

# 基于机载雷达数据的青海云杉(*Picea crassifolia*)林降雨截留空间模拟

高婵婵<sup>a</sup>, 赵传燕<sup>a</sup>, 李文娟<sup>a</sup>, 别强<sup>b</sup>, 彭守璋<sup>a</sup>, 王清涛<sup>a</sup>

(兰州大学 a. 生命科学学院/草地农业生态系统国家重点实验室, b. 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**以祁连山天老池流域青海云杉(*Picea crassifolia*)林为对象,以2013年降雨截留观测数据和机载雷达数据,结合GIS技术对青海云杉林进行流域尺度上的截留模拟。先以样方尺度上观测的数据建立截留量统计模型,然后利用机载雷达数据计算冠层激光穿透指数(LPI),根据LPI与叶面积指数(LAI)的关系实现对青海云杉LAI的反演,最后利用青海云杉林区降雨量和LAI空间分布数据,在GIS的空间分析中,模拟研究区青海云杉林截留的空间分布。结果表明:2013年生长季研究区青海云杉林林冠截留量0~331.0 mm,平均161.9 mm,林冠截留率在0~67.97%,平均33.89%;整个生长季,流域青海云杉林冠截留量约 $5.26 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,占整个流域生长季总降雨量的7.38%。

**关键词:**林冠截留; 机载雷达; 叶面积指数; 青海云杉(*Picea crassifolia*)

文章编号: 1000-694X(2016)02-0515-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2015.00011

中图分类号: Q948.112

文献标志码: A

## 0 引言

植被对降雨的截留,在土壤-植被-大气连续体的水循环中不可忽略,尤其是森林植被,其冠层的截留量占总降雨量的10%~40%<sup>[1-3]</sup>。目前,对林冠截留的研究主要在样方尺度上进行<sup>[4-10]</sup>,并且以常规观测为主,虽然常规观测方法获得的数据精度高,但是由于在大、中尺度上各因素分异显著,想通过局部定点观测试验描述大中、尺度的林冠降雨截留过程难度很大。因此,利用目前观测所掌握的基本数据,将一些局部地区的研究结果推广到大尺度上,模型模拟则成为一种有效的工具<sup>[11]</sup>。植被冠层结构特征对截留量有很大影响,如叶面积指数(LAI)、郁闭度等<sup>[12]</sup>。将LAI引入截留模型中能取得较高的模拟精度<sup>[13-15]</sup>。青海云杉(*Picea crassifolia*)是祁连山区的优势乔木,基于长期的定位观测,对其截留过程在样方尺度上取得了一些有价值的成果<sup>[16-19]</sup>,但在区域尺度上对其林冠截留的研究少见<sup>[13]</sup>。

激光雷达(LiDAR)以激光作为光源、对目标进行主动遥感探测<sup>[20]</sup>。机载LiDAR为获取冠层结构特征提供了新的技术手段,并已经在反演森林的覆

盖度、LAI、株高及冠层高度等方面取得了进展<sup>[21-22]</sup>。本研究根据截留模型和机载LiDAR反演的LAI对祁连山天老池流域青海云杉林冠降雨截留空间分布进行模拟,希望为进一步从流域尺度上预测祁连山青海云杉水量平衡奠定基础

## 1 研究区概况

研究区位于祁连山自然保护区天老池小流域(38°23'56"—38°26'47"N, 99°53'57"—99°57'10"E),海拔2 600~4 400 m,面积12.8 km<sup>2</sup>,森林覆盖率65%,河流纵长6.0 km,纵坡比降1:12.5。年平均气温0.6℃,年降雨量437.2 mm,年内降雨分配很不均匀,主要集中在5—9月,占全年降雨的84.2%,年平均蒸发量1 066.2 mm,年平均相对湿度59%,属高寒半干旱山地森林草原气候。流域内海拔2 700 m以下的阳坡分布山地干草原;海拔2 660~3 540 m的阴坡分布青海云杉林,青海云杉为乔木层唯一建群种;海拔2 700~3 250 m的阳坡分布祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)纯林;海拔3 250~3 750 m以高山灌丛分布为主;亚高山草原主要分布在海拔2 900~3 100 m的阳坡及半阳坡,与祁连圆柏交错分布。高山裸岩和冰雪带分布于海

收稿日期:2014-10-03; 改回日期:2015-01-22

资助项目:国家自然科学基金重点项目(91025015)

作者简介:高婵婵(1990—),女,安徽人,硕士研究生,主要从事生态水文研究。E-mail: gaochch13@lzu.edu.cn

通信作者:赵传燕(E-mail: nanzhr@lzb.ac.cn)

拔3 800 m以上。

## 2 研究方法

为了实现青海云杉降雨截留的空间化,本研究

基于降雨截留观测数据、遥感数据以及气象站数据,建立降雨截留模型和  $LAI$  反演模型,获得青海云杉林  $LAI$  和降雨的空间分布数据,并在此基础上完成了青海云杉林降雨截留的空间模拟(图1)。

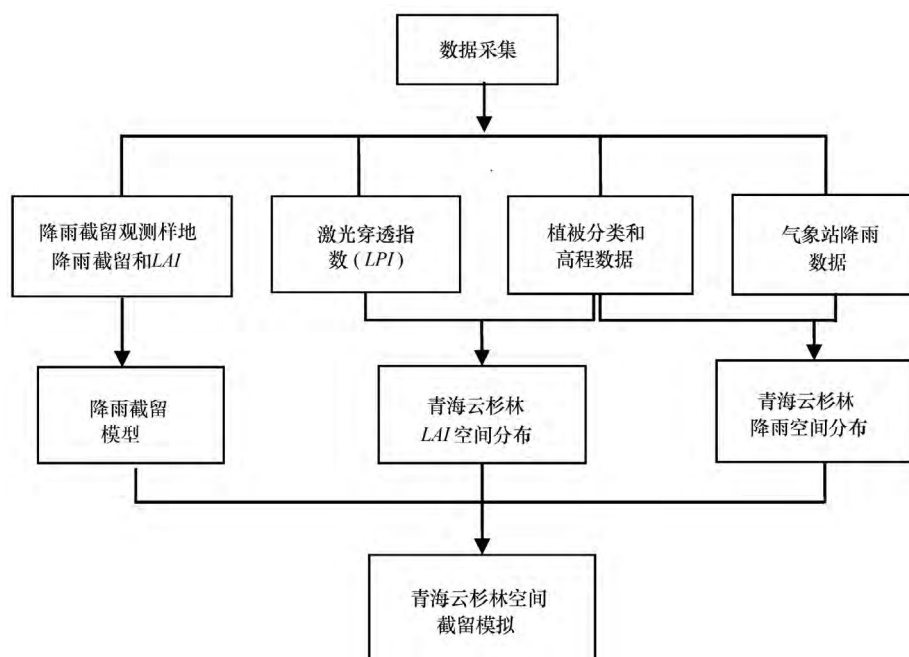


图1 研究方法的流程图

Fig. 1 The flow chart of research methods

### 2.1 数据的获取

#### 2.1.1 降雨截留数据

在海拔2 690 m处的青海云杉-苔藓林中布置一个30 m×30 m的降雨截留观测样地(图2,表2),

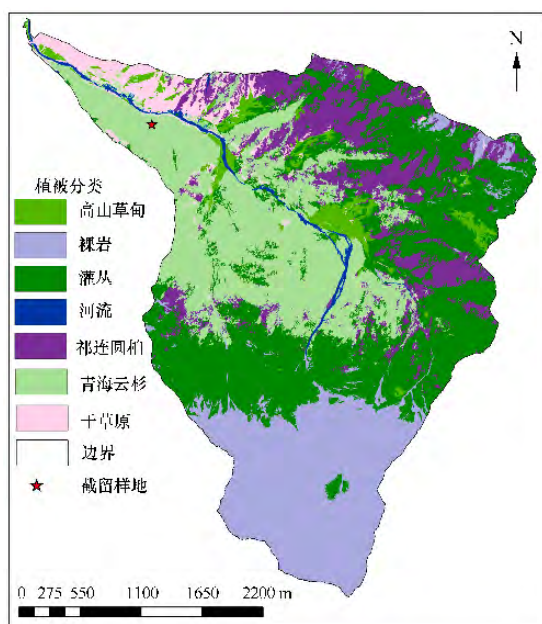


图2 样地位置

Fig. 2 Distribution of sampling site in studied areas

在样地内采用网格状布点测量穿透雨量。承雨桶直径20 cm,按3 m×3 m网格布设,共布设90个。同时在样地附近空旷地布设1个承雨桶,用于收集林外降雨。在2013年降雨观测中,共获得45组有效林内承雨桶的31次降雨截留数据。选取其中40个承雨桶数据用于模型拟合,另外5个林内承雨桶数据用于模型验证。

#### 2.1.2 叶面积指数和样地特征数据

在样地内,使用鱼眼相机(D80(10.5 mm),NIKON,日本)获取每个承雨桶上方冠层的半球图像,通过Sidelook确定阈值,然后采用Gap Light Analyzer (GLA V2.0)软件进行处理,得到 $LAI$ 。由于针叶林针叶的集聚效应,仪器测定值偏低,赵传燕等<sup>[23]</sup>计算的青海云杉林的调整系数为1.32,所以仪器所测 $LAI$ 再乘以1.32得到校正后的 $LAI$ 。然后,再通过每木检尺方法获取样地林分结构特征(表1)。

#### 2.1.3 机载雷达和GeoEye数据

机载LiDAR数据获取时间为2012年8月25日,飞行区域为祁连山自然保护区天老池流域,平均飞行高度约5 500 m,共6条航带,地面覆盖面积约100 km<sup>2</sup>。飞机上搭载的LiDAR系统为ALS70。

表1 实验样地特征统计

Table 1 Summary of the characteristics of sample plot

地形特征				林分结构要素				
坡度/(°)	坡向/(°)	海拔/m	年龄/a	高度/m	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	郁闭度/%	LAI	林下植物
10	354	2 700	162	13.9	1 133	48.1	1.41	苔藓

ALS70 机载激光扫描系统主要由系统控制器、激光控制器、相机控制器、激光扫描仪、操作和导航终端等组成。ALS70 最高脉冲频率 500 kHz,最高扫描频率为 200 Hz,最大扫描角为 75°。数据服务商提供的 LiDAR 点云数据地理坐标系统为 WGS84,投影采用 UTM 六度分度第 47 带。飞机相对地面飞行高度约 700 m,到达地面的光斑直径约 0.35 m,激光雷达的平均点密度为 1 点·m<sup>-2</sup>。利用机载雷达数据通过插值生成数字高程模型(DEM)<sup>[24]</sup>,并通过提取激光穿透指数(LPI)用于青海云杉林 LAI 的反演。

本文使用的影像数据为美国 GeoEye-1 影像。GeoEye-1 是太阳同步轨道卫星,轨道高度 684 km,运行周期 98 min。该卫星携带高分辨率的 CCD 相机,获取的全色波段空间分辨率高达 0.41 m,多光谱波段为 1.65 m。本研究影像获取时间是 2012 年 8 月 4 日,获取时间为当地时间 10:30。对 GeoEye 影像进行了正射校正和辐射定标,然后基于影像融合和面向对象技术实现了天老池流域植被的分类<sup>[25]</sup>(图 2)。

## 2.2 基于 LiDAR 数据的青海云杉林 LAI 反演

激光脉冲打到冠层后,有部分能量穿过枝叶间的孔隙继续前进,直到能量被遮挡,因此最后会有部分激光点到达地面。在本研究首先利用 Terrasolid 软件分离植被点云和地面点云,然后计算激光点的透过率,透过率为地面点云个数占所有点云个数的比例,用激光穿透指数(LPI)来表示,计算公式如下:

$$LPI = \frac{N_g}{N_g + N_v} \quad (1)$$

式中: $N_g$ 为地面回波数的点云个数; $N_v$ 为树木冠层回波点云个数。

在整个流域的青海云杉林区内,利用鱼眼相机获取 60 个 LAI 观测点,在 ArcGIS 10.0 中将 LAI 观测点对应的 LPI 数值提取出来,基于 Beer-Lambert 定律形式,用 40 个观测点数据进行拟合,得到 LAI 反演模型如下:

$$LAI = -1.142 \times \ln(LPI) \quad (2)$$

用另外 20 个点进行验证,LAI 模拟值和实测值之间的决定系数  $R^2 = 0.734$ ,均方根差  $RMSE = 0.480$ ,且通过了函数  $t_{0.05}$  检验。

从植被分类结果中提取天老池流域青海云杉分布图层,用青海云杉分布区提取 LPI,基于公式(2),在 ArcGIS10.0 空间分析模块通过栅格计算获得青海云杉叶面积指数(LAI)的空间分布。

## 2.3 青海云杉林区降雨空间分布模拟

天老池流域海拔每升高 100 m,降雨量平均增加 4.88%<sup>[26]</sup>。根据天老池流域高程数据和气象站观测数据(位于海拔 2 650 m),计算 2013 年天老池流域不同海拔青海云杉林区降雨的空间分布。

## 2.4 降雨截留空间模拟

基于青海云杉林区降雨量和叶面积指数的空间分布,在 ArcGIS 10.0 软件中利用合适的降雨截留模型(表 2-M3)实现青海云杉林降雨截留的空间模拟<sup>[13]</sup>,通过对生长季内次降雨截留量的累加得到青海云杉林冠降雨总截留量的空间分布。然后再利用青海云杉林冠截留量和天老池流域降雨的空间分布计算青海云杉林冠截留率。

# 3 结果分析

## 3.1 降雨截留模型

前人的研究多用降雨量作为变量建立降雨截留模型<sup>[27-28]</sup>,并认为线性式或幂函数式能取得较高精度的拟合<sup>[29]</sup>。但是,在线性式或幂函数式中,系数受冠层结构、干燥程度和风速等影响较大。因此,除降雨量,有研究将林冠郁闭度纳入到青海云杉林林冠降雨截留模型中<sup>[6-7,18]</sup>。本研究则以次降雨量和 LAI 为参变量,建立降雨截留模型(表 2)。可以看出,M3 精度最高,该模型是幂函数模型,与相关报道<sup>[18,29]</sup>结果一致。

表 2 4 种降雨截留模型的比较

Table 2 Comparison of four models for the prediction of rainfall interception

模型	$R^2$	RMSE	P
M1 $I=1.5145 \times (1 - \exp(-p \times LAI)) + 0.1337 \times p \times LAI$	0.682	1.453	0.065
M2 $I=0.8138 \times (p \times LAI)^{0.5634}$	0.687	1.444	0.048
M3 $I=0.7181 \times p^{0.6480} \times LAI^{0.4731}$	0.731	1.417	0.026
M4 $I=0.2010 \times p \times LAI$	0.712	1.714	0.021

注:  $I$  为截留量(mm),  $p$  为降雨量(mm),  $LAI$  为叶面积指数,  $R^2$  为决定系数,  $RMSE$  为均方根差,  $P$  为显著性检验概率。

### 3.2 天老池流域叶面积指数和降雨的空间分布

基于机载激光雷达获得的  $LPI$ , 根据公式(2), 获得天老池流域青海云杉林  $LAI$  的空间分布(图 3, 分辨率为 10 m), 天老池流域青海云杉的  $LAI$  为 0~4.93, 平均值 1.24, 主要集中在 0.9~1.7。彭焕华等<sup>[13]</sup>在祁连山排露沟流域利用 Quickbird 影像反演的青海云杉  $LAI$  为 0~8.74, 平均值 3.70; 赵传燕等<sup>[29]</sup>在排露沟流域利用鱼镜头法对林冠层  $LAI$  进行了多点测定,  $LAI$  为 0.48~2.26, 平均值 1.37, 与本研究结果相似。在天气多变的山区, 监测冠层  $LAI$ , 鱼镜头法精度高并且稳定<sup>[23,30]</sup>, 该结论间接支持本研究反演  $LAI$  的方法。相对于被动遥感, 主动遥感能够提高林冠层  $LAI$  反演精度<sup>[31-32]</sup>, 因为被动遥感影像无法去除林下植被对林冠植被指数的影响, 这可能是彭焕华等<sup>[13]</sup>使用 Quickbird 影像反演  $LAI$  值偏大的原因。

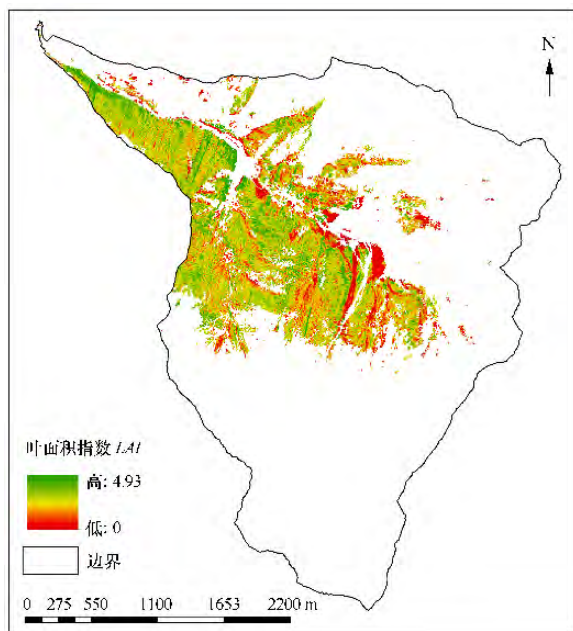


图 3 天老池流域青海云杉叶面积指数空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of Qinghai spruce forest  $LAI$  in Tianlaoshi catchment

根据位于海拔 2 650 m 气象站(自动观测)数据及降雨量在天老池的变化规律, 对次降雨量累加, 获得 2013 年生长季期间天老池流域青海云杉林区年降雨量的空间分布(图 4, 分辨率为 2 m), 可以看出, 青海云杉林区 2013 年生长季降雨量 395.5~601.5 mm, 平均 481.0 mm。用 3 090 m 的气象站(自动观测)数据验证, 2013 年整个生长季降雨量误差为 9.7 mm。

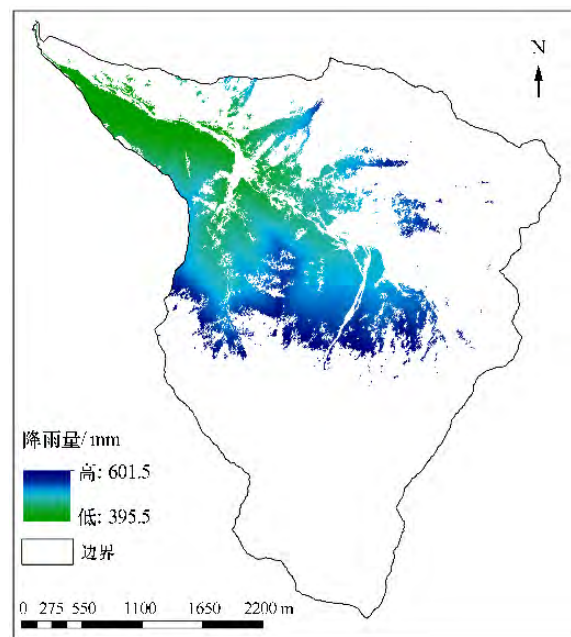


图 4 2013 年生长季期间天老池流域青海云杉林区年降雨量空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of precipitation in the Qinghai spruce forest of Tianlaoshi catchment during the growth season of 2013

### 3.3 天老池流域青海云杉林冠降雨截留空间分布

利用降雨截留模型 M3, 结合青海云杉林区降雨和  $LAI$  空间分布计算青海云杉林截留量的空间分布(图 5, 分辨率 10 m)。2013 年生长季天老池流域青海云杉林冠截留量 0~331.0 mm, 平均 161.9 mm, 总截留量为  $5.26 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。高值出现在流域



出口处和苗圃处,该处有成片的青海云杉人工林存在,人工林密度大, $LAI$ 表现出高值;在流域的中部,青海云杉林林窗较多,出现较多的低值。图6(分辨率为10 m)显示,天老池流域青海云杉林林冠截留率0~67.97%,平均33.89%。彭焕华等<sup>[13]</sup>利用遥感数据获得排露沟流域青海云杉林林冠截留率为27.92%~58.00%,平均41.70%,该报道的截留率

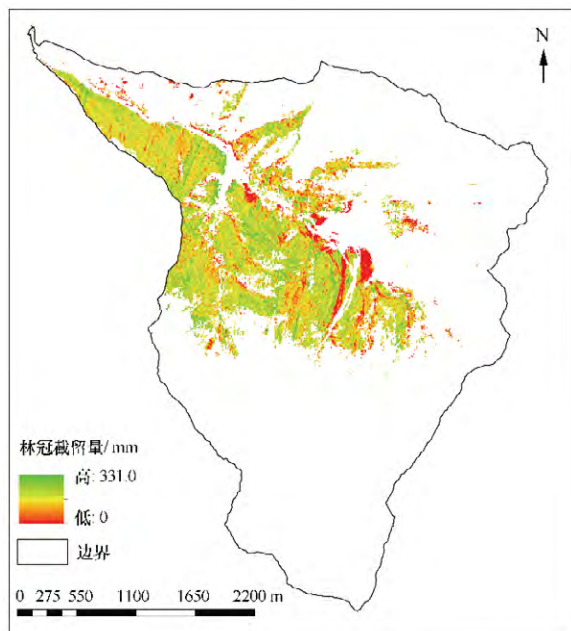


图5 天老池流域青海云杉林冠截留量空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of canopy interception of Qinghai spruce forest in Tianlaoshi catchment

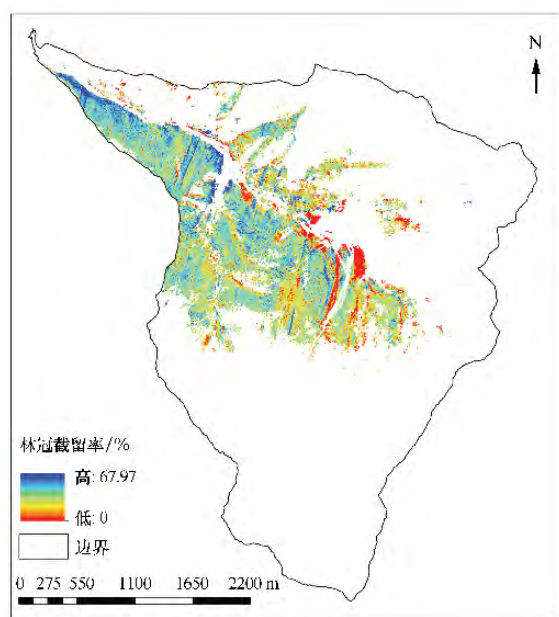


图6 天老池流域青海云杉林冠截留率空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of canopy interception percentage of Qinghai spruce forest in Tianlaoshi catchment

高于本研究结果,一方面可能是区域的差异,另一方面可能是 $LAI$ 反演方法的不同。田风霞等<sup>[32]</sup>观测的青海云杉的平均截留率为33.9%,与本文观测结果极为接近。

## 4 结论

本研究涉及的4个降雨截留模型(表2)均通过显著性检验。从决定系数看,M3最高,说明M3拟合度最好;从均方根差看出,M3最小,说明其模拟精度最高,所以选择M3作为实现截留空间化的模型。M3模型考虑了降雨量和叶面积指数,虽然模拟精度高,但林冠截留还受降雨特征(如持续时间,雨强)、雨前林冠的湿润程度、风速、地形等多种因素的影响<sup>[33-34]</sup>,林冠干燥度和附加截留量(林冠蒸发)是模型精度进一步提高必须要考虑的因素。

利用机载雷达数据实现降雨截留模拟的研究少见,与被动遥感相比,高分辨率的机载LiDAR数据在反演森林结构参数显示出其优势。在本研究选择的降雨截留模型中, $LAI$ 是重要的参数。基于机载雷达数据,通过回归分析建立了 $LAI$ 反演模型,模拟结果显示,天老池流域青海云杉 $LAI$ 为0~4.93,平均值1.24。其中 $LAI$ 高值和低值均出现在林缘附近,这可能因为植被分类不够精确,导致林缘附近 $LAI$ 的估算误差较大。

青海云杉林林冠对降雨的再分配作用大,因此在区域水量平衡估算中是一个不可忽视的量。2013年生长季(5—9月)天老池流域青海云杉林冠截留量0~331.0 mm,平均161.9 mm,全流域青海云杉总截留量约 $5.26 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,约占生长季流域降雨量的7.38%;平均林冠截留率为33.89%。该流域青海云杉林受人干扰少,林木较浓密,相对于其他森林,青海云杉林有较高的截留率。

## 参考文献:

- [1] Hörmann G, Branding A, Clemen T, et al. Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, 79(3): 131—148.
- [2] Llorens P, Domingo F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions, a review of studies in Europe [J]. Journal of Hydrology, 2007, 335(1): 37—54.
- [3] Ramírez J A, Senarath S U S. A statistical-dynamical parameterization of interception and land surface-atmosphere interactions[J]. Journal of Climate, 2000, 13(22): 4050—4063

- [4] Gash J H C. An analytical model of rainfall interception by forests[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1979, 105: 43—55.
- [5] Rutter A J, Morton A J, Robins P C. A predictive model of rainfall interception in forests. II. generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands[J]. Journal of Applied Ecology, 1975, 12: 367—380.
- [6] Liu S. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies[J]. Ecological Modelling, 1997, 99(2): 151—159.
- [7] Gash J H C, Lloyd C R, Lachaud G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model[J]. Journal of Hydrology, 1995, 170(1): 79—86.
- [8] 张学龙, 罗龙发, 敬文茂, 等. 祁连山青海云杉林截留对降水的分配效应[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 678—683.
- [9] 徐先英, 严平, 郭树江, 等. 干旱荒漠区绿洲边缘典型固沙灌木的降水截留特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 141—145.
- [10] 马育军, 高尚玉, 李小雁, 等. 高寒河谷灌丛冠层降雨再分配特征及影响因素[J]. 中国沙漠, 2012, 32(4): 963—971.
- [11] 程国栋, 赵传燕. 干旱区内陆河流域生态水文综合集成研究[J]. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1005—1012.
- [12] 王文, 诸葛绪霞, 周炫. 植物截留观测方法综述[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 5: 495—504.
- [13] 彭焕华, 赵传燕, 沈卫华, 等. 祁连山北坡青海云杉林冠对降雨截留空间模拟——以排露沟流域为例[J]. 干旱区地理, 2010, 33(4): 600—606.
- [14] Gómez J A, Giráldez J V, Fereres E. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49(1): 65—76.
- [15] 王安志, 刘建梅, 裴铁璠, 等. 云杉截留降雨实验与模型[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(2): 38—42.
- [16] 常学向, 赵爱芬, 王金叶, 等. 祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 274—280.
- [17] 金博文, 王金叶, 常宗强, 等. 祁连山青海云杉林冠层水文功能研究[J]. 西北林学院学报, 2009(增刊): 39—42.
- [18] 张虎, 马力. 祁连山青海云杉林降水及其再分配[J]. 甘肃林业科技, 2000, 25(4): 27—30.
- [19] 党宏忠, 周泽福, 赵雨森. 青海云杉林冠截留特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 60—64.
- [20] Peduzzi A, Wynne R H, Fox T R, et al. Estimating leaf area index in intensively managed pine plantations using airborne laser scanner data[J]. Forest Ecology and Management, 2012, 270: 54—65.
- [21] Lefsky M A, Hudak A T, Cohen W B, et al. Geographic variability in lidar predictions of forest stand structure in the Pacific Northwest[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 95(4): 532—548.
- [22] Solberg B D, Moon C N, Franco D P, et al. Surgical treatment of three and four-part proximal humeral fractures[J]. The Journal of Bone & Joint Surgery, 2009, 91(7): 1689—1697.
- [23] 赵传燕, 沈卫华, 彭焕华. 祁连山区青海云杉林冠层叶面积指数的反演方法[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 860—869.
- [24] 别强. 基于激光雷达和合成孔径雷达资料的森林参数反演研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [25] 别强, 何磊, 赵传燕. 基于影像融合和面向对象技术的植被信息提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(1): 164—171.
- [26] 王金叶, 于澎湃, 王彦辉, 等. 森林生态水文过程研究——以甘肃祁连山水源涵养林为例[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 28.
- [27] Calder I R, Newson M D. Land use and upland water resources in Britain—a strategic look[J]. Water Resources Bulletin, 1979, 16: 1628—1639.
- [28] Merriam R A. A note on the interception loss equation[J]. Journal of Geophysical Research, 1960, 65(11): 3850—3851.
- [29] 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): 289—298.
- [30] White M A, Asner G P, Nemani R R, et al. Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 74: 45—57.
- [31] Zhao K G, Popescu S. Lidar-based mapping of leaf area index and its use for validating GLOBCARBON satellite LAI product in a temperate forest of the southern USA[J]. Remote Sensing Environment, 2009, 113(8): 1628—1645.
- [32] 骆社周, 王成, 张贵宾, 等. 机载激光雷达森林叶面积指数反演研究[J]. 地球物理学报, 2013, 56(5): 1467—1475.
- [33] 田风霞, 赵传燕, 冯兆东, 等. 祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1066—1076.
- [34] Gong H D, Wang K Y, Yang W Q, et al. Throughfall and stemflow in a primary spruce forest in the subalpine of western Sichuan[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(1): 198—201.

## Modeling Spatial Distribution of Rainfall Interception by Qinghai Spruce Forest Based on Airborne LiDAR Data

Gao Chanchan<sup>a</sup>, Zhao Chuanyan<sup>a</sup>, Li Wenjuan<sup>a</sup>, Bie Qiang<sup>b</sup>, Peng Shouzhang<sup>a</sup>, Wang Qingtao<sup>a</sup>

(a. State Key Laboratory of Grassland and Agro-Ecosystem/School of Life Science//b. College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Rainfall interception from plant canopy is an important component in water cycle, especial in the arid and semi-arid region. In this study, Tianlaochi catchment in the upper reaches of Heihe river was selected as a research site, and the *Picea crassifolia* as a study object. We focused on the canopy rainfall interception at regional scale based on measuring in situ and combining with airborne LiDAR data and GIS technology. First, precipitation, interception by the forest canopy and leaf area index (LAI) of *P. crassifolia* forest were measured at stand scale, which were used to build a model for the canopy interception of *P. crassifolia*. Then, laser penetration index (LPI) was estimated by LiDAR data, and a relationship between LPI estimated and LAI measured was built based on Beer—Lambert law. We used the relationship to spatialize the LAI in the study area. Finally, the spatial distribution of canopy interception of Qinghai spruce forest during the growth season was estimated by the canopy interception model with the spatial distribution data of precipitation and LAI in 2013. The results showed that LAI value was between 0 and 4.93, with the mean value 1.24, compared with optical remote sensing, airborne LiDAR has an advantage in the inversion of LAI, the amount of canopy interception was between 0 and 331.0 mm, with the mean amount 161.9 mm, the interception percentage was between 0 and 67.97%, with the mean value 33.89%, the total interception amount was  $5.26 \times 10^5 \text{ m}^3$ , accounting for 7.38% of the total precipitation during the growth season in 2013. So we can draw some conclusions from the study that the canopy interception model M3 is the best, and the way to obtain spatial distribution of LAI based on LiDAR data is better than on passive remote sensing. In addition, rainfall interception by Qinghai spruce plays an important role in water balance of the forest ecosystem in the catchment. This study lays the foundation for further predicting runoff in the research area.

**Key words:** canopy interception; airborne LiDAR; LAI; *Picea crassifolia*