

小网格防护林影响土壤蒸发机理及节水、减盐效应

刘 静<sup>1</sup>, 崔学明<sup>1</sup>, 王林和<sup>1</sup>, 孙 旭<sup>1</sup>, 郭永贞<sup>2</sup>  
( 1. 内蒙古农业大学, 010019; 2. 巴盟林研所, 015000)

摘 要: 采用热平衡法研究新疆杨防护林网内外的土壤蒸发量、蒸发效能及相关气象因子, 用主成分分析探讨小网格防护林影响土壤蒸发的主要因子为空气温度因子、空气湿度因子、近地层风速因子和太阳辐射平衡值; 分析新疆杨防护林对主导因子的影响程度; 推算林网内表层土壤减盐量。  
关键词: 新疆杨(*Populus alba* L. Var. *pyramidalis*); 小网格防护林; 土壤蒸发  
中图分类号: S 715. 4; S 156. 4 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2006) 01-0028-04

Studies on the Soil Evaporation Mechanism and Effect of Water Saving and Salt Reduction of Small Net Shelter-belt

LIU Jing<sup>1</sup>, CUI Xue-ming<sup>1</sup>, WANG Lin-he<sup>1</sup>, SUN Xu<sup>1</sup>, GUO Yong-zhen<sup>2</sup>  
(1. Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010019, China;  
2. Bayannaoer Forestry Research Institute, Bayannaoer 015000, China)

**Abstract:** Thermal equilibrium was adopted to study *Populus alba* L. Var. *pyramidalis*'s shelter-belt soil evaporation capacity of forest network, evaporation efficiency and relevant meteorological factors, using the principal component analyzed that the main factor influencing soil evaporation of the small shelter-belt is air temperature factor, air humidity factor, the factor of wind speed of nearing stratum and balanced value of solar radiation; the influence degree factor of *Populus alba* L. Var. *pyramidalis* shelter-belt is analyzed and the amount of salt reduction of top layer soil in the forest network is calculated.  
**Key words:** *Populus alba* L. Var. *pyramidalis*; small net shelter-belt; soil evaporation

干旱、半干旱地区土壤蒸发强烈, 蒸发作用造成土壤含水量减少, 影响农作物正常生长; 强烈的土壤蒸发也导致地下水通过土壤的毛管作用损耗, 将所携带的可溶性盐类物质积累于土体中, 特别是积累在土壤表层, 造成土壤次生盐渍化<sup>[1]</sup>。因此, 营造农田防护林的重要目的之一, 在于减少林网内的土壤蒸发、保持农田水分, 改善农田小环境条件, 提高灌溉水的利用率, 并防止土壤次生盐渍化发生。

目前有关农田防护对土壤蒸发影响的研究主要是特定防护林的蒸发效能, 以及不同防护距离上蒸发效能的水平分布规律<sup>[2~6]</sup>; 也有人从林带内外土壤含水量的变化入手或利用较长期的气象资料阐明防护林的水文效应<sup>[7]</sup>。土壤蒸发的研究方法分直接法和间接法两类, 直接法以土壤为研究对象, 主要有称量法、水平衡法、水位法, 水蒸气平衡法、湍流变化法等; 间接法通过测定影响土壤蒸发的物理因子推求土壤蒸发, 主要有热平衡法、梯度法、综合法及经验公式等。进行土壤蒸发的研究, 对于旱作农田和荒地等封闭系统, 往往采用直接法。但灌区的农田是一个开放系统, 存在外部水量的输入, 这部分输入的水量很难精确控制和计算。在现有的研究中, 对农田防护林野外蒸发量的研究, 大多使用小型蒸发皿测定土壤的潜在蒸发力, 用相对蒸发量说明农田防护林对蒸发的影响<sup>[8~10]</sup>。对土壤实际蒸发量的研究, 因观测难度大, 仅有少数的研究报导<sup>[11, 12]</sup>。本文研究内蒙古河套灌区新疆杨防护林的蒸发效能及林网内外土壤实际蒸发量, 分析影响土壤蒸发的主要因子, 以及新疆杨防护林对主要因子的影

响程度, 并推求林网内表层土壤减盐量。

1 研究区自然条件与研究方法

1. 1 研究区自然状况

本研究在内蒙古河套灌区中部的临河市八一乡和临河农场进行。其地理位置东经 107°06'44", 北纬 40°34'~41°17', 位于黄河北岸的冲积平原, 海拔 1 037 m, 地形平坦, 地面坡降 1/4 500~1/5 000, 属于中温带干旱大陆性气候, 该区年平均风速 3 m/s, 大于 8 级的大风日数 10.3 d, 主要集中在春季。年均气温 6.4℃, 日照强烈, 年均日照 3 360 h, 多年平均降水量 141.2 mm, 蒸发量 2 236.7 mm。

新疆杨是河套灌区农田防护林的主要造林树种之一, 其结构是传统小网格窄林带, 每带 2 行, 沿渠布设, 株距 2.5 m, 主林带间距 100 m, 近南北走向, 副林带间距 1 000 m。选林带完整、长势良好的主林带作为试验对象。2003 年研究造林 13 年的新疆杨林带(位于退水渠上, 长势较差), 林带平均树高 16.74 m, 平均胸径 16.30 cm, 疏透度 0.64; 2004 年研究造林 9 年生长良好的新疆杨林带, 林带平均树高 17.24 m, 平均胸径 20.40 cm, 疏透度 0.49, 两条研究林带均属于通风结构。

1. 2 试验内容及观测方法

土壤蒸发的观测采用观测原理较严密, 是适用于科研的热平衡法<sup>[13]</sup>。在研究林带背风面的农田中设观测点, 在无防护林的农田中设对照点, 春季的观测点和对照点全部设在小

① 收稿日期: 2005-03-09  
基金项目: 内蒙古“十五”攻关项目(20020705)资助  
作者简介: 刘静(1958-), 女, 湖北人, 教授, 博士研究生, 从事生态需水及水盐平衡研究。

麦刚出苗的农田中,夏季和秋季设在小麦收获完毕、无作物的农田中,观测点和对照点土壤含水量相似(同时灌溉)、土壤物理性质相似。每个观测日从 7:00~20:00 每隔 1 h 按热平衡法进行一次各项小气候指标的梯度观测,每一指标连续观测 2 次,取平均值作为该指标的观测结果;并观测 1.5 m 高度处的风速。对每一观测点,观测内容及仪器为:太阳辐射值选用 FY<sub>2</sub> 型天空辐射表和 FM<sub>1</sub> 型辐射电流表,土壤导热率及 20 cm 内土层温度梯度采用地面温度表和曲管地温表(5、10、15、20 cm),0.5 m 高度和 2.0 m 高度的空气温度和空气湿度采用 HM<sub>2</sub> 型机动通风干湿表,水面蒸发采用 AM<sub>3</sub> 小型蒸发皿,目测云量(分高、中、低云)并记录天气类型、天气现象等。

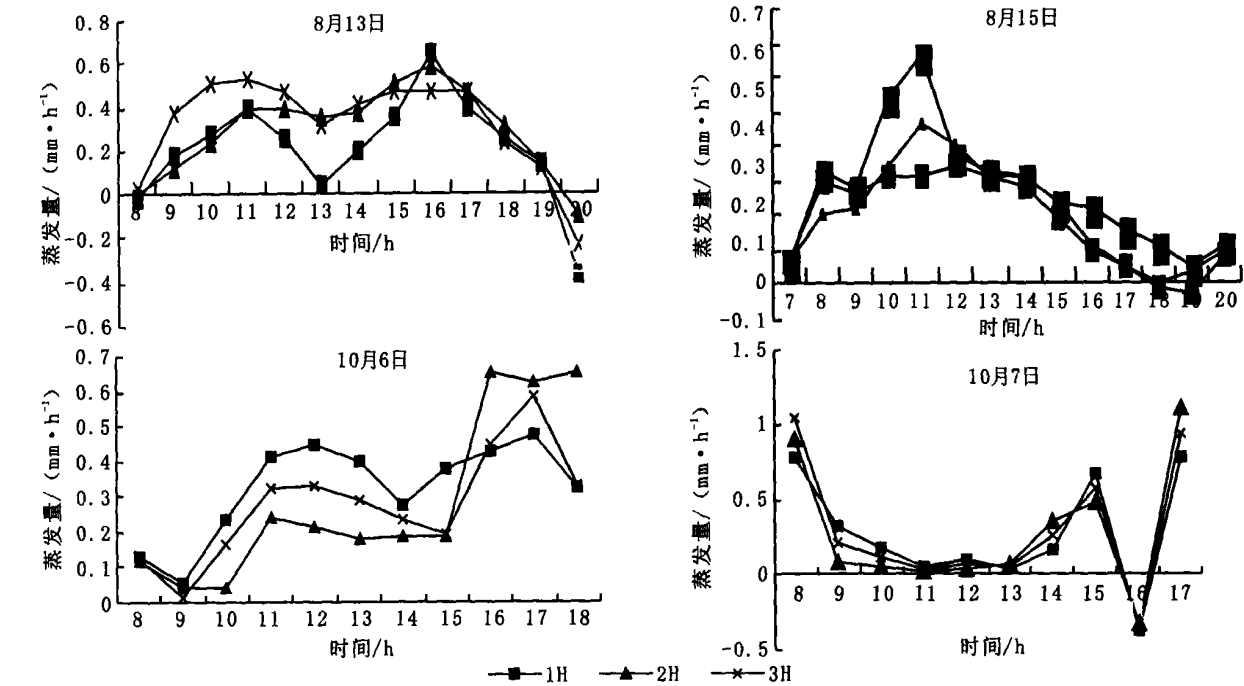


图 1 不同观测时间下林内不同防护距离土壤蒸发量

表 1 不同防护距离的土壤日蒸发量差异性检验								
	8 月 13 日		8 月 15 日		10 月 6 日		10 月 7 日	
	F 值	T 值	F 值	T 值	F 值	T 值	F 值	T 值
3H 与 2H	1.308	0.306	1.488	1.077	2.363	0.116	1.025	0.087
3H 与 1H	1.118	1.151	1.762	1.476	1.312	0.752	1.357	0.134
2H 与 1H	1.463	0.925	1.184	0.409	3.101*	0.444	1.392	0.134

注: 信度  $\alpha=0.1^{\circ}$  代表差异性显著。

由图 1 可知,在不同防护距离上,由于微气象条件的差异,在各个观测时刻林网内三个观测点的土壤蒸发量呈交错波动的状态。逐日对林网内三个观测点的日蒸发过程进行  $T$ 、 $F$  检验,在  $\alpha=0.1$  水平,1 H、2 H 和 3 H 处土壤日蒸发量基本无差异。对三个观测点的平行试验表明,距林带较近的两个观测点在早晨和傍晚易受林带遮蔽作用的影响,使短时间太阳辐射平衡值的观测与整个林网内有一定偏差,因此用 3H 处的观测值代表林网内的土壤蒸发。

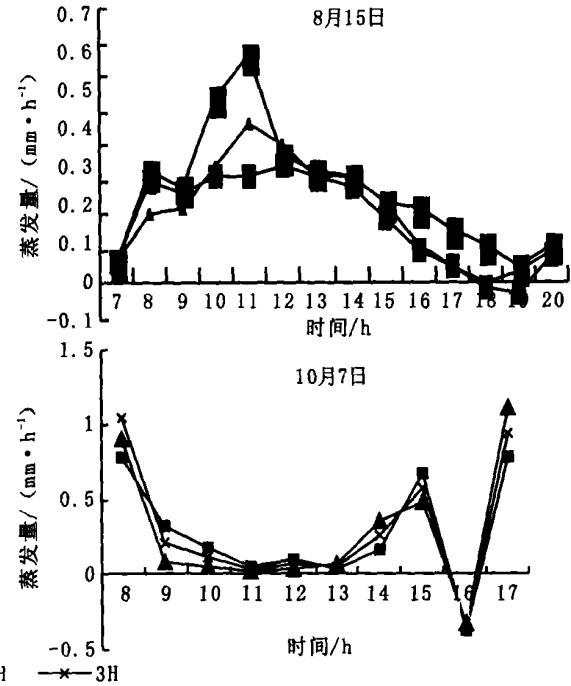
2.2 新疆杨对土壤蒸发的影响

新疆杨背风面 3 H 处及对照点土壤日蒸发量见表 2。分析表 2 可知在 18 个观测日中,林网内土壤蒸发减少量低于对照 20% 者仅有 2 天,占观测日的 13.3%;林网内土壤蒸发减少量在 20%~40% 的占 53.3%,大于 40% 的占 33.3%。说明新疆杨能够有效减少林网内土壤蒸发。尽管林内观测点和对照点下垫面条件相同,并处于相同天气类型和灌溉条件下,但林内两个观测阶段的土壤含水量均高于对照点,特别

2 结果与讨论

2.1 林网内观测点的试验确定

在不同防护距离上风速和乱流交换程度不同<sup>[14、15]</sup>,林带蒸腾所形成的水汽对农田上空水分状况的影响不同,土壤蒸发也不同<sup>[16、17]</sup>,为了确定能代表林网内土壤蒸发的观测点,在新疆杨防护林背风面 1 H、2 H 和 3 H 处(对于主林带间距 100 m 的小网格,4 H 处已超过林网中心并处于下一条林带的影响范围之内,不设 4 H 处的观测点)设观测点,进行不同防护距离土壤蒸发的差异性研究,见图 1。



是在天气炎热的盛夏,二者差别更突出,林网有效减少土壤蒸发的这一结果与现有文献<sup>[5、7、8、11、17]</sup>相吻合。

按热量平衡原理,影响土壤蒸发的分量有以下几项:下垫面与近地层的乱流交换  $P$ 、地面辐射平衡值  $R$  及土壤热通量  $M$ ,其中  $P$  和  $R$  取决于地面之上的微气象因子, $M$  为土壤导热率与土壤垂直温度梯度的乘积<sup>[18]</sup>;土壤含水量高意味着土壤中较多的孔隙被水充满,反之土壤孔隙被空气充盈;水的导热率为  $0.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ,密闭空气导热率为  $0.025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ <sup>[19]</sup>,土壤的热通量和导热率随土壤湿度的增大而增大<sup>[20]</sup>,当其他微气象因素不变时,土壤含水量愈高, $M$  愈大,土壤蒸发愈强。由此可推论:当对照点的土壤含水量与林内相同时,对照点的土壤蒸发将大于实测值,新疆杨防护林减少林网内土壤蒸发的作用将高于表 2 所列的值。

2.3 影响土壤蒸发的主导因子

采用主成分分析<sup>[21]</sup>,从热平衡法的观测因子中分析影响土壤蒸发的主导因子,见表 3。从主成分分析结果可知,林内观测点与对照点前三个主成分的累计贡献率均大于 85%,针对前三个主成分分析,按照主成分系数的大小,影响土壤蒸发的主要因子依次为空气温度因子、空气湿度因子、近地层风速因子和太阳辐射平衡值。气温决定空气水汽扩散的速度,相对湿度反映空气中水汽饱和的程度,风速加大近地层空气乱流交换,太阳辐射平衡值是汽化潜热能量的来源<sup>[22]</sup>,空气温度、湿度和风速愈大,饱和水汽的扩散速度愈

快, 太阳辐射平衡值愈大, 产生土壤蒸发的能量愈大, 土壤蒸发愈大。以表 2 中林网减少蒸发最明显的 8 月 5 日和 9 月 5 日为例, 说明新疆杨对主导因子的影响。

表 2 林网内外蒸发量

对象	日期	各测点土壤蒸发/(mm·d <sup>-1</sup> )			水面蒸发		天气条件		备注
		对照	新疆杨	林内减少量/%	蒸发效能/%		空气温度/	相对湿度/%	
造林 13 年	08-13	5.20	4.13	20.6			25.8	64.8	*
	08-15	4.35	3.77	13.2			20.5	59.2	
	10-06	4.29	3.02	29.5	1.52		15.6	68.6	*
	10-07	3.78	2.93	22.5	7.41		16.6	72.6	
	05-16	7.9	5.65	28.5			17.3	44.3	*
	05-17	5.84	3.66	37.3			18.7	40.5	
	05-18	6.03	4.81	20.2			22.3	37	
	07-30	7.58	4.11	45.8	16.2		25.6	35.7	
	08-01	4.14	3.24	21.7	23.3		26.6	57.4	
	08-02	3.74	3.46	7.7	14.8		26.1	62.7	注 3
造林 8 年	08-05	4.25	1.82	57.1	26.1		28.7	43.4	
	08-06	5.63	3.37	40.2	26.8		25.3	57.6	
	09-04	7.7	5.15	33.1	9.1		20.8	64.8	
	09-05	7.06	2.95	58.3	17.4		22.5	48.9	
	09-06	3.34	1.57	53.0	16.0		18.3	45.3	
	09-07	1.13	0.76	33.0	17.0		17.7	41	注 4
	09-08	1.76	1.14	35.2	10.3		21.2	38.3	
	09-09	2.27	1.39	39.1	3.2		22.5	35.9	

注: 1. 表中所列温、湿度指对照点 2.0 m 高度处观测时段平均值; 2. \* 表示对照与新疆杨前期同时灌溉; 3. 前期土壤含水量 0~20 cm 对照为 9.96% 新疆杨 20.25%; 20~40 cm 对照为 4.41%, 新疆杨 19.15%; 4. 前期土壤含水量 0~20 cm 对照为 13.25% 新疆杨 18.21%; 20~40 cm 对照为 11.17%, 新疆杨 9.93%。

图 2 和图 3 表明, 在相同天气条件下的两个观测高度上, 林内空气温度低于对照, 林内风速和辐射平衡值明显小于对照, 空气湿度略高于对照, 虽然空气湿度在林带的影响下变化不大, 但这一微小的变化对于林带附近的蒸发可产生较大影响<sup>[10]</sup>。综上所述, 新疆杨有效地降低风速、削弱空气的乱流交换, 并通过树冠蒸腾的水分与农田地表上空气流动

换, 改善农田近地表的空气温度和湿度等, 从而使林内蒸发降低; 新疆杨对林内温度、湿度的改善也能有效地防止和减弱干热风的危害。

表 3 影响因子的主成分系数及贡献率

影响因子	对照点			新疆杨		
	PRIN1	PRIN2	PRIN3	PRIN1	PRIN2	PRIN3
风速 $x_1$	-0.146	-0.196	0.658	-0.302	0.075	0.834
0.5 m 湿度 $x_2$	-0.267	0.607	-0.003	0.299	0.576	-0.124
2.0 m 湿度 $x_3$	-0.156	0.657	-0.122	0.342	0.521	-0.060
0.5 m 温度 $x_4$	0.532	0.264	0.261	0.470	-0.230	0.236
2.0 m 温度 $x_5$	0.527	0.279	0.246	0.472	-0.217	0.244
辐射平衡值 $x_6$	-0.278	0.112	0.651	-0.222	0.540	0.269
土壤温度梯度 $x_7$	0.494	-0.042	-0.023	-0.458	-0.006	-0.312
累计贡献率/%	36.3	65.4	86.7	49.6	77.8	90.7

主成分的分析结果与对土壤蒸发物理机理的研究相吻合<sup>[22-15]</sup>, 林内和对照点的土壤含水量均处于非饱和和渗透系数大于 0, 但土壤孔隙中水汽未达到饱和之间, 在这一土壤含水量范围内, 蒸发受气象因子和土壤含水量两方面的影响, 土壤含水量愈高, 微气象因子的影响愈强, 土壤因子的影响相对较弱, 因此林内点土壤温度梯度对蒸发的影响比对照点弱。在对照点上, 土壤温度梯度成为第一主成分的第三影响因子, 一方面是对照点的土壤含水率低于林内, 另一方面在对照点上, 土壤温度梯度特别是土壤表层温度明显大于林内, 成为土壤蒸发的动力之一。对表 2 所列的林内和对照点地表日均温度的检验表明, 在  $\alpha=0.1$  水平下, 林内和对照地表温度差异显著, 在天气炎热, 蒸发强烈时, 对照点地表温度平均高于林内 1.2 (不包括春秋气温较低, 林带增加林内温度的情况); 对二者 20 cm 处土壤日均温度的检验表明, 在  $\alpha=0.1$  水平下, 二者无差异。这说明新疆杨有效地减少林内土壤表层温度, 从而减少林内土壤蒸发。

土壤因子不是前三个主成分的主导因子, 但土壤因子对蒸发的影响仍不能忽略, 比较表 2 中蒸发效能和林网内蒸发

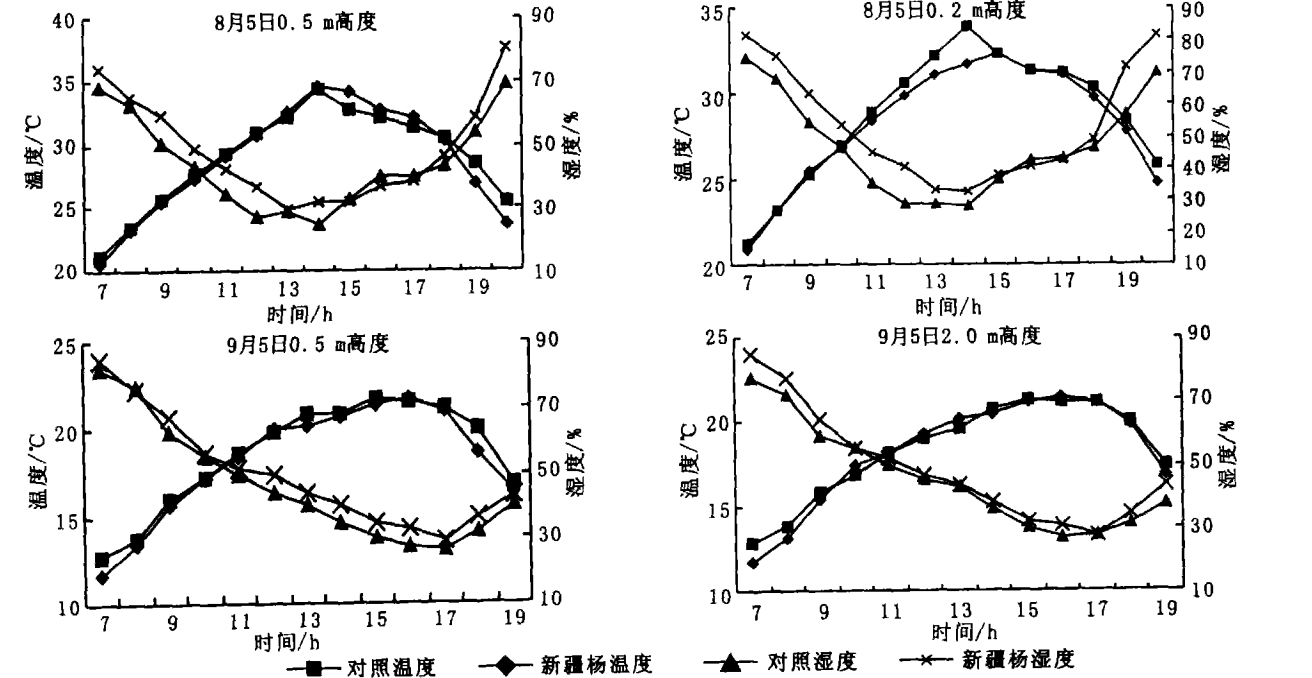


图 2 林网内外空气温度、空气湿度

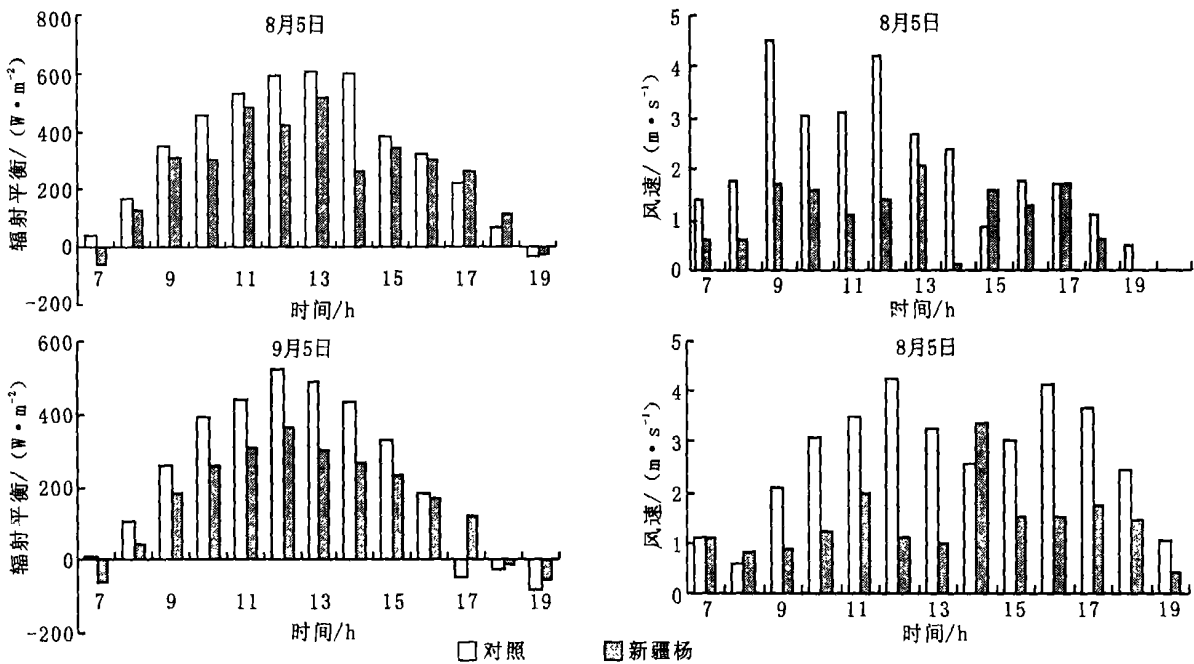


图 3 林网内外辐射平衡及风速

减少量可知,当完全排除土壤因子影响时,各观测日蒸发效能均小于对应的土壤蒸发减少量,这说明在影响蒸发的诸因素中,地面之上的影响和地面之下的影响是不能截然分开的,微气象因子通过影响地表温度、影响土壤中的热量传递,加强土壤因子在蒸发过程中的作用,新疆杨农田防护林通过这些因子的综合影响实现防护作用。

2.4 新疆杨林网的节水、减盐作用

新疆杨有效减少土壤蒸发,对于处于干旱气候条件、水资源不足的内蒙古河套灌区,具有重要的节水、减盐意义。以试验地区 5 月和 8 月为例,5 月中旬造林 9 年的新疆杨林网内与对照相比土壤蒸发量平均减少 1.88 mm/d,8 月上旬为 1.87 mm/d,新疆杨减少土壤蒸发作用相当于 1 hm<sup>2</sup> 农田在 5 月和 8 月各增加 564.3 m<sup>3</sup> 的灌溉水量,按河套灌区现行灌溉制度,这部分水量近似 5 月中旬小麦分蘖期灌水定额的一半,也接近 8 月中旬玉米灌浆期的灌水定额。

河套灌区降水稀少,蒸发强烈,大部分降雨消耗于土壤蒸发,假设 5 月和 8 月的灌溉水全部被作物利用,可近似认为土壤蒸发除了消耗降雨之外,主要是由潜水转化的土壤水,土壤水分的垂直运动导致土壤溶质的垂直迁移,潜水蒸发使盐类物质在土壤表层聚积,按此假设估算的土壤表层积盐量偏大。

参考文献:

[1] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1994.32- 60.  
[2] 戴万德,赵洪杰,张富民,等.平原农区防护林的气候效应[J].中国农业气象,1994,15(2): 39—42.  
[3] 王广钦,樊巍.农田林网内土壤水分变化动态的研究[A].黄淮平原综合防护林体系生态经济效益的研究[M].北京:北京农业大学出版社,1990.78- 84.  
[4] 宋兆民,卫林.河北深县农田林网防护效益的研究[J].林业科学,1981,17(1): 8- 9.  
[5] 朱延曜,朱劲伟,孔繁智.林带附近空气湿度的分布模型及其对蒸发的影响[A].曹新孙.内蒙古东部地区风沙干旱综合治理研究第二集[M].北京:科学出版社,1990.58- 65.  
[6] 朱延曜,周广胜,孔繁智.林网蒸发效益的理论分析[A].朱延曜.防护林体系生态效益及边界层物理特征研究[M].北京:气象出版社,1992.247- 255.  
[7] 丁桂芳,张玉华.东北地区农田防护林网内土壤水文效应的研究[A].朱延曜.防护林体系生态效益及世界层物理特征研究[M].北京:气象出版社,1992.239- 242.

造林 9 年新疆杨防护林对试验区土壤表层最大减盐作用见表 4,显然如果没有新疆杨农田防护林的保护,5 月份土壤表层可能最大积盐量为 892 kg/hm<sup>2</sup>,8 月份为 273 kg/hm<sup>2</sup>,这也该灌区土壤盐分“春返、夏脱”的年内变化相吻合<sup>[23]</sup>。

表 4 新疆杨对土壤表层的减盐作用

	月平均降水 量/mm	减少地下水蒸发 量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	地下水矿化度/ (mg·l <sup>-1</sup> )	土壤表层减盐/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
5 月	8.7	477.9	1870	982.0
8 月	44.5	115.4	229.5	273.1

注:地下水矿化度由临河市水文局提供,指八一乡试验点潜水矿化度。

3 小 结

影响河套灌区土壤蒸发的主要因子是地表以上的微气象因子,(包括空气温度、湿度、风和太阳辐射平衡值),土壤含水量和物理性质影响次之,新疆杨防护林能够降低林内空气温度、增大空气湿度、减少风速和辐射平衡值,从而有效减少林网内土壤蒸发;在 5~9 月期间,新疆杨防护林平均减少土壤蒸发 30.11%,对该灌区一个防护林网格而言,在土壤积盐严重的春季,防护林的保护作用可使 1 hm<sup>2</sup> 农田一个月减少近 892 kg 盐分在耕作层积累。

是由于降水量的减少, 还是流域治理后的结果? 可以从年径流系数的变化来说明, 根据 38 年的降水径流量资料计算, 1980 年以前至 1956 年流域平均径流系数  $\alpha$  为 0.09, 1981 年~1993 年流域平均径流系数  $\alpha$  为 0.05, 比 1980 年前减少了 44%, 这说明了径流量的减少并不是由于降水量的减少, 因为两个时期的年降水量很接近, 而是流域治理的结果。

2.3 土壤流失量的变化

土壤流失量对于一个流域来说很难准确计算出来, 本文用流域输沙量近似代替土壤流失量。从年输沙量多年变化过程可以看出 1980 年以前年输沙量较大, 1956 年至 1980 年多年平均年输沙量  $L_1$  为 52.2 万 t, 该时期的最大年输沙量为 1963 年 262 万 t。1981 年至 1993 年多年平均输沙量  $L_2$  为 5.3 万 t, 该时期的最大输沙量为 1984 年 27.3 万 t。对比两个时期的输沙量  $L_2$  只为  $L_1$  的 10.1%; 极值对比后期只相当于前期的 10.4%。输沙量的减少主要决定于两个因素: 一是降水量; 二是流域治理结果。该流域后期输沙量的减少并不是降水量的减少而造成的, 可以从两方面来论证, 以个别年份作对比, 如 1976 年降水量为 494 mm, 年输沙量为 18.6 万 t, 而 1991 年降水量为 451 mm, 年输沙量为 2.13 万 t, 两年年降水量基本相等, 年输沙量之比却为 1 : 9, 相差如此悬殊。为了消除降水量大小对输沙量的影响, 本文用了雨沙比这一概念, 即单位降水量所造成的输沙量。可以说明输沙量的减少不是由于降雨量减少所导致的, 而是流域治理的结果, 从以下数字可以说明, 1980 年至 1956 年时期内平均雨、沙比为  $0.12 \times 10^4$  t/mm, 1981 年至 1993 年平均雨、沙比为  $0.013 \times 10^4$  t/mm, 前者为后者的 9.2 倍, 这说明了 1981 年以后流域内土壤流失量大大减少了。

3 流域输沙量模型

通过该流域 1956 年至 1993 年汛期 4 个月(6~9 月)输沙量分析计算, 汛期多年平均输沙量占多年平均输沙量 95%, 汛期流域输沙量又集中于 7、8 两月; 这是由于降水量参考文献:

[ 1 ] 熊立华, 郭生练. 分布式流域水文模型[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.  
[ 2 ] [ 美 ] Vijay P Singh. 水文系降雨径流模拟[ M ]. 赵卫民, 戴东, 牛玉国, 等译. 郑州: 黄河水利出版社, 1999.  
[ 3 ] 金光炎. 水文水资源分析研究[ M ]. 北京: 东南大学出版社, 2003.  
[ 4 ] 刘俊民, 余新晓. 水文与水资源学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1999.

( 上接第 31 页 )

[ 8 ] 黄义雄, 郑达贤, 方祖光, 等. 福建滨海木麻黄防护林带的生态效益研究[ J ]. 林业科学, 2003, 39(1): 31—35.  
[ 9 ] 刘钰华, 文华, 耿心志等新疆和田地区农田防护林效益的研究[ J ]. 防护林科技, 1994, 21(4): 9—13.  
[ 10 ] 朱延曜, 郑德新, 周广胜, 金昌杰, 等. 农田防护林生态工程学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 213, 204.  
[ 11 ] 郑长禄沙区农田防护林蒸散效益研究[ J ]. 青海农林科技, 1999, (4): 51—55.  
[ 12 ] 刘涛. 黑龙江垦区东部农田防护林生态效益分析[ A ]. 现代农垦[ M ]. 1996.  
[ 13 ] 吉中礼. 农林应用气象[ M ]. 陕西: 天则出版社, 1993. 17—19, 108.  
[ 14 ] 曹新孙. 农田防护林[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1979. 235—246.  
[ 15 ] 王正非, 朱廷曜, 朱劲伟, 等. 森林气象学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1985.  
[ 16 ] 刘德胜. 安徽省宿县社楼农田防护林效益研究[ A ]. 中国林业气象论文集[ C ]. 北京: 气象出版社, 1989. 156—160.  
[ 17 ] 洪启法. 杨林林带小气候[ J ]. 林业科学, 1981, 17(1): 96—104.  
[ 18 ] 北京农业大学气象教研组. 气象观测和实验方法(下)[ M ]. 北京: 北京农业大学出版社, 1980. 38—62.  
[ 19 ] 西安建筑科技大学. 华南理工大学等合编建筑材料[ M ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.  
[ 20 ] 裴步祥. 蒸发和蒸散的测定与计算[ M ] 北京: 气象出版社, 1989. 44—58.  
[ 21 ] 裴喜春, 薛河儒. SAS 及应用[ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 158—162.  
[ 22 ] 王政友. 土壤水分蒸发的影响因素分析[ J ]. 山西水利, 2003, (2): 26—29.  
[ 23 ] 王伦平, 陈亚新, 曾国方. 内蒙古河套灌区灌溉排水与盐渍化防治[ M ]. 北京: 水利出版社, 1993. 37—41.

集中于汛期, 更主要集中于 7、8 两月的原因。而且大沙年中, 最大一个月降雨量和一次最大暴雨量对年产沙量有举足轻重的作用, 而一次暴雨过程的降水量又在一月降雨量中具有决定作用, 该流域一次降雨过程时段长, 通常都在 72 h 之内。据此, 提出一个“综合降水量  $P_{cp}$ ”的概念, 它是决定年输沙量的降水量指标。就多年资料分析,  $P_{cp}$  与最大 4 个月降水量、最大 30 d 和 72 h 降水量有密切关系, 可用下式表达:

$$P_{cp}=0.3P4mM+0.4Pm30d+0.3P72h \tag{1}$$

式中:  $P4mM$ ——年内流域平均连续最大个月降水量;  
 $Pm30dk$ ——一年内流域平均连续最大 30 d——降水量;  
 $Pm72h$ ——年内流域平均连续最大 72 h 降水量。

将本流域各年的  $P_{cp}$  与年输沙量  $L$  点给在对数格纸上, 呈直线关系, 其关系式可写成下式:

$$L=KP_{cp}^n \tag{2}$$

式中:  $L$ ——流域年输沙量(t);  $K$ ——反映全流域产沙量多少的因子;  $n$ ——输沙量与产沙降水量之间关系的指数。

3.1 模型参数分析与计算

(1) 模型中  $P4mM$ 、 $Pm30d$ 、 $Pm72h$  值, 可根据日降水量及小时雨量计算;

(2) 指数  $n$  表明产沙综合降水量年际变化对输沙量影响程度的指标,  $n$  值愈大, 输沙量年际变化愈剧烈, 反之年输沙量年际变化不剧烈, 经计算该流域  $n$  值较大, 其值为 3.0。

(3)  $K$  值为  $L$  与  $P_{cp}$  相关线在对数纸上截距。影响  $K$  值的因素相当多, 主要有三个, 即流域面积, 主河道平均纵坡和流域下垫面情况等。可用以往历年资料把  $K$  值推求出来。

用现有资料计算出的输沙量计算模型, 可以用到无资料地区, 算出相似流域的逐年年输沙量。也可用于无资料年份。

3.2 河流输沙量推算

根据研究流域的降雨资料应用式(1)可计算出产沙综合降雨量  $P_{cp}$ , 各年的  $P_{cp}$  值与年输沙量  $L$  值在对数纸上点绘相关图, 从而可计算出年输沙量计算模型, 也就是把(2)式推求出来。