

北京九龙山自然保护区典型林分枯落物水文效应研究

高开通, 胡淑萍, 刘鹏举, 唐小明

(中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:在北京九龙山自然保护区内选取有代表性的 4 种林分类型,测定各林分枯落物的蓄积量,采用室内浸泡法对其水文效应进行研究,旨在为该区域森林植被枯落物生态水文功能评价提供一定的参考。结果表明:(1) 4 种林分枯落物层蓄积量大小依次为:黄栌油松混交林(29.65 t/hm²)>黄栌纯林(22.78 t/hm²)>黄栌侧柏混交林(16.87 t/hm²)>侧柏纯林(12.17 t/hm²);(2) 同一浸水时间下黄栌油松混交林的枯落物持水量最大,黄栌纯林、黄栌侧柏混交林次之,侧柏纯林最小,枯落物层的持水量与浸泡时间为对数函数关系,持水量历时过程呈现出迅速吸水、缓慢吸水、逐渐饱和、饱和 4 个阶段;(3) 4 种林分枯落物层的吸水速率与浸水时间为幂函数关系,其过程可分为迅速下降、缓慢下降、趋于稳定的 3 个阶段。

关键词:水文效应; 枯落物; 持水率; 吸水速率

中图分类号: S715.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)05-0160-05

Hydrological Effects of Typical Forest Litters in Beijing Jiulongshan Nature Reserve

GAO Kai-tong, HU Shu-ping, LIU Peng-ju, TANG Xiao-ming

(Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Four types of representative forests at the Jiulongshan Nature Reserve were selected to investigate the forest stock volume and water-holding capacity of litter layers, to provide reference for forest litter's eco-hydrological function evaluation in this area. The results showed: (1) the order of the total storage capacity of four stand litters showed mixed forest of *Continus coggygria* and *Pinus tabulaeformis* (29.65 t/hm²) > *Continus coggygria* forests (22.78 t/hm²) > mixed forest of *Continus coggygria* and *Platycladus orientalis* (16.87 t/hm²) > artificial *Platycladus orientalis* forests (12.17 t/hm²); (2) under the same soaking time, mixed forest of *Continus coggygria* and *Pinus tabulaeformis*' water holdings capacity of litters is the largest, followed by *Continus coggygria* forests, mixed forest of *Continus coggygria* and *Platycladus orientalis*, artificial *Platycladus orientalis* forests, the relationship between water holding capacity and soaking time is described by the equation of $Q = a \ln(t) + b$, the lasting process of water holding capacity showed four stages as rapid water absorption, slow absorption, gradual saturation, saturated; (3) the relationship between absorption rate and immersion time can be described by the equation of $V = kt^n$, the process can be divided into rapid decline, slow decline, tends to be stable three stages.

Key words: hydrological effect; forest litters; proportion of water holding capacity; water absorption rate

森林的枯落物层是由林木及林下植被凋落下来的茎、叶、枝条、花、果实、树皮和枯死的植物残体所形成的一层地面覆盖层^[1]。在森林垂直结构中枯落物层占有重要地位,是森林地表的一个重要覆盖面^[2]。枯落物层作为森林水文生态系统的重要功能层,在截

留降水、阻延径流、减少土壤水分蒸发和土壤流失等多方面均具有重要作用,在森林的生态水文过程中发挥着不可替代的作用^[3-5]。研究枯落物层水文效应对探讨森林生态系统的水文循环和水量平衡具有重要意义。

北京九龙山自然保护区是华北石质山区的代表性地理单元和温带地区区域实验中心,是北京地区生态系统的重要组成部分。该区目前的研究多集中于林木的经营管理、植物群落物种多样性、森林土壤物理特性等方面^[6-7],而对林分枯落物水文效应的研究相对较少。本文对北京九龙山自然保护区4种典型林分枯落物层的厚度、储量、持水特性及作用机理等进行定量分析,旨在为该区森林植被枯落物生态水文功能评价提供一定的参考^[8-9]。

1 研究区概况

北京九龙山自然保护区位于北京市西郊,门头沟区东部。地理坐标为东经 115°59′—116°06′,北纬 39°54′—39°57′;保护区南北宽约 6 km,东西长约 10 km,总面积 1 333.4 hm²;海拔高度 150~350 m,最高峰为九龙山主峰,海拔 850 m。气候属暖温带半湿润季风气候,四季分明,年均温 11℃,≥10℃有效积温 3 385~4 210℃,无霜期 140 d 左右。年降水量 600 mm,汛期(6—9月)降水量约占全年的 85%。土壤多为淋溶褐土和棕壤,土层厚度为 60~90 cm,通

气透水性较好。植被多由人工林组成,主要乔木树种有黄栌(*Cotinus coggygria*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)和侧柏(*Platycladus orientalis*);灌木树种有荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz)、雀儿舌头(*Leptopus chinensis*)、孩儿拳头(*Grewia biloba* var. *parviflora*)等;草本植物主要有东亚唐松草(*Thalictrum minus* var. *hypoleucum*)、披针叶苔草(*Carex lanceolata*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、蝎子草(*Sedum spectabile* Boreau)、绒毛绣线菊(*Spiraea dasyantha*)等。

2 研究方法

2.1 标准地设置

根据林分特点,选取研究区内具有代表性的4种林分类型,在典型地段设置面积为 20 m×20 m 的标准样地,并对样地进行详细调查,测定样地的坡度、坡向、海拔等生境因子,并对样地内的乔木进行每木检尺,测定标准地内每一样木的胸高直径,按径阶分组登记,再根据每木调查计算平均胸径与树高(表 1)。

表 1 不同林分标准地概况

林分类型	坡度/ (°)	坡向	海拔/ m	乔木		密度/ (株·hm ²)	主要灌木	主要草本
				胸径/cm	树高/m			
黄栌纯林	17.8	ES20°	142	8.1	4.8	1168	荆条、胡枝子	求米草、绒毛绣线菊
黄栌油松混交林	21.5	ES75°	160	10.2	6.1	986	荆条、雀儿舌头	东亚唐松草、求米草
黄栌侧柏混交林	19.4	EN36°	189	12.5	6.7	847	荆条、孩儿拳头	披针叶苔草、蝎子草
侧柏纯林	22.6	WN27°	182	8.9	6.7	1003	荆条、胡枝子	求米草、蝎子草

2.2 枯落物蓄积量测定

将每块标准地沿中线分成 4 块 10 m×10 m 小区,沿坡面由左下点按逆时针方向分别标记为 A, B, C, D 区,每小区内分上坡、中坡、下坡,均匀布置面积为 50 cm×50 cm 的样方 3 个。根据分解状况,林分枯落物通常可分 3 层:未分解层,由新鲜的枝、叶、皮、果等凋落至地面组成,颜色变化小,无明显分解痕迹;半分解层,颜色变化大,物理外形不完整,但仍能分辨出原型;已分解层,颜色已至黑色,基本分解至不能辨识原型。本次研究中每个样方内按未分解层、半分解层分层测定枯落物层厚度,并分别收集取样称其鲜重。

2.3 枯落物含水量、持水能力和吸水速率等的测定

采用室内浸泡法测定枯落物持水量及其吸水速度,将每块样地 4 个(A, B, C, D)小区的枯落物样本放置于实验室烘箱烘至恒重,称其重量作为枯落物干重,计算出 4 种林分枯落物层的自然含水率。将烘干的枯落物样品按不同林分及各层比例取总量 50 g 装

入细网袋置入盛有清水的容器中,水面略高于细网袋上沿,每种林分做两个重复。测定样品在浸泡 5 min, 15 min, 30 min, 45 min, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 6 h, 7 h, 8 h, 9 h, 10 h, 12 h, 14 h, 16 h, 18 h, 20 h, 22 h 和 24 h 后的重量变化,研究其吸水速度和吸水过程。每次取出称重后所得的枯落物湿重与其烘干重差值为枯落物浸水不同时间的持水量,该值与浸水时间的比值即为枯落物的吸水速率^[4]。每次取出称重后所得的枯落物湿重与上一时刻枯落物湿重的差值为该时间段内的吸水量,该值与间隔时间的比值即为枯落物该时段的吸水速率。计算枯落物的自然含水率、最大持水率、最大持水量和有效持水量。

相关计算公式为:

$$R_0 = (G_0 - G_d) / G_d \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{\max} = (G_{24} - G_d) / G_d \times 100\% \quad (2)$$

$$R_{sv} = 0.85R_{\max} - R_0 \quad (3)$$

$$W_{\max} = R_{\max} \times M / 10 \quad (4)$$

$$W_{sv} = R_{sv} \times M / 10 \quad (5)$$

式中: G_0, G_d, G_{24} ——枯落物自然重、烘干重和浸水24 h的重量; R_0, R_{max}, R_{sv} ——枯落物自然含水率、最大持水率、有效持水率; M, W_{max}, W_{sv} ——枯落物层储量、最大持水量和有效持水量。

2.4 枯落物有效拦蓄量的测定

最大持水率是枯落物样品浸泡24 h后测量的,只反映枯落物层的持水能力大小,不能反映其对实际降水的拦蓄作用。实际上,山地林内坡面一般不会出现较长时间的浸水条件,落到枯落物表面的雨水,一部分被枯落物拦蓄,一部分渗入土壤。研究表明,降雨量达到20~30 mm以后,各种林型不论枯落物层含水量高或低,持水率约为最大持水率的85%左右^[10]。所以一般用有效拦蓄量来估算枯落物对降雨的实际拦蓄作用。

有效拦蓄量的计算公式为:

$$W = (0.85R_{max} - R_0)M \quad (6)$$

式中: W ——有效拦蓄量(t/hm^2); R_{max} ——最大持水率(%); R_0 ——自然含水率(%); M ——枯落物储量(t/hm^2)。

3 结果与分析

3.1 不用林分枯落物蓄积量变化

枯落物蓄积量主要取决于枯落物的输入量和分解程度。林分的树种组成、林分的生长状况和林地内的水热条件等因素都会影响到枯落物的输入量、分解速度,从而影响到林内枯落物的蓄积量^[11]。研究区内4种林分枯落物厚度与蓄积量变化较大(表2),其中黄栌油松混交林枯落物总厚度31 mm,总蓄积量29.65 t/hm^2 ,均为最大;侧柏纯林枯落物总厚度11

mm,总蓄积量12.17 t/hm^2 ,均为最小。

在枯落物厚度方面,4种林分的枯落物厚度大小表现为:黄栌油松混交林(31 mm) > 黄栌纯林(21 mm) > 黄栌侧柏混交林(15 mm) > 侧柏纯林(11 mm);未分解层枯落物厚度表现为:黄栌油松混交林(17 mm) > 黄栌纯林(10 mm) > 侧柏纯林(7 mm) > 黄栌侧柏混交林(5 mm);半分解层枯落物厚度表现为:黄栌油松混交林(14 mm) > 黄栌纯林(11 mm) > 黄栌侧柏混交林(10 mm) > 侧柏纯林(4 mm)。不同林分类型的枯落物厚度与其林分生长与枯落物分解情况密切相关。在本研究区中黄栌油松混交林位于阳坡,生长状况较好,产生的枯落物较多,油松树种的枯落物主要由凋落的树枝、松果和松针组成,这些物质质地十分坚硬、不易分解^[12],同时黄栌为落叶阔叶树种,每年秋季树叶枯落产生大量的枯落物,因此在这4种林分中,黄栌油松混交林的枯落物厚度最大;相比之下,虽然黄栌纯林密度大于黄栌油松混交林,但是由于黄栌产生的枯落物分解速度较快,积累较少,其枯落物厚度小于黄栌油松混交林,本研究中黄栌纯林半分解层所占枯落物总量的比例最大,而侧柏林的枝叶不易凋落,故其枯落物厚度最小。4种林分的枯落物蓄积量大小为:黄栌油松混交林(29.65 t/hm^2) > 黄栌纯林(22.78 t/hm^2) > 黄栌侧柏混交林(16.87 t/hm^2) > 侧柏纯林(12.17 t/hm^2)。而就枯落物的未分解层和半分解层的比较可以看出,4种林分的半分解层蓄积量所占比例较高,均在65%以上,其中黄栌纯林最大,黄栌油松和黄栌侧柏两种针阔混交林次之,侧柏纯林最低,这主要是由于阔叶树相比针叶树更易于分解。

表2 不同林分枯落物厚度和蓄积量

林分类型	枯落物厚度/mm			总蓄积量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	枯落物蓄积量			
	总厚度	未分解层	半分解层		未分解层		半分解层	
					蓄积量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	百分比/%	蓄积量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	百分比/%
黄栌纯林	21	10	11	22.78	4.81	21.12	17.97	78.88
黄栌油松混交林	31	17	14	29.65	8.10	27.33	21.55	72.67
黄栌侧柏混交林	15	5	10	16.87	5.24	31.06	11.63	68.94
侧柏纯林	11	7	4	12.17	4.04	33.22	8.13	66.78

3.2 枯落物水文效应

3.2.1 枯落物最大持水量与有效拦蓄量 4种林分的枯落物最大持水量如表3所示。黄栌油松混交林的枯落物最大持水量最大,为61.47 t/hm^2 ,侧柏纯林枯落物的最大持水量最小,仅为19.98 t/hm^2 ,枯落物最大持水率的变动范围在180.89%~207.31%之间。枯落物最大持水量是由其最大持水率和蓄积量决定的,反映了林分的持水能力,是其蓄积量、分解状

况、本身厚度等共同作用的结果^[13-14]。4种林分的枯落物最大持水量的大小与枯落物最大持水率大小规律一致,均为:黄栌油松混交林 > 黄栌纯林 > 黄栌侧柏混交林 > 侧柏纯林。这主要是由于黄栌油松混交林的枯落物蓄积量最大,另外油松枯落物中含有大量松针,蓬松柔软,常形成海绵状的吸水层^[9],因此黄栌油松混交林枯落物的最大持水量最高;而侧柏纯林枯落物的蓄积量最低,且其质地较硬、表面光滑,水分不

容易吸附,因此其最大持水量最低。最大持水率与自然含水率的大小决定其拦蓄能力。有效拦蓄率大小排序为:黄栌油松混交林(155.18%)>黄栌纯林(150.27%)>黄栌侧柏混交林(147.25%)>侧柏纯

林(142.62%)。本研究中有效拦蓄量与有效拦蓄率的大小规律一致,有效拦蓄量的大小与有效拦蓄率和枯落物储量有关,由于枯落物储量的差别,有效拦蓄量的大小并不一定与有效拦蓄率的规律一致。

表 3 不同样地枯落物最大持水量与有效拦蓄量

林分类型	自然含水率/ %	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)	相当于水深/ mm
黄栌纯林	18.13	45.13	198.12	150.27	34.23	3.42
黄栌油松混交林	21.03	61.47	207.31	155.18	46.01	4.60
黄栌侧柏混交林	16.15	43.72	192.24	147.25	24.84	2.48
侧柏纯林	11.14	22.01	180.89	142.62	17.36	1.74

3.2.2 枯落物持水过程 4 种林分类型枯落物持水量与浸水时间的关系如表 4 所示,相同时段内枯落物持水量大小为:黄栌油松混交林>黄栌纯林>黄栌侧柏混交林>侧柏纯林。

枯落物吸水过程可分为 4 个阶段:第 1 阶段(0~30 min)为迅速吸水阶段,枯落物持水量迅速上升;第 2 阶段(30 min~3 h)为缓慢吸水阶段,随着枯落物含水量增加,其持水量的增加开始缓慢;第 3 阶段(3 h~20 h)为逐渐饱和阶段,随着枯落物吸水过程的进

行,吸水速率逐渐趋向于零,此时枯落物本身吸收的水量已接近饱和,吸收的主要是在枯落物孔隙中的自由重力水;第 4 阶段(20~24 h)为饱和阶段,枯落物持水量在某一值上下浮动,达到最大持水量。对 4 种林分枯落物持水量 Q(g/kg)与浸水时间 t(h)的关系进行回归分析,可以看出枯落物持水量与浸水时间存在如下的函数关系,回归方程结果见表 5。

$$Q = a \ln(t) + b$$

式中:a——方程系数;b——方程常数项。

表 4 不同林分枯落物持水量

林分类型	g/kg										
	5 min	15 min	30 min	45 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	
黄栌纯林	1036.40	1248.02	1512.29	1653.10	1737.60	1784.88	1826.05	1858.61	1878.99	1905.14	
黄栌油松林	1122.89	1381.94	1541.72	1666.50	1773.22	1835.52	1883.92	1925.82	1958.32	1987.50	
黄栌侧柏林	755.21	1054.73	1277.01	1463.27	1603.48	1673.08	1716.17	1751.76	1782.04	1804.26	
侧柏纯林	660.61	905.97	1117.86	1310.34	1414.23	1489.39	1551.65	1585.07	1621.80	1643.55	
	7 h	8 h	9 h	10 h	12 h	14 h	16 h	18 h	20 h	22 h	24 h
	1927.03	1941.47	1946.89	1953.82	1960.46	1970.07	1975.13	1982.06	1983.17	1984.22	1984.39
	2013.05	2038.32	2039.78	2041.06	2057.39	2073.64	2084.98	2098.06	2098.82	2107.77	2107.90
	1824.77	1843.51	1858.44	1871.11	1882.15	1894.98	1902.72	1908.89	1912.46	1914.33	1914.92
	1669.46	1693.50	1713.33	1732.46	1748.77	1763.06	1774.09	1783.48	1790.72	1795.20	1796.86

表 5 4 种林分枯落物持水量与浸水时间关系拟合

林分类型	拟合方程	R ²
黄栌纯林	Q=163.74ln(t)+990.34	0.9562
黄栌油松混交林	Q=153.62ln(t)+961.26	0.9035
黄栌侧柏混交林	Q=188.98ln(t)+649.23	0.9191
侧柏纯林	Q=191.95ln(t)+487.63	0.9518

3.2.3 枯落物吸水速率 从 4 种林分枯落物吸水速率与浸水时间的关系中(表 6)可以看出,4 种林分具有一致的变化趋势,吸水速率随浸水时间的增加而减小。总体过程分为 3 个阶段:第 1 阶段(0~30 min)为迅速下降阶段,最初阶段烘干枯落物置于水中迅速吸水,吸水速率最大,随着浸水时间的增加而迅速下降;第 2 阶段(30 min~3 h)为缓慢下降阶段,随着枯落物自身含水量不断增加,枯落物吸水速率仍下降,

但已表现出缓慢下降;第 3 阶段(3~24 h)趋于稳定阶段,枯落物吸水逐渐趋于饱和状态,吸水速率开始稳定。

枯落物吸水速率的变化与其表面的水势差密切相关^[15]。在最初阶段,烘干枯落物直接浸入水中,其表面水势差最大,因此会迅速吸水,其吸水速率最高;随着浸水时间的增加,枯落物已经吸收一部分水分,其表面与周围的水势差逐渐减小^[12],表现出枯落物吸水速率减小的趋势直至平衡。对 4 种林分类型枯落物吸水速率 V[g/(kg·h)]与浸水时间 t(h)的关系进行回归分析,结果如表 7 所示,由此可见,枯落物吸水速率与浸水时间存在如下的函数关系:

$$V = kt^n$$

式中:k——方程系数;n——指数。

表6 不同林分枯落物吸水速率

g/(kg·h)

林分类型	5 min	15 min	30 min	45 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	
黄栌纯林	12436.76	4992.08	3024.57	2204.13	1737.60	892.44	608.68	464.65	375.80	317.52	
黄栌油松林	13474.63	5527.76	3083.44	2222.00	1773.22	917.76	627.97	481.46	391.66	331.25	
黄栌侧柏林	9062.52	4218.92	2554.02	1951.03	1603.48	836.54	572.06	437.94	356.41	300.71	
侧柏纯林	7927.29	3623.88	2235.71	1747.12	1414.23	744.70	517.22	396.27	324.36	273.93	
	7 h	8 h	9 h	10 h	12 h	14 h	16 h	18 h	20 h	22 h	24 h
	275.29	242.68	216.32	195.38	163.37	140.72	123.45	110.11	99.16	90.19	82.68
	287.58	254.79	226.64	204.11	171.45	148.12	130.31	116.56	104.94	95.81	87.83
	260.68	230.44	206.49	187.11	156.85	135.36	118.92	106.05	95.62	87.01	79.79
	238.49	211.69	190.37	173.25	145.73	125.93	110.88	99.08	89.54	81.60	74.87

表7 四种林分枯落物持水速率与浸水时间关系拟合

林分类型	拟合关系	R ²
黄栌纯林	$V=1553.5t^{-0.902}$	0.998
黄栌油松混交林	$V=1628.3t^{-0.902}$	0.999
黄栌侧柏混交林	$V=1360.8t^{-0.863}$	0.996
侧柏纯林	$V=1211.2t^{-0.847}$	0.996

4 结论与讨论

(1) 对研究区4种不同林分的枯落物调查显示:枯落物蓄积量变化范围为10~30 t/hm²,枯落物层的厚度和蓄积量存在简单的正相关关系,4种林分枯落物层的厚度和蓄积量均表现出:黄栌油松混交林>黄栌纯林>黄栌侧柏混交林>侧柏纯林。不同林分类型,由于立地气候、林分因子、生物活动等原因,其枯落物厚度和储量有很大差别,樊登星等^[16]在北京西山地区,杨吉华等^[17]在泰山地区,韩同吉等^[18]在济宁石质山区的研究中认为枯落物的储量为阔叶林>针叶林。本研究中,黄栌油松混交林的枯落物厚度和蓄积量均要大于黄栌纯林,这主要是由于油松产生的枯落物主要为枯枝、松果和松针,这些物质均为质地坚硬、角质层厚且难以贴紧地面,其分解速率较低,虽为常绿针叶林,长时间下来,还是有了较大的蓄积量。

(2) 4种林分枯落物层的持水能力不尽相同,同一浸水时间下的持水量为黄栌油松混交林>黄栌纯林>黄栌侧柏混交林>侧柏纯林;枯落物层的持水量与浸泡时间为对数函数关系 $[Q=a\ln(t)+b]$ 。持水量历时过程呈现出迅速吸水、缓慢吸水、逐渐饱和、饱和的4个阶段。

(3) 4种林分枯落物层的吸水速率与浸水时间为幂函数关系 $(V=kt^n)$;吸水速率随浸水时间的变化呈现迅速下降、缓慢下降、趋于稳定的3个阶段。由枯落物层吸水速率随浸水时间变化的研究可以看出,枯落物层在浸水最初时期吸水速率最大,随浸水时间延长而下降直至饱和。可见,枯落物层发挥截留和拦蓄降水主要发生在降水的初期^[19-20]。同时本文还尝试

对各时段的枯落物吸水速率进行了研究,发现各时段吸水速率的变化与吸水速率的大小并不一致,在0.5 h时吸水速率:黄栌油松混交林>黄栌纯林>黄栌侧柏混交林>侧柏纯林,但是0.25~0.5 h阶段各林分的枯落物吸水速率大小表现为:黄栌纯林>黄栌侧柏混交林>侧柏纯林>黄栌油松混交林,2 h后不同枯落物各时段吸水速率的变化未呈现出明显规律,这可能是由吸水后枯落物的结构变化与测量误差引起的。

参考文献:

- [1] 董治宝,李振山. 凤城沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响[J]. 水土保持学报,1998,12(4):1-5.
- [2] 余新晓,张志强,陈丽华,等. 森林生态水文[M]. 北京:中国林业出版社,2004:33-34.
- [3] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [4] 张振明,余新晓,牛健植,等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报,2005,19(3):139-143.
- [5] Tamai K, Abe T, Araki M, et al. Radiation budget, soil heat flux and latent heat flux at the forest floor in warm, temperate mixed forest [J]. Hydrological Processes,1998,12(13/14):2105-2114.
- [6] 李清河,杨立文,周金星. 北京九龙山植物群落物种多样性特征对比分析[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1065-1068.
- [7] 王周绪,于宁楼. 北京九龙山人工林和天然次生林的土壤物理性状[J]. 林业资源管理,2007,8(4):88-92.
- [8] 王龙,宋维峰,杨寿荣,等. 广西龙脊梯田区森林枯落物水文效应研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):84-88.
- [9] 李红云,杨吉化,鲍玉海,等. 森林不同水文层次蓄水功能的研究[J]. 水土保持研究,2005,12(5):175-177.
- [10] 刘尚华,冯朝阳,吕世海,等. 京西百花山区6种植物群落凋落物持水特性研究[J]. 水土保持学报,2007,21(6):179-182.
- [11] 胡淑萍,余新晓,岳永杰. 北京百花山森林枯落物和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):146-150.

验证。从图 10 可以看出,区划图中的高风险区和次高风险区平均覆盖了历史山洪灾害的 72% 的范围,初步的验证能在一定程度上说明海南岛山洪灾害风险区划的合理性,对指导未来的山洪防灾减灾工作具有一定的意义。

5 结论

在海南岛暴雨风险普查资料收集的基础上,针对海南地形特点,以山丘为主要范围,根据 DEM 数据提取海南岛山洪区划范围,并划分为 140 个小流域单元;在 140 个小流域为单元的基础上,分别得到海南岛山洪灾害危险性数据和经济易损性数据,通过联合国人道主义事务部(UNDHA)提出的其风险表达式:风险=危险性×易损性,在 ArcGIS 中实现了海南岛山洪灾害的风险区划图,并通过历史山洪数据对其进行检验。

本文存在不足:计算危险性的权重和评价指标的选择,存在一定的主观性,需要进一步的完善;由于实际山洪收集资料的限制,进行结果检验时,可能存在一定的偏差。

致谢:本项目同时得到中国气象局《2012 年全国暴雨洪涝灾害风险普查》项目的资助,同时感谢海南省三防、海南省国土资源厅在资料收集方面给予的大力支持,在此表示谢意。

参考文献:

- [1] 张平仓,任洪玉,胡维忠,等.中国山洪灾害防治区划初探[J].水土保持学报,2006,20(6):196-200.
- [2] 朱静.城市山洪灾害风险评价:以云南省文山县城为例[J].地理研究,2010,29(4):655-654.
- [3] 唐川,师玉娥.城市山洪灾害多目标评估方法探讨[J].
- [12] 贺宇,丁国栋,臧荫桐,等.燕山山地典型森林枯落物持水特性[J].四川农业大学学报,2012,30(2):161-166.
- [13] 韩春华,赵雨森,辛颖,等.阿什河上游小流域主要林分枯落物层的持水特性[J].林业科学研究,2012,25(2):212-217.
- [14] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴地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.
- [15] 赵陟峰,郭建斌,赵廷宁,等.土桥沟流域不同林分枯落物的水文特性[J].西北林学院学报,2008,23(6):14-17.
- [16] 樊登星,余新晓,岳永杰,等.北京西山不同林分枯落物

地理科学进展,2006,25(4):13-21.

- [4] 刘兰芳,邓美容,廖梦思.湖南省山洪灾害综合风险分析及安全减灾研究:以 2006 年衡阳市山洪灾害为例[J].中国安全科学学报,2009,19(10):5-10.
- [5] 唐余学,廖向花,李晶,等.基于 GIS 的重庆市山洪灾害区划[J].气象科技,2011,39(4):423-428.
- [6] 王兴菊,卢岳,郝玉伟.基于 GIS 指数模型的山洪灾害防治区划方法研究[J].水电能源科学,2011,29(9):54-57.
- [7] 管珉,陈兴旺.江西省山洪灾害风险区划初步研究[J].暴雨灾害,2007,26(4):339-343.
- [8] 唐川,朱静.基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J].地理学报,2005,60(1):87-94.
- [9] 詹小国,祝国瑞,文余源.综合评价山洪灾害风险的 GIS 方法[J].长江科学院院报,2003,20(6):48-50.
- [10] 任洪玉,张平仓,黄钰玲,等.中国山洪灾害的区域差异性研究:以湖南和陕西为例[J].中国农学通报,2006,22(8):569-573.
- [11] 张平仓,任洪玉,胡维忠,等.中国山洪灾害防治区划初探[J].水土保持学报,2006,20(6):196-200.
- [12] 程卫帅,陈进.山洪灾害风险度评价技术综述[J].人民长江,2004,35(12):5-7.
- [13] 苏桂武,高庆华.自然灾害风险的分析要素[J].地学前缘,2003,10(特刊):272-2791.
- [14] 周成虎,万庆,黄诗峰,等.基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J].地理学报,2000,55(1):15-22.
- [15] 陈华丽,陈刚,丁国平.基于 GIS 的区域洪水灾害风险评价[J].人民长江,2003,34(6):49-51.
- [16] 国家气候中心台风灾害风险评估与区划技术组.2010 年台风风险区划技术规范[R].北京:内部参考资料,2010.
- [17] 石怡,许有鹏,蔡娟.城市化对秦淮河中下游洪涝灾害风险的影响分析[J].水土保持研究,2011,18(5):26-31.
- [18] 丁军,朱静,王磊,等.5·12 汶川地震灾区茂县地质灾害危险性评价[J].水土保持研究,2010,17(5):12-16.
- 层持水特性研究[J].北京林业大学学报,2008,30(2):177-181.
- [17] 杨吉华,张永涛,李红云,等.不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性状的影响[J].水土保持学报,2003,17(2):141-144.
- [18] 韩同吉,裴胜民,张光灿,等.北方石质山区典型林分枯落物层涵蓄水分特征[J].山东农业大学学报:自然科学版,2005,36(2):275-278.
- [19] 王云琦,王玉杰,张洪江,等.重庆缙云山集中典型植被枯落物水文特性研究[J].水土保持学报,2004,18(3):41-44.
- [20] 刘硕.青海省大通县主要造林树种枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2008,15(6):105-107.

(上接第 164 页)