

# 伊犁河流域杨树—小麦复合系统水分生态效应研究

罗青红<sup>1</sup>, 史彦江<sup>1</sup>, 宋锋惠<sup>1</sup>, 朱首军<sup>2</sup>

(1. 新疆林业科学研究院 造林治沙研究所, 新疆 乌鲁木齐 830063; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 对伊犁河流域新疆区杨麦复合及单作系统水分生态特性进行了试验研究。结果显示:(1) 小麦需水关键期, 灌水后 1~2 d, 两系统麦田 0—44 cm 土层土壤湿度增加了 5% 左右, 复合系统土壤剖面下层 (110—154 cm) 土壤含水量增幅较单作地大。(2) 复合系统在水平方向上 S<sub>2</sub> 测点小麦吸水根分布最少, 垂直方向上 20—30 cm 土层杨树与小麦根系分布最多, 两种植物对水分、养分吸收的竞争最激烈。(3) 单作小麦千粒重比复合小麦高 4.56%, 复合型麦田 S<sub>12</sub> 测点处小麦千粒重为 S<sub>2</sub> 测点处的 1.11 倍。(4) 复合型比单作型小麦的蒸腾速率日均值低 30.8 g/(m<sup>2</sup>·h), 比麦田 100 cm<sup>3</sup> 土面日蒸发量低 1.07 g/d 比日均温低 0.46 °C 左右, 比土温低 0.24 °C~1.20 °C。研究结果从水分利用角度为杨麦复合立体经营模式在伊犁河流域水土开发区的可行性和持续性发展提供了理论支持。

**关键词:** 杨麦复合系统; 小麦单作系统; 土壤水分; 生态效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0036-05

中图分类号: S727.24

## Ecological Benefits of Soil Moisture in Agro-forestry System of Ili River Basin

LUO Qing-hong<sup>1</sup>, SHI Yan-jiang<sup>1</sup>, SONG Feng-hui<sup>1</sup>, ZHU Shou-jun<sup>2</sup>

(1. Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi, Xinjiang 830063, China; 2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Ecological experiments on soil moisture in poplar-wheat complex and wheat monoculture (CK) pattern were conducted in the reclamation areas of Ili River basin. Results showed that (1) 1~2 days after irrigation, soil humidity in plough layer (0—44 cm) in the two systems was increased by 5% and the increase of soil water content in lower layer (110—154 cm) in poplar-wheat complex system was greater than that in the CK. (2) There was less root distribution at the S<sub>2</sub> spot in parallel direction in poplar-wheat complex system and the most of wheat and poplar roots were distributed in 20—30 cm soil layer in vertical direction, which have greatest competition for water and nutrition from soil. (3) The 1 000-grain weight in the CK was 4.56% more than that in poplar-wheat complex ecosystem and the 1000-grain weight of wheat at the S<sub>12</sub> spot was 1.11 times that at the S<sub>2</sub> spot in the poplar-wheat complex pattern. (4) Compared with the CK, diurnal mean value of transpiration rate in poplar-wheat complex system was 30.8 g/(m<sup>2</sup>·h) lower, diurnal evaporation amount was 1.07 g/d lower, diurnal average of air temperature was about 0.46 °C lower, and soil temperature was 0.24 °C~1.20 °C lower. In view of water use, this study provides a theoretical support for feasibility and continuity of poplar-wheat complex ecosystem in the water and soil development areas of Ili River basin.

**Keywords:** poplar-wheat complex ecosystem; wheat monoculture system; soil moisture; ecological benefit

农林复合系统(agro-forestry systems)又称复合农林业、农用林业或混农林业,是一种新型的土地利用方式。主要涉及蒸腾耗水、土壤水分、根系吸水等水分生态因子的时空变化规律、影响机理及其与单作物系统的差异特征等问题<sup>[1]</sup>。系统地分析农林复合系统的水分特征,全面了解不同植被组分的水分关系,

是发展和完善农林复合经营的前提条件<sup>[2]</sup>。伊犁河流域的土地面积、资源储备在西部开发中居于重要地位。随着西部大开发政策的加速推进,伊犁河流域 2.53×10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup> 水土资源可持续开发与利用工程全面启动,与此同时,开发中各种矛盾日益显现。对此,本试验以伊犁河流域具有代表性的杨树与作物套种的立体复合经

收稿日期: 2010-04-27

修回日期: 2010-06-02

资助项目:“十一五”国家科技支撑计划项目“伊犁河谷水土流失综合治理关键技术开发与示范”(2007BAC15B07-1)

作者简介:罗青红(1980—),女(汉族),重庆市人,硕士,助理研究员,主要从事干旱区林业生态及林木引种育种研究。E-mail: lqh482325@ sina.com.

通信作者:史彦江(1961—),男(汉族),山西省柳林县,研究员,主要从事林木引种育种研究。E-mail: syj504@126.com.

营及作物单作系统为研究对象,以土壤水分为核心,以水资源的科学利用与优化配置为重点,对农田水资源合理分配和高效利用进行了比较分析,旨在为伊犁河流域新垦区建立具有生物多样性的人工生态复合系统和使有限资源得到最优化配置提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验区概况

试验区设在伊犁河流域水土保持型杨农复合系统核心试验示范区(43°46'N, 81°04'E),区内各类林农复合经营系统总面积 133 hm<sup>2</sup>。地处山前倾斜平原,为伊犁河古道,地势总体南高北低,东高西低,由东南向西北倾斜,总坡度 2‰。大陆性北温带温和干旱气候,降水偏少且季节分配不均,蒸发量为降水量的 6~15 倍。多年平均风速为 2.5 m/s,大风日数平均每年 21 d,最多年份可达 31 d,全年各月均有发生。土壤多为中壤或沙壤质灰钙土,质地较为均匀,地力不高,硫酸盐含量高。开垦前是以芨芨草为主的天然草场,春、秋季节受风蚀影响严重。该区农业灌溉主要采用大水浇灌,土壤侵蚀较重。

### 1.2 研究对象及观测点布设

选择伊犁河流域具有典型代表性的杨麦复合型及小麦单作型耕作系统为研究对象。复合系统内杨树品种为 74191,于 2003 年定植,行向为南北向,树高 9.8 m,胸径 8.5 cm,枝下高 1.8 m,东西冠幅 2.2 m×2.6 m,株行距 1.5 m×2 m,7 行为一带,带间距 30 m,带间播种冬小麦,行距 15 cm。

在复合系统的中部垂直于林带方向,选择一条代表性较好的间作通道,在距杨树林带边缘西侧 2, 6, 12 m 处(分别简称: S<sub>2</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>12</sub>)布置观测点共 3 个。与此同时,在单作系统麦田中部平行设置 3 个观测点,其测值的平均值作为对照(S<sub>0</sub>),两系统的立地条件、土壤状况、作物品种及栽培管理制度基本一致。

### 1.3 观测指标与方法

1.3.1 土壤含水量测定 采用 TRIME-IPH 原样土壤水分测定仪(德国),在小麦的主要生育期(苗期、拔节期、扬花期、灌浆期)每次灌水前、后,分别测定复合和单作系统内各测点 7 个土层(0—22 cm, 22—44 cm, 44—66 cm, 66—88 cm, 88—110 cm, 110—132 cm, 132—154 cm)的土壤体积含水量。

1.3.2 根系观测 在与水分观测点平行的位置,采用根钻法,用内径 60 mm 的土钻,重复 3 次,分 6 层(0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—50 cm, 50—60 cm)钻取土芯样品,编号放入密封袋,在室内用 40 目筛网流水冲洗,洗净后的根系迅速放

入塑料袋,水分晾干后按直径大小将根系分 4 级<sup>[3]</sup>,即吸水根(< 1 mm)、小根(1~2 mm)、中根(2~5 mm)和粗根(5~30 mm),分别测定各条根系的长度,计算出根长密度(RLD)和比根长(SRL),测定完毕后烘干计算生物量(RB)。

1.3.3 小麦千粒重测定 在小麦进入腊熟期后进行。选择与土壤水分测点平行的位置,设置面积为 0.5 m<sup>2</sup> 的样方 3 个,分别采收麦穗,测定千粒重,取平均值作为计算值。

1.3.4 麦田小气候观测 在小麦拔节期,选择 3 个晴朗日,在 10:00—20:00 间,每隔 2 h,在平行于水分观测点的位置,观测以下指标,以 3 d 测值的平均值作为计算值。

(1) 麦田土面蒸发。用土壤环刀法测定<sup>[4]</sup>。测定时,用 100 cm<sup>3</sup> 环刀在各观测点取表层 0—10 cm 原状土样,每个测点设 3 个重复,将土体上下表面削平,加底盖放回取土处,每隔 2 h 取出环刀分别称重,计算出不同时段土壤蒸发量。

(2) 小麦叶片蒸腾速率。利用精度为 0.01 g 的便携式电子天平,用快速称重法<sup>[5]</sup>(RM)测定各观测点小麦叶片蒸腾速率。测定时,每个测点选择长势较好的 3 株小麦,采集小麦植株中上部健康旗叶共 9 片进行称重。

(3) 麦田空气温度、湿度和土壤温度。用 ST-DHM<sub>2</sub> 型通风干湿表同步测定距地面 0.5 和 1.5 m 处的空气温、湿度;用曲管地温计测定 0—20 cm(0, 5, 10, 15, 20 cm)共 5 层的土壤温度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水分分配和利用特点

在小麦 4 个关键生育期,对麦田 0—154 cm 土层土壤墒情进行连续监测。结果显示(图 1),整个生育期,扬花期小麦需水量和耗水量最大,土壤贮存水量明显较苗期和拔节期低,但同时期两系统土壤水分含量差异不大。复合系统麦田中 3 个测点的土壤湿度也不尽相同,距林带最近的 S<sub>2</sub> 点,由于受杨树树冠遮荫的影响,土壤蒸发量小,土壤含水量相对较高,而 S<sub>2</sub> 点也是系统中杨树和小麦根系在耕作层(0—44 cm)内产生交叉,水分竞争较激烈的测点。由此可推测,在小麦整个生育期内,杨麦复合与单作系统麦田水分利用特点和再分配规律基本相似,复合系统中杨树与小麦根系分布层尽管存在水分生态位的部分重叠,但因杨树遮光、降温和减风速作用,使小麦土壤水分蒸散减弱,起到遮蔽保墒作用,有利于复合系统土壤整体保墒。

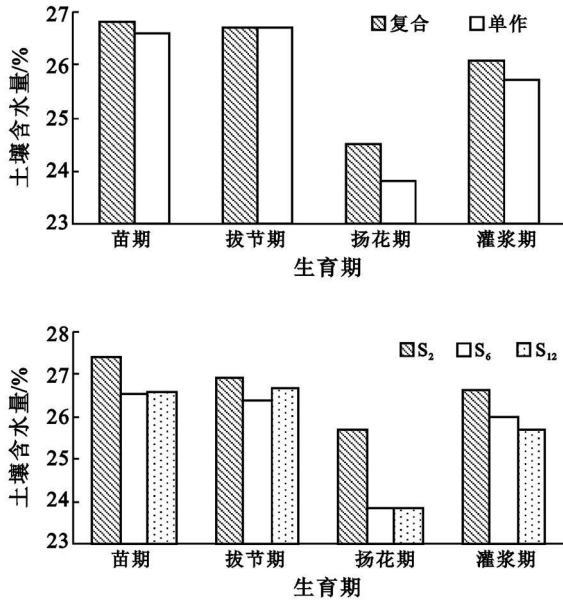


图 1 杨麦复合系统各测点土壤水分变化特征

注:  $S_2$ ,  $S_6$ ,  $S_{12}$  分别为 3 个观测点编号, 位置分别在距杨树林带边缘西侧 2, 6, 12 m 处。

在 2009 年 5 月 17 日(扬花期)和 5 月 30 日(灌浆期)两次灌水时, 对两系统各测点灌前 1 d 和灌后 1, 2 d 土壤水分垂直变化特点进行测定, 结果如图 2 所示, 与灌前 1 d 相比, 灌后 1, 2 d 两系统麦田耕作层(0—44 cm)土壤湿度均增加, 增幅约 5%; 中层土壤(44—88 cm)水分变化幅度相对较小, 至 110 cm 以下土层, 两系统土壤水分差异较大, 复合系统灌后土壤水分增幅明显较大。由此可推测在复合系统中, 麦田上、中层土壤通透性较好, 下层土壤保水性能较好, 即使在小麦关键需水期, 土壤深层尚可贮存一定量的有效水, 这为杨麦间作的水分协同利用提供了可能。

## 2.2 根系分布特点

根系是植物吸收水分的重要物质器官。定量地研究根系生长发育及时空分布特征可一定程度解释其水平与垂直方向的水分吸收规律, 是农林复合系统种间关系的重要研究内容之一<sup>[9]</sup>。灌浆期对两系统小麦根系垂直分布特点的测定结果显示(表 1), 小麦根系分布大致可划分为密集区和稀疏区, 根系集中区主要在 20—30 cm 土层, 复合和单作系统小麦根系生物量分别为 38.69 和 99.08  $g/m^2$ , 其它区域根系分布相对较少。与生物量指标相反, 根的直径越细, 根长密度和比根长越高, 由此可知, 两系统小麦的细根(吸水根)主要聚集在 0—30 cm 土层。而导致根系分布空间异质性的主要原因是土壤空间异质性, 根系对土壤空间异质性的基本反应是调整生物量和根长密度, 这也是根系适应土壤空间异质性的策略。

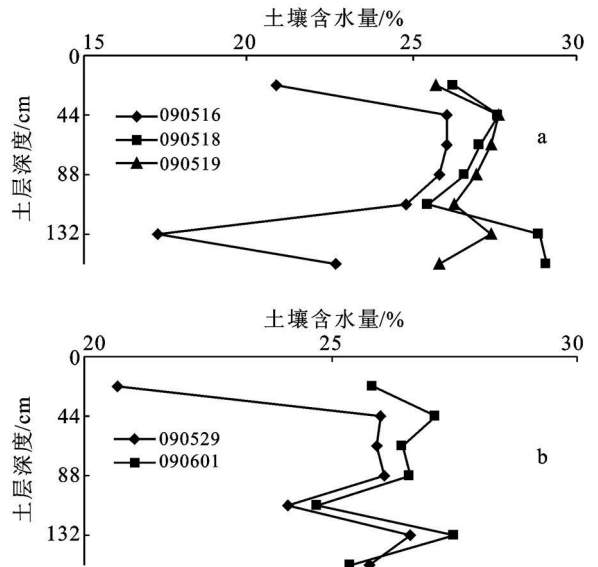


图 2 灌水前后小麦复合(a)、单作(b)系统土壤水分垂直空间变化

表 1 复合、单作系统小麦根系生物量、根长密度、比根长

土层/cm	生物量 RB/( $g \cdot m^{-2}$ )		根长密度 RLD/( $cm \cdot cm^{-3}$ )		比根长 SRL/( $m \cdot g^{-1}$ )	
	复合型	单作型	复合型	单作型	复合型	单作型
0—10	28.31	2.83	0.25	0.37	49.25	130.00
10—20	27.27	70.77	0.55	1.11	41.08	15.62
20—30	38.69	99.08	0.58	0.97	35.71	9.74
30—40	26.89	7.08	0.17	0.16	20.59	23.20
40—50	19.82	28.31	0.19	0.04	2.39	0.13
50—60	77.38	9.91	0.59	0.34	45.04	34.14
平均值	36.39	36.33	0.39	0.50	32.34	35.47

进一步分析复合系统小麦吸水根水平空间分布规律, 发现在距林带 2~12 m 的范围内, 小麦根长密度有逐渐增大的趋势; 而在杨树和小麦根系空间交叉最大的  $S_2$  点, 小麦吸水根分布最少。从垂直空间分布特

点来看, 小麦吸水根以 10—30 cm 土层分布居多, 而杨树吸水根在 20—30 cm 土层分布居多, 也就是说 20—30 cm 土层土壤中杨树和小麦根系活力最大, 根系间对水分、养分吸收的竞争力也最激烈(图 3)。

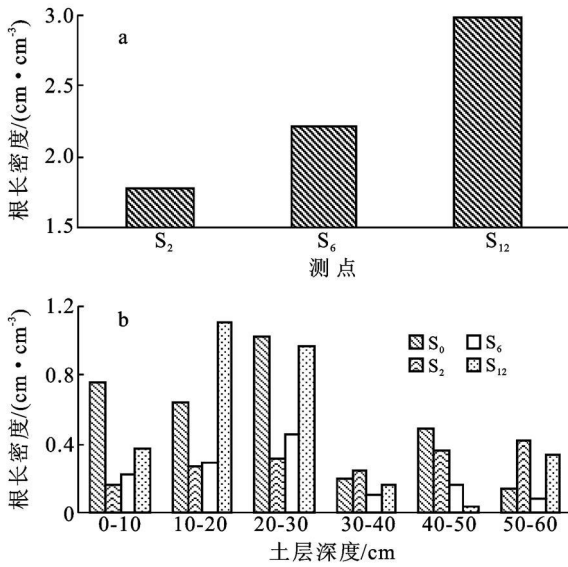


图3 复合系统小麦吸水根根长密度的水平(a)、垂直空间(b)变化

### 2.3 小麦千粒重

对复合、单作系统小麦千粒重进行比较分析,结果表明,单作小麦千粒重比复合系统小麦高 4.56%。分析原因,主要是由复合系统中杨树树冠遮光,造成作物光合有效辐射面积减少,光合产物积累减少所致。

复合系统小麦产量指标在水平空间上表现出的差异,主要体现在距林缘不同距离观测点小麦的穗长和千粒重间的不同。随距林带越远,即从 S<sub>2</sub> 至 S<sub>12</sub> 观测点,小麦千粒重有逐渐增大的趋势,且 S<sub>12</sub> 处小麦千粒重为 S<sub>2</sub> 处的 1.11 倍,与单作系统较为接近。

### 2.4 麦田小气候变化特点

2.4.1 麦田土面蒸发和小麦蒸腾速率 只有明确了作物各生育阶段土面蒸发与叶面蒸腾的比例关系,才能准确地估算农田土壤水分动态,制定合理的灌溉制度,并尽可能减少无效的土面蒸发,提高水的利用效率<sup>[7]</sup>。

土面蒸发是农田水量平衡计算中的重要因素。对两系统麦田土面蒸发量测定结果如图 4 所示,复合系统麦田土壤水分日蒸发量(5.26 g/d)低于单作系统(6.33 g/d),且复合系统 3 个测点土壤蒸发量的日变化趋势基本一致,即 14:00—16:00 时段内较高,相同时段内,各测点蒸发量差异也不大。

蒸腾是一个十分复杂的物理过程和生理过程,是植物的主要耗水方式。两系统蒸腾速率比较结果表明,复合系统中小麦日均蒸腾速率比单作型低 30.8 g/(dm<sup>2</sup>·h)。而复合系统的 3 个测点中,距林带较远的 S<sub>12</sub> 测点,小麦整日的蒸腾都较强,而距林缘最近的 S<sub>2</sub> 测点对应的蒸腾最弱(图 5)。

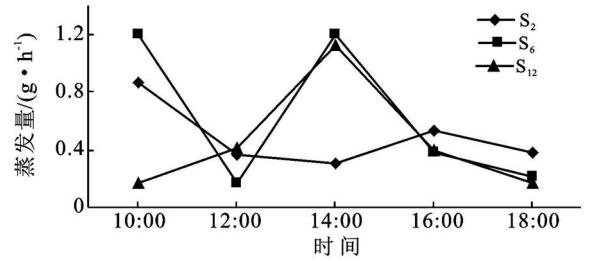


图4 复合、单作系统麦田土面蒸发量比较

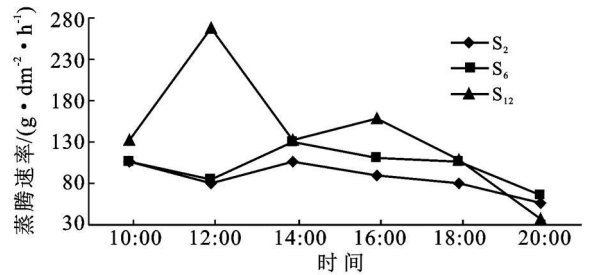


图5 复合、单作系统小麦蒸腾速率比较

2.4.2 麦田大气温、湿度及土壤温度 复合系统中,由于杨树的庇护作用,使得麦田内风速减弱,蒸发减缓,空气和土壤温度的热容量加大,对地表层土壤温度产生影响,由此在热量和湿度方面为作物生长创造了良好的基础<sup>[8]</sup>。两种系统麦田气温测定结果表明,复合型麦田日均温比单作型低 0.46 °C 左右。复合系统各测点温度日变化曲线类型基本一致,气温均在 18:00 左右至最高,且各测点日均温大小排序为 S<sub>12</sub> > S<sub>6</sub> > S<sub>2</sub>, 差值分别为 0.31 °C 和 0.21 °C。

同步对麦田空气湿度进行测定,结果表明,复合系统麦田空气相对湿度日均值为 53.48%,比单作系统高 0.6%。复合系统麦田 3 个测点空气湿度仅在 16:00—18:00 时段内差异较大,且距林带较近的 S<sub>6</sub> 和 S<sub>2</sub> 测点空气湿度相对较高。对两系统麦田各测点土温测定结果表明,复合型麦田 0—20 cm 土层土温比单作型低 0.24 °C~1.20 °C。复合型麦田 3 个测点的土温均呈现出与气温相近的日变化趋势,只是 1 d 中土温最高值出现的时间滞后于气温 2 h 左右。

## 3 结论

在水分资源紧缺的地区,林农复合系统有利于改善土壤水分状况,充分了解林农复合系统中农田土壤水分的时空分布特征及其机理,对于优化复合模式及制定灌溉决策将具有更加重要的现实意义。本研究对杨麦复合及小麦单作两系统水分生态特征研究结果显示,与单作相比,复合系统麦田上、中层土壤通透性较好,下层(110—154 cm)土壤保水性能较好,能起到“土壤水库”的作用,土壤蓄水特性尤为突出,说明

杨树的植入,明显改善了林网内土壤物理结构,有效增强了上、中层土壤的透水性和下层土壤的保水性。土壤水分是植物需水的直接来源,也是农林复合系统中林木与作物水分竞争的直接对象<sup>[9-10]</sup>。如果选择深根系树木或根系生态位重叠较小的物种组合,则使这种复合经营具有高效性。

土壤水分是植物需水的直接来源,也是农林复合系统中林木与作物水分竞争的直接对象。只有当林木与作物在所需水分、养分资源上达到互补时,通过复合经营才有可能增加收获量<sup>[11-12]</sup>。本试验测得小麦和杨树吸水根主要聚集在 20—30 cm 土层,由此可断定该土层空间是两种植物根系吸水竞争最强烈的区域,这也是造成林缘 2 m 范围内小麦千粒重明显降低的主要原因之一,此外,杨树的遮光也是引起复合系统中小麦减产的必然因素。因此,在伊犁河流域新垦区及相似水分资源紧缺地区,选择深根性杨树和浅根性作物进行复合经营,避开生态位在同一土层造成较大重叠,扩大复合系统的水分生态位范围,提高水分在垂直空间上的利用效率;或适时对杨树进行断根,控制树木根系在土壤表层的分布,促进其向深层次发展,减少其与间作农作物的水分竞争,而发挥其深层根系的安全网作用;同时保证系统各组分最大需水生育期的土壤水分,来提高土壤水分利用效率,使得其土壤水分效应为正值,是新垦区林农复合经营的先决和必然条件。

两种系统麦田小气候测定结果显示,复合系统中 7 龄杨树对麦田微气象因子的日变化规律具有较强的调节功能,麦田土面蒸发量的减少、小麦蒸腾速率的降低、田间气温、土温的降低以及麦田空气湿度的增加都是具体表现所在,而微环境的调节与改善必然影响到小麦各生育期的生长发育、光合产物积累。另外,复合系统麦田中,距林带较远的 S<sub>12</sub> 测点,其小气候与产量指标的测值与单作麦田更为接近,说明在此条件下,杨树林带对麦田小气候的有效调节范围在 1.2 倍树高范围内。因此,在伊犁河流域新垦区,选择窄冠型杨树品种,在幼龄期郁闭度较小时,进行农林复合经营可充分利用时间和空间,保护生态环境,改善农田小气候的同时,提高经济收益。而到中龄(6~7 龄),当杨树郁闭度达到约 0.9 时,需采取修枝措施进行调整,改变原来系统内光照的分配,减少“胁

地”作用,同时在林带间种植耐荫作物,可有效提高系统的可持续经营能力。近年来,随着木材需求缺口增大,种植杨树的可观经济收益调动了农户种植的积极性,伊犁地区更是具有丰富的杨树品种资源,以及适宜杨树产业发展得天独厚的自然和社会条件。通过本试验分析结论来看,从系统水分效应角度来说,杨麦复合系统在伊犁河流域新垦区生态农业建设中具有可推广性。而复合系统中营养元素的循环,农林复合经营对林木生长的影响,合理的轮作期,农林复合经营系统的管理,环境效应,经济效应及不利影响等方面的研究还有待于进一步深入。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 孟平,张劲松,樊巍.农林复合生态系统研究[M].北京:科学出版社,2004.
- [ 2 ] Smith D M. Physiological and environmental control of transpiration by trees in wind reaks[J]. Forestry Ecology and Management, 1998, 105(1/3): 159-173.
- [ 3 ] 梅莉,王政权,韩有志,等.水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局[J].应用生态学报,2006,17(1):1-4.
- [ 4 ] 熊伟,王彦辉,程积民,等.不同植被覆盖条件下土壤水分蒸发的比较[J].中国水土保持科学,2005,3(3):65-68.
- [ 5 ] 孟平,张劲松,陆光明,等.农林复合系统水分效应研究[J].林业科学研究,1996,9(5):443-448.
- [ 6 ] 孟平,张劲松,尹昌君.农林复合系统与单作作物系统作物根系差异特征的研究[J].林业科学研究,2002,15(4):369-373.
- [ 7 ] 刘钰,Fernando R M, Pereir L S. 发器田间实测麦田与裸地土面蒸发强度的试验研究[J].水利学报,1999(6):45-50.
- [ 8 ] 牟亚固.持续高产高效种植模式的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,1995:12-83.
- [ 9 ] 张劲松,孟平,尹昌君,等.农林复合系统的水分生态特征研究述评[J].世界林业研究,2003,16(1):10-16.
- [ 10 ] Rowe E C, Hairaih K, Giner K E, et al. Testing the safety-net role of hedgerow tree roots by 15N placement different soil depths[J]. Agroforestry System, 1999, 43: 81-93.
- [ 11 ] Qusada F. Simulation of Tree Shadow in Agmforestry Systems[M]. Meteorology and Agroforestry, Nairobi: ICRAF, 1989: 157-161.
- [ 12 ] 袁玉欣,魏宏侠,马荣泽,等.杨粮间作系统农作物产量研究[J].河北林果研究,2001,6(1):7-13.