

黄土丘陵区不同经济作物光合作用特性研究

张宁宁¹, 刘普灵¹, 王栓全², 陈龙飞³

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为研究延安燕沟流域 5 种传统作物的光合作用特性及其与环境因子的相关关系,运用美国产 Li—6400 便携式光合作用系统对 5 种作物的光合特性和环境因子进行了测定,结果表明:(1) 西葫芦(*Cucurbita pepo*)和甘蓝(*Brassica oleracea*)的净光合速率日变化呈“单峰型”,即没有光合“午休”现象,而茄子(*Solanum melongena* L.)、黄瓜(*Cucumis sativus* L.)和甜瓜(*Cucumis melo* L.)均呈现明显“双峰型”特征,光合“午休”现象明显;(2) 5 种作物中甜瓜叶片的蒸腾速率最大,其他依次为西葫芦、甘蓝、黄瓜、茄子;(3) 相对于甘蓝而言,茄子和黄瓜的气孔导度日变化相对平缓;(4) 甘蓝的胞间 CO₂ 浓度呈“双峰型”,茄子、黄瓜和甜瓜均呈现先下降后上升的趋势,即“V”型,西葫芦呈上升—下降—上升趋势,即“N”型;(5) 5 种作物的光合有效辐射(PAR)和相对湿度(RH)与净光合速率(P_n)均呈极显著正相关($p < 0.01$)。

关键词:经济作物; 光合作用特性; 环境因子; 日变化

中图分类号:Q945.11

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0269-05

Study on Photosynthetic Characteristics of Different Cash Crops

ZHANG Ning-ning¹, LIU Pu-ling¹, WANG Shuan-quan², CHEN Long-fei³

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The photosynthetic characteristics of five traditional crops in Yangou Basin, Yan'an city and its correlation between the environmental factors were studied. The photosynthetic characteristics and environmental factors of five kinds of crops were investigated using Li—6400 portable photosynthesis system. The results showed: (1) the diurnal changes of P_n of *Cucurbita pepo* L. and *Brassica oleracea* were a single-peak curve which meant they didn't have the phenomenon of 'midday depression of photosynthesis', and the diurnal changes of P_n of *Solanum melongena* L., *Cucumis melo* and *Cucumis sativus* Linn showed a typical double—peak curve with a visible 'midday depression of photosynthesis'; (2) the diurnal changes of Tr was in the order of *Cucumis melo* > *Cucurbita pepo* L. > *Brassica oleracea* > *Cucumis sativus* Linn > *Solanum melongena* L.; (3) the diurnal changes of G_s of *Solanum melongena* L. and *Cucumis sativus* Linn were flatter than *Brassica oleracea*; (4) the diurnal changes of C_i of *Brassica oleracea* showed a double—peak curve, a 'V-type' curve was showed in *Solanum melongena* L., *Cucumis sativus* Linn and *Cucumis melo*, a 'N-type' curve was showed in *Cucurbita pepo* L.; (5) there was a significant ($P < 0.01$) positive relationship between the P_n, PAR and RH in the five crops.

Key words: cash crops; photosynthesis; environmental factor; diurnal change

近年来,随着退耕还林还草工程在黄土高原地区的实施,陕北黄土丘陵区坡耕地面积大幅度减少,为

了合理利用有限土地资源,提高农田产出率,传统的种植制度已经在逐渐改变,使得瓜果蔬菜等经济作物

收稿日期:2011-11-03

修回日期:2011-12-26

资助项目:国家科技支撑项目农田水土保持关键技术与示范(2001BAD31B01);国家重点基础研究发展计划(2007CB407205)

作者简介:张宁宁(1986—),女,山西长治人,硕士研究生,主要从事水土保持与生态环境演变。E-mail:zhangningning1986@163.com

通信作者:王栓全(1953—),男,教授,硕士生导师,主要从事旱地农业研究。E-mail:wangshq5310@nwsuaf.edu.cn

的种植面积大幅增加,因此研究该区经济作物的生理生态特征对于优化当地土地利用和产业结构、提高农田经济效益具有重要意义。

光合作用是植物生产力构成的最主要因素,是作物品种优势的重要参考依据,研究植物光合作用有助于采取适当的栽培措施,提高植物的光合生产能力,从而提高产量和品质^[1-2]。有关蔬菜瓜果类相关经济作物的光合特性研究已有较多报道,如茄子^[3-4]、甜瓜^[5]、黄瓜^[6-8]等。但以往的研究多针对某一地区的某一种经济作物,并没有就本地区的多种作物做光合特性的对比研究,因此缺少用于指导实际生产的、不同经济作物光合效率的对比研究成果。本研究针对目前本地区经济作物光合研究现状,合理选取本区广泛种植的茄子、甘蓝、黄瓜、西葫芦及甜瓜 5 种经济作物作为研究对象,通过对大量试验数据的统计分析,以期得到本地 5 种作物的光合特性与环境因子的相关关系及各生理指标的日变化情况。旨在为本地经济作物的科学选种、栽培技术改良和相关环境因子的调控提供更为科学、翔实的理论依据。

1 研究区自然概况

研究区设于陕西省延安市宝塔区柳林镇的燕儿沟流域内。位于 $36^{\circ}28'00''$ — $36^{\circ}32'00''$ N, $109^{\circ}20'00''$ — $109^{\circ}35'00''$ E, 海拔 1 000~1 200 m, 属黄土高原丘陵沟壑区第二副区, 流域面积 46.88 km², 属暖温带半湿润偏干旱季风气候区, 年平均气温 9.8℃, 多年平均降雨量 530~580 mm, 年均日照 2 445.2 h^[9-10]。

研究区土地利用类型多样, 作物种类也多样化, 种植的经济作物主要有西红柿(*Solanum lycopersicum*), 豆角(*Phaseolus vulgaris* Linn), 茄子(*Solanum melongena* L.), 黄瓜(*Cucumis sativus* Linn), 西瓜(*Citrullus lanatus*), 甜瓜(*Cucumis melo*), 西葫芦(*Cucurbita pepo* L.), 辣椒(*Capsicum annuum* Linn), 甘蓝(*Brassica oleracea*), 南瓜(*Cucurbita moschata*)等。

2 材料与方法

2.1 材料

供试材料为研究区常见的 5 种经济作物: 茄子、甘蓝、黄瓜、西葫芦、甜瓜。5 种作物立地条件一致、水分和光照充分。

2.2 方法

试验于 2010 年 7 月, 即 5 种作物的生长旺盛期内进行。在晴朗天气, 选择长势一致, 叶龄相同的健

康叶片, 采用美国产 Li-6400 便携式光合作用系统进行测定, 每株测 1 片, 每片读取 3 个瞬时值, 重复三株, 结果取 9 个测定值的平均值。试验从每日早 8:00 到下午 18:00, 每 2 h 测定 1 次。测定参数包括: 5 种作物叶片净光合速率 [P_n , $\mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 蒸腾速率 [T_r , $\text{mmolH}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol/mol}$)、光合有效辐射 (PAR, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、气孔导度 (G_s , $\text{mmolH}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、叶片温度 (T_L , $^{\circ}\text{C}$)、大气相对湿度 (RH, $\%$)、大气 CO_2 浓度 (C_a , $\mu\text{mol/mol}$)、叶片内外水汽压差 (V_p , kPa) 等。

2.3 数据处理

利用 SPSS 13.0 软件进行方差分析和相关分析, 采用 Excel 2010 作图。

3 结果与分析

3.1 5 种作物叶片的净光合速率日变化

统计检验表明, 五种作物的净光合速率在每天的同一时间差异显著 ($\text{sig} < 0.01$)。如图 1 所示, 5 种作物中, 西葫芦和甘蓝的净光合速率日变化呈“单峰型”, 一天的最大值出现在上午 10:00, 值分别 $27.84 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $24.81 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 每天在 10:00 达到最大值后, 净光合作用速率随着时间的推移持续降低。茄子、黄瓜和甜瓜的净光合速率日变化趋势一致, 均呈现明显“双峰型”特征, 光合“午休”现象明显。茄子在每天的 10:00 和 14:00 达到峰值, 分别为 $16.67 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $20.24 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。黄瓜和甜瓜均在每天的 10:00 和 16:00 达到峰值, 黄瓜的峰值分别为 $21.69 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $23.71 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。甜瓜的峰值分别为 $23.01 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $15.69 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

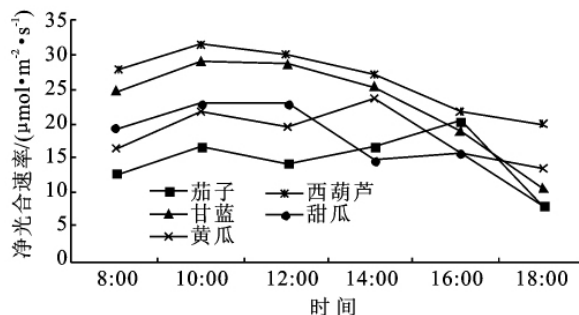


图 1 5 种不同作物叶片净光合速率日变化

3.2 5 种不同作物叶片蒸腾速率的日变化

蒸腾是植物的重要生理过程, 植物通过蒸腾作用运输矿物质、调节叶面温度、供应光合作用所需要的水分等, 与植物净光合速率关系密切。经检验 5 种作物的蒸腾速率在每天的同一时间差异显著 ($\text{sig} <$

0.01),如图2所示,5种作物叶片的蒸腾速率总体以甜瓜最大,最大值达 $11.31 \text{ mmolH}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。5种作物的蒸腾速率 14:00 以前大小顺序为甜瓜>西葫芦>甘蓝>黄瓜>茄子。甜瓜叶片蒸腾速率呈现不明显“双峰型”,于 14:00 达最大峰值,随后急剧下降。西葫芦蒸腾速率呈现“单峰型”,趋势为从 8:00 开始上升,至 16:00 到达最大值而后下降。茄子、黄瓜和甘蓝叶片的蒸腾速率从 8:00 开始,经历先下降后上升至最大值,随后下降的趋势,且三种作物蒸腾速率均在 14:00 达到最大值。

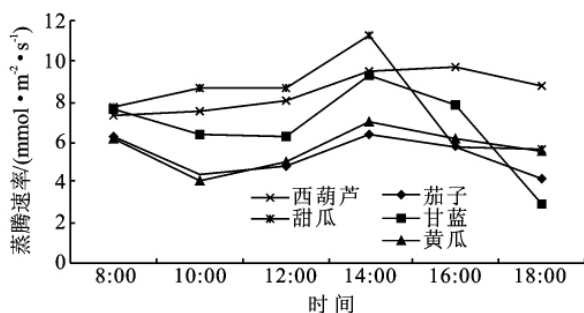


图2 5种不同作物叶片蒸腾速率日变化

3.3 5种不同作物叶片气孔导度的日变化

气孔导度指气孔张开的程度,植物的光合速率受气孔导度和碳同化过程中生物化学控制。经检验,5种作物的气孔导度值在每天的同一时间差异显著 ($\text{sig} < 0.01$)。由图3得出,茄子和黄瓜叶片的气孔导度一天中相对其他3种作物均偏低,西葫芦叶片气孔导度的一天变化曲线较为平缓,甘蓝在 14:00 以后急剧下降,这与其对应的蒸腾速率的变化趋势一致。茄子叶片气孔导度呈现“双峰型”,最大峰值为 $0.63 \text{ mmolH}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

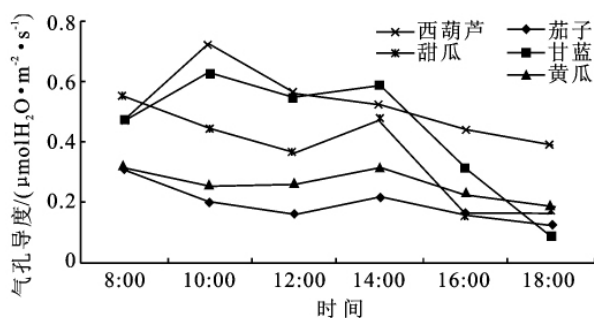


图3 5种不同作物叶片气孔导度日变化

3.4 5种不同作物叶片胞间 CO_2 浓度的日变化

CO_2 作为植物光合作用的重要底物,直接反映作物的光合作用能力,与植物的光合作用速率关系密切。经检验,5种作物的叶片胞间 CO_2 浓度值于每天的同一时间差异显著 ($\text{sig} < 0.01$),图4显示:茄子、黄瓜和甜瓜三种作物的叶片胞间 CO_2 浓度均呈现先下降后上升的趋势,即“V”型,三种作物叶片胞间

CO_2 浓度分别在当天的 10:00, 12:00, 14:00 降低至最小值,其值分别为 $191.67, 192.44, 211.78 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。西葫芦叶片胞间 CO_2 浓度呈先上升至 10:00 达一天中的最大值,然后降低至 12:00 达一天中的最小值,随后持续上升的趋势。其最大值和最小值分别为 $245.89 \mu\text{mol}/\text{mol}, 226.33 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。甘蓝叶片胞间 CO_2 浓度呈现出明显的“双峰型”,分别在一天中的 10:00 和 14:00 达到峰值,值分别为 $247.78 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 $251.11 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

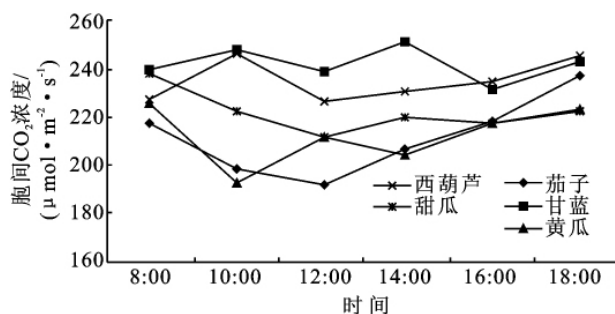


图4 5种不同作物叶片胞间 CO_2 浓度日变化

3.5 5种不同作物的光合特性与环境因子的关系

光合作用是一个十分复杂的过程,在这个过程中不同的作物对相同的生境有不同的响应。环境条件的差异性是影响作物生长发育、导致品质和产量的重要原因^[11]。

3.5.1 光合有效辐射和大气 CO_2 浓度日变化 光合有效辐射和 CO_2 浓度是直接影响植物光合作用的主要环境因素。图5是供试作物所在研究区的光合有效辐射和 CO_2 浓度的日变化。图中显示:研究区的光合有效辐射日变化呈现先上升后持续下降的趋势,在一天的 10:00 到达峰值,值为 $1671.56 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 CO_2 浓度日变化呈现“V”型,在一天中的 10:00 达到一天中的最低值,为 $338.36 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

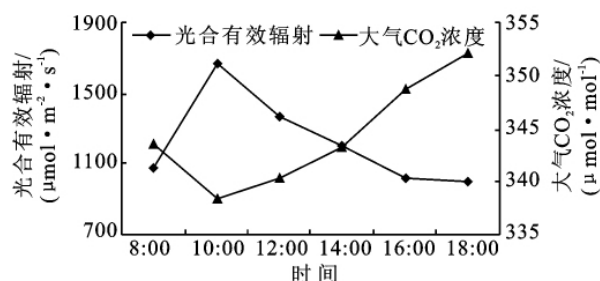


图5 光合有效辐射和大气 CO_2 浓度日变化

3.5.2 5种经济作物叶片温度和相对湿度日变化

5种作物的叶片温度(图6)除甜瓜呈现 8:00 开始上升至 16:00 达最大值,而后下降的趋势外,其他作物的变化趋势均呈现“N”型,从 8:00 开始下降至 10:00 达最小值,而后上升至 16:00 达一天的最大值,然后下降。图7显示,相对湿度日变化趋势基本趋于—

致,除甜瓜外,其他 4 种作物均于 10:00 达最大值,而后呈持续下降的趋势,甜瓜则在一天中 8:00 最高,而后持续下降。

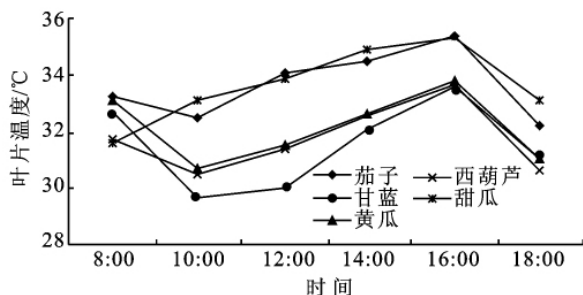


图 6 5 种不同作物叶片温度日变化

3.6 5 种作物光合特性与环境因子的相关关系

由表 1 可知,5 种作物下环境因子 PAR 和 RH 与 P_n 均呈极显著正相关($p < 0.01$)。茄子、黄瓜和

甜瓜下 Ca 与 P_n 呈极显著正相关($p < 0.01$),甘蓝和西葫芦的 Ca 与 P_n 无显著性相关关系($p > 0.05$)。茄子 P_n 与 T_L 呈极显著正相关($p < 0.01$),甘蓝和西葫芦 P_n 与 T_L 显著负相关($p < 0.05$),甜瓜 P_n 与 T_L 呈极显著负相关($p < 0.01$),黄瓜 P_n 与 T_L 无显著相关关系($p > 0.05$)。

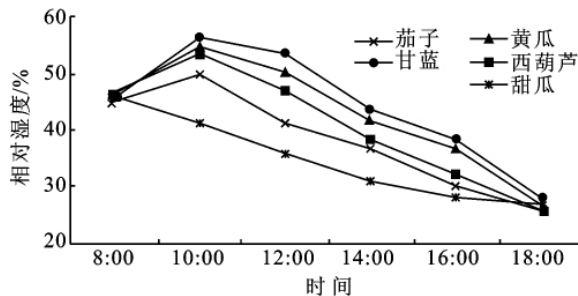


图 7 相对湿度日变化

表 1 5 种作物环境因子的相关系数

作物类型	环境因子	PAR(X_1)	RH(X_2)	Ca(X_3)	TL(X_4)	P_n
茄子	PAR(X_1)	1	0.569**	0.203	0.190	0.604**
	RH(X_2)	0.569**	1	-0.453**	-0.205	0.452**
	C_a (X_3)	0.203	-0.453**	1	0.830**	0.434**
	T_L (X_4)	0.190	-0.205	0.830**	1	0.414**
	P_n	0.604**	0.452**	0.434**	0.414**	1
甘蓝	PAR(X_1)	1	0.530**	-0.153	0.091	0.631**
	RH(X_2)	0.530**	1	-0.104	-0.482**	0.936**
	C_a (X_3)	-0.153	-0.104	1	0.240	-0.090
	T_L (X_4)	0.091	-0.482**	0.240	1	-0.339*
	P_n	0.631**	0.936**	-0.090	-0.339*	1
黄瓜	PAR(X_1)	1	0.347*	-0.162	-0.243	0.403**
	RH(X_2)	0.347*	1	0.453**	-0.166	0.556**
	C_a (X_3)	-0.162	0.453**	1	0.225	0.463**
	T_L (X_4)	-0.243	-0.166	0.225	1	-0.133
	P_n	0.403**	0.556**	0.463**	-0.133	1
西葫芦	PAR(X_1)	1	0.727**	0.066	-0.165	0.547**
	RH(X_2)	0.727**	1	0.195	-0.261	0.825**
	C_a (X_3)	0.066	0.195	1	-0.282*	0.130
	T_L (X_4)	-0.165	-0.261	-0.282*	1	-0.313*
	P_n	0.547**	0.825**	0.130	-0.313*	1
甜瓜	PAR(X_1)	1	0.217	0.493**	0.113	0.311*
	RH(X_2)	0.217	1	0.756**	-0.706**	0.821**
	C_a (X_3)	0.493**	0.756**	1	-0.291*	0.597**
	T_L (X_4)	0.113	-0.706**	-0.291*	1	-0.440**
	P_n	0.311*	0.821**	0.597**	-0.440**	1

注:表中 PAR 表示光合有效辐射($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);RH 表示相对湿度(%); C_a 表示大气 CO_2 浓度($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$); T_L 表示叶片温度($^{\circ}\text{C}$); P_n 表示净光合速率($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。* 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。

4 结论

(1) 5 种作物中西葫芦和甘蓝净光合速率呈“单峰型”,即无光合“午休”现象,茄子和黄瓜和甜瓜净光合速率呈“双峰型”,光合“午休”现象明显;5 种作物的蒸腾速率以甜瓜最大,其次为西葫芦、黄瓜、甘蓝、茄

子,其中黄瓜、甘蓝和茄子的变化趋势基本一致;5 种作物的气孔导度变化规律不一致,相对于甘蓝来说,茄子和黄瓜叶片的气孔导度一天中相对其他三种作物均偏低,甘蓝的气孔导度日变化在 14:00 后迅速下降;甘蓝的胞间 CO_2 浓度呈“双峰型”,茄子、黄瓜和甜瓜 3 种作物的叶片胞间 CO_2 浓度均呈先下降后上升

的趋势,即“V”型,西葫芦呈上升—下降—上升趋势,即“N”型。

(2) 影响不同作物的光合速率的环境因子不同,本文运用数学统计进行分析,结果显示,5种作物的PAR和RH与 P_n 均呈极显著正相关($p < 0.01$),而不同作物 P_n 与 T_L 和 C_a 的相关性不同,其中茄子、黄瓜和甜瓜下 C_a 与 P_n 呈极显著正相关($p < 0.01$)。茄子 P_n 与 T_L 呈极显著正相关($p < 0.01$),甘蓝和西葫芦 P_n 与 T_L 显著负相关($p < 0.05$),甜瓜 P_n 与 T_L 呈极显著负相关($p < 0.01$),黄瓜 P_n 与 T_L 无显著相关关系($p > 0.05$)。

参考文献:

- [1] 张振贤,郑国生,赵德婉. 大白菜光合作用特性的研究[J]. 园艺学报,1993(1):38-44.
- [2] Ceulenan S R, Mousseau M. Effects of elevated atmospheric CO₂ on woody plants[J]. New Phytologist, 1994,127(3):425-446.
- [3] 俞继华,秦舒浩,苏英杰,等. 二茺茄与快圆茄光特性的研究[J]. 甘肃农业大学学报,2002,37(3):62-66.
- [4] 高志奎,高荣孚,何俊萍,等. 温室茄子光合数学模型与光合生化模型模拟分析[J]. 生态学报,2007,27(6):

2265-2271.

- [5] 韩瑞锋,李建明,白润峰,等. 水分对甜瓜叶片光响应特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(7):123-128.
- [6] Jung S Y, Steffen K L. Influence of photosynthetic photon flux densities before and during long term chilling on xanthophyll cycle and chlorophyll fluorescence quenching in leaves of tomato[J]. Physiologia Plantarum,1997(4):958-966.
- [7] Yakir D, Rudich J, Bravdo B. Photoacoustic and fluorescence measurements of the chilling response and their relationship to carbon dioxide uptake in tomato plants[J]. Planta,1985,164(3):345-353.
- [8] 胡文海,喻景权. 低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数影响[J]. 园艺学报,2001,28(1):41-46.
- [9] 傅伯杰,陈利顶,马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J]. 地理学报,1999,54(3):241-246.
- [10] 王栓全,刘冬梅,刘普灵. 燕儿沟生态农业建设的综合效益[J]. 水土保持通报,2003,23(6):69-72.
- [11] Guo L P, Huang L Q. Ecological research on resources of Chinese herbal medicine[J]. Chinese Materia Medica,2004,29(7):615-618.

(上接第244页)

从计算涵养水源量的水量平衡法中可知,涵养水源量受林地面积、降水量及蒸散量三个指标影响。我国降水量北少南多和西少东多的地理分布,导致我国平原林业工程单位面积涵养水源量呈现从北向南、从西向东逐渐增大的特征,同时也导致了其单位面积水源涵养经济价值出现相似的分布规律。由表2可知,我国平原区单位面积涵养水源服务功能的价值变化规律,由北向南变化区间为10 448.0~34 005.8元/hm²,由西向东变化范围为8 805.8~30 334.2元/hm²。

在我国平原地区,林业的快速发展不仅为社会提供直接产品,其间接的价值也不可忽视,而且这种价值对人类的贡献比林产品提供的价值更显著。本文只是对我国平原区林业的涵养水源服务功能进行初步的、不完全的估算,随着人们对森林生态功能认识的不断深入,估算方法的不断创新,其水源涵养功能的价值估算将会更加明显和精确。

参考文献:

- [1] 姜文来. 森林涵养水源的价值核算研究[J]. 水土保持学

报,2003,17(2):34-37.

- [2] 蒋建平,武禄光. 试论平原林业[J]. 河南农业大学学报,1994,28(2):103-110.
- [3] 李冰. 加快平原林业发展:推进社会主义新农村建设[J]. 国土绿化,2006(3):26.
- [4] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [5] 程根伟,石培礼. 长江上游森林涵养水源效益及其经济价值评估[J]. 中国水土保持科学,2004,2(4):17-20.
- [6] 姜海燕,蒋春英,徐东艳,等. 辽宁东部山区森林涵养水源的生态服务功能价值估算[J]. 辽宁林业科技,2005(3):6-10.
- [7] 吴岚,秦富仓,余新晓,等. 水土保持林草措施生态服务功能价值化研究[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(9):20-24.
- [8] 侯元兆. 中国森林资源核算研究[M]. 北京:中国林业出版社,1995.
- [9] 余新晓,秦永胜,陈丽华,等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 生态学报,2002,22(5):784-786.