

黑龙江省东部山地白桦人工林对水质的影响

辛颖¹, 赵雨森^{1*}, 曾凡锁², 王春娜³

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;
3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:对黑龙江省东部山地白桦人工林生态系统的大气降水、穿透水、树干茎流和地表径流中的 pH 值、溶解氧、浊度、总溶解固体、电导率、氧化还原电位、K、Na、Ca、Mg、Cu、Zn、Mn 和 Fe 等水质指标进行了测定。结果表明:大气降水经过白桦人工林生态系统后,浊度和总溶解固体值逐渐升高。穿透水除 Ca 元素外,其他化学元素含量均有不同程度的增加,化学元素含量排序为:K > Ca > Na > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu。树干茎流中各化学元素含量排序为:K > Ca > Mg > Na > Fe > Mn > Zn > Cu。地表径流中各化学元素含量为:K > Ca > Na > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu。除 Na、Ca 元素外,大气降水中其他元素的变异系数均较大。穿透水和树干茎流中 Cu 元素的变异系数大于其他元素,地表径流中 Zn 元素的变异系数最大。根据淋溶系数的大小排列,穿透水中各化学元素的淋溶序列是:Mn > K > Mg > Fe > Cu > Zn > Na > Ca。树干茎流中各化学元素的淋溶序列是:K > Mn > Mg > Fe > Cu > Zn > Ca > Na。经过淋洗后,穿透水和树干茎流中 K 和 Mg 元素增加较多,Ca 元素出现负淋溶。

关键词:白桦人工林;水质;穿透水;树干茎流;地表径流

中图分类号:S715

文献标识码:A

Influence of *Betula platyphylla* Plantations at Mountainous Region in East Heilongjiang on Water Quality

XIN Ying¹, ZHAO Yu-sen¹, ZENG Fan-suo², WANG Chun-na³

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China;
2. College of Life Science, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China;
3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The water quality of rainfall, throughfall, stemflow and runoff in *Betula platyphylla* plantations at mountainous region in east Heilongjiang Province was studied. The water quality indexes, including pH, DO, TURB, TDS, COND, ORP, K, Na, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn and Fe were analyzed. There was a gradual increase in TURB and TDS of rainfall after passing through the forest canopies. With the exception of Ca, there were different degrees of increase in other chemical elements in the throughfall. The content of chemical elements in throughfall followed the order of K > Ca > Na > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu. The content of chemical elements in stemflow followed the order of K > Ca > Mg > Na > Fe > Mn > Zn > Cu. The content of chemical elements in runoff followed the order of K > Ca > Na > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu. The variance coefficient of elements in rainfall was higher except Na and Ca. The variance coefficient of Cu was higher than other elements in throughfall and stemflow. And the variance coefficient of Zn was the highest in runoff. The leaching coefficient of the elements in throughfall was observed to be in the following order: Mn > K > Mg > Fe > Cu > Zn > Na > Ca. The order for stemflow was K > Mn > Mg > Fe > Cu >

收稿日期:2010-01-18;修回日期:2013-02-09

基金项目:国家自然科学基金项目(31070629);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11553033);中央高校基本科研业务费专项资金项目(DL09BA29)和东北林业大学青年科研基金项目(09052)资助

作者简介:辛颖(1979-),女,博士,讲师,主要研究方向:水土保持与荒漠化防治研究。

* 通讯作者:男,博导,教授,主要研究方向:水土保持与荒漠化防治研究。

Zn > Ca > Na. After leaching, K and Ca increased in throughfall and stemflow.

Key words: *Betula platyphylla* plantations; water quality; throughfall; stemflow; runoff

森林和水是人类生存与发展的重要物质基础,也是森林生态系统的重要组成部分,前者是陆地生态系统的主体,后者是生态系统物质循环和能量流动的主要载体^[1],二者相互作用,不断推动森林生态系统中各种物理化学过程、生物过程以及水分循环过程,进而影响大气和土壤的组成、结构、功能以及能量的转换与平衡。20世纪60年代中期,美国北卡来罗纳的科威塔(Coweeta)水文实验站开始开展植被与水质、水量和地表径流关系的研究,对后来森林对水质影响的相关研究产生了非常重要的影响^[2]。森林生态系统对于不同的化学物质具有不同的作用方式和净化程度^[3-6]。目前,国内外大量学者对众多林分进行了研究,但是关于白桦(*Betula platyphylla* Suk.)人工林对水质影响的研究尚少^[7-11]。本文对阿什河源头的白桦人工林进行了研究,该林分是哈尔滨市城市饮用水后备水源地西泉眼水库水源涵养区水源涵养林的一个重要森林类型,其水源涵养功能,特别是其对水质的影响直接关系到西泉眼水库水源地水源的质量。研究白桦人工林生态系统对水源地水质改变和作用过程,可为制定区域性、流域性的水质保护规划提供理论依据。

1 研究区概况

哈尔滨市林业局山河实验林场位于127°29'~127°39' E, 45°23'~45°33' N,属长白山植物区系,地处张广才岭,平均海拔520 m,地形以山区丘陵地貌为主。该地区属中温带大陆性季风气候,年平均气温3.5℃,年降水量550~660 mm,无霜期120 d。该地水系为松花江支流水系,地带性土壤为暗棕壤。试验所选择的白桦人工林位于西南坡向,林龄为27 a,平均胸径为12.21 cm,平均树高为14.3 m,林下植物稀疏郁闭度为0.6。

2 研究方法

2.1 样品采集

在试验区域附近(500 m)的气象观测站内放置虹吸式自记雨量计测定大气降水量,同时放置塑料槽盛接大气降水。在林内机械布设3个塑料集水槽

收集穿透水,塑料集水槽的规格为200 cm×20 cm×15 cm,集水槽距离地面高度约为50 cm,放置时集水槽上覆盖纱网防止凋落物进入。选择标准株3株,以塑料导管蛇形缠绕树干的基部,下接塑料容器,采集树干茎流。在径流小区采集地表径流。2004年5月开始进行试验观测,对6—11月采集到的每次降水进行测定。

2.2 水样的测定方法

采用日本生产的HORIBA W-23Xd型多参数水质监测仪测定pH值、溶解氧(DO)、总溶解固体(TDS)、浊度(TURB)、氧化还原电位(ORP)和电导率(COND)。采用原子吸收分光光度法GB11905-89测定钙、镁含量,GB7475-87法测定铜、锌含量。采用火焰原子吸收分光光度法GB11904-89测定钾、钠含量,GB11911-89法测定锰、铁含量。

3 结果与分析

3.1 理化指标和有机污染综合指标的变化动态

由图1可以看出:除了8、11月穿透水的pH值略高于大气降水外,其他月份均低于大气降水。树干茎流的pH值在6月最低,为5.40,9月最高,为7.30。穿透水的电导率只有6、7月份低于大气降水,且7月最低,为2.33 ms·m⁻¹。树干茎流和地表径流的电导率都高于大气降水。大气降水经过白桦林后,各月浊度和总溶解固体的平均值都是地表径流>树干茎流>穿透水>大气降水。树干茎流溶解氧的时间变化趋势与大气降水相同,都是6至9月逐月降低,9月最低,为6.60 mg·L⁻¹,10月又升到最高,为10.00 mg·L⁻¹。穿透水的氧化还原电位值6月最高、10月降到最低,为103.00 mv,11月再次升高。树干茎流的氧化还原电位6月最高、9月最低、10月有所回升。生长季内穿透水和树干茎流的pH值低于大气降水,主要是由于大气降水的淋溶作用所导致的。大气降水经过白桦人工林生态系统后,因为淋溶和交换作用,使得总溶解固体含量不断增加,水的浊度也不断增大。林冠层可使大气降水的浊度增加,这与李文宇等^[12]的研究结果一致。

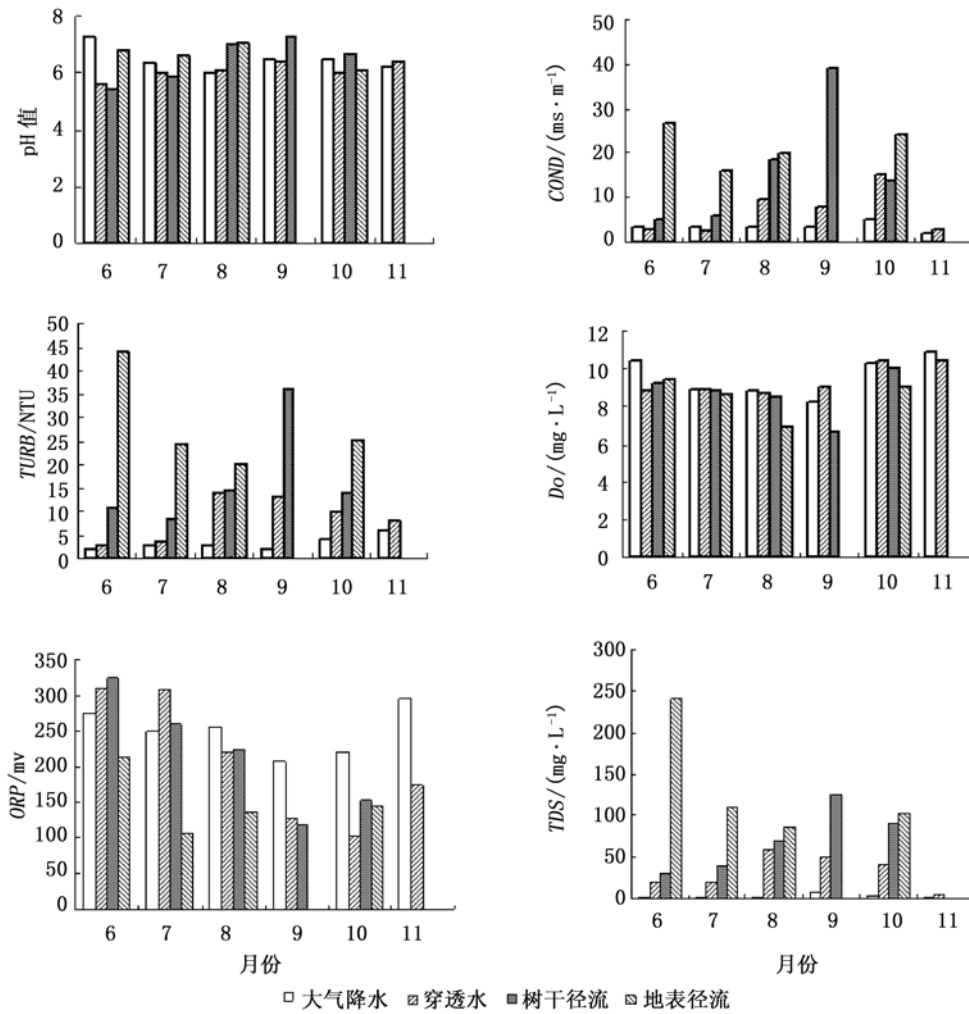


图1 水分传递过程中电导率 (COND)、溶解氧 (Do)、氧化还原电位 (ORP)、浊度 (TURB)、总溶解固体 (TDS) 的月变化动态

3.2 金属元素含量的变化动态

大气降水中的化学元素在参与森林生态系统化学元素循环的同时,还与系统中的化学元素相互作用,从而使森林生态系统流出的水化学性质发生变化^[13-16]。大气降水输入的养分是水溶性的,对于促进养分循环和加速植物生长具有重要作用^[17]。大气降水经过林冠层后其水化学特征明显发生了变化,由表1可以看出:穿透水中除Ca元素外,其他化学元素含量均有不同程度的增加,Mn元素含量增加倍数最多,是大气降水的9.5倍;Na元素增加倍数最少,是大气降水的1.05倍。化学元素含量的排序为:K > Ca > Na > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu。

树干茎流中K元素含量最高,是大气降水和穿透水的25.0、6.9倍,Cu元素含量最低为0.011 mg · L⁻¹,是大气降水和穿透水的2.8、2.2倍。化学元素含量排序为:K > Ca > Mg > Na > Fe > Mn > Zn >

Cu。这与已有研究结果不同:盛后财等^[18]对凉水国家自然保护区内的人工林落叶松林的水化学特征进行了研究,树干茎流中养分含量的排序为:Ca > Na > Mg > K > Mn > Fe;陈书军等^[11]的研究结果表明,樟树人工林生态系统的林冠层穿透水中各元素含量排序为:Ca > K > Zn > Mg > Mn > Fe > Cu;田大伦等^[13]在研究第2带杉木幼林生态系统水化学特征时发现,穿透水中Ca元素的含量最高,Cu元素含量最低,排序为:Ca > K > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu。这说明不同地域不同类型的森林生态系统对水质所产生的影响不同。

大气降水经过森林生态系统后其化学性质发生变化有两方面的原因:一是降雨淋洗了大气中和林冠上的尘埃,淋溶了叶片上的分泌物;二是森林生态系统本身在降雨过程中的吸附作用。大气降水进入森林生态系统后,经过枯枝落叶层和表土层的截持

和淋溶,以及林木根系的吸收等作用,以地表径流和地下水的形式流出林地,地表径流的水化学特征再一次发生变化。表1表明:除K和Zn元素外,地表

径流中其他元素含量均比大气降水、穿透水和树干茎流的高。各化学元素含量的排序为:K > Ca > Na > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu。

表1 白桦人工林水分传输过程中金属元素含量的变化动态

项 目		K	Na	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
大气降水	$x/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.896	0.491	3.070	0.158	0.004	0.040	0.008	0.022
	$S/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.748	0.153	1.209	0.167	0.008	0.035	0.012	0.022
	cv	0.835	0.312	0.394	1.057	2.000	0.875	1.500	1.000
穿透水	$x/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	3.227	0.517	2.702	0.459	0.005	0.043	0.076	0.054
	$S/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	2.154	0.231	1.020	0.234	0.008	0.048	0.070	0.048
	cv	0.667	0.447	0.377	0.510	1.600	1.116	0.921	0.889
树干茎流	$x/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	22.415	0.355	2.858	1.299	0.011	0.068	0.079	0.128
	$S/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	12.291	0.132	0.944	0.698	0.011	0.059	0.034	0.059
	cv	0.548	0.372	0.330	0.537	1.000	0.868	0.430	0.461
地表径流	$x/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	13.584	2.760	10.879	2.053	0.026	0.068	0.100	0.140
	$S/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	9.759	2.377	4.429	0.983	0.017	0.064	0.046	0.028
	cv	0.718	0.861	0.407	0.479	0.654	0.941	0.460	0.200

注: x 、 S 和 cv 分别表示平均值、标准差和变异系数, $cv = S/x$

除Na、Ca元素的变异系数较小外,大气降水中其他各元素的变异系数均较大,Mn和Cu元素更为明显。这可能与当地钢铁厂的生产有关,且大气降水中K、Mg、Cu、Mn和Fe元素的变异系数较其他水样大,这与降水的不确定性以及试验地当时的气候、环境等条件有关。大气降水、穿透水和树干茎流中Cu元素的变异系数大于其他元素;而在地表径流中Zn元素的变异系数最大。

3.3 大气降水的化学淋溶效应

由表2可以看出:经过淋洗后穿透水和树干茎流中K和Mg元素增加较多,Ca元素出现负淋溶,同时树干茎流中Na元素也出现了负淋溶。除Na和

Ca元素外,树干茎流中其他元素的净淋溶量均比穿透水中的高。盛后财等^[18]在对凉水国家自然保护区内的人工林落叶松林的水化学特征进行研究时,发现当降雨量小,降雨强度低,树木林冠层的吸收和吸附能力较强时,元素和元素所形成的物质所受吸附力大于冲刷力,就会表现为其浓度值负增长。人工落叶松林穿透水中Na元素和树干茎流中的Ca元素都出现了负增长。

根据淋溶系数的大小排列,穿透水中各化学元素的淋溶系数序列是:Mn > K > Mg > Fe > Cu > Zn > Na > Ca。树干茎流中各化学元素的淋溶系数序列是:K > Mn > Mg > Fe > Cu > Zn > Ca > Na。

表2 大气降水净淋溶量与淋溶系数

项目	K	Na	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
穿透水净淋溶量/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	2.331	0.026	-0.368	0.301	0.001	0.003	0.068	0.032
树干茎流净淋溶量/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	21.519	-0.136	-0.212	1.141	0.007	0.028	0.071	0.106
穿透水淋溶系数	3.602	1.053	0.880	2.905	1.250	1.075	9.500	2.455
树干茎流淋溶系数	25.017	0.723	0.931	8.222	2.750	1.700	9.875	5.818

注:净淋溶量为穿透水或树干茎流中的化学元素含量与大气降雨中化学元素含量的差值,淋溶系数为穿透水或树干茎流中的化学元素含量除以大气降雨中的化学元素含量^[17]。

4 结论

大气降水经过白桦人工林生态系统后,浊度(TURB)和总溶解固体(TDS)值逐渐升高,虽然地表径流中的TURB和TDS值高于其他水样,但是其含

量还是很低的。从未受干扰森林排出的水中可溶解固体含量一般都很低,正是由于这个原因森林流域作为一种生活资源被高度重视。这种水的硬度一般较低并很少需要处理,去掉了有害离子或化合物,从生物学上讲,含可溶性固体低的水分生物活动少,它

几乎仅受从凋落物或溪流外无机源中输入的有机养分的控制。

大气降水中 Ca 元素含量高于 K 元素,而经过白桦人工林生态系统后,各层水样中 K 元素含量均高于 Ca 元素,以树干茎流最为明显。经过淋洗后穿透水中 Ca 元素,以及树干茎流中的 Ca 和 Na 元素出现了负淋溶,这都与白桦人工林本身的生理活动有关。研究表明,白桦人工林生态系统能够提高 K、Mn 元素含量,并且能够很好的调节水质的 pH 值,可为水源涵养林构建提供一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 于静洁,刘昌明. 森林水文学研究综述[J]. 地理研究,1989,8(1):88-98
- [2] 卢琦,李清河. 美国森林的水文效应[J]. 世界林业研究,2002,15(3):54-60
- [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[J]. 生态学报,2002,22(9):1373-1379
- [4] 方江平,项文化,刘韶辉. 西藏南伊沟原始林芝云杉林水文学过程的水化学特征[J]. 林业科学,2010,46(9):14-19
- [5] 卢晓强,丁访军,方升佐,等. 贵州省喀斯特地区原始林水化学特征[J]. 生态学报,2010,30(20):5448-5455
- [6] 梁晓东,孙兴海,孙志虎,等. 长白落叶松人工林穿透雨的养分特征[J]. 东北林业大学学报,2010,38(7):22-24
- [7] 徐庆,刘世荣,安树青,等. 川西亚高山暗针叶林降水分配过程中氧稳定同位素特征[J]. 植物生态学报,2006,30(1):83-89
- [8] 刘少冲,段文标,陈立新. 莲花湖库区几种主要林型水文功能的分析和评价[J]. 水土保持学报,2007,21(1):79-83
- [9] 康文星,邓湘雯,赵仲辉. 林冠截留对杉木人工林生态系统物质循环的影响[J]. 林业科学,2006,42(12):1-5
- [10] 闫文德,田大伦,康文星,等. 樟树林生态系统水文学过程中多环芳烃的迁移与转化机理[J]. 生态学报,2006,26(6):1882-1888
- [11] 陈书军,田大伦,闫文德,等. 樟树人工林生态系统不同层次穿透水水化学特征[J]. 生态学杂志,2006,25(7):747-752
- [12] 李文宇,余新晓,马钦彦,等. 密云水库水源涵养林对水质的影响[J]. 中国水土保持科学,2004,2(2):80-83
- [13] 刘世海,余新晓,于志民. 北京密云水库集水区板栗林水化学元素性质研究[J]. 北京林业大学学报,2001,23(2):12-15
- [14] 张伟,杨新兵,李军. 冀北山地华北落叶松林生态系统水化学特征[J]. 水土保持学报,2011,25(4):217-220
- [15] 刘阳,杨新兵,陈波,等. 冀北山地山杨桦木林生态系统水化学特征研究[J]. 生态环境学报,2011,20(11):1665-1669
- [16] 周国娜,杨新兵,刘阳,等. 冀北山地油松蒙古栎混交林水化学特征[J]. 水土保持学报,2012,26(2):192-195
- [17] 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[J]. 生态学报,2002,22(6):859-865
- [18] 盛后财,蔡体久,朱道光,等. 人工落叶松林降雨截留再分配及其水化学特征[J]. 水土保持学报,2009,23(2):79-84