

冀北山地蒙古栎天然林土壤物理性质及 水源涵养功能研究

陈波¹, 剪文灏², 吕发², 肖志军², 李淑春², 张建华², 杨新兵¹

(1. 河北农业大学 林学院 河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 河北 保定 071000;

2. 河北省木兰围场国有林场管理局, 河北 围场 068450)

摘 要: 对冀北山地不同坡位的蒙古栎天然林土壤水分物理性质及水源涵养能力进行了初步研究。结果表明, 0—40 cm 土层土壤容重、非毛管孔隙度、有效持水量均表现为: 坡中>坡下>坡上, 土壤容重在 1.0~1.1 g/cm³ 之间; 土壤非毛管孔隙度和有效持水量均值为 8.9% 和 347.6 t/hm²。土壤毛管孔隙度、总孔隙度、毛管持水量和最大持水量均表现为: 坡下>坡中>坡上, 其均值分别是 38.5%, 47.5%, 1 521.50 t/hm² 和 1 869.1 t/hm²。枯落物厚度、蓄积量和最大持水量表现为: 坡下>坡上>坡中, 其均值分别是 48.7 cm, 23.5 t/hm² 和 49.3 t/hm², 最大持水率表现为: 坡上>坡中>坡下, 变化范围为 219.3%~231.8%。蒙古栎天然林林地蓄水能力表现为: 坡下(1 996.0 t/hm²)>坡中(1 930.0 t/hm²)>坡上(1 829.3 t/hm²), 平均蓄水量为 1 918.4 t/hm²。由此可知, 蒙古栎天然林蓄水能力受坡位影响较大。

关键词: 冀北山地; 蒙古栎天然林; 坡位; 水文

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0083-04

中图分类号: S715.7

Soil Physical Properties and Water Conservation Function of Natural *Quercus Mongolica* Forest in Mountainous Area of Northern Hebei Province

CHEN Bo¹, JIAN Wen-hao², LÜ Fa², XIAO Zhi-jun², LI Shu-chun², ZHANG Jian-hua², YANG Xin-bing¹

(1. Key Lab of Genetic Resources of Forest and Forest Protection, College of Forest, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Mulan—Weichang Forestry Administration of Hebei Province, Weichang, Hebei 068450, China)

Abstract: Soil physical properties and water conservation of Natural *Quercus mongolica* forest were studied at different slope positions in the mountainous area of Northern Hebei Province. The results showed that soil bulk density, soil non-capillary porosity, and effective water storage at the upper 40 cm soil layer varied at different slope positions, in a descending order as middle slope>lower slope>upslope. Soil bulk density varied between 1.0 g/cm³ and 1.1 g/cm³. The means of soil non-capillary porosity and effective water storage amount were 8.9% and 347.6 t/hm², respectively. Soil capillary porosity, total porosity, soil capillary water storage and maximum water storage at different slopes had average values of 38.5%, 47.5%, 1 521.5 t/hm², and 1 869.1 t/hm², respectively, with the highest values at lower slope and the lowest at upslope. The litter thickness, total litter and maximum water storage had averages of 48.7 cm, 23.6 t/hm², and 49.3 t/hm², respectively, and can be ranked in terms of slope positions as: lower slope>upslope>middle slope. Maximum water holding capacity varied from 219.34% to 231.8%, exhibited highest values at upslope, followed by middle slope, and then lower slope. Water storage of the forest at different positions can be arranged in a descending order as: lower slope(1 996.0 t/hm²)>middle slope(1 930.0 t/hm²)>upslope(1 829.3 t/hm²). The average value of water storage was 1 918.4 t/hm². The results indicated that water storage capacity of natural *Quercus mongolica* forest was significantly affected by slope position.

Keywords: Northern Hebei Province; natural *Quercus mongolica* forest; slope position; hydrology

收稿日期: 2012-03-24

修回日期: 2012-04-28

资助项目: 林业公益性行业科研专项课题“冀北山区典型森林生态系统健康经营技术研究示范”(200804022F)

作者简介: 陈波(1987—), 男(汉族), 甘肃省张掖市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。E-mail: zhyechb2010@163.com。

通信作者: 杨新兵(1978—), 男(汉族), 河北省涉县人, 博士, 副教授, 研究方向为水土保持。E-mail: hbyxb2008@126.com。

森林被形象地称为“绿色水库”,其巨大的水源涵养功能一直是生态领域研究的热点之一。森林通过改良土壤结构,增加土壤孔隙度,促进土壤入渗,降低水土流失程度^[1]。枯落物层是森林生态系统的特有层次,由于直接覆盖地表,结构疏松,具有较强的吸水能力和透水性,可延缓地表径流^[2]。蒙古栎是我国北方优良的硬阔叶用材树种之一,在黑龙江、吉林、辽宁、河北、山东等省区广泛种植,具有涵养水源、防风固沙、减少径流、保持水土、净化空气等生态功能,在我国北方地区生态区位极为重要,直接关系到全国生态环境的质量,所以保护好该区域的蒙古栎林对我国生态环境的改善将起到不可估量的作用^[3]。目前国内对其研究较少,特别是坡地蒙古栎天然林水源涵养功能特征的研究就更少。本研究以冀北山地蒙古栎天然林为研究对象,对不同坡位的蒙古栎天然林土壤水分物理性质和水源涵养功能的变化规律进行定量研究,旨在为该区森林水源涵养功能的研究提供依据。

1 研究区概况

研究区位于河北省木兰围场国有林场管理局下属的北沟林场东沟作业区,地处内蒙古高原和冀北山地的汇接地带,地理坐标为 $41^{\circ}35' - 42^{\circ}06' N$, $116^{\circ}51' - 117^{\circ}45' E$,属于中温带向寒温带过渡,半干旱向半湿润过渡的大陆性季风型高原山地气候。海拔 $750 \sim 1\,829\text{ m}$,年均降水量 $380 \sim 560\text{ mm}$,年平均气温 $-1.4 \sim 4.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,森林覆盖率 76.1% ,土壤主要类型为棕壤,乔木树种主要有华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*),黑桦(*Betula dahurica*),白桦(*Betula platyphylla*),山杨(*Populus*)、油松(*Pinus*)和蒙古栎(*Quercus mongolica*)等。

2 研究方法

于 2011 年 8 月底,在北沟林场东沟作业区选择蒙古栎天然林为研究对象,自坡顶至坡下共设置 9 个取样点,分别记为样点 1、样点 2、……、样点 9,依据林地基本特征及地形变化特点将坡面分为 3 段,即样点 1—3 为坡上,样点 4—6 为坡中,样点 7—9 为坡下。以取样点为中心设置 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的样地,对其进行每木检尺,样地基本特征详见表 1。在每个取样点挖 3 个土壤剖面,按 $0 \sim 10\text{ cm}$, $10 \sim 20\text{ cm}$, $20 \sim 40\text{ cm}$ 分层取样,视地形变化情况设 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方 3 个,按未分解和半分解层调查样方内枯落物层厚度及蓄积量,未分解枯落物系指基本上保持其原有形状及质地的枯枝落叶,半分解枯落物系指只有部分植物组织残片尚保持其原来形态的枯枝落叶。

表 1 蒙古栎天然林基本特征

坡位	坡向	坡度/ ($^{\circ}$)	平均树 高/cm	平均胸 径/cm	郁闭度	土壤 类型
坡上	SW	31	5.1	8.1	0.6	棕壤
坡中	SW	28	5.4	7.7	0.7	棕壤
坡下	SW	25	6.9	13.1	0.8	棕壤

枯落物不同分解层精确称重后,置于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘至恒重后称重,计算枯落物的持水量和持水率,再将烘干后的枯落物装入尼龙网袋中置于水中浸泡 24 h ,取出将其置干(以无水滴滴下为标准)后称重,计算枯落物最大持水量和最大持水率^[4]。采用环刀浸泡法测定土壤容重、孔隙度等物理性质^[5],计算土壤持水量^[6],即:

$$W = 10\,000P \cdot h$$

式中: W ——土壤持水量(t/hm^2); P ——土壤孔隙度($\%$); h ——土壤层厚度(m)。

3 结果与分析

3.1 蒙古栎天然林土壤容重与孔隙状况

土壤容重和孔隙度两者直接影响着土壤蓄水和通气性能。土壤容重越小,孔隙度越大,说明土壤发育良好,利于水分的保持与渗透,并间接影响到土壤肥力状况^[7]。图 1 显示,自坡上向坡下土壤容重均表现为: $0 \sim 10\text{ cm}$ 土层 $< 10 \sim 20\text{ cm}$ 土层 $< 20 \sim 40\text{ cm}$ 土层,即表层土壤容重小于下层。 $0 \sim 10\text{ cm}$ 土层土壤容重从样点 1 到样点 3 呈先增大后减小趋势,样点 4 到样点 6 呈先减小后增大趋势,样点 7 到样点 9 呈增加趋势,这与土壤含水量的变化趋势相同。坡上的土壤容重较低,样点 1 最低为 $0.60\text{ g}/\text{cm}^3$; $10 \sim 20\text{ cm}$ 土层土壤容重则表现为波动式增加的趋势,样点 4 最大为 $1.10\text{ g}/\text{cm}^3$; $20 \sim 40\text{ cm}$ 土层土壤容重呈波动式先增加后减小趋势,样点 6 最大为 $1.40\text{ g}/\text{cm}^3$ 。就整个坡面土壤容重变化趋势来看,蒙古栎天然林 $0 \sim 40\text{ cm}$ 土层土壤容重从坡上到坡下呈现先增大后减小的趋势,但不同坡位间土壤容重差异不显著,不同坡位土壤容重均值排序为:坡中($1.07\text{ g}/\text{cm}^3$) $>$ 坡下($1.06\text{ g}/\text{cm}^3$) $>$ 坡上($1.00\text{ g}/\text{cm}^3$),波动范围在 $1.00 \sim 1.07\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

由图 2 可知, $0 \sim 10\text{ cm}$ 土层非毛管孔隙度从样点 1 到样点 3,样点 4 到样点 6,样点 7 到样点 9 均表现为先增大后减小的趋势,波动范围在 $4.1\% \sim 17.9\%$, $0 \sim 10\text{ cm}$ 土层不同坡位土壤非毛管孔隙度均值由大到小的顺序为:坡中 $>$ 坡上 $>$ 坡下, $10 \sim 20\text{ cm}$ 土层和 $20 \sim 40\text{ cm}$ 土层表现为:坡下 $>$ 坡上 $>$ 坡中, $0 \sim 40$

cm 土层平均非毛管孔隙表现为:坡中>坡下>坡上。不同坡位土壤毛管孔隙度均值,0—10 cm 土层由大到小的顺序为:坡下>坡中>坡上,10—20 cm 土层由大到小的顺序为:坡中>坡下>坡上,20—40 cm 土层由大到小的顺序为:坡下>坡上>坡中;0—40 cm 土层平均毛管孔隙表现为:坡下>坡中>坡上。不同坡位土壤总孔隙度与毛管孔隙度变化规律相同,整个坡面 0—40 cm 土层土壤总孔隙度均值表现为:坡下>坡中>坡上。这与周萍^[8]等人的研究结果相似,表明坡下土壤的结构较好。由此可见,坡位对土壤孔隙度的影响较大,坡位不同积存枯枝落叶的

数量及土壤理化性质也不同,导致土壤孔隙状况差异较大。

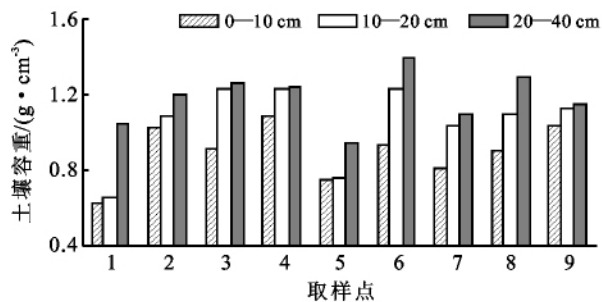


图1 研究区不同坡位的土壤容重

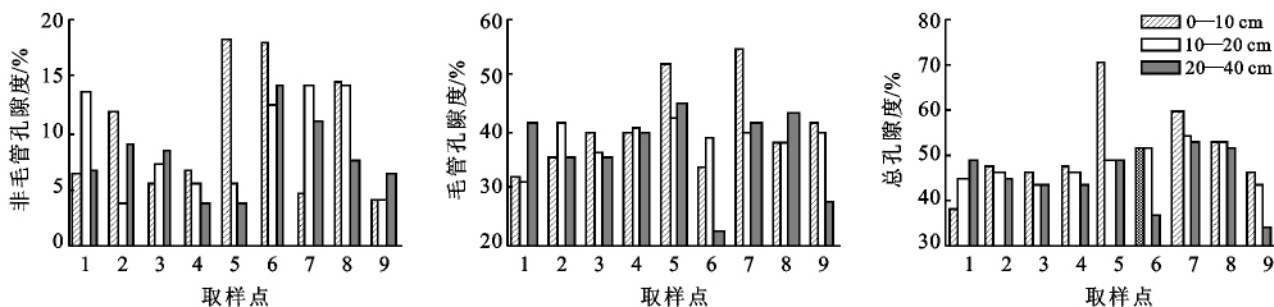


图2 研究区不同坡位土壤孔隙度

3.2 蒙古栎天然林土壤层蓄水能力分析

土壤的蓄水能力是评价森林涵养水源,调节水循环的重要指标。毛管孔隙中的水分可以长时间保持在土壤中,有利于植物根系吸收和土壤蒸发。非毛管孔隙能较快吸收降水并及时下渗,有利于水源涵养^[9]。由图3可知,0—40 cm 土层土壤有效持水量由大到小排序为:坡中>坡下>坡上,土壤毛管持水量和最大持水量变化规律相同,均表现为:坡下>坡中>坡上。从样点1到样点3土壤有效持水量、毛管持水量和最大持水量均呈先增加后减小的趋势,到样点3达整个坡面的最小值,分别为 300.0、1 455.0 和 755.0 t/hm²;样点4到6土壤有效持水量呈逐渐增大的趋势,样点6最大,为 589.0 t/hm²,毛管持水量和最大持水量呈先增大而后减小的趋势,到样点6达最小值,分别是 1 162.0 和 1 751.0 t/hm²;样点7到样点9,土壤有效持水量、毛管持水量和最大持水量均呈减小的趋势,到样点9达最小值,分别为 211.5、1 347.0 和 1 558.5 t/hm²。就整个坡面看,其土壤有效持水量、毛管持水量和最大持水量分别为 347.6、1 521.5 和 1 869.1 t/hm²。不同坡位土壤蓄水能力由大到小表现为:坡下>坡中>坡上,坡下蓄水能力最强,是坡上的 1.1 倍,坡中的 1.0 倍。研究结果与大兴安岭山地樟子松天然林^[6]相同土层的蓄水能力

相近,但林地的总蓄水能力要小于大兴安岭山地樟子松天然林。

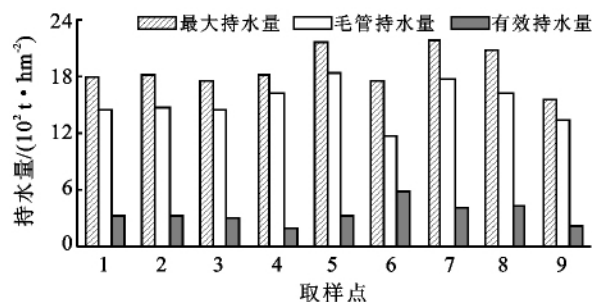


图3 研究区不同坡位 0—40 cm 土壤层持水量

3.3 蒙古栎天然林枯落物层持水能力分析

3.3.1 蒙古栎天然林枯落物蓄积量 森林枯落物层作为森林水文效应的第二个活动层,在截持降雨、防止土壤溅蚀、拦蓄地表径流、减少土壤水分蒸发和增加土壤水分入渗等方面具有重要意义^[3]。

由表2可知,蒙古栎天然林枯落物总厚度,从样点1到样点3和样点4到样点6,均呈先增大后减小的趋势,样点7到样点9呈先减小后增大的趋势,样点2最大,枯落物总厚度达 90.0 mm,样点3最小,为 30.0 mm;枯落物单位面积总蓄积量,从样点1到样点9呈波动减少而后增大的趋势,样点9最大,为 64.3 t/hm²,样点4最小,为 8.0 t/hm²。就整个坡面

看,其枯落物平均厚度和平均蓄积量大小均表现为:坡下>坡上>坡中,枯落物层平均厚度为 48.7 mm,总蓄积量平均值为 23.6 t/hm²,其中未分解层 6.2 t/hm²,占 29.9%,半分解层 17.4 t/hm²,占 70.1%。

蒙古栎天然林枯落物蓄积量大于大兴安岭山地樟子松天然林^[6],这一方面可能与不同树种凋落物的分解速度不同有关,另一方面与混交树种的比例、地形等有关,从而影响了凋落物的蓄积量。

表 2 研究区蒙古栎天然林枯落物蓄积量和枯落物持水能力

取样点	枯落物 厚度/cm	枯落物蓄积量/(t·hm ⁻²)				最大持水量/(t·hm ⁻²)				最大持水率/%		
		未分解层		半分解层		总蓄 积量	未分 解层	半分 解层	总和	未分 解层	半分 解层	平均
		蓄积量	占总量/%	蓄积量	占总量/%							
1	30.8	8.5	21.4	31.0	78.6	39.5	22.7	65.5	88.2	296.3	249.4	272.8
2	90.0	6.2	27.5	16.4	72.5	22.7	9.7	30.5	40.2	172.7	203.7	188.2
3	30.0	3.4	30.1	7.8	69.9	11.2	2.9	9.1	12.0	289.5	179.2	234.4
4	20.0	2.0	25.2	6.0	74.8	8.0	2.6	14.5	17.1	251.5	263.3	257.4
5	60.0	9.9	44.2	12.5	55.8	22.4	26.5	23.1	49.7	287.6	222.7	255.1
6	50.0	5.3	28.4	13.3	71.6	18.6	6.9	25.3	32.2	140.9	202.0	171.4
7	60.0	4.9	39.8	7.4	60.2	12.3	11.5	13.0	24.4	246.3	182.6	214.4
8	45.0	4.6	35.3	8.5	64.7	13.1	7.8	17.0	24.8	170.0	236.5	203.3
9	52.5	11.1	17.2	53.2	82.9	64.3	23.5	131.8	155.3	215.5	265.1	240.3
平均	48.7	6.2	29.9	17.4	70.1	23.6	12.7	36.6	49.3	230.0	222.7	226.4

3.3.2 蒙古栎天然林枯落物持水能力 枯落物的持水能力多用最大持水量和最大持水率表示。最大持水量的大小可反映水容量的大小,枯落物最大持水量越大,吸收和过滤地表径流的作用越强,其水文作用越大,最大持水率反映了枯落物吸水率的大小^[10]。由表 2 可知,未分解层和半分解层最大持水量变化规律相同,均呈先减小后波动式增加的趋势。在未分解层样点 5 最大,为 26.5 t/hm²;样点 4 最小,为 2.6 t/hm²。半分解层是样点 9 最大,为 131.8 t/hm²;样点 3 最小,为 9.1 t/hm²。就整个枯落物层来看,样点 9 持水能力最大,样点 3 最小,最大值是最小值的 12.9 倍。不同坡位最大持水量均值由大到小的顺序为:坡下>坡上>坡中,整个坡面枯落物平均持水量为 49.3 t/hm²。

枯落物未分解层最大持水率呈波动式减小趋势。在样点 1 最大,为 296.3%;样点 6 最小,为 140.9%。枯落物半分解层最大持水率则呈波动式减小而后增大趋势,样点 9 最大,为 265.1%;样点 3 最小,为 179.2%。整个坡面枯落物层最大持水率平均值为 226.4%,未分解层为 230.0%,半分解层为 236.5%。不同坡位最大持水率均值由大到小的顺序为:坡上>坡中>坡下。

3.4 蒙古栎天然林林地水源涵养能力

不同坡位蒙古栎天然林最大蓄水量(枯落物层最大持水量加土壤层最大持水量)表现为样点 1 到样点 3 和样点 7 到样点 9 由于坡度逐渐增大,林地蓄水量呈现逐渐减小的趋势。样点 1 为 1 878.7 t/hm²,样点 3 为 1 767.0 t/hm²,减小幅度为 94.1%。样点 7

到样点 9 变化范围为 2 192.4~1 713.8 t/hm²。样点 4 到样点 6 呈先增大后减小的趋势,这是由于样点 5 处坡度较缓,林下植被生长茂盛,枯落物层较厚,土壤厚度增加。就整个坡面来看,单位面积蓄水量在样点 5 最大,为 2 195.7 t/hm²,样点 9 最小,为 1 713.8 t/hm²,最大值是最小值的 1.28 倍,不同坡位单位面积蓄水量由大到小表现为:坡下>坡中>坡上,蒙古栎天然林林地平均蓄水量为 1 918.4 t/hm²。由研究数据可知,蒙古栎天然林林地最大蓄水量大小主要取决于土壤层的蓄水量。

4 结 论

(1) 蒙古栎天然林 0—40 cm 土层土壤容重均值由大到小排序为:坡中>坡下>坡上,波动范围为 1.0~1.1 g/cm³。不同坡位土壤总孔隙度与毛管孔隙度变化规律相同,均表现为:坡下>坡中>坡上。

(2) 蒙古栎天然林 0—40 cm 土层土壤有效持水量由大到小的顺序为:坡中>坡下>坡上,土壤毛管持水量和最大持水量变化规律相同,均表现为:坡下>坡中>坡上,不同坡位土壤蓄水能力表现为坡下>坡中>坡上。

(3) 蒙古栎天然林枯落物不同坡位最大持水量均值由大到小的顺序为:坡下>坡上>坡中,整个坡面枯落物平均持水量为 49.3 t/hm²,枯落物平均厚度和平均蓄积量大小均表现为:坡下>坡上>坡中,最大持水率均值排序为:坡上>坡中>坡下。

(下转第 92 页)

时,连香树和两种针叶混合处理高于糙皮桦和两种针叶混合处理。说明糙皮桦与云南松、云杉混合后,促进了两种针叶林地凋落叶 C 的释放,其促进作用大于连香树与云南松、云杉混合。

由此也可以看出,针阔林地凋落叶混合后促进了针叶林地凋落叶 C、N 的释放。在营造阔叶林与云南松和云杉的混交林时,糙皮桦较连香树对整个森林生态系统的物质循环贡献大一些。

[参 考 文 献]

- [1] 杨玉海,郑路,段永照. 干旱区人工防护林带不同林分凋落叶分解及养分释放[J]. 应用生态学报,2011,22(6): 1389-1394.
- [2] 严海元,辜夕容,申鸿. 森林凋落物的微生物分解[J]. 生态学杂志,2010,29(9):1827-1835.
- [3] Alicia S M, Roberto A D. Decomposition of and nutrient dynamics in leaf litter and roots of *Poa ligularis* and *Stipa gyneriodes* [J]. Journal of Arid Environments, 2003,55(3):503-514.
- [4] Ribeiro C, Madeira M, Araujo M C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes[J]. Forest Ecology and Management, 2002,171(1/2): 31-41.
- [5] 宋庆丰,杨新兵,张金柱,等. 雾灵山典型林分枯落物和土壤水文效应[J]. 生态环境学报,2009,18(6):2316-

2320.

- [6] Semwal R L, Maikhuri R K, Rao K S, et al. Leaf litter decomposition and nutrient release patterns of six multi-purpose tree species of central Himalaya, India[J]. Biomass and Bioenergy, 2003,24(1):3-11.
- [7] 刘增文,高文俊,潘开文,等. 岷江上游不同树种林地客土混合对土壤生物化学性质和枯落叶分解的影响[J]. 生态学报,2007,27(10):4149-4156.
- [8] 黄锦学,黄李梅,林智超,等. 中国森林凋落物分解速率影响因素分析[J]. 亚热带资源与环境学报,2010,5(3): 56-63.
- [9] 张德强,叶万辉,余清发,等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J]. 生态学报,2000,20(6):938-944.
- [10] 林开敏,章志琴,曹光球,等. 杉木与楠木叶凋落物混合分解及其养分动态[J]. 生态学报,2006,26(8):2732-2738.
- [11] 林开敏,章志琴,邹双全,等. 杉木与阔叶树叶凋落物混合分解对土壤性质的影响[J]. 土壤学报,2006,37(2): 258-262.
- [12] Blair J M. Decay rates, nitrogen fluxes and decomposer communities of single and mixed species foliar litter [J]. Ecology, 1990,71(5):1976-1985.
- [13] Williams B L, Alexander C E. Interaction on mixing litters from beneath Sitka spruce and Scot pine and the effects on microbial activity and N-mineralization[J]. Soil Biol. Biochem., 1991,23(1):71-75.

(上接第 86 页)

(4) 蒙古栎天然林林地单位面积蓄水量表现为:坡下>坡中>坡上,样点 5 最大,为 2 195.7 t/hm²,样点 9 最小,为 1 713.8 t/hm²,平均蓄水量为 1 918.4 t/hm²。

[参 考 文 献]

- [1] 陈浩,蔡强国. 坡面植被恢复对沟道侵蚀产沙的影响[J]. 中国科学(D 辑):地球科学,2006,36(1):69-80.
- [2] 徐娟,余新晓,席彩云. 北京十三陵不同林分枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3): 189-193.
- [3] 田超,杨新兵,李军,等. 冀北山地不同海拔蒙古栎林枯落物和土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2011,25(4): 222-227.
- [4] 王勤,张宗应. 安徽大别山区不同林分类型土壤特性及水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2003,17(3):59-62.
- [5] 陈东莉,郭晋平,杜宁宁. 间伐强度对华北落叶松林下生

物多样性的影响[J]. 东北林业大学学报,2011,39(4): 37-39.

- [6] 李奕,满秀玲,蔡体久,等. 大兴安岭山地樟子松天然林土壤水分物理性质及水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报,2011,25(2):88-92.
- [7] 李德生,张萍,张水龙,等. 黄前库区森林地表径流水移动规律的研究[J]. 水土保持学报,2004,18(1):78-81.
- [8] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):7-12.
- [9] 孙艳红,张洪江,程金花,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.
- [10] 王贵霞,李传荣. 沙质海岸 5 种植被类型土壤物理性状及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2005,19(2): 142-146.