

高原湿地纳帕海周边山地不同植被类型枯落物持水特性

陆梅¹, 田昆^{1,2}, 赖建东¹, 赵一鹤³, 魏江舟¹

(1. 西南林业大学 环境科学与工程系, 云南 昆明 650224; 2. 国家高原湿地研究中心, 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: 对高原湿地纳帕海周边山地 8 种不同植被类型枯落物持水特性进行了研究。结果表明, (1) 8 种植物类型枯落物储量和总持水量均表现出半分解+分解层>未分解层的变化趋势; 枯落物储量呈现从乔木林到灌木林和荒草地逐渐降低的总体趋势; 高山柳+白桦混交林最大总持水量最大, 受人为干扰较为严重的高山松纯林总持水量最小。(2) 初始 1 h 内不同植被类型不同层次枯落物持水量均迅速增大, 在浸水 6~10 h 后, 枯落物持水量基本达到饱和。(3) 枯落物在浸水前 0.5 h 内吸水速率最大, 6~10 h 时下降速度明显减缓。(4) 不同植被类型枯落物失水速率有一致性, 随着失水时间延长而逐渐变小, 呈近直线下降。综合分析得出, 高山柳+白桦混交林枯落物持水量最大, 调节洪峰能力最强, 失水过程最佳, 补给水源能力最好, 其水文生态效应是 8 种植物类型中最好的。

关键词: 高原湿地; 纳帕海; 植被类型; 枯落物; 持水特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0028-07

中图分类号: S715.3

Water Holding Characteristics of Litters of Different Species in Mountainous Area of Napahai Plateau Wetland

LU Mei¹, TIAN Kun^{1,2}, LAI Jian-dong¹, ZHAO Yi-he³, WEI Jiang-zhou¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yun'nan 650224, China; 2. National Plateau Wetlands Research Center, Kunming, Yun'nan 650224, China; 3. The Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming, Yun'nan 650224, China)

Abstract: The water holding capacity was characterized for the litters from eight plantation types in the mountainous area of Napahai Plateau Wetland. The results show that, for all the eight plantation types, the semi-decomposed and decomposed layer had higher litter storage and water reserving capacity than the freshly-littered layer. The litter storage decreased from highwood, shrub to waste grassland. Specifically, the litter storages of natural *Picea asperata* Mast, mixed forest of *Pinus densata* Mast and *Rhododendron simsii* Planch, mixed forest of *Salix cupularis* Rehd and *Betula platyphylla* Suk, *Crataegus pinnatifida* Bge and waste grassland demonstrated a capacity of 36.60, 30.67, 26.63, 25.61 and 5.30 t/hm², respectively. Comparatively, mixed forest of *Salix cupularis* Rehd and *Betula platyphylla* Suk had the highest water holding capacity, and seriously human-disturbed *Pinus densata* Mast had the lowest. The water holding capacity of the litters increased rapidly during the initial first hour, and then slightly increased after 6~10 hour saturation. The highest water absorption rates were observed in the first 30 minute saturation time, and thereafter the rates decreased substantially. Water loss rates were similar for all the litters, showing a linear decreasing trend. Systematic analysis indicated that the litter of mixed forest of *Salix cupularis* Rehd and *Betula platyphylla* Suk had the highest water holding capacity, the strongest flood-adjusting capacity, the most ideal water loss process and the highest water supply capacity, and the best hydro-ecological effect among the eight plantation types.

Keywords: plateau wetland; Napahai; plantation type; litter; water reserving characteristics

收稿日期: 2010-10-09

修回日期: 2010-11-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“云南滇西北典型高原湿地退化规律与机理研究”(40971285); “973”国家科技部前期研究专项“云南高原湿地湖滨利用的基础研究”(2008CB417210); “十一五”国家科技部科技支撑计划“典型湿地保护技术试验示范专题: 高原湿地保护区功能分区研究”(2006BAD03A19)

作者简介: 陆梅(1978—), 女(汉族), 云南省昭通市人, 硕士, 讲师, 主要从事湿地生态与土壤学的研究。E-mail: lumeizx@yahoo.com.cn.

通信作者: 田昆(1957—), 男(汉族), 山西省长治市人, 博士, 教授, 主要从事土壤学和湿地生态学研究。E-mail: tlkunj@126.com.

森林枯落物是森林生态系统的重要组成部分^[1],国内外许多学者在不同区域对多种森林类型下的枯落物特性做了大量研究,在枯落物的凋落,凋落动态,分解速率,截持降水,改变土壤结构,影响养分元素循环,抑制土壤水分蒸发,增加土壤入渗,影响地表径流和土壤侵蚀机理等方面都取得了一定成果^[2-9],同时对枯落物的吸水、持水和失水特性的研究深度也不断深入。然而低纬度高寒山区不同植被类型下枯落物持水特性研究报道目前仍然较少,且由于纳帕海地区传统生活方式对木材的需求以及开山采石等人为活动的影响使汇水周边山地森林植被部分退化为灌丛、草坡,削弱了其对纳帕海沼泽水源的涵养功能,导致水土流失加剧,表土、养分和有害物质随地表径流进入纳帕海沉积,加速了纳帕海湿地的陆地化进程,使湿地植物由水生、沼生向中生、旱生退化演替,影响植物群落结构和多样性特征。本文通过对纳帕海周边山地不同植被类型枯落物储量及其持水特性的研究,探索高海拔山地不同植被类型枯落物持水特性对高原湿地纳帕海的水文生态功能影响,为该湿地保护提供理论依据。

1 研究区概况

研究区纳帕海湿地位于云南省香格里拉县境内,地处金沙江流域,地理坐标为 27°49′—27°55′N, 99°37′—99°43′E,海拔 3 260 m,面积 3 100 hm²,属云南省纬度最北和海拔较高的高原湖泊湿地类型^[10]。水量补给主要依靠降雨、地表径流、冰雪融水

和湖东南侧几条短小河流,四周山岭环绕,从湖盆中心至湖岸边生长着大量的水生和陆生植被,湖滨分布有较大面积沼泽草甸,周边山地上生长着硬叶常绿阔叶林、云冷杉林以及灌丛。森林植被垂直分布明显,从高海拔到低海拔依次出现:高山灌丛草甸→寒温性针叶林→温性针叶林→湿性常绿阔叶林→暖性针叶林、半湿性常绿阔叶林→灌丛,以天然次生林为主,兼有部分原始林和人工林。主要乔木树种有:高山松(*Pinus densata* Mast.)、云杉(*Picea asperata* Mast)、冷杉[*Abies fabri*(Mast). Craib]、白桦(*Betula platyphylla* Suk)、山楂(*Crataegus pinnatifida* Bge.)、高山柳(*Salix cupularis* Rehd.)等;灌木树种:矮刺栎(*Quercus monimotricha*)、高山蔷薇(*Rosa transmorrissonensis*)等;林下草本植物主要有:滇香薷(*Origanum vulgare* Linn.)、狼毒(*Stellera chamaejasme* Linn.)、狭盔马先蒿(*Pedicularis stenocorys*)、翻白草(*Herba potentillae chinensis*)等。研究区林地土壤类型主要为棕壤。

2 研究方法

2.1 样地选择

采取野外采样和室内试验分析相结合的方法,分别选取纳帕海周边山地现存的 8 种不同代表性植被类型:未受干扰高山松幼林、高山松+杜鹃混交林、天然云杉林、高山柳+白桦混交林、刺栎林、受干扰高山松纯林、山楂林、未受人为干扰的荒草地。以植被群落研究法对样地进行调查(表 1)。

表 1 样地概况

样地号	植被类型	纬度	经度	海拔/m	坡度/(°)	坡向	林龄/a	郁闭度/%
1	未受干扰高山松幼林	27°54′28.2″	99°38′13.8″	3 342	13.8	北偏西	10	90
2	高山松+杜鹃混交林	27°54′28.9″	99°38′14.4″	3 356	19.7	北偏东	25	75
3	天然云杉林	27°54′26.3″	99°38′15.2″	3 324	5.3	坐南朝北	25	95
4	高山柳+白桦混交林	27°54′27.1″	99°38′16.4″	3 325	10.2	东南	10	70
5	刺栎林	27°54′34.7″	99°38′33.3″	3 299	5.7	东北	25	55
6	受干扰高山松纯林	27°54′35.6″	99°38′30.8″	3 332	15.4	东偏南	20	70
7	山楂林	27°54′25.4″	99°38′28.2″	3 334	7.6	南偏西	10	65
8	荒草地	27°54′27.9″	99°38′16.1″	3 317	3.8	坐西朝东	1	95

2.2 枯落物采集

在每一植被类型中选择具有典型代表性的地段设立样地,样地大小为 30 m×30 m,在坡面上部、中部、下部各设面积 50 cm×50 cm 的枯落物样方 3 个。采集枯落物时,用砍刀、枝剪等工具细心除去全部植物活体的地上部分,仔细收集区内枯落物并将小样方

内的枯落物分层收集(由于研究地属高海拔地区,气候寒冷,枯落物分解缓慢,使得半分解层与分解层之间基本无明显分界线,故将 2 层合并为 1 层采集),现场记录各层厚度及重量,从中取 200 g 带回实验室以便测定各林下枯落物储量、持水量、吸水速率和失水速率。

2.3 枯落物持水量及吸失水速率测定

采用室内浸泡法测定林下枯落物的持水量、吸水速率和失水速率。从所采枯落物中称取 100 g 样品,进行烘干(85 °C, 2 h)并称重。然后将称重后的枯落物原状放入细孔砂布袋(砂布袋预先称重、标记,以便于减去砂布袋吸水重),再将装有枯落物的砂布袋完全浸没于盛有清水的容器中,将枯落物浸入水中。待浸泡 5 min 后将枯落物连同砂布袋一并取出,静置 5 min 左右,直至枯落物不滴水为止,迅速称枯落物的湿重,之后,分别浸泡 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 10, 12, 24 h 后分别进行称重,称重方法同上。每次从浸泡容器中取出称重所得枯落物湿重与浸水前总干重(包括枯落物和砂布袋的干重)的差值,即为枯落物浸泡不同时间的持水量,该差值与浸水时间的比值即为该时刻枯落物的吸水速率。本文以枯落物浸泡 24 h 后的持水量作为枯落物最大持水量,将枯落物最大持水量时的湿重与枯落物干重之比称为枯落物最大吸湿比(简称吸湿比),来表征枯落物持水力的大小^[3]。

失水速率的测定方法:将浸泡 24 h 的样品分别按滴水 5 min, 1, 2, 3, 4, 6, 10, 12, 24 h 时间进行称重,最后烘干称重,每次失水称重所得到的枯落物样本的质量差,即为某种枯落物在该时间段内失水量,该差值与失水时间的比值即为该时刻枯落物的失水速率^[3-4]。

对每种植被类型林下枯落物不同层次样品,分别按上述方法进行处理,设 3 个重复,最后运用 Excel 2003, Spss13.0 对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同植被类型枯落物储量

枯落物储量主要取决于枯落物的输入量、分解速度和累积年限,而森林的树种组成不同、林分所处的水热条件不同等都对枯落物储量有较大影响^[5-6]。研究表明,8 种植被类型枯落物储量存在差异(表 2),枯落物储量为 5.30~36.60 t/hm²,呈现出从乔木林到灌木林和荒草地逐渐下降的总体趋势,其中样地 3(天然云杉林)枯落物总储量最大,其次是样地 2(高山松+杜鹃混交林)、样地 4(高山柳+白桦混交林)和样地 7(山楂林),而样地 8(荒草地)枯落物储量最小(表 2)。8 种植被类型枯落物总储量间相差 31.30~3.93 t/hm²。差异性与各植被类型树种间的生物学特性和区域气候条件及其形成的影响因子有关。天然云杉纯林为 25 年生的天然林,其枯落物以难分解的针叶为主,年复一年循环积累使其枯落物层不断叠加、增厚,而阔叶混交林和落叶阔叶林的枯落物分解速度较针叶林快,虽林龄相近但其储量仍较天然云杉纯林小。荒草地的储量最小,跟其植被层次单一和分解转化速度快有关。比较未受人为干扰的高山松幼林和受干扰的高山松纯林可看出,受干扰的高山松纯林虽林龄较大,但由于受人为干扰较为严重使其枯落物储量远远小于未受人为干扰的高山松幼林,说明森林枯落物的储量积累在很大程度上受到人为活动的限制。

表 2 不同植被类型枯落物储量

样地号	植被类型	总储量/ (t·hm ⁻²)	未分解层/ (t·hm ⁻²)	占总储量的 比例/%	半分解层+分解层/ (t·hm ⁻²)	占总储量的 比例/%
1	未受干扰高山松幼林	18.33	7.58	41.33	10.75	58.67
2	高山松+杜鹃混交林	30.67	9.87	32.19	20.80	67.81
3	天然云杉林	36.60	9.78	26.71	26.83	73.29
4	高山柳+白桦混交林	26.63	5.77	21.65	20.86	78.35
5	刺楸林	17.36	4.95	28.51	12.41	71.49
6	受干扰高山松纯林	7.77	3.72	47.81	4.06	52.19
7	山楂林	25.61	5.28	20.62	20.32	79.38
8	荒草地	5.30	2.31	43.55	2.99	56.45

从不同分解层次来看,样地 2 未分解层枯落物储量最大,样地 8 最小。样地 3 半分解+分解层储量最大,同样也是样地 8 最小(表 2)。而各植被类型中,半分解+分解层枯落物储量显著大于未分解层储量,其中样地 3 最明显,可达 17.05 t/hm²,样地 6 差额最小,仅为 0.34 t/hm²。这是由于该区域气候寒冷,经雨季后入冬,半分解层没有继续分解转化,加之年复一年循环积累导致半分解和分解层叠加、厚度增大。

3.2 不同植被类型枯落物持水特征

3.2.1 不同植被类型枯落物最大总持水量 枯落物的持水能力多用干物质的最大总持水量来表示,最大总持水量越大,枯落物持水能力就越强,它在一定程度上反映枯落物对降水的截留能力,其值的大小与林分组成、林龄、枯落物的组成、累积状况有关^[2,4]。研究结果表明(表 3),不同植被类型最大总持水量存在明显差异,呈现出样地 4(高山柳+白桦混交林)>样

地 3(天然云杉林) > 样地 7(山楂林) > 样地 2(高山松+杜鹃混交林) > 样地 5(刺栎林) > 样地 1(未受干扰高山松幼林) > 样地 8(荒草地) > 样地 6(受干扰高山松纯林) 的变化趋势, 其中样地 4 总持水量最大, 为 100.04 t/hm², 相当于 10 mm 水深, 受人为干扰较为严重的高山松纯林总持水量最小, 仅为 17.17 t/hm², 相当于 1.7 mm 水深。这是由于枯落物的分解程度影响枯落物层的持水能力, 分解程度越高, 半分解+分解层枯落物储量越大, 枯落物层的持水能力就越高, 所以由高山柳和白桦组成的针阔混交林, 其林下枯落物成分多样, 含较多易分解阔叶, 其半分解+分

解层储量占总储量的 78.35%, 使其枯落物层的持水能力最大。

有研究表明, 针叶因含有较多的油脂, 不容易分解, 其吸水率和有效持水量往往没有阔叶林的大^[7]。另外, 受人为干扰较为严重的高山松纯林总持水量仅为 17.17 t/hm², 与未受干扰高山松幼林相比其最大总持水量下降了 17.78 t/hm², 这是因为牲畜的踩踏使高山松纯林的枯落物颗粒破碎、蓄积量减少、孔隙变小, 所以最大总持水量较未受人为干扰高山松幼林急剧下降, 再次充分说明在人为活动的影响下森林对水分的保蓄能力降低。

表 3 不同植被类型枯落物 24 h 最大总持水量及吸湿比

样地号	植被类型	总持水量/ (t · hm ⁻²)	未分解层		半分解层+分解层	
			最大持水量/ (t · hm ⁻²)	最大吸湿比	最大持水量/ (t · hm ⁻²)	最大吸湿比
1	未受干扰高山松幼林	34.95	12.82	2.69	22.13	3.06
2	高山松+杜鹃混交林	66.77	18.50	2.87	48.26	3.32
3	天然云杉林	93.65	25.00	3.56	68.65	3.56
4	高山柳+白桦混交林	100.04	17.78	4.08	82.26	4.94
5	刺栎林	42.77	13.62	3.75	29.15	3.35
6	受干扰高山松纯林	17.17	8.22	3.21	8.95	3.21
7	山楂林	83.77	20.11	4.81	63.66	4.13
8	荒草地	27.80	11.89	6.16	15.91	6.32

注: 总持水量是未分解层、半分解层与分解层的枯落物最大持水量之和。

由表 3 还可以看出, 不同植被类型枯落物半分解+分解层最大总持水量均明显大于未分解层。8 种植被类型中, 高山柳+白桦混交林半分解+分解层最大总持水量较分解层的差值最大, 为 64.48 t/hm², 其次为天然云杉林, 受干扰的高山松纯林最小, 为 0.73 t/hm²。这是由于最大总持水量除与枯落物本身的生物量和结构有关外, 枯落物的分解程度也影响枯落物层的持水能力, 枯落物层的分解程度越高, 枯落物层的持水能力也越高^[8]。高山松纯林林下枯落物为不易分解的针叶, 因而其分解层持水能力低。

3.2.2 不同植被类型枯落物最大持水力 持水力是真实反映植物枯落物吸持水分能力的重要指标之一, 而作为反映枯落物持水力的吸湿比, 其数值的大小表征着枯落物吸持水分能力的强弱, 以及保水、涵养水源功效的显著与否^[3]。单就吸湿比而言(表 3), 不同植被类型枯落物未分解层吸湿比, 样地 8(荒草地)最大, 为 6.16; 样地 7(山楂林)和样地 4(高山柳+白桦混交林)次之, 分别为 4.81 和 4.08; 而样地 1(未受干扰高山松幼林)最小, 仅为 2.69。半分解+分解层吸湿比也呈现出与未分解层相同的趋势。荒草地枯落物吸湿比最大, 阔叶混交林样地 4 枯落物吸湿比较

大, 且优于阔叶林样地 7 和针阔混交林样地 2, 针叶纯林样地 1 的吸湿比最小。这是由于植物物种不同, 枯落物吸水能力、分解情况及环境条件有很大差异所造成的。未受人为干扰的荒草地的枯落物表现出持水量较小, 而吸湿比最大, 可能与其成分复杂, 茎秆中空, 被有绒毛和太阳直接辐射等因素有关; 针叶树种枯落物含有较多的松脂, 不易分解也不易吸持水分, 相对而言, 阔叶树种则易于分解转化, 更易吸持水分。

8 种植被类型枯落物未分解层吸湿比明显小于半分解+分解层, 荒草地、阔叶混交林、阔叶林的吸湿比也明显大于针叶林, 这与常绿阔叶混交林 > 阔叶混交林 > 针阔混交林 > 针叶林研究结果基本一致^[9]。而未受人为干扰的高山松幼林和牲畜践踏的高山松纯林 2 种植被类型的最大持水量与吸湿比不一致, 可能与其枯落物的储量、人为活动有关。

3.2.3 不同植被类型枯落物持水量与浸泡时间之间的关系 水源涵养能力的大小不仅取决于枯落物现存量的高低, 还与不同植被类型林地枯落物持水能力有重要关系^[11]。枯落物持水量与浸泡时间具有一定的相关关系, 初始 1 h 内不同植被类型不同层次枯落物的持水量均迅速增大, 但随着枯落物浸水时间的延

长,各枯落物平均持水量的增幅逐渐降低,浸水 6~10 h 后,枯落物持水量基本趋于最大值,即随着浸泡时间的延长,持水量数值基本趋于恒定甚至提前达到饱和状态(表 4—5)。这一趋势与枯落物拦蓄地表径流规律相似,即降雨初期,枯落物拦蓄地表径流功能较强,此后随枯落物湿润程度的增加吸持能力降低^[3]。对于未分解层(表 4),样地 3(天然云杉林)枯落物持水量在浸泡时间内自始至终最大,样地 6(受干扰高山松纯林)枯落物持水量最小。对于半分解与分解层(表 5),样地 4(高山柳+白桦混交林)枯落物持水量在浸泡时间内自始至终最大。同样是样地 7(山楂林)

枯落物持水量最小。根据 8 种不同植被类型枯落物不同层次持水量与浸泡时间的变化趋势,发现 8 种不同植被类型枯落物的持水量因各自生物学特性不同而异。这说明在持续降雨下不同植被类型枯落物蓄水能力不一样,对调节洪峰的功能作用也不一样,而阔叶混交林的功能作用远远大于针叶纯林。

未受人为干扰的高山松幼林和牲畜踩踏的高山松纯林,无论未分解层还是半分解+分解层枯落物的动态持水量变化趋势基本一致,而未受人为干扰的高山松幼林的持水量同比增量较多,进一步说明人为干扰活动降低了森林对水分的保蓄能力。

表 4 不同植被类型未分解层枯落物的连续持水量

t/hm²

样地号	植被类型	浸水时间/h								
		0.1	0.5	1	2	4	6	10	12	24
1	未受干扰高山松幼林	4.64	5.44	6.25	7.43	8.56	9.84	10.88	12.27	12.82
2	高山松+杜鹃混交林	7.08	8.53	9.60	11.19	13.06	14.97	16.62	17.12	18.50
3	天然云杉林	15.51	16.86	19.20	19.17	20.15	21.27	22.01	23.39	25.00
4	高山柳+白桦混交林	9.94	11.55	12.40	14.43	15.00	15.24	16.15	16.89	17.78
5	刺栎林	9.60	10.75	11.41	11.79	13.26	13.14	13.62	13.48	13.62
6	受干扰高山松纯林	3.46	4.19	4.84	5.21	6.20	6.64	7.16	7.92	8.22
7	山楂林	12.29	14.34	16.16	17.18	17.50	18.51	18.62	19.32	20.11
8	荒草地	6.26	7.35	7.79	8.65	9.49	10.36	10.75	10.58	11.89

表 5 不同植被类型半分解与分解层枯落物的连续持水量

t/hm²

样地号	植被类型	浸水时间/h								
		0.1	0.5	1	2	4	6	10	12	24
1	未受干扰高山松幼林	11.66	13.58	15.11	15.79	17.48	19.28	20.37	21.47	22.13
2	高山松+杜鹃混交林	26.64	32.45	36.22	39.16	42.00	43.31	45.62	47.13	48.26
3	天然云杉林	50.37	56.23	57.93	58.12	61.18	63.95	65.11	67.72	68.65
4	高山柳+白桦混交林	54.82	58.38	61.65	70.50	72.91	74.89	76.42	80.02	82.26
5	刺栎林	21.04	23.11	24.72	25.59	27.50	28.53	29.16	28.97	29.15
6	受干扰高山松纯林	5.08	5.75	6.32	6.63	7.62	7.94	8.24	8.76	8.95
7	山楂林	47.57	53.16	55.68	57.98	58.54	59.50	61.96	63.30	63.66
8	荒草地	8.61	10.70	11.38	11.83	13.39	14.05	14.80	14.37	15.91

对 0.1~24 h 之间 8 种植被类型枯落物各层持水量与浸泡时间的关系进行回归分析,得出该时间段内持水量与浸泡时间之间存在如下关系(表 6):

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

式中:Q——枯落物持水量(t/hm²); t——浸泡时间(h); a——方程系数; b——方程常数项。

3.3 不同植被类型枯落物吸水速率与失水速率

3.3.1 不同植被类型枯落物吸水速率与浸泡时间的关系 枯落物的吸水速率和持水能力是紧密联系的,吸水速率快能够将林内降水迅速蓄积起来,从而减少地表径流的发生。枯落物的吸水速率与枯落物的结构、分解程度、干燥程度等有关,不同时间段枯落物吸水速率不同^[2,5,10]。

从图 1—2 可以看出,不同植被类型枯落物吸水速率,在初始 4 h 内迅速增加,特别是初始浸泡的 0.5 h 内吸水量最多,之后随着枯落物浸水吸涨过程的进行,各枯落物的吸水速率逐渐降低。到枯落物浸水 6~10 h 后,其持水量基本趋于最大值时,而吸水速率则趋于最小值(即吸水量骤减)。12 h 之后,随着浸泡时间的延长,吸水速率逐渐趋于零。虽然不同植被类型枯落物在浸入水中刚开始时吸水速率相差较大,但随浸泡时间延长,枯落物吸水速率趋向一致。这主要是因为随着浸泡时间延长,枯落物持水量接近其最大持水量,也就是说枯落物逐渐趋于饱和,其持水量增长速度随之减缓。另外,枯落物的吸水速率与枯落物的性质和分解程度有关^[12]。

表 6 不同植被类型枯落物分层持水量 $Q/(t \cdot \text{hm}^{-2})$ 与 浸泡时间 $t(\text{h})$ 的关系

样地号	植被类型	枯落物层	相关方程	R
1	未受干扰高山松幼林	未分解层	$Q=1.637\ln(t)+7.074$	0.960
		半分解+分解层	$Q=2.056\ln(t)+15.410$	0.981
2	高山松+杜鹃混交林	未分解层	$Q=2.283\ln(t)+10.720$	0.972
		半分解+分解层	$Q=4.129\ln(t)+36.033$	0.997
3	天然云杉林	未分解层	$Q=1.683\ln(t)+18.632$	0.971
		半分解+分解层	$Q=3.358\ln(t)+57.731$	0.984
4	高山柳+白桦混交林	未分解层	$Q=1.474\ln(t)+12.929$	0.990
		半分解+分解层	$Q=5.474\ln(t)+64.827$	0.979
5	刺栎林	未分解层	$Q=0.791\ln(t)+11.481$	0.961
		半分解+分解层	$Q=1.629\ln(t)+24.760$	0.974
6	受干扰高山松纯林	未分解层	$Q=0.983\ln(t)+5.067$	0.977
		半分解+分解层	$Q=0.773\ln(t)+6.496$	0.983
7	山楂林	未分解层	$Q=1.423\ln(t)+15.716$	0.991
		半分解+分解层	$Q=2.952\ln(t)+55.027$	0.990
8	荒草地	未分解层	$Q=1.047\ln(t)+8.209$	0.971
		半分解+分解层	$Q=1.319\ln(t)+11.486$	0.992

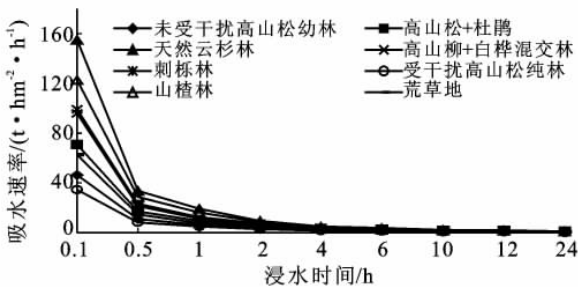


图 1 不同植被类型未分解层吸水速率与时间关系

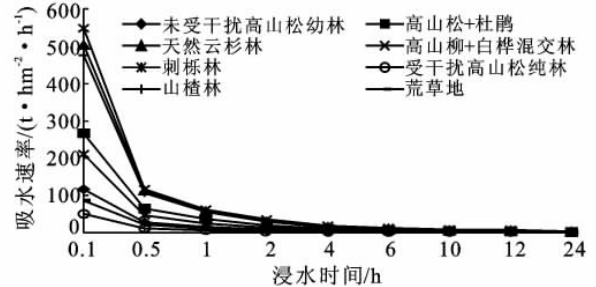


图 2 不同植被类型半分+分解层吸水速率与时间关系

对于未分解层,样地 3 吸水速率最大,样地 7、样地 4、样地 5 次之,样地 6 最小;对于半分+分解层,样地 3 吸水速率最大,样地 7 次之,样地 6 最差。从总体来看,8 种不同植被类型枯落物不同层次吸水速率为半分解+分解层显著大于未分解层,且达到饱和的时间比未分解层的长。

相较之下,未受人为干扰的高山松幼林和牲畜践踏的高山松纯林的吸水速率都基本一致,只是未受人

为干扰的高山松幼林的吸水速率均稍大于牲畜践踏的高山松纯林。

对 8 种植物类型不同层次枯落物吸水速率与浸泡时间进行拟合,发现其关系如下:

$$V=at^n$$

式中: V ——枯落物吸水速率 $[t/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$; t ——浸泡时间(h); a ——方程系数; n ——指数。

由分析得到如表 7 所示拟合方程式。

表 7 不同植被类型吸水速率 $V/[t/(\text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})]$ 与 浸泡时间 $t(\text{h})$ 的关系

植被类型	枯落物层	关系式	植被类型	枯落物层	关系式
未受干扰高山松幼林	未分解层	$V=6.709t^{-0.796}$	刺栎林	未分解层	$V=11.392t^{-0.933}$
	半分+分解层	$V=15.102t^{-0.875}$		半分+分解层	$V=24.597t^{-0.935}$
高山松+杜鹃混交林	未分解层	$V=10.22t^{-0.808}$	受干扰高山松纯林	未分解层	$V=4.886t^{-0.832}$
	半分+分解层	$V=35.360t^{-0.889}$		半分+分解层	$V=6.389t^{-0.888}$
天然云杉林	未分解层	$V=18.466t^{-0.915}$	山楂林	未分解层	$V=15.517t^{-0.911}$
	半分+分解层	$V=57.486t^{-0.943}$		半分+分解层	$V=54.785t^{-0.947}$
高山柳+白桦混交林	未分解层	$V=12.715t^{-0.891}$	荒草地	未分解层	$V=8.055t^{-0.880}$
	半分+分解层	$V=64.240t^{-0.919}$		半分+分解层	$V=11.289t^{-0.890}$

3.3.2 不同植被类型枯落物失水速率与时间的关系

枯落物在吸持水分后其失水的速率体现了枯落物的保水能力,这对处于干旱季节的林地保持水分,调节空气湿度起一定作用^[13]。研究表明,不同植被类型枯落物失水状况有一致性,失水速率基本上是随着时间增长而越来越小,呈近直线型下降,与其它研究结果相一致^[4]。

分层次来看,对于未分解层,样地 3 的失水速率最大,样地 2 和样地 7 次之,样地 6 最小;对于半分解与分解层,样地 4 失水速率最大,样地 3 和样地 7 次之,也是样地 6 最小。这说明不同植被类型不同层次枯落物的失水速率不完全一致,它与枯落物的厚度、层次组成、颗粒大小以及保水能力等因素有关(表 8—9)。

表 8 不同植被类型未分解层枯落物失水速率

t/(hm²·h)

样地号	植被类型	浸泡时间/h								
		0.1	0.5	1	2	4	6	10	12	24
1	未受干扰高山松幼林	119.41	22.94	11.16	5.32	2.39	1.29	0.60	0.34	0.07
2	高山松+杜鹃混交林	174.16	33.63	16.46	7.89	3.62	2.03	1.00	0.61	0.18
3	天然云杉林	232.82	45.12	22.05	10.44	4.88	2.97	1.55	1.11	0.46
4	高山柳+白桦混交林	157.17	29.48	13.93	6.64	3.10	1.86	0.93	0.66	0.27
5	刺楸林	128.44	24.25	11.44	5.33	2.39	1.40	0.66	0.42	0.14
6	受干扰高山松纯林	74.27	14.27	6.87	3.27	1.45	0.85	0.40	0.25	0.08
7	山楂林	175.25	32.20	15.08	6.99	3.01	1.61	0.75	0.50	0.13
8	荒草地	100.25	18.26	8.68	3.94	1.60	0.83	0.37	0.19	0.03

表 9 不同植被类型半分解+分解层枯落物失水速率

t/(hm²·h)

样地号	植被类型	浸泡时间/h								
		0.1	0.5	1	2	4	6	10	12	24
1	未受干扰高山松幼林	211.58	41.03	19.83	9.49	4.42	2.57	1.31	0.86	0.27
2	高山松+杜鹃混交林	455.48	88.84	43.50	21.10	10.08	6.11	3.31	2.27	0.76
3	天然云杉林	642.72	124.95	60.46	28.76	13.48	8.24	4.31	3.03	1.18
4	高山柳+白桦混交林	756.37	147.43	72.75	34.37	16.24	10.04	5.29	3.75	1.47
5	刺楸林	279.88	53.37	25.23	12.11	5.47	3.27	1.66	1.11	0.38
6	受干扰高山松纯林	83.22	16.05	7.71	3.68	1.67	0.99	0.48	0.31	0.10
7	山楂林	578.04	106.85	50.63	23.78	10.38	5.71	2.73	1.65	0.56
8	荒草地	154.32	26.68	12.39	5.90	2.60	1.47	0.71	0.42	0.10

相较未受人为干扰的高山松幼林和牲畜践踏的高山松纯林而言,2 个类型的失水速率无论是未分解层还是半分解与分解层都呈直线下降。未受干扰的高山松幼林比牲畜践踏的高山松纯林大得多,说明森林对水源的补给能力在一定程度上受到人为活动的影响。

总的来说,不同的植被类型枯落物经降雨后,截留降雨释放出来的水量起初很多,随着时间的变化,放水量逐渐减少,正是通过这种过程的循环来补给区域水源。而本研究的 8 种植被类型中,对于未分解层来说,天然云杉林的失水速率在整个过程中保持最好,对纳帕海湿地的持续水源补给效果最佳。对于半分解+分解层来说,高山柳+白桦混交林的失水速率在整个过程中保持最好,持续补给水源的效果最佳。

4 结论

(1) 纳帕海周边山地 8 种植被类型枯落物储量

在 36.60~5.30 t/hm² 之间,其中天然云杉林最大,荒草地最小。

(2) 不同植被类型枯落物的最大总持水量在浸泡时间内都有不同程度的增加,各类型增加的幅度不一致,高山柳+白桦混交林最大总持水量最大,为 100.04 t/hm²,相当于 10 mm 水深,是最小的受干扰高山松纯林的 5.85 倍。不同植被类型枯落物的最大总持水量与枯落物的蓄积量排序不完全一致,这种差异受植被类型、林龄、枯落物分解状况、累积状况、生物活动、前期水分状况和降水特点等多种因素的影响。

(3) 不同植被类型枯落物吸水速率存在着一定的规律,起初阶段速率大,随着时间的延长,其速率递减快,即吸水量很少,最终达到饱和状态。同时,不同植被类型枯落物失水速率也具有-致性,随着失水时间的延长而逐渐变小,呈近直线型下降。

(下转第 52 页)

- [14] 郑华平,陈子萱,王生荣,等. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(5):34-39.
- [15] 史惠兰,王启基,景增春,等. 江河源区人工草地群落特征、多样性及其稳定性分析[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 23-30.
- [16] 张耀生,周兴民,王启基,等. 应用 2,4-D 丁酯灭除中华羊茅(*Festuca sinensis*)人工草地杂草试验[J]. 中国草地, 1993, 15(1):47-51.
- [17] 张耀生,赵新全. 高寒牧区中华羊茅人工草地退化演替的数量特征研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3):285-289.
- [18] 姚骅,陆建华,蔡立群,等. 玛曲退化草地主要植被特征对不同施肥处理的响应[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(1):127-131.
- [19] 沈景林,谭刚,乔海龙,等. 草地改良对高寒退化草地植被影响的研究[J]. 草地学报, 2000(5):49-54.
- [20] 陈小燕,梁宗锁,杜锋,等. 土壤养分分布对植物群落数量特征的影响[J]. 草地学报, 2008, 16(4):380-385, 391.
- [21] Baer S G, Collins S L, Blair J M, et al. Soil Heterogeneity effects on tallgrass prairie community heterogeneity: An application of ecological theory to restoration ecology[J]. *Restoration Ecology*, 2005, 13(2):413-424.
- [22] 周青平,金继运,德科加,等. 不同施氮水平对高寒草地牧草增产效益的研究[J]. 土壤肥料, 2005(3):29-31.
- [23] 史惠兰,王启基,景增春,等. 江河源区人工草地群落特征、多样性及其稳定性分析[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 23-30.
- [24] 郑华平,陈子萱,王生荣,等. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(5):34-39.
- [25] 王长庭,龙瑞军,王启基,等. 不同类型高寒草地群落物种特征和均匀度的重要性[J]. 草业科学, 2005, 13(4): 320-323.
- [26] Morse D R, Lawton J H, Dodson M, et al. Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthropod body lengths[J]. *Nature*, 1985, 314:731-732.
- [27] Walker B. Conserving biological diversity through ecosystem resilience [J]. *Conservation of Biology*, 1995(9):747-752.
- [28] 陈波,周兴明. 三种嵩草群落中若干植物种的生态位宽度与重叠分析[J]. 植物生态学报, 1995, 19:158-169.
- [29] 董全民,赵新全,马玉寿,等. 高寒小嵩草草甸暖季草场主要植物种群的生态位[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1323-1327.
- [30] 张继义,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地植物群落恢复演替系列种群生态位动态特征[J]. 生态学报, 2003, 23(12):2741-2746.
- [31] 李瑞,张克斌,杨晓晖,等. 荒漠化草原人工封育区植物生态位研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2):213-216.

(上接第 34 页)

(4) 通过对高原湿地纳帕海周边山地不同植被类型枯落物的定性和定量研究,发现周边山地植被对纳帕海湿地的水文生态效应起到了举足轻重的作用。枯落物不仅增加土壤肥力,促进其植被的生长发育,还吸持降雨,调节洪水,调节旱季水位。相较不同植被类型枯落物的持水特性,阔叶混交林的持水量最大,即高山柳+白桦混交林的持水量最大,天然云杉林和山楂林次之,因此,纳帕海周边山地在生态恢复过程中宜发展混交林,不论是阔叶混交林还是针阔混交林的生态效应都远远大于单一树种的纯林。

[参 考 文 献]

- [1] 朱丽晖,李冬,邢宝振. 辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J]. 辽宁林业科技, 2001(1):35-37.
- [2] 林波,刘庆,吴彦,等. 川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(4): 346-352.
- [3] 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.
- [4] 戴晓勇,张贵云,崔迎春,等. 梵净山不同植被类型枯落物持水特性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(2): 155-159.
- [5] 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.
- [6] 吴钦孝,刘向东,苏宁虎,等. 山杨次生林枯枝落叶蓄积量及其水文作用[J]. 水土保持学报, 1992, 6(1):71-76.
- [7] 樊登星,余新晓,岳永杰,等. 北京西山不同林分枯落物层持水特性研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(11): 177-181.
- [8] 于明坚,李铭红,常杰,等. 浙江建德青冈常绿阔叶林凋落量研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(2):145-147.
- [9] 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.
- [10] 田昆,陆梅,常凤来,等. 云南纳帕海岩溶湿地生态环境变化及驱动机制[J]. 湖泊科学, 2004, 16(1):35-42.
- [11] 杨文利. 不同林分枯落物层持水特性研究[J]. 南昌工程学院学报, 2007, 26(6):70-73.
- [12] 杨吉华,张永涛,李红云. 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.
- [13] 韩同吉,裴胜民,张光灿. 北方石质山区典型林分枯落物层涵养水分特征[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2005, 36(2):275-278.