附功能, 也说明了色季拉山冷杉林生态系统具有良好的水土保持性能。土壤总的淋溶量从大到小的顺序为:  $\text{SO}_4^{2-}$  >  $\text{Cl}^-$  >  $\text{HCO}_3^-$  > C > Mg > N > Ca > Fe > Na > Zn > P > K; 土壤总的淋溶系数显示的次序为  $\text{HCO}_3^-$  > Ca >  $\text{SO}_4^{2-}$  > Na >  $\text{Cl}^-$  > N > Mg > C > Fe > P > K > Zn。

### 参考文献:

- [1] 谢锦忠, 傅懋毅, 肖基洪, 等. 丛生竹林生态系统的水文效应研究 I. 麻竹人工林地表径流规律的初探[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19(4): 18 ~ 25
- [2] 盛炜彤. 杉木人工林水土流失及养分损耗研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(6): 589 ~ 597
- [3] 甘健民, 薛敬意, 谢寿昌. 云南哀牢山常绿阔叶林土壤渗漏水养分研究[J]. 地理科学, 1997, 17(3): 237 ~ 242
- [4] Alexander I J, Fairley R I. Effects of N fertilization on populations of fine roots and mycorrhiza in Spruce humus[J]. Plant and Soil, 1983, 71: 49 ~ 53
- [5] Wetselaar R L, Farquhar G D. Losses of nitrogen from the tops of plants[J]. Advances in Agronomy, 1980, 33: 263 ~ 302
- [6] 甘健民, 薛敬意, 谢寿昌. 云南中山湿性常绿林中降雨对养分淋溶的影响[J]. 植物生态学报, 1996, 20(3): 279 ~ 284
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 378 ~ 411
- [8] 甘健民, 薛敬意, 赵恒康, 等. 云南哀牢山大气降雨过程中养分输入及输出变化的初步研究[J]. 自然资源学报, 1995, 10(1): 43 ~ 50
- [9] 田大伦, 杨晚华, 方海波. 第二代杉木幼林中降雨对养分的淋溶作用[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 1999, 17(1): 1 ~ 5

# A Study on Eluviation Outputs of Nutrients of *Abies georgei* Forest Ecosystem of Mount Sejila in Tibet

XIN Xue-bing<sup>1 2 3</sup>, WANG Jing-sheng<sup>2</sup>, ZHAI Ming-pu<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environments, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China;

3. Institute of Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, Tibet, China)

**Abstract:** The output quantities of ions and elements within the soil surface water and the soil leakage water in the *Abies georgei* forest ecosystem of Mount Sejila in Tibet accounted for only a very little ratio in the total nutrient input quantities, they both accounted for less than 1%. The litters on the soil surface and the ions and/or element  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and N within the soil were eluviated, and the elements K, Zn and P were absorbed. The sequence of the total soil eluviation quantities was  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{C} > \text{Mg} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Na} > \text{Zn} > \text{P} > \text{K}$ , and that of total soil eluviation coefficients was  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na} > \text{Cl}^- > \text{N} > \text{Mg} > \text{C} > \text{Fe} > \text{P} > \text{K} > \text{Zn}$ .

**Key Words:** Tibet; *Abies georgei* forest ecosystem; nutrient eluviation outputs