

农林复合系统水分效应研究*

孟平 宋兆民 张劲松 陆光明

摘要 运用水量平衡原理,并结合土壤水分动力学法,研究了农林复合系统中林—草×牧模式、林网—桐粮(小麦)间作模式和林网—梨×粮(小麦)间作模式的水分效应。结果表明:(1)林×草×牧模式中,林木对降水水具截留作用,截流量不足降水量的10%,故对林下牧草的生长影响不大;(2)林网—桐×粮(小麦)间作模式可降低12.0%的农田蒸散耗水量;(3)林网—梨×粮(小麦)间作模式中,0~40 cm土层含水量比对照点约高14.0%,对冬小麦的灌浆将产生积极的作用。

关键词 黄淮海平原、农林复合系统、水分效应

黄淮海平原农区,是我国重要的粮食生产基地。但该地区干旱少雨,且雨量多集中于夏季,很大程度上制约着该地区的农业发展^[1]。近几年来,为了改善农业生态环境,提高自然资源利用率,大力发展了农林复合系统(Agroforestry)(简称:“系统”)^[2~4]。由于林木引入单一结构的农田生态系统后,改变了植被结构及下垫面的物理性质,使能量和物质的输送发生了变化,水分在“系统”内外及“系统”内各种模式之间的重新分配具有不平衡性。不同模式下水分的分配如何变化?国内外有关这方面的研究不仅较少^[4~9],而且有的在理论研究 with 模式建设之间存在着不衔接现象。本文运用水分平衡等方法探讨了黄淮海平原农区农林复合系统内不同模式及种类的水分效应,为合理发展农林复合系统提供理论依据。

1 试验区概况及观测点布置

1.1 试验区概况

试验区位于河北省饶阳县大官亭乡(115°40' E, 38°10' N),属温带大陆性季风气候。试验区于1983年始建,现已形成了完整的农林复合系统试验示范区,占地面积849 hm²,林木覆盖率为20.4%。“系统”的结构配置以农田林网为骨架,主要的复合模式有:林×草×牧,林×果×药,林网—果×粮,林网—梨×粮等。试验研究对象为:林—草×牧模式、林网—桐粮(小麦)间作模式、林网—梨×粮间作模式。

1.2 观测点布置

(1)林×草×牧模式。树种为毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.),树龄为6 a,树高 H 为12 m,林木胸径为14~17 cm,株行距4 m×6 m,营造面积6 hm²,林下种植牧草。测点分别设在距林木0.5、1.0、2.0、4.0 m处。

(2)林网—桐粮。间作模式:模式以农田林网为骨架,林网内农田采用桐粮间作,林网树种

1995—05—15 收稿。

孟平副研究员,宋兆民,张劲松(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);陆光明(中国农业大学资源与环境学院)。

* 本研究系“八五”国家科技攻关“农林复合系统结构与功能研究”专题的部分内容。

为毛白杨,种植作物为小麦。网格大小为 13 hm^2 ,透风系数为 $4.4 \sim 0.6$,泡桐株行距 $6 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 。林带为毛白杨+侧柏+紫穗槐,测点分别设在距主林带 $0.5H$ 、 $1H$ 、 $2H$ 、 $4H$ 、 $5H$ 处和林网中心。

(3) 林网—梨×粮(药)模式。林网内种植梨树(河北鸭梨),梨树下种植农作物或中药材,3 a 后果树郁闭未种它物。梨树株行距为 $5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,测点分别设在距主林带 $0.5H$ 、 $1H$ 、 $2H$ 、 $3H$ 、 $4H$ 、 $5H$ 、 $6H$ 、 $9.5H$ 处。

上述测点均 10 d 观测 1 次,中间下雨后加测。对照点设在距试验区东北方向 2 km 的旷野农田和草地中。

2 观测项目及观测方法

2.1 树干径流

自制茎流器(半剖的圆型塑料胶管,用胶粘贴在处理平滑的树干 $1.5 \sim 1.8 \text{ m}$ 高处,呈 S 型围绕树干两周,胶管引流至一大型塑料桶)。

2.2 林冠透流

MS-1 型雨量计,分别置于林冠下,4 次重复。

2.3 降水量

MS-1 型雨量计。

2.4 灌溉量

水量测定仪。

2.5 土壤水势

用水银张力计监测,每一个测点设两个重复,埋深为 0.8 m 和 1.2 m ,每两天定时读数一次。

2.6 地下水位

固定测井,每 10 d 测一次。

2.7 土壤含水量

用中子仪和土钻法,每 10 d 或 5 d 观测一次,深度为 $5 \sim 150 \text{ cm}$ 。每隔 10 cm 取土样,测定一次三个重复。

2.8 光合强度

采用 Li-6000 型光合仪测定。

2.9 蒸腾与气孔阻抗

用 Li-6000 型稳态气孔仪测定,气孔开度用压痕法测定。

2.10 各测点土壤物理性状测定和农田水气候观测

3 计算方法

3.1 林—草×牧模式的降水分配

由于此模式林木(毛白杨)密度较大,且均匀,故可假设水平方向无土壤水分交换,则降水分配可用下式表示:

$$R = R_f + R_i + R_p \quad (1)$$

式中 R 为降水量, R_f 为树干径流量, R_i 为林冠截留量, R_p 为透过林冠降水量。

3.2 各模式系统内的蒸散量

各模式系统内的蒸散量用下式求得

$$E_T = P + I - \Delta W - \Delta Q_z \quad (2)$$

式中 E_T 为蒸散量; P 为降水量; I 为灌溉量, ΔW 为土壤贮水量的变化值。 ΔQ_z 为 100 cm 处土壤水分通量。计算公式为: $\Delta Q_z = q_z \cdot t$, 且 $q_z = -k(\Psi_m) \Delta \Psi_h / \Delta z$ 。式中: q_z 为 Z 处的土壤水分通量, k 为土壤导水率, Ψ_m 为基质势, Ψ_h 为水力势(即基质势与重力势之和)。 Ψ_m 用张力计测得。梯度 $\Delta \Psi_h / \Delta z$ 的求算采用平均梯度(80~120 cm)。

3.3 土壤贮水量

土壤贮水量用水层厚度表示, 计算公式为: $C_H = W \times H \times \rho \times 10$, 式中: C_H 为土壤贮水量; W 为该土层的湿度; ρ 为土层的土壤容重; H 为该土层厚度。

4 结果与分析

4.1 林×草×牧模式的水量平衡

林×草×牧模式是农林复合生态系统中主要模式之一, 它主要是利用土壤瘠薄的荒地, 进行以改土培肥为目的, 充分利用资源, 并获得较高经济效益的一种复合模式。

由于此种模式林木密度较大, 降水遇到林冠层时, 受到林木截留, 发生降水的第一次分配, 水分的各项收入将发生变化, 蒸散随之也发生变化, 因此揭示水分的各项收入及水量平衡是十分必要的。

4.1.1 对降水的截持 当大气垂直降水发生时, 受到林冠层的截留, 引起第一次分配。不论数量和质量都发生变化, 使空间分布相对均匀的大气降水变得没有规则。其中一部分降水在到达地面之前便被树冠截持, 并消耗于蒸发。

在(1)式中, 降水量(R), 树干径流量(R_f)及透流量(R_p)在本试验中为实测值, 因此林冠截留量(R_i)可由(1)式导出, 即 $R_i = R - R_f - R_p$ 。

表 1 4~10月份水量分配状况 (单位: mm, 1990年)

项 目	R	R_p	R_f	R_i	R_p/R	R_f/R	R_i/R
量 值	56.6	366.7	34.7	48.6	81.4(%)	7.8(%)	10.8(%)

表 2 不同时间不同测点降水与截持 (单位: mm, 1990年)

时间 (月—日)	05—12	05—17	05—29	05—30	06—06	06—07	06—21	06—27
R	5.0	1.2	3.5	21.2	0.3	12.8	19.7	30.1
R	中心	4.9	1.1	3.3	20.9	11.8		
	冠下	3.3	0.7			10.5		
$R_f + R_i$	中心	0.1	0.1			1.0		
	冠下	1.7	0.5			2.3		

由此(表 1)可见林×草×牧模式, 整个生育期的平均, 降水的损失率(截留降水量)并不高, 只占全部降水量的 10.8%。但截持降水在距这种模式的不同距离处, 对降水的截持在数量

上的差异是显著的,在带距中心线上设置的测点降水量(透流)与对照(草地)上降水量差异极小,见表2。由于林木没有完全郁闭,因此带距中心线上的林内降水比林冠下的测点降水量大,大气垂直降水的损失量较小,一般不超过8%,这对于带距行间种植的牧草的影响是有限的。

4.1.2 降水量的大小与截留降水的关系 降水量的大小对林冠截流量影响较大。当大气降水垂直降落到林冠层时,由于枝叶被打湿,同时吸附一些水分,所以透过林冠的水量很少;当降水量足够大时则林下降水也逐渐增大。所以,当降水量增大时,截留降水率降低,反之增加,但不是直线关系。实测结果表明,当降水量小于1 mm时,模式对降水的截留量达70%以上,当降水量达5~10 mm时,截留量为25%左右;当降水量大于20 mm时,平均截留量7%左右。由于本试验区的年降水量80%发生在7~9月,且雨量集中,强度又大,因此就全年情况看,降水的损失量(截留)很小。

4.1.3 林×草×牧模式的蒸散量 本试验无灌溉,并假定无径流发生,树木本身含水量和空气含水量均无变化,那么可用 $E=R-\Delta W-Q$ 式求算蒸散量,计算4月~10月的蒸散量,林×草×牧模式的平均日蒸散量为5.0 mm,对照草地的蒸散量为4.3 mm。

4.1.4 林—草×牧模式对降水后土壤水分状况的影响 由于模式上层林木的郁闭作用,使林下表土层(0~30 cm)含水量较对照大,雨后土壤湿度减少的进程较对照缓慢(见表3)。

表3 降水后第5天的土壤含水量 (单位:mm)

土层深度 (cm)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
模式内	24.6	21.8	23.3	16.1	13.3	7.2	23.0	21.0	7.6	17.5
草地	22.8	19.3	17.4	13.4	12.3	17.2	33.2	34.0	15.9	17.6
差异	1.8	2.5	5.9	2.7	1.0	-10	-1.2	-13.0	-8.3	-0.1

注:本次降水量为28.8 mm。

从表3可看出降水后第5天,模式内土壤表层含水量高于草地,但深层土壤含水量明显少于草地,这是由于林木郁闭使林下土壤表层蒸发量减少(辐射量小,风速减弱),造成林地表层土壤含水量高于草地的原因;深层土壤含水量模式内少于草地是因为林木吸收深层水分的原因。

此模式虽然因林木截留损失了一部分水分,但由于林地内蒸发量小,对降水后水分的保留天数增多,减缓了土壤干燥进程,因此,对林下生长的牧草是有益的(仅从水分角度来考虑)。

4.2 林网—桐粮(泡桐×小麦)间作模式

4.2.1 农田蒸散量 由水分平衡方程式计算了林网—桐×粮间作模式4~9月份的总蒸散量(ET),由表4可知:农田的蒸散量比对照少10.1%。当P与I增加时,必然在不同深度处引起下行水流,同时使 ΔW 增加;当ET强烈时,会导致土壤的上行水流,使 ΔW 趋于减少。

表4 林网—桐×粮间作模式水量平衡

(单位:mm)

处理	项目	冬小麦	夏玉米
		(抽穗—成熟)	(播种—成熟)
模式内	P	45.0	267.3
	I	68.0	83.0
	W	-20.9	-80.2
	q_{100}	-44.6	-40.1
	ET	173.5	450.8
	ET/day	5.76	4.9
对照	P	45.0	267.3
	I	50.0	51.9
	W	-48.3	-58.2
	q_{100}	-63.7	-124.8
	ET	207.0	301.3
	ET/day	6.68	5.45

4.2.2 耗水强度 以日蒸散量表示耗水强度。由计算结果可知,模式的作物耗水强度明显低于旷野,约比旷野减少 8%~10%。由于作物的生育期不同,作物耗水量与旷野的差异也不同。以小麦为例,在播种至返青这一阶段,模式内外作物耗水差异不大,特别是越冬期几乎看不出什么差异;返青以后,耗水强度的差异才逐渐明显起来,最大差异出现在拔节至抽穗阶段,其次是抽穗至成熟阶段。

4.2.3 对作物水分效率的影响 研究表明,林网保护下的作物产量高于旷野,而水分消耗又低于旷野,因此,单位耗水量所得到的经济产量也大于旷野。以玉米为例:消耗 1 mm 水分所得到的籽粒产量模式内外分别是 0.72 kg、0.62 kg,即此模式内玉米水分利用效率较旷野高 16.1%,冬小麦为 15.2%。

4.3 林网—梨×粮(药)模式

为充分利用光、热资源及提高土地利用效率,达到空间有层次,时间有顺序,效益有长短的目的,在攻关研究中建立了以林网—梨×粮(药)高效立体模式。这种模式完全不同于单一的种植形式,它改变了光热水流的重新分配。因此,模式对水分状况的调节及重新分配是指导生产建设的重要问题。

4.3.1 模式内土壤水分状况 模式内的土壤湿度及贮水量状况受动力和热力作用的共同影响,在 20 cm 以内,土壤湿度的大小明显优于模式外(对照点),模式内各测点平均土壤湿度分别为 13.2%、11.4%,模式内比模式外增高 15.7%。模式内外土壤贮水量见表 5。

表 5 5~6 月份模式内外的土壤含水量

(1990 年)

深度(cm)	模式内					模式外				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
贮水量(mm)	35.2	52.4	61.7	87.6	71.8	30.8	45.7	48.7	71.6	70.8

由表 5 可以看出,模式内外土壤贮水量的差异是显著的,模式内 0~20 cm 和 20~40 cm 土层内土壤贮水量分别比模式外高 14.2% 和 14.7%,这对于模式内药材、作物的生长是有益的,特别是小麦正处于灌浆、成熟阶段,是小麦需水关键期。造成模式内外差异显著的主要原因是模式内防风效能明显高于模式外,使模式内近地气层湍流交换减弱,减少地表及表层蒸散。

4.3.2 模式内蒸散耗水 由(2)式求得模式内蒸散耗水量为 286.2 mm,对照为 110.5 mm,这是由于模式内林果的蒸散量大,使其模式内此时段内总耗水量增大。

5 结 论

(1) 林×草×牧模式中的林木对降水具有截流作用,就全年情况来看,截流量不足降水量的 10%,故对林下牧草的生长影响不大,但后期影响可能加大,建议生产应用时可加大行距。

(2) 林网—林×粮间作模式可降低 12.0% 的农田蒸散量。

(3) 林网—林×粮(药)模式,由于果树的耗水,使得蒸散耗水量比对照要大,但由于复合系统的防风效能的作用,使 0~40 cm 土层含水量比对照点约高 14%,对冬小麦的灌浆产生积极的作用。

(4) 从水分效应角度来说,上述各模式在黄淮海平原农区农林复合系统建设中均可推广应用。

参 考 文 献

- 1 宋兆民. 黄淮海平原综合防护林体系生态经济效益的研究. 北京: 北京农业大学出版社, 1990. 1~5.
- 2 赵其国. 复合农林业——一门新兴的学科领域. 当代复合农林业, 1993, 1(1): 1~2.
- 3 袁玉欣. 生存与发展的结合——混农林业的崛起. 生态农业研究, 1994, 2(2): 14~17.
- 4 波尔强科. 水量平衡是营造防护林的基础. 见: 中国林业科技情报所译. 国外农田防护林. 林业译丛(1). 北京: 中国林业出版社. 1980. 32~43.
- 5 谢京湘. 农林复合生态系统概况. 北京农业大学学报, 1989, 10(1): 104~108.
- 6 Eastham J. The effect of tree spacing on evaporation from an agroforestry experiment. Agri. For. Meteorol., 1988, 42(1): 355~368.
- 7 Nizinski J. A model of transpiration and soil-water balance for a mature oak forest. Agri. For. Meteorol., 1989, 47: 1~17.
- 8 朱廷耀. 防护林体系生态效益及边界层物理特征研究. 北京: 气象出版社, 1992. 28~38.
- 9 曹新孙. 农田防护林学. 北京: 中国林业出版社, 1983. 1~8.

Study on Water Efficiency of Agroforestry

Men Ping Song Zhaomin Zhang Jinsong Lu Guangming

Abstract This paper, applying the principle of water balance and soil water dynamics, studies the water efficiency of agroforestry such as, that of tree—herbage+ husbandry pattern, shelternet— paulownia+ crop intercropping pattern and shelternet— pear+ crop intercropping pattern. The results show that:

(1) In the tree— herbage+ husbandry pattern, the tree could intercept the precipitation, but the interception amount is less than 10% of the whole year s precipitation, so the interception could not bring promising effect to the herbage under the trees.

(2) The shelternet— paulownia+ crop intercropping pattern could reduce 12. 0% of field evapo—transpiration.

(3) In the shelternet — pear+ crop intercropping pattern, the soil water content at 0~40 cm depth is about 14. 0% more than that of the control spot, which is helpful to wheat s filling.

Key words Huang—Huai—Hai Plain, agroforestry, water efficiency