

海岸带不同复合农林业系统的小气候特征

彭方仁¹, 李杰¹, 黄宝龙¹, 张纪林²

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153)

摘要: 对海岸带银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)-农作物三种复合经营模式(A. 4年生叶用银杏+农作物; B. 6年生果用银杏+4年生叶用银杏+农作物; C. 6年生材用银杏+农作物)进行了小气候的同步测定和因子分析。结果表明: 太阳辐射的吸收率、空气相对湿度、防风效应都随模式内植被的立体空间层次增加而增加, 而气温、地温的日较差和水面蒸发量却随之降低。各模式中影响小气候的主导因子主要是植被结构层次和地表温度, 其因子负荷量分别为-0.9717和0.9997。三种模式中, 果用银杏-叶用银杏-农作物复合模式具有更适宜而又稳定的小气候特征。

关键词: 复合农林业; 小气候; 因子分析; 银杏; 海岸带

中图分类号: S181; S162.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2001)01-0016-05

The microclimate characteristics in different agroforestry systems of seacoast PENG Fang-ren¹, LI Jie¹, HUANG Bao-long¹, ZHANG Ji-lin² (1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Forestry Research Institute of Jiangsu, Nanjing 211153, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2001, 10(1): 16-20

Abstract: The microclimate observation and factor analyses on *Ginkgo biloba* Linn.-crop three intercropping models (A. 4-year-old leaf-utilization *Ginkgo* + crop; B. 6-year-old fruit-utilization *Ginkgo* + 4-year-old leaf-utilization *Ginkgo* + crop; C. 6-year-old wood-utilization *Ginkgo* + crop) in Chinese coast have been made. The results were as follows: The absorption rate of solar radiation, the relative air humidity and the efficiency of prevention windbreak increased with increasing of the spatial layers of vegetation in models, but diurnal range of air temperature and soil temperature and the water surface evaporation decreased. The main factors which induce the different microclimate characteristics are the vegetation structure and the top soil temperature and their factors load are -0.9717 and 0.9997, respectively. The model of *Ginkgo* for leaf and fruit utilization-crop has more optimum and stability microclimate by comparison.

Key words: agroforestry; microclimate; factor analyses; *Ginkgo biloba* Linn.; seacoast

以银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)为主的农林复合经营模式是沿海滩涂分布较广、认可程度较高的农林业复合系统类型。银杏的不同经营利用方向, 人为决定了分布于各模式的种群组成和结构的异质性及复杂性。这对系统内的辐射、水热状况、空气动力学效应将产生较大的影响。本文拟探讨沿海滩涂最具代表性的银杏复合经营园内共存植物种群的上述小气候特征, 为寻求合理的空间种群结构提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区设置

试验在江苏省东台市国营林场内进行。该地的地理坐标为32°51'~32°54' N, 120°47'~120°52' E, 处亚热带北缘, 属东亚季风气候区, 年平均气温

14.5℃, 极高、极低气温分别为37.8℃和-11.8℃, 年均无霜期220 d左右, 年均日照总时数2231.9 h, 降雨量1100 mm, 85%的年份在800 mm以上, 且以6~9月为最多, 占年降雨量的61.1%。土壤属滨海盐土, pH 8.5左右。试验地分布在500m×500m以杨树为主的防护林网格中, 杨树株行距6m×8m, 平均高7.5 m, 胸径12 cm, 林带疏透度为0.5。调查地的银杏品种均为大佛指, 田间排列为南北向。在该区设置3种不同的复合农林系统: 模式A为4年生银杏采叶园, 4年生采叶银杏(密度为0.4m×0.8m)

收稿日期: 2000-07-03

基金项目: 国家“九五”攻关课题“海岸带复合农林业综合配套技术研究”的部分内容

作者简介: 彭方仁(1963-), 男, 湖北阳新人, 博士, 副教授, 主要从事农复合经营及经济林栽培的研究。

+农作物(夏季间作花生);B为6年生果用银杏复合园,6年生果用银杏(密度为 $4\text{m} \times 3\text{m}$) + 3年生叶用银杏(密度为 $0.5\text{m} \times 0.6\text{m}$) + 农作物(春季间作蚕豆,夏季套作花生和黄豆);C为6年生材用银杏复合园,6年生材用银杏(密度为 $2\text{m} \times 8\text{m}$) + 农作物(春季小麦,夏季黄豆)。

1.2 小气候观测

在各模式内设立 $50\text{m} \times 100\text{m}$ 的样地各1块,在每块样地内根据各种群的立体配置结构设立测定带。并随机选择发育正常、生长基本一致的50株银杏标准株,逐株测定树高、地径、冠幅、叶幕厚度等形态指标。在测定带分别于银杏展叶初期(5月1日)、叶幕稳定期(6月2日)、采叶期(9月11日),从6:00到18:00每小时测定1次各模式内的小气候因子。观测项目有风速、空气温度、空气湿度、辐射、土壤温度等。辐射用DFY-2型辐射表测定,测定高度距地面2.0m的辐射包括直接辐射、反射辐射、散射辐射。风速、气温和湿度进行梯度观察,观察高度距地面1.2m和2.0m。土壤温度用地温表和曲管温度计分别测定0、5、10、15和20cm深土壤温度。由上述数据计算水面蒸发量和湿度饱和差。

1.3 计算方法

根据测定值,分别计算出各模式的辐射日总量、反射日总量、吸收日总量、日均反射率、日均吸收率、平均温度和平均湿度等。用保得洛夫经验公式 $E = d(0.35 + 0.13v)$ 计算水面蒸发量(式中 E 为水面蒸发量, d 为湿度饱和差, v 为风速);用布德柯公式 $K = 0.104\Delta u(1 + 1.38\Delta t/\Delta u^2)$,计算出湍流交换系数(式中 Δt 为距作用面2.0m和1.2m高度的温差, Δu 为距作用面2.0m和1.2m高度的风速差),用 $A = 3600 \ln[(Z_2 - Z_1)/(1/k)]$ 计算空气阻抗系数(式中 k 为湍流交换系数, Z_2 和 Z_1 为距作用面的高度2.0m和1.2m)^[1]。

对各模式的植物种群结构以植物复合的地上空间层次编码:A模式春季为1,夏秋季为2,平均为5/3;B模式春季为3,夏秋季为4,平均为11/3;C模式春夏秋冬均为2,平均为6/3。辐射吸收率、水面蒸发量、空气温度、湿度、地表温度、风速、湍流交换系数、空气阻抗系数均以三个时期测量的平均值为编码值,并将数据进行均匀化处理。然后将均匀化后的数据输入计算机,以SAS程序处理,进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 各模式的太阳辐射状况

各模式在不同生长季节中的太阳辐射状况如表1。从表1中可以看出各模式内入射辐射的日总量,呈现两低一高的趋势,这与太阳辐射随季节变化的一般规律一致。A、B、C三模式6月份的吸收辐射分别为3.893、4.010和3.771 $\text{j}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$,分别是4月份的1.17、1.20和1.19倍,9月份的1.69、1.70和1.59倍。从这些数据可以看出,6月份对太阳辐射的利用率要高于4月和9月,这主要是受太阳辐射强度的影响。但在同一观测日期,B模式的吸收日总量及日均吸收率均高于A、C,导致这一差异的主要原因在于三种模式植被组成的性质、颜色、形状及层次排列不同。相对A、C而言,B模式有更大的冠层粗糙度,对太阳多次反射,使植冠吸收的太阳辐射量增加,整体反射率减小,因而辐射利用率提高。

各模式内,太阳辐射变化的日进程都有较一致的规律。入射辐射日总量、反射日总量及日均反射率都呈现较明显的单峰曲线,峰值出现时刻在中午12:00,以三个时期测定的平均值计算,A、B和C反射率的日振幅分别在8.1%~13.2%、9.3%~12.1%和7.9%~14%的范围内。而吸收的日振幅分别为92.2%~83.6%、93.1%~87.9%和92.5%~86.7%。反射率和吸收率都以B模式的变异性最

表1 不同经营模式内的太阳辐射状况

Table 1 The solar radiation in different models

模式 ¹⁾	日期	入射日 总量 Daily direct radiation $\text{j}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	反射日 总量 Daily reflected radiation $\text{j}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	吸收日 总量 Daily absorptive radiation $\text{j}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	日均 反射率 Daily rate of reflected radiation (%)	日均 吸收率 Daily rate of absorption (%)
A	05-01	3.683	0.369	3.314	10.01	89.99
	06-02	4.558	0.478	3.893	10.93	89.07
	09-11	2.556	0.256	2.300	9.91	90.09
B	05-01	3.704	0.366	3.335	9.87	90.13
	06-02	4.462	0.453	4.010	10.14	89.86
	09-11	2.581	0.233	2.346	9.02	90.98
C	05-01	3.557	0.391	3.168	10.99	89.01
	06-02	4.560	0.490	3.771	11.51	88.50
	09-11	2.627	0.260	2.367	9.89	90.11

¹⁾ A: 4年生银杏采叶园 4-year-old leaf-utilization garden of *Ginkgo biloba*; B: 6年生果用银杏复合园 6-year-old fruit-utilization complex garden of *Ginkgo biloba*; C: 6年生材用银杏复合园 6-year-old wood-utilization complex garden of *Ginkgo biloba*

小。

2.2 各模式的水热状况

各模式气温具有周期性的变化特点,昼间变化轨迹为一单峰曲线,最高值出现在 14:00 前后,最低值出现在日出前(图 1),而且不同模式内,气温变化的日振幅也不相同,以 B 模式最小,C 模式最大。上述变化特点,在春、夏、秋三季的规律基本相同。

在各模式内,空气相对湿度的日变化,在趋势上与气温变化呈负相关,且日间形成低谷,清晨趋于饱

和(图 2)。在三个时期,均以 B 模式的日均相对湿度大于 C 模式,A 最小,彼此间变化幅度在 3% ~ 7% 左右。

计算表明,A、B、C 三模式在不同季节的日平均水面蒸发量都是 $B < A < C$,若以 6 月份为例,B 的水面蒸发量是 C 的 73%,A 是 C 的 89%。

温度的日变化见图 3。可以看出,一天中有一个最高和最低温度,但极值出现的时间以地表最早,愈向深层愈落后。土温日较差也是土壤表层最大,

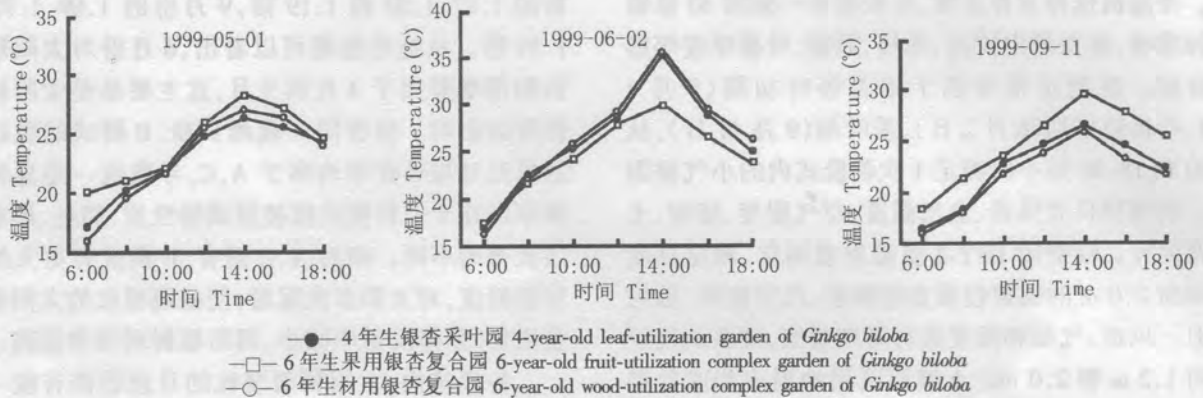


图 1 不同模式的气温日变化
Fig. 1 The daily changes of air temperature in different models

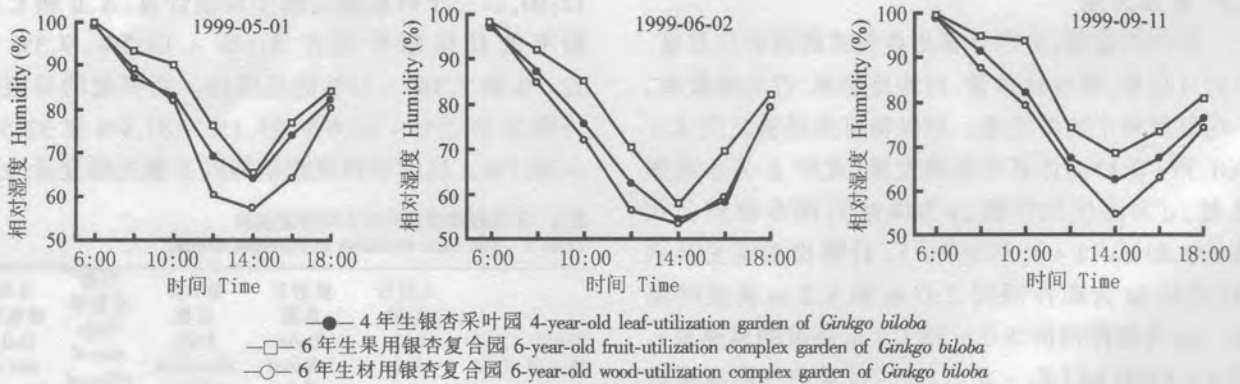


图 2 不同模式内空气相对湿度的日变化
Fig. 2 The daily changes of relative air humidity in different models

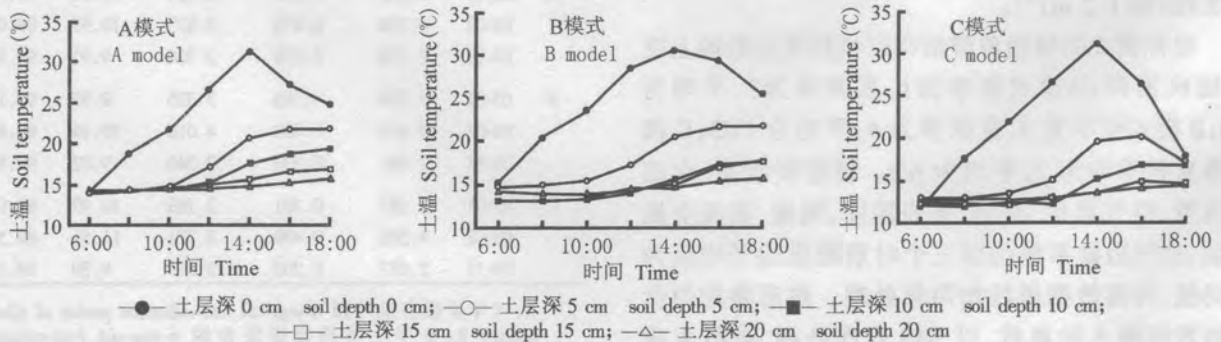


图 3 不同模式土壤温度的日变化(1999-06-02, 晴)
Fig. 3 The daily changes of soil temperature in different models (1999-06-02, sunny)

愈向深层,日较差愈小。不同模式间,土温日较差以C模式最大,B模式最小,如以6月为例,B模式0~20 cm各层土温日变幅分别为15.3、6.9、4.4、3.6和1.8℃,A模式为17.7、7.2、4.8、3.9和2.0℃,C模式为19.1、7.6、5.2、4.1和2.1℃。

经测定,夏季和秋季土温日变化规律与春季基本一致。但春秋各层土壤日均温刚好与夏季相反,以表层土为例,B模式比A模式要高2~3℃,比C要高3~5℃。土温日变化幅度,在各个季节,都是以B模式最小,C模式最大。可见,B模式相对良好的空间结构对土温和气温具有双重效应,使得增温和降温两种趋势并存,最终能保持一种较利于植物生长发育,适宜而又稳定的温度状况。同时,由于B模式相对A、C而言,有较大的植被盖度,且不同高度的植物在空间立体配置,枝叶参差,使得水汽更不易向高空逸散,因而保持了较好的水热环境。

2.3 不同模式内的空气动力学效应

沿海试区经过多年建设,已经形成了以海堤河岸为主的基干林带、沟渠上的主林带和副林带、脱盐排水沟上的辅助林带构建的大中小网格配套,多道防线联防的防护大格局^[3]。而在不同混农模式中,若进一步进行多层次立体配置,形成网格中的防护点阵,必然进一步增强各复合种群在物理气候因素上的相互关系,提高系统的稳定性和抗灾能力。从表2可以看出,因各模式的立体结构不同,空气动力学效应是不同的。在各个测定时期,B模式的平均风速、湍流交换系数都是最小的,C模式都是最大的,而空气阻抗系数正好相反。这是因为在地形地势、外界风力大小、大气温度层结构基本一致的情况下,B模式三层空间结构,形成的植冠参差不齐,气流通过上下植物枝叶的摩擦碰撞作用,动能和涡旋运动的强度进一步减弱,上下气流速度剪切缩小,从而使风速降低,乱流交换减弱,空气阻抗系数增加更

为显著。在调查期内,B模式的植物均未受到>12 m/s以上的西风 and 强度更大的龙卷风的危害,而C模式内的小麦均普遍发生中等强度倒伏(伏地角度约30°~45°),局部地方受灾严重。

表2 各模式内的空气动力学效应

Table 2 The effect of air dynamic in different agroforestry models

模式 ¹⁾ Model ¹⁾	观测时间 Time (month)	风速 Wind speed (m/s)	湍流系数 Coefficient of turbulence (m ² /s)	阻抗系数 Coefficient of resistance (m/s)
A	04	1.38	0.47	1 914.8
	06	1.73	0.50	1 692.0
	09	1.12	0.38	2 679.9
B	04	1.07	0.33	3 187.9
	06	1.19	0.41	2 406.4
	09	0.85	0.21	4 815.0
C	04	1.91	0.67	638.4
	06	2.46	0.79	45.3
	09	1.43	0.64	803.3

¹⁾ A: 4年生银杏采叶园 4-year-old leaf-utilization garden of *Ginkgo biloba*; B: 6年生果用银杏复合园 6-year-old fruit-utilization complex garden of *Ginkgo biloba*; C: 6年生材用银杏复合园 6-year-old wood-utilization complex garden of *Ginkgo biloba*

2.4 小气候特征因子的主分量分析

植物群体结构及小气候特征因子编码后建立的均匀化矩阵见表3。主成分分析结果见表4。前2个主分量累计贡献率已达100%,保留了足够的信息,随机因子干扰也不大,取前2个主分量的特征根、特征向量计算对应因子的因子负荷量。

第一主分量对标准化变量的系数, y_1 、 y_5 、 y_7 为负的最大, y_3 、 y_6 、 y_8 为正的最大,它们是模式结构、水热状况和空气动力学效应的综合因子。表示了小气候特征主要由模式结构、湿度、空气阻抗系数和蒸发量、地温、风速的对比来决定。而且第一主分量中,结构具有较大的负向负荷量,地温具有最大的正向

表3 各模式内小气候因子数据均匀化阵

Table 3 The means matrix of microclimate factors in different models

模式 ¹⁾ Model ¹⁾	结构(y_1) Structure	吸收率(y_2) Rate of the absorption	蒸发量(y_3) Evaporation	气温(y_4) Air temperature	湿度(y_5) Humidity	地温(y_6) Soil temperature	阻抗系数(y_7) Coefficient of resistance	风速(y_8) Wind speed	湍流系数(y_9) Coefficient of turbulence
A	0.681 9	0.999 9	1.019 1	0.991 4	0.982 8	1.011 6	0.837 3	0.965 7	0.926 5
B	1.500 0	1.006 3	0.835 9	0.969 2	1.059 6	0.938 3	1.217 5	0.710 1	0.647 8
C	0.818 2	0.993 9	1.145 1	1.039 5	0.957 8	1.050 2	0.945 4	1.324 2	1.431 8

¹⁾ A: 4年生银杏采叶园 4-year-old leaf-utilization garden of *Ginkgo biloba*; B: 6年生果用银杏复合园 6-year-old fruit-utilization complex garden of *Ginkgo biloba*; C: 6年生材用银杏复合园 6-year-old wood-utilization complex garden of *Ginkgo biloba*

表4 各模式小气候因子的主分量和因子负荷量

Table 4 The principal component coordination and factor load value of microclimated factors in different models

项目 Contents	气候因子 ¹⁾ Climate factors ¹⁾									特征根 Eigen- value	累计贡献 Accumulated contribution
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9		
主分量1 Principal component	-0.388 6	-0.194 0	0.378 7	0.040 3	-0.399 9	-0.373 1	0.343 5	0.326 6	6.253 1	6.253 1	0.694 8
因子负荷量 Factor load value	-0.971 7	-0.484 9	0.946 8	0.100 7	-0.941 8	0.999 7	-0.932 7	0.858 7	0.816 5		
主分量2 Principal component	0.142 5	0.527 6	0.163 7	0.600 3	0.202 4	-0.008 8	0.213 6	0.309 0	0.348 2	2.746 9	1.000 0
因子负荷量 Factor load value	0.236 6	0.975 9	0.321 6	0.996 9	0.335 9	-0.014 6	0.354 6	0.494 4	0.578 0		

¹⁾ y_1 : 结构 structure; y_2 : 吸收率 rate of the absorption; y_3 : 蒸发量 evaporation; y_4 : 气温 air temperature; y_5 : 湿度 humidity; y_6 : 地温 soil temperature; y_7 : 阻抗系数 coefficient of resistance; y_8 : 风速 wind speed; y_9 : 湍流系数 coefficient of turbulence

负荷量,反应了各模式小气候特征的差异,主要是由各模式的层次结构和地温决定的,而地温又主要受植被盖度的影响。所以,设计良好的垂直和水平结构形式,是优化各模式植物小气候的主要途径。

第二主分量主要由 y_2 、 y_4 决定,表明各模式小气候特征差异的 30.52% 主要是由于辐射吸收和气温的不同引起的,进而形成的水热状况生境条件对各模式植物生产具有重要意义。

3 结果与讨论

(1) B 模式太阳辐射的吸收率、空气相对湿度、防风效应都高于其他两模式,而太阳辐射、气温、地温的日变化振幅及水面蒸发量都低于其他两模式。可见,模式 B 有更适宜而又稳定的植物小气候特征。

(2) 立体结构和地表温度是决定各模式小气候特征的重要因子。这二者也可通过改变植被垂直结构(层次)和水平结构(盖度)进行调节。可见,农林复合经营植物种群结构设计,将最终决定植物生长发育的小环境。

(3) B 模式在不同季节有 4~5 个活动层面,即果用银杏表面、叶用银杏表面、作物表面、土壤表面,而 A、C 模式最多时才为 3 个层面,且植被盖度也低于 B 模式,这种差异导致了辐射、热量平衡各分量及

温度、湿度、风速等小气候要素的变化。由此认为,人为调整各模式内植被活动层面的高度、厚度及面积比例,可合理调节小气候因子,使其向有利于植物生长的方向变化。

参考文献

- [1] 王忠林. 渭北旱塬混农体系气候环境与光合生产研究[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(1): 10-25.
- [2] 黄寿波, 范兴海, 傅懋毅, 等. 不同林-茶栽培模式小气候特征研究[J]. 林业科学研究, 1994, 17(1): 93-100.
- [3] 张纪林, 季永华, 王健, 等. 沿海农田林网建设关键技术之经济学择优[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 219-225.
- [4] 李杰, 彭方仁, 黄宝龙, 等. 农林复合系统种群互作研究进展[J]. 世界林业研究, 1999, 12(5): 10-14.
- [5] 周国逸著. 生态系统水热原理及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 1997.
- [6] Jones H G. Plant and microclimate — A quantitative approach to environment plant physiology [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- [7] Hawke M F, Wedderburn M E. Microclimate changes under *Pinus radiata* agroforestry regimes in New Zealand [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1994, 71(2): 133-145.
- [8] Heilman J L, McInnes M J, Gesch R W, et al. Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1994, 71(1): 99-114.

(责任编辑: 宗世贤)