

刘艳会, 刘金福, 马瑞丰, 等. 格氏栲天然林 3 种群落类型凋落物的持水性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(24): 258–261.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.069

格氏栲天然林 3 种群落类型凋落物的持水性

刘艳会^{1,2}, 刘金福^{1,2}, 马瑞丰^{1,2}, 何中声^{1,2}, 洪伟^{1,2}, 冯雪萍^{1,2}

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 福建农林大学海峡自然保护区研究中心, 福建福州 350002)

摘要:采用浸水法对福建省三明市格氏栲(*Castanopsis kawakamii* Hayata)天然林 3 种群落类型(G1: 格氏栲-马尾松群落; G2: 格氏栲-木荷群落; G3: 格氏栲-米槎群落)林下凋落物的持水特性进行研究。结果表明, G2 群落凋落物的现存量最大, G3 群落凋落物的现存量最小, 且各群落全分解层的凋落物现存量高于半分解层和未分解层; 自然持水量、最大持水量、自然持水率的最大值均存在于 G1 群落, 最大持水率的最大值出现在 G3 群落, 总体上 G1 群落持水能力较强; 3 种群落类型凋落物的持水量随浸泡时间延长而增加, 0~2 h 增速最大, 而后增速变缓, 凋落物的持水量逐渐趋于饱和; 持水速率随时间延长而减小, 0.5 h 内急速下降后降速趋缓; 将凋落物各分解层持水量、持水速率与浸水时间进行拟合, 除 G2、G3 群落全分解层外均具有明显相关性。研究结果旨在为格氏栲群落可持续经营提供依据。

关键词: 格氏栲天然林; 凋落物; 水文生态功能; 持水特性; 自然持水量; 最大持水量; 自然持水率

中图分类号: S714.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)24-0258-04

森林凋落物是森林在新陈代谢过程中, 经自然、人为干扰后产生的有机残留物^[1]。在物质循环、土壤理化性质调节、水量平衡维持、抑制土壤水分蒸发、阻滞地表径流上发挥着不

收稿日期: 2016-07-09

基金项目: 福建省科技厅引导性项目(编号: 2015Y0042); 福建省自然科学基金(编号: 2014J01380、2015J05051)。

作者简介: 刘艳会(1991—), 女, 河北承德人, 硕士研究生, 主要从事自然地理学研究。E-mail: liuyh369@yeah.net。

通信作者: 刘金福, 博士, 教授, 主要从事森林生态学研究。E-mail: fjljf@126.com。

进行。花生壳粉对 $\text{PO}_4(\text{P})$ 的最大吸附量为 43.87 mg/g。

参考文献:

- [1] 孙小梅, 刘勇, 李步海. 改性花生壳粉对 Mn^{2+} 的吸附[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2009, 28(4): 23–27.
- [2] 黄翔, 宗浩, 陈文祥, 等. 花生壳对水溶液中铜离子的吸附特性[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2007, 30(3): 380–383.
- [3] 史会齐, 周嵘, 焦贺贤, 等. 花生壳综合利用研究——花生壳对 $\text{Cr}(\text{VI})$ 的吸附作用[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2004, 34(2): 41–43.
- [4] 杨国栋. 花生壳吸附水中 Cr^{6+} 的研究[J]. 离子交换与吸附, 2012, 28(4): 369–374.
- [5] 李小燕, 刘义保, 花明, 等. 花生壳吸附溶液中铈的研究[J]. 水处理技术, 2012, 38(3): 38–40.
- [6] 张燕军, 苗明升, 孔强, 等. 改性丝瓜络纤维对水体日落黄的吸附特性[J]. 环境工程学报, 2014, 8(12): 5277–5283.
- [7] Wang W Y, Yue Q Y, Xu X, et al. Optimized conditions in preparation of giant reed quaternary amino anion exchanger for phosphate removal[J]. Chemical Engineering Journal, 2010, 157(1): 161–167.
- [8] Babić B M, Milonjić S K, Polovina M J, et al. Point of zero charge and intrinsic equilibrium constants of activated carbon cloth[J]. Carbon,

可替代的生态服务功能^[2–3]。许多学者对凋落物涵养水源能力进行了研究, 目前主要从不同林分类型(针叶林、阔叶林、混交林等)和影响因素(组成、储量、分解度等)2 个方面进行研究^[4–9]。通过不同林分类型和各种影响因素与凋落物涵养水源关系的研究, 对合理经营森林资源、改善水环境、实现水资源科学管理和利用具有重要意义^[10]。

福建省三明小湖地区约有 700 hm^2 以格氏栲(*Castanopsis kawakamii* Hayata)占优势的天然林, 为中亚热带常绿阔叶林地带南缘局部地区的重要林型, 是目前全世界独一无二的大面积格氏栲林, 堪称“世界格氏栲林”^[11]。目前该天然林出

1999, 37(3): 477–481.

- [9] 许醒, 高悦, 高宝玉, 等. 麦草制吸附剂对水体中不同阴离子的吸附性能[J]. 中国科学: 化学, 2010, 40(10): 1558–1563.
- [10] Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids[J]. Journal of America Chemical Society, 1916, 38(11): 2221–2295.
- [11] Freundlich H M F. Over the adsorption in solution[J]. Journal of Physical Chemistry, 1906, 57(385471): 1100–1107.
- [12] 李朝丽, 周立祥. 黄棕壤不同粒级组分对镉的吸附动力学与热力学研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1406–1411.
- [13] Li X, Li B H, Wu S, et al. Silica-based iminodiacetic acid functionalized adsorbent for Ni hydrometallurgical extraction of nickeliferous laterite[J]. AIChE Journal, 2012, 58(12): 3818–3824.
- [14] Gode F, Pehlivan E. Removal of $\text{Cr}(\text{VI})$ from aqueous solution by two Lewatit – anion exchange resins[J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, 119(1/2/3): 175–182.
- [15] Kılıç M, Yazılıç H, Solak M. A comprehensive study on removal and recovery of copper(II) from aqueous solutions by NaOH-pretreated *Marrubium globosum* sp. *globosum* leaves powder: potential for utilizing the copper(II) condensed desorption solutions in agricultural application[J]. Bioresource Technology, 2008, 100(7): 2130–2137.

现断代严重、更新困难等问题,久之可能会被马尾松(*Pinus massoniana*)、木荷(*Schima superba*)、米槎(*Castanopsis carlesii*)演替^[12]。为合理保护格氏栲的优势地位,许多学者从不同角度对该格氏栲林进行了研究,关于凋落物的研究主要集中在分解程度和养分周转方面,对林下凋落物持水特性的研究还鲜有报道^[11-16]。因此,通过实地调查选取立地条件相同的 3 种典型格氏栲群落,研究不同群落类型凋落物的持水特性,旨在促进格氏栲天然林的可持续经营^[15]。

1 研究地概况

格氏栲自然保护区位于福建省三明市莘口镇,地理坐标为 26°01′~26°06′N,117°24′~117°27′E,地处武夷山东伸支脉地带,是低山丘陵地貌区,海拔在 250~500 m 之间,属中亚热带季风性气候,年平均温度 19.5℃,最高温度 40.0℃,最低温度 5.5℃,年平均降水量 1 500 mm。土壤类型为暗红壤,腐殖质丰富,水肥条件好。主要功能为保护以格氏栲为主的珍稀树种及其伴生动植物资源和生态环境。研究区乔木层主要由格氏栲、马尾松、木荷、米槎等构成。种群密度为 100 株/hm²,平均树高 21.5 m,胸径 32.4 cm,郁闭度约为 0.8;灌木层主要有狗骨柴(*Diplospora dubia*)、山黄皮(*Clausena dentata*)、杜茎山(*Measa japonica*)、沿海紫金牛(*Ardisia punctata*)等;草本植物主要有狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、华山姜(*Alpinia japonica*)、芒其(*Dicranopteris dichotoma*)等^[11]。

2 研究方法

2.1 凋落物现存量的测定

于 2014 年 4 月进行取样,调查分析福建省三明市小湖地区格氏栲林后,选取 3 个典型群落类型(G1:格氏栲-马尾松群落;G2:格氏栲-木荷群落;G3:格氏栲-米槎群落),沿“之”字形分别设置 9 个样方。每个样方为 10 m×10 m,收集 1 m×1 m 的凋落物,按未分解(L,由新鲜凋落物组成,叶片保持原有形态,颜色变化不明显,质地坚硬,外表无分解痕迹)、半分解(F,颜色明显变黑,叶片无完整外观轮廓,多数凋落物已粉碎)、全分解(H,被分解成碎屑,叶肉已不能辨识原形)3 个层次取样,并称取鲜质量,然后将各层凋落物在实验室 85℃下烘干至恒质量,测定各层现存量及凋落物含水率。

2.2 凋落物持水特性的测定

采用浸水法测定凋落物的持水量。将每个样方内各层凋落物样品称质量记做 m_1 ,分别装入湿布袋(预先称量记录干布袋质量)进行称质量;接下来将凋落物烘干称质量,记做 m_2 ;再将装有凋落物的布袋完全浸没于盛有清水的容器中,分别浸泡 0.25、0.50、1.00、2.00、4.00、8.00、16.00、24.00 h 后取出称质量,直至凋落物不滴水为止,迅速称量凋落物的湿质量,记做 m_3 。将凋落物连同布袋一并取出静置后称质量。浸水结束后,将凋落物连同布袋一同烘干(85℃,24 h)后再称质量。凋落物持水率、凋落物持水量和凋落物吸水速率按下列公式计算:

$$\text{自然持水量: } R_0 = m_1 - m_2;$$

$$\text{自然持水率: } R'_0 = (m_1 - m_2) / m_2 \times 100\%;$$

$$\text{最大持水量: } R_{\max} = m_3 - m_2;$$

$$\text{最大持水率: } R' = (m_3 - m_2) / m_2 \times 100\%。$$

3 结果与分析

3.1 3 种群落类型及分解层凋落物现存量

由表 1 可知,凋落物现存量总量表现为 G2 > G1 > G3。3 个群落全分解层均占各群落凋落物现存量总量的比例最大,不同分解层凋落物现存量分布不均匀。G1 群落未分解层的凋落物现存量略大于半分解层,而 G2 和 G3 群落的半分解层凋落物现存量大于未分解层。

表 1 3 种群落类型凋落物的现存量

群落类型	凋落物现存量(g/m ²)			
	未分解	半分解	全分解	总量
G1	25.93 ± 7.38	18.90 ± 1.71	38.33 ± 29.28	83.16 ± 9.40
G2	18.1 ± 0.80	45.60 ± 8.40	47.90 ± 29.27	111.60 ± 16.58
G3	13.45 ± 2.90	17.60 ± 2.90	41.70 ± 20.36	72.75 ± 15.25

3.2 3 种群落类型及分解层凋落物的持水能力

由表 2 可知,3 种群落类型相同分解层的自然持水量和最大持水量无显著性差异,G3 群落在未分解层自然持水率方面显著高于 G2、G1 群落,同时其半分解层的最大持水率显著高于 G2 群落。同一群落类型不同层次之间的最大持水量无显著性差异,G1、G2 群落未分解层自然持水率显著低于半分解层和全分解层,而半分解层和全分解层之间的自然持水率差异不显著。3 种群落类型的自然持水量除 G1 群落外,G2、G3 群落内不同层次之间均存在显著性差异,且 G2、G3 群落的自然持水量呈现出全分解层 > 半分解层 > 未分解层,G1 群落的自然持水量呈现出全分解层显著高于未分解层的持水特性。总体上,G1 群落的自然持水率、自然持水量、最大持水量基本占据相应最大值,该群落的持水能力较强。G3 群落在最大持水率方面高于其他 2 个群落,可能是 G3 群落初始干质量过低,浸水后持水总量增加幅度较大造成的。就各分解层而言,3 种群落全分解层的自然持水量和最大持水量高于半分解层和未分解层的对应值;半分解层在自然持水率方面高于其他 2 个层次,而未分解层在 G2、G3 群落的最大持水率方面呈现最大值。

3.3 3 种群落类型及分解层凋落物持水过程

由图 1 可知,3 个群落类型的持水量随浸水时间延长而增加,在 0~2 h 内增加较快,该阶段凋落物吸水速率较高,其持水量占总持水量的 60% 以上,浸水 2 h 后增速逐渐趋缓,8 h 后呈现平稳状态,表明凋落物持水量已基本达到饱和。由图 2 可知,3 个群落类型凋落物持水速率随时间增加而下降,在 0.5 h 内尤为明显,2 h 后浸水速率下降幅度趋缓,8 h 后变化曲线基本平稳。整个研究过程中,总体持水量随着时间的变化呈现 G1 > G2 > G3 的趋势,而持水速率下降趋势表现为 G3 > G2 > G1,与表 2 研究结果一致。

凋落物各分解层浸水时间 t 与持水量 $W(H)$ 、持水速率 $W(A)$ 之间的关系分别可以用 $W(H) = A \ln t + B$ 、 $W(A) = At^{-B}$ 表示,其中 A 、 B 为调整系数。将 3 种群落不同分解层浸水时间与持水量及持水速率按照以上方程进行拟合,并与实际测量结果进行比较。由表 3 可知,所得方程持水量与浸水时间相关系数除格氏栲-米槎群落和格氏栲-木荷群落的全分解

表 2 3 种群落类型凋落物的持水能力

群落类型	分解层次	自然持水率(%)	自然持水量(g/m ²)	最大持水率(%)	最大持水量(g/m ²)
G1	未分解	53.48 ± 7.6Bb	123.63 ± 49.51Ab	190.29 ± 48.48Aa	426.31 ± 124.67Aa
	半分解	160.55 ± 11.17Aa	308.14 ± 61.17Aab	174.04 ± 4.96ABa	333.13 ± 52.65Aa
	全分解	153.50 ± 11.34Aa	591.70 ± 370.00Aa	232.23 ± 91.65Aa	794.58 ± 265.36Aa
G2	未分解	42.63 ± 8.11Bb	104.34 ± 13.12Ac	187.96 ± 10.77Aa	289.47 ± 90.79Aa
	半分解	79.45 ± 5.16Aa	263.24 ± 7.42Ab	115.91 ± 44.83Ba	425.80 ± 2.95Aa
	全分解	49.74 ± 17.16Aa	305.49 ± 10.25Aa	96.97 ± 16.10Ab	553.24 ± 65.47Aa
G3	未分解	98.74 ± 5.51Aa	74.28 ± 41.43Ac	575.59 ± 473.68Aa	330.93 ± 96.30Aa
	半分解	153.93 ± 43.25Aa	247.84 ± 14.09Ab	224.24 ± 31.41Aa	369.98 ± 73.90Aa
	全分解	89.97 ± 18.84Aa	304.81 ± 30.15Aa	153.15 ± 44.08Aa	559.49 ± 317.81Aa

注:不同大写字母表示同一层次不同群落之间差异显著($P < 0.05$);不同小写字母表示同一群落不同层次之间差异显著($P < 0.05$)。

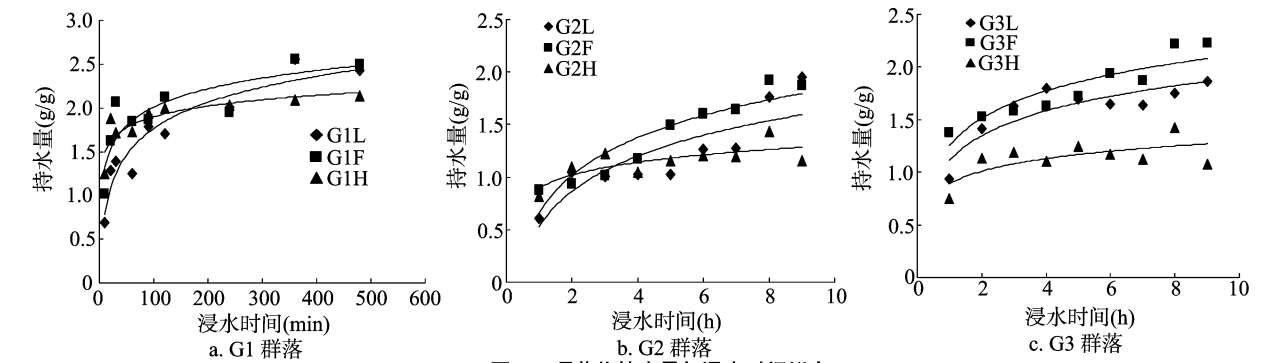


图1 凋落物持水量与浸水时间拟合

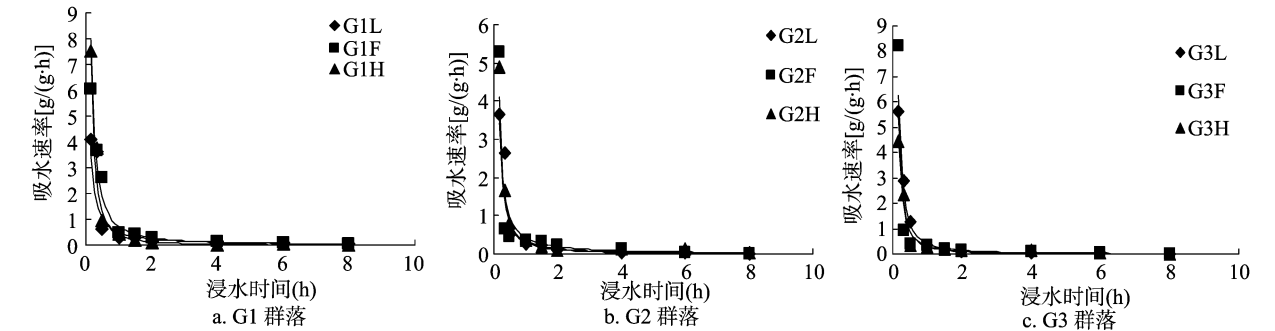


图2 凋落物持水速率与浸水时间拟合

层外,其余均属显著相关(相关系数 > 0.600 0 为显著相关),表明凋落物持水能力与浸水时间关系密切。

4 结论与讨论

凋落物现存量受多种因素影响,各树种凋落峰期不同会

使现存量产生差异。木荷有春、秋季 2 个凋落高峰期,米楮凋落峰期在初夏和秋季,而马尾松凋落峰期在深秋^[17]。因此,4 月采样会出现格氏栲—木荷群落凋落物现存量高于其他 2 个群落的情况。3 种群落各分解层占凋落物总量的比例也存在差异,原因在于三明市春季期间降水量增加,光照相对充足,

表 3 3 个群落不同分解层凋落物持水量、持水速率与浸水时间的拟合方程

群落类型	分解层次	持水量与浸水时间		持水速率与浸水时间	
		拟合方程	相关系数	拟合方程	相关系数
G1	未分解	$W(H) = 0.429\ 6\ln t - 0.212\ 1$	0.908 0	$W(A) = 0.498\ 2t^{-1.085}$	0.913 7
	半分解	$W(H) = 0.301\ 6\ln t + 0.620\ 0$	0.753 0	$W(A) = 0.721\ 6t^{-1.342}$	0.975 8
	全分解	$W(H) = 0.176\ 3\ln t + 1.087\ 2$	0.749 5	$W(A) = 0.399\ 0t^{-1.652}$	0.965 4
G2	未分解	$W(H) = 0.279\ 7\ln t - 0.012\ 1$	0.811 6	$W(A) = 0.297\ 6t^{-1.465}$	0.967 9
	半分解	$W(H) = 0.295\ 6\ln t + 0.099\ 4$	0.949 8	$W(A) = 0.327\ 4t^{-1.312}$	0.878 8
	全分解	$W(H) = 0.087\ 2\ln t + 0.763\ 4$	0.493 4	$W(A) = 0.423\ 6t^{-1.18}$	0.907 5
G3	未分解	$W(H) = 0.163\ 4\ln t + 0.877\ 2$	0.615 2	$W(A) = 0.405\ 9t^{-1.528}$	0.968 4
	半分解	$W(H) = 0.215\ 6\ln t + 0.838\ 1$	0.915 1	$W(A) = 0.312\ 0t^{-1.501}$	0.902 4
	全分解	$W(H) = 0.079\ 1\ln t + 0.787\ 5$	0.340 7	$W(A) = 0.283\ 0t^{-1.648}$	0.809 0

土壤温度上升,微生物活动频繁,现存凋落物分解加速,使得凋落物全分解层现存量较大。

不同林分类型凋落物的持水能力存在差异,陈玉生等认为针叶树优于阔叶树,针叶吸水面积比阔叶吸水面积大,持水性更好^[7]。受郁闭度、组成、特性、海拔等因子的影响,贾秀红等认为阔叶林的持水性能好于针叶林^[5,10]。相同林分、不同地区、不同取样时间下凋落物持水性也存在差异^[18-19]。在所研究的 3 种群落内,总体上格氏栲-马尾松群落凋落物持水性能最强,即针阔混交林优于阔叶混交林,这与郑文辉等的研究结果^[20]不同,可能是群落间凋落物现存量之间差异造成的,或是取样地点不同,林分立地条件差异使得凋落物持水能力表现不同。3 种群落类型最大持水量方面的最高值均在全分解层,可见全分解层持水能力较强。原因在于全分解层凋落物现存量占各群落凋落物总现存量的比例最大,其持水能力又最强,由此也表明凋落物持水能力与现存量之间密切相关^[21]。

3 种群落类型凋落物的持水量随浸水时间呈先快后慢的增加趋势,主要与凋落物浸水之初的水势有关,浸水初期水势较低,前 2 h 持水率的增长速度较快,随后凋落物表面水势差逐渐减小,吸水速率随之减缓。浸水 8 h 后,凋落物对水的吸附作用已经趋于饱和,凋落物表面与外界的水势基本一致,持水速率基本保持不变^[22]。相同时间内,格氏栲-马尾松群落的持水量高于其他 2 个群落的持水量,说明其持水性能优于格氏栲-木荷群落和格氏栲-米槠群落。同时,半分解层随着时间的延长表现出最高持水能力,与常雅军等的研究结果^[23]一致,全分解层持水能力最小,这说明半分解层吸水最快,可容纳的水量空间最大,全分解层较小,而全分解层最大持水量最大,原因在于其自然持水量大于其他层次群落内各分解层。凋落物持水速率随时间的增加而减弱,0.5 h 内下降趋势明显,2 h 后逐渐趋于平缓,对截获短期降水具有重要意义^[20]。持水量、持水速率与浸水时间的拟合结果表明,凋落物持水性能受时间的影响较大。随着降水时间的延长,雨量增多,凋落物持水能力逐渐减弱,即持续降水 8 h 后,可能会出现水分饱和,水分渗入土壤,甚至形成地表径流。

格氏栲作为珍稀濒危树种,已处于衰退阶段,野外种子萌发困难,幼苗生长缓慢,米槠、木荷、马尾松侵入趋势明显,为保护格氏栲的优势地位,须要进行人为干扰,以促进其苗木更新^[14]。种子萌发和幼苗建立是物种更新的关键阶段,凋落物持水能力是决定种子萌发和幼苗生长的关键因素,同时凋落物现存量也决定着格氏栲种子的萌发条件^[12,24]。1 月下旬,格氏栲种子掉落近尾声,之后进入萌发阶段,春季幼苗生长对水分的需求使得凋落物持水能力显得尤为重要^[12]。此次研究仅对 4 月份凋落物现存量及分解层持水性能进行探讨,3 种群落类型林下调落物对种子萌发状态的影响及其持水特性对格氏栲幼苗生长、种群更新的具体作用须做进一步观察研究,以期对格氏栲种群合理经营提供依据。

参考文献:

[1] Allison S D, Vitousek P M. Rapid nutrient cycling in leaf litter from invasive plants in Hawai'i [J]. *Oecologia*, 2004, 141 (4): 612 -

619.

- [2] 马文济,赵延涛,张晴晴. 浙江天童常绿阔叶林不同演替阶段地表凋落物的 C:N:P 化学计量特征[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(8): 833 - 842.
- [3] 蒋有绪. 川西亚高山冷杉林枯枝落叶层的群落学作用[J]. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1981, 5(2): 89 - 98.
- [4] 闫俊华,周国逸,唐旭利,等. 鼎湖山 3 种演替群落凋落物及其水分特征对比研究[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 509 - 512.
- [5] 贾秀红,曾毅,周志翔,等. 鄂中低丘区不同演替阶段森林凋落物和土壤水文特征[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(4): 125 - 129.
- [6] 潘紫重,杨文化,曲银鹏. 不同林分类型凋落物的蓄水功能[J]. *东北林业大学学报*, 2002, 30(5): 19 - 21.
- [7] 陈玉生,张卓文,韩兰,等. 连峡河小流域不同森林类型凋落物持水特性研究[J]. *华中农业大学学报*, 2005, 24(2): 207 - 212.
- [8] 王佑民. 中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 108 - 113.
- [9] 孟玉珂,刘小林,袁一超,等. 小陇山林区主要林分凋落物水文效应[J]. *西北林学院学报*, 2012, 27(6): 48 - 51.
- [10] 王绍忠. 森林凋落物涵养水源生态功能研究进展[J]. *中南林业调查规划*, 2014, 33(3): 43 - 46, 56.
- [11] 杨玉盛,林鹏,郭剑芬,等. 格氏栲天然林与人工林凋落物数量、养分归还及凋落叶分解[J]. *生态学报*, 2003, 23(7): 1278 - 1289.
- [12] 何中声,刘金福,洪伟,等. 不同处理对格氏栲种子发芽的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2012, 34(2): 66 - 70.
- [13] 郑郁善,郑盛培. 格氏栲等树种种发芽率的射线检验[J]. *福建林学院学报*, 1994, 14(1): 23 - 26.
- [14] 刘金福,何中声,洪伟,等. 濒危植物格氏栲保护生态学研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2011, 33(5): 136 - 143.
- [15] 何中声,刘金福,郑世群,等. 格氏栲天然林林窗和林下种子散布及幼苗更新研究[J]. *热带亚热带植物学报*, 2012, 20(5): 506 - 512.
- [16] 杨玉盛,郭剑芬,林鹏,等. 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层碳库及养分库[J]. *生态学报*, 2004, 24(2): 359 - 367.
- [17] 张磊,王晓荷,米湘成,等. 古田山常绿阔叶林凋落量时间动态及冰雪灾害的影响[J]. *生物多样性*, 2011, 19(2): 206 - 214.
- [18] 葛晓改,周本智,肖文发. 马尾松人工林凋落物产量、养分含量及养分归还量特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(7): 996 - 1003.
- [19] 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等. 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态[J]. *生态学报*, 2014, 34(3): 633 - 641.
- [20] 郑文辉,林开敏,徐昇,等. 7 种不同树种凋落叶持水性能的比较研究[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(1): 88 - 91.
- [21] Xu X N, Hirata E. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 157(1): 165 - 173.
- [22] 肖洋,陈丽华,余新晓. 北京密云水库地区 2 种人工林生态系统水文效应研究[J]. *中国水土保持科学*, 2009, 7(1): 37 - 42.
- [23] 常雅军,曹靖,马建伟,等. 秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2346 - 2351.
- [24] 王俊,王卓哈,杨龙,等. 浇水频率和凋落物覆盖量对蕨类种子萌发及幼苗存活的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2097 - 2102.