

张亚庆,胡慧蓉. 滇中磨盘山几种典型林分枯落物及土壤的持水特性[J]. 江苏农业科学,2019,47(15):296-301.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.15.068

# 滇中磨盘山几种典型林分枯落物及土壤的持水特性

张亚庆<sup>1</sup>, 胡慧蓉<sup>1,2</sup>

(1. 西南林业大学生态与水土保持学院, 云南昆明 6502242; 2. 云南玉溪森林生态系统定位研究站, 云南玉溪 653100)

**摘要:**采用室内浸水法和环刀法分析滇中磨盘山 4 种典型林分枯落物及土壤持水特性,为研究该地区水土保持提供依据。4 种林分枯落物层的总蓄积量为 3.22 ~ 8.98 t/hm<sup>2</sup>,大小依次为华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林。各林分枯落物持水量、吸水速率随浸水时间分别呈  $Q = a + b \ln t$ 、 $v = kt^n$  的方程关系。4 种林分枯落物的最大持水量为 7.92 ~ 20.77 t/hm<sup>2</sup>,有效拦蓄量为 4.46 ~ 12.85 t/hm<sup>2</sup>,均呈现出华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林,表明 4 种林分枯落物层华山松针叶林持水性能最强。在 0 ~ 40 cm 的土层,土壤容重均值最大为华山松针叶林(0.84 g/cm<sup>3</sup>),最小的是高山栲常绿阔叶林(0.51 g/cm<sup>3</sup>)。非毛管孔隙度均值最大的是高山栲常绿阔叶林(16.97%),最小的是云南松 + 木荷混交林(8.69%)。土壤最大持水量均值为 586.60 ~ 777.13 t/hm<sup>2</sup>,有效持水量均值为 109.33 ~ 207.25 t/hm<sup>2</sup>,4 种林分土壤层持水性能表现为高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林 > 华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林。比较了滇中磨盘山 4 种林地枯落物层和土壤层的持水特征,发现枯落物层的持水量远低于土壤层。因此,高山栲常绿阔叶林持水性能最好。

**关键词:**典型林分;枯落物;土壤持水特性;滇中磨盘山;水土保持

**中图分类号:** S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)15-0296-05

森林作为陆地生态系统的主体,具有最大的水源涵养和水土保持功能<sup>[1-2]</sup>。在森林垂直结构的 3 个层次中,枯落物层和土壤层对森林系统涵养水源具有重要意义,主要表现在阻滞分散降水、避免地面溅蚀、调节地表径流、削减水分蒸发、提高土壤蓄水量等方面<sup>[3]</sup>。同时,不同森林类型因为其林分发育环境、树种组成结构及其生产力存在差异,造成水土保持性能也有所不同<sup>[4-5]</sup>。因此,加强森林枯落物和土壤水文效应监测对于森林资源合理经营/改善森林水环境、利用水资源具有重要意义<sup>[6-7]</sup>。

云南横穿北回归线,地处低纬高原,气候类型多样,植被种类丰富。冬、夏半年各受 2 种不同大气环流影响(冬半年受北部大陆上空干暖气候控制,夏半年受海洋暖湿气流的控制),干、湿季分明,地域分配极不均匀。常伴有干旱和森林火灾等自然灾害的发生,因此研究其水分特性具有重要的意义。近年来,国内学者对我国不同地区森林枯落物及其土壤持水特性等内容已有较多的研究和报道<sup>[2,8-9]</sup>,但对云南高原垂直方向上亚热带向暖温带过渡地带各林分下的枯落物与土壤水分特性研究的相关报道并不多见,未能反映出滇中高原山地森林土壤及其枯落物的水文特征。本研究以滇中磨盘山 4 种典型林分高山矮栎林、高山栲常绿阔叶林、华山松针叶林、云南松 + 木荷混交林为研究对象,通过比较和分析 4 种典

型林分枯落物及土壤的持水能力,以揭示其水文生态功能。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地滇中磨盘山地处云贵高原、横断山地和青藏高原南缘的地理结合部(101°16'06" ~ 101°16'12"E,23°46'18" ~ 23°54'34"N),海拔 1 260.0 ~ 2 614.4 m,面积 7 348.5 hm<sup>2</sup>。地处低纬高原,地形地貌复杂,兼具低纬气候、季风气候、山原气候的特点。年平均气温 15 ℃,年平均降水量 1 050 mm,极端最高气温 33.0 ℃,极端最低气温 -2.2 ℃,全年日照时数 2 380 h。磨盘山海拔高度不高,但因其特殊的地理位置导致立体气候明显,森林类型多样,植被种类丰富,随海拔的升高呈现出垂直分布特征。土壤以山地红壤和玄武岩红壤为主,局部地区有黄棕壤分布。土壤厚度以中厚土壤层为主,局部为薄土层,全区有效土层厚度约为 40 cm。

### 1.2 样地设置与样品采集

2016 年 11 月在前期踏查的基础上,以滇中磨盘山 4 种典型林分高山矮栎林、高山栲常绿阔叶林、华山松针叶林、云南松 + 木荷混交林为研究对象,根据典型性和代表性原则,在林内设置 3 个 20 m × 20 m 标准地,并进行样地调查。样地基本情况见表 1。

在上述 4 种典型样地内,沿对角线设 5 个面积为 50 cm × 50 cm<sup>[10]</sup>的小样方,小样方内的枯落物按分解程度划分为未分解层、半分解层 2 层,分层测量并取样称鲜质量。同时,分别挖掘 4 个土壤剖面,按 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 40 cm 划分土壤层,分层测定土壤自然含水率并取环刀,每层土壤测定重复 3 次。将枯落物样品与带土的环刀带回实验室,进行分析测定。

### 1.3 枯落物蓄积量及持水性能测定

枯落物蓄积量测定:将取得的枯落物称鲜质量,烘干

收稿日期:2018-03-31

基金项目:云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目(编号:05000511311);西南林业大学科研启动基金(编号:111703)。

作者简介:张亚庆(1992—),女,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为森林生态学土壤肥力与养分循环。E-mail:408922029@qq.com。

通信作者:胡慧蓉,博士,教授,主要从事森林生态学土壤肥力与养分循环研究。E-mail:1458719615@qq.com。

表 1 典型林分的基本情况

林分类型	海拔 (m)	坡向 (°)	坡度 (°)	土壤类型	郁密度	林内主要乔、灌木
高山矮栎林	2 504	NW62	29	黄棕壤	0.95	高山栎 ( <i>Quercus semecarpifolia</i> )、光叶柯 ( <i>Lithocarpus mairei</i> )、麻栎 ( <i>Quercus acutissima</i> )
高山栲常绿阔叶林	2 430	SW31	18	红壤	0.90	高山栲 ( <i>Castanopsis delavayi</i> )、小铁子 ( <i>Myrsine africana</i> )、滇青冈 ( <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i> )
华山松针叶林	2 346	SW55	27	红壤	0.75	华山松 ( <i>Pinus armandii</i> )、青冈 ( <i>Cyclobalanopsis glauca</i> )、斜基叶柃 ( <i>Eurya obliquifolia</i> )
云南松 + 木荷混交林	2 160	SW43	15	红壤	0.85	云南松 ( <i>Pinus yunnanensis</i> )、云南含笑 ( <i>Michelia yunnanensis</i> )、木荷 ( <i>Schima superba</i> Gardn)

(80 ℃) 至恒质量, 计算枯落物的自然含水率及蓄积量。

枯落物持水量及吸水速率测定: 采用室内浸水法, 将烘干后的枯落物取部分 (约 20 g) 称量装入尼龙网袋, 分别测定其浸入清水后 0.25、0.5、1、2、4、6、8、12、18、24 h 的质量, 由此计算在不同浸水时间段内枯落物的持水量、持水率及吸水速率<sup>[10-11]</sup>。计算公式为

$$Q = (G_i - G_d) / G_d \times 100\%; v = Q / t。$$

式中:  $Q$  为枯落物不同时段持水量, g/kg;  $G_i$ 、 $G_d$  分别为每个时间段浸水后质量和枯落物烘干质量, g;  $v$  为枯落物的吸水速率, g/(kg·h)。

枯落物有效拦蓄量测定: 采用有效拦蓄量来估算枯落物层对实际降水的有效拦蓄情况<sup>[12-14]</sup>。计算公式为

$$W = (0.85Q_m - Q_0)M。$$

式中:  $W$  为有效拦蓄量, t/hm<sup>2</sup>;  $Q_m$  为最大持水率, %;  $Q_0$  为自然含水率, %;  $M$  为枯落物蓄积量, t/hm<sup>2</sup>。

#### 1.4 土壤物理性质及持水性能测定

采用烘干法测定土壤自然含水量, 采用环刀法测定土壤容重、土壤水分物理性质、土壤孔隙度。土壤持水量计算公式为<sup>[12]</sup>

$$R_{\max} = 10\,000hp_i; R = 10\,000hp。$$

式中:  $R_{\max}$  为土壤最大持水量, t/hm<sup>2</sup>;  $R$  为土壤有效持水量, t/hm<sup>2</sup>;  $h$  为土层厚度, m;  $p_i$  为土壤总孔隙度, %;  $p$  为土壤非毛管孔隙度, %。

#### 1.5 数据统计与分析

利用 SPSS 16.0 中的单因素方差分析检验 4 种典型林分枯落物不同分解层和土壤不同土层持水能力的差异显著性。

表 2 典型林分枯落物蓄积量

林分类型	总厚度 (cm)	枯落物厚度 (cm)		总蓄积量 (t/hm <sup>2</sup> )	枯落物蓄积量			
		未分解层	半分解层		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 (%)
高山矮栎林	5.65a	3.50	2.15	3.22b	2.33b	72.34	0.89bc	27.66
高山栲常绿阔叶林	4.29b	2.56	1.73	4.03b	3.18b	78.78	0.85c	21.22
华山松针叶林	5.33ab	3.20	2.13	8.98a	6.03a	66.54	2.95a	33.46
云南松 + 木荷混交林	5.90a	3.53	2.37	4.98b	3.17b	63.49	1.81b	36.51

注: 同列数据后不同小写字母表明林分间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。

2.1.2 枯落物持水过程 枯落物持水量及其吸水速率是反映持水能力的 2 项重要指标<sup>[17]</sup>。枯落物持水量大小与森林类型、枯落物特性、枯落物分解状况、枯落物自然含水量等有直接关系<sup>[18]</sup>。由图 1 可知, 4 种林分所呈现出的变化规律基本一致, 即浸水初期持水量迅速增加, 中期增加的幅度随浸水

采用 Excel 2007 进行图表处理和平均值等简单描述性统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 典型林分枯落物持水特性

2.1.1 枯落物的蓄积量 森林枯落物层的储水能力由枯落物数量和持水特性共同决定, 一般枯落物的蓄积量越多, 持水能力越强, 其水源涵养功能越好<sup>[13]</sup>。由表 2 可知, 4 种林分枯落物总厚度在 4.29 ~ 5.90 cm, 大小依次为云南松 + 木荷混交林 > 高山矮栎林 > 华山松针叶林 > 高山栲常绿阔叶林, 且各林分枯落物厚度均表现为未分解层 > 半分解层。4 种林分枯落物总蓄积量在 3.22 ~ 8.98 t/hm<sup>2</sup>, 大小依次为华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林, 华山松针叶林与高山矮栎林、高山栲常绿阔叶林间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 林下枯落物的蓄积量约是高山矮栎林、高山栲常绿阔叶林的 2 倍。本研究结果与梁晓娇等的研究结论<sup>[15]</sup>一致, 可能是由于针叶林的枯落物产量多、难分解, 而阔叶林易于分解造成的<sup>[14]</sup>。枯落物总厚度与总蓄积量并未表现出一致的规律, 这是因为森林系统不同树种组成和生长状况会不同程度地影响到枯落物的输入与分解, 进而直接影响到森林枯落物的积累。其次, 4 种林分未分解层、半分解层蓄积量所占总蓄积量的比例也有不同, 半分解层所占的比例较小, 为 21% ~ 37%, 未分解层所占的比例高达 60% 以上。本研究结果与赵雨森等的半分解层大于未分解层的研究结果<sup>[3,14]</sup>相反, 但与赵阳等的研究结论<sup>[16]</sup>趋于一致, 这与林木的凋落归还主要发生在秋冬季节有很大关系。

时间的推移而下降, 后期趋于稳定。同时, 半分解层枯落物浸泡 8 h 已基本趋于稳定, 而未分解层 10 h 才趋于稳定。由此可见, 枯落物分解程度不同, 其持水量动态也不相同。在未分解层, 高山矮栎林累积持水量最大, 为 2 424 g/kg, 华山松针叶林最小, 为 2 040 g/kg; 半分解层华山松针叶林累积持水量

最大,为 3 123 g/kg,云南松 + 木荷混交林最小,为 2 897 g/kg。同一林分不同分解层间差异明显,但是半分解层累积持水量均大于未分解层,表明枯落物半分解层比未分解层吸水能力强。对 4 种林分枯落物未分解层、半分解层持

水量与浸水时间之间的关系进行回归分析,得出如下关系式: $Q = a + b\ln t$ 。式中: $Q$  为枯落物持水量, g/kg;  $t$  为浸泡时间, h;  $b$  为方程系数;  $a$  为方程常数项。说明枯落物持水量与浸水时间存在较好的相关性(表 3)。

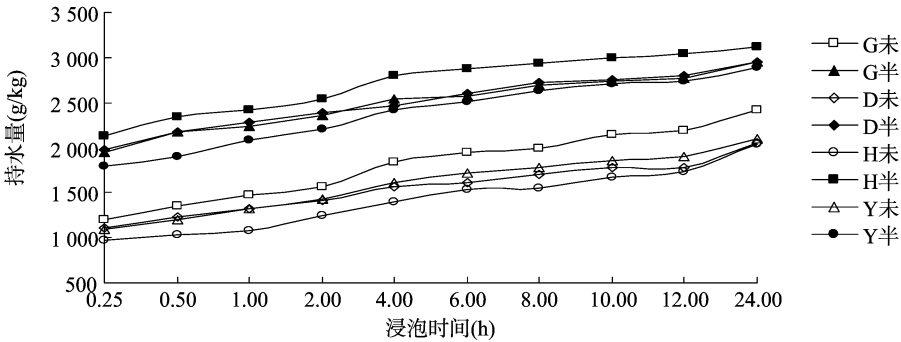


图1 枯落物持水量与浸泡时间的关系

表 3 枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间的关系

林分	枯落物层	持水量 $Q$ (g/kg) 与时间 $t$ (h) 的关系	吸水速度 $v$ [g/(kg · h)] 与时间 $t$ (h) 的关系
高山矮栎林	未分解层	$Q = 523.82\ln t + 1\,024.1$ ( $R^2 = 0.916\,3$ )	$v = 6\,954.5t^{-1.688}$ ( $R^2 = 0.969\,0$ )
	半分解层	$Q = 414.34\ln t + 1\,870.3$ ( $R^2 = 0.952\,4$ )	$v = 11\,924.0t^{-1.824}$ ( $R^2 = 0.967\,2$ )
高山栲常绿阔叶林	未分解层	$Q = 370.44\ln t + 993.74$ ( $R^2 = 0.902\,2$ )	$v = 6\,546.2t^{-1.746}$ ( $R^2 = 0.970\,2$ )
	半分解层	$Q = 408.64\ln t + 1\,895.6$ ( $R^2 = 0.955\,3$ )	$v = 12\,079t^{-1.828}$ ( $R^2 = 0.966\,7$ )
华山松针叶林	未分解层	$Q = 435.78\ln t + 769.27$ ( $R^2 = 0.841\,7$ )	$v = 5\,352.6t^{-1.677}$ ( $R^2 = 0.973\,0$ )
	半分解层	$Q = 455.38\ln t + 3\,015.6$ ( $R^2 = 0.960\,3$ )	$v = 12\,945t^{-1.821}$ ( $R^2 = 0.966\,6$ )
云南松 + 木荷混交林	未分解层	$Q = 432.03\ln t + 949.37$ ( $R^2 = 0.921\,5$ )	$v = 6\,361.5t^{-1.710}$ ( $R^2 = 0.970\,0$ )
	半分解层	$Q = 500.11\ln t + 1\,633.0$ ( $R^2 = 0.895\,2$ )	$v = 10\,576t^{-1.777}$ ( $R^2 = 0.976\,6$ )

由图 2 可见,4 种林分枯落物的吸水速率表现出一定的规律性:在前 0.5 h 内吸水速率最大,之后急剧下降,4 h 后下降速率逐渐变缓,24 h 吸水基本停止,持水量趋于饱和。且不同林分半分解层吸水速率均大于未分解层,这与枯落物组成和分解速率等有关。对 4 种林分枯落物未分解层、半分解层吸水速率与浸水时间之间的关系进行回归分析,得出如下关系式: $v = kt^n$ 。式中: $v$  为枯落物吸水速率, g/(kg · h);  $t$  为

浸泡时间, h;  $k$  为方程系数;  $n$  为指数。说明凋落物吸水速率与浸水时间存在较好的相关性(表 3)。枯落的持水过程与郑江坤等研究所得枯落物持水率及持水量随浸水时间呈对数增长、吸水速率随浸水时间呈幂函数下降的结论<sup>[10,13]</sup>趋势一致,说明降水的前期时间有利于枯落物的降水截留和储蓄<sup>[19]</sup>。

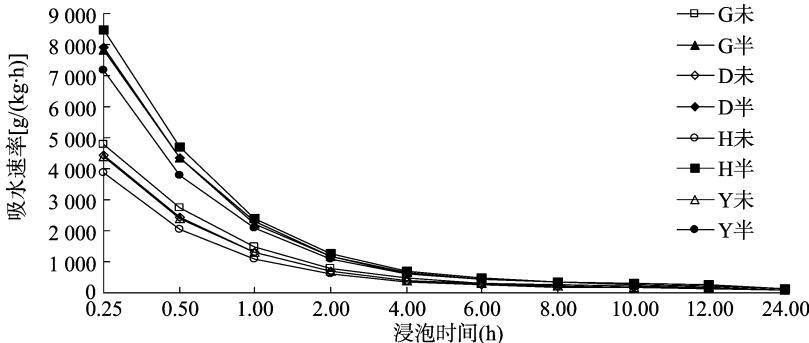


图2 枯落物吸水速率与浸泡时间的关系

2.1.3 枯落物持水能力与拦蓄能力 枯落物的持水能力是由最大持水率和最大持水量表示的。由表 4 可见,4 种典型林分间枯落物最大持水率在 223% ~ 246% 之间,依次为高山矮栎林 > 云南松 + 木荷混交林 > 华山松针叶林 > 高山栲常绿阔叶林;枯落物最大持水量差异显著,变幅为 7.92 ~ 20.77 t/hm<sup>2</sup>,排序为华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林。其中华山松针叶林是高山矮栎林的 2.62 倍,原因是最大持水量是由其最大持水率和蓄

积量共同决定的,蓄积量越大,持水量越高。一般认为,枯落物浸水 24 h 的持水率(量)为最大持水率(量),是理想状态下的反映。在现实中,采用有效拦蓄量估算枯落物层对降水的实际拦蓄情况<sup>[12-14]</sup>。由表 4 可知,4 种林分枯落物有效拦蓄率在 129% ~ 145%,高山栲常绿阔叶林 > 华山松针叶林 > 高山矮栎林 > 云南松 + 木荷混交林。枯落物有效拦蓄量在 4.46 ~ 12.85 t/hm<sup>2</sup>,华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林,华山

表 4 典型林分枯落物持水能力指标

林分类型	枯落物层	自然含水率 (%)	最大持水率 (%)	最大持水量 (t/hm <sup>2</sup> )	有效拦蓄率 (%)	有效拦蓄量 (t/hm <sup>2</sup> )
高山矮栎林	未分解层	52b	227a	5.30b	141a	3.30b
	半分解层	121a	295a	2.62c	130c	1.16c
	总量或均值	71	246	7.92	138	4.46
高山栲常绿阔叶林	未分解层	31c	204a	6.49b	142a	4.53b
	半分解层	94b	295a	2.50c	157b	1.33c
	总量或均值	44	223	9.00	145	5.86
华山松针叶林	未分解层	46b	192a	11.55a	117a	7.05a
	半分解层	69c	312a	9.22a	196a	5.80a
	总量或均值	53	231	20.77	143	12.85
云南松 + 木荷混交林	未分解层	69a	211a	6.68b	110a	3.49b
	半分解层	85b	290a	5.25b	162b	2.92b
	总量或均值	75	239	11.92	129	6.41

注:同一分解层后不同小写字母表明林分间存在显著差异( $P<0.05$ )。

松针叶林是高山矮栎林的 2.88 倍。4 种林分枯落物有效拦蓄量差异显著,其中华山松针叶林地表枯落物拦蓄能力最强,因此在保持水土和涵养水源过程中发挥重要的作用。

2.2 典型林分土壤持水特性

2.2.1 典型林分土壤容重及孔隙度 土壤容重和孔隙度是土壤物理特性的 2 项重要指标,反映土壤的通气透水情况,进而影响土壤持水性能<sup>[9]</sup>。由表 5 可知,在 0~40 cm 的土层内,土壤容重均值在 0.51~0.84 g/cm<sup>3</sup>,大小为华山松针叶林>云南松+木荷混交林>高山矮栎林>高山栲常绿阔叶林,且 4 种林分土壤容重变化趋势一致,均随土壤深度的增加而不断增大。除了云南松+木荷混交林和华山松针叶林 20~40 cm 之外,其他各林分 0~40 cm 土壤容重均<1 g/cm<sup>3</sup>。产生此现象的原因主要是土壤表层富含大量的有机质,随土层加深,含量才逐渐减少,使土壤团聚性降低,增加了土壤的紧实度。

与容重相反,土壤孔隙度总体上呈现出随土壤深度的增

加而逐渐减小的趋势,即表层土壤比较疏松,深层土壤比较紧实。由表 5 可见,在 0~40 cm 的土层内,4 种林分土壤总孔隙度均值在 45.98%~59.84%,大小依次为高山矮栎林>高山栲常绿阔叶林>华山松针叶林>云南松+木荷混交林。毛管孔隙度均值在 37.29%~46.04%,大小变化趋势依次为高山矮栎林>华山松针叶林>高山栲常绿阔叶林>云南松+木荷混交林。毛管孔隙度越大,土壤中贮存的有效水越多,对维持树木自身的生长发育越有利。非毛管孔隙度均值在 8.69%~16.97%,高山栲常绿阔叶林约是云南松+木荷混交林的 2 倍,非毛管孔隙度越大,越有利于土壤渗透和降水下渗,起到涵养水源的作用,即高山栲常绿阔叶林土壤通透性最好,云南松+木荷混交林相对较差。

2.2.2 典型林分土壤持水性能 土壤持水性作为土壤生态功能的重要指标,不仅反映了土壤蓄集和保持水分的能力,同时也反映出土壤一定的抗水性,其大小主要取决于土壤厚度、土壤孔隙度状况等<sup>[20]</sup>。土壤最大持水量是由毛管孔隙度

表 5 典型林型土壤物理性状

林分类型	土层 (cm)	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	毛管孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)	总孔隙度 (%)	土壤最大持水量 (t/hm <sup>2</sup> )	土壤有效持水量 (t/hm <sup>2</sup> )
高山矮栎林	0~10	0.36b	50.12a	19.11a	69.23a	688.67a	185.50a
	10~20	0.56b	45.80a	11.17b	56.97b	565.69b	110.50b
	20~40	0.74b	42.20a	11.11a	53.31b	1 051.22b	212.50a
	均值	0.55	46.04	13.80	59.84	768.53	169.50
高山栲常绿阔叶林	0~10	0.34b	37.38b	18.52ab	55.89b	553.86b	180.50ab
	10~20	0.47a	43.51a	18.92a	62.42a	615.60a	181.25a
	20~40	0.71a	45.39a	13.48a	58.87a	1 161.93a	260.00a
	均值	0.51	42.09	16.97	59.06	777.13	207.25
华山松针叶林	0~10	0.67a	47.53ab	12.05b	59.58b	568.09b	109.25b
	10~20	0.81b	45.43a	8.92b	54.36b	546.48b	95.00b
	20~40	1.05c	40.81a	6.28a	47.09c	942.57c	124.50a
	均值	0.84	44.59	9.08	53.68	685.71	109.58
云南松 + 木荷混交林	0~10	0.63a	44.05ab	11.33ab	55.38b	554.98b	115.25ab
	10~20	0.86c	36.07b	8.59b	44.66c	445.64c	83.25b
	20~40	1.02d	31.76b	6.15a	37.91d	759.17d	129.50a
	均值	0.83	37.29	8.69	45.98	586.60	109.33

注:同一土层后不同小写字母表明林分间存在显著差异( $P<0.05$ )。

与非毛管孔隙度共同决定的,反映了土壤贮蓄和调节水分的潜在能力<sup>[5,21]</sup>;而土壤有效持水量与非毛管孔隙度呈显著正相关关系,非毛管孔隙度越大,土壤越能及时地吸收降水并下渗,越有利于提高土壤有效持水量<sup>[22]</sup>。由表 5 可知,4 种典型林分同一土层持水性能差异显著,但是各林分土壤最大持水量、有效持水量表现出相似的变化规律。从 4 种林分 0 ~ 40 cm 的土壤最大持水量、有效持水量均值来看,均表现为高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林 > 华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林,说明高山栲常绿阔叶林的土壤层持水能力最强。

2.3 典型林地持水特性

林地持水量是土壤层与枯落物层持水量的综合反映,其持水性能与枯落物层、土壤层持水性能密切相关,能够有效地反

映各林地对降水的拦蓄能力<sup>[22]</sup>。由表 6 可知,比较 4 种林分枯落物层和土壤层的持水特性,得知枯落物层的持水量远低于土壤层。此结论与陈倩等的研究成果<sup>[9,12]</sup>基本一致,进一步表明土壤层是森林涵养水源的主要场所。4 种林地最大持水量变化范围为 598.52 ~ 786.13 t/hm<sup>2</sup>,排序为高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林 > 华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林;林地有效持水量变化在 115.76 ~ 213.11 t/hm<sup>2</sup>,其中高山栲常绿阔叶林约是云南松 + 木荷混交林的 2 倍,结果表明高山栲常绿阔叶林保持水土和涵养水源的能力最强。虽然土壤是森林涵养水源的主体,但是林地表层枯落物组成、累积和分解状况有利于提高土壤的质地与结构,进而提高土壤的持水性能。所以,加强对现有的森林生态系统的整体经营调控很有必要。

表 6 典型林地持水特性

林分类型	枯落物层最大持水量(t/hm <sup>2</sup> )	土壤层最大持水量(t/hm <sup>2</sup> )	林地最大持水量(t/hm <sup>2</sup> )	枯落物层有效持水量(t/hm <sup>2</sup> )	土壤层有效持水量(t/hm <sup>2</sup> )	林地有效持水量(t/hm <sup>2</sup> )
高山矮栎林	7.92	768.53	776.45	4.46	169.50	173.96
高山栲常绿阔叶林	9.00	777.13	786.13	5.86	207.25	213.11
华山松针叶林	20.77	685.71	706.48	12.85	109.58	122.43
云南松 + 木荷混交林	11.92	586.60	598.52	6.41	109.33	115.76

3 结论

4 种典型林分枯落物的总厚度在 4.29 ~ 5.90 cm,云南松 + 木荷混交林 > 高山矮栎林 > 华山松针叶林 > 高山栲常绿阔叶林;总蓄积量在 3.22 ~ 8.98 t/hm<sup>2</sup>,华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林。

整个吸水过程分析:枯落物在前 0.5 h 内吸水速率最大,之后急剧下降,4 h 下降速率逐渐变缓,24 h 吸水基本停止。枯落物的持水量随浸水时间呈  $Q = a + b \ln t$  对数增长的方程关系,吸水速率随浸水时间呈  $v = kt^n$  幂函数下降的方程关系。受枯落物蓄积量的影响,4 种典型林分枯落物层的最大持水量、有效拦蓄量均呈现出华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林,表明在枯落物层华山松针叶林的持水能力较好。

4 种林分间土壤容重和孔隙度差异较大,在 0 ~ 40 cm 的土层内,土壤容重均值大小为华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林 > 高山矮栎林 > 高山栲常绿阔叶林,且随着土层的加深不断的增大;总孔隙度和毛管孔隙度均表现为高山矮栎林最大,云南松 + 木荷混交林最小;非毛管孔隙度均值排序为高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林 > 华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林,即高山栲常绿阔叶林的土壤通透性最好

从 4 种林分 0 ~ 40 cm 的土壤层最大持水量、有效持水量均值来看,均表现为高山栲常绿阔叶林 > 高山矮栎林 > 华山松针叶林 > 云南松 + 木荷混交林,说明在土壤层高山栲常绿阔叶林的持水能力最强。

综合比较滇中磨盘山 4 种林分枯落物层和土壤层的持水特性,得知枯落物层的持水量远低于土壤层,整个林地的 4 种林分最大持水量、有效持水量均表现为高山栲常绿阔叶林持水性能好,能够更好地涵养水源。

参考文献:

[1] 刘世荣,孙鹏森,温远光. 中国主要森林生态系统水文功能的比

较研究[J]. 植物生态学报,2003,27(1):16-22.  
[2] 王 谦,孙保平,丁国栋,等. 陕西榆林樟子松人工林土壤及枯落物水文效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(8):123-132.  
[3] 赵雨森,韩春华,张宏光,等. 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.  
[4] 王 勤,张宗应,徐小牛. 安徽大别山库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.  
[5] 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.  
[6] 刘 畅,满秀玲,刘文勇,等. 东北东部山地主要林分类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(6):30-33.  
[7] Sariyildiz T, Anderson J M, Kucuk M. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(9): 1695-1706.  
[8] 雷瑞德. 秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究[J]. 西北林学院学报,1984(1):19-34.  
[9] 陈 倩,周志立,史琛媛,等. 河北太行山丘陵区不同林分类型枯落物与土壤持水效益[J]. 水土保持学报,2015,29(5):206-211.  
[10] 郑江坤,王婷婷,付万全,等. 川中丘陵区典型林分枯落物层蓄积量及持水特性[J]. 水土保持学报,2014,28(3):87-91,118.  
[11] 刘红民. 辽西半干旱区典型森林植被枯落物持水性分析[J]. 辽宁林业科技,2015(1):23-25,65.  
[12] 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.  
[13] 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.  
[14] 田野宏,满秀玲,李 奕,等. 大兴安岭北部天然次生林枯落物及土壤水文功能研究[J]. 水土保持学报,2013,27(6):113-118,129.

孙彦铭,黄少辉,杨云马,等. 河北省夏玉米施肥效果与肥料利用率现状[J]. 江苏农业科学,2019,47(15):301-306.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.15.069

# 河北省夏玉米施肥效果与肥料利用率现状

孙彦铭<sup>1</sup>, 黄少辉<sup>1</sup>, 杨云马<sup>1</sup>, 刘克桐<sup>2</sup>, 杨振立<sup>3</sup>, 贾良良<sup>1</sup>

(1. 河北省农林科学院农业资源环境研究所, 河北石家庄 050051; 2. 河北省土壤肥料总站, 河北石家庄 050031;  
3. 河北省农林科学院, 河北石家庄 051000)

**摘要:** 为了解河北省夏玉米施肥效果和肥料利用率现状, 对河北省 2005—2013 年测土配方施肥项目中的 2 794 个“3414”夏玉米试验进行分析, 明确氮、磷、钾肥对河北省夏玉米产量的贡献率, 测算氮、磷、钾肥的利用效率。结果表明, 在当前生产条件下, 河北省夏玉米不施化肥产量为 5.65 t/hm<sup>2</sup>, 配方施肥提升产量至 8.46 t/hm<sup>2</sup>, 在其他肥料施用的基础上, 氮、磷、钾肥分别增产 1.81 (29.2%)、1.17 (17.5%)、0.99 t/hm<sup>2</sup> (14.4%)。施肥对河北省夏玉米产量的平均贡献率为 39.3%, 氮、磷、钾肥的贡献率分别为 21.2%、14.0%、11.8%。河北省夏玉米化肥的农学效率平均为 7.5 kg/kg, 氮、磷、钾肥农学效率分别为 9.6、17.4、9.3 kg/kg。河北省夏玉米化肥偏生产力平均为 22.6 kg/kg, 氮、磷、钾肥偏生产力分别为 45.6、125.0、81.4 kg/kg。河北省夏玉米肥料利用效率总体处于中等偏低水平, 需要进一步推进土壤培肥、平衡施肥技术的应用, 提高养分资源管理水平, 实现玉米产量与养分效率的同步提升。

**关键词:** 夏玉米; 肥料效率; 施肥效果; 测土配方施肥; 河北省

**中图分类号:** S147.5; S513.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)15-0301-06

河北省是我国重要的夏玉米产区, 年播种面积超过 300 万 hm<sup>2</sup>, 占全国总播种面积的 9.5%<sup>[1]</sup>。施肥是提高玉米产量的重要手段, 在保证粮食安全中发挥了重大的作用。据联合国粮食及农业组织 (FAO) 统计, 在世界范围内, 化肥对粮食作物产量的贡献率为 30%~50% 左右<sup>[2]</sup>, 全国化肥试验网统计 20 世纪 80 年代的研究结果也表明, 化肥对我国粮食产量的贡献率为 40.8%<sup>[3]</sup>。随着社会发展, 我国化肥投入量与 20 世纪 80 年代相比已经有了明显的增加<sup>[4]</sup>, 由此带来的化肥效率下降引起了国内外广泛关注<sup>[5]</sup>。因此, 明确当前农业生产中化学肥料对产量的贡献率、化肥利用率等对当前正在开展的化学肥料减施增效等具有十分重要的意义。

自 2005 年起, 国家在全国范围内开展“测土配方施肥”项目, 以推动粮食增产、农民增收和保护生态环境。许多学者对测土配方数据进行研究, 得到了许多成果, 如单燕等利用陕西省测土配方施肥数据解析了陕西省玉米施肥效果<sup>[6]</sup>; 王寅等总结了吉林省测土配方数据, 分析了春玉米的肥料贡献率分布<sup>[7]</sup>; 刘芬等通过总结测土配方肥料试验数据, 研究了关中地区夏玉米施用氮、磷、钾肥的增产效果以及肥料利用效率现状<sup>[8]</sup>; 王伟妮等对湖北省小麦、水稻、油菜等作物当前的肥料效果与贡献率进行了评价<sup>[9]</sup>; 张文婧等对四川省测土配方肥料试验的作物施肥现状和养分效率进行了分析<sup>[10]</sup>。本研究通过整理河北省测土配方施肥项目在河北省布置的大量“3414”肥料试验, 对河北省当前生产条件下的肥料对夏玉米的增产效果、肥料利用率等进行分析, 以明确河北省夏玉米施肥效果与肥料利用率现状, 为河北省夏玉米科学施肥管理提供数据支撑。

收稿日期: 2018-04-09

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2016YFD0200105); 河北省玉米产业体系 (编号: HBCT2018020204); 河北省农业科学院青年创新团队; 河北省肥料技术工程中心。

作者简介: 孙彦铭 (1974—), 女, 河北衡水人, 副研究员, 主要从事农田养分管理研究。Tel: (0311) 87652140; E-mail: sunym74@hotmail.com。

通信作者: 贾良良, 博士, 研究员, 主要从事农田养分管理研究。Tel: (0311) 87652241; E-mail: jiall990@126.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本研究选取 2005—2013 年国家“测土配方施肥”项目在河北省夏玉米主产区布置的夏玉米“3414”田间试验, 共计

[15] 梁晓娇, 王树力. 阿什河源头不同类型红松人工林枯落物及其土壤水文特性[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 140-145, 152.

[16] 赵阳, 余新晓, 吴海龙, 等. 华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 148-152.

[17] 韩路, 王海珍, 吕瑞恒, 等. 塔里木河上游不同森林类型枯落物的持水特性[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 96-101.

[18] 王栋, 张洪江, 程金花, 等. 重庆缙云山 4 种林地林下枯落物储量及其持水特性研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 126-

132, 136.

[19] 祁生林, 张洪江, 何凡, 等. 重庆四面山植被类型对坡面产流的影响[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 33-38.

[20] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3685-3695.

[21] 白晋华, 胡振华, 郭晋平. 华北山地次生林典型森林类型枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 84-89.

[22] 田超, 杨新兵, 李军, 等. 冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 97-103.