

# 大兴安岭不同类型落叶松天然林水源涵养功能研究

徐洪亮<sup>1,2</sup>, 满秀玲<sup>1</sup>, 盛后财<sup>1</sup>

(1. 东北林业大学 林学院, 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省水土保持科学研究所, 黑龙江 宾县 150400)

**摘 要:**从森林涵养水源的角度, 对大兴安岭落叶松天然林 5 种主要林分类型水源涵养功能进行了研究, 结果表明: 土壤总孔隙度在 55.58% ~ 77.45% 之间, 非毛管孔隙度在 9.86% ~ 16.57% 之间, 毛管孔隙度在 41.93% ~ 63.20% 之间。土壤容重从大到小的顺序为: 白桦+ 落叶松林 > 樟子松+ 落叶松林 > 落叶松纯林 > 杜香+ 落叶松林 > 杜鹃+ 落叶松林。0~20 cm 土层饱和蓄水量杜鹃+ 落叶松林最大, 为 1 548.91 t/hm<sup>2</sup>; 白桦+ 落叶松林最小, 为 1 140.82 t/hm<sup>2</sup>。枯落物层持水量从大到小的顺序为: 杜鹃+ 落叶松林(1 064.97 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松纯林(955.92 t/hm<sup>2</sup>) > 樟子松+ 落叶松林(910.40 t/hm<sup>2</sup>) > 杜香+ 落叶松林(723.95 t/hm<sup>2</sup>) > 白桦+ 落叶松林(672.48 t/hm<sup>2</sup>)。水源涵养能力依次为: 杜鹃+ 落叶松林(1 815.12 t/hm<sup>2</sup>) > 落叶松纯林(1 640.00 t/hm<sup>2</sup>) > 樟子松+ 落叶松林(1 557.01 t/hm<sup>2</sup>) > 杜香+ 落叶松林(1 468.54 t/hm<sup>2</sup>) > 白桦+ 落叶松林(1 308.94 t/hm<sup>2</sup>)。

**关键词:**林地类型; 土壤孔隙度; 枯落物; 水源涵养

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0092-05

## Water Conservation Function of Different Types of *Larix gmelini* Forests in Da Hinggan Mountains

XU Hong-liang<sup>1,2</sup>, MAN Xiu-ling<sup>1</sup>, SHENG Hou-cai<sup>1</sup>

(1. School of Forestry Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2. Soil and Water Conservation Research Institute of Heilongjiang Province, Binxian, Heilongjiang 150400, China)

**Abstract:** With the concerns of water conservation by forest, five major forest types of larch forests in Da Hinggan Mountains were selected to test their water-holding capacity. The results show as the follows: soil total porosity ranged from 55.58% to 77.45%; noncapillary porosity ranged from 9.86% to 16.57%; capillary porosity ranged from 41.93% to 63.20%. The soil bulk density ranked from high to low was *Betula platyphylla*-*Larix gmelini* > *Pinus sylvestris* var. *mongolica*-*Larix gmelini* > *Larix gmelini* > *Ledum palustre* var. *decumbens*-*Larix gmelini* > *Rhododendron simsii*-*Larix gmelini*. The saturation holding capacity of *Rhododendron simsii*-*Larix gmelini* was 1 548.91 t/hm<sup>2</sup>, 1 140.82 t/hm<sup>2</sup> in *Betula platyphylla*-*Larix gmelini*. The water-holding capacity of litter was *Rhododendron simsii*-*Larix gmelini* (1 064.97 t/hm<sup>2</sup>) > *Larix gmelini* (955.92 t/hm<sup>2</sup>) > *Pinus sylvestris* var. *mongolica*-*Larix gmelini* (910.40 t/hm<sup>2</sup>) > *Ledum palustre* var. *decumbens*-*Larix gmelini* (723.95 t/hm<sup>2</sup>) > *Betula platyphylla*-*Larix gmelini* (672.48 t/hm<sup>2</sup>). The order of the water conservation function was: *Rhododendron simsii*-*Larix gmelini* (1 815.12 t/hm<sup>2</sup>) > *Larix gmelini* (1 640.00 t/hm<sup>2</sup>) > *Pinus sylvestris* var. *mongolica*-*Larix gmelini* (1 557.01 t/hm<sup>2</sup>) > *Ledum palustre* var. *decumbens*-*Larix gmelini* (1 468.54 t/hm<sup>2</sup>) > *Betula platyphylla*-*Larix gmelini* (1 308.94 t/hm<sup>2</sup>).

**Key words:** forest type; soil porosity; litter; water conservation

森林的水源涵养功能是森林生态服务功能的重要组成部分之一, 不同森林类型由于其树种生物学、

生态学特性及森林群落结构的差异, 其林分整体水源涵养效应存在一定的差异。探讨不同森林类型及不

收稿日期: 2010-12-29

修回日期: 2011-01-24

资助项目: 林业公益性项目(201104005-05)

作者简介: 徐洪亮(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水土保持。E-mail: xhl2003@126.com

通信作者: 满秀玲(1964-), 女, 黑龙江伊春人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 水土保持。E-mail: manxfu@163.com

©1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

同林分组成与涵养水源功能的关系,对合理经营森林资源、改善水环境、实现水资源的科学管理和利用具有重要意义<sup>[1]</sup>。兴安落叶松天然林是大兴安岭地区的地带性植被,这一森林类型是在长期气候寒冷、土壤较为瘠薄且存在多年冻土的环境条件下形成的,它对本地区的生态环境建设及经济发展起着主要作用,尤其在水源涵养功能方面意义巨大。本文选择大兴安岭地区落叶松天然林 5 种主要林分类型对其水源涵养功能进行系统研究,分析不同林型条件下,土壤枯落物层和土壤层水源涵养功能的差异,从中筛选出水源涵养功能好且林分结构较为理想的林分类型,为大兴安岭地区落叶松天然林的合理经营提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于黑龙江省大兴安岭地区漠河县北极村附近,位于大兴安岭北麓,地理坐标 52°10′–53°33′N,121°07′–124°20′E,雄居祖国的最北端。属寒温带大陆性气候,年平均气温–5.4℃,最低气温–50℃,>10℃积温 1 403℃,年均降水量 450~550

mm,60%集中在 7–8 月,无霜期 80 d。境内连续多年冻土和岛状多年冻土交错分布。地带性植被类型是以兴安落叶松(*Larix gmelinii*)为优势的北方寒温带明亮针叶林,此外还有樟子松林(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、白桦林(*Betula platyphylla*)、山杨林(*Populus davidiana*)等。常见林下灌木树种有:杜香(*Lawn palustre*)、兴安杜鹃(*Rhododendron dahurumn*)、笃斯越橘(*Vaccinium uliginosum*)等。林下土壤以棕色针叶林土为主,另外还分布有沼泽土和泥炭土。

2 研究方法

2.1 样地设置

调查于 2010 年 5–6 月进行。在前期踏查的基础上选择本区典型地带性植被落叶松天然林进行调查,主要林分类型有白桦+落叶松林、杜香+落叶松林、杜鹃+落叶松林、落叶松纯林和樟子松+落叶松林,在典型地段设置标准地,样地面积为 20 m×30 m。对标准地内林木进行每木检尺,实测林木胸径、树高等,各样地基本情况详见表 1。

表 1 样地基本情况

林分类型	树种组成	坡向	坡度/ (°)	平均高/ m	平均胸径/ cm	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	
						其它树木	落叶松
白桦+落叶松林(1)	8 落 2 白	S	16	6.4	8.6	369	527
杜香+落叶松林(2)	10 落	S	3	13.3	21.5	–	950
杜鹃+落叶松林(3)	10 落	WS	4	12.2	23.1	–	483
落叶松纯林(4)	10 落	N	5	7.3	6.7	–	1716
樟子松+落叶松林(5)	7 落 3 樟	S	4	10.2	16.9	217	450

2.2 枯落物持水能力测定

枯落物持水性能是反映枯落物涵蓄水分能力的重要指标,主要取决于枯落物的组成、质地、结构和分解程度等<sup>[2]</sup>。在标准地内沿对角线设置 10 个 50 cm×50 cm 的小样方<sup>[3]</sup>,按未分解层和半分解层收集样方内全部枯落物,精确称量湿重( $W_1/g$ )后,置于 80℃烘箱中烘至恒重后称重( $W_2/g$ ),枯落物的自然持水量( $W_c/g$ )和自然持水率( $W_R/\%$ )按式(1)计算。

$W_c = W_1 - W_2, W_R = (W_1 - W_2) \times 100 / W_2$  (1)

再将烘干后的枯落物装入尼龙网袋中置于水中浸 24 h,取出将其淋干(以污水滴滴下为标准)后称重( $W_3/g$ ),枯落物最大持水量( $W_{CM}/g$ )和最大持水率( $W_{RM}/\%$ )按式(2)计算<sup>[4]</sup>。

$W_{CM} = W_3 - W_2, W_{RM} = (W_3 - W_2) \times 100 / W_2$  (2)

2.3 土壤水物理性质的测定

在每个样地内随机设置 3 个土壤剖面,由于本地区林下土壤层很薄,通常只有 20 cm 左右,因此将土壤剖面分为 2 层,即 0–10 cm 和 10–20 cm,分别采

用环刀(100 cm<sup>3</sup>)和铝盒取样,用烘干法测定土壤含水量;用环刀法测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度等物理性质<sup>[5]</sup>。采用下式计算土壤饱和蓄水量和土壤非毛管持水量。

$$\begin{aligned} W_t &= 10000P_t h \\ W_o &= 10000P_o h \\ W_c &= 10000P_c h \end{aligned} \tag{3}$$

式中: $W_t$ ——土壤饱和蓄水量(t/hm<sup>2</sup>); $W_o$ ——土壤非毛管持水量(t/hm<sup>2</sup>); $W_c$ ——土壤毛管持水量(t/hm<sup>2</sup>); $P_t$ ——土壤总孔隙度(%); $P_o$ ——土壤非毛管孔隙度(%); $P_c$ ——土壤毛管孔隙度(%); $h$ ——土层厚度(m)<sup>[6]</sup>。

3 结果与分析

3.1 不同林型土壤容重与孔隙度

从表 2 可以看出,5 种林分类型的土壤容重变动的总趋势均是随土层深度的增加而增加,孔隙度变动

的总趋势是随土层深度的增加而减小,这是因为下层土壤有机质含量较小,而且本地区气候寒冷,土壤下层存在多年冻土层,不利于土壤有机质的积累,因而不利于土壤团粒结构的形成,使土壤容重变大,孔隙度减小。从土壤容重的均值看,白桦+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 杜鹃+ 落叶松林,分别为 0.89,0.64,0.58,0.50,0.22 g/cm<sup>3</sup>。在孔隙度方面,杜鹃+ 落叶松林明显大于白桦+ 落叶松林,这是因为杜鹃+ 落叶松林枯落物较多,每年归还土壤有机质较多,使土壤物理性质得到改善,有利于土壤团粒结构的形成,使土壤孔隙度变大。总孔隙度均值表现为:杜鹃+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林> 落叶松纯林> 白桦+ 落叶松林;非毛管孔隙度均值表现为:杜香+ 落叶松林> 杜鹃+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林。综合各林分毛管孔隙度、非毛管孔隙度均值来看,在毛管孔隙度方面,杜鹃+ 落叶松林最大,白桦+ 落叶松林最小,且二者差异极显著( $p < 0.01$ );在非毛管孔隙度方面,杜香+ 落叶松林最大,落叶松纯林最小,且二者差异显著( $p < 0.05$ )。各林型土壤均为 0–10 cm 土层孔隙度最大,主要是由于枯落物分解后增加了腐殖质的含量。林地降水进入土壤后,储存在非毛管孔隙之中,因此土壤中非毛管孔隙的多少,与土壤涵养水分的能力密切相关。5 种林型各层次非毛管孔隙度大小呈现一致的变化规律,即 0–10 cm>10–20 cm。同时,植被对土壤非毛管孔隙度有显著影响。0–10 cm 土层 5 种林型之间差异显著( $p < 0.05$ )。

表 2 不同林分土壤容重和孔隙度

林地类型	土层/ cm	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	孔隙度/%		
			总孔隙	非毛管	毛管
白桦+ 落叶松林	0–10	0.84	56.95	13.68	43.27
	10–20	0.94	54.20	13.61	40.59
	均值	0.89	55.58	13.65	41.93
杜香+ 落叶松林	0–10	0.22	79.64	23.60	56.04
	10–20	0.78	49.12	9.54	39.58
	均值	0.50	64.38	16.57	47.81
杜鹃+ 落叶松林	0–10	0.17	79.12	17.00	62.12
	10–20	0.26	75.77	11.50	64.27
	均值	0.22	77.45	14.25	63.20
落叶松 纯林	0–10	0.23	84.02	22.63	61.38
	10–20	0.92	56.08	4.09	52.00
	均值	0.58	61.74	9.86	51.87
樟子松+ 落叶松林	0–10	0.39	72.48	14.74	57.75
	10–20	0.88	60.46	8.58	51.88
	均值	0.64	66.47	11.66	54.81

3.2 落叶松天然林不同林分类型土壤蓄水特性

3.2.1 不同林型土壤持水能力 林地土壤的发育直接受森林植被的影响,森林类型不同,林地表层的枯落物构成及地下根系的生长发育也各异,所造成的林地土壤物理性质的差异,引起了各森林类型土壤蓄水能力上的变化<sup>[7]</sup>。从图 1 可以看出,土壤最大持水量、毛管持水量和田间持水量均为:杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。杜鹃+ 落叶松林的持水能力最强,白桦+ 落叶松林的持水能力最低,且二者差异极显著( $p < 0.01$ )。主要原因为杜鹃+ 落叶松林和落叶松纯林枯落物较多,每年归还土壤有机质较多,使土壤物理性质得到改善,有利于土壤团粒结构的形成,使土壤容重减少,孔隙度增加,并且杜鹃+ 落叶松林林下为苔藓层,苔藓植株之间的空隙很多,具有良好的保持土壤和贮藏水分的作用,因而持水量较大。杜香+ 落叶松林生长在沟底,土壤层存在多年冻土,使土壤下层形成不透水层,不利于土壤蓄水,因而持水量较小。

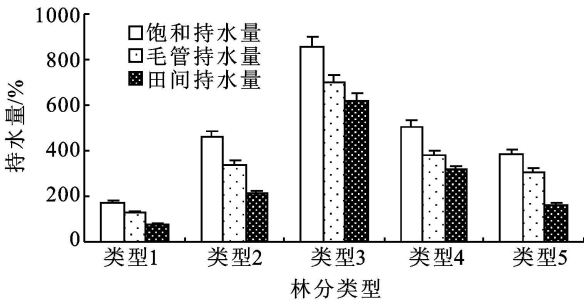


图 1 不同林分土壤持水能力

3.2.2 不同林型土壤蓄水能力 由表 3 可以看出杜鹃+ 落叶松林 0–20 cm 土层饱和蓄水量最大,为 1 548.91 t/hm<sup>2</sup>;落叶松纯林次之,为 1 401.02 t/hm<sup>2</sup>;白桦+ 落叶松林最差,为 1 140.82 t/hm<sup>2</sup>。杜鹃+ 落叶松林土壤贮藏水分和调节水分的潜在能力比白桦+ 落叶松林高 135.77%。土壤蓄水性能的提高使土壤接纳雨水的能力增大,可有效渗蓄降水,防止水土流失和山洪暴发。

3.3 落叶松天然林不同林分类型枯落物蓄水特性

3.3.1 枯落物蓄积量 枯落物的蓄积量受多种因子的影响,如林型、林龄、生长季节、人为活动、枯落物的输入量、分解速度、本身的厚度和性质等<sup>[8]</sup>。由表 4 可知,5 种林分的枯落物厚度大小为:杜鹃+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林> 落叶松纯林> 白桦+ 落叶松林。从总蓄积量的角度来看,白桦+ 落叶松林枯落物的总蓄积量最大为 235.15 t/hm<sup>2</sup>,这是由于人为干扰,对白桦林进行间伐,而使枯落物储量变大,而杜香+ 落叶松林枯落物的总蓄积

量最小为 152.32 t/hm<sup>2</sup>。

分析枯落物未分解层、半分解层的蓄积量发现, 不同林型林下枯落物各层次蓄积量所占比例各不相同, 白桦+ 落叶松林下枯落物未分解层所占比例最小, 占总蓄积量的 39.58%, 这是由于针阔混交林下枯落物较易分解而积累量小; 而落叶松纯林下枯落物未分解层所占比例最大, 占总蓄积量的 63.93%, 这是由于针叶林枯落物分解速度较慢而积累量较大。从总蓄积量的角度看, 尽管白桦+ 落叶松林未分解层所占比例最小, 但总蓄积量最大。

表 3 不同林分土壤蓄水量

林地类型	土层/cm	自然含水量/%	非毛管蓄水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	饱和蓄水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	土壤剖面最大蓄水量/(t·hm <sup>-2</sup> )
白桦+ 落叶松林	0- 10	35.66	126.10	558.82	1140.82
	10- 20	40.77	136.13	582.01	
杜香+ 落叶松林	0- 10	37.21	235.97	796.36	1287.55
	10- 20	30.95	95.43	491.19	
杜鹃+ 落叶松林	0- 10	70.11	169.97	791.21	1548.91
	10- 20	68.76	115.03	757.70	
落叶松纯林	0- 10	55.81	226.33	840.18	1401.02
	10- 20	49.45	40.87	560.84	
樟子松+ 落叶松林	0- 10	38.36	147.37	724.82	1329.41
	10- 20	48.29	85.77	604.59	

表 4 不同林分枯落物蓄积量

林地类型	未分解层/mm	半分解层/mm	总厚度/mm	未分解层		半分解层		总蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )
				蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	占总量/%	蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	占总量/%	
白桦+ 落叶松林	27	15	42	93.07	39.58	142.08	60.42	235.15
杜香+ 落叶松林	37	23	60	88.26	57.94	64.06	42.06	152.32
杜鹃+ 落叶松林	41	32	73	130.96	60.51	85.46	39.49	216.42
落叶松纯林	33	17	50	137.40	63.93	77.52	36.07	214.92
樟子松+ 落叶松林	26	18	44	117.44	61.37	73.92	38.63	191.36

3.3.2 枯落物持水能力 枯落物的持水能力多用干物质的最大持水量和最大持水率来表示。最大持水率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<sup>[9]</sup>。由表 5 可以看出落叶松纯林未分解层的最大持水率最大, 为 727.61%, 杜香+ 落叶松林的最小, 为 332.32%。半分解层的最大持水率也是落叶松纯林最大, 为 882.07%, 这表明落叶松纯林蓄水效果较好。未分解层的最大持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 樟子松+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林; 半分解层最大持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。综合各林分枯落物未分解层和半分解层持水量来看, 杜鹃+ 落叶松林枯落物持水量最好, 为 1 064.97 t/hm<sup>2</sup>; 落叶松纯林次之, 为 955.92 t/hm<sup>2</sup>; 白桦+ 落叶松林最差, 为 672.48 t/hm<sup>2</sup>。

表 5 枯落物持水特性

林地类型	未分解层		半分解层	
	最大持水量/g	最大持水率/%	最大持水量/g	最大持水率/%
白桦+ 落叶松林	297.19	398.34	375.29	637.73
杜香+ 落叶松林	271.46	332.32	452.49	537.49
杜鹃+ 落叶松林	492.28	632.77	572.69	794.86
落叶松纯林	478.01	727.61	477.91	882.07
樟子松+ 落叶松林	355.08	340.24	555.32	395.31

4 结论

(1) 不同林分类型对土壤容重和孔隙度均有很大影响, 其中对表层土壤影响最大。土壤总孔隙度从大到小的顺序为: 杜鹃+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林> 落叶松纯林> 白桦+ 落叶松林; 土壤容重从大到小的顺序为: 白桦+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 杜鹃+ 落叶松林; 5 种林型土壤饱和蓄水量为: 杜

鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 樟子松+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林, 杜鹃+ 落叶松林土壤饱和蓄水量是白桦+ 落叶松林的 1.36 倍。

(2) 土壤最大持水量、毛管持水量和田间持水量均为: 杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。杜鹃+ 落叶松林的持水能力最强, 白桦+ 落叶松林最低, 且二者差异极显著( $p < 0.01$ )。0–20 cm 土层饱和蓄水量杜鹃+ 落叶松林最大, 为 1 548.91 t/hm<sup>2</sup>; 白桦+ 落叶松林最差, 为 1 140.82 t/hm<sup>2</sup>。杜鹃+ 落叶松林土壤贮蓄水分和调节水分的潜在能力比白桦+ 落叶松林高 135.77%。

(3) 不同林型枯落物蓄积量大小为: 白桦+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜鹃+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林, 白桦+ 落叶松林枯落物蓄积量最高为 404.15 t/hm<sup>2</sup>, 杜香+ 落叶松林最低为 222.29 t/hm<sup>2</sup>, 两者相差 1.8 倍。未分解层最大持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 樟子松+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林; 半分解层最大持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。整个枯落物层的持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 樟子松+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。最大持水量反映了林地持水能力, 可见, 杜鹃+ 落叶松林枯落物持水能力最强。

(4) 不同林分林型水源涵养能力差异较大, 杜鹃

+ 落叶松林水源涵养能力最好, 为 1 815.12 t/hm<sup>2</sup>, 落叶松纯林为 1 640.00 t/hm<sup>2</sup>, 樟子松+ 落叶松林为 1 557.01 t/hm<sup>2</sup>, 杜香+ 落叶松林为 1 468.54 t/hm<sup>2</sup>, 白桦+ 落叶松林为 1 308.94 t/hm<sup>2</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 黄庆丰, 高健, 吴泽民. 不同林地类型土壤肥力及水源涵养功能的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2002, 29(1): 82–86.
- [2] 方海东, 纪中华, 杨艳鲜, 等. 金沙江干热河谷新银合欢人工林枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 52–55.
- [3] 肖洋, 满秀玲, 范金凤. 公别拉河流域主要森林类型土壤肥力与涵养水源功能[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(1): 28–30.
- [4] 王勤, 张宗应, 徐小牛. 安徽大别山库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] 关继义, 陈喜全. 森林土壤实验教程[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992.
- [6] 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.
- [7] 郝占庆, 王力华. 辽东山区主要森林类型林地土壤涵养水性能的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 237–241.
- [8] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 139–143.
- [9] 王贵霞, 李传荣, 许景伟, 等. 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.

(上接第 91 页)

#### 参考文献:

- [1] Owen T W, Carlson T N, Gillies R R. An assessment of satellite remotely sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. International [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 19(9): 1663–1681.
- [2] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use/land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective [J]. Global and Planetary Change, 2000, 25: 49–65.
- [3] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 36–39.
- [4] 王文杰, 申文明, 刘晓曼, 等. 基于遥感的北京市城市化

发展与城市热岛效应变化关系研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 44–48.

- [5] 张勇, 余涛, 顾行发, 等. CBERS-02 IRM SS 热红外数据地表温度反演及其城市热岛效应定量分析中的应用[J]. 遥感学报, 2006, 10(5): 789–797.
- [6] 王建凯, 王开存, 王晋才. 基于 MODIS 地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析[J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 330–337.
- [7] 田宜平, 袁艳斌, 李绍虎, 等. 建立盆地三维构造–地层格架的插值方法[J]. 中国地质大学学报, 2000, 25(2): 191–194.
- [8] Weng Q H, Lu D S, Jacquelyn S. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89: 467–483.