

黑龙江省东部山地红松人工林生态系统水化学特征^{*}

赵雨森 辛颖^{**} 孟琳

(东北林业大学林学院 哈尔滨 150040)

摘要 对黑龙江省东部山地红松人工林生态系统的大气降水、穿透水、树干径流、枯透水和地表径流中的 pH 值、溶解氧、浊度、总溶解固体、K、Na、Ca、Mg、Cu、Zn、Mn 和 Fe 等水质指标进行了检测。结果表明:大气降水经过林冠层后,其水化学特征发生了明显变化,pH 和 DO 降低,TURB 和 TDS 明显增加,化学元素含量均不同程度增加。树干径流除了 Cu 外其余各化学元素含量均明显增加。穿透水和树干径流中各元素的变异系数较大。枯透水各化学元素的变异系数低于其他水样,只有 Mn 元素变化较大。穿透水、树干径流和枯透水中的 K、Ca 淋溶量较大,Cu、Zn 淋溶量较少,根据淋溶系数的大小排列穿透水的淋溶序列为 $Mn > K > Mg > Cu > Fe > Ca > Na > Zn$,树干径流的淋溶序列为 $Mn > Mg > K > Fe > Ca > Cu > Na > Zn$,而枯透水的淋溶序列为 $Mg > Mn > K > Fe > Ca > Cu > Na > Zn$ 。

关键词 人工红松林 水化学特征 大气降水 穿透水 树干径流 枯透水 地表径流

Chemical properties of water in artificial *Pinus koraiensis* ecosystems in the eastern mountainous region of Heilongjiang Province. ZHAO Yu-Sen, XIN Ying, MENG Lin (School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China), *CJEA*, 2007, 15(3): 1~4

Abstract The water quality of rainfall, through-fall, stem-flow, litter-through and runoff in *Pinus koraiensis* plantations of the eastern mountainous regions of Heilongjiang Province were studied. Water quality indexes, pH, DO (Dissolved oxygen), TURB (Turbidity), TDS (Total dissolved substances), K, Na, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn and Fe were also analyzed. The results show a remarkable change in the chemical properties of rainfall after passing through the forest canopies. There is an observed decrease in pH and DO, obvious increase in TURB and TDS, and different degrees of increase in other chemical elements. With the exception of Cu, higher element contents are found in stem-flow than in rainfall and through-fall. The variance coefficients of all elements show remarkable increase in through-fall and stem-flow. With the exception of Mn, the variance coefficients of the elements in litter-through are lower than those in the other water media. The amount of chemical leaching of K and Ca is higher and that of Cu and Zn lower in through-fall, stem-flow and litter-through. The leaching coefficients of the elements in through-fall are observed to be in the following order: $Mn > K > Mg > Cu > Fe > Ca > Na > Zn$. The order for stem-flow is: $Mn > Mg > K > Fe > Ca > Cu > Na > Zn$, and that for litter-through is: $Mg > Mn > K > Fe > Ca > Cu > Na > Zn$.

Key words Artificial *Pinus koraiensis* plantation, Chemical properties of water, Rainfall, Through-fall, Stem-flow, Litter-through, Runoff

(Received Sept. 12, 2005; revised Nov. 27, 2005)

水是生态系统物质循环的载体,直接与森林生态系统各个部分相互作用^[1,2]。森林具有涵养水源,改善水质等功能,因此森林流域被认为是清洁水源的发祥地^[9]。通过水分在森林生态系统的进入与输出,物质被生物和土壤固定或吸收或分解,水中污染物的种类和数量逐渐减少,森林生态系统对不同化学组成物质起到不同程度的净化作用^[3]。随着水土流失日益严重,水源污染造成的“水质型缺水”,加剧了水资源短缺的矛盾和居民生活用水的紧张和不安全性^[4],因此水源涵养林的水文生态效应也越来越引起人们的重视。关于大气降水、穿透水、树干径流和地表水化学特征的报道较多,但是关于大气降水经过枯枝落叶层后水化学变化情况的研究报道却很少。本文从大气降水、穿透水、树干径流、枯透水和地表径流多个层次对黑龙江省东部山地红松林人工林生态系统的水化学特征进行了研究,以期深入了解森林生态系统的水文生态效应提供基础数据。

^{*} 黑龙江省重大攻关项目“黑龙江省林业生态工程构建技术研究”资助

^{**} 通讯作者

收稿日期:2005-09-12 改回日期:2005-11-27

1 研究区域概况与研究方法

研究地位于东北林业大学老山人工林实验站,该区属长白山植物区系,是东北地区较为典型的天然次生林。该地属中温带大陆性季风气候,年均气温 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,年降水量 $600\sim 800\text{mm}$,地带性土壤为暗棕壤。试验选择的红松人工林年龄为 35a,平均树高为 14.69m,胸径为 10.71cm,郁闭度为 0.95。在试验区域附近设立气象观测点,于空旷区域放置虹吸式自记雨量计,同时设置覆上纱窗的塑料槽盛接大气降水。在林内设置上覆纱窗的塑料集水槽采集穿透水。树干径流用塑料导管蛇形缠绕树干的基部采集。剥离完整的枯落物层置于塑料网格上,下面用塑料容器承接枯透水。地表径流在径流小区采集。pH 值、溶解氧(DO)、浊度(TURB)、总溶解固体(TDS)由日本生产的 HORIBA W-23Xd 型多参数水质监测仪测定。Ca、Mg、Cu、Zn 用原子吸收分光光度法测定,K、Na、Mn、Fe 用火焰原子吸收分光光度法测定。

2 结果与分析

2.1 大气降水的水化学特征

大气降水是外界向森林生态系统输入各种物质的主要途径之一,含有作为凝结核、升华核的海盐粒子,及吸附大气中所固有的各种化学成分的浮游物质^[5]。它携带进入森林的养分是水溶性的,无需经过复杂的分解过程,可以被植物直接吸收,有加速植物生长和促进养分循环的重要作用^[6]。表 1 给出了 2004 年 5 月至 10 月森林生态系统各水体水质平均值。从表 1 可以看出,大气降水 pH 值为 6.48,DO 为 9.62mg/L, TURB 和 TDS 相对较低,分别为 3.28NTU 和 3.12mg/L。大气降水中化学物质 Ca 元素含量最高,为 3.070mg/L, Cu 元素含量最低,为 0.004mg/L,两者相差 767.5 倍。化学元素含量排序为 $\text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu}$ 。

表 1 森林生态系统各水体水质化学动态 *

Tab.1 Chemical dynamics of water quality in different water media of forest eco-system

项 目	pH 浊度/NTU			含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Content									
	Items	TURB	DO	TDS	K	Na	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	
降 雨	平 均 值	6.48	3.28	9.62	3.12	0.896	0.491	3.070	0.158	0.004	0.040	0.008	0.022
	标 准 差	0.45	1.53	1.07	2.48	0.748	0.153	1.209	0.167	0.008	0.035	0.012	0.022
	变 异 系 数	0.07	0.47	0.11	0.79	0.835	0.312	0.394	1.057	2.000	0.875	1.500	1.000
穿 透 水	平 均 值	6.24	12.78	9.00	49.17	7.408	0.763	5.442	1.077	0.012	0.045	0.095	0.061
	标 准 差	0.30	9.62	1.07	33.62	5.698	0.585	3.234	0.930	0.011	0.049	0.097	0.106
	变 异 系 数	0.05	0.75	0.12	0.68	0.769	0.767	0.594	0.864	0.917	1.089	1.021	1.738
树 干 径 流	平 均 值	5.78	19.67	8.77	86.00	9.365	1.200	11.996	3.309	0.010	0.071	0.312	0.168
	标 准 差	0.10	5.05	0.66	38.47	7.402	1.032	5.025	3.393	0.011	0.076	0.398	0.184
	变 异 系 数	0.02	0.26	0.08	0.45	0.790	0.860	0.419	1.025	1.100	1.070	1.276	1.095
枯 透 水	平 均 值	6.54	9.20	8.75	70.40	12.191	1.134	16.259	4.628	0.015	0.068	0.138	0.200
	标 准 差	0.52	5.63	0.33	15.57	4.243	0.789	2.039	1.294	0.011	0.048	0.217	0.123
	变 异 系 数	0.08	0.61	0.04	0.22	0.348	0.696	0.125	0.280	0.733	0.706	1.572	0.615
地 表 径 流	平 均 值	6.71	25.60	8.73	72.20	9.692	4.274	12.247	3.604	0.035	0.109	0.112	0.628
	标 准 差	0.61	7.96	0.64	34.12	4.475	5.794	4.397	1.132	0.043	0.112	0.127	0.369
	变 异 系 数	0.09	0.31	0.07	0.47	0.462	1.356	0.359	0.314	1.229	1.028	1.134	0.588

* 变异系数 $cv = s/x$ x 和 s 分别表示平均值、标准差。

2.2 森林生态系统各种水体的化学特征

大气降水经过林冠层后水化学特征发生了明显改变。由表 1 可知穿透水的 pH 值和 DO 有所降低,而 TURB 和 TDS 明显增加,分别是大气降水的 3.9 倍和 15.8 倍。化学元素含量均有不同程度增加,K 元素含量最高,是大气降水的 8.3 倍,Cu 元素含量最低,为 0.012mg/L,是大气降水的 3 倍。化学元素含量排序为 $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ 。其中 Mn 元素的增长倍数最多,是大气降水的 11.9 倍。

树干径流的 pH 值和 DO 降低更多,而与穿透水相比,树干径流除 Cu 元素外其余各项指标均增长很多。Ca 元素含量最高,是大气降水和穿透水的 3.9 倍和 2.2 倍;Cu 元素含量最低,是大气降水的 2.5 倍,但低于穿透水中含量,可能是树干对 Cu 有所吸附;Mn 元素的增长倍数最多,是大气降水的 39 倍,穿透水的 3.3

倍。化学元素含量排序为 $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ 。

枯透水的 pH 值高于前 3 种水样, DO 有所降低, TURB 和 TDS 与树干径流相比降低很多。化学元素中 K、Ca、Mg、Cu 和 Fe 含量都高于大气降水、穿透水和树干径流, Na、Zn 和 Mn 含量低于树干径流, 却高于大气降水和穿透水。Ca 元素含量最高, 为 16.259mg/L, 分别是大气降水、穿透水和树干径流的 5.3 倍、3 倍和 1.4 倍。Cu 元素含量最低, 为 0.015mg/L。化学元素含量排序为 $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ 。

降水通过林冠层后化学特性发生改变有两方面原因: 一是降水淋洗大气中和林冠上的尘埃, 雨水淋溶叶片上的分泌物; 二是林木在降雨过程中的吸附^[6]。当大气降水进入林地后, 通过凋落物和表土层上部的淋溶、截持、吸附以及林木根系吸收等的净化和化学调节, 以地表径流和地下水的形式流出林地^[7]。地表径流的水化学特征再一次发生变化, pH 值和 TURB 达到最高, 分别为 6.71 和 25.60 NTU; 而 DO 却降到最低, 为 8.73mg/L; TDS 低于树干径流却高于大气降水、穿透水和枯透水。化学元素中 Ca 元素含量最高, 为 12.247mg/L; Cu 元素含量最低, 为 0.035mg/L; Na、Cu、Zn 和 Fe 元素含量均高于其他 4 种水样; K、Ca 和 Mg 元素含量低于枯透水高于其他水样, 表明林地土壤层对水化学有一定的调节作用。

2.3 森林生态系统水质化学特征的变化

受气候条件、空气质量、降雨时间、降雨间隔期、林木生理活动和人为活动等影响, 大气降水经过林分后水化学特征发生变化。由表 1 可知各水体的 pH 值和 DO 变化不明显, 变异系数较小, 其他各元素含量变化因水体不同而不同。大气降水除 Na、Ca 元素外, 其他各元素的变异系数均较大, Cu 和 Mn 元素尤为明显, 这可能与当地钢铁厂的生产有关; K 元素的变异系数较其他水样大, 这主要是该地区春秋烧火较多, 烟尘中含 K 元素较高, 降水淋洗了大气中的烟尘, 使 K 元素含量增加。穿透水和树干径流中各元素的变异系数都较大, 穿透水和树干径流中 K、Mg、Cu 和 Mn 元素的变异系数都小于大气降水, Na、Ca、Zn 和 Fe 却都大于大气降水, 这与林木生理活动有密切关系。穿透水的 TURB 和 TDS 变化较大, 变异系数高于其他水样, 说明它受大气降水和林冠层淋溶影响较大。枯透水只有 Mn 元素的变异系数较大, 地表径流中 Na、Cu、Mn 和 Zn 元素的变化都较大。

2.4 大气降水对森林的化学淋溶效应

大气降水对林冠层的水化学淋溶效应一方面是大气颗粒物经气流传输至林层会被植物表面束缚、溶解或通过气孔被吸收, 且这种溶解与吸收与植物表面的干湿相关; 另一方面是降水对植物的淋失, 即阳离子从植物内部的“自由空间”丧失, 叶子表面阳离子的淋失包含着交换反应即角质层的交换点上的阳离子与淋洗溶液中的氢离子交换, 阳离子也会通过质流直接从叶子中的运输流移入淋洗溶液^[8]。表 2 列出了穿透水、树干径流、枯透水与大气降水的化学淋溶比较结果, 其中净淋溶为穿透水、树干径流及枯透水的养分浓度与大气降雨养分浓度的差值, 淋溶系数为穿透水、树干径流及枯透水的养分浓度除以大气降雨养分浓度^[6]。

表 2 大气降水净淋溶养分含量和淋溶系数

Tab.2 Net leaching amount and leaching coefficient of throughfall, stemflow and litter-through

项目 Items	K	Na	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
穿透水净淋溶 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	6.512	0.272	2.372	0.919	0.008	0.005	0.087	0.039
树干径流净淋溶 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	8.469	0.709	8.926	3.151	0.006	0.031	0.304	0.146
枯透水净淋溶 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	11.295	0.643	13.189	4.470	0.011	0.028	0.130	0.178
穿透水淋溶系数	8.268	1.554	1.773	6.816	3.000	1.125	11.875	2.773
树干径流淋溶系数	10.452	2.444	3.907	20.943	2.500	1.775	39.000	7.636
枯透水淋溶系数	13.606	2.310	5.296	29.291	3.750	1.700	17.250	9.091

由表 2 可知经过淋洗后 3 种水样中各元素的浓度均有所增加, 穿透水、树干径流和枯透水中的 K、Ca 增加较多, Cu、Zn 的淋溶量较少。根据淋溶系数大小排列穿透水的淋溶序列为 $\text{Mn} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Zn}$ 。除 Cu 元素外, 树干径流中其他元素的富集作用比穿透水强, Mn 元素的淋溶系数高达 39.000, Mg 元素的淋溶系数也较大, 为 20.943; 树干径流的淋溶序列为 $\text{Mn} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Ca} > \text{Cu} > \text{Na} > \text{Zn}$ 。枯透水中 K、Ca、Mg、Cu 和 Fe 元素净淋溶量均高于穿透水和树干径流中相应元素的净淋溶量, 其中 Mg 元素淋溶系数高达 29.291, Na、Zn 和 Mn 元素净淋溶量则介于穿透水和树干径流相应元素净淋溶量之间; 枯透水的淋溶序列为 $\text{Mg} > \text{Mn} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Ca} > \text{Cu} > \text{Na} > \text{Zn}$ 。可见红松林对大气降水的淋溶效应明显, 对降水化学的调节能力也较为显著。这些水溶性元素很容易被植物吸收利用, 对加速养分循环、促进植物生长很有利。

3 小 结

大气降水的 pH 值为 6.48, DO 为 9.62mg/L, TURB 和 TDS 相对较低, 化学物质中 Ca 元素含量最高, 为 3.070mg/L, Cu 元素的含量最低, 为 0.004mg/L, 两者相差 767.5 倍, 化学元素含量排序为 $Ca > K > Na > Mg > Zn > Fe > Mn > Cu$ 。大气降水经过林冠层后其水化学特征明显发生了变化, 化学元素含量均有不同程度增加, 化学元素含量排序为 $K > Ca > Mg > Na > Mn > Fe > Zn > Cu$, 其中 Mn 元素的增长倍数最多, 是大气降水的 11.9 倍。树干径流除 Cu 元素外其余各项指标均增长很多, 化学元素含量排序为 $Ca > K > Mg > Na > Mn > Fe > Zn > Cu$ 。枯透水的 pH 值高于前 3 种水样, DO 有所降低, TURB 和 TDS 与穿透水相比降低很多, 化学元素含量排序为 $Ca > K > Mg > Na > Fe > Mn > Zn > Cu$ 。

大气降水除 Na、Ca 元素变异系数较小外, 其他各元素的变异系数均较大, Cu 和 Mn 元素尤为明显。穿透水和树干径流中各元素变异系数都较大, 枯透水只有 Mn 元素变异系数较大, 而地表径流中 Na、Cu、Mn 和 Zn 元素的变异系数都比较大。

经过淋洗后 3 种水样中各元素的浓度均有所增加, 穿透水、树干径流和枯透水中 K、Ca 增加较多, Cu、Zn 的淋容量较少。根据淋溶系数的大小排列穿透水的淋溶序列为 $Mn > K > Mg > Cu > Fe > Ca > Na > Zn$, 树干径流的淋溶序列为 $Mn > Mg > K > Fe > Ca > Cu > Na > Zn$, 枯透水的淋溶序列为 $Mg > Mn > K > Fe > Ca > Cu > Na > Zn$ 。

参 考 文 献

- 1 余新晓, 于志民, 范志平, 等. 水源保护林培育经营管理评价. 北京: 中国林业出版社, 2001
- 2 王 棣, 吕 皎. 油松混交林的水土保持及水源涵养功能研究. 水土保持学报, 2001, 15(4): 44~46
- 3 欧阳学军, 周国逸, 黄忠良, 等. 鼎湖山森林地表水水质状况分析. 生态学报, 2002, 22(9): 1373~1379
- 4 刘俊民, 余新晓. 水文与水资源学. 北京: 中国林业出版社, 1999. 6~7
- 5 马雪华. 森林水文学. 北京: 中国林业出版社, 1993
- 6 田大伦, 项文化, 杨晚华. 第 2 代杉木幼林生态系统水化学特征. 生态学报, 2002, 22(6): 859~865
- 7 闫文德, 田大伦. 会同第二代杉木林集水区水质生态效应. 中南林学院学报, 2003, 23(2): 6~10, 32
- 8 陈步峰, 曾庆波, 黄 全, 等. 热带山地雨林生态系统的水分生态效应——冠层淋溶、水化学贮蓄. 生态学报, 1998, 18(4): 364~370
- 9 APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th edition. Washington: American Public Health Association, 1985. 143~488