

太行山不同林型枯落物持水性及生态水文效应研究

王会京, 王红霞, 谢宇光

(邢台学院 美术与设计学院, 河北 邢台 054001)

摘 要:研究了太行山不同林型枯落物持水性及生态水文效应,结果表明:(1)灌丛和混交林未分解层占总厚度的一半以上,阔叶林和针叶林半分解层占总厚度的一半以上;枯落物总蓄积量大小排序为针叶林>混交林>阔叶林>灌丛,不同林型半分解层蓄积量均占总蓄积量一半以上,表明了高海拔枯落物分解速度比低海拔枯落物分解速度快。(2)不同林型枯落物半分解层和未分解层最大持水量、最大持水率、有效拦蓄率、有效拦蓄量和自然含水率随海拔的增加而增加,基本表现为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛,并且未分解层高于半分解层;针叶林枯落物有效拦蓄能力最强,灌丛最弱,即高海拔拦蓄能力较强,低海拔较弱。(3)土壤容重随着海拔的增加而降低,依次表现为灌丛>混交林>阔叶林>针叶林;土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度随海拔的增加而降低,其中毛管孔隙度在不同林型差异均不显著($p>0.05$);土壤饱和含水量、有效调蓄空间、最大持水率、最大持水量和有效持水量随海拔的增加而增加,依次表现为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛。(4)不同林型初渗速率与稳渗速率存在较好的幂函数关系,相关性分析结果显示土壤渗透性能与总孔隙度和非毛管孔隙度均为极显著正相关关系($p<0.01$),其中,非毛管孔隙状况对土壤渗透性的影响更为显著。综合分析表明:太行山森林水源涵养能力随海拔的增加而增加。

关键词:太行山;林型;枯落物;土壤;生态水文

中图分类号:S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0135-05

Hydrology Functions and Water Holding Capacity of Forest Litter in Taihangshan Scenic Area

WANG Huijing, WANG Hongxia, XIE Yuguang

(College of Art and Design, Xingtai University, Xingtai, Hebei 054001, China)

Abstract: A preliminary study on hydrological effects of litter and soil was carried out at four different altitudes in Taihangshan scenic area. The results showed that: (1) the thickness of under-composed layer at different altitudes was more than half than that of total litter thickness, and semi-decomposed layer was more than half than that of total litter thickness, which decreased in the order: coniferous forest>mingled forest>broad-leaved forest>bushwood, and the total volume of litter increased with the increase of altitude, which suggested that litter decomposition speed was slow at low altitude and fast at high altitude; (2) the maximum capacity of soil moisture, the maximum rate of soil moisture, natural moisture rate, the effective rate of interception and the effective capacity of interception increased with the increase of altitude, which decreased in the order: coniferous forest>mingled forest>broad-leaved forest>bushwood and under-composed layer>semi-decomposed layer, and indicated that the water conservation ability was higher at high altitude and weaker at low altitude; (3) soil bulk density decreased with the increase of altitude, which decreased in the order: bushwood>broad-leaved forest>mingled forest>coniferous forest, and soil total porosity, noncapillary porosity, capillary porosity, soil maximum moisture rate, maximum water holding capacity, water holding capacity and effective reservoir space increased with the increase of altitude, which decreased in the order: coniferous forest>mingled forest>broad-leaved forest>bushwood; (4) correlation analysis showed that soil permeability was significantly positive correlated to soil total porosity and noncapillary porosity ($p<0.01$), and noncapillary porosity had a more significant effect on soil permeability. Generally, the water conservation function gradually increased with the increase of altitude in Taihangshan scenic area forest.

Keywords: Taihangshan; forest; litter; soil; hydrology functions

土壤生态系统是主要蓄存库、调节器,影响着生态系统的水文调节等过程^[1-3];土壤物理性质是结构状况、养分状况、持水性能和渗透能力的综合反映,决定着其水文生态功能^[4-5]。森林具有强大的水源涵养能力,主要通过林冠层、枯枝落叶层、土壤层截持和贮存水源,发挥着森林生态系统特有的水文生态功能^[6-7]。森林枯落物和土壤层持水特征是整个森林一植被水源涵养功能的重要方面,在涵养水源、净化水质、截持降水、防止土壤溅蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发、增强土壤抗冲性能等方面具有重要意义,森林枯落物及土壤层的水文功能是探讨森林水文循环过程的基础和前提^[8]。人工造林(恢复植被)不仅可以提高森林生态系统的生态功能(与)潜力,还能够有效的提高森林生态系统的抵抗力和恢复力。国内外许多学者对大量人工造林枯落物特性进行了集中的研究,在其枯落物动态分解^[9]、养分归还^[10]、持水特性^[8]、截留降雨^[11]、森林更新^[12-13]等方面取得了一定成果,而以往对枯落物和土壤性能的研究比较单一,仅侧重于枯落物在水源涵养及土壤水分等方面的作用,却忽略了不同海拔林型枯落物持水性及生态水文效应。因此,本文以太行山不同海拔林型为研究对象,对林下枯落物持水性及生态水文效应进行定量研究,旨在揭示不同海拔林型枯落物层和土壤层水源涵养功能,为太行山森林水源涵养功能和水文生态研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

太行山(34°34′—40°43′N,110°14′—114°33′E)是中国东部地区的重要山脉和地理分界线。位于山西省与华北平原之间,纵跨北京、河北、山西、河南,北起北京西山,向南延伸至河南与山西交界地区的王屋山,西接山西高原,东临华北平原,呈东北—西南走向,绵延数 400 余 km。太行山北高南低,大部分海拔在 1 200 m 以上,北端最高峰为小五台山,海拔高 2 882 m;南端高峰为陵川的佛子山、板山,海拔分别为 1 745 m 和 1 791 m。太行山属暖温带半湿润大陆性季风气候,全

年冬无严寒,夏无酷暑,雨热同季,虽四季分明,但冬长夏短,近 5 a 来年平均气温在 10℃左右,1 月份最冷,平均气温为-5℃左右;7 月份最热,平均气温为 23℃左右,平均最高气温在 28℃左右,四季分明,年日照时数将近 2 500 h,年降水量在 500~700 mm,其中 7 月降水最多,为 120~150 mm,12 月最少,为 3~8 mm。本研究区域选取太行山的小五台山,山上植被和土壤的垂直地带性比较明显,地带性土壤为砖红壤和赤红壤,1 000 m 以下为灌丛(荆条 *Vervain Family* 和黄栌 *Cotinus coggygia*),1 000 m 以上有混交林(侧柏 *Platycladus orientalis* 和油松 *Pinus tabulaeformis* 混交林)、阔叶林(刺槐 *Robinia pseudoacacia*)和针叶林(侧柏纯林 *Platycladus orientalis*)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 为较全面地反映太行山植被垂直地带性分布特征,2015 年 8 月下旬不同海拔选取了发育较好、结构完整,受人为和自然因素影响较小、坡度较平缓的林型。不同林型(灌丛、混交林、阔叶林、针叶林)样地面积为 50×50=2 500 m²,每个样地重复 3 个,样地内视地形变化设 2×2=4 m² 样方 5 个(其中灌丛样方面积为 1×1=1 m²),调查样方内枯落物层厚度及蓄积量,不同林型样地枯枝落叶层和腐殖质较厚,林内湿度较大,树干上附生有较厚的苔藓层,目测法测定林冠郁闭度,在每个样地随机选取 5~10 株植株,利用测树仪和图帕斯测距仪测定树高及其距离地面 1.2 m 胸径(若是灌木,则距离地面 0.2 m),并在样地内对植株进行计数(密度)。每一样地的对角线上选 5 个 0.5×0.5=0.25 m² 的样方,钢板尺对枯落物的未分解层厚度、半分解层厚度进行测量并记录,同时用尼龙网兜收集样方内的未分解层和半分解层枯落物,带回实验室称重,风干后再称重,以干物质重计算蓄积量,在每个样方内采用 5 点取样法挖取 0—20 cm 土层的混合土壤带回实验室进行土壤水文参数的测定,烘干法和浸水法测定土壤的自然含水量、土壤的容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度等各项指标,土壤入渗采用双环刀法。并观测记录坡向、坡度、坡位和海拔等生境因子,各样地的概况详见表 1。

表 1 太行山不同林型基本特征

项目	海拔 梯度/m	坡度/(°)	坡向	郁闭度	密度/ (株·hm ⁻²)	胸径/cm	高度/m	土壤 类型
灌丛	769±3	9±2	SE	0.92±0.04	958±32	2.29±0.95	2.84±0.83	褐土
混交林	1034±6	13±3	EN	0.98±0.05	736±52	21.58±3.15	13.25±2.54	砖红壤
阔叶林	1527±7	15±4	SW	0.95±0.03	685±43	26.47±3.02	15.27±1.85	砖红壤
针叶林	1856±5	19±3	NE	0.96±0.05	723±29	25.97±2.57	16.18±2.06	砖红壤

1.2.2 土壤水文物理参数的测定 取回的枯落物自然状态下称重,然后将枯落物样品自然状态下装入尼龙袋浸水 24 h 后取出,静放至无水滴滴下时称重,于 75℃

下烘干至恒重,冷却后称重,计算枯落物储量,自然持水率、最大持水率和最大持水量^[14-15]。

土壤持水性能的测定^[16]:

土壤最大持水量=10000×土壤总孔隙度×土层厚度
土壤有效持水量=10000×土壤非毛管孔隙度×土层厚度
土壤持水量=10000×土壤非毛管孔隙度×土层厚度
1.2.3 枯落物持水能力的测定 通常采用有效拦蓄量来估算枯落物对降雨的实际拦蓄量,具体计算公式如下^[14-15]:

$$p=0.85 R_m-R_0$$

$$M=(0.85 R_m-R_0) \times W$$

枯落物最大持水率=(浸泡后的枯落物质量-干质量)/干质量×100%

枯落物有效拦蓄量=(0.85 R_m-R_0)× M

式中: P 为有效拦蓄率(%); R_m 为最大持水率(%); R_0 为自然持水率(%); M 为有效拦蓄量(t/hm^2); W 为枯落物储量(t/hm^2)

Excel 2010 和 Spss 18 数据分析,单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著法(LSD)检验其差异显著性,Pearson 相关性系数检验各指标的的相关性。

2 结果与分析

2.1 太行山不同林型枯落物水文效应

2.1.1 太行山不同林型枯落物储量 由表 2 可知,不同林型枯落物未分解层厚度在 1.36~4.56 mm 之

间,半分解层厚度在 1.05~5.69 mm 之间,灌丛和混交林未分解层占总厚度的一半以上,阔叶林和针叶林半分解层占总厚度的一半以上。未分解层和半分解层枯落物厚度排序为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛,其中针叶林枯落物层总厚度最大,与灌丛相比,混交林、阔叶林和针叶林分别是灌丛的 2.53,3.82,4.25 倍。由表 1 可知,不同林型枯落物总蓄积量有一定差别,枯落物总蓄积量大小排序为针叶林>混交林>阔叶林>灌丛,针叶林最大(17.08 t/hm^2),灌丛最小(9.25 t/hm^2),不同林型半分解层蓄积量均占总蓄积量一半以上。针叶林半分解层枯落物蓄积量为 9.13 t/hm^2 ,占总蓄积量的 53.45%,阔叶林半分解层厚度为 7.86 t/hm^2 ,占总蓄积量的 60.46%,混交林半分解层枯落物蓄积量为 7.65 t/hm^2 ,占总蓄积量的 53.76%,灌丛半分解层枯落物蓄积量为 5.13 t/hm^2 ,占总蓄积量的 55.46%。由此表明了低海拔枯落物分解速度较慢,主要因为低海拔阳光被高海拔树木遮挡,太阳光不能直射到低海拔林分地面,相对于高海拔来说,低海拔林分接受的阳光较少,使林下枯落物不能快速充分分解。现存蓄积量主要是由往年凋落总量和凋落物分解速率共同决定的,而年凋落量和凋落物分解速率受林分组成和林分生长环境等诸多因素影响^[17]。

表 2 太行山不同林型枯落物储量

项目	灌丛	混交林	阔叶林	针叶林	
枯落物厚度/mm	未分解层	1.36±0.23c	3.13±0.84b	4.23±0.26a	4.56±0.54a
	半分解层	1.05±0.15c	2.97±0.46b	4.98±0.51a	5.69±0.68a
	总计	2.41±0.18c	6.10±0.62b	9.21±0.37a	10.25±0.59a
枯落物蓄积量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	未分解层	4.12±0.85d	6.58±0.98b	5.14±0.69c	7.95±0.85a
	半分解层	5.13±0.63c	7.65±0.72b	7.86±0.88b	9.13±1.03a
	总计	9.25±0.72c	14.23±0.85b	13.00±0.76b	17.08±0.94a

注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

2.1.2 太行山不同林型枯落物持水性能及有效拦蓄量 由于人工模拟降雨与自然降雨仍存在一定差异,浸泡法虽采用原状枯落物但不符合自然降水截持规律,故只能反映理想状态下的持水量,最大持水量则无法直接反映枯落物层的蓄水能力,而自然状态下直接测量枯落物持水过程的难度和误差较大,因此有效拦蓄量是切实反映枯落物层对降水拦蓄能力的指标^[18-19]。由表 3 可知,不同林型枯落物半分解层和未分解层最大持水量、最大持水率、有效拦蓄率、有效拦蓄量和自然含水率均表现出一致的变化趋势,随海拔的增加而增加,基本表现为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛,并且不同林型未分解层最大持水量、最大持水率、有效拦蓄率、有效拦蓄量和自然含水率均高于半分解层。最大持水量与枯落物本身的蓄积量有关,

而蓄积量又与枯落物的分解状况、厚度等有关,枯落物持水能力取决于枯落物的组成、质地、结构和分解程度等,一般由最大持水量和最大持水率表示。对于半分解层,不同林型枯落物最大持水量、最大持水率、有效拦蓄率、有效拦蓄量和自然含水率变化范围分别在 5.23~7.86 t/hm^2 ,73.25%~124.74%,53.69%~113.25%,4.26~9.15 t/hm^2 ,16.38%~22.08%之间;对于未分解层,不同林型枯落物最大持水量、最大持水率、有效拦蓄率、有效拦蓄量和自然含水率变化范围分别在 4.15~6.15 t/hm^2 ,62.15%~105.89%,41.36%~89.34%,3.69~6.89 t/hm^2 ,14.35%~18.05%。综合未分解层和半分解层的变化规律可知,针叶林的枯落物有效拦蓄能力最强,灌丛最弱,即高海拔拦蓄能力较强,低海拔较弱。

表 3 太行山不同林型枯落物持水性能及有效拦蓄量

项目		最大持水量/ (t·hm ⁻²)	最大 持水率/%	有效 拦蓄率/%	有效 拦蓄量/(t·hm ⁻²)	自然 含水率/%
半分解层	灌丛	5.23±0.75c	73.25±3.69d	53.69±2.56d	4.26±0.56c	16.38±0.69c
	混交林	6.15±0.69b	92.41±5.36c	92.56±1.59c	6.96±0.78b	18.16±0.58b
	阔叶林	7.69±0.89ab	116.32±6.37b	105.41±2.54b	7.26±0.54b	20.15±0.49ab
	针叶林	7.86±0.52a	124.74±8.24a	113.25±1.87a	9.15±0.92a	22.08±0.89a
	F 值	48.17	52.89	49.26	42.58	58.37
未分解层	灌丛	4.15±0.51c	62.15±5.12b	41.36±2.36c	3.69±0.15c	14.35±0.95b
	混交林	5.26±0.68b	72.36±6.95b	58.92±1.95b	4.20±0.26b	15.17±0.84b
	阔叶林	6.03±0.83a	100.27±8.25a	83.21±2.07a	5.68±0.38ab	17.26±0.76a
	针叶林	6.15±0.91a	105.89±7.35a	89.34±1.88a	6.89±0.46a	18.05±0.34a
	F 值	63.25	56.84	51.44	48.23	51.03

2.2 太行山不同林型土壤水文效应

2.2.1 太行山不同林型土壤物理性质 土壤是蓄存水源的主体,土壤容重和孔隙度直接影响着土壤蓄水和通气性能,非毛管孔隙度的大小反映了植被滞留水分、发挥涵养水源和削减洪水的能力,直接反映土壤持水性能^[13,20]。通过对太行山不同林型土壤物理性质指标计算可知(表 4),土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度变化范围分别为 0.89~1.06 g/cm³,53.26%~61.27%,26.25%~36.14%和 21.68%~22.69%。其

中,土壤容重随着海拔的增加而降低,依次表现为灌丛>混交林>阔叶林>针叶林;土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度随海拔的增加而降低,其中毛管孔隙度在不同林型差异均不显著($p>0.05$);灌丛和混交林总孔隙度显著高于阔叶林和针叶林($p<0.05$),而阔叶林和针叶林总孔隙度差异并不显著($p>0.05$);灌丛和混交林非毛管孔隙度差异显著($p<0.05$),显著高于阔叶林和针叶林($p<0.05$),而阔叶林和针叶林非毛管孔隙度差异并不显著($p>0.05$)。

表 4 太行山不同林型土壤物理性质

项目	土壤容重/(t·hm ⁻²)	总孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%
灌丛	1.06±0.23a	61.27±1.26a	36.14±2.36a	22.13±0.28a
混交林	0.96±0.14ab	60.14±1.65a	32.15±2.15b	22.69±0.37a
阔叶林	0.92±0.16b	56.28±0.98b	27.56±1.58c	21.85±0.15a
针叶林	0.89±0.19c	53.26±0.58b	26.25±1.69c	21.68±0.29a
F 值	62.35	54.17	69.48	51.47

2.2.2 太行山不同林型土壤水文调节功能 土壤持水性能是评价不同林型土壤涵养水源、调节水循环的重要指标,反映了土壤持水、供水与调蓄能力,可用来评价土壤层的水文功能,包括最大持水量、毛管持水量和田间(最小)持水量^[13,20]。由表 5 可知,太行山不同林型土壤水文调节功能具有有较大差别,土壤饱和含水量、有效调蓄空间、最大持水率、最大持水量和有效持水量变化范围分别为 1 126.2~2 163.5 g/kg,863.5~1 863.6 g/kg,45.6%~69.4%,623.5~1 162.8

t/hm²,132.5~185.7 t/hm²,土壤饱和含水量、有效调蓄空间、最大持水率、最大持水量和有效持水量随海拔的增加而增加,局部有所波动,具体表现为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛。其中土壤饱和含水量、有效蓄水空间和最大持水率在不同林型之间差异均显著($p<0.05$),针叶林土壤最大持水量和有效持水量显著高于其他林型($p<0.05$),混交林和阔叶林土壤最大持水量和有效持水量差异并不显著($p>0.05$),显著高于灌丛($p<0.05$)。

表 5 太行山不同林型土壤水文调节功能

项目	饱和含水量/ (g·kg ⁻¹)	有效调蓄水空间/ (g·kg ⁻¹)	最大 持水率/%	最大持水量/ (t·hm ⁻²)	有效持水量/ (t·hm ⁻²)
灌丛	1126.2±36.9d	863.5±62.2d	45.6±3.6d	623.5±36.9c	132.5±17.1c
混交林	1658.3±57.2c	1159.4±56.7c	51.7±2.9c	956.8±45.7b	152.1±16.2b
阔叶林	1925.4±95.7b	1354.7±65.8b	63.2±3.4b	1058.4±69.8b	162.4±13.7b
针叶林	2163.5±102.5a	1863.6±94.3a	69.4±1.8a	1162.8±82.3a	185.7±15.8a
F 值	56.29	51.27	63.89	61.16	58.30

2.2.3 太行山不同林型土壤渗透性能 土壤渗透性是表征土壤对降水和地表径流的就地入渗和吸收能

力,是土壤水文调节功能和林分涵养水源的重要指标。土壤渗透性直接关系到地表产生径流的多少,

渗透性能越好,地表径流越少,土壤侵蚀量也会相应减少^[21-22]。表 6 显示了不同林型初渗速率与稳渗速率存在较好的幂函数关系,表 7 为不同林型土壤入渗能力与土壤孔隙状况相关性分析结果,结果显示土壤渗透性能与总孔隙度和非毛管孔隙度均为极显著正相关关系($p<0.01$),土壤初渗速率与总孔

隙度相关系数(R^2)为 0.902 5($p<0.01$),与非毛管孔隙度相关系数(R^2)与 0.963 7($p<0.01$),土壤稳渗速率与总孔隙度相关系数(R^2)为 0.896 7($p<0.01$),非毛管孔隙度相关系数(R^2)与 0.942 8($p<0.01$)。其中,非毛管孔隙状况对土壤渗透性的影响更为显著。

表 6 太行山不同林型土壤渗透性能

项目	初渗速率(y)与稳渗速率(x)回归方程	R^2	调整 R^2	F 值	p 值
灌丛	$y=13.25t^{-0.9638}$	0.8936	0.8256	23.15	$<0.000^{**}$
混交林	$y=5.13t^{-0.6239}$	0.9215	0.8903	36.18	$<0.000^{**}$
阔叶林	$y=21.58t^{-0.0025}$	0.8824	0.8714	29.77	$<0.000^{**}$
针叶林	$y=18.04t^{-0.7803}$	0.9138	0.9016	32.41	$<0.000^{**}$

表 7 太行山不同林型土壤入渗速率与孔隙状况的相关性

	初渗速率	稳渗速率	总孔隙度	非毛管孔隙度
初渗速率	1.000			
稳渗速率	—	1.000		
总孔隙度	0.9025**	0.8967**	1.000	
非毛管孔隙度	0.9637**	0.9428**	—	1.000

注: ** 相关性在 0.01 水平上显著(双尾), * 相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

3 结论

(1) 灌丛和混交林未分解层占总厚度的一半以上,阔叶林和针叶林半分解层占总厚度的一半以上。未分解层和半分解层枯落物厚度排序为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛;枯落物总蓄积量大小排序为针叶林>混交林>阔叶林>灌丛,不同林型半分解层蓄积量均占总蓄积量一半以上。由此表明了高海拔枯落物分解速度比低海拔枯落物分解速度快。

(2) 不同林型枯落物半分解层和未分解层最大持水量、最大持水率、有效拦蓄率、有效拦蓄量和自然含水率均表现出一致的变化趋势,随海拔的增加而增加,基本表现为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛,并且不同林型未分解层最大持水量、最大持水率、有效拦蓄率、有效拦蓄量和自然含水率均高于半分解层;综合比较可知,针叶林的枯落物有效拦蓄能力最强,灌丛最弱,即高海拔拦蓄能力较强,低海拔较弱。

(3) 土壤容重随着海拔的增加而降低,依次表现为灌丛>混交林>阔叶林>针叶林;土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度随海拔的增加而降低,其中毛管孔隙度在不同林型差异均不显著($p>0.05$);土壤饱和含水量、有效调蓄空间、最大持水率、最大持水量和有效持水量随海拔的增加而增加,局部有所波动,具体表现为针叶林>阔叶林>混交林>灌丛。

(4) 土壤渗透性是表征土壤对降水和地表径流的就地入渗和吸收能力,是土壤水文调节功能和林分

涵养水源的重要指标。不同林型初渗速率与稳渗速率存在较好的幂函数关系,相关性分析结果显示土壤渗透性能与总孔隙度和非毛管孔隙度均为极显著正相关关系($p<0.01$),其中,非毛管孔隙状况对土壤渗透性的影响更为显著。

参考文献:

[1] Bruijnzeel L A. Hydrological functions of tropical forests;not seeing the soil for the trees? [J]. Agriculture, Ecosystems&Environment, 2004,104(1):185-228.

[2] Pan H L, Mahrt L. Interaction between soil hydrology and boundary-layer development [J]. Boundary-Layer Meteorology, 1987,38(1/2):185-202.

[3] Sawicz K, Wagener T, Sivapalan M, et al. Catchment classification;empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011,15(9): 2895-2911.

[4] Capell R, Tetzlaff D, Hartley A J, et al. Linking metrics of hydrological function and transit times to landscape controls in a heterogeneous mesoscale catchment [J]. Hydrological Processes, 2012,26(3):405-420.

[5] Wohl E, Barros A, Brunsell N, et al. The hydrology of the humid tropics[J]. Nature Climate Change, 2012,2(9):655-662.

[6] Edwards D P, Tobias J A, Sheil D, et al. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests[J]. Trends in ecology&evolution, 2014, 29(9): 511-520.

[7] Brantley S, Ford C R, Vose J M. Future species composition will affect forest water use after loss of eastern hemlock from southern Appalachian forests[J]. Ecological Applications, 2013,23(4):777-790.

[8] Barksdale W F, Anderson C J, Kalin L. The influence of watershed run-off on the hydrology, forest floor litter and soil carbon of headwater wetlands [J]. Ecohydrology, 2014,7(2):803-814.

(2) 运用 MK 趋势检验、MMK 趋势检验和线性倾向等方法对该县年降水量进行趋势分析,发现年降水序列存在负向自相关性,随时间总体呈递减趋势,但趋势变化并不显著,降水量多年平均下降幅度仅为 $-7.63 \text{ E}-04 \text{ mm/a}$;而对季节降水量进行趋势分析,可知季降水序列也存在负向自相关性,春夏两季随时间呈递增趋势,秋冬两季随时间呈递减趋势,但均未通过 5% 显著性水平,春夏两季降水量的多年平均增长幅度分别为 $2.11 \text{ E}-04 \text{ mm/a}$ 和 $1.57 \text{ E}-04 \text{ mm/a}$;秋冬两季降水量的多年平均下降幅度分别为 $-3.71 \text{ E}-03 \text{ mm/a}$ 和 $-3.36 \text{ E}-03 \text{ mm/a}$ 。

(3) 对比 MK 和 MMK 法对古蔺县近 50 a 来降水序列的趋势检验结果,可知序列的自相关性对趋势显著性有直接影响。由于古蔺县降水序列存在弱相关性,十分接近独立,采用 MK 趋势检验法时没有改变序列原来的趋势显著性,若序列存在较强自相关性,可能会导致序列的趋势显著性发生误判。

参考文献:

[1] 王英,曹明奎,陶波,等.全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J].地理研究,2006,25(6):1031-1040,1148.

[2] 史雯雨,李国芳,齐滨,等.怒江中上游流域降水趋势和周期变化[J].水电能源科学,2012,30(4):9-11,214.

[3] 刘政鸿.陕西省近 50 年来降水量时空变化特征分析[J].水土保持研究,2015,22(2):107-112.

[4] 邓伟,栾兆擎,罗先香.三江平原沼泽性河流径流演变的驱动力分析[J].地理学报,2002,57(5):603-610.

[5] 徐建新,陈学凯,黄鑫.渭潭县降水突变特征分析[J].华北水利水电大学学报:自然科学版,2014,35(2):6-11.

[6] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气候出版社,1999.

[7] 杨鹏鹏,黄晓荣,柴雪蕊等.南水北调西线引水区近 50 年径流变化趋势对气候变化的响应[J].长江流域资源与环境,2015,24(2):271-277.

[8] 张润润.香港地区降水趋势及其演变过程分析[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(5):505-510.

[9] 许继军,杨大文,雷志栋,等.长江流域降水量和径流量长期变化趋势检验[J].人民长江,2006,37(9):63-67.

[10] 付晓花,董增川,刘晨,等.滦河流域径流变化及其驱动力分析[J].南水北调与水利科技,2013,11(5):6-10.

[11] 金保明. Kendall 和 R/S 分析法在降水特性分析中的应用[J].水力发电,2014,40(7):26-28.

[12] 杨鹏鹏,黄晓荣,柴雪蕊,等.岷江都江堰降雨与径流变化趋势分析及预测[J].西北水电,2014(3):1-4.

(上接第 139 页)

[9] Guendehou G H S, Liski J, Tuomi M, et al. Test of validity of a dynamic soil carbon model using data from leaf litter decomposition in a West African tropical forest [J]. Geoscientific Model Development Discussions, 2013,6(2):3003-3032.

[10] Saura-Mas S, Estiarte M, Penuelas J, et al. Effects of climate change on leaf litter decomposition across post-fire plant regenerative groups[J]. Environmental and Experimental Botany, 2012,77:274-282.

[11] He X, Lin Y, Han G, et al. Litterfall interception by understorey vegetation delayed litter decomposition in Cinnamomum camphora plantation forest [J]. Plant and soil, 2013,372(1-2):207-219.

[12] 韩路,王海珍,吕瑞恒,等.塔里木河上游不同森林类型枯落物的持水特性[J].水土保持学报,2014,28(1):96-101.

[13] 卢振启,黄秋娴,杨新兵.河北雾灵山不同海拔油松人工林枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持学报,2014,28(1):112-116.

[14] 高开通,胡淑萍,刘鹏举,等.北京九龙山自然保护区典型林分枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2013,20(5):160-164.

[15] 剪文灏,李淑春,陈波,等.冀北山区三种典型森林类型枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2011,18(5):144-147.

[16] 郑江坤,王婷婷,付万全,等.川中丘陵区典型林分枯落物层蓄积量及持水特性[J].水土保持学报,2014,28(3):87-91.

[17] 刘国华,张金池,林树燕,等.4 种地被竹枯落物的水文特征及其截持降雨过程研究[J].水土保持通报,2012,32(2):105-113.

[18] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(2):97-103.

[19] 石媛,鲁绍伟,陈波,等.河北雾灵山不同密度油松人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2014,28(3):92-97.

[20] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同密度侧柏人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2013(1):224-229.

[21] 刘蔚漪,范少辉,漆良华,等.闽北不同类型毛竹林水源涵养功能研究[J].水土保持学报,2011,25(2):92-96.

[22] 张艺,史宇,余新晓,等.北京山区典型森林生态系统土壤水文特征研究[J].水土保持通报,2012,32(3):62-67.