

云南丽江拉市海汇水区不同森林 枯落物的持水性能

赵一鹤¹, 赖建东², 杨宇明^{1*}, 杨时宇³, 田 昆¹, 官 微², 王智慧²

(1. 云南省林业科学院, 云南 昆明 650201; 2. 西南林业大学环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224;
3. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要:对云南丽江拉市海汇水区面上 6 种不同森林群落的枯落物储量和持水性能进行了测定, 结果表明: 不同森林群落的枯落物储量和持水性差别较大, 其枯落物储量从最大的黄背栎林 ($22.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 到最小的云南松林 ($6.54 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 均是半分解与分解层的储量大于未分解层的储量; 6 种森林枯落物的最大持水量, 除滇杨林外均是半分解与分解层的大于未分解层的, 其最大总持水量排序为黄背栎林 ($60.77 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 丽江云杉林 ($36.42 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 ($33.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 川滇高山栎林 ($29.23 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 滇杨林 ($18.82 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 云南松林 ($13.72 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。各层枯落物的吸水速率均随浸水时间的延长而逐渐降低, 在 2~4 h 后明显减缓, 最终趋于零; 且半分解与分解层的吸水速率均大于未分解层。6 种森林枯落物的拦蓄水量也表现出半分解与分解层大于未分解层的规律, 从大到小依次为黄背栎林 ($66.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 丽江云杉林 ($41.24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 ($36.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 川滇高山栎林 ($32.99 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 滇杨林 ($21.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 云南松林 ($16.59 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 降雨拦蓄量深分别为 6.70、4.12、3.68、3.30、2.12、1.66 mm。

关键词:拉市海; 植物群落; 枯落物; 持水性能
中图分类号: S715 文献标识码: A

Study of Litter Layers' Water Retention Capacity under Different Forest Communities in the Lashi Lake Catchment, Lijiang City, Yunnan Province, China

ZHAO Yi-he¹, LAI Jian-dong², YANG Yu-ming¹, YANG Shi-yu³, TIAN Kun², GUAN Wei¹, WANG Zhi-hui¹

(1. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650201, Yunnan, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 3. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: The volumes and water retention capacity of the litter layers under six forest communities in the Lashi Lake Catchment, Li Jiang City, Yunnan Province were measured. The result showed that *Quercus pannosa* forest had the highest litter volume ($22.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$); and the *Pinus yunnanensis* forest had the lowest ($6.54 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$). For all the six forest types, the litter volumes of decomposed and semi-decomposed layers were generally higher than that of the un-decomposed layer. The same was true for water retention capacity except the *Populus yunnanensis* forest, which was in descending order the *Quercus pannosa* forest, the *Picea likiangensis* forest, the *Pinus yunnanensis* + *Quercus pannosa* + rhododendron mixed forest, the *Quercus aquifolioides* forest, the *Populus yunnanensis* forest and

收稿日期: 2013-07-23

基金项目: 国家自然科学基金委员会-云南联合基金重点项目“滇西北高原湿地湖滨带演变规律及其驱动机制研究”(U0933601); 云南省科技厅社会发展专项“森林植被演变特征及生态功能稳定性研究与应用示范”(2010CA010)

作者简介: 赵一鹤(1970—), 男(白族), 云南大理人, 副研究员, 博士, 从事森林生态学研究. E-mail: kjzc123@163.com

* 通讯作者: E-mail: yymbamb@163.com

the *Pinus yunnanensis* forest. The water absorption rates of litter would gradually decrease over waterlogging time. And the processes would significantly slowdown after 2–4 hours and eventually reach saturation. The water absorption rates and water storage capacity of the decomposed and semi-decomposed layers were also larger than that of the un-decomposed layer. The water storage capacities of litter layer of the six forests were in the order from high to low: the *Quercus pannosa* forest, the *Picea likiangensis* forest, the *Pinus yunnanensis* + *Quercus pannosa* + rhododendron mixed forest, the *Quercus aquifolioides* forest, the *Populus yunnanensis* forest and the *Pinus yunnanensis* forest. And their depths of rainfall storage were respectively 6.70, 4.12, 3.68, 3.30, 2.12 and 1.66 mm.

Key words: Lashi Lake; plant communities; litter; water retention capacity

高原断陷湖泊湿地是由面山-湖岸-湖滨-湖盆组成的封闭半封闭的复合生态系统,与外界没有水系相连,湖盆的水体主要依靠自然降水和汇水区坡面汇水^[1],而森林的枯落物层会通过降水截蓄、增加入渗、调节地表径流等过程发挥水源涵养作用^[2-5],从而间接影响整个湿地生态系统的结构和功能。因此,面山植被群落对维系高山环绕下的高原断陷湖泊生态系统稳定与生态安全至关重要。

拉市海是在山地断层中陷落形成的闭合高原湖泊湿地,是地处金沙江中上游流域独特类型的湿地^[6-7],对丽江古城的用水供给、调节区域气候和保护候鸟栖息地有着重要作用。由于近年来拉市海周边人口的迅速增长,人类对拉市海及其周边森林的需求也迅速增长,过度放牧、薪炭林砍伐、开展茶马古道生态旅游以及收集地表枯落物作为垫圈材料等行为,使面山植被生态系统遭到严重破坏,导致了严重的水土流失和水质恶化;同时,拉市海作为丽江古城水源供给地受到格外关注,保障拉市海充足水量和优质水环境已成为焦点问题;然而,前人的研究大多集中于了解和认识拉市海湿地的生物多样性保护功能方面^[8-10],关于面山对拉市海湿地影响方面的报道甚少。拉市海汇水面山哪些植被能够较好的储蓄降水,调节地表径流,减少水土流失,维护湿地生态功能尚不清楚?本文对拉市海面山现存的6种典型森林群落下枯落物持水特性进行分析研究,探索拉市海汇水面山不同森林群落枯落物的水源涵养功能,为拉市海国际重要湿地保护及其面山植被恢复提供参考。

1 研究区概况

拉市海湿地位于丽江盆地西侧的拉市盆地内(26°48'~26°55'N,100°05'~100°10'E),海拔2437~2500 m;其四面环山,形状呈棱形,南北长约12 km,东西宽约6 km,盆地面积58 km²,盆地中心为内陆

湖泊—拉市海,湖面海拔2436 m^[11]。

该区域属山地暖温带,年平均气温11.8℃,≥10℃积温3470℃,霜期160 d,年降水量900~1200 mm,年平均湿度63%,全年日照时数2500~2750 h,日照率60%。年平均风速3.3 m·s⁻¹,以干季的西风为主。区域内植被主要有5个植被型(寒温山地硬叶常绿栎林、落叶阔叶林、暖性针叶林、温性针叶林和灌丛)及9个植被群落:黄背栎(*Quercus pannosa* Hand. - Mazz.)林、川滇高山栎(*Q. aquifolioides* Rehd. et Wils.)林、白穗石栎(*Lithocarpus leucostachyus* A. Camus)林、西南桤木(*Alnus nepalensis* D. Don)林、云南松(*Pinus yunnanensis* Franch)林、华山松林(*P. armandi* Franch.)、丽江云杉(*Picea likiangensis*(Franch) Pritz)林、灰背杜鹃(*Rhododendron hippophaeoides* Balf. F. et W. W.)林、丽江麻黄(*Ephedra likiangensis* Florin) + 矮黄栌(*Cotinus nana* W. W. Smith)灌丛。

2 材料与方法

2.1 样地选择与样品采集

在拉市海面山选取6种典型森林植物群落为研究对象,分别为云南松林、丽江云杉林、云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林、黄背栎林、滇杨林和川滇高山栎林,在每一植物群落中选择具有典型代表性的地段设立样地(表1),样地大小为25 m × 20 m。在每个样地中随机设3个50 cm × 50 m的小样方,用细线拉成封闭的正方形收集区。用砍刀、枝剪等工具仔细除去全部植物活体的地上部分,用剪刀等工具依细线垂直所示界线将枯落物剪开,并将小样方内的枯落物分为未分解层、半分解与分解层进行收集,带回实验室。由于研究区海拔高,气候寒冷,枯落物分解缓慢,半分解层和分解层之间无明显界线,故将两层合并为一层采集。

表1 样地基本概况

植物群落	海拔/m	坡度/(°)	优势物种	郁闭度/%
云南松林	2 713	2.0	云南松	45
丽江云杉林	2 803	5.0	丽江云杉、华山松	55
云南松 + 黄背栎 + 杜鹃林	2 791	8.0	云南松、黄背栎、大白花杜鹃	70
黄背栎林	2 877	18.0	黄背栎	50
滇杨林	2 471	6.5	滇杨、山杨	90
川滇高山栎林	2 587	7.6	川滇高山栎、多穗石栎、水红木	75

注: 大白花杜鹃 (*Rhododendron decorum* Franch); 滇杨 (*Populus yunnanensis* Dode); 山杨 (*Populus davidiana* Dode); 多穗石栎 (*Lithocarpus polystachyus* (Wall.) Rehd.); 水红木 (*Viburnum cylindricum* Buch. Ham. ex D. Don)。

2.2 试验方法

2.2.1 枯落物储量的测定 在 50 cm × 50 cm 的小样方内调查枯落物层厚度及蓄积量, 以同比放大倍数的方法计算单位面积枯落物的储量。

2.2.2 枯落物持水量和吸水速率的测定 用室内浸水法^[12]测定枯落物的持水性能。首先, 将所采集的枯落物在 85 °C 下烘干 2 h 并称质量, 然后称取烘干的枯落物 200 g, 原状放入预先做好的孔径 0.2 mm 的细孔纱网袋 (纱网袋预先称质量, 并标记), 将装有枯落物的纱网袋完全浸没于盛有清水的容器中, 待浸泡 6 min 后将枯落物连同纱网袋一并取出, 静置到网袋不连续滴水, 迅速称湿质量并记录; 依次浸泡 0.5、1、2、4、6、10、12、24 h 后称枯落物湿质量。

不同浸泡时间的枯落物持水量 = 浸泡后枯落物湿质量 - 浸水前总干质量 (枯落物和砂布袋)

吸水速率 = (浸泡后枯落物湿质量 - 浸水前总干质量 (枯落物和砂布袋)) / 浸水时间

本文以枯落物浸泡 24 h 后的持水量作为最大持水量, 将枯落物最大持水量时的湿质量与测定样品质量的比值百分数称为枯落物最大持水率, 以此

来表征枯落物持水力的大小^[13]。

2.2.3 枯落物有效拦蓄量测定 用有效拦蓄量^[14]来估算枯落物对降水的实际拦蓄量, 即:

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

式中: W 为有效拦蓄量 ($t \cdot \text{hm}^{-2}$); R_m 为最大持水率 (%); R_0 为自然含水率 (%); M 为枯落物储量 ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)。

2.2.4 有效拦蓄深的测定^[3] 计算公式为:

$$T = W/10$$

式中: T 为有效拦蓄深 (mm); W 为有效拦蓄量 ($t \cdot \text{hm}^{-2}$); 10 为换算系数。

2.3 数据统计

应用 Microsoft Excel 2003 软件进行试验数据的录入和处理。

3 结果与分析

3.1 汇水面山不同森林群落的枯落物储量

拉市海汇水面山 6 种不同森林群落的枯落物总储量为 6.54 ~ 22.45 $t \cdot \text{hm}^{-2}$, 其大小排序依次为: 黄背栎林 > 丽江云杉林 > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 > 川滇高山栎林 > 滇杨林 > 云南松林 (表 2), 表现出随着海拔升高而枯落物总储量增加的趋势, 表明本区域枯落物储量主要受海拔高度的影响。

从不同分层来看, 本研究的 6 种森林群落中半分解与分解层所占的比例均高于未分解层, 其中, 滇杨林的未分解层所占比例最大, 为 44.34%; 其次是川滇高山栎林, 为 41.32%; 云南松林的未分解层所占比例最小, 仅为 24.40%, 这可能与不同森林群落枯落物的凋落量和分解速率有关, 滇杨为落叶阔叶树种, 冬季叶片全部掉落, 因此未分解层比重较大。

表2 不同森林群落枯落物储量

植物群落	海拔/m	总厚度/cm	总储量/ ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	未分解层		半分解层与分解层			
				厚度/cm	储量/ ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	厚度/cm	储量/ ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	占总储量/%	
云南松林	2 713	2.3	6.54	1.5	1.60	24.40	0.8	4.94	75.60
丽江云杉林	2 803	7.5	14.81	4.0	4.51	30.46	3.5	10.30	69.54
云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	2 791	2.0	12.71	0.5	4.79	37.70	1.5	7.92	62.30
黄背栎林	2 877	12.4	22.45	5.1	7.93	35.32	7.3	14.52	64.68
滇杨林	2 471	8.3	7.56	6.0	3.35	44.34	2.3	4.21	55.66
川滇高山栎林	2 587	4.6	11.81	3.2	4.88	41.32	1.4	6.93	58.68

3.2 汇水面山不同森林群落枯落物的持水特性

对 6 种不同森林群落枯落物最大持水量进行比

较 (表 3) 可知: 不同森林群落枯落物的最大持水量存在较大差异, 大小顺序为黄背栎林 > 丽江云杉林

> 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 > 川滇高山栎林 > 滇杨林 > 云南松林。黄背栎林枯落物的最大持水量最大,为 $60.77 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 云南松林枯落物的最小,仅为 $13.72 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,前者是后者的 4.43 倍,这与枯落物的储量一致,同时也和不同枯落物的持水性能有关,如云南松松针细小且有蜡质层,不易吸持水分,而黄背栎叶面积较大,叶面被有细绒毛,枯落物孔隙较大,能大量吸持水分。

从不同层次来说,6 种森林群落枯落物的最大持水量除滇杨林外,均是半分解层与分解层大于未分解层。6 种森林群落枯落物未分解层的最大持水量介于 $3.17 \sim 18.70 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,而半分解与分解层最大持水量介于 $8.58 \sim 42.07 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。两层次最大持水量之间相差 $5.19 \sim 23.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,这与枯

落物的积累量、分解状况和微环境有关,枯落物积累多,层次厚,分解较彻底,则表面张力较大,吸水能力较强。总的来说,6 种不同森林群落中,黄背栎林枯落物的持水能力最强,云南松林的持水能力最弱。

分析比较不同层次枯落物的最大持水率(表 3)表明:除滇杨林外,半分解与分解层的最大持水率均大于未分解层;从未分解层的最大持水率看,滇杨林的最大,为 406.35%;川滇高山栎林和黄背栎林次之,分别为 346.53%、336.17%;而丽江云杉林的最小,为 273.12%。半分解与分解层的最大持水率为黄背栎林最大,为 390.28%;云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林和丽江云杉林次之,分别为 384.13%、378.62%;滇杨林的最小,为 304.33%。

表 3 不同森林群落枯落物最大持水量与最大持水率

植物群落	最大总持水量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	未分解层		半分与分解层	
		最大持水量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	最大持水率/%	最大持水量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	最大持水率/%
云南松林	13.72	3.17	299.31	10.55	314.28
丽江云杉林	36.42	7.81	273.12	28.61	378.62
云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林	33.18	10.67	323.46	22.51	384.13
黄背栎林	60.77	18.70	336.17	42.07	390.28
滇杨林	18.82	10.24	406.35	8.58	304.33
川滇高山栎林	29.23	12.02	346.53	17.21	348.76

3.3 汇水面山不同森林群落枯落物持水量与浸水时间的关系

由表 4 可见:各层枯落物在浸水开始后大量吸持水分,随着浸水时间的延长,6 种森林群落枯落物的未分解层在浸水 24 h 的过程中只有黄背栎林、川滇高山栎林和滇杨林枯落物持水量在浸泡 10 h 后

提前达到饱和点,而其它 3 种群落枯落物的持水量一直在增加。6 种森林群落枯落物的半分解与分解层在浸水 24 h 的过程中都提前达到饱和点,说明这 6 种森林群落枯落物吸持降水的能力都随降水时间的延长而逐渐减弱。

表 4 不同森林群落枯落物未分解层、半分解与分解层的累积持水量与浸水时间的关系

枯落物层	植被群落	浸水时间/h									
		0.1	0.5	1	2	4	6	10	12	24	
未分解层	云南松林	1.37	1.61	1.80	1.85	2.16	2.50	2.74	2.88	3.17	
	丽江云杉林	3.57	4.38	4.87	5.14	5.63	6.19	6.72	6.97	7.81	
	云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	5.05	6.09	6.92	7.82	8.28	8.99	9.87	10.10	10.67	
	黄背栎林	11.14	13.23	15.06	16.44	16.79	18.23	19.54	18.21	18.70	
	滇杨林	6.55	7.29	8.83	9.40	10.61	10.72	11.06	10.46	10.24	
	川滇高山栎林	7.86	8.35	9.18	9.95	10.62	11.06	11.99	12.17	12.02	
半分解层与分解层	云南松林	5.59	7.12	7.93	8.41	8.92	10.10	10.49	10.46	10.55	
	丽江云杉林	18.35	20.70	22.95	24.55	25.79	27.23	30.60	29.64	28.61	
	云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	12.86	16.69	18.44	19.09	21.16	21.15	22.69	23.16	22.51	
	黄背栎林	29.35	33.40	36.75	39.81	39.34	42.03	45.07	41.82	42.07	
	滇杨林	5.47	6.87	7.25	7.79	8.17	8.24	8.03	8.32	8.58	
	川滇高山栎林	9.38	12.60	13.88	15.49	15.26	18.07	17.95	17.81	17.21	

从不同层次持水量与浸水时间关系来看,6 种森林群落的未分解层枯落物持水快慢程度依次为:

黄背栎林 > 川滇高山栎林 > 滇杨林 > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 > 丽江云杉林 > 云南松林;半分解

与分解层枯落物的持水快慢程度依次为:黄背栎林 > 丽江云杉林 > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 > 川滇高山栎林 > 云南松林 > 滇杨林。黄背栎林的未分解层和半分解与分解层的持水快慢程度从起初一直保持最快的变化趋势,而其它森林群落枯落物的持水快慢程度则表现出未分解层和半分解与分解层不一致的趋势,且波动较大,且半分解与分解层的比未分解层的快,表明各类型枯落物的各层次持水动态过程存在巨大差异,可能与各层次储量和分解状况有关。对6种森林群落枯落物各层累积持水量与浸水时间(0.1~24 h)的关系进行回归分析,得出该时段内6种森林群落枯落物的累积持水量均与浸泡时间存在以下关系式(表5):

$$H = A \ln(t) + B$$

式中: H —枯落物累积持水量($t \cdot \text{hm}^{-2}$); t —浸泡时间(h); A —方程系数; B —方程常数项。

3.4 汇水面山不同森林群落枯落物的吸水速率

由表6可知:不同森林群落枯落物各层次吸水速率总的变化趋势一致,即在0~0.5 h的前期浸水中,吸水速率都很高,随着浸水时间的增加,吸水速

表5 不同森林群落枯落物的累积持水量与时间的回归方程

植物群落	层次	回归方程	R^2
云南松林	未分解层	$H=0.1614 \ln(t) + 1.8370$	0.9600
	半分解与分解层	$H=0.1222 \ln(t) + 7.6894$	0.9684
丽江云杉林	未分解层	$H=0.1415 \ln(t) + 4.8293$	0.9898
	半分解与分解层	$H=0.0956 \ln(t) + 22.8149$	0.9440
云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	未分解层	$H=0.1435 \ln(t) + 6.9338$	0.9930
	半分解与分解层	$H=0.1055 \ln(t) + 17.5435$	0.9399
黄背栎林	未分解层	$H=0.1023 \ln(t) + 14.5963$	0.9374
	半分解与分解层	$H=0.0729 \ln(t) + 35.8835$	0.8932
滇杨林	未分解层	$H=0.0985 \ln(t) + 8.4665$	0.8552
	半分解与分解层	$H=0.0765 \ln(t) + 7.0244$	0.8956
川滇高山栎林	未分解层	$H=0.0915 \ln(t) + 9.3569$	0.9598
	半分解与分解层	$H=0.1176 \ln(t) + 13.3679$	0.8992

率逐渐减小,最后趋于零。因为枯枝落叶从干燥状态浸入水中后,枯枝落叶的死细胞间或枝叶表面水势差较大,因此吸水率高。由此可以推断,森林枯落物对于短历时、高强度降水有较好的拦蓄功能,能有效减少地表径流产生,充分发挥水土保持功效。

表6 不同森林群落枯落物未分解层、半分解与分解层的吸水速率

植物群落	吸水速率/($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)									
	0.1	0.5	1	2	4	6	10	12	24	
未分解层	云南松林	13.72	3.22	1.80	0.92	0.54	0.42	0.27	0.24	0.13
	丽江云杉林	35.75	8.77	4.87	2.57	1.41	1.03	0.67	0.58	0.33
	云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	50.45	12.19	6.92	3.91	2.07	1.50	0.99	0.84	0.44
	黄背栎林	111.45	26.46	15.06	8.22	4.20	3.04	1.95	1.52	0.78
	滇杨林	65.52	14.57	8.83	4.70	2.65	1.79	1.11	0.87	0.43
	川滇高山栎林	78.63	16.70	9.18	4.97	2.66	1.84	1.20	1.01	0.50
半分解层与分解层	云南松林	55.89	14.23	7.93	4.20	2.23	1.68	1.05	0.87	0.45
	丽江云杉林	183.49	41.41	22.95	12.28	6.45	4.53	3.06	2.47	1.19
	云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	128.61	33.37	18.44	9.54	5.29	3.52	2.27	1.93	0.94
	黄背栎林	293.52	66.79	36.75	19.91	9.84	7.00	4.51	3.48	1.75
	滇杨林	54.67	13.74	7.25	3.89	2.04	1.37	0.80	0.69	0.36
	川滇高山栎林	93.84	25.19	13.88	7.75	3.82	3.01	1.80	1.48	0.72

对于6种不同森林群落的枯落物,黄背栎林未分解层的吸水速率总体最大,川滇高山栎林和滇杨林次之,云南松林最小;在开始的0.1 h,黄背栎林的吸水速率是云南松林的5.9倍,4 h时是5.1倍,24 h时是4.4倍,反映了黄背栎林未分解层枯落物持水能力强、吸水持久的特性。对于半分解与分解层,黄背栎林同样吸水速率最大,丽江云杉林和云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林次之,云南松林最小。这可能因黄背栎叶片大而厚,地处高海拔,气候冷凉,微生物活性低,分解慢,积累量多,加之本身吸水特性,

故表现出较大的吸水速率。整体来看,黄背栎林枯落物在6种植物群落中吸水速率最大,持续时间最长。

3.5 不同森林群落枯落物的有效拦蓄量

6种森林群落枯落物的储量各不相同,因而对降水有效拦蓄量和拦蓄深度也表现出不同规律(表7),除滇杨林枯落物外,其余5种群落枯落物的半分解与分解层的有效拦蓄量及有效拦蓄深均大于未分解层的。

从未分解层来看,在6种类型枯落物中,黄背栎

林有效拦蓄量和有效拦蓄量深均最大,分别为 $21.65 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 2.17 mm ,而云南松林最小,只有 $3.92 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 0.39 mm ,其大小顺序为:黄背栎林 > 川滇高山栎林 > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 > 滇杨林 > 丽江云杉林 > 云南松林;而半分解与分解层的有效拦蓄量和有效拦蓄量也是黄背栎林最大,分别为 $45.29 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 4.53 mm ,滇杨林最小,

只有 $9.99 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 1.00 mm ,其大小顺序为:黄背栎林 > 丽江云杉林 > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 > 川滇高山栎林 > 云南松林 > 滇杨林。

从总拦蓄量深来看,黄背栎林枯落物的有效拦蓄深最大,达 6.70 mm ;其次是丽江云杉林、云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林和川滇高山栎林,分别为 4.12 、 3.68 、 3.30 mm ,而云南松林的最小,只有 1.66 mm 。

表7 不同森林群落枯落物的有效拦蓄量

层次	植物群落	枯落物蓄积量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	自然含水率/ %	最大持水量/ %	有效拦蓄率/ %	有效拦蓄量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	有效拦蓄量深/ mm
未分解层	云南松林	1.60	8.65	299.31	245.76	3.92	0.39
	丽江云杉林	4.51	10.24	273.12	221.91	10.01	1.00
	云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	4.79	13.28	323.46	261.66	12.53	1.25
	黄背栎林	7.93	12.69	336.17	273.05	21.65	2.17
	滇杨林	3.35	11.35	406.35	334.05	11.19	1.12
	川滇高山栎林	4.88	12.73	346.53	281.82	13.75	1.38
半分解与分解层	云南松林	4.94	10.63	314.28	256.51	12.67	1.27
	丽江云杉林	10.30	18.61	378.62	303.22	31.23	3.12
	云南松 + 黄背栎 + 杜鹃	7.92	20.03	384.13	306.48	24.27	2.43
	黄背栎林	14.52	19.89	390.28	311.85	45.29	4.53
	滇杨林	4.21	21.13	304.33	237.55	9.99	1.00
	川滇高山栎林	6.93	18.74	348.76	277.71	19.24	1.92

4 结论与讨论

不同森林群落枯落物的储量取决于林分的凋落量和分解速度,而这些又与森林的结构组成、林下土壤、林分水平及垂直结构、人为活动、枯落物厚度和性质等因素有关^[15-16]。拉市海汇水面山6种典型森林群落,从海拔2471 m到2877 m形成垂直分布,枯落物的储量从 $6.54 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 到 $22.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,表现出随海拔增加枯落物储量增加的趋势,且半分解与分解层的储量均大于未分解层的储量,说明海拔上升、气温降低,植被生理生化特性发生变化,叶片厚度增加、被有绒毛或蜡质层,加之分解枯落物的微生物生物活性降低,分解减慢,促进了枯落物积累,因而海拔是决定枯落物储量的主导因子,这与其他学者的研究结果基本一致^[17]。

6种森林群落枯落物的最大持水量差异显著,其大小顺序与枯落物总储量排序完全一致,表明枯落物最大持水量与其储量密切相关^[18-23],其中,黄背栎林枯落物的持水能力最强,多达 $60.77 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,云南松林持水能力最弱,仅 $13.72 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,这与村民收集云南松林地表枯落物减少了其储量有关,而黄背栎林地处山顶,气温低、分解慢,人为活动少,枯落物越积越多;另一方面与自身生物学特性有

关,黄背栎叶片厚实、被有绒毛、孔隙多易吸水,而云南松林松针细小、具蜡质层、孔隙少不易吸水。

6种森林群落枯落物持水量在起初阶段增加较快,随着浸水时间的延长,持水量增速减缓,最终达到饱和状态。6种森林群落各层次枯落物吸水过程都符合 $H = A \ln(t) + B$,与前人研究结果一致^[18,23]。不同森林群落各层次枯落物的吸水速率均表现为在浸水前期的 $0 \sim 0.5 \text{ h}$ 内较高,在 $1 \sim 4 \text{ h}$ 阶段明显减小,最后趋于平缓^[3],说明干燥枯落物的死细胞间或枝叶表面存在较大水势差,是引起起初阶段吸水速率较大的原因^[24],且半分解与分解层的吸水速率远大于未分解层的。

拉市海汇水面山6种森林群落枯落物对降水的拦蓄量从大到小依次为:黄背栎林 > 丽江云杉林 > 云南松 + 黄背栎 + 杜鹃混交林 > 川滇高山栎林 > 滇杨林 > 云南松林,拦蓄深度分别为 6.70 、 4.12 、 3.68 、 3.30 、 2.12 、 1.66 mm ,同样表现出与枯落物储量、最大持水量一致的变化规律,即从面山顶到山脚,枯落物对降水的拦蓄量和拦蓄深逐渐减小,其对降水径流和泥沙流失的调节能力也会逐渐降低。因此,保护高原湿地拉市海汇水面山森林植被对于维护“森林-湿地”复合生态系统水文功能和保护湿地具有重要意义。

参考文献:

- [1] 白军红. 中国高原湿地[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008
- [2] 张彪, 李文华, 谢高地, 等. 北京市森林生态系统的水源涵养功能[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5619-5624
- [3] 田超, 杨新兵, 李军, 等. 冀北山地不同海拔蒙古栎林枯落物和土壤水文效应[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 221-226
- [4] 王波, 张洪江, 徐丽君, 等. 四周边山地不同人工林枯落物储量及其持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 90-94
- [5] 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
- [6] 肖德荣, 田昆, 张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3116-3124
- [7] 李宁云, 袁华, 田昆, 等. 滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7388-7396
- [8] 陈小勇, 杨君兴, 陈自明, 等. 丽江拉市海保护区的鱼类区系和现存状态[J]. 动物学研究, 2003, 24(2): 144-147
- [9] 刘小葛, 刘婧, 张文, 等. 拉市海灰鹤越冬后期的日活动行为时间分配及食性分析[J]. 西部林业科学, 2009, 38(3): 76-80
- [10] 胡圆圆, 林萍, 肖德荣, 等. 丽江拉市海高原湿地水生植被调查与分析[J]. 山东林业科技, 2008(1): 1-5
- [11] 李仲安. 丽江拉市海区域地质构造对调蓄水工程的影响分析[J]. 陕西水利, 2011(2): 71-72
- [12] 魏晓霞, 李良, 孙旭, 等. 塞罕坝地区几种林下枯落物持水特性研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2010, 31(3): 41-45
- [13] 王登芝, 向星政, 聂立水. 北京西山不同人工林枯落物层的水化学性质[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 263-264
- [14] 贾志军, 王富, 甄宝艳, 等. 不同生态修复措施下桃林口水库水源涵养区枯落物的蓄水保水效益[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 136-139
- [15] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中凋落物动态分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1491-1496
- [16] 刘延惠, 王彦辉, 于鹏涛, 等. 六盘山主要植被类型的生物量及其分配[J]. 林业科学研究, 2011, 24(4): 443-452
- [17] 陆梅, 田昆, 赖建东, 等. 高原湿地纳帕海周边山地不同植被类型枯落物持水特性[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 28-34
- [18] 宋庆丰, 杨新兵, 张金柱, 等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2316-2320
- [19] 丁绍兰, 杨乔媚, 赵串串, 等. 黄土丘陵区不同林分类型枯落物层及其林下土壤持水能力研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 104-108
- [20] 薛立, 何跃君, 屈明, 等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415-421
- [21] 张洪江, 程金花, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林枯落物储量及其持水特性[J]. 林业科学, 2003, 39(5): 147-151
- [22] 马书国, 杨玉盛, 谢锦升, 等. 亚热带 6 种老龄天然林及杉木人工林的枯落物持水性能[J]. 亚热带资源与环境学报, 2010, 5(2): 31-38
- [23] 吕刚, 曹小平, 卢慧, 等. 辽西海山森林枯落物持水与土壤贮水能力研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 203-208
- [24] 赵鸿雁, 吴钦孝. 黄土高原几种枯枝落叶吸水机理研究[J]. 防护林科技, 1996(4): 15-18