

# 河北太行山典型水土保持经济林枯落物持水特性

庞梦丽, 孙明阳, 王明远, 屈宇

(河北农业大学, 河北保定 071000)

**摘要:**选取河北太行山区典型坡面经济林板栗、苹果与立地条件相近的荒坡的枯落物蓄积量与持水能力进行研究。结果表明:枯落物总蓄积量范围为 6.62~15.83 t/hm<sup>2</sup>, 表现为板栗林总蓄积量最大, 荒坡总蓄积量最小。枯落物最大持水量变化范围为 13.41~53.9 t/hm<sup>2</sup>。板栗林有效拦蓄量可达 42.23 t/hm<sup>2</sup>, 在各林分中最大; 荒坡有效拦蓄量为 19.55 t/hm<sup>2</sup>, 在各林分中最小。枯落物持水量、吸水速率均与浸泡时间呈相关关系, 前者为对数关系( $R>0.97$ ), 后者为幂函数关系( $R>0.98$ )。综合分析各林分枯落物层的持水能力, 可知水土保持经济林持水能力远大于荒坡。

**关键词:**太行山; 水土保持经济林; 枯落物; 持水特性

中图分类号: S715.7; S727.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)06-0200-05

## Litter Water-Holding Capacity of Economic Forests for Soil and Water Conservation in Taihang Mountain of Hebei Province

PANG Mengli, SUN Mingyang, WANG Mingyuan, QU Yu

(College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** In order to provide a basis for the construction and planning of soil and water conservation forests of Taihang Mountain, the research for the water-holding capacity of litter was carried out in the four typical forests including *Castanea mollissima* Bl. forest, *Malus pumila* Mill. forest and controlled forestland. The litter water holding capacities in different kinds of forest stands were measured by indoor soaking method. The results showed that the litter total storage ranged from 6.62 t/hm<sup>2</sup> to 15.83 t/hm<sup>2</sup>; the maximum water-holding volumes of different forests varied from 13.41 t/hm<sup>2</sup> to 53.9 t/hm<sup>2</sup>, the order was *Castanea mollissima* Bl. forest > controlled forestland > *Malus pumila* Mill. forest; the effective retaining amount of litter was maximum in *Castanea mollissima* Bl. forest, while the minimum was found in the controlled forestland. The relationship between water-holding capacity of litter and immersion time could be described by logarithmic relationship ( $R>0.97$ ), whereas the relationship between litter absorption rate and immersion time could be described by exponential relationship ( $R>0.98$ ). Therefore, it was concluded from above that the water holding capacities of forestlands were much better than controlled forestland.

**Keywords:** Taihang Mountain; soil and water conservation forests; litter; water-holding capacity

作为森林与土壤的重要媒介, 枯落物发挥着水源涵养、防止水土流失的功能<sup>[1]</sup>。一般将枯落物分为未分解层和半分解层两个层次。未分解层是指大致保留原状及质地的枯枝落叶, 而半分解层是指还未全部腐败、人眼可分辨其大体形状的枯枝落叶<sup>[2]</sup>。作为森林生态系统最具活力的功能层次之一, 枯落物层由于内部结构疏松且分布广泛, 可显著截持降雨, 削弱雨水对土壤的直接冲刷; 且具有减少地表水分蒸发, 减少土壤流失及改善土壤理化性质的功能, 在水源涵养、水土保持, 以及促进生态系统物质循环中发挥的

作用不可忽视<sup>[3-4]</sup>。枯落物的蓄积量以及持水能力是研究森林生态功能的重要依据和理论基础<sup>[5-6]</sup>。

河北省太行山区存在地域土壤瘠薄、植被面积小, 水土流失及早涝灾害频发等问题。广大人民积极探索、努力实践, 以林业为主的水土保持生态环境建设, 因地制宜、适地适树进行林草建设等综合治理。现有研究成果表明这些措施已对该区的生态环境以及经济建设起到非常积极的作用。本研究选择该区典型水土保持林经济林板栗、苹果以及对照荒坡为研究对象, 对其枯落物水文效应进行了研究, 以期揭示

不同林分的水源涵养能力,进而为研究区水土保持经济林的保护、提质、改造提供科学依据。

## 1 研究区概况

试验区位于太行山中南部的河北省邢台市内丘县侯家庄乡岗底村。该区为片麻岩山区,位于太行山南段东麓,地理坐标  $113^{\circ}45'—115^{\circ}50'E$ ,  $36^{\circ}45'—37^{\circ}48'N$ ,海拔 518~1 200 m,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,春季干旱,夏季高温多雨,平均气温  $11.6^{\circ}C$ ,最高气温为  $38^{\circ}C$ ,最低气温为  $-19^{\circ}C$ ,气温年较差为  $28\sim 30^{\circ}C$ ;年均降水量 523 mm,多集中在 7—8 月份,年降水变率为 26%,无霜期 180 d。土壤以褐土为主,类型为壤土或砂壤土。主要乔木树种栓皮栎 (*Quercus variabilis*),侧柏 (*Platycladus orientalis*),刺槐 (*Robinia pseudoacacia*),油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.),经济林树种主要有苹果 (*Malus pumila* Mill.),板栗 (*Castanea mollissima* Bl.)和核桃 (*Juglans regia* L.)等。主要灌木有荆条 (*Vitex negundo* var. *heterophylla*),酸枣 (*Ziziphus jujuba*

Mill. var. *spinosa* Hu ex H), 栎子梢 (*Campylotropis*), 胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz), 雀儿舌头 (*Leptopus chinensis* Pojark.)等,草本多为白莲蒿 (*Artemisia sacrorum* Ledeb), 中华卷柏 (*Selaginella sinensis* Spring), 三裂绣线菊 (*Spiraea trilobata* L.), 丛生隐子草 (*Cleistogenes caespitosa* Keng)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

于 2015 年 8 月实地考察研究区植被特征,选择了该区典型的坡面经济林板栗、苹果以及荒坡作为研究对象。在各林分中分别设置  $20\text{ m}\times 20\text{ m}$  的标准样地各 3 个,记录样地海拔、坡度、坡向以及土层厚度,并进行每木检尺,测量胸径、树高等因子,郁闭度采用样点法目测确定。样点法是估算林分郁闭度方法简单、快速实用,在林分郁闭度调查中被广泛应用<sup>[7]</sup>,在样地两条对角线上每隔 2 m 处设置样点,观察样点是否被树冠遮盖,统计被遮盖样点数即可算出郁闭度:郁闭度=被树冠遮盖的样点数/样点总数。样地基本概况见表 1。

表 1 各林分样地概况

林分类型	主要树种	海拔/km	坡度/(°)	坡向	平均树高/m	平均地径/cm	郁闭度/%	整地方式
板栗	板栗	0.738	26	310	4.5	15	45	鱼鳞坑
苹果	苹果	0.582	18.5	315	2.6	15.9	55	水平梯田
荒坡	荆条、酸枣	0.579	24	330	1.2	—	70	自然坡面

### 2.2 枯落物蓄积量调查

在标准样地内沿对角线设置  $100\text{ cm}\times 100\text{ cm}$  的样方 3 个,用钢尺测定各样方内枯落物层厚度,按枯落物未分解层、半分解层分别收纳入尼龙袋内,快速称取鲜重。取样时尽可能保持枯落物样品的原始状态,将样品取回后用干燥箱在  $80^{\circ}C$  恒温条件下烘至恒重,并计算各林分类型枯落物的蓄积量。

### 2.3 枯落物持水特性测定

采用室内浸泡法<sup>[7]</sup>,取恒温烘干的枯落物适量(按不同分解层)装入孔隙细密的网纱袋内,保证枯落物样品不会从网纱袋中漏出,使其充分浸没在水中,分别在 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 24 h 时将其取出悬挂至不滴水后迅速称重,计算在各时段不同分解层次的持水量和持水速率。计算公式如下:

$$R_t = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 1000 \quad (1)$$

$$V_t = R_t / T \quad (2)$$

式中: $R_t$  表示  $t$  时间的持水量(g/kg); $V_t$  表示  $t$  时间吸水速率(g/(kg·h)); $M_t$  表示  $t$  时间枯落物湿重(g); $M_0$  表示枯落物干重(g); $T$  表示浸水时间。

$$R_m = \frac{M_{24} - M_0}{M_0} \quad (3)$$

$$Q_m = M \times R_m \quad (4)$$

式中: $R_m$  表示最大持水率(%); $Q_m$  表示最大持水量(t/hm<sup>2</sup>); $M_{24}$  表示枯落物浸水 24 h 湿重(g); $M_0$  表示枯落物干重(g); $M$  表示枯落物单位面积储量(t/hm<sup>2</sup>)。

### 2.4 枯落物有效拦蓄量测定

在森林生态系统中,枯落物对降雨的拦截,减弱降水对坡面冲刷起着十分重要的作用。枯落物对降水的实际拦蓄量多使用有效拦蓄量进行估计<sup>[8]</sup>,公式如下:

$$W = (0.85R_m - R_0) \times M \quad (5)$$

式中: $W$  表示有效拦蓄量(t/hm<sup>2</sup>); $R_m$  表示枯落物最大持水率(%); $R_0$  表示枯落物自然含水率(%); $M$  表示枯落物储量(t/hm<sup>2</sup>)。

## 3 结果与分析

### 3.1 枯落物厚度与蓄积量

生物量反映森林生态系统的初级生产力水平,是森林生态系统功能的体现<sup>[9]</sup>。枯落物蓄积量是森林生态系统生物量的组成部分,因此是衡量森林生态系

统第一生产力的重要指标。枯落物蓄积量受到枯落物结构、地表积累时间和微生物等对其分解速度的影响,同时林分结构、气象因素、枯落物自身特性以及人类活动等与枯落物储量也密切相关<sup>[10]</sup>。

从表 2 中可以看出枯落物总厚度变化范围为 13~36 mm,从大到小依次为板栗>荒坡>苹果。总蓄积量存在差异,在 6.62~15.83 t/hm<sup>2</sup> 范围内变动,板栗>荒坡>苹果,可知板栗林枯落物蓄积量最大,苹果林枯落物蓄积量最小,荒坡介于两者之间。板栗林枯落物蓄积量最大,主要是因为树种本身叶量大且脱落的栗壳较多,故枯落物年生产量大;苹果林郁闭

度较低而积蓄量最少,这是由于作为该区主要经济林,所受人为影响较大导致几乎没有半分解层枯落物;荒坡林分结构简单,枯枝落叶组成相对单调,所以尽管郁闭度较高,枯落物蓄积量优势不明显。

各林分未分解层占其总储量的百分比依次为苹果>荒坡>板栗,可知苹果枯落物中未分解层比例最大,板栗所占比例最小,荒坡所占比例介于两者之间。苹果枯落物几乎都为未分解层,这是由采摘、清理等人为活动造成;该区板栗林为鱼鳞坑整地模式,利于水源涵养,具有促进枯落物分解的水分条件,故分解程度更高。

表 2 各林分类型枯落物厚度和蓄积量

林分类型	枯落物总厚度/mm	枯落物总蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	未分解层		半分解层	
			蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%	蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%
板栗	36	15.83	4.20	26.53	11.63	73.47
苹果	13	6.62	6.62	100.00	—	—
荒坡	22	9.96	5.37	53.91	4.59	46.09

### 3.2 各林分枯落物的持水能力

3.2.1 枯落物最大持水量 枯落物最大持水量的大小决定于枯落物的累积量和枯落物的最大持水率<sup>[11]</sup>。从表 3 可看出,各林分最大持水总量变化范围为 13.41~53.90 t/hm<sup>2</sup>,从大到小依次表现为,最大值约为最小值的 4 倍,表明板栗持水能力最强,苹果持水能力最弱。结合表 2 可知,枯落物蓄积量是最大持水量的决定性因素。枯落物持水率是其在一定时段内吸收的水量占自身干重的百分数,是反映枯落物涵养水分能力的重要指标<sup>[12]</sup>。与最大持水量变化

不尽相同,各林分最大持水率范围为 242.38%~409.05%,从大到小依次表现为苹果>板栗>荒坡,相当于各林分枯落物可以吸收其自重 2.42 倍、3.38 倍和 4.09 倍的降雨。尽管苹果林的最大持水量较小,然而它的最大持水率明显大于其他林分,因此仍能维持其较高的蓄水功能。最大持水量可以反映枯落物自身持水能力的大小<sup>[13]</sup>,但由于降雨因素和枯落物及土壤层的透水性,实际情况中枯落物一般不会被雨水浸泡 24 h,使用最大持水量来估算枯落物层对降雨的拦蓄能力,结果偏高<sup>[14]</sup>。

表 3 各林分枯落物最大持水率和最大持水量

林分类型	最大持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )			最大持水率/%		
	未分解层	半分解层	总和	未分解层	半分解层	总和
板栗	13.97	39.93	53.90	332.69	343.31	338.00
苹果	27.067	—	13.41	409.05	—	409.05
荒坡	10.30	13.46	23.76	191.74	293.03	242.38

3.2.2 枯落物有效拦蓄量 枯落物自然含水量、最大持水量、最大拦蓄量等指标无法代表枯落物对降雨的实际截留量,只能反映枯落物层自身持水能力的大小,而枯落物对雨水的实际拦蓄量常用有效拦蓄量来估算<sup>[10]</sup>,它与枯落物总量、水文状况和降雨特性等因素有关。从

表 4 中可知各林分有效拦蓄能力存在差异,有效拦蓄量在未分解层中从大到小依次为苹果>板栗>荒坡,最高的是苹果,最低的是荒坡。有效拦蓄量在未分解层中苹果最大,在半分解层中板栗最大,这表明枯落物蓄积量是影响不同林分有效拦蓄量的主要因素<sup>[15]</sup>。

表 4 各林分枯落物拦蓄能力

枯落物层	林分类型	枯落物风干/(t·hm <sup>-2</sup> )	自然含水率/%	最大拦蓄率/%	有效拦蓄率/%	最大拦蓄量/(t·hm <sup>-2</sup> )	有效拦蓄量/(t·hm <sup>-2</sup> )
未分解层	苹果	6.62	10.80	398.25	336.89	26.35	22.29
	荒坡	5.37	9.81	181.92	149.77	8.35	6.88
	板栗	11.63	24.26	319.06	267.56	37.11	31.12
半分解层	苹果	—	—	—	—	—	—
	荒坡	4.59	13.20	279.83	235.87	15.03	12.67

3.2.3 枯落物持水量与浸水时间的关系 由图 1 可知,各林分枯落物总持水量变化规律大体相似。随着枯落物浸泡时间逐渐增加,单位时间内的持水量逐渐减少。未分解层持水量由大到小表现为苹果>板栗>荒坡,在半分解层中表现为板栗>荒坡。在浸泡初期 2 h 内随着浸水时间的增加,曲线呈上升趋势,表明枯落物

正处于快速吸水的阶段,浸水时间越久,曲线趋于平缓,表明枯落物持水量逐渐稳定接近饱和。半分解层枯落物持水在 6 h 左右基本达到饱和状态,之后随着浸泡时间的推移,持水量基本未发生较明显的变化;而未分解层枯落物持水在浸泡 6 h 后仍继续增加,在 12 h 左右出现饱和状态,这表明未分解层持水能力强于半分解层。

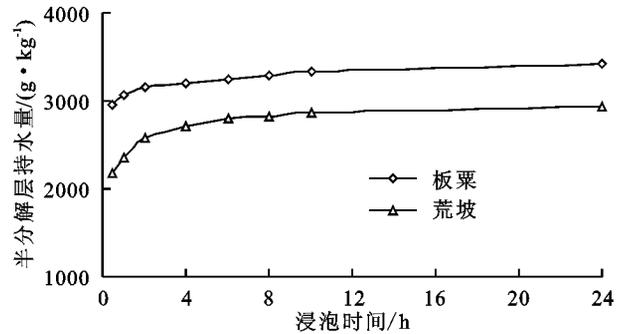
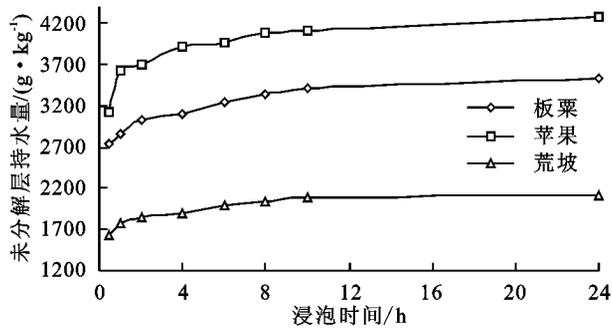


图 1 各林分枯落物持水量与浸水时间的关系

对各林分不同分解层次枯落物在 0.5~24 h 的持水量与浸泡时间关系进行回归分析,可知林分枯落物各层持水量与浸水时间均满足对数关系(表 5)。

$$Q = a \ln(t) + b \quad (6)$$

式中:Q 表示枯落物持水量(g/kg);t 表示浸泡时间(h);a 表示系数;b 表示常数项。

表 5 各林分枯落物持水量、持水率与浸水时间的关系式

林分类型	枯落物层	持水量与浸泡时间关系式	相关系数(R)	持水率与浸泡时间关系式	相关系数(R)
板栗	未分解层	$Q = 375.74 \ln(t) + 2461.9$	0.9757	$V = 6573.4e^{-0.476t}$	0.9852
	半分解层	$Q = 211.83 \ln(t) + 2931.4$	0.9792	$V = 7770.9e^{-0.495t}$	0.9861
苹果	未分解层	$Q = 512.85 \ln(t) + 2970.6$	0.9891	$V = 8018e^{-0.474t}$	0.9875
	半分解层	—	—	—	—
荒坡	未分解层	$Q = 234.72 \ln(t) + 1415.8$	0.9879	$V = 3800.8e^{-0.475t}$	0.9852
	半分解层	$Q = 378.54 \ln(t) + 2151.2$	0.9931	$V = 5872.9e^{-0.475t}$	0.9883

3.2.4 枯落物吸水速率与浸水时间的关系 由图 2 可知:各林分枯落物在浸泡 1 h 内吸水速率最大,随后吸水速率显著降低,4~6 h 时,吸水速率逐渐减小,浸泡 24 h 时吸水速率趋向于 0,说明此时枯落物吸水基本达到饱和。对各林分未分解层和半分解层枯落物的吸水速率与浸水时间的关系进行拟合方程,得出吸水速率和浸

泡时间之间的拟合模型(见表 5)为:

$$V = ae^{bt} \quad (7)$$

式中:V 表示枯落物吸水速度(g/kg·h);t 表示浸泡时间(h);a,b 表示常数。可以看出,各层吸水速率与浸水时间均满足指数关系,相关系数均大于 0.98,拟合效果比较好。

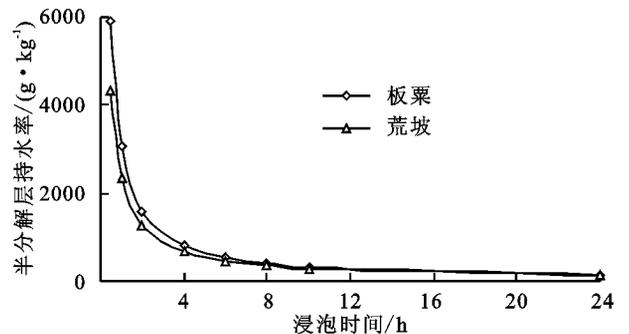
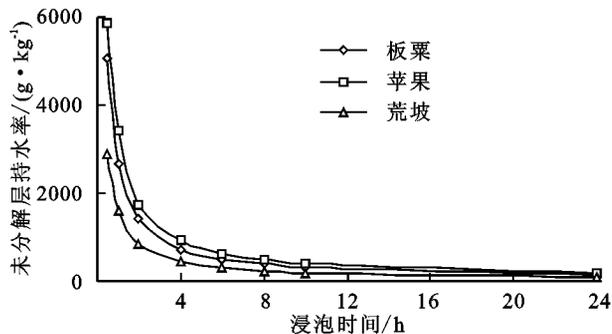


图 2 各林分枯落物持水速率与浸水时间的关系

## 4 结论和讨论

(1) 枯落物蓄积量与枯落物层厚度密切相关,同时受树种组成、林分郁闭度等因素的影响。各林分枯

落物总蓄积量范围在 6.62~15.83 t/hm<sup>2</sup>,板栗林蓄积量最大,苹果林蓄积量最小,荒坡介于两者之间,从而得出蓄积量与枯落物厚度存在简单正相关关系。

(2) 各林分林下枯落物持水量与浸泡时间呈明

显对数关系( $R>0.97$ )。通过对板栗林、苹果林以及荒坡这3种林分类型枯落物持水量的研究可知,枯落物有效拦蓄量以板栗林最大,苹果林次之,荒坡最小,可知水土保持经济林枯落物的持水能力远大于荒坡。

(3) 各林分枯落物吸水速率与浸泡时间呈明显幂函数关系( $R>0.98$ )。通过对板栗林、苹果林以及荒坡这3种林分类型枯落物最大持水率的研究可知,苹果林最大持水率为最大,板栗林次之,荒坡最小。这说明苹果林的潜在持水能力最大,以后的经营管理中可有意识保留该林分枯落物,以更好的发挥其涵养水源的功能。

#### 参考文献:

- [1] 孙一荣,朱教军,于立忠,等. 森林枯落物的水源涵养功能[C]. 中国环境科学学会学术年会,2009.
- [2] 彭玉华,黄小荣,申文辉,等. 老虎岭库区不同林型凋落物特征[J]. 中国水土保持,2015(6):56-59.
- [3] 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.
- [4] 沈盈佳,曾建军. 保山北庙水库集水区5种森林类型枯落物持水特性研究[J]. 长江科学院院报,2015,32(1):43-48.
- [5] 张淑兰,张海军,张武,等. 小兴安岭不同森林类型枯落物储量及其持水特性比较[J]. 水土保持通报,2015,35(4):85-90.
- [6] Rautiainen M, Stenberg P. Simplified tree crown model using standard forest mensuration data for Scots pine [J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2005,128(1):123-129.
- [7] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等. 宁夏六盘山南侧森林枯落物及土壤的水文生态功能研究[J]. 林业科学研究,2007,20(1):15-20.
- [8] Sao Y, Kumagai T O, Kume A, et al. Experimental analysis of moisture of litter layers; the effects of rainfall conditions and leaf shapes [J]. Hydrological Process, 2004,18(16):3007-3018.
- [9] 彭少麟,刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. 生态学报,2002,22(9):1534-1544.
- [10] 贾剑波. 半城子流域3种林地枯落物的持水能力[J]. 中国水土保持学报,2015,13(6):26-32.
- [11] 赵勇. 不同间伐强度下秦岭3种类型森林枯落物持水性能研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [12] 叶海英,赵廷宁,赵陟峰. 半干旱黄土丘陵沟壑区几种不同人工水土保持林枯落物储量及持水特性研究[J]. 水土保持研究,2009,16(1):121-125,130.
- [13] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等. 北京山地不同海拔人工油松林枯落物及其土壤水文效应[J]. 水土保持研究,2013,20(6):54-58.
- [14] 赵雨森. 阿什河上游小流域主要林分类型土壤水文功能研究[J]. 水土保持学报,2012,26(2):203-208.
- [15] 饶良懿,朱金兆,毕华兴. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J]. 北京林业大学学报,2005,27(1):33-37.
- [21] 张鹏,贾志宽,王维,等. 秸秆还田对宁南半干旱地区土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学,2011,45(8):1513-1520.
- [22] 刘梦云,常庆瑞,齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征[J]. 中国水土保持科学,2006,4(4):47-51.
- [23] 窦森,李凯. 土壤团聚体中有机质研究进展土壤团聚体中有机质研究进展[J]. 土壤学报,2011,48(2):412-418.
- [24] 朱秋莲,程曼,安韶山,等. 宁南山区植被恢复对土壤团聚体特征及腐殖质分布的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(4):247-251.
- [25] Dexter A R. Advances in characterization of soil structure [J]. Soil and Tillage Research, 1988,11(3/4):199-238.
- [26] 李玮,郑子成,李廷轩,等. 不同植茶年限土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 生态学报,2014,34(21):6326-6336.
- [27] Sieling K, Herrmann A, Wienforth B, et al. Biogas cropping systems: short term response of yield performance and N use efficiency to biogas residue application [J]. European Journal of Agronomy, 2013,47:44-54.
- [28] 李腾,饶伟,王代长,等. 不同有机物料对潮土微团粒分形特征和速效养分的影响[J]. 中国水土保持科学,2014,12(5):64-71.

(上接第199页)