

# 陇东黄土高原不同林龄苹果林地 枯落物及土壤的水文效应

富丽, 赵锦梅, 李永宁, 李亚红, 戴煜亮, 张伟飞

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** [目的] 探讨甘肃省东部黄土高原苹果林地枯落物和土壤持水规律, 为经济林的经营管理和生态效益评价提供科学依据。[方法] 以林龄为 1, 3, 7, 13, 29 a 的苹果林地为研究对象, 野外收集样品并采用室内浸水法和环刀法测定枯落物和 0—80 cm 土层的土壤水文性能。[结果] ① 7 a 林地的枯落物层蓄积量、最大持水量和有效拦蓄量显著高于 1, 3, 13, 29 a 的苹果林地; ② 苹果林地枯落物最大持水量为 5.02~20.66 t/hm<sup>2</sup>, 与浸水时间呈对数关系 ( $R > 0.90$ ); 最大持水率为 120.46%~352.53%, 与浸水时间呈幂函数关系 ( $R > 0.64$ ); ③ 随林龄增加, 土壤容重变化不大, 其变化范围为 1.173~1.372 g/cm<sup>3</sup>, 但总孔隙度、毛管孔隙度及最大持水量均表现为先增大后减小, 分别为 52.46%~57.06%, 46.34%~51.87%, 1 049.15~1 141.26 t/hm<sup>2</sup>, 非毛管孔隙度与有效持水量总体呈增加趋势; ④ 林龄为 3 a 的初渗率和平均渗透速率均高于其他林龄苹果林地, 为 3 a > 1 a > 29 a > 7 a > 13 a。因此, 林龄为 3 a 的苹果林地在整个渗透时间内其渗透性均高于其他林地。[结论] 苹果经济林能显著提高水源涵养和水土保持功能, 但枯落物和土壤的水文效应随林龄增加的变化并不同步, 且随林龄增大也会出现功能衰退的趋势。

**关键词:** 枯落物; 土壤持水性能; 土壤渗透性; 不同林龄

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)05-0040-06

**中图分类号:** S715.7

**文献参数:** 富丽, 赵锦梅, 李永宁, 等. 陇东黄土高原不同林龄苹果林地枯落物及土壤的水文效应[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 40-45. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.007. Fu Li, Zhao Jinmei, Li Yongning, et al. Hydrological effects of litters and soil in apple tree plantation at different stand ages of Longdong loess plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 40-45.

## Hydrological Effects of Litters and Soil in Apple Tree Plantation at Different Stand Ages of Longdong Loess Plateau

FU Li, ZHAO Jinmei, LI Yongning, LI Yahong, DAI Yuliang, ZHANG Weifei

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the litters and soil water-holding in apple tree plantation in the Loess Plateau of east Gansu Province, in order to provide scientific basis for economic forest management and ecological benefit evaluation. [Methods] Taking the stand age of 1, 3, 7, 13 and 29-year old apple tree plantation as the research object, we collected soil samples and used indoor immersion method and cutting ring knife method to analyze the hydrological properties of litters and soil at 0—80 cm depth. [Results] ① The litters layer volume, maximum water holding capacity and effective interception volume of 7-year apple forest land were significantly higher than that of 1, 3, 13 and 29-year apple forest land. ② The maximum water holding capacity of litter was 5.02~20.66 t/hm<sup>2</sup> and had a logarithmic correlation with immersion time ( $R > 0.90$ ). The maximum water holding rate of litter was 120.46%~352.53% and had a power function relation with water immersion time ( $R > 0.64$ ). ③ Soil bulk density changed little with the increasing stand age, and the change range was 1.173~1.372 g/cm<sup>3</sup>. In contrast, the total porosity, capillary porosity and maximum water increased initially and then decreased, the range was 52.46%~57.06%, 46.34%~51.87%

收稿日期: 2018-05-22

修回日期: 2018-05-31

资助项目: 国家自然科学基金项目“东祁连山区高寒灌丛土壤水文效应研究”(41661060); 甘肃省自然科学基金项目“东祁连山高寒草地土壤优先流过程研究”(1606RJZA005); 甘肃农业大学大学生科研训练计划项目(201610733020)

第一作者: 富丽(1995—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区托克托县人, 学士, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: 921679605@qq.com。

通讯作者: 赵锦梅(1978—), 女(汉族), 甘肃省天水市人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究。E-mail: zhaojm@gsau.edu.cn。

and 1 049.15~1 141.26 t/hm<sup>2</sup>, respectively. Non-capillary porosity and effective water showed an overall increasing trend. ④ The initial infiltration rate and average permeation rate of 3-year old apple plantation were higher than those of other forest ages, which was 3 a>1 a>29 a>7 a>13 a. Therefore, the permeability of apple forest land aged 3 years was higher than other forest lands during the entire penetration time. [Conclusion] Apple economic forest can significantly improve the water conservation and soil and water conservation functions, but the hydrological effects of litters and soil are not synchronized, and with the increase of stand age, there will be a trend of functional decline.

**Keywords:** litter; water-holding capacity; soil permeability; different ages

枯落物和土壤是森林生态系统的基本组分<sup>[1]</sup>,二者在水源涵养和水土保持方面发挥着重要作用<sup>[2]</sup>。枯落物层不仅能截持降水,防止水蚀,抑制土壤蒸发,促进入渗,而且能改良土壤,提高土壤涵养水源能力<sup>[3]</sup>。研究认为,枯落物层厚度与土壤蒸发量呈负相关<sup>[4]</sup>,且不同的植被类型、林分组成、林龄等对枯落物截持能力有显著影响<sup>[5]</sup>。

林地土壤的持水能力和入渗特性是森林水文作用研究的重要内容,它们能反映林地水源涵养和水土保持能力,而土壤持水能力主要与土壤容重、孔隙度等物理性质及土层厚度有关<sup>[6]</sup>。有研究指出,土壤容重和孔隙度反映了土壤的透水性和通气性,是决定森林土壤水源涵养和水土保持能力的重要因素<sup>[7-8]</sup>;土壤通过渗透和储存降雨影响林地水量平衡及地表径流的形成和特征<sup>[9-11]</sup>。对林下枯落物和土壤水文效应的研究目前还集中在常见森林方面<sup>[12]</sup>,关于不同林龄经济林的研究还鲜有报道。

经济林是甘肃省农村经济和农民致富的一大支柱产业。近年来,静宁苹果产业的发展取得了可喜成绩,已成为促进经济增长的主导产业。据统计,到2017年底,静宁县以优质红富士品种为主的果园栽培总面积达 6.75×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup> 多,占总耕地面积的 68.2%<sup>[13]</sup>。苹果林主要利用荒山丘陵地或退耕地进行种植,这为当地群众提供经济收入的同时还改善了当地生态环境。为了解该地区经济林的枯落物和土壤的水源涵养及水土保持效应,本文拟测定分析苹果经济林的枯落物的蓄积量和持水力及土壤的持水力和入渗特征及其林龄变化,以期能为经济林的经营管理和生态效益评价提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区静宁县位于甘肃省东部,六盘山西部,黄土高原丘陵沟壑区(105°38′—105°59′E,35°16′—35°30′N),总面积 2 193 km<sup>2</sup>,耕地面积 9.82×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,海拔 1 340~2 245 m。该区属于黄土高原暖湿带半湿润半干旱气候,年均气温 8.3℃,年均降水量 450.8 mm,主

要集中在 7—9 月,年均蒸发量 1 379.2 mm,干旱指数为 1.7,年均日照时数 2 238 h,无霜期 160 d。土壤主要以黄绵土为主,是典型的雨养型农业县。

### 1.2 样地设置与调查

在充分考虑坡度与坡向相对一致的情况下,于 2016 年 11 月,在静宁县选取林龄为 1,3,7,13 和 29 a 的苹果林地,每个样地内随机选取能代表该林龄所有苹果树生长状况的 3 棵苹果树,为避免挖剖面对果树根系造成损伤,样方设置在距主树干一定距离的树冠下,样方大小为 50 cm×50 cm,并对标准地内的林木特征因子进行调查,郁闭度采用树冠投影法测定,样地情况见表 1。

表 1 样地的基本调查情况

林龄/ a	坡向	平均树高/ m	胸径/ cm	郁闭度/ %
1	阳坡	1.23	3.28	0.305
3	阳坡	2.32	13.60	27
7	阳坡	3.81	45.57	43
13	阳坡	2.64	66.20	87
29	阳坡	3.33	62.66	51

### 1.3 枯落物和土壤样品采集

收集每个样地内所设小样方内的枯落物,现场称量鲜重后装入自封袋;根据研究区苹果林地根系主要分布在距离主干 30—150 cm 内的 20—80 cm 深土层中,以 40—60 cm 土层分布最多的特征<sup>[13]</sup>,本研究土壤采样深度为 0—80 cm。然后在收集枯落物的对应处挖土壤剖面,用容积为 100 cm<sup>3</sup> 环刀在每个样地内按 0—20,20—40,40—60,60—80 cm 土层共计 4 层取样,每层 3 次重复。

### 1.4 相关指标测定<sup>[14-15]</sup>

将自封袋中的枯落物带回实验室在 85℃ 下烘干后称干重,计算枯落物的蓄积量。将烘干后的枯落物装入尼龙网中在水中浸泡,当浸泡时长为 0.5,1,1.5,2,4,6,8,10,12,24 h 后,捞起并静置到枯落物不滴水时称重,计算枯落物最大持水量及持水速率。

$$R_m = (G_{24} - G_d) / G_d \times 100\%$$

$$R_o = (G_o - G_d) / G_d \times 100\%$$

$$W_m = (R_m - R_o) M$$

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

式中:  $R_m$ ——枯落物最大持水率(%);  $G_o, G_d$  和  $G_{24}$ ——枯落物自然状态下质量、枯落物干质量和浸水 24 h 后质量(g);  $W_m$ ——最大拦蓄量( $t/hm^2$ );  $W$ ——有效拦蓄量( $t/hm^2$ );  $R_m$ ——最大持水率(%);  $R_o$ ——平均自然含水率(%);  $M$ ——枯落物蓄积量( $t/hm^2$ )。

用烘干法测定土壤自然含水率,采用环刀法测定土壤田间持水量、毛管持水量和饱和含水量等指标,根据所得指标计算土壤孔隙度、容重和持水量等指标<sup>[13,16]</sup>。

$$S = 10\ 000hp$$

式中:  $S$ ——土壤持水力( $t/hm^2$ );  $h$ ——土壤层厚度(m);  $p$ ——非毛管孔隙度(%)。

### 1.5 数据处理分析

试验数据处理和图表绘制使用 Excel 和软件 SPSS19.0 进行统计分析。采样单因素多样本的方差检验,用 Duncan 进行多重比较分析。

表 2 研究区不同林龄苹果林地枯落物层的拦蓄能力

林龄/ a	枯落物蓄积量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	最大持水量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	最大持水率/ %	自然含水率/ %	最大拦蓄量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	最大拦蓄率/ %	有效拦蓄量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	有效拦蓄率/ %
1	0.69 <sup>c</sup>	5.02 <sup>c</sup>	120.46 <sup>c</sup>	2.815 <sup>b</sup>	0.82 <sup>c</sup>	117.65 <sup>c</sup>	0.69 <sup>c</sup>	99.58 <sup>c</sup>
3	3.42 <sup>b</sup>	8.68 <sup>bc</sup>	252.25 <sup>b</sup>	6.804 <sup>a</sup>	8.45 <sup>b</sup>	245.45 <sup>b</sup>	7.14 <sup>b</sup>	207.61 <sup>b</sup>
7	5.91 <sup>a</sup>	20.66 <sup>a</sup>	352.53 <sup>a</sup>	7.420 <sup>a</sup>	20.22 <sup>a</sup>	345.11 <sup>a</sup>	17.12 <sup>a</sup>	292.23 <sup>a</sup>
13	4.62 <sup>ab</sup>	15.65 <sup>ab</sup>	329.59 <sup>ab</sup>	7.517 <sup>a</sup>	15.32 <sup>ab</sup>	322.07 <sup>ab</sup>	12.97 <sup>ab</sup>	272.64 <sup>ab</sup>
29	4.66 <sup>ab</sup>	14.23 <sup>ab</sup>	303.67 <sup>ab</sup>	6.863 <sup>a</sup>	13.91 <sup>ab</sup>	296.80 <sup>ab</sup>	11.78 <sup>ab</sup>	251.25 <sup>ab</sup>

注:不同字母表示不同林龄之间差异性显著( $p < 0.05$ )。下同。

### 2.1.2 不同林龄苹果林地枯落物持水率随时间的变化

由图 1 可看出,5 种林龄苹果林枯落物的持水率

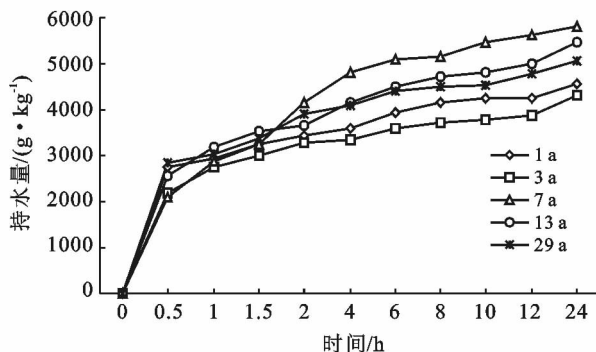


图 1 苹果林地枯落物持水率与浸水时间的关系

①急剧增加阶段:在 0~0.5 h 内,枯落物持水率迅速增大,在第 0.5 h 时刻,不同林龄枯落物的持水率大小为:29 a > 1 a > 13 a > 3 a > 7 a,此时枯落物的吸水速率达到最大,不同林龄枯落物吸水速率与持水

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林龄苹果林地枯落物的水源涵养功能

2.1.1 不同林龄苹果林地枯落物的拦蓄能力 如表 2 所示,研究区枯落物各水文功能指标值均随林龄增加表现为先增大后减小,具体变化为:在 1~7 a 内,枯落物的拦蓄能力成倍增长,尤其是从 1~3 a,增长速度最大的最大拦蓄量和有效拦蓄量达 10 倍左右;在 3~7 a,增速相对较慢,各指标基本保持约 1~3 倍;在 7~29 a 林龄,枯落物的拦蓄能力有所下降。方差分析发现:1 a 的各指标与其他林龄之间的差异显著,7, 13 a 和 29 a 两两之间的差异均不显著,13, 29 a 与 3 a 林龄之间的差异不显著,但 7 a 与 3 a 林龄各指标之间差异显著;自然含水率的值在 13 a 林龄时最大,在 1 a 林龄时最小,1 a 与其他林龄之间的差异性均显著,而其余各林龄之间的差异不显著。这表明苹果经济林枯落物的拦蓄能力在初值 7 a 内持续提高,之后随着林龄增加而降低。

随浸水时间增加而增大,结合吸水速率的变化(图 2),动态变化过程可分为 3 个阶段。

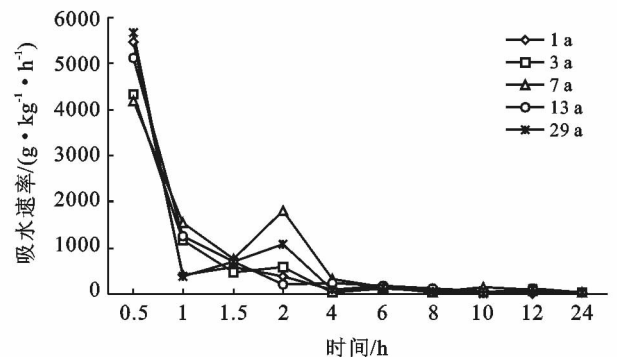


图 2 苹果林地枯落物吸水速率与浸水时间的关系

率大小一致;②波动增加阶段:在 0.5~4 h 内,枯落物的持水率虽然在增加,但是增加的速率远小于前一时段,3, 7 和 29 a 的吸水速率有所波动,但枯落物吸水速率整体变化呈迅速减小态势;③平稳阶段:4 h 以

后,枯落物持水率增加的态势趋于平稳,吸水速率一直在减小并趋向于 0,此时段内枯落物持水率的大小为:7 a>13 a>29 a>1 a>3 a。对 5 种不同林龄枯落物的持水率和吸水速率分别与浸水时间之间的关系

进行回归分析(表 3),得出不同林龄的枯落物持水率与浸泡时间呈对数关系( $R>0.90$ ),吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系( $R>0.64$ ),结果与鲁绍伟等<sup>[17]</sup>、卢振启等<sup>[18]</sup>的研究一致。

表 3 不同林龄苹果林样地枯落物的持水率、吸水速率与浸水时间的关系

林龄/a	枯落物的持水率 Q 与浸水时间 t		枯落物的吸水速率 S 与浸水时间 t	
	关系式	R <sup>2</sup>	关系式	R <sup>2</sup>
1	$Q=1608.7\ln t+816.67$	0.90	$S=7\ 133.3t^{-2.74}$	0.64
3	$Q=1514.5\ln t+660.63$	0.92	$S=4\ 960.0t^{-2.236}$	0.89
7	$Q=2410.9\ln t+196.82$	0.99	$S=8\ 044.3t^{-2.263}$	0.76
13	$Q=1997.7\ln t+602.76$	0.96	$S=5\ 370.1t^{-2.05}$	0.94
29	$Q=1829.4\ln t+774.88$	0.93	$S=5\ 202.1t^{-2.243}$	0.72

## 2.2 不同林龄苹果林地土壤的水源涵养功能

2.2.1 不同林龄苹果林地土壤物理性状及其持水能力 由表 4 可知,随着林龄增大,不同林龄苹果林地土壤容重表现为 13 a>7 a>29 a>3 a>1 a,各林龄之间差异不显著;总孔隙度、毛管孔隙度及最大持水量的变

化相同,均先增大后减小,3 a 时达最大值,与最小值 29 a 之间的差异显著;非毛管孔隙度与有效持水量的变化一致,总体呈增加趋势,但是 13 a 时达到最大值,且与其他林龄之间的差异性显著;自然含水量在 1~13 a 间持续降低,在 13 a 时最小,但在 29 a 时最大。

表 4 不同林龄苹果林样地土壤物理性状

苹果林龄/a	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙/%	自然含水量/%	最大持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	有效持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )
1	1.206 <sup>a</sup>	55.33 <sup>ab</sup>	50.76 <sup>a</sup>	4.58 <sup>b</sup>	12.21 <sup>b</sup>	1 106.67 <sup>ab</sup>	91.51 <sup>b</sup>
3	1.173 <sup>a</sup>	57.06 <sup>a</sup>	51.87 <sup>a</sup>	5.19 <sup>b</sup>	10.79 <sup>bc</sup>	1 141.26 <sup>a</sup>	103.78 <sup>b</sup>
7	1.260 <sup>a</sup>	53.67 <sup>ab</sup>	48.96 <sup>ab</sup>	4.71 <sup>b</sup>	10.60 <sup>bc</sup>	1 073.35 <sup>ab</sup>	94.24 <sup>b</sup>
13	1.372 <sup>a</sup>	53.78 <sup>ab</sup>	46.34 <sup>b</sup>	7.44 <sup>a</sup>	9.41 <sup>c</sup>	1 075.56 <sup>ab</sup>	148.73 <sup>a</sup>
29	1.218 <sup>a</sup>	52.46 <sup>b</sup>	46.71 <sup>b</sup>	5.53 <sup>b</sup>	14.46 <sup>a</sup>	1 049.15 <sup>b</sup>	114.91 <sup>b</sup>

2.2.2 不同林龄苹果林地土壤的入渗性能 由表 5 可知,不同林龄苹果林地土壤初渗速率的大小关系为:3 a>1 a>29 a>7 a>13 a,且方差分析的结果为:1,3,29 a 之间的差异不显著,它们与 7,13 a 之间的差异显著,7 和 13 a 之间的差异不显著;稳渗速率的大小关系表现为:3 a>1 a>29 a>13 a>7 a,3 与 7 a 之间的差异显著,其余林龄之间的差异不显著;平均渗透速率的大小与初渗速率和稳渗速率的关系一致,差别在于 7 与 13 a 的相等,且各林龄之间的差异性不显著。综上所述,土壤的通透性随着林龄的增大,在林龄 1~3 a 内有所提高,3~7 a 减小较快,之后保持平稳,13 a 之后又有所提高。

表 5 不同林龄苹果林样地土壤通透性

林龄/a	渗透速率/(mm·min <sup>-1</sup> )			稳渗时间/min
	初渗速率	稳渗速率	平均速率	
1	3.86 <sup>ab</sup>	2.94 <sup>ab</sup>	3.32 <sup>a</sup>	60
3	6.07 <sup>a</sup>	3.50 <sup>a</sup>	4.57 <sup>a</sup>	60
7	1.52 <sup>b</sup>	1.04 <sup>b</sup>	1.22 <sup>a</sup>	60
13	1.43 <sup>b</sup>	1.25 <sup>ab</sup>	1.22 <sup>a</sup>	75
29	2.68 <sup>ab</sup>	1.63 <sup>ab</sup>	2.36 <sup>a</sup>	75

## 3 讨论

### 3.1 不同林龄苹果林对枯落物的水文效应的影响

苹果林地枯落物的水文效应与林龄密切相关。枯落物具有很强的持水能力,在涵养水源方面发挥着重要的作用,因此枯落物的持水量被作为评估植被水源涵养功能的重要指标之一<sup>[19]</sup>。王美莲等<sup>[20]</sup>在对不同林龄兴安落叶松的研究中发现,不同林龄枯落物的有效拦蓄量(率)差别很大,林龄越大,拦蓄量(率)越大,而叶晶等<sup>[21]</sup>通过对不同经营年限的核桃林地的研究发现,随着经营年限的延长,林地枯落物层蓄积量、最大持水量和有效拦蓄量呈下降的趋势。本研究发现,苹果经济林地枯落物的拦蓄作用随林龄的增加表现为先增大后减小,7 a 时达到最大值,这与李文影等<sup>[22]</sup>对不同林龄白桦次生林研究的研究结果一致。造成这种差异的原因可能与研究区的气候有关,大兴安岭属寒温带湿润性气候,核桃的研究区位于浙江省属北亚热带季风气候区,而本实验研究区与李文影等的研究区的气候属温带大陆性气候,由于气候的差异导致降雨量、气温及干湿季的分布不同,进一步对枯

落物拦蓄能力造成影响,但具体的作用机制有待于进一步研究。

枯落物的蓄积量与林地的林龄、生长状况等自身的生物学特性及林下植被类型、气候、水热等外部环境条件有关<sup>[23]</sup>。本研究发现,枯落物的蓄积量随着林龄的增大先增大后减小,以 1 a 时的最小,7 a 时的最大,分析认为,林龄为 7 a 的苹果林,每年的生长量大,能够在短时间内形成大量的枯落物,这是造成枯落物蓄积量显著高于其他林龄苹果林的主要原因。林龄为 1 a 和 3 a 的苹果林因其树木矮小,叶片的生长量也远小于其他林龄,这是导致林龄 1 a 和 3 a 的苹果林的枯落物蓄积量显著小于其他林龄的主要因素。13 a 和 29 a 的苹果林经过多年的经营与利用,林木逐渐老化,当年的生长量逐渐减小,尤其是 29 a 的苹果林需要更新,分析认为这是导致 13 和 29 a 的枯落物蓄积量逐渐减小的主要原因。从枯落物持水率来看,枯落物持水率最高的是林龄为 7 a 的苹果林,3 a 的苹果林最小,这一变化规律与 5 种苹果林地枯落物蓄积量变化相一致,因此得出枯落物的蓄积量越大,枯落物的持水率也大,这一特征与赵锦梅等<sup>[24]</sup>的研究结果一致。

### 3.2 不同林龄苹果林地对土壤的水文效应的影响

土壤容重和孔隙度是表征土壤物理性能的重要指标<sup>[25]</sup>。文章研究发现,随着林龄的增大,土壤容重的变化较小,且各林龄之间的差异不显著,这是因为容重作为土壤的固有属性,某一特定的土壤有其对应的阈值。有研究指出,土壤持水能力高低取决于在一定土壤厚度条件下土壤容重和孔隙的大小<sup>[26-27]</sup>。土壤最大持水量与总孔隙度、毛管孔隙度的变化相同;它们随林龄的增大先增大后减小,整体呈减小趋势,非毛管孔隙度与有效持水量虽波动变化,但总体呈增加趋势,高朝侠等<sup>[28]</sup>在对黄土高原区土地利用方式对土壤大孔隙的研究中指出,林木在生长过程中通过根系的挤压、分割作用,改变了土壤的结构,增加了土壤的大孔隙;另外,随林龄的增大,枯落物的分解使得土壤的有机质含量增加,土壤颗粒容易形成团聚体,有机质的增加还能提高土壤动物的活动,增加土壤的大孔隙。卢立娜等<sup>[29]</sup>对不同林龄沙棘研究的研究中也发现,随着林龄的增大,土壤的非毛管孔隙度也增加。土壤孔隙度的变化还可能与不同耕作与经营管理方式有关。上述土壤大孔隙的变化也能解释土壤渗透性的变化。

土壤自然含水率先持续降低,13 a 之后又增加,这可能是由于随着林龄增大,苹果树逐渐成熟,生理生长所需的水分也逐渐增大,导致土壤中的水分也相

应减小,但是 13 a 以后,苹果树开始老化,代谢下降,所需的水分也随之减少,土壤中的水分又开始回升。

土壤渗透性是描述土壤入渗快慢的重要参数之一,其大小受植被类型、植被结构、根系分布和土壤结构等影响<sup>[30]</sup>,本研究发现,土壤的渗透性随着林龄的增大,在 1~3 a 内提高,3~7 a 减小较快,之后保持平稳,13 a 之后又增大,与总孔隙度、毛管孔隙度的变化相同,这可能与前期农田的土地利用有关,1~3 a 间没有采摘等活动压实土壤,同时草本生长增加了土壤表层孔隙度;但在以后,随着果园管理的人为践踏和除草等活动干扰加强,土壤渗透速率反而降低。这也说明土壤渗透性能和土壤物理性状密切相关<sup>[31-32]</sup>。

## 4 结论

(1) 不同林龄苹果林地枯落物层持水量、吸水速率与浸水时间分别符合对数函数( $R > 0.90$ )和幂函数( $R > 0.64$ )。随着浸水时间的延长,各不同苹果林地枯落物持水量和吸水速率均在前 0.5 h 内变化较快,之后变化趋势变缓。

(2) 各不同苹果林地枯落物层蓄积量在 0.69~5.91 t/hm<sup>2</sup>,其中 7 a 林龄苹果林地枯落物的蓄积量最大,1 a 的蓄积量最小。7 a 林龄苹果林地枯落物的最大持水量最大,为 20.66 t/hm<sup>2</sup>,是 1 a 林龄苹果林地枯落物持水能力的 4.1 倍。各不同苹果林地枯落物有效拦蓄率变化范围为 99.58%~292.23%;最大有效拦蓄率为 7 a 林龄苹果林,最小有效拦蓄率为 1 a 林龄苹果林。

(3) 土壤容重变化不大,其变化范围为 1.173~1.372 g/cm<sup>3</sup>,但总孔隙度、毛管孔隙度及最大持水量均表现为先增大后减小,分别为 52.46%~57.06%,46.34%~51.87%,1 049.15~1 141.26 t/hm<sup>2</sup>,非毛管孔隙度与有效持水量总体呈增加趋势。

不同林龄苹果林地枯落物的拦蓄能力在林龄为 7 a 时达最大,而土壤的水土保持功能在林龄为 3 a 时较好,这反映出枯落物和林地土壤的水文效应变化并不同步,而且随着林龄的增大也会出现功能衰退的趋势,对于这一变化今后做进一步的深入的研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 熊莉,徐振锋,杨万勤,等. 川西亚高山粗枝云杉人工林地上凋落物对土壤呼吸的贡献[J]. 生态学报,2015,35(14):4678-4686.
- [2] 周志立,张丽玮,陈倩,等. 木兰围场 3 种典型林分枯落物及土壤持水能力[J]. 水土保持学报,2015,29(1):207-213.
- [3] 贲越,周一杨,李彧,等. 枯落物分解与土壤蓄水能力关

- 系的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(5): 1416-1418.
- [4] 时忠杰, 王彦辉, 徐丽宏, 等. 六盘山主要森林类型枯落物的水文功能[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(1): 91-99.
- [5] 程金花, 张洪江, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林地被物及土壤持水特性[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(3): 45-49.
- [6] 张光灿, 刘霞, 赵玫, 等. 泰山几种林分枯落物和土壤水文效应研究[J]. 林业科技通讯, 1999(6): 28-29.
- [7] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 等. 等缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 106-109.
- [8] 王勤, 张宗应, 徐小牛. 安徽大别山区不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 59-62.
- [9] Sharma S K, Sastry G. Impact of various land uses on the infiltration in Doon Valley[J]. Indian Journal of Soil Conservation, 1998, 26(1): 17-18.
- [10] Zwieniecki M A. Water-holding characteristics of meta-sedimentary rock in selected forest ecosystems in Southwestern Oregon [J]. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60(5): 1578-1582.
- [11] Iroumé A, Huber A, Schulz K. Summer flows in experimental catchments with different forest covers[J]. Journal of Hydrology, 2005, 300(1): 300-313.
- [12] 李召青, 张卫强, 殷祚云, 等. 四种人工林枯落物持水特性[J]. 广东林业科技, 2012, 28(4): 5-10.
- [13] 孙文泰, 张坤, 刘小勇, 等. 垄膜集雨对陇东旱塬苹果根系分布及土壤性状的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(10): 100-105.
- [14] 岳勇. 静宁县苹果产业发展模式研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [15] 胡晓聪, 黄乾亮, 金亮. 西双版纳热带山地雨林枯落物及其土壤水文功能[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 55-63.
- [16] 李鹏鹏, 艾炳伟, 李强, 等. 甘肃静宁推进苹果化肥农药减施增效的现状与建议[J]. 果树实用与信息技术, 2018(4): 35-39.
- [17] 鲁绍伟, 陈波, 潘青华, 等. 半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺[J]. 生态学报, 2011, 31(11): 3060-3068.
- [18] 卢振启, 黄秋娟, 杨新兵. 河北雾灵山不同海拔油松人工林枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 112-116.
- [19] 王云强, 邵明安, 刘志鹏. 黄土高原区域尺度土壤水分空间变异性[J]. 水科学进展, 2012, 23(3): 310-316.
- [20] 王美莲, 王飞, 姚晓娟, 等. 不同林龄兴安落叶松枯落物及土壤水文效应研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(6): 925-931.
- [21] 叶晶, 吴家森, 张金池, 等. 不同经营年限山核桃林地枯落物和土壤的水文效应[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 87-91.
- [22] 李文影, 满秀玲, 张阳武. 不同林龄白桦次生林土壤特性及其水源涵养功能[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 63-69.
- [23] 刘芝芹, 黄新会, 徐璟, 等. 云南高原不同林分类型枯落物储量及持水特性[J]. 生态环境学报, 2015, 24(6): 919-924.
- [24] 赵锦梅, 马瑞, 张富, 等. 兰州市北山不同人工林枯落物和土壤的水文特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 57-61.
- [25] 巍强, 张秋良, 代海燕, 等. 大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 111-115.
- [26] 柴亚凡, 王恩姮, 陈祥伟, 等. 植被恢复模式对黑土贮水性能及水分入渗特征的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 60-64.
- [27] 李红, 范素芳, 张光灿, 等. 黄土丘陵区退耕还林后不同林地土壤孔隙与贮水特性[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 27-30.
- [28] 高朝侠, 徐学选, 宇苗子, 等. 黄土塬区土地利用方式对土壤大孔隙特征的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1578-1584.
- [29] 卢立娜, 赵雨兴, 胡莉芳, 等. 沙棘(*Hippophae rhamnoides*)种植对鄂尔多斯砒砂岩地区土壤容重、孔隙度与贮水能力的影响[J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1171-1176.
- [30] 李建兴, 何丙辉, 梅雪梅, 等. 紫色土区坡耕地不同种植模式对土壤渗透性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 725-731.
- [31] 潘云, 吕殿青. 土壤容重对土壤水分入渗特性影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(2): 59-61, 77.
- [32] 张昌顺, 范少辉, 官凤英, 等. 闽北毛竹林的土壤渗透性及其影响因子[J]. 林业科学, 2009, 45(1): 36-42.