

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 3 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 刘孝富,王文杰,李京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 庞明月,张力小,王长波 (537)

个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 马璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 林琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 朱凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 潘延鑫,罗纨,贾忠华,等 (597)

种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 刘雨芳,李菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 马威,孙军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 张雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 侯鹏,申文明,王桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 黄辉,孟平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2 , CH_4 和 N_2O 通量特征 贺桂香,李凯辉,宋韦,等 (674)

景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 董林林,杨浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化 CO_2 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 吴小红,简燕,陈晓娟,等 (701)

资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02



封面图说: 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306091509

黄辉, 孟平, 张劲松, 郑宁, 贾长荣. 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子. 生态学报, 2014, 34(3): 667-673.

Huang H, Meng P, Zhang J S, Zheng N, Jia C R. Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 667-673.

华北低丘山地人工林蒸散的控制因子

黄 辉¹, 孟 平¹, 张劲松^{1,*}, 郑 宁¹, 贾长荣²

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 河南省济源市国有大沟河林场, 济源 454650)

摘要: 人工林蒸散的影响机制研究对指导我国林业生态工程建设有重要意义。基于涡度相关技术, 对华北低丘山区 30 年生栓皮栎-刺槐-侧柏人工混交林进行了连续 2a 的观测, 以探讨蒸散的控制因子。结果表明: 退耦系数(Ω)与冠层导度的季节动态有很好的一致性。2007、2008 年的快速生长季 Ω 变化范围分别为 0.12—0.62、0.08—0.54, 平均值分别为 0.37、0.23, 快速生长季蒸散主要受气孔控制。2008 年比 2007 年偏旱, 该年快速生长季的退耦系数、冠层导度和蒸散低于 2007 年, 发生干旱时蒸散主要受气孔限制。气孔对蒸散的限制作用在大气湿度较低时较高, 并且这种限制作用在发生干旱时会进一步加剧。快速生长季内辐射是影响蒸散的主要环境因子, 辐射资源丰富的年份气孔对蒸散的控制程度更高。

关键词: 蒸散; 退耦系数; 气孔运动; 干旱; 辐射

Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China

HUANG Hui¹, MENG Ping¹, ZHANG Jinsong^{1,*}, ZHENG Ning¹, JIA Changrong²

1 Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 Dagouhe Forest Farm of Jiyuan, He'nan 454650, China

Abstract: Water flux was measured continuously in fast growing season (from June to August) in 2007 and 2008 using the eddy covariance technique in a 30-year-old mixed plantation (*Quercus variabilis*, *Robinia pseudoacacia* and *Platycladus orientalis*) in a hilly area of the North China. The results showed that seasonal variation of decoupling coefficient (Ω) and canopy conductance (g_c) had a similar pattern. Range of Ω in 2007 and 2008 were 0.12—0.62 and 0.08—0.54 respectively. Average values of Ω in these two years were 0.37 and 0.23. Evapotranspiration (ET) was mainly controlled by stomatal movement in fast growing season. It was dryer in 2008 than in 2007, and the averages of Ω , g_c and ET in 2008 were also lower than those in 2007. Stomatal control was the main impact factor on ET in drought. The restriction from stomata on ET was higher in lower atmosphere humidity, and the restriction was aggravated in drought. Radiation was the main environmental factor that affects ET in fast growing season, and drought enhanced the control of radiation on ET . Stomatal control was stronger in the year with higher radiation.

Key Words: evapotranspiration; decoupling coefficient; stomatal movement; drought; radiation

蒸散(ET)是表征陆地生态系统水分状况的重要指标, 了解其控制机制有助于认识生态系统与气

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(31100321); 林业公益性行业科研专项课题(201104009-04)

收稿日期: 2013-06-09; 修订日期: 2013-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjs@caf.ac.cn

候的相互作用关系,以及预测气候变化对生态系统生产力的影响^[1]。植被蒸散由土壤蒸发和植被蒸腾组成,环境因子^[2-5]、植被类型及空间配置方式^[6-7]均对蒸腾产生影响。在叶片尺度上,蒸腾作用受气孔运动制约,而气孔运动又对外界环境条件非常敏感^[8-9]。Jarvis 和 McNaughton^[10]提出了一个量化植被冠层气孔行为对群落蒸腾速率控制程度的退耦系数 Ω ($0 \leq \Omega \leq 1$),当 Ω 趋于 0,植被冠层气孔对群落蒸腾的控制程度非常高,反之,当 Ω 趋于 1,则群落蒸腾更多地依赖于外界气象环境因素的控制。在不同纬度地区、不同植被类型的 Ω 值表现出很大的变异性,温带阔叶林的 Ω 值为 0.20—0.28^[11-13],而热带低地森林的 Ω 值可达 0.82—0.90^[14]。

植被冠层的蒸腾量可通过模型^[15]、树干液流^[16-17]和稳定同位素技术^[18]等方法估算和测定,然而这些估算方法复杂,且存在许多不确定性。涡度相关技术可长期连续地对植被和大气间物质和能量交换实施监测^[19-20],已被广泛应用于森林蒸散的研究^[21],在植被生长旺盛的季节,土壤蒸发仅占蒸散很小的比重,涡度相关方法测定的水汽通量可以近似地作为冠层蒸腾速率。

我国人工林保存面积为 0.62 亿 hm^2 ,居世界首位^[22],其在区域水分循环及平衡中发挥的作用不容忽视。黄河小浪底森林生态系统定位研究站位于暖温带季风气候区,是我国林业工程的重点区域。站区春旱频发,夏季高温期如遇降水不足也易发伏旱,实验区内人工林为我国华北丘陵山区造林典型树种,在该地区开展人工林蒸散的影响机制研究对我国林业生态工程建设有重要意义。本文利用涡度相关技术对该站 30 年生栓皮栎-刺槐-侧柏人工混交林进行了连续 2a 的观测,选取每年植被生长旺盛季节(6—8 月)的水汽通量数据,分析人工林蒸散和退耦系数的季节和年际变化趋势,探讨人工林蒸散的控制因子。

1 材料与方法

1.1 实验区概况及观测方法

本文实验点位于国家林业局黄河小浪底森林生态系统定位研究站($35^{\circ}01'N$ 、 $112^{\circ}28'E$,410 m;以下简称小浪底站)。定位站位于河南省济源市,地处黄河中游,属暖温带亚湿润季风气候,生长季(4—9

月)盛行风向为偏东风,年平均气温为 12.4—14.3℃,全年平均日照时数为 2367.7 h,多年平均降水量为 641.7 mm。受季风气候的影响,降水季节性分配不均,6—9 月平均降水量为 438.0 mm,占全年的 68.3%。研究区主要树种为栓皮栎(*Quercus variabilis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等,平均冠层高度约为 11 m。土壤为棕壤和石灰岩风化母质淋溶性褐土。

通量观测塔位于站区中心偏西方向的栓皮栎、侧柏、刺槐团状混交样地内等。塔高 36.0 m,塔周围 1.8 hm^2 范围平均坡度约为 12°,林木覆盖率约为 96.0%,栓皮栎、侧柏、刺槐所占比例分别约为 80%、8%和 12%。观测塔上装有涡度相关系统及微气象梯度观测系统,仪器的安装情况详见文献^[23]。

1.2 数据处理

通量数据的处理流程为:(1)对半小时观测数据进行 3 次坐标旋转^[24];(2)根据 Webb 方程对旋转后数据进行水热密度校正^[25];(3)剔除同期有降水的潜热通量数据;(4)设定潜热通量数据阈值为 $[-200, 700]$ (W/m^2),以剔除明显的异常值;(5)将数据进行连续 5 点的 3 倍方差筛选,并剔除摩擦风速低于 0.2 m/s 的夜间水汽通量数据;(6)利用平均日变化法(MDV)对潜热通量、常规气象的缺失数据进行插补^[26],时间窗口为 7 d。

1.3 数据计算

对于蒸腾作用的控制机理曾存在两种颇有争议的观点,生态生理学家认为冠层蒸腾主要由气孔控制,而微气象学家则认为辐射等环境因子对蒸腾的控制作用大于气孔。针对这一争议 Jarvis 和 McNaughton^[10]提出了一个量化植被冠层气孔行为对群落蒸腾速率控制程度的退耦系数(Ω):

$$\Omega = \frac{1 + \varepsilon}{1 + \varepsilon + g_a/g_c} \quad (1)$$

式中, ε 表示潜热相对于饱和大气中感热的变化($\varepsilon = \Delta/\gamma$), Δ 为饱和水汽压差随温度变化的斜率($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$), γ 为干湿表常数(kPa/K), g_a 和 g_c 分别为空气动力学导度和气孔导度(m/s)。

当 g_a 远远大于 g_c ($g_a \gg g_c$) 时, Ω 趋向于 0,植被冠层气孔行为对群落蒸腾的控制程度非常高,气孔的微弱变化就会引起蒸腾的相应变化,并且蒸腾作用与气孔导度、饱和差之间具有很好的线性关系。

相反,当 g_a 远远小于 g_c ($g_a \ll g_c$) 时, Ω 趋向于 1, 冠层气孔行为对蒸腾的影响很小, 此时的群落蒸腾更多依赖于外界环境的调控, 并且蒸腾对辐射的依赖程度要高于大气湿度^[13], 蒸腾速率与气孔导度的相关性较低。

本文采用每年 6—8 月的数据进行计算分析, 此期间植被快速生长的季节, 土壤蒸发占蒸散比重较小, 可用涡度相关方法实测的水汽通量来近似代替植被冠层蒸腾速率。

利用 Penman-Monteith 方程计算冠层导度 (g_c , m/s):

$$g_c^{-1} = \left(\frac{\Delta}{\gamma} \cdot \frac{H}{\lambda E} - 1 \right) r_a + \frac{\rho C_p}{\gamma} \frac{D_r}{\lambda E} \quad (2)$$

式中, Δ 为饱和水汽压曲线斜率 (kPa/K); C_p 为干空气定压比热 ($J kg^{-1} K^{-1}$); γ 为干湿表常数 (kPa/K); D_r 为参考高度处大气饱和水汽压差 (kPa); ρ 为空气

密度 (kg/m^3); H 和 λE 分别为涡度相关方法测得的感热和潜热通量 (W/m^2); r_a 为空气动力学阻力 (s/m), 与 g_a 互为倒数, 其计算方程如下:

$$r_a = \frac{1}{k^2 u_r} \left[\ln \frac{Z_r - d}{Z_0} \right]^2 \quad (3)$$

式中, k 为 von Karman 常数; Z_r 为参考高度 (m); d 和 Z_0 分别为零平面位移和地表粗糙度 (m); u_r 为参考高度处风速 (m/s)。

2 结果与讨论

2.1 环境因子的季节变化

图 1 给出了环境因子的滑动平均季节变化, 如图所示, 两年间光、温资源差异不大, 降水差异明显, 尤其在快速生长季 (6—8 月), 期间 2007 年降水为 2008 年的 1.8 倍。此外, 2008 年快速生长季辐射也显著低于 2007 年同期。

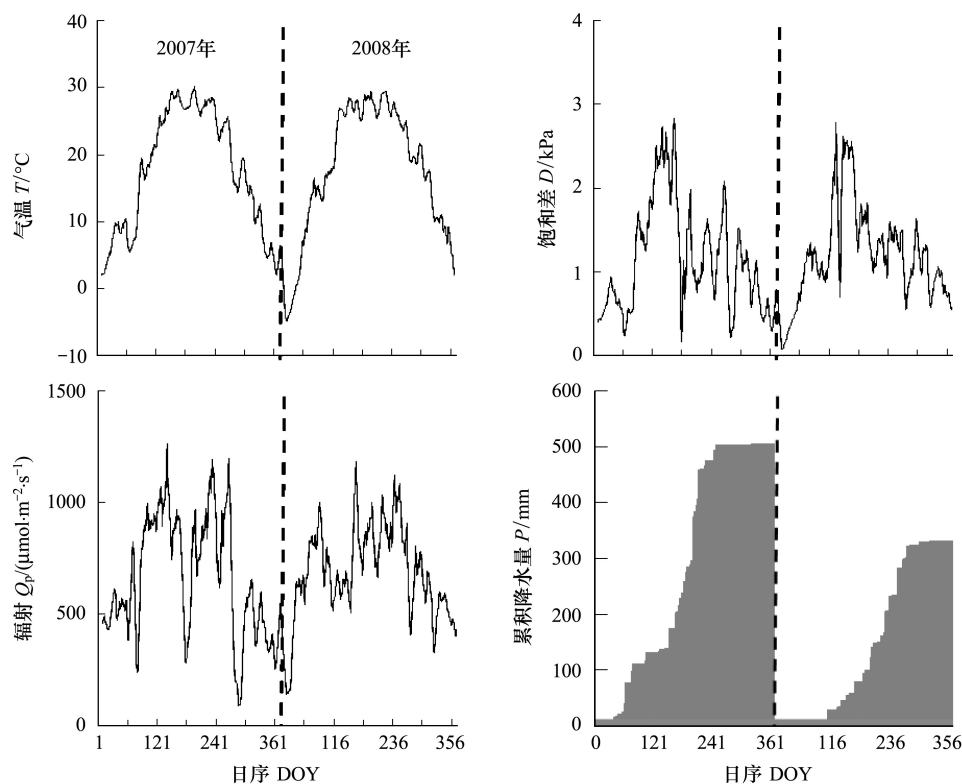


图 1 环境因子的季节变化 (图示为各要素的 10 日滑动平均)

Fig.1 Seasonal variation of environmental factors in 2007 and 2008

2.2 群落蒸散与冠层导度的季节动态

每年 6—8 月蒸散量超过全年总量的三分之一, 2007、2008 年 6—8 月蒸散分别占全年的 38.9%、34.9%, 期间降水超过全年的 50%。图 2 给出了蒸散和

冠层导度在快速生长季内的变化, 由图 2 可见, ET 和 g_c 的在两年里的变化趋势基本一致, 且 2007 年大多高于 2008 年。2007 年 6 月底 7 月中旬这段时期, ET 有一个明显的谷值区域。

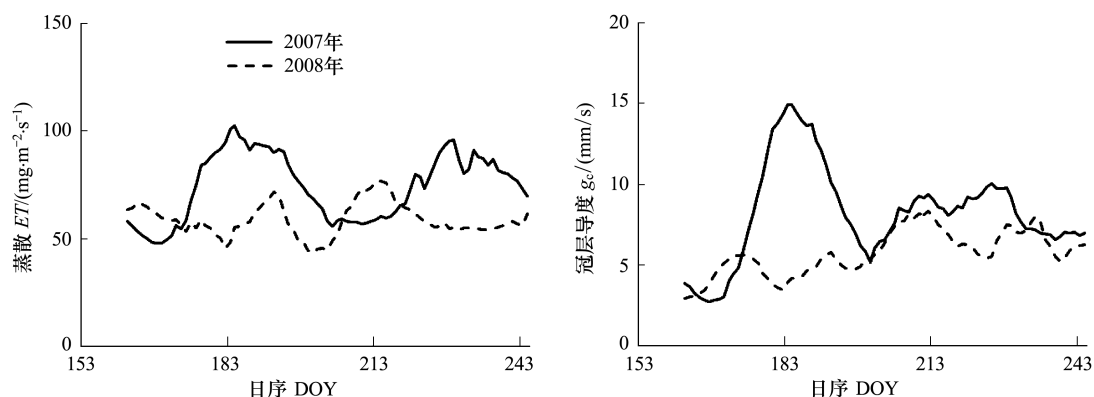


图2 快速生长季内群落蒸散和冠层导度的变化

Fig.2 Dynamics of evapotranspiration (ET) and canopy conductance (g_c) in fast growing season

2.3 退耦系数(Ω)的季节变化

图3表示退耦系数在快速生长季内的变化。由图可见, Ω 的季节动态与冠层导度(图2)有很好的-致性,2007年 Ω 整体高于2008年,两年间快速生长季 Ω 平均值分别为0.37、0.23(图4)。图5给出了退耦系数与饱和差的关系,由图可见,退耦系数随着饱和差升高而降低,并且当饱和差小于0.6kPa时,2008年 Ω 随着饱和差升高而降低的变化趋势要快于2007年;当饱和差高于0.6kPa时,两年的响应曲线斜率相差不大。

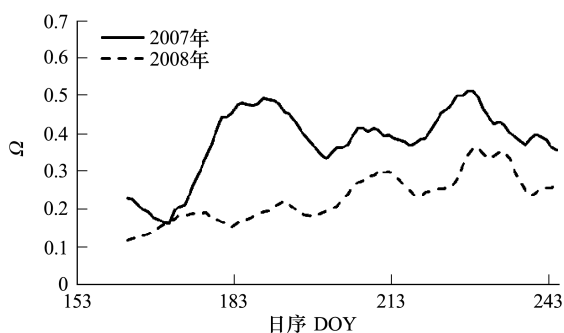


图3 退耦系数的季节变化

Fig.3 Variation of decoupling coefficient (Ω) in fast growing season

2.4 快速生长季内环境因子的比较

表1给出了快速生长季内的蒸散、冠层导度及环境因子。由表1可见,2008年快速生长季降水量较2007年偏少、偏旱,期间退耦系数(图4)、冠层导度也较2007年低。

由表1可见,两年间除降水外,辐射也有明显差异。进一步对快速生长季内蒸散和环境因子进行逐

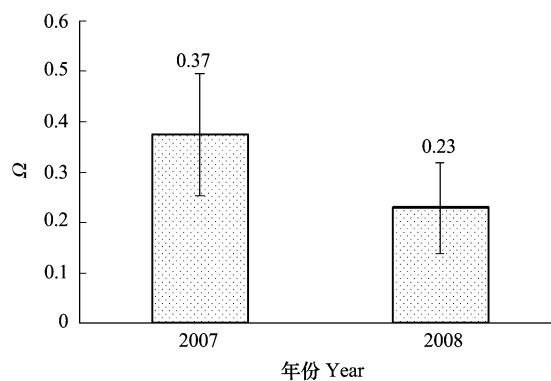


图4 退耦系数在快速生长季内的平均值

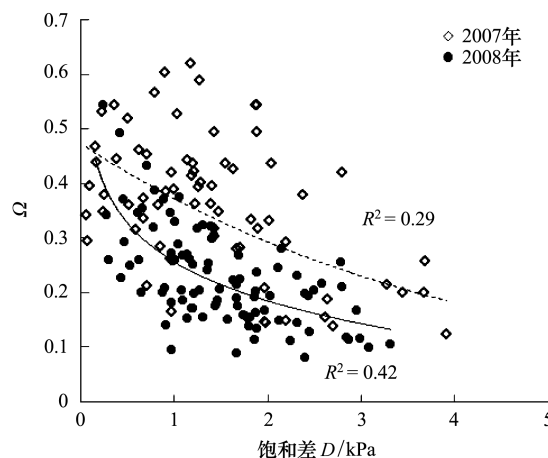
Fig.4 Average values of decoupling coefficient (Ω) in fast growing season

图5 退耦系数与饱和差的响应关系

Fig.5 Relationship between decoupling coefficient (Ω) and vapor pressure deficit (D)

步回归分析(表2)的结果表明,在快速生长季内辐射是影响蒸散的主要环境因子,尤其在干旱年份(2008年),辐射是影响蒸散的决定性环境因子。

3 讨论

退耦系数与冠层导度常表现出相似的变化趋势^[27]。图 2 显示, Ω 与冠层导度的季节动态有很好的一致性。2007 年 Ω 有 3 个峰值区域,分别为 7 月中上旬、7 月下旬和 8 月中旬,这 3 个时期蒸散对外界环境更为敏感,整个快速生长季 Ω 的变化范围为 0.12—0.62,平均值为 0.37(图 4)。2008 年快速生长季 Ω 的变化范围为 0.08—0.54,平均值为 0.23(图 4),这表明该年蒸散对气孔行为更为敏感,8 月中旬出现一个峰值区域,这段时期外界环境对蒸散的控制程度更高。

表 1 快速生长季内的蒸散、冠层导度及环境因子

Table 1 Values of ET , g_c and environmental factors in fast growing season

年份 Year	蒸散 ET^* /($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	冠层导度 g_c^* /(mm/s)	降水 P^{**} /mm	气温 T^* / $^{\circ}\text{C}$	辐射 Q_p^* /(mol/s^2)	饱和差 D^* /kPa
2007	73.0	8.0	318	27.5	791	1.4
2008	59.3	5.7	180	27.3	888	1.5

* 表示快速生长季内平均值, ** 表示生长季内总量

表 2 快速生长季内蒸散与环境因子的逐步回归分析参数

Table 2 Coefficients of stepwise regression analysis for the relationship between ET and environmental factors in fast growing season

年份 Year	变量 Variables	R	P
2007	Q_p	0.46	<0.01
	Q_p, D	0.52	<0.01
	Q_p, D, T	0.56	<0.01
2008	Q_p	0.58	<0.01

2007 年 6 月底 7 月中旬这段时期, ET 有一个明显的谷值区域(图 2),这可能是由于这段时期平均气温和饱和差比快速生长季其它日数偏低引起,即饱和差和温度^[3,23]升高或降低会引起蒸散相应地增加或降低。以往在本站的研究结果显示,人工林全年蒸散主要受温度影响,其次是辐射^[23]。由表 1 可发现,两年的快速生长季期间环境因子除降水外,辐射也有明显差异,而气温和饱和差的年际差异并不明显,进一步对此期间蒸散和环境因子进行逐步回归分析(表 2)发现,在快速生长季内辐射是影响蒸散的主要环境因子,尤其在干旱年份(2008 年),辐射是影响蒸散的决定性环境因子,表明干旱会进一步加剧辐射对蒸散的限制作用。通常,辐射较高会

有研究表明,干旱期植被的气孔导度和退耦系数显著低于水分充沛的时期^[28]。与多年平均值相比,2008 年偏旱,由表 1 可见,2008 年快速生长季降水低于 2007 年,期间退耦系数(图 4)、冠层导度、蒸散低于 2007 年。这表明,蒸散在干旱年份比水分充沛年份对气孔导度的影响更为敏感,发生干旱时蒸散主要受气孔行为限制。 Ω 随着饱和差升高而降低(图 5),表明大气湿度较低时,气孔对蒸散的限制程度也较高。在相同的大气湿度条件下,干旱年份的 Ω 要低于水分充沛年份(图 5),表明干旱会加剧大气湿度对蒸散的影响。

引起退耦系数降低^[29-30]。表 1 显示,2008 年辐射较高,退耦系数也较 2007 年低,即辐射资源丰富的年份气孔对蒸散的控制程度更高。

4 结论

(1) 退耦系数与冠层导度的季节动态有很好的一致性。2007、2008 年快速生长季 Ω 的变化范围分别为 0.12—0.62、0.08—0.54,平均值分别为 0.37、0.23,小浪底人工林在快速生长季内的蒸散主要受气孔运动控制。

(2) 干旱年份(2008 年)快速生长季退耦系数、冠层导度和蒸散低于降水充沛年份(2007 年),发生干旱时蒸散主要受气孔行为限制。气孔对蒸散的限制作用在大气湿度较低时较高,并且这种限制作用在发生干旱时会进一步加剧。

(3) 在快速生长季内辐射是影响蒸散的主要环境因子,并且干旱会进一步加剧辐射对蒸散的限制作用。辐射资源丰富的年份气孔对蒸散的控制程度更高。

References:

- [1] Williams D G, Cable W, Hultine K, Hoedjes J C B, Yepez E A, Simonneaux V, Er-Raki S, Boulet G, de Bruin H A R,

- Chehbouni A, Hartogensis O K, Timouk F. Evapotranspiration components determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 125(3/4): 241-258.
- [2] Fisher R A, Williams M, de Lourdes Ruivo M, de Costac A L, Meira P. Evaluating climatic and soil water controls on evapotranspiration at two Amazonian rainforest sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(6/7): 850-861.
- [3] Tanaka N, Kume T, Yoshifuji N, Tanaka K, Takizawa H, Shiraki K, Tantasirin C, Tangtham N, Suzuki M. A review of evapotranspiration estimates from tropical forests in Thailand and adjacent regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(5): 807-819.
- [4] Giambelluca T W, Martina R E, Asner G P, Huang M, Mudd R, Nullet M, Delay J, Foote D. Evapotranspiration and energy balance of native wet montane cloud forest in Hawai'i. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(2): 230-243.
- [5] Zhao F H, Sheng W P, Yu G R. Plant transpiration and ecosystem water balance // Yu G R, Wang Q F, eds. *Ecophysiology of Plant Photosynthesis, Transpiration, and Water Use*. Beijing: Science Press, 2010: 351-357.
- [6] Wang Y H, Xiong W, Yu P T, Shen Z X, Guo M C, Guan W, Ma C M, Ye B, Guo H. Study on the evapotranspiration of forest and vegetation in dryland. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(4): 19-25.
- [7] Matsumoto K, Ohta T, Nakai T, Kuwada T, Daikoku K, Iida S, Yabuki H, Kononov A V, van der Molen M K, Kodama Y, Maximov T C, Dolman A J, Hattori S. Energy consumption and evapotranspiration at several boreal and temperate forests in the Far East. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(12): 1978-1989.
- [8] Jarvis P G. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of Royal Society, London B*, 1976, 273(927): 593-610.
- [9] Schulze E D, Hall A E. Stomatal response, water loss, and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments // Lange O L, Nobel P S, Osmond C B, Ziegler H. *Physiological Plant Ecology II, Water Relations and Carbon Assimilation*. New York: Springer-Verlag, 1982.
- [10] Jarvis P G, McNaughton K G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 1-49.
- [11] Magnani F, Leonardi S, Tognetti R, Grace J, Borghetti M. Modelling the surface conductance of a broad-leaf canopy: effects of partial decoupling from the atmosphere. *Plant Cell and Environment*, 1998, 21(8): 867-879.
- [12] Herbst M. Stomatal behaviour in a beech canopy: an analysis of Bowen ratio measurements compared with porometer data. *Plant, Cell and Environment*, 1995, 18(9): 1010-1018.
- [13] Wullschlegel S D, Wilson K B, Hansona P J. Environmental control of whole-plant transpiration, canopy conductance and estimates of the decoupling coefficient for large red maple trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 104(2): 157-168.
- [14] Meinzer F C, Andrade J L, Goldstein G, Holbrook N M, Cavelier J, Jackson P. Control of transpiration from the upper canopy of a tropical forest: the role of stomatal, boundary layer and hydraulic architecture components. *Plant, Cell and Environment*, 1997, 20(10): 1242-1252.
- [15] Shuttleworth W J. Evaporation from amazonian rainforest. *Proceedings of Royal Society, London B*, 1988, 233(1272): 321-346.
- [16] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 1987, 3(4): 309-320.
- [17] Granier A, Loustau D. Measuring and modelling the transpiration of a maritime pine canopy from sap-flow data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1994, 71(1/2): 61-81.
- [18] Ehleringer J R, Roden J, Dawson T E. Assessing ecosystemlevel water relations through stable isotope ratio analyses // Sala O E, Jackson R B, Mooney H A, Howarth R W, eds. *Methods in Ecosystem Science*. New York: Springer, 2000: 181-198.
- [19] Foken T, Wichura B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78(1/2): 83-105.
- [20] Baldocchi D, Falge E, Gu L, Olson R, Hollinger D, Running S, Anthoni P, Bernhofer C, Davis K J, Evans R, Fuentes J, Goldstein A, Katul G, Law B E, Lee Z, Malhi Y, Meyers T, Munger W J, Oechel W, Paw U K T, Pilegaard K, Schmid H P, Valentini R, Verma S, Vesala T, Wilson K B, Wofsy S. FLUXNET: a new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, 82(11): 2415-2434.
- [21] Wilson K B, Hanson P J, Mulholland P J, Baldocchi D D, Wullschlegel S D. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 106(2): 153-168.
- [22] Department of Forest Resources Management, State Forestry Administration. The 7th national forest inventory and status of forest resources. *Forest Resources Management*, 2010, (1): 1-8.
- [23] Huang H, Meng P, Zhang J S, Gao J, Jia C R. Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(13): 3569-3580.
- [24] Wilczak J M, Oncley S P, Stage S A. Sonic anemometer tilt correction algorithms. *Boundary-Layer Meteorology*, 2001, 99

- (1): 127-150.
- [25] Webb E K, Peerman G I, Leuning R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1980, 106(447): 85-100.
- [26] Falge E, Baldocchi D, Olson R, Anthoni P, Aubinet M, Bernhofer C, Burba G, Ceulemans R, Clement R, Dolman H, Granier A, Gross P, Grünwald T, Hollinger D, Jensen N O, Katul G, Keronen P, Kowalski A, Lai C T, Law B E, Meyers T, Moncrieff J, Moors E, Munger J W, Pilegaard K, Rannik Ü, Rebmann C, Suyker A, Tenhunen J, Tu K, Verma S, Vesala T, Wilson K, Wofsy S. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 107(1): 43-69.
- [27] Chen L X, Zhang Z Q, Li Z D, Tang J W, Caldwell P, Zhang W J. Biophysical control of whole tree transpiration under an urban environment in Northern China. Journal of Hydrology, 2011, 402(3/4): 388-400.
- [28] Kumagai T, Saitoh T M, Satoh Y, Morooka T, Manfroi O J, Kuraji K, Suzuki M. Transpiration, canopy conductance and the decoupling coefficient of a lowland mixed dipterocarp forest in Sarawak, Borneo: dry spell effects. Journal of Hydrology, 2004, 287(4): 237-251.
- [29] Nicolás E, Barradas V L, Ortuño M F, Navarro A, Torrecillas A, Alarcón J J. Environmental and stomatal control of transpiration, canopy conductance and decoupling coefficient in young lemon trees under shading net. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1/3): 200-206.
- [30] Barradas V L, Nicolás E, Torrecillas A, Alarcon J J. Transpiration and canopy conductance in young apricot (*Prunus armenica* L.) trees subjected to different PAR levels and water stress. Agricultural Water Management, 2005, 77(12/3): 323-333.

参考文献:

- [5] 赵风华, 盛文萍, 于贵瑞. 植物的蒸腾作用与生态系统水分平衡//于贵瑞, 王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学. 北京: 科学出版社, 2010: 351-357.
- [6] 王彦辉, 熊伟, 于澎湃, 沈振西, 郭明春, 管伟, 马长明, 叶兵, 郭浩. 干旱缺水地区森林植被蒸散耗水研究. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 19-25.
- [22] 国家林业局森林资源管理司. 第七次全国森林资源清查及森林资源状况. 林业资源管理, 2010, (1): 1-8.
- [23] 黄辉, 孟平, 张劲松, 高峻, 贾长荣. 华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素. 生态学报, 2011, 31(13): 3569-3580.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus*
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis*
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS) MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 3 (February, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元