

# 青海大通几种常见乔灌木最适宜生长的水分条件研究

唐道锋, 贺康宁, 朱艳艳

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

**摘 要:** 采用 Li-6400 便携式光合仪在模拟光强条件下, 对不同水分处理的 9 种乔灌木进行观测。观测参数包括: 净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、细胞间隙  $CO_2$  浓度等。并且运用 SPSS 数据处理软件进行分析。从而确定各林木光合生理参数与土壤含水量之间的关系, 并在此基础上找出林木光合、水分利用效率与土壤含水量关系的最佳组合, 以最少的耗水获得最大的生产效益, 在青海大通林区进行水分管理, 开展高效、经济型林业具有重要的理论意义。

**关键词:** 净光合速率; 水分利用效率; 土壤含水量

中图分类号: S715; S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0306-03

## The Suitable Soil Moisture Condition for Several Common Arbor and Shrub in Datong, Qinghai Province

TANG Dao-feng, HE Kang-ning, ZHU Yan-yan

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** With the aid of the Licor-6400 portable photosynthesis system, several kinds of trees under different soil water condition were measured under the simulated photosynthetic radiation. The quantitative relation contains photosynthetic rate, stomatic conductivity, intercellular  $CO_2$  concentration, transpiration rate and so on, and analysis data with SPSS. the relation between water utilization efficiency and soil water content is known, and based on this, the best condation among Pn, WUE and SWC is found, and the most product benefit under the lest water is obtained. It is the technological basis to construct the high efficiency and economic forest and manage water.

**Key words:** photosynthetic rate; water utilization efficiency; soil water content

我国是一个严重缺水的国家, 水资源匮乏和配置不佳一直是困扰我国农林业发展的主要问题, 因此合理利用水资源, 提高水分利用效率引起多方面人士的注意, 而从作物本身的生理特性, 研究其光合、水分利用效率与土壤含水量及其它影响因素的关系却很少引起人们的注意。本文以单位耗水的林木产量为准则, 在高产高效的原则下, 结合净光合速率和水分利用效率与土壤含水量的关系, 在保证光合生产的同时提高水分利用效率, 寻找林木的最适宜水分条件, 并为调控和提高水分利用效率提供理论基础。

### 1 研究区概况

试验地位于青海省大通县塔儿镇塔儿沟村, 地处半浅山半脑山区, 平均海拔 2 660 m。该地区属温带高原大陆性气候, 干燥度 0.71, 年均温 2.8℃, 无霜期 97d。多年平均降水量 508.7 mm, 年内分配非常不均, 6~9 月份降水占全年降水量的 71%, 多年平均水面蒸发量 834.2 mm, 最大蒸发出现在 4~6 月, 表现出典型的北方春旱的特征。试验区土壤类型为黄土母质上发育的山地棕褐土和栗钙土, 土壤深厚。

### 2 实验方法

本研究在青海省大通地区实验基地上进行, 利用盆栽方法对苗木进行水分控制, 获得不同水分梯度。试验材料为霸

王 (*Zygophyllum xanthoxylum*)、匙叶小檗 (*Berberis vernae*)、中宁枸杞 (*Lycium barbarum*)、四翅滨藜 (*Atriplex Canescens*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、北方枸杞 (*Lycium Chinense var. potaninii*)、白榆 (*Ulmus pumila*)、白云杉 (*Picea glauca*)、祁连圆柏 (*Sabina przewalskii*)。每个树种取 15 株, 每株苗木在其中上层各取 2 片健壮的叶子, 利用 Li-6400 便携式光合仪观测。观测参数包括: 净光合速率 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、蒸腾速率 ( $T_s$ )、细胞间隙  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 等。土壤重量含水量 ( $SWC$ ) 利用 TDR 水分仪进行测定。测定时间为每天上午 9:00~11:00 时, 人工控制光强为  $1\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 此时段是一天中光合速率最高的时间, 所以除土壤水分条件之外, 可以认为其它环境因子对光合生理参数的影响较小。本研究最终目的是通过测定, 分析净光合速率 ( $P_n$ ) 和水分利用效率 ( $WUE$ ) 对不同土壤水分做出的响应, 确定出不同树种适宜的水分范围以及能允许的土壤亏缺程度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 净光合速率和土壤含水量

关于光合作用的变化与土壤水分关系的研究, 在农业领域的研究比较丰富。山仑等的研究表明: 在作物生长过程中轻度的干旱对叶片光合速率有促进作用<sup>[1]</sup>。因此确定林木净光合速率的最适宜性土壤含水量, 对于节约水源, 提高林

\* 收稿日期: 2006-06-14

基金项目: 国家自然科学基金 (30371172); 教育部科学技术研究项目 (重大 10407)

作者简介: 唐道锋 (1981-), 硕士, 主要研究方向: 水土保持、林业生态工程建设; 责任作者: 贺康宁, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 水土保持、林业生态工程建设、抗旱造林技术。

木的水分利用效率具有重要的现实意义。

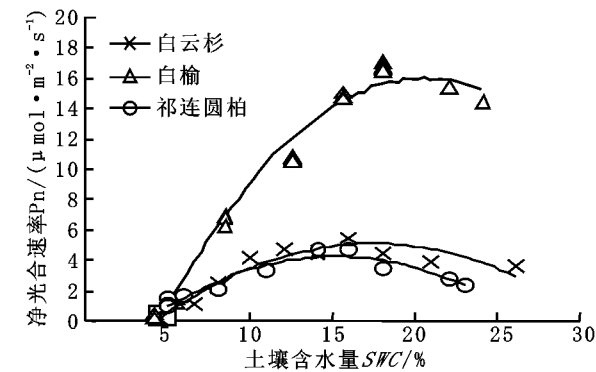


图1 净光合速率与土壤含水量关系

由图1, 2, 3可以看出各种林木的净光合速率随土壤含水量的变化具有相同的趋势: 初始阶段净光合速率随土壤含水量的增加而增加, 当土壤含水量到达某一个临界值后, 净光合速率达到最大值, 而且在这个临界值附近净光合速率随土壤含水量变化的趋势不太明显, 但是始终维持较大值。而后随土壤含水量增加净光合速率开始降低。净光合速率随土壤含水量的这种变化趋势总体上符合二次三项式的形式表(1)。

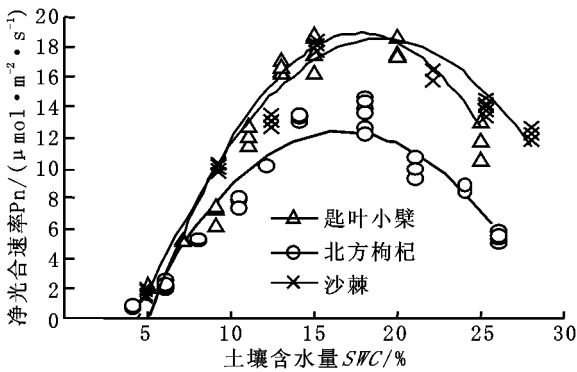


图3 净光合速率与土壤含水量关系

在图1三种乔木中可以看出阔叶树种白榆的最大  $P_n$  达到了  $15.9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 白云杉和祁连圆柏的  $P_n$  较小, 其最大值只有  $5.06 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $4.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在图2和图3中可以看出灌木都有较大的  $P_n$  值; 其中匙叶小檗的  $P_n$  最大值为  $18.86 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 最小的北方枸杞其  $P_n$  最大值也达到了  $12.41 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由此可见灌木和阔叶乔木都具有较高的生产力, 而云杉和祁连圆柏等针叶树种的生产力较低。

根据(表1)的拟合方程, 我们可以求出当  $P_n=0$  时对应的  $SWC$ ,  $P_n=0$  时的  $SWC$  称之为土壤水合补偿点。水合补偿点是植物净光合速率为零时的临界水势值<sup>[2]</sup>, 一般认为, 植物的水合补偿点越低, 表明植物在干旱的条件下, 忍耐干旱的能力也就越强<sup>[3]</sup>。而且在干旱条件下林木的生长及其光合产量也成为衡量树种耐旱能力的主要指标之一<sup>[4]</sup>。本文通过计算得出青海大通常见9种乔灌木的土壤水合补偿点(表2)。

土壤水分对于树木的生长有一个最高、最适、最低的三个基本点。最低即上面所说的土壤水合补偿点; 最高就是本文所探讨的最适宜土壤水分含量。本文根据(表1)的拟合方程分别求出了各乔灌木  $P_n$  最大值及其所对应的  $SWC$ , 即以光合产量为标准的最适宜  $SWC$ 。如果设定相当于80%最大  $P_n$  相对应的  $SWC$  为适宜土壤含水量的界限, 即当  $P_n$  的降低幅度在20%以下时是可以接受的, 可以以此来确定林木最适宜生长的  $SWC$  范围。表2为各林木以光合产量为标准的最适宜  $SWC$  及其范围。

由表2中可以看出当各林木净光合速率达到最大时对应

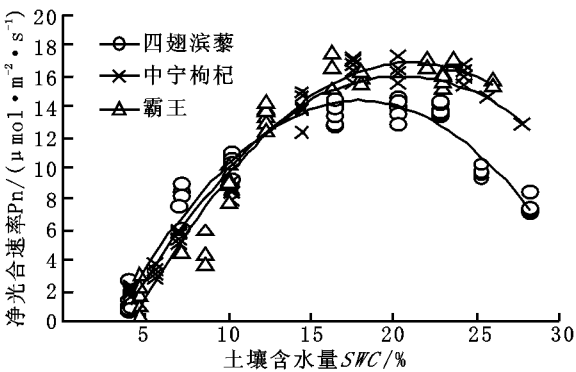


图2 净光合速率与土壤含水量关系

土壤含水量的要求比较高, 一般在  $15.21\% \sim 21.72\%$ ; 而其最适  $SWC$  范围的上限值为  $20.5\% \sim 25.8\%$ 。这种高水分的消耗在青海大通地区不能实现。孙景生等通过对作物叶片光合速率、蒸腾速率、气孔阻力与土壤水分变化之间的关系的研究, 从叶片水平探讨提高光合、水分利用效率的方法, 提出指导作物生长的适宜土壤水分上下限指标<sup>[5]</sup>。因此我们采用最适  $SWC$  范围的下限值与最适  $SWC$  之间的土壤含水量作为高效林业生产所需的最佳水分配置。在此理论指导下确定在青海大通地区霸王、匙叶小檗、中宁枸杞、四翅滨藜、沙棘、北方枸杞、白榆、云杉、祁连圆柏9种乔灌木最适宜生长的土壤水分含量分别为:  $14.2\% \sim 21.07\%$ 、 $12.2\% \sim 17.69\%$ 、 $12.8\% \sim 20.36\%$ 、 $11.4\% \sim 17.82\%$ 、 $11.0\% \sim 21.72\%$ 、 $11.4\% \sim 16.79\%$ 、 $13.5\% \sim 20.46\%$ 、 $11.4\% \sim 17.48\%$ 、 $9.8\% \sim 15.21\%$ 。

表1 净光合速率与土壤含水量关系的数学拟合方程

树 种	拟合方程	相关系数
白 榆	$Y = -0.0629x^2 + 2.5773x - 10.496$	0.9725
白云杉	$Y = -0.028x^2 + 0.9791x - 3.4984$	0.8836
祁连圆柏	$Y = -0.0309x^2 + 0.9399x - 2.9091$	0.8891
匙叶小檗	$Y = -0.1168x^2 + 4.1326x - 17.694$	0.9235
沙 棘	$Y = -0.0871x^2 + 3.2903x - 12.568$	0.9246
北方枸杞	$Y = -0.0792x^2 + 2.6597x - 9.9182$	0.9271
中宁枸杞	$Y = -0.0564x^2 + 2.2961x - 7.335$	0.9698
霸 王	$Y = -0.0595x^2 + 2.5075x - 9.0533$	0.9486
四翅滨藜	$Y = -0.0659x^2 + 2.3493x - 6.5804$	0.9627

表2 土壤水合补偿点和  $P_n$  最大值及其对应的  $SWC$

树种	水合补偿点/%	$P_n$ 最大值/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	最适 $SWC$ /%	最适 $SWC$ 范围/%	
				下限	上限
白 榆	4.59	15.90	20.46	13.5	24.0
白云杉	4.04	5.06	17.48	11.4	23.4
祁连圆柏	3.49	4.25	15.21	9.8	20.5
匙叶小檗	4.98	18.86	17.69	12.2	23.1
沙 棘	4.76	16.47	21.72	11.0	23.8
北方枸杞	4.27	12.41	16.79	11.4	22.2
中宁枸杞	3.27	16.05	20.36	12.8	25.8
霸 王	3.99	17.36	21.07	14.2	25.6
四翅滨藜	3.06	14.36	17.82	11.4	24.5

### 3.2 水分利用效率与土壤含水量

$WUE$  指植物消耗单位水量所产生的同化物量<sup>[6]</sup>。在我国中西部地区农林业对水资源合理利用的核心是尽可能的提高水分利用率和水分利用效率<sup>[7]</sup>; 植物水分利用效率一般从三个层次来表达: 叶片水平上的水分利用效率, 群体水平上的水分利用效率和产量水平上的水分利用效率<sup>[8]</sup>。本文针对叶片水平上的水分利用效率随  $SWC$  不同而变化的规律进行研究。

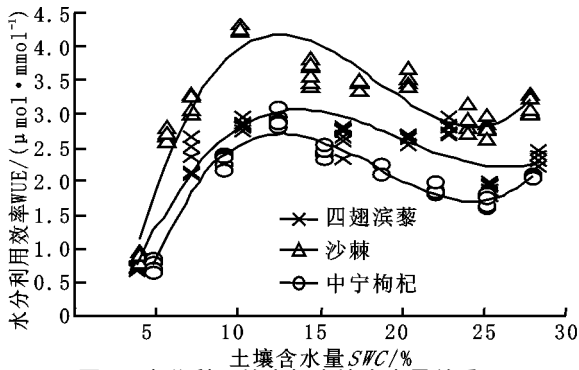


图 4 水分利用效率与土壤含水量关系

叶片水分利用效率是在干旱环境条件下确定栽培植物的种类、种植方式和评价其水分生产力的重要指标。研究认为植物的水分利用效率并非在水分充足时最高,而是在适度的水分胁迫范围内,随着叶片气孔导度的适度减小,  $T_r$  与  $P_n$  均下降,但由于蒸腾作用对水分胁迫的反应比光合作用敏感,蒸腾作用超前光合作用下降,  $T_r$  的下降速率大于  $P_n$  的下降速度,  $WUE$  反而提高;作物适度水分亏缺仍可获得较高的产量。依据这些研究成果,国外已经发展成为调控灌溉理论。国内提出了控制交替灌溉的概念和方法。这些理论的提出和方法的实施,实现了由丰水高产型灌溉向节水优产型灌溉的转变。由图 4、5、6 中可以看出,各林木的水分利用效率随着  $SWC$  的变化具有相似的变化趋势。

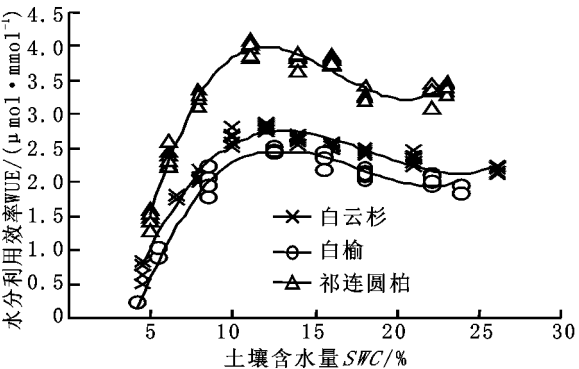


图 6 水分利用效率与土壤含水量关系

在  $SWC$  小于 10% 左右时各林木的  $WUE$  值比较低,但是随  $SWC$  的增加而提高的趋势明显,也就是说此时  $WUE$  和  $SWC$  的关系密切,  $SWC$  是限制  $WUE$  的主要因素。随着  $SWC$  的继续增加,  $WUE$  对  $SWC$  的变化反应不太敏感,变化较小。研究证明  $WUE$  对  $SWC$  的变化有一阈值反应,在这个阈值内,  $WUE$  随  $SWC$  变化较小且维持在较高水平上。这种变化趋势符合三次四项式的关系(表 3)。并且根据拟合公式可求出水分利用效率最高时所对应的  $SWC$ (表 4)。

我们以相当于 80% 最大  $WUE$  作为这个阈值的允许范围,即当  $WUE$  的降低幅度在 20% 以下时是可以接受的,可以以此来确定林木水分利用效率最佳的  $SWC$  范围。表 4 为各林木以水分利用效率为标准的最适宜  $SWC$  及其范围。

由表 4 可以看出,林木叶片水分利用效率对土壤水分的条件要求不高,在土壤水分较低的情况下即达到了最大值,以叶片水分利用效率所需的最佳土壤含水量作为林木生长的最适宜水分条件,对在青海大通地区开展高效节水型林业更具有一定的可行性和现实意义。

在此理论下,我们以水分利用效率的最适宜水分条件为准则,采用最适  $SWC$  范围的下限值与最适  $SWC$  之间的土壤含水量作为高效林业生产所需的最佳水分配置。得出:霸王、匙叶小檗、中宁枸杞、四翅滨藜、沙棘、北方枸杞、白榆、云杉、祁连圆柏 9 种乔灌木最适宜生长的土壤水分含量分别

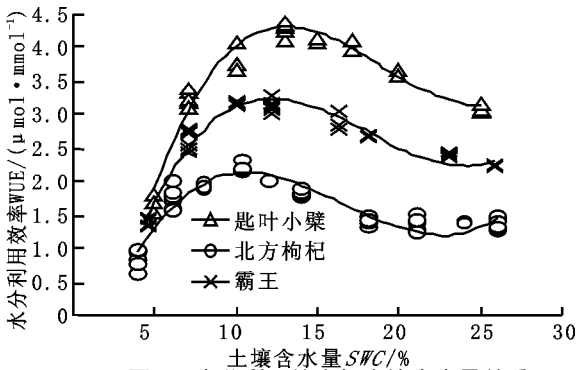


图 5 水分利用效率与土壤含水量关系

为: 8.5% ~ 12.49%、7.8% ~ 12.82%、7.8% ~ 12.86%、8.6 ~ 9.87%、8.5% ~ 12.27%、8.4% ~ 10.78%、8.2% ~ 13.61%、7.5% ~ 13.52%、7.8% ~ 12.06%。

表 3 水分利用效率和土壤含水量相互关系的拟合方程

树种	拟合方程	相关系数
白 榆	$Y = 0.0014x^3 - 0.0711x^2 + 1.1575x - 3.5564$	0.9692
白云杉	$Y = 0.0011x^3 - 0.0596x^2 + 1.0085x - 2.6518$	0.9683
祁连圆柏	$Y = 0.0025x^3 - 0.1221x^2 + 1.854x - 4.9965$	0.9697
匙叶小檗	$Y = 0.0014x^3 - 0.0813x^2 + 1.3944x - 3.2329$	0.9549
沙 棘	$Y = 0.0016x^3 - 0.09x^2 + 1.4858x - 3.5265$	0.9019
北方枸杞	$Y = 0.0011x^3 - 0.054x^2 + 0.7808x - 1.3769$	0.8582
中宁枸杞	$Y = 0.0013x^3 - 0.0705x^2 + 1.1681x - 3.3745$	0.9551
霸 王	$Y = 0.0012x^3 - 0.0641x^2 + 1.0397x - 2.0537$	0.9544
四翅滨藜	$Y = 0.0003x^3 - 0.0501x^2 + 0.9016x - 2.0489$	0.8915

表 4 水分利用效率最大值及其对应的土壤含水量

树种	$WUE$ 最大值/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )	最适 $SWC$ /%	最适 $SWC$ 范围/%	
			下限	上限
白 榆	2.56	13.61	8.2	20.2
白云杉	2.81	13.52	7.5	18.5
祁连圆柏	3.99	12.06	7.8	16.5
匙叶小檗	4.23	12.82	7.8	18.5
沙 棘	4.11	12.27	8.5	21.1
北方枸杞	2.14	10.78	8.4	18.6
中宁枸杞	2.75	12.86	7.8	19.0
霸 王	3.27	12.49	8.5	20.9
四翅滨藜	2.43	9.87	8.6	20.0

## 4 结论与分析

注重光合产量得出的各林木最适宜生长的水分条件:霸王、匙叶小檗、中宁枸杞、四翅滨藜、沙棘、北方枸杞、榆树、云杉、祁连圆柏分别为: 14.2% ~ 21.07%、12.2% ~ 17.69%、12.8% ~ 20.36%、11.4% ~ 17.82%、11.0% ~ 21.72%、11.4% ~ 16.79%、13.5% ~ 20.46%、11.4% ~ 17.48%、9.8% ~ 15.21%。

注重水利利用效率得出的各林木最适宜生长的水分条件:霸王、匙叶小檗、中宁枸杞、四翅滨藜、沙棘、北方枸杞、榆树、云杉、祁连圆柏分别为: 8.5% ~ 12.49%、7.8% ~ 12.82%、7.8% ~ 12.86%、8.6 ~ 9.87%、8.5% ~ 12.27%、8.4% ~ 10.78%、8.2% ~ 13.61%、7.5% ~ 13.52%、7.8% ~ 12.06%。

以上研究是基于某种造林需求基础上得出的结论,各林区可以根据当地的水分条件 and 生产目的选择适宜的水分配置,有必要的情况下可以二者结合,确定适宜的水分条件。另外该研究的林分管理标准是基于青海大通地区的气候特点和以提高林分的生产效率为宗旨的,并非以充足供水的最高产量为目标,所以只适用于无灌溉条件的林业生产模式。

(下转第 311 页)

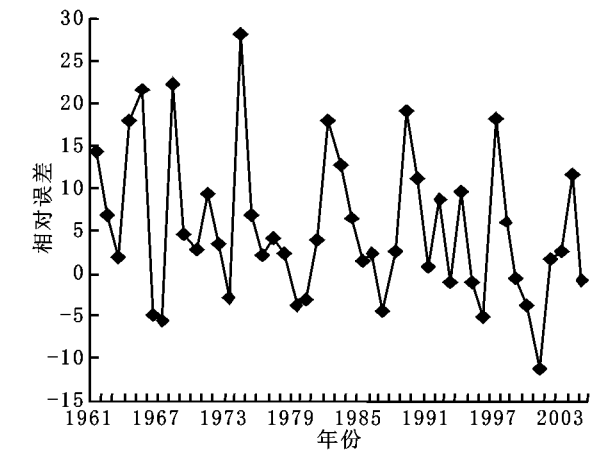


图 4 ARIMA(2, 1, 12) 模型拟合结果

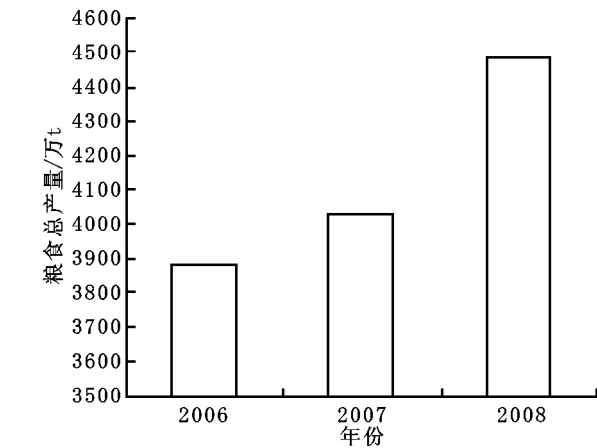


图 6 山东省粮食总产量预测值

#### 4 粮食总产量预测

利用 ARIMA(2, 1, 12) 模型预测未来三年内山东省粮

参考文献:

- [1] 石美娟. ARIMA 模型在上海市全社会固定资产投资预测中的应用[J]. 数理统计与管理, 2005, 24(1): 69–74.
- [2] G P E Box, G M Jenkins. Time Series Analysis: Forecasting and Control [M]. San Francisco: San Francisco Press, 1978.
- [3] 高雷, 张蕾. 基于市场周转率的股票市场收益预测[J]. 经济经纬, 2004, (6): 127–128.
- [4] 李勇, 等. 基于乘积 ARIMA 模型的产品不确定性需求预测[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1): 60–62.
- [5] 韦丽琴, 等. ARIMA 模型在交通事故预测中的应用[J]. 包头医学院学报, 2004, 20(4): 287–288.
- [6] 史其信, 郑为中, 等. 道路网短期交通流预测方法比较[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(4): 68–71.
- [7] 张莹, 等. 露天矿一类时间参数的 ARIMA 模型预测[J]. 矿冶, 2004, 13(4): 80–82.

(上接第 308 页)

参考文献:

- [1] 山仑, 徐萌. 节水农业及其生理生态基础[J]. 应用生态学报, 1991, 2(1): 70–76.
- [2] 李吉跃. 油松侧柏苗抗旱特性初探[J]. 北京林业大学学报, 1988, 10(2): 23–30.
- [3] 汤章城. 名词解释[J]. 植物生理学报, 1984, (3): 71–72.
- [4] 朱万泽. 台湾桉木种源对水分胁迫的光合响应及其抗旱性[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 170–173.
- [5] 孙景生. 冬小麦水分生理特征与适宜土壤水分指标研究[A]. 作物栽培生理研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 121–124.
- [6] 刘庚山, 郭安红. 不同覆盖对夏玉米叶片光合和水分利用效率日变化的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 152–156.
- [7] 山仑. 植物生理学与国土整治[J]. 植物生态学通讯, 1994, 30(3): 218–227.
- [8] 王天铎, 等. 小麦对水的利用效率的实验研究—单叶与群体测定结果的对比分析[A]. 中国科学院禹城综合实验站年报(1988–1990)[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 4–13.

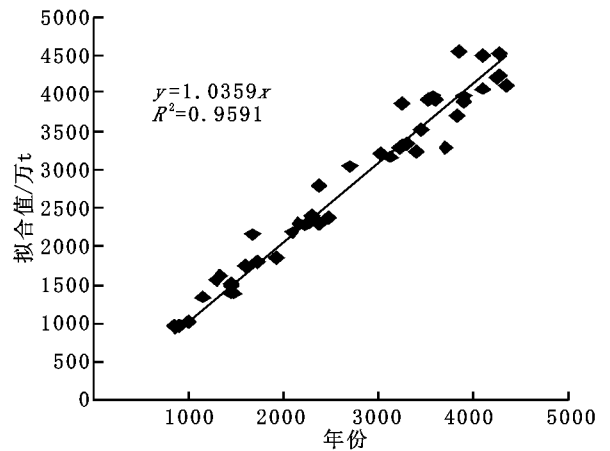


图 5 粮食总产量拟合值与观测值关系

食总产量, 预测结果如图 6。由图 6 可知, 未来三年内山东省粮食总产量有逐年上升的趋势, 且增长率逐年上升, 2007 年相对于 2006 年的增长率为 3.770%, 而 2008 年总产量值将达到 4 485.618 万 t, 相对于 2007 年的增长率为 11.262%。因此, 有关部门应该根据粮食产量变化的事实制定合理的经济政策, 以保证山东省经济的快速发展。

#### 5 结 论

分别利用传统时间序列分析模型(线性回归、二次滑动平均、一次平滑、二次指数平滑和三次指数平滑等)和 ARIMA(2, 1, 12)模型拟合了山东省粮食总产量, 结果表明, 在传统时间序列模型的拟合结果中, 一次平滑、二次指数平滑和三次指数平滑模型较理想; 相对于传统时间序列模型, ARIMA(2, 1, 12)模型得到的山东省粮食总产量拟合值与观测值的相对误差处于  $\pm 10\%$  和  $\pm 5\%$  范围内的分别为 73.333% 和 53.333%, 拟合精度显著提高。利用 ARIMA(2, 1, 12)模型预测未来三年内山东省粮食总产量, 结果表明, 粮食总产量有逐年上升的趋势, 且上升率逐年提高。