

冀西北地区不同生态系统枯落物的水文效应

潘天石, 左丽君, 张增祥, 赵晓丽, 孙菲菲, 朱自娟

(中国科学院 遥感与数字地球研究所, 北京市 100020)

摘要: [目的] 揭示不同植被生态系统枯落物水文效应的差异, 为张家口地区生态空间格局优化提供支撑。[方法] 基于样地调查和统计分析方法, 分别对冀西北地区张家口市森林、农田和草地 3 种生态系统的枯落物在生长季末期持水能力及其与生物量之间的关系进行分析。[结果] ① 森林生态系统枯落物的最大持水量(30.7t/hm²)、有效拦蓄量(22.97t/hm²)、有效拦蓄率(187.49%)和吸水速率(5.84g/h)4 个指标均优于其他两类生态系统。② 草地枯落物的各项水文指标均值皆高于农田, 最大持水率甚至高于森林生态系统。③ 枯落物生物量与其最大持水量和有效拦蓄量呈显著正相关关系, 而枯落物占生态系统总生物量的比例随总生物量增加呈幂数下降。[结论] 如果造林营林方式正确, 森林生态系统能够提升区域水源涵养水平, 同时草地的水源涵养能力不容忽视, 市域内大范围的耕地向草地扩展, 将直接影响区域的水源涵养能力。以生物量表征的生态系统固碳能力与枯落物蓄水所反映的水源涵养能力之间的响应关系在生态系统不同尺度下具有不同的表现, 在对区域生态空间格局进行优化时, 需明确特定环境下不同生态系统类型枯落物的水源涵养能力及其变化对其他生态服务功能的影响, 从而实现各生态系统平衡发展。

关键词: 张家口地区; 植被生态系统; 枯落物; 水文效应; 生态系统功能

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0050-06

中图分类号: S715, Q146

文献参数: 潘天石, 左丽君, 张增祥, 等. 冀西北地区不同生态系统枯落物的水文效应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 50-55. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.008; Pan Tianshi, Zuo Lijun, Zhang Zengxiang, et al. Hydrological effects of litters in different ecosystems in Northwestern Hebei Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 50-55.

Hydrological Effects of Litters in Different Ecosystems in Northwestern Hebei Province

Pan Tianshi, Zuo Lijun, Zhang Zengxiang, Zhao Xiaoli, Sun Feifei, Zhu Zijuan
(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy Sciences, Beijing 100020, China)

Abstract: [Objective] The differences in hydrological effects of litters in different vegetation ecosystems were investigated to provide support for the optimization of the ecological spatial pattern in Zhangjiakou region. [Methods] Based on field investigation and statistical analysis, the water-holding capacities of litters at the end of the growing season of three ecosystems (forests, farmland, and grassland) in Zhangjiakou region and its relationship to ecosystem biomass were analyzed. [Results] ① The maximum water-holding capacity (30.7 t/hm²), effective storage capacity (22.97 t/hm²), effective interception rate (187.49%), and water absorption rate (5.84 g/h) of forest ecosystem were superior to those of the other two types of ecosystems. ② The hydrological indicators of grassland were better than those of farmland. Its maximum water-holding capacity was higher than that of forests. ③ There was a significant positive correlation between litter biomass and its maximum water-holding capacity and effective storage capacity, whereas the proportion of litter in the total ecosystem biomass decreased with the increase in total biomass. [Conclusion] On condition that the afforestation method is appropriate, forest ecosystems could improve regional water conservation levels. Simultaneously, the water conservation capacity of grassland should not be ignored. The large-scale expansion of cultivated land in the city to grassland would directly affect the water conservation capacity of

收稿日期: 2019-12-30

修回日期: 2020-01-24

资助项目: 国家科技重大专项“张家口地区水源涵养功能保持与生态空间优化总体方案研究”(2017ZX07101001-05)

第一作者: 潘天石(1992—), 男(汉族), 黑龙江省哈尔滨市人, 博士研究生, 研究方向为地图学与地理信息系统。Email: 625623982@qq.com。

通讯作者: 左丽君(1982—), 女(汉族), 江西省上高县人, 博士, 副研究员, 主要从事国土资源遥感研究。Email: zuolj@radi.ac.cn。

the region. In addition, the response relationship between the carbon sequestration capacity characterized by biomass and the water conservation capacity reflected by the litter storage had different performances at different scales of the ecosystem. When optimizing the regional ecological spatial pattern, it was necessary to clarify the water conservation capacity of litters in different ecosystem types at a specific scale, as well as its response to other ecological service functions, to achieve balanced development of each ecosystem.

Keywords: Zhangjiakou region; vegetation ecosystem; litters; hydrological effect; ecosystem function

当前京津冀地区水资源短缺、水环境污染、水生态退化问题严峻,张家口地区作为京津冀水源地和防风固沙屏障,其水源涵养功能的保持与提升对保障京津冀生态安全具有重大意义。张家口地处中国的农牧交错生态脆弱带,生产生活密集的聚落和农田生态系统与自然呈现的森林、草地、湿地生态系统的融合,使得这一区域的生态系统复杂多样。近年来,区域内生态系统变化剧烈,大规模造林和灌溉农田的扩张对区域水文、水循环的影响巨大。

枯落物层作为重要的地表覆盖物,可以通过截获光照和对地表覆盖结构的改变影响土壤和大气间的热量传递^[1],进而影响土壤温度和湿度^[2]。此外,枯落物层结构疏松,能够有效地吸纳穿透冠层的降水,迟滞地表径流产生时间,减少地表径流流量,防止土壤溅蚀,从而帮助植物群落涵养水源、促进水分向土壤的渗透,起到调节径流和减少水土流失的作用,对提高水源涵养能力意义重大^[3-7]。

目前关于枯落物水文效应的研究大多集中于森林生态系统,如 Beasley R S 等^[8]指出森林枯落物层截水能力与其厚度、湿润状况和持水能力等因素有关;胡静霞等^[9]发现冀西北地区4种纯林中,阔叶林涵养水源功能优于针叶林,土壤层的持水能力强于枯落物层;王安宁等^[10]对不同坡位黄柳枯落物的持水性能和吸水能力进行对比,发现坡中位置持水性能最好;另外其他学者还对森林枯落物对地表径流、土壤水分蒸发的影响做了研究,指出枯落物能抑制土壤水分蒸发并增强土壤入渗^[11-13]。

冀西北地区地区森林、农田、草地生态系统覆盖面积分别占整个张家口区域面积的18.76%,48.23%和25.83%,该区域内农田生态系统和草地生态系统枯落物的水文效应研究相对缺乏,农作物和草地中的枯落物对区域水源涵养和水土保持能力贡献未知,而对不同植被生态系统枯落物水文效应的对比研究,能够为提升区域水源涵养能力提供理论依据。本研究基于野外采样和室内测定数据,对张家口地区森林、农田和草地生态系统的枯落物持、蓄水能力进行分析,选取最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量、有效拦蓄率和吸水速率作为水文效应评价指标,对比3种植被生态系统之间和生态系统内部植(作)物类型的枯落

物水文效应强弱,并探究其与枯落物生物量、生态系统生物量之间的关系。

1 研究区域概况

张家口位于东经113°50'—116°30',北纬39°30'—42°10'。东靠河北省承德市,东南毗连北京市,南邻河北省保定市,西、西南与山西省接壤,北、西北与内蒙古自治区交界,张家口市南北长289.2 km,东西宽216.2 km,总面积 3.68×10^4 km²。该区属东亚大陆性季风气候,年平均气温为7.6℃,年降水量为330~400 mm。受地形和所处地理位置的影响,一年四季分明,春季干燥多风沙,降水较少;夏季炎热短促,降水集中,昼夜温差较大;秋季晴朗天气偏多,但气温下降快;冬季寒冷而漫长,大风天气较多。2015年张家口市土地覆盖遥感调查显示,区域内农田生态系统面积比例46%,森林生态系统、草地生态系统面积比例均为23%,湿地生态系统和聚落生态系统比例均为4%,剩余部分为裸地。

2 研究方法

2.1 样地布设

2018年9月在张家口不同区县设置不同类型的生态系统调查样地,森林生态系统中样地35个,包含的主要乔木树种有落叶松(*Larix gmelinii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、樟子松(*Pinus sylvestris*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、杨树(*Populus simonii* var. *przewalskii*)、辽东栎(*Quercus mongolica*),分针、阔叶进行分析;农田生态系统样地30个,包含有玉米、马铃薯、莜麦、胡麻、甜菜、西兰花、向日葵等张家口市主要作物,挑选其中样地数量较多的玉米和马铃薯进行分析;草地生态系统样地9个。森林生态系统中,在每种林分类型中设置正方形样地,每个样地面积25.82 m×25.82 m(约合0.067 hm²),记录样地坐标、坡度、森林类型、乔木地上和地下生物量、叶面积指数等信息,生物量由生物量回归方程计算获得。在农田生态系统中,设置1 m×1 m的样地,调查地上、地下生物量,草地生态系统中样地布设方式同农田生态系统,但未分层调查生物量,二者生物量通过收获法进行计算。

2.2 枯落物生物量测定

在各样地设置 50 cm×50 cm 的样方收集枯落物,仔细去除样方内的植物活体后用钢卷尺测量枯落物层的厚度,并收集枯落物。由于 3 个生态系统的枯落物分解层分层不明显,本次试验并未对枯落物进行分层处理。将样本带回实验室后,迅速用电子天平称量其鲜质量记为 G_1 ,然后放置在 80 ℃ 的烘箱内烘干并用电子天平称量其干质量作为样方内枯落物的生物量记为 G_2 ,质量单位精确到 0.01 g。

2.3 枯落物持水、拦蓄、吸水能力测算

本研究用最大持水量和最大持水率来衡量枯落物的持水能力,用有效拦蓄量和有效拦蓄率来衡量枯落物拦蓄水能力,用吸水速率衡量枯落物吸水能力,按照占有最优指标项的多少来评价生态系统的水文效应。对枯落物持、蓄水能力指标的检测采取室内浸水法。取适量已经烘干至恒质量的枯落物称质量,记为干质量 m_1 。将样品放进纱网并完全浸入水中,浸泡 24 h 候再称其质量,记为湿质量 m_{24} 。自然含水率 (R_0) 是指自然状态下,枯落物自然状况下含水量与干重的比值;最大持水量 (W_{hmax}) 通常用枯落物经过 24 h 吸水后的持水量估算^[6],最大持水率 (R_{hmax}) 为最大持水量与干质量之比。枯落物最大拦蓄量 (W_{smax}) 体现的是理想条件(即枯落物完全干枯,只剩干物质,不含任何水分,能够实现对水分最大吸收的情况)下枯落物的拦蓄性能,是指除去自身含水量之外枯落物的最大持水量^[6]。有效拦蓄量 (W_{sv}) 则是枯落物在自然环境中实际拦蓄径流的能力,约为 85% 的最大持水量与自然含水量的差值^[6]。最大拦蓄率 (R_{smax}) 和有效拦蓄率 (R_{sv}) 分别为最大拦蓄率和有效拦蓄率与干质量之比。另外,本次试验中缺少不同持水时间测定的枯落物持水量,所以并未对枯落物吸水速率随时间的变化进行分析,用每小时的平均吸水速率 (V) 来评价枯落物的吸水能力。

$$R_0 = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \quad (1)$$

$$W_{hmax} = m_{24} - m_1 \quad (2)$$

$$R_{hmax} = \frac{m_{24} - m_1}{m_1} \quad (3)$$

$$W_{sv} = (0.85W_{hmax} - R_0) \times m_1 \quad (4)$$

$$W_{smax} = (R_{hmax} - R_0) \times m_1 \quad (5)$$

$$R_{sv} = 0.85R_{hmax} - R_0 \quad (6)$$

$$R_{smax} = R_{hmax} - R_0 \quad (7)$$

$$V = \frac{m_{24} - m_1}{24} \quad (8)$$

2.4 数据分析处理

用 Excel 整理数据,SPSS 进行显著性分析、相关

性分析。比较不同生态系统各项指标间差异显著性时,对于方差齐性的数据进行 ANOVA 单因素方差分析,对于方差不齐的数据用非参数检验中 K-W 方法描述其差异显著性。

3 结果与分析

3.1 枯落物水文效应

3.1.1 枯落物持水能力 3 种生态系统的单位面积枯落物最大持水量有所不同(如表 1 所示)。森林生态系统的单位面积上最大持水量(30.70 t/hm²)显著 ($p < 0.01$) 高于草地生态系统(1.23 t/hm²) 和农田生态系统(1.18 t/hm²);农田生态系统和草地生态系统的最大持水量差异不大 ($p > 0.05$),农田生态系统均值略低于草地生态系统均值。在不同生态系统内部,不同植(作)物的最大持水量间也存在差异,农田生态系统类型中,马铃薯的最大持水量(1.59 t/hm²) 显著 ($p < 0.05$) 高于玉米的最大持水量(0.64 t/hm²),森林生态系统类型中,针叶林最大持水量(38.50 t/hm²) 显著 ($p < 0.05$) 大于阔叶林最大持水量(20.29 t/hm²),这与生物量的累积量相关。

表 1 不同生态系统类型及其内部植(作)物类型枯落物最大持水能力

生态系统类型	最大持水量/(t·hm ⁻²)	生态系统内植(作)物类型	最大持水量/(t·hm ⁻²)
草地	1.23±0.14 ^b		
农田	1.18±0.18 ^b	马铃薯	1.59±0.25 ^c
		玉米	0.64±0.03 ^d
森林	30.70±5.01 ^a	阔叶林	20.29±4.17 ^b
		针叶林	38.50±7.83 ^a

生态系统类型	最大持水率/%	生态系统内植(作)物类型	最大持水率/%
草地	272.88±6.04 ^a		
农田	242.71±17.67 ^a	马铃薯	273.68±25.76 ^a
		玉米	202.90±13.3 ^b
森林	257.84±16.09 ^a	阔叶林	270.15±14.79 ^a
		针叶林	248.61±26.06 ^a

注:同列不同字母表示差异显著, $p < 0.05$, 下同。

3 种生态系统的枯落物平均最大持水率变化范围 242.71~272.88%,但差异并不显著 ($p > 0.05$),从高到低依次为草地(272.88%),森林(257.84%),农田(242.71%),这与最大持水量的排序略有不同,这说明草地生态系统中单位质量的枯落物比森林生态系统中单位质量枯落物具有更强的持水潜力;生态系统内部,玉米与其他植(作)物类型的最大持水率差异显著 ($p < 0.05$),且最大持水率最小(202.90%),

农田生态系统中最大持水率均值最大的是马铃薯 (273.68%); 统计上针叶林 (248.61%) 和阔叶林 (270.15%) 的最大含水率虽然差异不明显, 但均值相差 21.54%, 针叶林拉低了森林生态系统最大持水率的平均水平。

3.1.2 枯落物拦蓄能力 3 种生态系统及其内部植(作)物枯落物拦蓄能力如表 2 所示。3 种生态系统类型有效拦蓄量差异明显, 森林生态系统单位面积有效拦蓄量最高 (22.97 t/hm²), 显著高于其他两种生态系统 ($p < 0.01$); 针叶林有效拦蓄量是阔叶林有效拦蓄量的 1.72 倍。农田生态系统内部, 马铃薯的有效拦蓄量均值显著高于玉米的有效拦蓄量均值, 约为 2.76 倍。

表 2 不同生态系统类型及其内部植(作)物类型枯落物拦蓄能力

生态系统类型	有效拦蓄量/(t·hm ⁻²)	生态系统内植(作)物类型	有效拦蓄量/(t·hm ⁻²)
草地	0.82±0.09 ^b		
农田	0.73±0.12 ^b	马铃薯	1.02±0.17 ^c
		玉米	0.37±0.02 ^d
森林	22.97±4.02 ^a	阔叶林	14.46±2.93 ^b
		针叶林	24.85±4.78 ^a

生态系统类型	有效拦蓄率/%	生态系统内植(作)物类型	有效拦蓄率/%
草地	181.47±5.67 ^a		
农田	151.05±14.36 ^a	马铃薯	178.00±20.31 ^a
		玉米	116.41±10.77 ^b
森林	187.49±13.56 ^a	阔叶林	194.03±13.74 ^a
		针叶林	182.59±21.64 ^a

有效拦蓄率方面, 3 种生态系统差异不显著 ($p > 0.05$), 森林生态系统 (187.49%) 和草地生态系统有效拦蓄率 (181.47%) 相近, 但森林生态系统有效拦蓄率仍最大。在森林生态系统内部, 出现了与最大持水率类似的情况, 即针叶林和阔叶林的有效拦蓄率排序与有效拦蓄量排序不同, 阔叶林的有效拦蓄率 (194.03%) 要高于针叶林 (182.59%), 虽然针叶枯落物外表的油脂降低了其分解速率, 使其生物量累积量增加, 但同时油脂也阻碍了针叶枯落物对周围水分的吸收, 也就降低了针叶枯落物单位质量的持水能力^[14-15]。农田生态系统内部, 仍然是马铃薯的有效拦蓄率要高于玉米, 高出 61.59%。

3.1.3 枯落物吸水能力 3 种生态系统吸水能力从高到低依次为森林 (5.84 g/h), 草地 (1.29 g/h), 农田 (1.28 g/h) (见表 3), 且存在显著差异 ($p < 0.01$)。森林生态系统内各植物类型吸水速率差异不显著

($p > 0.05$), 阔叶林吸水速率 (6.25 g/h) 大于针叶林 (5.53 g/h)。农田生态系统作物吸水速率差异显著 ($p < 0.05$), 马铃薯的吸水速率为玉米的 2.04 倍。

表 3 不同生态系统类型及其内部植(作)物类型枯落物吸水能力

生态系统类型	吸水速率/(g·h ⁻¹)	生态系统内植(作)物类型	吸水速率/(g·h ⁻¹)
草地	1.29±0.14 ^b		
农田	1.28±0.18 ^b	马铃薯	1.65±0.26 ^b
		玉米	0.81±0.10 ^c
森林	5.84±0.47 ^a	阔叶林	6.25±0.64 ^a
		针叶林	5.53±0.68 ^a

3.2 生态系统生物量与枯落物水文效应响应分析

3.2.1 枯落物水文效应对其生物量的响应分析 对不同生态系统及内部的枯落物生物量差异进行分析, 结果如表 4 所示。不同类型生态系统间枯落物累积生物量有所差异。受森林、草地、农田自身的最大生长能力影响, 森林生态系统枯落物积累生物量与农田生态系统、草地生态系统差异显著 ($p < 0.01$), 而农田和草地间枯落物累积生物量差异不显著 ($p > 0.05$)。单位面积上, 森林生态系统枯落物积累生物量最多, 平均值为 10.4 t/hm², 相当于草地均值的 104 倍、农田均值的 520 倍; 针叶林枯落物平均累积生物量均值为 12.65 t/hm², 大于阔叶林枯落物生物量累积量平均值 (7.56 t/hm²)。

表 4 不同生态系统类型及其内部植(作)物类型单位面积枯落物储量

生态系统类型	生物量/(t·hm ⁻²)	生态系统内植(作)物类型	生物量/(t·hm ⁻²)
草地	0.1±0.01 ^b		
农田	0.02±0 ^b	马铃薯	0.02±0 ^c
		玉米	0.01±0 ^{ac}
森林	10.4±1.43 ^a	阔叶林	7.56±1.43 ^b
		针叶林	12.65±2.20 ^a

林分的不同树种组成、不同生长状况以及不同的水热条件等会影响枯落物的输入量和分解速度, 进而影响林内枯落物的储量。同样地, 不同生态系统间植(作)物的生长条件有所不同, 植(作)物自身的生长能力也有所不同, 这就使得不同生态系统间的枯落物储量产生了差异, 不同的枯落物的持、蓄水能力也就此形成。本研究中, 用生物量来衡量不同生态系统枯落物的累积量。

从表 5 可以看出, 不同生态系统类型枯落物的持、蓄水能力与枯落物生物量间存在明显的相关关

系。从相关程度来看,最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量和生物量之间正相关性极为显著且相关系数非常高,均在 0.9 以上,说明枯落物的累积储存量对其持、蓄水总量影响很大。生物量对持、蓄水率的

影响要明显弱于对持、蓄水率的影响,相关系数在 0.25 左右。自然含水率与除最大持水率外的其他相关指标均呈负相关关系,其他持、蓄水能力评价指标间均有显著正相关关系。

表 5 枯落物生物量与其持蓄水能力评价指标相关性分析

指标	最大持水率	最大持水量	最大拦蓄量	最大拦蓄率	有效拦蓄量	有效拦蓄率	自然含水率	生物量
最大持水率	1	0.367**	0.368**	0.977**	0.368**	0.968**	0.012	0.127
最大持水量		1	0.997**	0.459**	0.996**	0.472**	-0.463**	0.949**
最大拦蓄量			1	0.464**	1.000**	0.478**	-0.483**	0.943**
最大拦蓄率				1	0.465**	0.999**	-0.202	0.241
有效拦蓄量					1	0.479**	-0.487**	0.941**
有效拦蓄率						1	-0.237	0.260
自然含水率							1	-0.546**
生物量								1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3.2.2 枯落物水文效应对生态系统生物量的响应分析 根据人类生活、生产的需要,常会为生态系统定义不同的服务功能,不同功能间会呈现出此消彼长的权衡关系或互利共赢的协同关系。如森林生态系统中,现存生物量可以反应植被固碳能力,农田生态系统现存生物量可反应其食物供给能力,二者分别对应生态系统的供给功能和调节功能;枯落物层作为森林生态系统的重要组成部分,与森林生态系统的水源涵养能力关系密切,对应生态系统的调节功能。研究不同生态系统内枯落物持、蓄水能力和现存生物量之间

的关系可以为分析生态系统固碳和水源涵养功能的权衡和协同关系提供基础,为开展生态空间格局优化、提升区域生态服务功能提供引导。

枯落物持、蓄水量与枯落物生物量具有显著正相关性,但生态系统总生物量和枯落物生物量却并非简单的线性相关关系(见图 1)。由图 1 可知,随着生态系统总生物量的增加,枯落物生物量占总生物量的比例呈现幂函数下降的趋势,即随着现存生物量的增加,枯落物储量也在增加,但是增加速度在减小。森林和农田生态系统均呈现这一趋势。

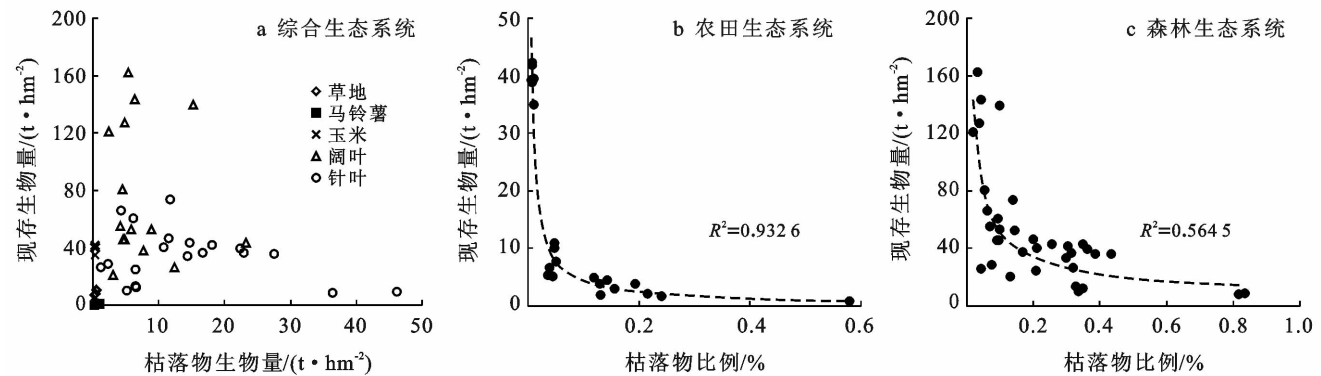


图 1 生态系统枯落物比例与现存生物量间的关系

总生物量与枯落物生物量之间关系复杂,以生物量表征的固碳能力和枯落物所呈现的水源涵养功能之间并没有显现出简单的此消彼长的权衡性也没有互惠共赢的协同性。结果显示,综合 3 类生态系统的状况(见图 2),森林生态系统具有较农田和草地生态系统更大的单位面积平均总生物量,同时枯落物也具有相对较高的水源涵养能力。但从生态系统内部来

看,森林生态系统中针叶林单位面积平均总生物量小于阔叶林,但枯落物单位面积平均有效拦蓄量却大于阔叶林;同样,农田生态系统中马铃薯单位面积平均总生物量小于玉米,但平均有效拦蓄量却大于玉米。以各生态功能平衡发展为目标生态空间格局优化,应当结合具体的生态类型以及不同的区域环境特征具体考虑。

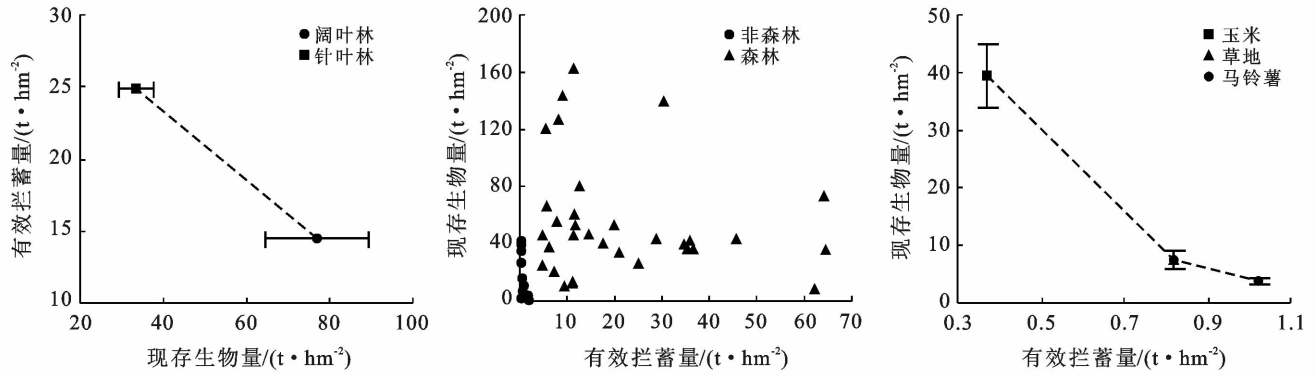


图2 农田生态系统和森林生态系统枯落物有效拦蓄量与现存生物量关系

4 结论

对张家口地区的森林、农田和草地3种植被生态系统进行枯落物和生物量的采样调查,选取最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量、有效拦蓄率和吸水速率,对3种不同植被生态系统枯落物的水文效应进行统计分析,初步探究了枯落物持水能力与生物量的关系,试图阐明不同植被生态系统枯落物水文效应的差异,并明确不同植被生态系统间和生态系统内部植(作)物的持蓄水能力与生态系统生物量间的关系,为张家口地区生态空间格局优化提供参考。

(1) 森林、农田和草地3种生态系统枯落物平均生物量范围为 $0.02\sim 10.40\text{ t/hm}^2$,森林生态系统生物量最大(10.4 t/hm^2),农田生态系统生物量最小(0.02 t/hm^2);马铃薯、玉米的生物量无明显差异,针叶林生物量(12.65 t/hm^2)明显大于阔叶林生物量(7.56 t/hm^2),这与针叶叶片表面的油脂对枯落物的分解速度影响有关,而阔叶叶片与空气接触面积大、表面没有油脂覆盖,分解速率快,所以生物量累积量较小。不同生态系统的各水文特征参数表现各不相同。枯落物最大持水率变化范围 $242.71\%\sim 272.88\%$,排序:草地生态系统>森林生态系统>农田生态系统。枯落物有效拦蓄率排序为:森林生态系统>草地生态系统>农田生态系统,与最大持水率排序略有不同,说明在自然条件下,森林生态系统的持水能力更强。枯落物吸水速率变化范围 $1.28\sim 5.84\text{ g/h}$,排序为:森林生态系统>农田生态系统>草地生态系统。

(2) 不同生态系统枯落物持蓄水能力受其累积生物量影响非常大,森林生态系统单位面积平均枯落物生物较农田和草地都大,其最大持水量、有效拦蓄量、有效拦蓄率和吸水速率4个指标均优于其他两类生态系统,因此,如果造林营林方式正确,森林生态系统的水源涵养能力是值得肯定的。草地生态系统的所有水文效应指标都优于农田生态系统,张家口地区

耕地面积的不断扩大会直接影响区域的水源涵养能力。

(3) 生态系统总生物量与枯落物生物量并未呈现出简单的线性相关性,枯落物生物量占总生物量的比例随生态系统总生物量的增加呈幂函数下降。以生物量表征的生态系统固碳能力与枯落物蓄水所反映的水源涵养能力在生态系统尺度呈正相关关系,但在生态系统内部却呈现出相反的态势。要实现区域内多种生态功能的协同发展,需要综合考虑细化的生态类型及其所处的区域自然特征。

张家口地区地形复杂,农田生态系统和草地生态系统大多分布在相对平缓的地区,森林分布在坡度 $0\sim 46^\circ$ 不等的山区和平原地区,本次野外调查森林样地所在坡位差异不明显,所以缺少对不同生态系统(尤其是森林生态系统)不同坡位枯落物持、蓄水能力的对比分析。本研究只对研究区不同植被生态系统枯落物的持水量、持水率、拦蓄量、拦蓄率进行了分析,缺少对枯落物分解速率以及枯落物持水过程的探讨,同时不同生态系统内部结构和人为因素的干扰(如人工林、天然林,农田的不同种植方式)对枯落物水文过程的影响还有待研究。

[参 考 文 献]

- [1] Facelli J M, Pickett S T A. Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure [J]. The Botanical Review, 1991, 57(1): 1-32.
- [2] Jensen K, Gutkunst K. Effects of litter on establishment of grassland plant species: The role of seed size and successional status [J]. Basic and Applied Ecology, 2003, 4(6): 579-587.
- [3] 施爽, 郭继勋. 松嫩草原三种主要植物群落枯落物层生态水文功能[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1722-1726.
- [4] 魏强, 凌雷, 张广忠, 等. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2589-2598.

- [21] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987,19(6):703-707.
- [22] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985,17(6):837-842.
- [23] Moro M. Litter decomposition in four woody species in a mediterranean climate: Weight loss, N and P dynamics [J]. *Annals of Botany*, 2000,86(6):1065-1071.
- [24] 徐波,朱忠福,李金洋,等. 九寨沟国家自然保护区4个典型树种叶片凋落物在林下及高山湖泊中的分解及养分释放特征 [J]. *植物生态学报*, 2016,40(9):883-892.
- [25] 武启骞,吴福忠,杨万勤,等. 季节性雪被对高山森林凋落物分解的影响 [J]. *植物生态学报*, 2013,37(4):296-305.
- [26] Ladanai S, Ågren G I, Olsson B A. Relationships between tree and soil properties in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* forests in Sweden [J]. *Ecosystems*, 2010,13(2):302-316.
- [27] 张泰东,王传宽,张全智. 帽儿山5种林型土壤碳氮磷化学计量关系的垂直变化 [J]. *应用生态学报*, 2017,28(10):3135-3143.
- [28] 罗佳,周小玲,陈建华,等. 桉树人工林土壤养分对凋落物分解的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2017,37(11):132-139.
- [29] Gartner T B, Cardon Z G. Site of leaf origin affects how mixed litter decomposes [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006,38(8):2307-2317.
- [30] Nottingham A T, Turner B L, Whitaker J, et al. Soil microbial nutrient constraints along a tropical forest elevation gradient: A belowground test of a biogeochemical paradigm [J]. *Biogeosciences*, 2015,12(20):6071-6083.
- [31] Boerner R E J. Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficiency of four deciduous tree species in relation to site fertility [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 1984,21(3):1029.
- [32] 葛晓改,肖文发,曾立雄,等. 不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系 [J]. *生态学报*, 2012,32(3):852-862.

(上接第55页)

- [5] 曲杭峰,董希斌,张甜,等. 大兴安岭白桦低质林补植改造后枯落物水文效应变化 [J]. *东北林业大学学报*, 2017,45(8):14-19.
- [6] 庞梦丽,朱辰光,翟博超,等. 河北省太行山区3种人工水土保持林枯落物及土壤水文效应 [J]. *水土保持通报*, 2017,37(1):51-56.
- [7] 黄岩,剪文灏,黄永辉,等. 冀北山地落叶松林枯落物层水文效应研究 [J]. *防护林科技*, 2017(9):14-17.
- [8] Beasley R S, Granillo A B. Soil protection by natural vegetation on clearcut forest land in Arkansas [J]. *Journal of soil and Water Conservation (USA)*, 1985,40(4):379-382.
- [9] 胡静霞,杨新兵,朱辰光,等. 冀西北地区4种纯林枯落物及土壤水文效应 [J]. *水土保持研究*, 2017,24(4):304-310.
- [10] 王安宁,蔺鑫,穆枫,等. 冀北木兰围场沙荒坡地不同坡位黄柳沙障内枯落物的持水性能 [J]. *北京林业大学学报*, 2018,40(1):98-107.
- [11] 王忠禹,刘国彬,王兵,等. 黄土丘陵区典型植物枯落物凋落动态及其持水性 [J]. *生态学报*, 2019,39(7):2416-2425.
- [12] 田耀武,黄志霖,肖文发,等. 三峡库区防护林林分结构特征与径流、泥沙输出的关系 [J]. *西北林学院学报*, 2018,33(5):44-50.
- [13] 刘泽彬,王彦辉,邓秀秀,等. 六盘山华北落叶松林下穿透雨空间变异特征 [J]. *生态学报*, 2017,37(10):3471-3481.
- [14] 胡淑萍,余新晓,岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究 [J]. *水土保持学报*, 2008,22(1):146-150.
- [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.