

南水北调中线工程水源林生态系统对水质的影响 ——以秦岭南坡中山地带火地塘林区为例

张胜利, 李 靖, 韩创举, 王德连

(西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过对秦岭南坡中山地带火地塘林区大气降水与支沟溪流水和流域出口径流水质的比较分析, 以及溪流水和流域出口径流水质与水量的相关分析, 发现 7~10 月份大气降水呈微酸性, 经过森林生态系统的调节, 径流 pH 值升高, 且不随流量变化而发生变化; 森林生态系统对随降水输入的 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 有很好的净化作用, 这种作用对于降低南水北调中线工程取水地丹江口水库水质富营养化的威胁非常有益, 对重金属元素 Cd、Pb、Mn 有固定作用; 对 K、Na、Ca、Mg、Fe 有增加作用, 尤其对 Ca、Mg 含量增幅较大, 但这种作用不会对水质产生不良影响, 对 Fe 的调升有利于水质改善; 森林生态系统在调减 Zn 含量方面作用显著; 林区径流水质与水量之间并无较大关系, 水质不随水量变化而发生较大变化, 森林生态系统对水质有很好的稳定作用。

关 键 词: 南水北调; 秦岭; 森林生态系统; 水质; 影响

中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2006)04-0559-07

南水北调中线工程是国家为解决京津华北平原 3 468 万人口供水紧张而采取的一项战略性措施。取水地在湖北省丹江口水库。丹江口水库汇流面积为 9.52 万 km^2 , 其中 65.86% 为陕西秦巴山区。秦巴山区总面积为 54 800 km^2 , 秦岭南坡约占 55%, 中山地带又占南坡面积的 50% 左右, 且多为森林覆盖。森林对水质的影响是近年来人们对森林的生态功能及其环境效益的研究热点^[1]。我国在 20 世纪 70、80 年代就开始了森林对水质的影响研究, 但主要侧重于大气降水在森林生态系统中对养分输入、输出所起的作用及其意义的研究; 90 年代后, 森林的水质效应受到了广泛重视^[2,3]。但在南水北调中线工程水源地林区开展类似研究则很少。因此, 研究秦岭南坡中山地带森林生态系统对水质的影响不但对正确评价森林生态系统的水质效应具有十分重要的理论意义, 而且对南水北调中线工程水源地的管理和建设也具有重要的实际应用价值。

1 实验地概况

火地塘林区位于秦岭南坡中山地带中部, 地处北纬 33°25' ~ 33°29'、东经 108°25' ~ 108°30', 隶属陕西省宁陕县。林区面积为 22.25 km^2 , 海拔 1470 ~ 2473 m。气候为暖温带湿润山地气候。1 月份平均气温 - 2.8℃, 7 月份平均气温为 23.8℃, 年平均气温为 8 ~ 12℃; 多年平均降水量为 1 130 mm, 多集中于 7 ~ 9 月, 降雪从 10 月末到次年 4 月初; 平均湿度为 77.1%, 无霜期 199 d。

该林区地形陡峻, 平均坡度 30° ~ 35°。土壤主要为棕色森林土, 平均厚度 50 cm 左右, 成土母岩主要为花岗岩和片麻岩。森林植被为 20 世纪 60、70 年代主伐后恢复起来的天然林, 覆盖率 93.8%, 郁闭度在 0.9 以上, 主要成林树种有: 锐齿栎、油松、华山松、红桦、光皮桦、青扦、巴山冷杉、山杨等。

收稿日期: 2005-12-29; 修订日期: 2006-05-29

基金项目: 西北农林科技大学校长基金资助项目 (08080215); 国家林业局重点科研资助项目 (2001-04)

作者简介: 张胜利 (1965 -), 男, 陕西户县人, 西北农林科技大学副教授, 博士, 主要从事森林水文和水土保持工程方面研究。E-mail: victory6515@sina.com

火地沟流域为林区内最大的自然集水区,呈羽毛形状(图1),长约4.5 km,宽约1.6 km,面积为729 hm²。

火地塘林区森林植被、地形地貌、土壤、气候等具有秦岭南坡中山地带的典型特征,火地沟流域也具有该地带小流域树枝状水系的特点,故将其作为研究实验地有较好的代表性。

2 研究方法

研究采用对比分析与相关分析相结合的方法,即通过对实验地大气降水与支沟溪流水、流域出口径流水质进行对比分析以了解森林生态系统对水质的影响;然后,测定溪流水和流域出口径流流量,建立水质指标和流量之间的对应关系,通过相关分析,进一步了解森林生态系统对水质是否具有稳定作用及其稳定程度。

2.1 实验布设与水样采集

实验布设在火地沟流域。在流域出口处建造巴歇尔量水堰测定径流量,另外还对该处水质进行测试,以建立水质指标和流量之间的对应关系。同时,还在流域内选择了1支沟和2支沟集水区以代表支沟集水区森林生态系统。1、2支沟集水区均为闭合集水区,面积分别为8.6 hm²和7.2 hm²。同样,在支沟沟口建造量水设施测流并对该处水质进行测试。1、2支沟沟口量水设施均为三角形薄壁量水堰,编号分别为、。

大气降水采样点设在距火地沟流域出口100~150 m处,位于沟口左侧,共布置了3个点,采集20 mm以上的降水。采样时,先将各点收集的降水混合,然后取部分作为测试分析水样。溪流水和流域出口径流水样一般在雨后8~24 h采集,但在探讨水质与流量的关系时,则不受此限制。

2.2 水样测试分析

2.2.1 测试项目

测试项目为pH值、NO₃⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻、K、Na、Ca、Mg、Cd、Pb、Mn、Fe、Zn。

2.2.2 测试方法

pH值采用电位法测定;NO₃⁻采用酚二磺酸比色测定;NH₄⁺采用苯酚-次氯酸盐比色测定;PO₄³⁻采用钼蓝比色测定;K、Na、Ca、Mg、Zn、Fe、Mn采用等离子发射光谱测定;Pb、Cd采用石墨炉原子吸收分光光度计测定。

2.3 径流观测

首先,观测巴歇尔量水堰和三角形量水堰、相关水位,然后根据求得水深等采用率定后的有关水力学公式^[4]求得流量。

3 结果分析

3.1 森林生态系统对水质的影响

1999年7~10月、2003年7~10月和2004年7~11月,分别采集大气降水、溪流水、流域出口径流水样16次共64个水样,水样测试结果的平均值见表1。

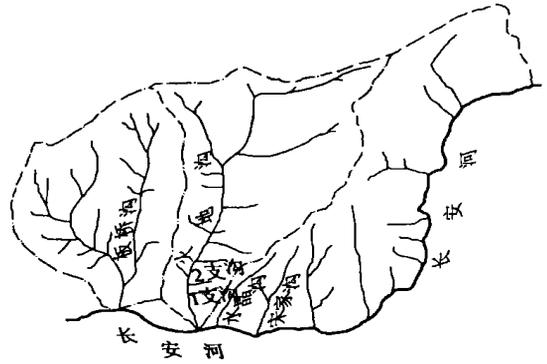


图1 实验地流域水系示意图

Fig. 1 Experimental watershed

表1 大气降水、溪流水、流域出口径流水质测试结果

Table 1 Water quality characteristics of rainfall, stream water, and watershed outlet flow

水样类型	采样地点	水样测试项目及其测试结果												
		pH	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb	PO ₄ ³⁻	Mn	Fe	Zn
大气降水	林 场	6.65	1.303	0.831	1.17	0.589	4.82	0.333	0.839	8.046	0.823	0.0164	0.0217	1.4874
溪流水	1、2支沟	8.05	2.822	0.151	1.55	0.982	22.98	2.366	0.074	1.092	0.081	0.0018	0.0257	0.0185
流域出口径流	火地沟	8.17	0.329	0.025	1.21	0.932	29.71	4.077	0.118	1.564	0.122	0.0036	0.0421	0.0200

注: 表中 Cd、Pb 单位为 mg/L。

3.1.1 pH 值

总体上, 实验地大气降水水质微偏酸性, 个别降水 pH 值甚至小于 4.5, 为酸雨^[5~7]。但降水进入森林生态系统形成溪流水和流域出口径流, pH 值平均分别上升了 1.4 和 1.52, 符合国家《生活饮用水卫生标准》GB5749-85 要求, 即便是酸雨形成的溪流水和流域出口径流, 其 pH 值也符合要求。如 2004 年 8 月 24 日降水 pH 值仅 4.19, 通过林冠层后, pH 值升至 7.47, 形成溪流水和流域出口径流, pH 值分别为 7.415 和 8.05。因此, 森林生态系统对微酸性大气降水 pH 值有较好的调升作用, 这种作用使水质变得更适于饮用。

3.1.2 NO₃⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻

降水进入森林生态系统形成流域出口径流, NO₃⁻ 含量大幅下降。但溪流水中 NO₃⁻ 含量不降反升, 是大气降水含量的 2.166 倍, 说明此前森林生态系统具有增加 NO₃⁻ 含量的作用。溪流水汇入主沟道流至流域出口, NO₃⁻ 含量急剧下降, 仅为大气降水中的 25.2%, 说明 NO₃⁻ 并非主要以溶于径流中的形式输出。因为流域出口径流中 NO₃⁻ 含量不但低, 而且径流总量本身也低于降水总量, 实验地林区径流系数为 0.44。

溪流水和流域出口径流中 NH₄⁺、PO₄³⁻ 含量也显著降低。NH₄⁺ 含量比大气降水中分别降低了 81.8% 和 97.0%, PO₄³⁻ 分别降低了 90.2% 和 85.2%。说明森林生态系统对随降水输入的 NH₄⁺、PO₄³⁻ 均有很好的净化作用^[8,9]。水中磷主要以 PO₄³⁻ 的形式存在, 是植物的重要营养物, 但超过临界浓度后, 会加速水体的富营养化^[10]。根据美国环境保护局的水质评价标准, 在春季, 由于容重不同的湖泊水体和水库水体的流转, 总磷酸盐浓度超过 25 μg/L 有时会刺激藻类和其它水生植物过剩生长或者说有害生长, 造成水体富营养化^[10]。因此, 森林生态系统对 PO₄³⁻ 的净化作用有助于减轻水体富营养化威胁, 这对于南水北调中线工程取水地丹江口水库保持良好的水质无疑是非常有益的。

3.1.3 一般金属元素 K、Na、Ca、Mg

与大气降水相比较, 溪流水和流域出口径流中 K、Na、Ca、Mg 含量均有不同程度的上升, 其中 K、Na 增加幅度较小, Ca、Mg 上升幅度较大。Ca 在溪流水和流域出口径流中分别上升了 3.768 倍和 5.16 倍, Mg 分别上升了 6.11 倍和 11.24 倍, 即便考虑蒸散发的影响, Ca、Mg 增加量也属较高。进一步研究表明: Ca 主要来源于土壤和岩石, Mg 主要来源于岩石^[11]。但森林生态系统对 Ca、Mg 含量的增加并未达到可以对水质产生不良影响的程度, K、Na 更是如此。

3.1.4 重金属元素 Pb、Cd、Mn

截至目前, 从生物学角度看, Pb、Cd 均为非必要的、无益的元素, 且毒性很大, 尤其是 Cd, 毒性更大^[10]。大气降水进入森林生态系统形成溪流水和流域出口径流, Pb、Cd 及重金属元素 Mn 含量显著降低, Cd 分别降低了 91.2% 和 85.8%, Pb 降低了 86.4% 和 80.6%, Mn 降低了 89.0% 和 78.0%。因此, 森林生态系统在固定大气降水中有毒有害元素 Cd、Pb 和重金属元素 Mn 方面作用显著, 或者说在降低有毒有害元素 Cd、Pb 和重金属元素 Mn 含量方面, 森林生态系统对输出的径流水质有显著的改善作用。

根据表 1, 流域出口径流中 Cd、Pb、Mn 含量较溪流水中略有升高。这是因为火地沟主沟道地形开阔, 其中较少有林木生长, 水域及裸露岩石面积所占比例较高, 直接承受大气降水, 而降水中 Cd、Pb、Mn 又较高, 从而导致流域出口径流中 Cd、Pb、Mn 含量略有升高。这也从另外一个方面说明森林生态系统有固定 Cd、Pb 和 Mn 的作用。

3.1.5 Fe、Zn

Fe 是对人体有益的元素，大气降水中 Fe 含量较低。但通过森林生态系统的调节，溪流水和流域出口径流中含量均有不同程度的上升，从而使水质变得更有利于人体健康。Zn 是人体必须的微量化学元素，但并非愈高愈好。国家《生活饮用水卫生标准》GB5749-85 规定 Zn 含量不超过 1.0 mg/L。显然，林区降水中 Zn 含量超标。通过森林生态系统的阻减，溪流水和流域出口径流中 Zn 含量显著降低，符合生活饮用水卫生标准要求。因此，在降低水中 Zn 含量方面，森林生态系统的作用也非常显著。

根据以上对水质检测结果的分析，可以看出森林生态系统对水质有很好的净化和调节作用，使偏酸性降水的 pH 值升高，有毒有害重金属元素含量显著降低，一般金属离子含量上升，不符合《生活饮用水标准》的指标也满足了要求，流域输出径流水质优良。

3.2 森林生态系统水质与水量的关系

根据对水质测定结果和径流观测资料的整理，1998 - 2005 年，1 支沟沟口流量与水质测定结果之间共有 9 组数据，2 支沟有 18 组数据，火地沟流域出口共有 15 组数据。通过相关分析，求得流量和水的 pH 值、Mn、Fe 等含量及毒理学指标 Cd、Pb 之间的相关系数见表 2~表 4。同时，考虑到水质指标和流量之间不一定表现为线性相关关系，还对水质指标和流量进行了非线性回归分析。非线性回归模型包括对数函数模型、双曲线模型、多项式模型中的二次函数和三次函数、幂函数模型和指数函数模型。模型形式如下：

对数函数模型： $y = a_0 + a_1 \ln x$

双曲线模型： $1/y = a_0 + a_1/x$

多项式模型： $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_kx^k$

幂函数模型： $y = a_0x_1^1x_2^2 \dots x_k^k$

指数函数模型： $y = a_0e^{a_1x}$

回归分析时，以流量为自变量，以水质指标为因变量，求得相关指标的绝对值见表 2~表 4。

表 2 1 支沟出口溪流水水质测定指标和流量之间相关分析结果

Table 2 Correlation between water quality indicators and stream flow rate in branch 1 of the Huodigou watershed

函数类型	水质测定指标													
	pH	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb	PO ₄ ³⁻	Mn	Fe	Zn	
相关系数	线性函数	0.092	-0.136	-0.342	-0.231	-0.132	0.594	0.299	-0.240	0.141	-0.357	-0.242	-0.140	-0.033
	对数函数	0.087	0.544	0.682	0.158	0.441	0.071	0.246	0.097	0.157	0.114	0.084	0.086	0.259
	逆函数	0.069	0.604	0.882	0.032	0.384	0.455	0.640	0.375	0.066	0.245	0.366	0.260	0.309
相关指数的绝对值	二次函数	0.305	0.448	0.481	0.308	0.442	0.641	0.607	0.462	0.055	0.368	0.678	0.265	0.419
	三次函数	0.304	0.448	0.481	0.310	0.442	0.641	0.606	0.463	0.055	0.890	0.679	0.266	0.419
	幂函数	0.084	0.294	0.340	0.191	0.374	0.020	0.224	0.092	0.179		0.198	0.133	0.171
	指数函数	0.110	0.061	0.261	0.189	0.052	0.521	0.300	0.189	0.182		0.178	0.081	0.157

表 3 2 支沟出口溪流水水质测定指标和流量之间相关分析结果

Table 3 Correlation between water quality indicators and stream flow rate in branch 2 of the Huodigou watershed

函数类型	水质测定指标													
	pH	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb	PO ₄ ³⁻	Mn	Fe	Zn	
相关系数	线性函数	0.022	-0.364	-0.405	-0.401	-0.395	-0.212	-0.505	0.443	-0.278	0.250	-0.276	-0.244	-0.358
	对数函数	0.094	0.570	0.210	0.462	0.552	0.468	0.645	0.379	0.046	0.246	0.076	0.081	0.284
	逆函数	0.320	0.426	0.134	0.384	0.449	0.367	0.513	0.234	0.150	0.020	0.171	0.082	0.286
相关指数的绝对值	二次函数	0.047	0.390	0.438	0.405	0.395	0.263	0.507	0.519	0.217	0.679	0.606	0.264	0.514
	三次函数	0.194	0.512	0.441	0.445	0.468	0.309	0.591	0.550	0.304	0.799	0.730	0.465	0.682
	幂函数	0.107	0.351	0.422	0.426	0.473	0.425	0.612	0.352	0.120		0.078	0.245	0.495
	指数函数	0.035	0.214	0.591	0.403	0.382	0.166	0.527	0.413	0.320		0.314	0.449	0.670

表4 火地沟流域出口径流水质测定指标和流量之间相关分析结果

Table 4 Correlation between water quality indicators and discharge at the outlet of the Huodigou watershed

函数类型		水质测定指标												
		pH	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb	PO ₄ ³⁻	Mn	Fe	Zn
相关系数	线性函数	-0.157	0.330	-0.153	0.518	0.449	-0.341	-0.028	-0.496	0.195	-0.481	0.794	-0.049	0.295
	对数函数	0.117	0.334	0.122	0.498	0.340	0.427	0.072	0.486	0.064	0.628	0.738	0.047	0.339
	逆函数	0.084	0.325	0.068	0.426	0.205	0.465	0.088	0.441	0.081	0.782	0.643	0.039	0.362
相关指数	二次函数	0.232	0.331	0.163	0.532	0.589	0.719	0.371	0.500	0.240	0.825	0.919	0.051	0.418
的绝对值	三次函数	0.240	0.342	0.267	0.689	0.607	0.765	0.467	0.521	0.257	0.957	0.991	0.157	0.425
	幂函数	0.109	0.359		0.539	0.351	0.495	0.112	0.538	0.283		0.934	0.231	0.439
	指数函数	0.150	0.344		0.557	0.422	0.415	0.068	0.548	0.210		0.958	0.237	0.438

3.2.1 pH值

1、2支沟溪流水和流域出口径流pH值与流量之间的相关系数均很小,根据统计检验(显著性水平 = 0.05),pH值和流量并不相关。在pH值和流量的各种回归模型中,最大相关指标的绝对值,1、2支沟溪流水和流域出口径流分别为0.305、0.320和0.240。因此,溪流水、流域出口径流pH值与流量的大小并无多大关系,也就是说流量的大小不会对水的pH值产生影响。

3.2.2 NO₃⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻

1、2支沟溪流水和流域出口径流NO₃⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻含量与流量之间相关系数的绝对值最大分别为0.364、0.405和0.481,而且无任何规律性。根据统计检验,不管是溪流水还是流域出口径流,NO₃⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻含量与流量之间(线性)相关性均很低或者说不相关。

在NO₃⁻、NH₄⁺和PO₄³⁻含量与流量的各种回归模型中,最大相关指标的绝对值,1支沟溪流水分别为0.604、0.882和0.890,2支沟溪流水分别为0.570、0.591和0.799,流域出口径流分别为0.359、0.267和0.957。PO₄³⁻含量与流量之间最大相关指标的绝对值较大,且均在三次函数模型下相关指标的绝对值最大,说明在该函数模型下PO₄³⁻含量与流量之间相关性较好,特别是与流域出口流量,其回归方程为:

$$y = 2.312334 - 0.00596x + 4.55 \times 10^{-6}x^2 - 1.1 \times 10^{-9}x^3 \quad R^2 = 0.915814 \quad = 0.01291 \quad (1)$$

式中 y 为水中PO₄³⁻含量,mg/L; x 为流量,m³/h。

3.2.3 一般金属元素 K、Na、Ca、Mg

溪流水和流域出口径流K、Na、Ca、Mg含量与流量之间相关系数绝对值的最大值分别为0.518、0.449、0.594、0.505。根据统计检验,K、Na、Ca、Mg含量与流量之间的相关性很低或不相关。

在K含量与流量的各种回归模型中,最大相关指标的绝对值,1、2支沟溪流水和火地沟流域出口径流分别为0.310、0.462、0.689;Na为0.442、0.552、0.607;Ca为0.641、0.468、0.765;Mg为0.640、0.645、0.467。相关指标的绝对值均较小,说明流量对K、Na、Ca、Mg含量影响并不很大。

3.2.4 重金属元素 Cd、Pb、Mn

根据水中Cd、Pb含量与流量之间的相关系数,通过统计检验,Cd、Pb含量与流量的大小无太大关系。但流域出口径流中Mn含量与流量之间的相关系数较大,且呈正相关,说明Mn主要来源于大气降水或基岩。因为大气降水中Mn含量最高,当流量较大时,水位上升,水域面积增大,直接承受较多降水;同时,水位较高时,水中溶解了低水位时难以溶解到的岩石中的Mn,而这部分岩石风化物中的Mn因低水位时难以被溶解到,积累较多。所以,流域出口径流Mn含量较溪流水略有升高(表1),并与流量呈正相关。

在Cd含量与流量的各种回归模型中,最大相关指标的绝对值,1、2支沟溪流水和流域出口径流分别为0.463、0.550和0.548;Pb分别为0.182、0.320和0.283;Mn分别为0.679、0.730和0.991。Mn含量与流量回归模型相关指标的绝对值较大,且均在三次函数模型下达到最大。因此流量,特别是流域出口径流流量,对Mn含量的影响较大。流域出口径流Mn含量与流量的回归方程为:

$$y = -0.0028 + 1.37 \times 10^{-5}x - 1.9 \times 10^{-8}x^2 + 7.32 \times 10^{-12}x^3 \quad R^2 = 0.981816 \quad = 0.000616 \quad (2)$$

式中 y 为水中 Mn 含量, mg/L; x 为流量, m^3/h 。

3.2.5 Fe、Zn

Fe、Zn 在 1、2 支沟溪流水和流域出口径流中含量与流量之间相关系数的绝对值较小, 统计检验表明, Fe、Zn 含量与流量不相关。

在 Fe 含量与流量的各种回归模型中, 最大相关指标的绝对值, 1、2 支沟溪流水和流域出口径流分别为 0.266、0.465 和 0.237; Zn 为 0.419、0.682 和 0.439。最大相关指标的绝对值均较小, 说明流量对水中 Fe、Zn 含量的影响不大。

相关分析表明, 森林生态系统溪流水和流域出口径流水质指标与流量之间除 PO_4^{3-} 和 Mn 相关性较好外, 其余相关性不是很密切或不密切。 PO_4^{3-} 和 Mn 本身含量很低, 对水质的影响有限。因此, 总体上, 水质和水量之间并无较大的关系, 水质并不随水量变化而发生较大变化, 说明森林生态系统对水质有很好的稳定作用。

4 结 论

通过对火地塘林区大气降水与支沟溪流水和流域出口径流水质的比较分析, 以及溪流水和流域出口径流水质与水量的相关分析, 得出如下结论:

- (1) 微酸性降水经过森林生态系统的调节, 流域出口径流的 pH 值升高, 且不随流量变化而发生变化。
- (2) 森林生态系统对随降水输入的 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 皆有很好的净化作用, 这种作用对于降低南水北调中线工程取水地丹江口水库水质的富营养化威胁无疑是非常有益的, 对重金属元素 Cd、Pb、Mn 有固定作用。
- (3) 森林生态系统对 K、Na、Ca、Mg、Fe 有增加作用, 尤其对 Ca、Mg 增幅较大, 但这种作用不会对水质产生不良影响, 对 Fe 的调升使水质更有利于人体健康。
- (4) 森林生态系统在调减水中 Zn 含量方面作用显著。
- (5) 森林流域径流水质与水量之间并无较大关系, 水质不随水量变化而发生较大变化, 森林生态系统对水质有很好的稳定作用。

参考文献:

- [1] 李文华, 何永涛, 杨丽韞. 森林对径流影响研究的回顾与展望[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 398 - 406.
- [2] 李凌浩, 林 鹏, 何建源, 等. 森林降水化学研究综述[J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 84 - 95.
- [3] 施立新, 余新晓, 马钦彦. 国内外森林与水质研究综述[J]. 生态学杂志, 2000, 19(3): 52 - 56.
- [4] 张绍芳. 堰闸水力设计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987. 14 - 15.
- [5] 陈步峰, 陈 勇, 尹光天, 等. 珠江三角洲城市森林植被生态系统水质效应研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(4): 453 - 460.
- [6] 周光益, 徐义刚, 吴仲民, 等. 广州市酸雨对不同森林冠层淋溶规律的研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(6): 598 - 607.
- [7] Thorjór Larssen, Hans Martin Seip, Arne Semb, et al. Acid deposition and its effects in China: an overview[J]. Environmental Science & Policy, 1999, 2: 9 - 24.
- [8] Nakagawa Y, Iwatsubo G. Water chemistry in a number of mountainous streams of east Asia[J]. Journal of Hydrology, 2000, 240: 118 - 130.
- [9] Mingteh Chang. FOREST HYDROLOGY: AN INTRODUCTION TO WATER AND FORESTS[M]. United States of America: CRC PRESS, 2003. 204 - 206.
- [10] 美国环境保护局编, 许宗仁 译. 水质评价标准[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981. 31 - 222.
- [11] 张胜利. 秦岭南坡中山地带森林生态系统对径流和水质的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.

**Effect of the forest ecosystem on water quality in the water supply catchment
for the middle line of South-to-North Water Transfer Project :
A case study of the Huoditang forest , part of the medium altitude ,
southern slope of the Qinling mountain range**

ZHANG Sheng-li , LI Jing , HAN Chuang-ju , WANG De-lian

(*Northwest A & F University , Yangling 712100 , China*)

Abstract : The objective of this research is to determine the effect of the forest ecosystem on water quality in the Huoditang Forest , part of the water supply catchment for the South-to-North Water Transfer Project. The effect of the forest on water quality was determined by measuring the water quality of rainfall and stream water collected from tributaries within the watershed and at the watershed outlet. The water flow rate in the streams was also taken into account. From July to October , rainfall was slightly acidic. The pH of the stream water was higher than that of the rainfall and was not affected by flow rate. The concentration of NO_3^- , NH_4^+ , and PO_4^{3-} in the stream water were lower than in the rainwater , indicating that the forest ecosystem was effective for reducing the level of these nutrients in water. This should reduce the probability of water eutrophication in the Danjiangkou Reservoir , the main water storage area for the South-to-North Project. The forest ecosystem also fixed the heavy metals Cd , Pb and Mn. This is helpful for improving water quality. The concentration of K , Na , Ca , Mg and Fe in the water increased as it passed through the region. The increases in Ca and Mg were especially large. The increases in K , Na , Ca and Mg have no effect on water quality , but the increase of Fe in the stream water improves drinking water quality. The forest ecosystem has the important function for reducing Zn in the water as it passes through the catchment area. There is no relationship between water quality and flow rate. Generally , there is no large change in water quality as flow rate varied. The results from this study show that the water quality is stabilized as it passes through the forest ecosystem.

Key words : South-to-North Water Transfer Project ; Qinling mountain range ; forest ecosystem ; water quality ; effect