

# 祁连山南麓退耕地主要植物群落植冠层的截留性能

胡建忠, 李文忠, 郑佳丽, 张春霞, 李雪萍

(北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:** 退耕地人工群落植冠层的截留能力, 是群落生态效益的重要组成部分, 这一研究不仅可以掌握退耕还林还草工程作用的机理, 还可以更好地指导工程实践, 促进工程建设步伐。通过“简易吸水法”, 可以快速掌握退耕地植冠层的最大截留潜力。青海省大通县退耕较早、平均年龄约 10 a 以上的青海云杉、华北落叶松等几种人工群落, 它们的林冠截留量较高, 平均达 1.93 mm, 为当地 3 种截留量最高、林龄 50 a 之上天然群落的 61 %。青海云杉、华北落叶松、白桦、青杨、中国沙棘等退耕地人工群落的截留量, 基本上显示出与林龄之间呈线性或 Cubic、Quadratic 正相关关系。在植物群落分层截留、消化吸收降雨的这一空间垂直序列中, 植冠层截留量虽然较低, 平均仅 1.29 mm (0.25~ 2.38 mm), 但植冠层的主要作用还在于减轻、缓冲雨水直接打击地面, 改变降水的侵蚀性危害, 而这些作用要远远高于截留量自身的区区数量。

**关键词:** 植冠层; 截留量; 退耕还林还草; 人工植物群落; 祁连山南麓

中图分类号: S715. 2, S718. 56

文献标识码: A

植冠层对降水的截留问题, 由于关系到水土保持、水源涵养, 历来广受青睐<sup>[1- 5]</sup>。而退耕地不同人工群落植冠层对大气降水的截留效果如何, 更是退耕还林还草工程迫切需要回答的问题, 目前在这方面的研究成果还鲜见报道。本文在国家退耕还林还草工程科技试验示范县所在地——青海省大通县开展一些这方面的研究, 旨在为工程的顺利实施提供一些科学依据。

## 1 自然概况

研究区为青海省大通县祁连山南麓, 位于青海省境内北川河流域, 地处祁连山地与黄土高原的过渡地带, 介于 100°51′~ 101°56′E、36°43′~ 37°23′N, 海拔 2 280~ 4 622 m。大通县地处中纬度地区, 深居内陆, 海拔高, 属大陆性气候。年日照时数为 2 605 h, 年平均气温 2.8 °C, 极端最高气温为 30.9 °C (1972- 08- 10), 极端最低气温为 - 33.1 °C

(1975- 12- 14), 年内无霜期 70~ 120 d, 年平均降水量 508 mm, 年平均蒸发量为 1 290 mm, 年湿润指数变化范围为 0.56~ 1.32。主要土类有高山石质土、高山草甸土、山地棕褐土、黑钙土、栗钙土、潮砂土、垫淤土、沼泽土等。森林植被属寒温性常绿针叶林类型及落叶阔叶林类型, 其分布状况不但有明显的坡向性, 而且还有明显的垂直地带性。组成天然次生林的主要树种有青海云杉 (*Picea crassifolia*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、山杨 (*Populus davidiana*) 等, 人工林主要造林树种有华北落叶松 (*Larix Principis-rupprechtii*)、青杨 (*Populus cathayana*)、柠条 (*Caragana korshinskii*)、中国沙棘 (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*) 等。

## 2 材料与方法

### 2.1 供试材料

供试材料主要为大通县境内不同时间序列的退

收稿日期 (Received date): 2004- 03- 01; 改回日期 (Accepted): 2004- 05- 25。

基金项目 (Foundation item): 国家重大基础理论 research 计划 (973 项目) “森林植被调控区域农业水土资源与环境的尺度辨析与转换”课题 (2002CB111503)、“十五”国家科技攻关计划项目“退耕还林还草工程区水土保持型植被建设技术与示范” (2001BA510B01) 资助。[Supported by 973 Project (2002CB111503) and National Tenth Five Years Project (2001BA510B01).]

作者简介 (Biography): 胡建忠 (1962- ), 男, 甘肃天水人, 农学博士, 高级工程师。主要研究方向为生态工程。已主编出版专著 3 部, 发表科技论文 60 余篇。[HU Jianzhong (1962- ), male, born in Tianshui City, Gansu Province, doctor, senior engineer. Engaged in ecological engineering, 3 books and 60 more papers published.]

耕地人工林,同时选取当地天然次生林、农作物、弃耕地杂草等进行对比研究。调查地区的主要植物群落类型详见表 1,其中乔木树种包括青海云杉、祁连圆柏(*Sabiania przewalskii*)、华北落叶松、白桦、山杨、青杨,灌木树种包括中国沙棘、柠条、匍匐子

(*Cotoneaster adpressus*),草本植物包括川赤芍(*Paeonia veitchii*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、豌豆(*Pisum sativum*)、小麦(*Triticum aestivum*)、油菜(*Brassica napus*)。表中植物年龄为根龄。

表 1 调查地区主要植物群落基本情况  
Table 1 Information about main plant communities in the surveying areas

标准地编号 No. of quadrangle	立地条件类型 Site condition	地类 Land type	主要植物 Dominant plant	年龄(a) Age
QH030719001	低位脑山阳坡立地类型	退耕还药地	川赤芍	3
QH030720001	低位脑山阳坡立地类型	退耕还草地	紫花苜蓿	3
QH030809001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	青海云杉	27
QH030809002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	华北落叶松	24
QH030811003	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	青海云杉+ 中国沙棘	19
QH030719002	低位脑山阳坡立地类型	退耕地人工林地	华北落叶松	17
QH030811001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	白桦	23
QH030809003	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	中国沙棘	10
QH030811002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	青杨+ 白桦+ 中国沙棘	10
QH030723002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	华北落叶松	18
QH030812001	中位脑山阳坡立地类型	退耕地人工林地	青杨+ 中国沙棘	22
QH030722001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕地人工林地	青海云杉	14
QH030804001	低位脑山阴陡坡立地类型	天然灌丛地	中国沙棘	30
QH030729001	低位脑山阳坡立地类型	天然灌丛地	匍匐子	30
QH030803001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	青海云杉	55
QH030802002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	白桦+ 青海云杉	50
QH030802001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	青海云杉+ 白桦	50
QH030731001	中位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	祁连圆柏	200
QH030803002	低位脑山阴陡坡立地类型	天然次生林地	山杨	40
QH030723001	低位脑山阴陡坡立地类型	天然次生林地	白桦	50
QH030724001	低位脑山阳坡立地类型	弃耕地	垂穗披碱草	8
QH030724002	低位脑山阳坡立地类型	农耕地	豌豆	1
QH030810002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	农耕地	油菜	1
QH030810001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	农耕地	小麦	1
QH030819001	低位浅山阳陡坡立地类型	荒山人工林地	柠条	6

2 2 研究方法

一般植冠层截留性能除与植冠层的树种组成、林龄、冠层厚度、郁闭度及枝叶干燥度等特征有关外,还与降雨时所处的降雨强度、风速、气温等气象因素密切相关。植冠层截留量是多种因子综合影响的结果。因此,通过常规“雨量筒法”测定的结果,变动幅度经常很大。

群落植冠层作为保持水土、涵养水源的第一道防线,首先承接了大部分降水。这部分降水,除一小

部分被蒸发到大气中而外,其余部分将先浸润枝叶表面,以一薄层水膜或小水滴的形式吸附在枝叶表面。枝叶充分吸水后,多余降水慢慢滴落或沿树干下流,减少了林下的降雨量,推迟了林下的降雨时间和产流时间。这些特征,为“简易吸水法”<sup>[6]</sup>的应用提供了科学依据。

通过“简易吸水法”可以确定植冠层的潜在截留能力,或“最大截留量”。其具体测定方法是,在对乔木样地中所选标准木详细测定的基础上,选取标准

枝快速称重后, 浸入水中 5 min, 然后轻轻捞出, 等枝叶上水珠不再下滴时称重, 两次重量相减为枝叶吸持水分量, 然后除以枝叶重(第一次称重), 即为枝叶截留率; 然后与标准地枝叶重量相乘并经过单位换算后可得标准地最大截留量。灌木、草木在将样方内生物量全部收获后分别测定截留率, 方法同前, 灌木样方面积为 4 m<sup>2</sup>, 草本为 1 m<sup>2</sup>。均为 5 重复。

最大截留量可以反映在不受气象因素影响的理想条件下, 降雨量足以使植冠层达到饱和时所表现出的植冠层截留能力<sup>[7]</sup>。黄土高原地区灌木树种

林冠截留量的研究中<sup>[8]</sup>也采用了这种方法, 研究表明采用“简易吸水法”与常规“雨量筒法”相比, 总体数值一般偏大(所以称作最大截留量, 是一种理论上的可能截留量), 但变化趋势完全相同, 为一种掌握林分截留量的快速、有效、科学的方法。

3 结果与分析

应用“简易吸水法”, 测得大通县 25 块标准地乔、灌、草等不同层次植冠层的最大截留量, 详见表 2。

表 2 大通县主要植物群落植冠层最大截留量测定结果  
Table 2 Maximal rainfall interception amount of canopy of main plant communities in Datong County

标准地编号 No. of quadrangle	立地条件类型 Site conditions	地类 Land type	优势植物 Dominant plant	分层枝叶最大截留量 Max rainfall interception amount of different canopy layers (mm)						排序 Sequence
				乔木 层 1	乔木 层 2	灌木 层 1	灌木 层 2	草木层	合计	
QH030803001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	青海云杉	4.08				0.02	4.10	1
QH030802002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	白桦+ 青海云杉	1.84	0.70	0.10		0.08	2.72	2
QH030802001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	青海云杉+ 白桦	1.92	0.52	0.21		0.04	2.69	3
QH030809001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	青海云杉	2.36				0.02	2.38	4
QH030809002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	华北落叶松	1.71				0.31	2.02	5
QH030811003	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	青海云杉+ 中国沙棘	0.56		1.08		0.06	1.70	6
QH030719002	低位脑山阳坡立地类型	退耕还林地	华北落叶松	1.60				0.03	1.63	7
QH030724002	低位脑山阳坡立地类型	农耕地	豌豆					1.50	1.50	8
QH030811001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	白桦	0.67		0.65		0.14	1.46	9
QH030809003	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	中国沙棘			1.17		0.26	1.43	10
QH030810002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	农耕地	油菜					1.19	1.19	11
QH030811002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	青杨+ 白桦+ 中国沙棘	0.50	0.05	0.17		0.27	0.99	12
QH030731001	中位脑山阴缓斜坡立地类型	天然次生林地	祁连圆柏	0.61		0.08		0.23	0.91	13
QH030723002	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	华北落叶松	0.76		0.02		0.09	0.87	14
QH030803002	低位脑山阴陡坡立地类型	天然次生林地	山杨	0.10		0.49		0.25	0.84	15
QH030810001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	农耕地	小麦					0.80	0.80	16
QH030723001	低位脑山阴陡坡立地类型	天然次生林地	白桦	0.51		0.23		0.04	0.79	17
QH030804001	低位脑山阴陡坡立地类型	天然灌丛地	中国沙棘			0.39	0.02	0.36	0.77	18
QH030729001	低位脑山阳坡立地类型	天然灌丛地	匍匐 子			0.67		0.08	0.75	19
QH030724001	低位脑山阳坡立地类型	弃耕地	杂草					0.47	0.47	20
QH030720001	低位脑山阳坡立地类型	退耕地	紫花苜蓿					0.43	0.43	21
QH030812001	中位脑山阳坡立地类型	退耕还林地	青杨+ 中国沙棘	0.19		0.06		0.01	0.25	22
QH030719001	低位脑山阳坡立地类型	退耕还药地	川赤芍					0.23	0.23	23
QH030722001	低位脑山阴缓斜坡立地类型	退耕还林地	青海云杉	0.07		0.01		0.09	0.16	24
QH030819001	低位浅山阳陡坡立地类型	荒山人工林地	柠条			0.08			0.08	25
平 均	-	-	-	1.16	0.42	0.36	0.02	0.29	1.24	-

3 1 不同群落植冠层截留量的对比

退耕地人工群落截留量状况及与天然群落、农作物等的比较, 是退耕还林还草工作值得关注的理论基础问题, 也是实践中据以制定退耕方略的主要参考依据。

3. 1. 1 区域内植冠层截留量比较

将祁连山南麓大通地区作为一个系统, 将系统中退耕地人工群落、天然群落以及农作物等所有群落排列在一起(见表 2), 可以从总体上把握退耕地人工群落植冠层截留量在这一地区所处的位置。

从表 2 中可以看出, 青海云杉、白桦+ 青海云杉、青海云杉+ 白桦 3 种天然群落的截留量最高, 平均达 3. 17 mm。青海云杉为当地的顶极群落, 而另 2 种基本上为顶极群落之前最靠近顶极群落的过渡阶段群落, 它们均是祁连山南麓林相最整齐、长势最好的天然林分, 植冠层截留量最高是不言而喻的。截留量紧随 3 种天然群落的为退耕较早的青海云杉、华北落叶松等几种人工群落, 它们的林冠截留量也较高, 平均达 1. 93 mm, 占前 3 种截留量最高天然群落的 61%。由于退耕地人工群落的生长年限最高也只有 27 a, 平均> 10 a, 其截留量水平相对于林龄在 50 a 之上的 3 块天然群落来说应该是相对较高的。

同时也发现, 作为当地主栽品种的 3 种农作物, 由于它们均是数千年来筛选的最适应当地自然环境的植物类型, 加之人为土肥水管理条件较好, 因此长势旺盛, 植冠层浓密, 覆盖度很高, 几近 100 %, 因此其截留量也不低, 平均达 1. 16 mm, 相当于前述 3 种天然群落的 36. 6 %, 以及截留量较高退耕地人工群落的 60. 1 %, 比人们一般想象中的要高出许多, 比 25 种群落的总平均值 1. 24 mm 稍低(低 6. 5 %)。

在这一地区所有群落中, 截留量最低的是分布在浅山区干旱阳坡的柠条人工群落, 这种立地条件下自然植被分布较少, 加之柠条为宽带间距种植, 密度很小, 因此截留量最小, 仅为 0. 08 mm; 低位脑山阴缓斜坡立地类型的青海云杉幼龄群落(QH030722001)主

要因为种植密度很小, 林分郁闭度仅 0. 1 略多, 从而影响了其植冠层截留总量(0. 16 mm)。

祁连山南麓不同地类的植冠层截留量对比见图 1。天然群落的截留量最高, 平均为 1. 69 mm, 变动幅度为 0. 75~ 4. 10 mm; 退耕地人工群落的截留量次之, 平均为 1. 29 mm, 变动幅度为 0. 16~ 2. 38 mm; 耕地作物第三, 平均为 1. 16 mm, 变动幅度为 0. 80~ 1. 50 mm; 其它几种以草本植物为主的类型相对较小。

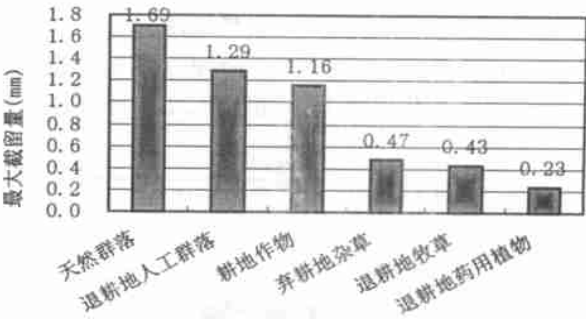


图 1 不同地类植冠层截留量对比  
Fig. 1 Comparison of rainfall interception amount of canopies among different landuses

就退耕地平均截留量来看, 变动幅度较大, 从 0. 16~ 2. 38 mm, 其平均值比当地 3 种主要农作物仅高出 0. 13 mm。主要原因是, 退耕地人工群落中包括了一些幼龄低密度人工群落, 而农作物均为长势好的当地主栽作物品种, 这样一反一正的结果, 使得退耕地人工群落的截留量显得比耕地作物也高不了多少。事实上一些退耕较早的人工群落, 不要说与耕地农作物相比, 就是与许多天然群落相比, 其截留量也十分接近。从表 3 中可以看出, 如果剔除退耕较晚、密度很低的 2 个地块(加\* 号的 2 个数据), 则天然群落、退耕地人工群落 2 种类型之间相差甚微, 天然群落只比退耕地人工群落高 8. 3%。随着退耕地人工群落的逐步生长, 植冠层截留量逐渐与天然群落接近, 个别配置较好的人工群落甚至高于天然群落截留量的许多中间类型(表 3)。

表 3 退耕地人工群落与天然群落的截留量对比

类别 Plant types	不同植物群落类型编号 No. of different plant communities										平均值 M <sub>ean</sub> (mm)	平均值* M <sub>ean</sub> * (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
天然植物群落	4. 10	2. 72	2. 69	0. 91	0. 84	0. 79	0. 77	0. 75	-	-	1. 69	1. 69
退耕地人工群落	2. 38	2. 02	1. 70	1. 63	1. 46	1. 43	0. 99	0. 87	0. 25**	0. 16**	1. 29	1. 56

注: 平均值\* 为剔除带\* 的 两组较低数据后的平均值 (Note: M<sub>ean</sub>\* refer to mean of left data without the two data with \* \* on the table).

3.1.2 同一立地条件类型内植冠层截留量比较

从植被类型分布较多、植被面积最大的低位脑山阴缓斜坡立地类型来看,与整个祁连山南麓地区的分布趋势完全相同,3种天然次生林占据着截留量最大的前3位,其次是退耕时间较早的青海云杉、华北落叶松等几种人工植物群落,2种农作物及退耕时间较短、密度较低的青海云杉等几种人工植物群落截留量较小,见图2。图中未加注“天然”字样的均为退耕地人工群落或农作物。

再从植被类型最为齐全的低位脑山阳坡立地类型来看(表4),生长较好的退耕地华北落叶松人工群落截留效果最好,而退耕时间较短(3a)的退耕还药地植冠层的截留量最小,植冠层十分浓密的农作

物豌豆截留量居于第二位,与前述分析结果相同。说明单从截留量这一因素来看,当地主栽农作物形成的草本层的截留量相当可观,这为进一步评价农作物的生态地位提供了一定的依据。因为,在许多地区,近1/3的土地仍为农耕地,其中不乏坡度小于25°的坡耕地,而农作物生长在雨热同期季节,通过有水土保持措施的集约经营手段,维护作物冠层较高的截留量,对于退耕还林还草项目区总体生态效益来说,也是十分重要的。当然,布设在坡度>25°的退耕地人工植物群落,不仅有较高的截留量,而且还较农作物多了一个枯落物层,和对土壤更好的改良效果,以及较高的水分下渗速度等,这些均是农作物所远不能及的(有另文论述)。

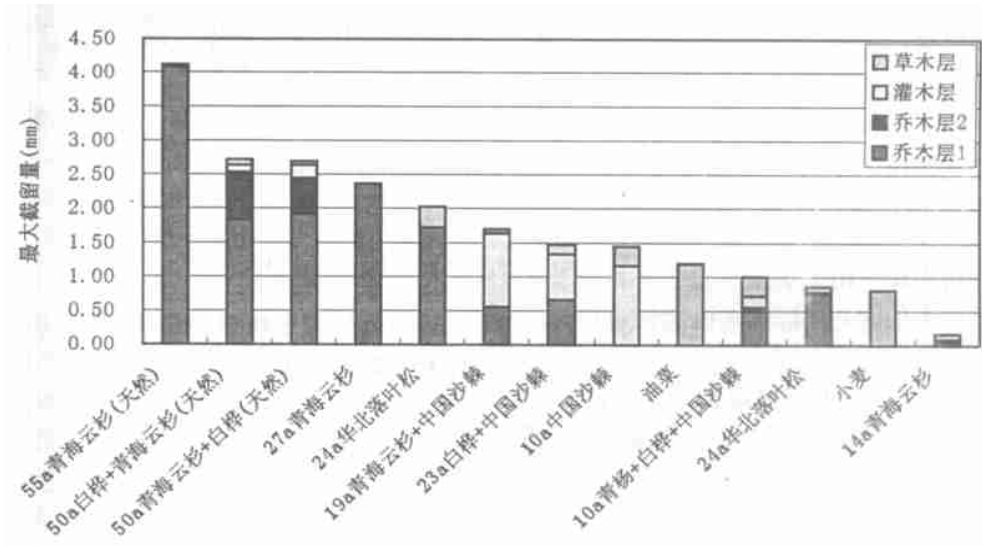


图2 低位脑山阴缓斜坡立地类型不同类型植冠层截留量对比

Fig.2 Comparison of rainfall interception amount among different plant communities in site condition of shady gentle slope in lower part of high mountains

表4 低位脑山阳坡立地类型不同植被类型截留量对比

Table 4 Comparison of rainfall interception amount among different plant communities in site condition of sunny slope in lower part of high mountains

地类 Land type	年龄 Age (a)	优势植物 Dominant plant	分层枝叶最大截留率			分层枝叶最大截留量			
			Max rainfall interception rate of			Max rainfall interception amount of			
			different layers			different layers (mm)			
			乔木层	灌木层	草本层	乔木层	灌木层	草本层	合计
退耕还林地	24	华北落叶松	21.74%		50.00%	1.60		0.03	1.63
农耕地	1	豌豆			60.00%			1.50	1.50
天然灌丛地	30	匍匐子		55.00%	70.00%		0.67	0.08	0.75
弃耕地	8	杂草			47.50%			0.47	0.47
退耕还草地	3	紫花苜蓿			45.00%			0.43	0.43
退耕还药地	3	川赤芍			33.33%			0.23	0.23

### 3.1.3 不同层次植冠层截留量对比

植物群落垂直层次结构与功能处于动态的变化过程当中, 各层次间存在着结构上互相依从、功能上互为补充的关系<sup>[9]</sup>。

祁连山南麓植物群落的垂直层次一般为乔-草型、乔-灌-草型、灌-草型和草型, 乔木分为 2 层(乔 1- 乔 2- 灌-草型)、灌木分为 2 层(灌 1- 灌 2-草型)的较为少见。从所有调查 25 个群落各层的平均截留量来看(见表 2), 乔 1 层为 1.16 mm, 乔 2 层为 0.42 mm, 灌 1 层为 0.36 mm, 灌 2 层为 0.02 mm, 草本层为 0.29 mm, 群落总截留量平均为 1.24 mm。群落截留量按乔、灌、草层次依次递减。

总体来看, 虽然灌木、草本的平均截留率分别为 45.91%、42.60%, 高于乔木层的 23.76%, 但是由于截留量受截留率与生物量两个因素影响, 因此冠层截留量还是以生物量最大的乔木层(包括乔 1、乔 2 层)最高, 达 1.04 mm, 生物量中等的灌木层(包括灌 1、灌 2 层)次之, 为 0.34 mm, 生物量最小的草本层最低, 为 0.29 mm, 见图 3。

### 3.1.4 不同立地条件类型植冠层截留量对比

从调查的 25 块标准地按立地条件类型平均得到的植冠层最大截留量来看(图 4), 以天然次生林分布最多的低位脑山阴缓斜坡立地类型的截留量最高(1.73 mm), 中位脑山阴缓斜坡(0.91 mm)、低位脑山阳坡(0.83 mm)、低位脑山阴陡坡(0.80 mm)、中位脑山阳坡(0.25 mm)立地类型的截留量次之, 立地条件最为恶劣、植被自然分布状况最差的低位浅山阳陡坡立地类型(0.08 mm)的截留量最低。

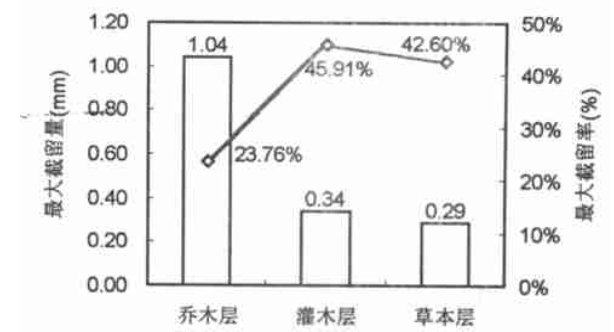


图 3 大通县不同植冠层截留量对比

Fig. 3 Rainfall interception amount of different plant canopy layer in Datong County

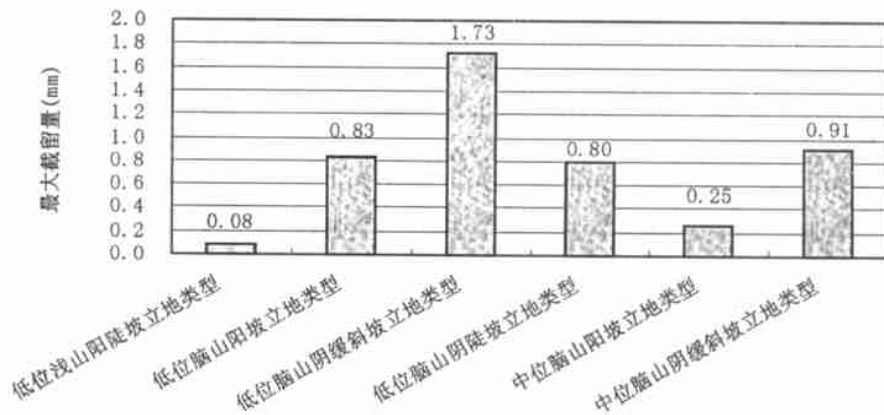


图 4 不同立地类型植冠层最大截留量对比

Fig. 4 Comparison of maximum rainfall interception amount of canopy layer in different site conditions

总体来看, 不同立地类型对植物群落生物量的影响很大, 而生物量又影响到截留量。灌木层、草本层的生物量虽然不大, 但由于其截留率均明显高于乔木层, 因此其最大截留量也相当可观, 甚至高于林龄较小或种植密度较低的退耕地人工群落乔木层。退耕地人工群落在各种地类中, 植冠层截留量仅次于处于顶极群落地位的几种天然群落, 总体水平随着林龄的增加而不断提高。

### 3.2 不同林龄人工群落植冠层截留量的变化

退耕地人工群落截留量随着林龄的变化, 也是迫切需要研究的重点, 它是有关方面据以评估工程效益的重要参数。

#### 3.2.1 退耕地不同人工群落截留量的对比

前面已经提及随着退耕地人工群落林龄增加, 其最大截留量逐步与天然群落接近。祁连山南麓大通县境内主要退耕地不同林龄植冠层的最大截留量见表 5。

表 5 退耕地不同林龄植冠层的最大截留量

Table 5 Maximum rainfall interception amount of canopy layers of different ages in rehabilitation lands

优势植物 Dominant plant	林龄 age (a)	植冠层最大截留量 Maximum rainfall interception amount of canopy(mm)				
		乔木层 1	乔木层 2	灌木层	草本层	合计
中国沙棘	10			1.17	0.26	1.43
青杨+ 白桦+ 中国沙棘	10	0.50	0.05	0.17	0.27	0.99
青海云杉	14	0.07		0.01	0.09	0.16
华北落叶松	17	1.60			0.03	1.63
华北落叶松	18	0.76		0.02	0.09	0.87
青海云杉+ 中国沙棘	19	0.56		1.08	0.06	1.70
青杨+ 中国沙棘	22	0.19		0.06	0.01	0.25
白桦+ 中国沙棘	23	0.67		0.65	0.14	1.46
华北落叶松	24	1.71			0.31	2.02
青海云杉	27	2.36			0.02	2.38

表 5 中为当地 4 种主要退耕地乔木树种—青海云杉、华北落叶松、白桦、青杨, 以及主要伴生灌木树种—中国沙棘的最大截留量测定结果。从这些退耕地人工群落的截留量来看, 基本上显示出与林龄之间呈线性正相关关系。线性回归分析结果为

$R = 0.055157t + 0.273503$

式中  $R$  为冠层截留量, mm;  $t$  为林龄, a。

方差分析  $F$  值大于  $F_{0.05}$ , 回归显著(可靠性 95%)。截留量测定值及用回归方程进行拟合的预测值及残差分析见图 5, 残差基本上在 1 倍标准差的范围之内, 表明拟合效果很好。

3. 2. 2 几种退耕地主要人工群落截留量的变化

大通县退耕地主要人工群落包括青海云杉、华北落叶松、白桦、青杨等。各种人工群落随着林龄的增加, 其生物量及最大截留量也随之增加。通过树干解析、密度变化过程、生物量计算以及截留量测定等所得到的这 4 种群落最大截留量变化过程见表 6。

退耕地 4 种人工群落最大截留量随时间变化的回归方程依次为:

青海云杉:  $R = 0.0125 - 0.0020t - 0.0013t^2 + 0.0002t^3$   $R^2 = 0.998$   
 $F = 4392.73$   $\text{Sig } F = 0.000$

华北落叶松:  $R = 0.0088 - 0.0277t + 0.0070t^2$   
 $R^2 = 0.997$   $F = 2942.61$   $\text{Sig } F = 0.000$

白桦:  $R = -0.0049 + 0.0117t - 0.0046t^2 + 0.0005t^3$   $R^2 = 0.998$   $F = 2452.32$   $\text{Sig } F = 0.000$

青杨:  $R = 0.0549 - 0.0315t + 0.0040t^2$   $R^2 = 0.998$   $F = 3840.22$   $\text{Sig } F = 0.000$

当地较为速生的华北落叶松、青杨在 14~ 16 a 时, 群落截留量可达 1 mm, 而生长较慢的青海云杉、白桦在 20 a 左右时才可达到 1 mm, 不过随着青海云杉生长速率逐步增大, 20 a 后截留量增幅很快, 25 a 时已达 2.16 mm, 足见这一当地顶极群落树种在退耕还林中的生态潜力。

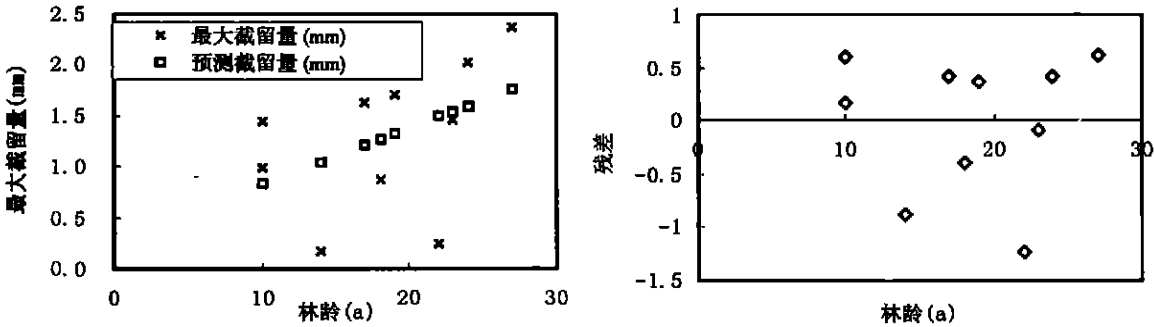


图 5 退耕地人工林最大截留量随林龄变化的拟合值及残差分布图

表 6 退耕地 4 种主要人工群落的最大截留量变化过程

Table 6 Process of maximum rainfall interception amount of 4 main artificial communities in rehabilitation lands

林龄 Age(a)	最大截留量 Maximum rainfall interception amount (mm)			
	青海云杉	华北落叶松	白桦	青杨
1	0.000 042	0.000 069	0.000 046	0.000 638
2	0.000 086	0.000 374	0.000 327	0.005 724
3	0.000 229	0.001 099	0.000 743	0.007 377
4	0.000 412	0.002 205	0.004 621	0.009 805
5	0.000 981	0.017 031	0.010 006	0.016 908
6	0.001 511	0.057 529	0.019 818	0.025 501
7	0.002 361	0.146 321	0.037 425	0.036 474
8	0.016 698	0.264 629	0.045 312	0.056 798
9	0.034 850	0.346 535	0.076 225	0.088 846
10	0.054 843	0.409 354	0.155 171	0.121 228
11	0.104 622	0.491 249	0.236 030	0.165 216
12	0.142 709	0.747 874	0.340 419	0.228 626
13	0.207 283	0.817 963	0.504 106	0.305 354
14	0.264 108	0.977 550	0.681 711	0.377 900
15	0.337 123	1.246 194	0.871 066	0.459 597
16	0.421 655	1.384 596	1.068 746	0.558 391
17	0.537 296	1.583 143	—	0.686 275
18	0.666 952	1.749 951	—	0.812 033
19	0.838 876	1.984 144	—	0.933 069
20	1.001 865	—	—	1.015 173
21	1.250 981	—	—	1.123 829
22	1.511 969	—	—	1.251 060
23	1.711 959	—	—	—
24	1.919 259	—	—	—
25	2.159 900	—	—	—

3.3 退耕地人工群落植冠层截留量的地位与作用

为了说明退耕地人工群落植冠层截留性能的地

位, 将植冠层截留量、枯落物容水量、土壤持水量等列在一起进行讨论, 见表 7。其中, 枯落物容水量采用“水容量测定法”, 表土稳渗速度采用“双环渗透仪法”, 土壤持水量采用“容重法”, 各种测定方法详见文献<sup>[10]</sup>, 均系同步实测所得资料。

在植物群落分层截留、消化吸收降雨的这一序列中, 植冠层截留量相对最低, 平均为 1.29mm (0.25~ 2.38 mm), 较枯落物的平均值 3.21 mm (0.18~ 6.42 mm) 还低 40.2%, 与表土层的平均稳渗速度 4.5 mm/min (0.4~ 10.0 mm/min)、100cm 表土层的饱和持水量 251.88 mm(216.81~ 276.52 mm) 无法相提并论。

但是, 由于植冠层的特殊地位, 它是降水进入植物群落的第一道关口, 通过承接、吸持、蒸发降水, 对大气降水起到再分配的作用, 特别是在调节暴雨径流中具有十分重要的作用<sup>[11]</sup>。大气降水到达植冠层后, 一部分雨水受枝叶截留, 一部分溅散成小水滴下落, 速度减缓, 冲量变小, 使得地表所受雨滴的击溅程度远小于裸地, 减轻了地表的板结程度; 再加之枯落物层的作用, 使得地表土壤孔隙相对发达, 稳渗率提高, 土壤层可持水能力也相应提高。降落到植冠层上的降水在向地面下移的过程中被重新分配, 分配过程的每个环节都伴随着液态水的损失和气态水的生成与蒸散。液态水的损失量直接取决于降水量的大小、强度和频度, 同时也取决于植冠层的蓄水能力和变干的速度, 间接地受气候、植被类型、植被密度以及生长期的影响。

表 7 退耕地人工群落植冠层截留量与其它指标对比

Table 7 Comparison between rainfall interception amount of artificial canopy layer in rehabilitation land and other related factors

标准地编号 No. of quadrangle	优势植物 Dominant plant	林龄	植冠层截留量	枯落物容水量	土壤层持水量	表土稳渗速度
		Age (a)	Rainfall interception amount of canopy (mm)	Water- holding capability of litter (mm)	Water- holding capability of soil layer (mm)	Infiltration rate of top soil layer (mm/min)
QH030809003	中国沙棘	10	1.43	1.87	272.67	0.4
QH030811002	青杨+ 白桦+ 中国沙棘	10	0.99	1.91	258.54	3.6
QH030722001	青海云杉	14	0.16	0.18	264.54	5.2
QH030719002	华北落叶松	17	1.63	1.26	276.52	9.0
QH030723002	华北落叶松	18	0.87	3.12	250.02	8.2
QH030811003	青海云杉+ 中国沙棘	19	1.70	4.67	248.82	3.2
QH030812001	青杨+ 中国沙棘	22	0.25	4.04	237.20	0.4
QH030811001	白桦+ 中国沙棘	23	1.46	6.42	244.31	2.4
QH030809002	华北落叶松	24	2.02	2.47	216.81	2.4
QH030809001	青海云杉	27	2.38	6.13	249.40	10.0
	平均	18	1.29	3.21	251.88	4.5

注: 土壤层持水量指表层以下 1 m 内土层的饱和持水量

Note: Water- holding capability of soil layer refers to saturated water- holding content of one meter soil layer below surface

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>



植冠层对降雨具有在数量和时间上重新分配的功能。雨水在下落过程中,很大一部分降水变成水蒸气,增加了植冠层的大气湿度,会引起一系列生态效应。植冠层对降水的截留,可以看作是由固体对于液体的吸附作用、液体对液体的吸附作用以及植冠层的蒸发作用而使其由湿变干的过程组成<sup>[12]</sup>。因此植冠层对降雨的截留过程既不是纯物理过程,也不是一个纯随机过程,而是一个复杂的混合过程。就森林生态系统而言,林冠接受雨水,在使雨水向林地下落的过程中,在数量上、空间上对降水进行重新分配。一部分雨水被暂时容纳,并通过蒸发返回大气中;一部分穿过林冠空隙直达地表面,或从林冠滴入林地表面;还有一部分沿树干流入林地。林冠对雨水的分配过程还会延长雨水的下落时间,并重新分配雨滴下落时的动能,植冠层下经常由于聚合成的水滴会增加林下透过降水的总动能<sup>[13]</sup>,幸好有地被物防护林地,要不会造成更大溅蚀。植冠层—枯落物层—下渗及持水作用层之间互相支持、协调,共同起到涵养水源和保持水土作用。

因此,植冠层截留的主要作用并不在于对雨水截留“量”的多少,而更重要的是通过对降水过程“质”的影响,减轻、缓冲雨水直接打击地面,改变降水的侵蚀性危害,而这些作用要远远高于截留量自身的区区数量。

## 4 结论与讨论

“简易吸水法”是对常规“雨量筒法”的一种补充,特别是在迫切需要掌握退耕还林还草工程效益情况、而又无法快速掌握其截留能力的一种较好选择。简易吸水法确定的植冠层截留量是一种植冠层的最大截留量或饱和截留量,是一种植物群落的截留理论值或最大潜力。研究结果表明:

1. 退耕较早的青海云杉、华北落叶松等几种人工群落,它们的植冠层截留量较高,平均达 1.93 mm,为当地 3 种截留量最高天然群落的 61%。由于退耕地人工群落的生长年限平均只有 10 余年,其截留量水平相对于林龄 > 50 a 的 3 块天然群落来说应该是较高的。

2. 天然次生林分布最多的低位脑山阴缓斜坡立地类型的截留量最高(1.73 mm),中位脑山阴缓斜坡(0.91 mm)、低位脑山阳坡(0.83 mm)、低位脑山阴陡坡(0.80 mm)、中位脑山阳坡(0.25 mm)立

地类型的截留量次之,立地条件最为恶劣、植被自然分布状况最差的低位浅山阳陡坡立地类型(0.08 mm)的截留量最低。

3. 植冠层是植物生态系统截留降水作用的第一层次,它又包括乔木层、冠木层和草本层 3 个层次。灌木层、草本层的平均最大截留率分别为 45.91%、42.60%,高于乔木层的 23.76%;植冠层截留量以生物量最大的乔木层最高,达 1.04 mm;生物量中等的灌木层次之,为 0.34 mm;生物量最小的草本层最低,为 0.29 mm。

4. 青海云杉、华北落叶松、白桦、青杨、中国沙棘等退耕地人工群落的截留量,基本上显示出与林龄之间呈线性或 Cubic、Quadratic 正相关关系。当地较为速生的华北落叶松、青杨、白桦在 14~16 a 时,群落截留量可达 1 mm;而生长较慢的青海云杉在 20 a 左右时虽然只有 1 mm,25 a 时已达 2.16 mm,足见这一当地顶极群落树种在退耕还林中的截留潜力。

5. 在植物群落分层截留、消化吸收降雨的这一空间垂直序列中,植冠层截留量虽然较低,平均仅 1.29 mm(0.25~2.38 mm),但植冠层的主要作用更在于减轻、缓冲雨水直接打击地面,改变降水的侵蚀性危害,而这些作用要远远高于截留量自身的区区数量。

## 参考文献(References):

- [1] Wen Yuanguang, Lin Shirong. Quantitative analysis of the characteristics of the rainfall interception of main forest ecosystems in China [J]. *Scientia silvae sinicae*, 1995, 31(4): 290~295. [温远光,刘世荣.我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J].林业科学,1995,31(4):290~295.]
- [2] Fan Houbao. Rainfall interception function of artificial fir forest [J]. *Journal of Fujian Forestry College*, 1998, 1(1): 92~95. [樊后保.杉木人工林对降水的截留作用[J].福建林学院学报,1998,1(1):92~95.]
- [3] Li Changhua, Linmuyayi. Estimation of rainfall interception of evergreen broad leaves forest in Jiulianshan areas of Jiangxi [J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(3): 233~242. [李昌华,铃木雅一.江西九连山区常绿阔叶林林冠截留量的估算[J].自然资源学报,1997,12(3):233~242.]
- [4] Zhao Chuanyan, Fen Zhaodong, Liu Yong. Study on one of ecological function of forest ecosystem in arid region water resource conservation [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(2): 157~161. [赵传燕,冯兆东,刘勇.干旱区森林水源涵养生态服务功能研究进展[J].山地学报,2003,21(2):157~161.]
- [5] Jiao Caixia, Sun Gennian, Ren Zhiyuan. A study on function and value of vegetation water conservation on Weibei Plateau [J]. 2002,

- 20(5): 583~ 588. [焦彩霞, 孙根年, 任志远. 渭北高原植被水源涵养功能及价值测评[J]. 山地学报, 2002, 20(5): 583~ 588.]
- [6] Liu Xiangdong, Wu Qingxiao, Shi Liming, *et al.* Study on rainfall interception of forest in Liupanshan Mountains[J]. *Forestry Science and technology*, 1982, (3): 18~ 21. [刘向东, 吴钦孝, 施立民, 等. 对六盘山森林截留降水作用的研究[J]. 林业科技通讯, 1982, (3): 18~ 21.]
- [7] Fan Shixiang, Pei Tiefan, Jiangdemin, *et al.* Rainfall interception capacity of forest canopy between two different stands[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(5): 671~ 674. [范世香, 裴铁番, 蒋德明, 等. 两种不同林分截留能力的比较研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 671~ 674.]
- [8] Zhao Jingrong, Song Lida, Zhu Jingzhao. Shrubs of soil and water conservation in the Loess Plateau[M]. Zhengzhou: Water conservancy press of the Yellow River, 1994. [赵金荣, 孙立达, 朱金兆. 黄土高原水土保持灌木[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1994.]
- [9] Guo Lijun, Wang Winghua, Zhou Hongchang, *et al.* Rainfall interception of forest plant of main forest types in central Yunnan Plateau[J]. *Yunnan Forestry Science and Technology*, 1999, (1): 12~ 21. [郭立群, 王庆华, 周洪昌, 等. 滇中高原区主要森林类型森林植物的降雨截留功能[J]. 云南林业科技, 1999, (1): 12~ 21.]
- [10] Hu Jianzhong. Experimental and research method of plant introduction for soil & water conservation[M]. Zhengzhou: Water conservancy press of the Yellow River, 2002. [胡建忠. 水土保持植物引种试验研究方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.]
- [11] Zhao Huanying, Zhu Jinwei, Wang Weihua. Effects of rainfall interception of pinus tabulaeformis in semi-arid[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 1997, 25(6): 66~ 70. [赵焕胤, 朱劲伟, 王维华. 半干旱地区油松人工林带降水截留作用分析[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(6): 66~ 70.]
- [12] Mu Hongqiang, Xia Jun. Simulation on rainfall interception process of composite ecologic system[J]. *Yangtze River*, 2002, 33(7): 25~ 26. [穆宏强, 夏军. 复合生态系统的降雨截留过程模拟[J]. 人民长江, 2002, 33(7): 25~ 26.]
- [13] Liu Xiangdong, Wu Qingxiao, Zhao Hongyan. The vertical interception function of forest vegetation and soil and water conservation[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1994, 1(3): 8~ 13. [刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 森林植被垂直截留作用与水土保持[J]. 水土保持研究, 1994, 1(3): 8~ 13.]

## Rainfall Interception Capability of Canopy Layer of Main Plant Community in Rehabilitation Lands at Southern Foot of Qilian Mountain

HU Jianzhong, LI Wenzhong, ZHENG Jiali, ZHANG Chunxia, LI Xueping  
(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University; Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing 100083 China)

**Abstract:** The rainfall interception of the artificial plant community is an indispensable part of the eco-benefits of the community. The related study will be helpful not only to learn the function of the project of Converting from Cropland into Forest Land and Grassland, but also to direct the practice greatly and promote the speed of the project. The maximum rainfall interception capability of the rehabilitation land can be gained quickly through the Method of Easy Adsorption. The rainfall interception average 1.93mm for those canopy layers which had inverted from cropland into forest land ten years ago, such as *Picea crassifolia*, *Larix Principis-rupprechii* artificial communities, and the rainfall interception is 61% of that of the average of 3 native communities with more than 50-year age and the largest interception at the areas. The rainfall interception of artificial communities of *Picea crassifolia*, *Larix Principis-rupprechii*, *Betula platyphylla*, *Populus cathayana*, *Hippophae rhamnoides ssp. Sinensis* in the rehabilitation lands appear positive linear or cubic, quadratic relationship with forest ages. Though the rainfall interception is only 1.29mm (0.25~ 2.38 mm), which is rather low in the vertical interception layers compared with other layers in interception, adsorption of rainfall, the main function of it is to alleviate and soften the strikes of raindrops and change the harmful erosive characteristics of rainfall, those functions of which are more important than the little rainfall interception itself.

**Key words:** Plant canopy layer; rainfall interception amount; inversion from cropland into forest land and grassland; artificial plant community; southern foot of Qilian Mountain