

吉林省中东部低山丘陵区坡耕地和林地水量平衡

——以东辽县杏木小流域为例

隋媛媛^{1,2}, 许晓鸿², 张瑜², 刘艳军², 赵书军², 阎百兴¹

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2. 吉林省水土保持科学研究院, 长春 130033)

摘 要:为了探求黑土区坡耕地和林地降水资源再分配规律,以吉林省东辽县杏木小流域为典型研究区,采用资料统计分析与野外试验测定相结合的方法,对研究区坡耕地和林地水量平衡进行分析。结果表明:(1) 研究区 1978—2008 年间,年内降水量呈单峰型分配,作物生长季降水量为 511.16 mm,降水日数为 59.95 d,分别占全年总降水量和降水天数的 81.4%和 56.94%。(2) 农田蒸散量在 5—9 月分别为 53.05, 99.84, 170.06, 124.33, 55.88 mm, 占总输入降水量的 65%~88%,为研究区坡耕地水量平衡主要支出项;土壤蓄水变化量在 5 月、6 月、8—9 月为正值,土壤处于蓄水状态;在 7 月份为负值,土壤处于失水状态。(3) 山杨林地在生长季 6—9 月水分充盈,土壤水分变化量为 7.94 mm,林地土壤长期处于蓄水状态。

关键词:农业工程;水量平衡;多株平衡法;地表径流

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0197-04

Analysis of Water Balance in Sloping Land and Forest Land in the Low Mountain and Mound Area in Mid-eastern Jilin Province

—A Case Study of Xingmu Small Watershed in Dongliao County

SUI Yuan-yuan^{1,2}, XU Xiao-hong², ZHANG Yu², LIU Yan-jun², ZHAO Shu-jun², YAN Bai-xing¹

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China;*

2. Soil and Water Conservation Research Institute of Jilin Province, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to search for the redistribution law of precipitation resources in sloping land and forestland in northeast black soil area, the study was conducted in Xingmu Watershed of Dongliao County, Jilin Province, and water balance in sloping land and forest land in the research area had been studied by methods of data statistics analyses and field test. The results indicate that: (1) intra-annual precipitation between 1978 and 2008 showed a single-peak distribution type, the amount of precipitation in crop growth season was 511.16 mm which accounted for 81.4% of the annual total rainfall, the occurring days of precipitation during this period was 59.95 days which occupied 56.94% of the annual one; (2) field evapotranspiration from May to September was 53.05 mm, 99.84 mm, 170.06 mm, 124.33 mm and 55.88 mm, respectively. It accounted for 65%~88% of the total input precipitation and was the main water loss in the sloping land water balance. Variable quantity of water storage had a positive value in May, June, August and September and in this period the soil was in water storage condition, relatively, there was a negative value in July and soil was in water loss condition; (3) water quantity in aspen woodland was sufficient between June and September and variable quantity of water storage was 7.94 mm.

Key words: agriculture engineering; water balance; multiple-tree water balance method; surface runoff

东北黑土区是我国重要的商品粮生产基地,土地资源和森林资源丰富,对维持国家粮食生产和生态环境安全具有重要意义^[1-3]。吉林省位于我国东北温带

季风区,降水资源时空分配不均,降雨多集中在 5—9 月,占全年降水量的 80%以上,水分成为作物生长和植被恢复的限制性因素^[4]。水量平衡是指水分输入

收稿日期:2013-09-09

修回日期:2013-10-09

资助项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(200901048);国家十二五科技支撑项目(2011BAD31B01)

作者简介:隋媛媛(1986—),女,吉林东丰人,博士研究生,助理工程师,主要从事水土保持及面源污染防治。E-mail:suiyuanyuan0429@163.com

通信作者:阎百兴(1965—),男,陕西渭南人,研究员,博士生导师,主要从事环境污染和生态修复方面的研究。E-mail:yanbx@neigae.ac.cn

与输出之间的平衡,对水分的输入项和支出项进行定量分析,是研究坡耕地水量盈亏平衡及降水在林地植被中再分配规律的有效方法,能够为降水资源的高效利用及更为科学的水资源管理提供依据^[5]。多年来,我国学者在多个地区开展了大量关于水量平衡方面的研究^[6-13],但东北黑土区在坡耕地和林地水量平衡研究方面相对薄弱。本研究结合国家水资源高效集约利用战略及东北地区粮食增产和生态环境建设的需求,以吉林省东辽县杏木小流域为典型试验区,对黑土区坡耕地和林地水量平衡进行定量分析,以期对东北黑土区降水资源的优化调配与利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省东辽县杏木小流域,地处长白山余脉,东辽河流域上游。地理坐标为东经 125°22′40″—125°26′10″,北纬 42°58′05″—43°01′40″。该流域属于典型东北低山丘陵地貌,寒温带半湿润大陆性季风气候,多年平均气温 5.2℃,有效积温 2 700~2 800℃,最高气温 38℃,最低气温 -40℃,≥10℃的积温 2 900℃。无霜期平均 137 d,年平均日照时数为 2 497.9 h,多年平均降水量 658.1 mm。研究区土地利用类型主要为坡耕地和林地,土壤类型以棕壤土为主,土壤侵蚀强度为中度,植被类型为长白山植物区系,植被覆盖率为 19%。由天然次生林、人工林、草本植物及农作物等植被构成,主要包括水曲柳、刺五加、白杨、落叶松、樟子松、紫穗槐、蒿类及禾本科植物,农作物以种植玉米为主。

1.2 试验布设及方法

1.2.1 样地布设与项目测定 试验区所选坡耕地和林地坡度分别为 8°和 12°,试验小区面积均为 18 m×6 m 标准小区,分别设置 3 个重复,在各小区底部设有由中科院东北地理与农业生态研究所研制的无动力水土流失过程自动观测装置。试验坡耕地选取玉米作物为研究对象,林地选取山杨作为研究对象,林龄为 3 a,株行距为 1.5 m×1.5 m。利用测高器、测杆、胸径尺、皮卷尺等工具对林地情况进行测量调查,平均树高 2.8 m,平均胸径 3.6 cm,郁闭度为 0.45,试验观测时间为 2012 年 5—9 月。

降雨是天然植被和农作物水分补给的唯一来源,年降水量的多少对于坡耕地和林地土壤水分的变化过程有着重要的影响。根据吉林省辽源市气象局提供的 31 a 气象资料(1978—2008 年),对项目区降水分布及特征进行统计分析。采用水量平衡法^[14-15]和

多株平衡法^[16]分别对坡耕地和林地水量平衡进行分析。

1.2.2 测定方法

(1) 坡耕地水量平衡:水量平衡法是研究坡耕地水量盈亏平衡的有效方法,其是指在某一时段内对一定面积和一定土层厚度的各来水项和去水项进行统计。水量平衡方程为

$$P+I=R+D+E+T+\Delta W \quad (1)$$

结合研究区实际,坡耕地无灌溉水输入,则 $I=0$; D 为深层渗漏量,研究区地下水位在 10 m 以上,深层渗漏量忽略不计;田间蒸发量和蒸腾量很难分开,统称田间土壤蒸散量,记为 $E_t a$ 。坡耕地农田水量平衡方程可简化为

$$P=R+E_t a+\Delta W \quad (2)$$

降水量 P 为研究区 DL16 气象仪器自动观测;地表径流 R 通过径流泥沙监测仪测得; $E_t a$ 利用土壤水分蒸渗测试系统测定; ΔW 首先通过 TDR 法测定不同土层土壤间水分含量,进而推算出土层持水量差值。

(2) 林地水量平衡:采取多株平衡法进行分析,结合研究区实际,平衡方程可表示为

$$P=I+R+E+\Delta W \quad (3)$$

式中: P ——降雨量; I ——冠层截留量,通过总降雨量与林内穿透雨量和林干径流量差值确定; R ——地表径流量; E ——林分蒸散量,为林冠蒸腾与林地蒸发量之和,由降水量减去冠层截留量、地表径流量及水分变化量得到; ΔW ——土壤水分变化量。

2 结果与分析

2.1 降水分布及特征

2.1.1 降雨量年际变化 根据吉林省辽源市 31 a 气象资料(1978—2008 年),对研究区坡耕地降水分布及特征进行分析(表 1)。结果表明研究区多年(1978—2008 年)平均降水量为 648.56 mm,不同年际年均降水量呈波动变化。其中年最大降水量为 911.00 mm(1994 年),年最小降水量为 383.50 mm(1982 年),最大与最小年降水量变幅达 527.5 mm。从各年代平均值来看,20 世纪 70 年代后期平均降水量为 529.7 mm,80 年代为 661.55 mm,90 年代为 645.82 mm,2000—2008 年为 591.52 mm。即 20 世纪 70 年代后期降水量偏小,为多年平均降水量的 81.67%;20 世纪 80 年代平均降水量有所增加,为多年平均降水量的 1.02 倍;20 世纪 90 年代和 2000—2008 年间的平均降水量有所减少,分别为多年平均降水量的 99.58%和 91.21%。

表 1 研究区降水特征值

年份	年均降水量/ mm	生长季降水 量/mm	7—8月降水 量/mm
1978—1979	529.70	423.00	270.35
1980—1989	661.55	544.54	312.81
1990—1999	645.82	535.29	341.03
2000—2008	591.52	466.88	373.30

东北地区玉米为主要粮食作物,5—9月为玉米作物生长季节,并且7—8月份是作物生长需水量最多的月份。由表1分析可知,20世纪70年代后期生长季和7—8月份平均降水量为423.00 mm和270.35 mm,分别占全年平均降水量的79.86%和51.04%;20世纪80年代生长季和7—8月份降水量为544.54 mm和312.81 mm,分别占年均降水量的82.31%和47.28%;20世纪90年代降水量为535.29 mm和341.03 mm,分别占年均降水量的82.89%和52.81%;2000—2008年间生长季平均降水量为466.88 mm和373.30 mm,分别占年均降水量的78.93%和63.11%。

2.1.2 降水量年内变化特征 年内降水量分配也直

表 2 1978—2008 年各月平均降水量及降水百分率

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降水量/mm	6.10	5.71	16.73	33.77	52.19	101.44	154.30	153.40	49.83	29.97	15.21	9.00
百分比/%	1.0	0.9	2.7	5.4	8.3	16.2	24.6	24.4	7.9	4.8	2.4	1.4

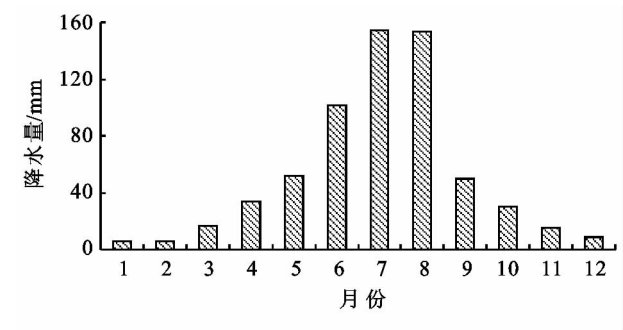


图 1 1978—2008 年年内降水量分布

2.1.3 降水日数及降水强度

(1) 降水日数和各级别降水日数的季节分配。降水日数是指日降水量 ≥ 0.1 mm的日数,由表3可知,项目区多年平均降水日数为105.28 d,且降水多

表 3 1978—2008 年各等级降水的日数

日降水量/mm	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总计/d
≥ 0.1	4.45	3.74	3.03	2.61	3.10	3.45	2.90	2.90	2.03	2.03	3.03	4.16	37.43
≥ 1.0	1.65	1.68	2.84	3.97	6.06	6.71	6.68	4.87	4.81	4.16	2.87	2.32	48.62
≥ 10	0.03	0.03	0.42	0.90	1.29	2.61	3.81	3.29	1.00	0.84	0.29	0.06	14.57
≥ 25	—	—	0.03	0.16	0.23	0.52	1.23	1.23	0.39	0.03	—	—	3.82
≥ 50	—	—	—	—	—	0.13	0.32	0.39	—	—	—	—	0.84

(2) 降水强度。根据31 a的资料统计,31 a内日降雨量 ≥ 0.1 mm的降雨天数为1 161 d, ≥ 1.0 mm的

接影响着土壤水分的季节变化过程。由表2分析可知,吉林省辽源市降水量的年内分配高度集中,月份分配很不均匀。历年各月的平均降水量以7月份最大,为1 754.3 mm,占全年降水量的24.6%;其次为8月份,降水量为153.4 mm,占全年的24.4%;月平均降水量以2月份最小,其次为1月份和12月份,降水量分别为5.71 mm,6.10 mm和9.00 mm,分别占全年降水量的0.9%,1.0%和1.4%。降水量的季节分配表现为春季(3—5月)的平均降水量是102.69 mm,占全年的16.4%;夏季(6—8月)的平均降水量是409.14 mm,占全年的65.2%;秋季(9—11月)的平均降水量是95.01 mm,占全年的15.1%;冬季(12月—次年2月)的平均降水量是20.81 mm,占全年的3.3%。由图1分析,研究区降水量的年内分配呈单峰型,年内生长季(5—9月)的降水量为511.16 mm,占全年的81.4%,生长季前期降水量逐渐增大,到7月份达到最大值后递减,1—4月降水量占全年降水量的10.0%,10—12月降水量占全年的8.6%。

数为小雨。年平均 ≥ 0.1 mm的降水日数为37.43 d, ≥ 1.0 mm、 ≥ 10 mm、 ≥ 25 mm和 ≥ 50 mm的降水日数分别为48.62,14.57,3.82,0.84 d。同时, ≥ 0.1 mm的降水日数多分布在冬季(12月—次年2月), ≥ 1.0 mm的降水日数多分布在春季(3—5月), ≥ 10 mm、 ≥ 25 mm和 ≥ 50 mm的降水日数则分布在夏季(6—8月)。作物生长季的降水日数为59.95 d,占总降水天数的56.94%,生长季 ≥ 0.1 mm的降水日数占总降水日数的38.42%; ≥ 1.0 mm的降水日数占总降水日数的59.91%; ≥ 10 mm的降水日数占总降水日数的82.36%; ≥ 25 mm的降水日数占总降水日数的94.24%; ≥ 50 mm的降水日数占总降水日数的100%。

小雨天数为1 435 d, ≥ 10 mm的中雨天数为452 d, ≥ 25 mm的大雨天数为118 d, ≥ 50 mm的大雨天数

为 26 d,其中包括日降雨量 146.6 mm 和 152.6 mm 的 2 d(1994 年 8 月 5 日和 1994 年 7 月 7 日)。1 日最大降水量是各日降水量中的最大值,根据 1978—2008 年的资料统计,项目区各累计年 1 日最大降水量为 50.5~152.6 mm。

2.2 坡耕地水量平衡

2.2.1 坡耕地农田水量平衡 由表 4 分析可得,玉米生长期黑土区坡耕地的水量平衡特征表现为以农田蒸散量为主要支出项,5—9 月份分别为 53.05,99.84,170.06,124.33,55.88 mm,占总输入降水量的 65%~88%,其次为地表径流量,在 5—9 月份分别为 11.06,21.97,20.51,33.94,5.07 mm,占总输入降水量的 7%~20%,而土壤蓄水变化量所占总支出项的比例最小。同时,不同月份水量平衡各分量的比例存在差异,地表径流量在 8 月份最大,为 33.94 mm,其次为 6 月份和 7 月份,分别为 21.97 mm 和 20.51 mm;农田蒸散量在 7 月份最大,为 170.06 mm,其次为 8 月份和 6 月份,分别为 124.33 mm 和 99.84 mm;土壤蓄水变化量在 5 月、6 月、8 月和 9 月为正值,土壤处于蓄水阶段,而 7 月份土壤蓄水变化量为负值,说明土壤处于失水阶段。

表 5 山杨林地生长季内水量平衡

月份	降水量/mm	冠层截留量/mm	地表径流量/mm	林地蒸散量/mm	土壤水分变化量/mm
6 月	124.83	59.12	12.24	50.53	2.94
7 月	189.45	89.65	24.34	71.65	3.81
8 月	170.60	87.84	23.94	56.91	1.91
9 月	62.93	28.46	0	35.19	-0.72
总量	547.81	265.07	60.52	214.28	7.94

3 结论

(1) 研究区 1978—2008 年间多年平均降水量为 648.56 mm;年内降水量呈单峰型分配,7 月和 8 月占全年降水量的 24.6%和 24.4%,生长季降水量占全年的 81.4%;作物生长季的降水日数为 59.95 d,占总降水天数的 56.94%。

(2) 7 月份玉米作物需水量最高,实际蒸散量和农田潜在蒸散量分别为 170.06 mm 和 149.18 mm;5 月和 6 月农田水分亏缺量分别为 59.82 mm 和 45.56 mm,7 月和 8 月水分盈余量分别为 20.88 mm 和 54.09 mm,9 月份水量盈亏较为平衡。

(3) 农田蒸散量为研究区坡耕地水量平衡主要支出项,占总输入降水量的 65%~88%,土壤蓄水变化量占总支出项比例最小;作物生长季内地表径流量在 8 月份比例最大,农田蒸散量在 7 月份比例最大,土壤蓄水变化量在 5—6 月和 8—9 月为正值,在 7 月

表 4 玉米生长期坡耕地水量平衡

月份	输入项	支出项		
	降水量/ mm	地表径流 量/mm	农田蒸散 量/mm	土壤蓄水变 化量/mm
5 月	67.41	11.06	53.05	3.30
6 月	124.83	21.97	99.84	3.02
7 月	189.45	20.51	170.06	-1.12
8 月	170.60	33.94	124.33	12.33
9 月	62.93	5.07	55.88	1.98
总量	615.22	92.55	503.16	19.51

2.2.2 林地水量平衡 由表 5 分析可知,山杨林地在生长季 6—8 月,水分充沛,冠层截留量分别为 59.12,89.65,87.84 mm,地表径流 12.24,24.34,23.94 mm,林地土壤处于蓄水状态,蓄水量分别为 2.94,3.81,1.91 mm;但在 9 月份,山杨林地出现水分匮乏,本月产生地表径流量为 0 mm,土壤水分变化量为-0.72 mm,说明土壤处于失水状态。对整个生长季(6—9 月)而言,降水量为 547.81 mm,地表径流量为 60.52 mm,林地蒸散量为 214.28 mm,土壤水分变化量为 7.94 mm,山杨林地整体表现为水分充盈,土壤较长时间内处于蓄水状态。

份为负值。

(4) 山杨林地在生长季 6—9 月水分充盈,土壤水分变化量为 7.94 mm,林地土壤长期处于蓄水状态。

参考文献:

[1] 范昊明,蔡强国,王红闪.中国东北黑土区土壤侵蚀环境[J].水土保持学报,2004,18(2):66-70.

[2] 孙莉英,蔡强国,陈永生,等.东北典型黑土区小流域水土流失防治体系[J].水土保持研究,2012,19(3):36-41.

[3] 吕刚,班小峰,雷泽勇,等.东北黑土区坡耕地治理过程中的水土保持效应[J].水土保持研究,2009,16(6):51-55.

[4] 水利部,中国科学院,中国工程院.中国水土流失防治与生态安全:东北黑土区卷[M].北京:科学出版社,2010.

[5] 张伟东,肖莹,邵珊珊,等.长江流域土壤水量平衡与植被旱度研究[J].土壤通报,2008,39(2):228-232.

2002.

[5] 王紫雯,张略荣. 新型雨水排放系统:健全城市水文生态系统的领域[J]. 给水排水,2003,29(5):17-20.

[6] Brond Maestri, Byron N. Guide for mitigation of highway stormwater runoff pollution[J]. The Science of the Total Environment,1987,59:467-476.

[7] 叶水根,刘红,孟光辉. 设计暴雨条件下凹式绿地的雨水蓄渗效果[J]. 中国农业大学学报:自然科学版,2001,6(6):53-58.

[8] 武云甫,任晓燕,章慧慧. 城市宜打埋规划建设下凹式绿地[J]. 给水排水,2001,27(10):67.

[9] Sieker F. On-site storewater management as an alternative to conventional sewer systems: a new concept spreading in Germany[J]. Water Science and Technology, 1998,38(10):65-71.

[10] 李俊奇,车武,池莲,等. 住区低势绿地设计的关键参数及影响因素分析[J]. 给水排水,2004,30(9):41-46.

[11] 邢国平,邵兆凤,周建芝,等. 天津市建设下凹绿地的雨水渗蓄效果分析[J]. 水土保持通报,2012,32(6):120-122.

[12] 聂发辉,李田,宁静. 概率分析法计算下凹式绿地对雨水径流的截留效率[J]. 中国给水排水,2008,24(12):53-56.

[13] 程江,徐启新,杨凯,等. 下凹式绿地雨水渗蓄效应及其影响因素[J]. 给水排水,2007,33(5):45-49.

[14] 蔡剑波,林宁,杜小松,等. 低势绿地对降低城市径流深度、径流系数的效果分析[J]. 城市道桥与防洪,2011(6):119-121.

[15] 侯国华,韩烈保,里吉跃. 草坪生物过滤与再生回用技术[J]. 北京林业大学学报,2006(增刊):95-99.

[16] 岑国平,沈晋. 城市设计暴雨雨型研究[J]. 水科学发展,1998,9(1):41-46.

[17] Keifer C J, Chu H H. Synthetic storm pattern for drainage design[J]. Journal of the Hydraulics Division, 1957,83(4):1-25.

[18] Kibler D F. Urban Stormwater Hydrology[M]. American Geophysical Union's Water Resources Monograph, 1982:48-60.

[19] 刘金星. 城市暴雨径流模型及透水式管道设计方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.

[20] 岑国平,詹道江. 城市雨水管道计算模型[J]. 中国给水排水,1993,19(1):37-40.

[21] 周文玉,孟昭鲁. 瞬时单位线法推求雨水管网入流流量过程线的研究[J]. 中国给水排水,1995,21(3):5-8.

[22] 曾晓岚,张智,丁文川,等. 城市雨水口地面暴雨径流模型研究[J]. 重庆建筑大学学报,2004,26(6):79-85.

[23] 郑兴,周孝德,计冰昕. 德国的雨水管理与其技术措施[J]. 中国给水排水,2005,21(2):104-106.

[24] 范昊明,李贵圆,周丽丽,等. 冻融作用对草甸土物理力学性质的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2011,42(1):114-117.

[25] 张丽,彭小金. 产流过程分析下凹绿地对城市雨水径流和汇流的影响[J]. 水科学与工程,2007(5):16-18.

[26] 张炜,车伍,李俊奇,等. 图解法用于雨水渗透下凹式绿地的设计[J]. 中国给水排水,2008,24(20):35-39.

[27] 丁纪闽,杨珏,黄利群,等. 北方城市下凹式绿地植物选择与配置模式[J]. 防汛与抗旱,2010(17):20-22.

[28] 陈祖军,黄士力,周建国. 关于区域水务规划若干问题的讨论[J]. 中国给水排水,2003,19(11):29-31.

[29] 尹海伟,徐建刚,孔繁花. 上海城市绿地宜人性对房价的影响[J]. 生态学报,2009,29(8):4492-4498.

[30] 张光义,聂发辉,宁静,等. 城市下凹式绿地长期运行渗蓄效率的概率分[J]. 同济大学学报:自然科学版,2009,37(5):651-655.

(上接第 200 页)

[6] 李海防,卫伟,陈利项,等. 黄土高原林草地覆盖土壤水量平衡研究进展[J]. 水土保持研究,2013,20(1):287-292.

[7] 杨锋伟,陈丽华,朱清科,等. 晋西黄土区主要造林树种耗水特性分析[J]. 水土保持研究,2008,15(1):41-45.

[8] 侯兰功,肖洪浪,邹松兵,等. 黑河流域水循环特征研究[J]. 水土保持研究,2010,17(3):254-258.

[9] 黄枝英. 北京山区典型林分水分循环与水量平衡研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.

[10] 张燕. 北京地区杨树人工林能量平衡和水量平衡[D]. 北京:北京林业大学,2012.

[11] 宋颖帕,谢小立. 土地利用方式对红壤坡地雨水利用和水量平衡的影响研究[J]. 水土保持通报,2009,29(3):97-102.

[12] 胡梦珺,刘文兆,赵姚阳. 黄土高原农、林、草地水量平衡异同比较分析[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(4):113-116.

[13] 阿拉木萨,蒋德明,骆永明. 半干旱区人工固沙灌丛发育过程土壤水分及水量平衡研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):107-110.

[14] Di Stefano C, Ferro V. Estimation of evapotranspiration by Hargreaves formula and remotely sensed data in semi-arid Mediterranean areas[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1997,68(3):189-199.

[15] Peacock C E, Hess T M. Estimating evapotranspiration from a reed bed using the Bowen ratio energy balance method[J]. Hydrological Processes,2004,18(2):247-260.

[16] 熊伟,王彦辉,徐德应. 宁南山区华北落叶松人工林蒸腾耗水规律及其对环境因子的响应[J]. 林业科学,2003,39(2):38-40.