

太湖流域春季不同土地利用类型蒸散速率的比较

吕文^{1,2}, 杨桂山¹, 万荣荣¹, 朱青¹

(1. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100039)

摘要: 运用静态箱/红外气体分析法(static chamber/IRGA), 研究了太湖流域茶园、油菜地、小麦地和撂荒地 4 种不同土地利用类型春季蒸散速率的变化特征, 分别对 3—5 月不同生育期以及 6:00—15:00 不同时段 4 种土地利用类型蒸散速率进行了比较。结果表明, 太湖流域春季不同土地利用类型蒸散速率总体呈现逐渐增大的趋势, 但茶园修剪后蒸散速率大幅下降(36.73%), 油菜地在始花期亦突现一峰值[2.14 mmol/(m²·s)]; 4 种土地利用类型蒸散速率的日变化呈以 12:00—15:00 为峰值的单峰曲线, 但茶园修剪后蒸散速率的日变化平缓, 油菜地和小麦地蒸散速率的日变化幅逐渐增大。4 种土地利用类型 3—5 月蒸散速率日均值从大到小依次为: 茶园[2.24 mmol/(m²·s)] > 油菜地[1.48 mmol/(m²·s)] > 小麦地[1.28 mmol/(m²·s)] > 撂荒地[1.16 mmol/(m²·s)]; 3 月下旬 12:00—15:00, 以及 4 月中旬 9:00—15:00 为茶园蒸散速率极显著高于油菜地、小麦地和撂荒地的关键时期, 差异最大。

关键词: 土地利用类型; 蒸散特征; 多重比较; 太湖流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0202-08

中图分类号: K903

Comparison Study on Evapotranspiration Characteristics of Different Landuse Types in Taihu Lake Watershed

LÜ Wen^{1,2}, YANG Gui-shan¹, WAN Rong-rong¹, ZHU Qing¹

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Water vapor concentration for different landuse types (tea garden, rape field, wheat field, and fallow land) in the Taihu Lake watershed was measured using static chamber/IRGA method. Diurnal (6:00—15:00) and monthly variations of evapotranspiration were compared among these landuse types. In the monthly evapotranspiration analysis, increasing trends of evapotranspiration rates were observed for all the four landuse types in spring. However, evapotranspiration rate for tea garden decreased by 36.73% after pruning and peak evapotranspiration rate for rape field [2.14 mmol/(m²·s)] appeared in early flowering stage. Diurnal variations of evapotranspiration rates for these four landuse types showed single peak curves, which reached a maximum value between 12:00 and 15:00. However, diurnal variation of evapotranspiration rate for tea garden became little after pruning, while diurnal variations of evapotranspiration rates for rape field and wheat land increased with the growing stages of rape and wheat. Daily mean values of evapotranspiration rates of the four landuse types were in the order of tea garden [2.24 mmol/(m²·s)] > rape field [1.48 mmol/(m²·s)] > wheat land [1.28 mmol/(m²·s)] > fallow land [1.16 mmol/(m²·s)]. Between 12:00 and 15:00 in late March and between 9:00 and 15:00 in late April, evapotranspiration rate of tea garden was significantly greater than those of rape field, wheat land and fallow land.

Keywords: landuse type; evapotranspiration characteristic; multiple comparison; Taihu Lake watershed

蒸散作用, 作为生态系统水分流失途径之一^[1], 受到气候、植被、土壤等自然因素和各种人类活动的影响^[2], 而人类活动主要通过改变土地利用方式影响生态系统蒸散作用来改变流域的水分收支状况。国

内外学者已经在不同土地利用类型之间开展过蒸散作用的比较, 例如不同农作物之间^[3], 中国北方不同造林树种^[4], 太行山低山区不同灌草丛群落之间^[5], 黄土高原 4 种豆科牧草^[6]之间的蒸腾速率的日变化

收稿日期: 2012-11-19

修回日期: 2013-01-07

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“太湖流域土地利用变化对生态服务功能影响机理与评估(41030745)”；国家自然科学基金面上基金项目“太湖流域土地利用变化对生态系统水量调节服务功能的影响机理与评估”(41071354)

作者简介: 吕文(1986—), 女(汉族), 江西省九江市人, 博士研究生, 研究方向为土地利用变化生态环境效应。E-mail: lvwen1986hope@163.com。

和生长季节变化比较研究。在以往的研究中,多是关注不同类型之间时间序列上蒸散速率动态的差异,很少有对不同土地利用类型蒸散速率差异发生的关键时段进行分析。本文针对太湖流域西部丘陵山区农业综合整治开发项目中大量茶园开发引起一定规模的土壤侵蚀^[7]情况,通过静态箱/红外气体分析法监测流域不同土地利用类型——油菜地、小麦地、撂荒地及茶园植株尺度不同生长阶段和一日内不同时间段的蒸散速率变化特征,并进行四种土地利用类型春季不同月份以及不同时段的多重比较,为优化太湖流域丘陵山区土地利用方式,保护生态系统水量调节能力提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

油菜地、小麦地和撂荒地选在太湖流域北部,无

锡市锡山区羊尖镇严家桥村(附图 12),地理坐标为 31°39′17.57″N,120°32′50.17″E,海拔 7 m,土壤类型为水稻土。

茶园位于湖西分区丘陵地带,宜兴市西渚镇,地理坐标为东经 119°34′56.27″,北纬 31°15′04.86″,海拔 43 m,土壤类型为红黄壤。研究区属亚热带季风气候,日照充足,热量条件好。年平均降水量为 1 100~1 200 mm。但降水量年内分布不均,75%左右的降水集中在 4—10 月。年平均水面蒸发量为 827.1 mm,呈明显的季节变化特征,夏季蒸发量是冬季的 3~4 倍。

区域小麦播种时间一般在 11 月底至 12 月初,油菜稍晚,两种作物主要生育期如表 1 所示。茶园监测茶株品种为 3 年生浙农“113”绿茶,每年在 5 月中旬、10 月初、11 月初施 3 次肥。5 月中旬采茶完进行修剪,作物高度如表 1 所示。

表 1 不同土地利用类型作物生育期及作物高度

生态指标	类型	监测日期				
		0325—0327	0407	0422—0423	0504	0516—0517
生育期	油菜	现 蕾	始 花	终 花	—	成 熟
	小麦	—	—	抽 穗	灌 浆	成 熟
	茶株	未修剪	—	未修剪	—	已修剪
高度/cm	油菜	31.97	105.17	149.33	134.33	143.00
	小麦	27.33	44.67	69.00	83.33	71.33
	茶株	118.33	—	121.67	—	56.00

1.2 静态箱/IRGA 法监测水汽浓度

静态箱/红外气体分析法是将土壤、植被或植被的部分通过箱体密闭,运用红外气体分析仪(IRGA),测定单位时间箱体内气体浓度的变化,能够快速测定研究对象的短期气体交换^[8]。在中国干旱与半干旱区已有部分学者运用箱式法,进行单一植被群落的蒸散量日尺度的动态变化研究^[9]。本研究采用的闭路箱式法中的静态箱/红外气体分析法,配套设施有 50 cm 直径,50+70 cm 或 50 cm 高度,以及 1 m 直径,70+80 cm 或 80 cm 高度的分段式有机玻璃材质的明箱、美国 LI-COR 公司生产的 Li-840A 型号仪器、PVC 底座、抽气泵和蓄电池等。明箱顶部装有 2 个小型风扇,促使箱内气体混合均匀。将 PVC 底座埋入监测点,使上沿与地面水平,跟据作物的高度,使用不同高度的明箱。

在茶园、油菜地和小麦地 3 种土地利用类型水汽浓度监测期间(2012 年 3 月 25 日至 2012 年 5 月 17 日),由于茶园春季采茶前,茶株叶面积指数(LAI)和株高变化不大,每个月只进行一次监测,经采茶修剪

处理后,又进行一次完整的监测,共 3 次,每个监测日从 6:00—15:00,每隔 3 h 监测一轮,考虑箱体较大,每个监测点持续 4 min。因为油菜和小麦两种作物进入关键生长期,加大监测频次,每个月进行 2 次监测,共 5 次,一日内从 6:00—16:00 每隔 2 h 监测一轮,每个监测点持续 3 min。而撂荒地作为参考背景,因为 5 月初被用来翻耕成水稻秧田,监测期间为(2012 年 3 月 25 日至 2012 年 4 月 22 日)共 3 次,一日内监测频次和持续时间与油菜地和小麦地一致。每次监测提前一天清理基座上落叶、灰尘等杂物,尽量降低人为干扰监测样点自然状况。

1.3 气象、土壤和作物生态监测

与一日内水汽浓度监测频次一致,辅助进行气温、土壤温度和含水量的适时监测。运用 JM 624 数字温度计,一日内进行 6 次气温数据监测,取均值。饱和水汽压差 D ,计算公式如下:

$$D=e_{\text{sat}}-e \tag{1}$$
$$(e_{\text{sat}}=6.112\exp(\frac{17.67t}{t+243.5}),e=r \ast p/1\,000)$$

式中: e_{sat} ——饱和水汽压 (hPa); e ——实际水汽压 (hPa); r ——空气的摩尔比湿 (mmol/mol); p ——气压 (hPa); t ——空气的温度 (°C)。

土壤水分含量监测使用 TZS-II W 土壤速测水温仪, 获取表层 10 cm 土壤体积含水量, 不同样地做 3 个重复样, 取平均值。

植被生长特征监测 LAI 和作物高度两个指标, 使用美国 LAI-2200 植物冠层分析仪监测 LAI, 不同土地利用类型做 3 个重复样, 取平均值。

1.4 水汽通量数据的计算

静态箱式法水汽通量计算公式如下:

$$F = \rho \cdot \frac{\Delta G}{\Delta t} \cdot \frac{V_{\text{gas}}}{A} \quad (2)$$

$$(\rho = \frac{P}{R \cdot T}, V_{\text{gas}} = V_{\text{chamber}} - V)$$

式中: F ——单位时间单位面积的水汽交换速率, 即蒸散速率 [mmol/(m² · s)]; ρ ——箱内温度下的空气密度 (mol/m³); $\Delta G/\Delta t$ ——观测时间 (s) 内箱内 H₂O 浓度的变化 (ΔG , mmol/mol) 速率 [mmol/(mol · s)]; V_{gas} ——气体有效交换体积 (m³); A ——测定对象的气体交换表面积 (m²); P ——箱内大气压 (kPa); T ——箱内气体温度 (K); R ——理想气体常数, 为 8.314×10^{-3} [m³ · kPa/(mol · K)]; V_{chamber} ——气体交换箱的体积 (m³); V ——水汽在气体交换箱中所占体积 (m³), 远小于气体交换箱体积, 可忽略。

1.5 数据处理

LI-840A 所监测数据经 COM 3 口转出, 采用 Excel 2010 软件进行数据处理, 并运用 SPSS 16.0 统计分析软件, 最小显著法 (LSD) 在 $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.01$ 水平进行多重比较。

2 结果与讨论

2.1 不同土地利用类型春季蒸散速率的平均值比较

一日内监测的水汽浓度, 依据公式 (2) 换算成蒸散速率, 并进行平均值计算, 获取不同土地利用类型春季蒸散速率的平均值, 结果显示, 茶园 [2.24 mmol/(m² · s)] > 油菜地 [1.48 mmol/(m² · s)] > 小麦地 [1.28 mmol/(m² · s)] > 撂荒地 [1.16 mmol/(m² · s)]。

通过方差分析 (表 2) 表明 4 种土地利用类型之间蒸散速率的平均值存在显著差异。用 LSD 方法分别在 $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.01$ 水平进行多重比较 (表 3), 结果表明, 春季太湖流域茶园的蒸散速率极显著高于其他 3 种耕地不同种植方式; 油菜地、小麦地和撂荒地之间蒸散速率无显著差异。

表 2 不同土地利用类型日均蒸散速率的平均值方差分析

mmol/(m ² · s)					
差异源	SS	df	MS	F	P-value
土地利用类型间	1.840	3	0.613	27.220	0.001
剩 余	0.135	6	0.023	—	—
总 计	1.975	9	—	—	—

表 3 不同土地利用类型日均蒸散速率的平均值多重比较

mmol/(m² · s)

土地利用类型	油菜地			小麦地			茶 园			撂荒地		
土地利用类型	小麦地	茶园	撂荒地	油菜地	茶园	撂荒地	油菜地	小麦地	撂荒地	油菜地	小麦地	茶园
均值差	0.203	-0.753**	0.318	-0.203	-0.957**	0.115	0.753**	0.957**	1.072**	-0.318	-0.115	-1.072**

注: * 在 0.05 水平上差异显著; ** 在 0.01 水平上差异显著。下同。

2.2 典型土地利用类型不同生长阶段的蒸散速率变化规律

2.2.1 不同生长阶段的蒸散速率变化特征 不同土地利用类型蒸散速率在不同生长阶段变化特征与气温、饱和水汽压差、土壤温度和含水量等因子的响应关系如图 1 所示, 3 月份之后, 气温回升, 植被生长旺盛, 在降雨充沛时, 土壤含水量维持较高状态, 不同土地利用类型日均蒸散速率总体呈现不断增大的趋势, 茶园经过修剪处理后蒸散速率骤然减小除外。

茶园蒸散速率在修剪前迅速增加 (118.92%), 修剪后大幅 (36.73%) 下降。虽然修剪前后气温相近、饱和水汽压差 (VPD) 较高, 但是茶株高度几乎为修剪

前的 1/2 (表 1), 枝、叶的修减少了茶株本身的蒸腾量。修茶园修剪下来的枝、叶覆盖在茶株间, 据张喜英等^[10]研究, 夏季农田覆盖秸秆减少了表层土壤蒸发量高达 60%, 降低了株间土壤的蒸发作用, 茶园总体蒸散作用减弱。油菜地监测期内蒸散速率变化呈现双峰型, 其中油菜成熟期达到的蒸散速率峰值与春小麦蒸散速率一致^[11], 但始花期蒸散速率明显高于耕地其他两种利用方式, 这可能是由于此时油菜高度急增 74.20 cm, 相比油菜在其他生长阶段以及茶园和小麦较迅速, 生理作用明显加强^[12], 利于油菜的蒸腾, 并且油菜地 VPD 也出现一峰值, 表明附近空气干燥、相对湿度较少, 有利于作物的蒸腾和棵间土壤的蒸发^[13]。

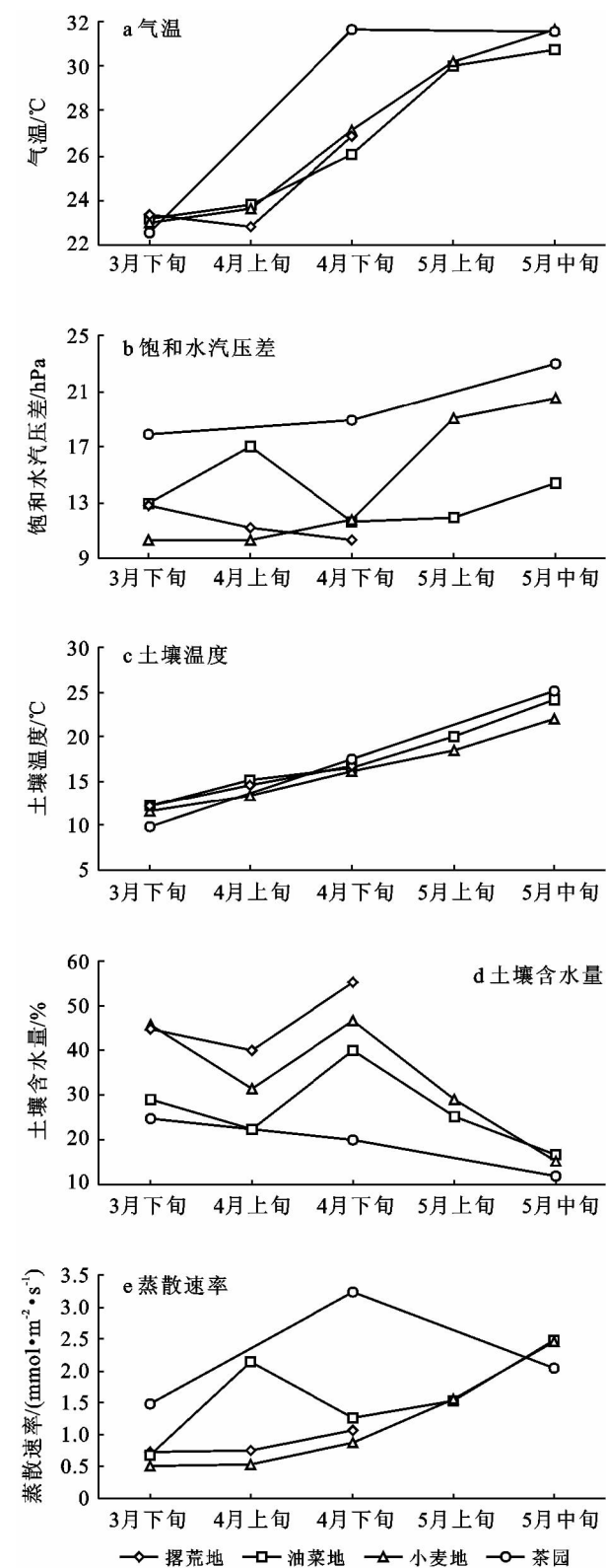


图 1 不同土地利用类型蒸散速率在不同生长阶段变化特征与气温、饱和水汽压差、土壤温度和含水量等因子的响应关系

小麦地春季蒸散速率总体呈逐渐增大的趋势,至成熟期达到峰值[2.45 mmol/(m²·s)]。这与孙宏勇等^[12]用大型蒸渗仪监测的华北平原冬小麦蒸发量生长季节变化趋势一致,小麦在挑旗前蒸散量受蒸腾

作用的影响较小^[11],主要来源于土壤蒸发作用,与撂荒地蒸散速率变化趋势一致,此时受气温^[14]和土壤温度^[15]的制约较大,曲线比较平缓,蒸散速率较小;挑旗之后,茎叶繁茂,蒸腾作用加强,与油菜地蒸散速率大小基本一致。

2.2.2 不同土地利用类型蒸散速率的生长阶段变化比较 如图 1 所示,气象、植被、土壤等蒸散作用的因子随着季节的变化而变化,不同生长阶段蒸散作用存在差异。用 LSD 方法分别在 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 水平进行不同土地利用类型蒸散速率的多重比较(表 4),可知不同月份,4 种土地利用类型蒸散速率的差异不同。

3 月下旬,茶园蒸散速率极显著高于其他 3 种土地利用类型。油菜地与撂荒地蒸散速率相近,略大于麦地,但三者之间差异不显著,这主要是由于油菜和小麦处于生育期初始阶段,土壤多处于裸露状态,所以与撂荒地蒸散速率相似,并且农作物生育前期,田间蒸散以裸间蒸发为主,总量也较小^[12]。

4 月下旬,茶园蒸散速率依然极显著高于其他 3 种土地利用类型。在茶园的气温和 VPD 明显高于其他 3 种土地利用类型的情况下,茶园和油菜地 LAI 分别为 1.46 和 1.68,小麦地 LAI 为 5.67,虽然小麦地 LAI 高,有更多叶面进行蒸腾作用,但低 LAI 使得株间荫蔽较高,以及土壤表面湍流交换相对较大^[16],增加了土壤蒸发作用。并且油菜和茶株高度相比小麦较高(表 1),冠层空气与外围大气的解耦系数较小^[17],界面层导度较大,从土壤中向大气输出的水分效率较高。

表 4 4 种土地利用类型不同月份的蒸散速率多重比较
mmol/(m²·s)

土地利用类型(I)	土地利用类型(J)	蒸散速率均值差(I-J)		
		3 月下旬	4 月下旬	5 月下旬
油菜地	小麦地	0.212	0.545	-0.137
	茶园	-0.757**	-1.767**	0.267
	撂荒地	-0.038	0.180	—
小麦地	油菜地	-0.212	-0.545	0.137
	茶园	-0.968**	-2.312**	0.403
	撂荒地	-0.250	-0.365	—
茶园	油菜地	0.757**	1.767**	-0.267
	小麦地	0.968**	2.312**	-0.403
	撂荒地	0.718**	1.947**	—
撂荒地	油菜地	0.038	-0.180	—
	小麦地	0.250	0.365	—
	茶园	-0.718**	-1.947**	—

5 月下旬,茶园经过修剪处理,蒸散作用下降至 $2.05 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,而此时,油菜和小麦处于生长旺盛期,茎叶繁茂,蒸散速率保持增加的趋势,并且两者蒸散速率趋近一致[均值为 $2.46 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],略大于茶园,但 3 种土地利用类型之间蒸散速率差异不显著。

总之,茶园蒸散作用总体极显著高于油菜地、小麦地和撂荒地的这一特征并不体现在整个生长阶段。春季主要在 3 月下旬和 4 月下旬之间;5 月下旬,茶园修剪后,蒸散作用减弱,低于处于生长阶段后期的油菜地和小麦地。3 种耕地利用类型在春季各月份中,蒸散速率的差异性均不显著。

2.3 不同土地利用类型蒸散速率日变化规律

2.3.1 蒸散速率的日变化特征 4 种土地利用类型一日内 6:00—16:00 各时段蒸散速率变化趋势分别如图 2 所示。不同土地利用类型不同生长阶段蒸散速率的日变化趋势基本一致,总体呈单峰曲线:清晨 6:00 蒸散速率最低;随着气温、VPD、土壤温度升高,蒸散速率逐渐上升(图 3),其中 6:00 至 9:00 时段和

9:00 至 12:00 时段蒸散速率的增幅不一致;中午 12:00—15:00 时,蒸散速率达到一天最大值,之后开始急速或者缓慢下降。这一变化趋势与段华平等研究的茶园蒸腾速率日变化^[18]以及甘卓亭等监测的麦田时蒸散特征一致^[14]。

如图 2 所示,典型土地利用类型不同生长阶段蒸散速率日变化幅度不同。油菜地各月份蒸散速率的日变化幅度排序为,成熟[$4.19 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 始花[$3.55 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 终花[$2.68 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 现蕾[$1.41 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。小麦地在 3 月下旬至 4 月下旬,蒸散速率日变化曲线比较平缓;4 月下旬之后蒸散速率呈明显单峰型,日变幅较大,不同生长阶段蒸散速率日变化幅度排序为,成熟[$4.39 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 灌浆[$3.78 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 抽穗[$2.24 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。茶园修剪前(4 月下旬)蒸散速率日变化明显,修剪后(5 月下旬)蒸散速率在 9:00—15:00 维持一“平台”状,全天变化较平缓。撂荒地 3 月下旬至 4 月下旬监测期间,蒸散速率日变化幅度相近,平均为 $1.74 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

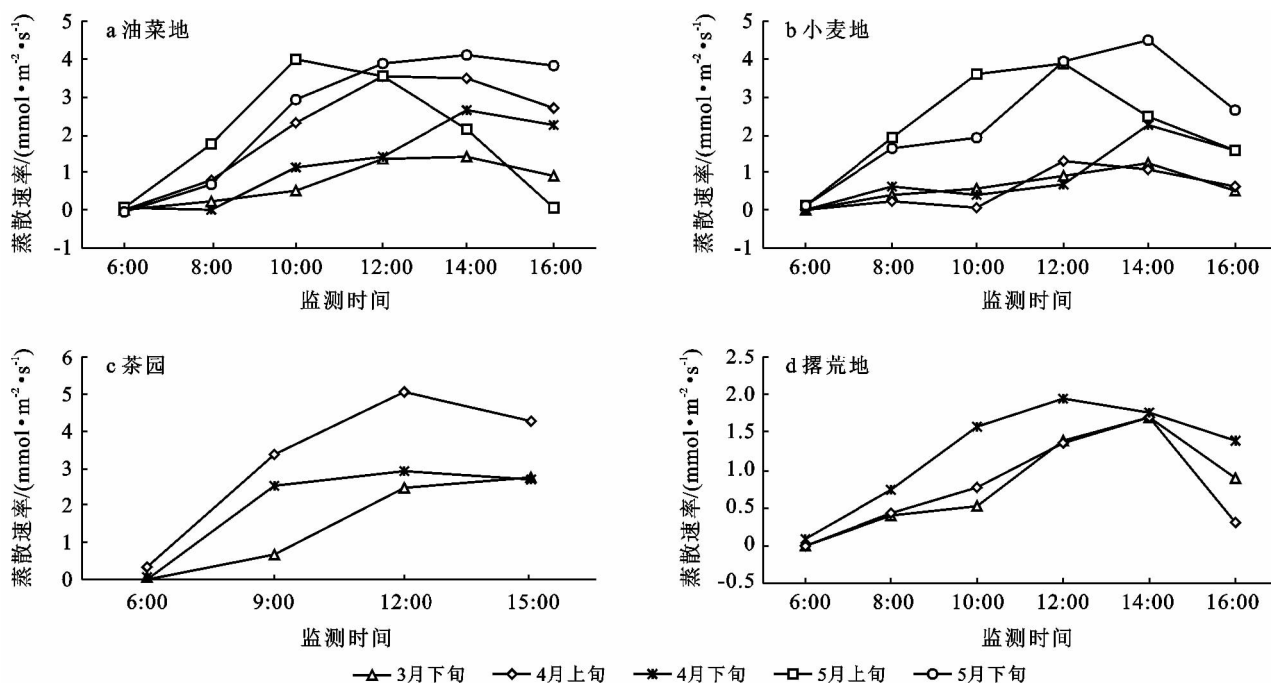


图 2 不同土地利用类型蒸散速率的日变化特征

2.3.2 不同土地利用类型蒸散速率的日变化比较

为了比较一日内不同土地利用类型不同时段蒸散速率,与茶园监测日时段相对应,将油菜地、麦地和撂荒地 8:00 和 10:00 的蒸散速率进行平均计算获得 9:00 蒸散速率,14:00 和 16:00 的蒸散速率平均计算,获得 15:00 蒸散速率。

用 LSD 方法分别在 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 水平,进

行各月份一日内不同时段 4 种土地利用类型蒸散速率的多重比较(表 5)。

清晨 6:00 时分,虽然 4 月茶园蒸散速率与小麦地之间存在显著差异;5 月小麦地蒸散速率显著高于油菜地,但由于此时气温、VPD 最低,4 种土地利用类型蒸散速率均为最低,两种土地利用类型之间蒸散速率差值均很小。

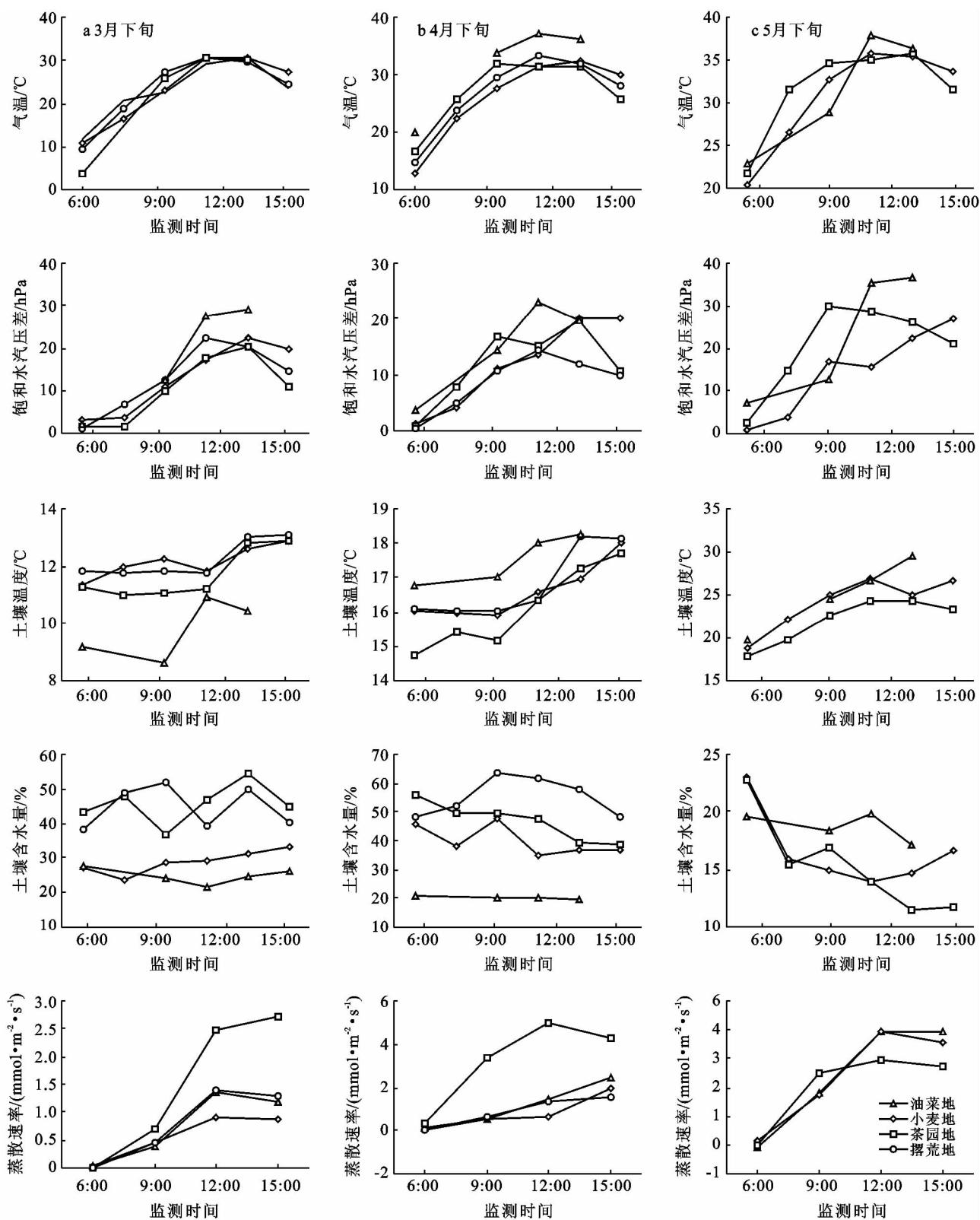


图3 不同土地利用类型蒸散速率季节变化特征与气温、饱和水汽压差、土壤温度和含水量等因子的响应关系

9:00 时分,3月,4种土地利用类型蒸散速率差异性不显著,6:00—9:00 蒸散速率上升幅度相近〔均值为 $0.58 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 〕。4月,茶园蒸散速率显著高于其他3种类型,茶园蒸散速率由于气温和土壤温度均较高,上升幅度高达 $3.04 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,

而油菜地、小麦地和撂荒地蒸散速率上升幅度相近〔均值仅为 $0.76 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 〕。5月,土地利用类型之间的蒸散速率差异不明显,虽然茶园、油菜地和撂荒地蒸散速率上升幅度较大〔均值为 $2.43 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 〕,但是,茶园经过人工修剪后,蒸散作用的优

势明显降低,土壤含水量一日内变化较平缓;油菜地和小麦地由于表层土壤水分过度蒸发以及生育后期作物蒸腾作用加强,而深层水分来不及补给^[19],因此茶园土壤含水量一日内变化幅度小于其他土地利用类型。

到达 12:00 正午时分,3—4 月,茶园蒸散速率显著高于小麦地、油菜地和撂荒地;5 月,茶园蒸散速率却显著低于油菜地。可知,茶园未经修剪时,一日内变化幅度较大,正午时分蒸散速率趋近或者达到峰值,而此时油菜和小麦处于生长阶段前期,日变化幅度较小,因此茶园与其他土地利用类型差异最大;茶园修剪后,虽然气温和 VPD 相比其他类型最高,但茶

株枝叶受到较大创伤^[20],覆盖度减少了 15.85%,蒸腾作用减弱,而株间由于修剪掉的枝叶覆盖增多,土壤蒸发下降,一日内蒸散速率最大值明显降低。

下午 15:00,茶园修剪前(3—4 月),蒸散速率高于其他 3 种土地利用类型,修剪后(5 月)无显著差异。4 月,油菜蒸散速率极显著高于撂荒地,这可能是由于此时油菜地和撂荒地气温、土温相近,在土壤水分含量充足时,油菜地 VPD(20.04 hPa)是撂荒地 VPD(9.93 hPa)的两倍多。据赵英等^[21]研究,南酸枣蒸腾速率与 VPD 呈极显著相关性,所以油菜蒸散速率明显高出撂荒地 0.89 mmol/(m²·s)。

表 5 4 种土地利用类型不同时段蒸散速率多重比较

mmol/(m²·s)

时 间	土地利用类型 I			油菜地			小麦地			茶园			撂荒地		
	土地利用类型 J			小麦地	茶园	撂荒地	油菜地	茶园	撂荒地	油菜地	小麦地	撂荒地	油菜地	小麦地	茶园
6:00	3 月	0.013	0.027	0.023	-0.013	0.013	0.010	-0.027	-0.013	-0.003	-0.023	-0.010	0.003		
	4 月	0.088	-0.227	-0.032	-0.088	-0.315*	-0.120	0.227	0.315*	0.195	0.032	0.120	-0.237		
	5 月	-0.182*	-0.077	—	0.182*	0.105	—	0.077	-0.105	—	—	—	-1.098**		
9:00	3 月	-0.082	-0.303	-0.067	0.082	-0.222	0.015	0.303	0.222	0.237	0.067	-0.015	-1.443**		
	4 月	0.610	-2.197**	0.367	-0.610	-4.227**	-0.243	2.197**	2.807**	2.563**	-0.367	0.243	-0.195		
	5 月	0.057	-0.710	—	-0.057	-0.767	—	0.710	0.767	—	—	—	-0.057		
12:00	3 月	0.460	-1.133**	-0.035	-0.460	-1.593**	-0.495	1.133**	1.593**	1.098**	0.035	0.495	-1.098**		
	4 月	1.465	-2.762*	0.435	-1.465	-4.227**	-1.030	2.762*	4.227**	3.197*	-0.435	1.030	-3.197*		
	5 月	-0.020	0.960*	—	0.020	0.980	—	-0.960*	-0.980	—	—	—	—		
15:00	3 月	0.302	-1.557**	-0.113	-0.302	-1.858**	-0.415	1.557**	1.858**	1.443**	0.113	0.415	-1.443**		
	4 月	0.558	-1.807**	0.887**	-0.558	-2.365**	0.328	1.807**	2.365**	2.693**	-0.887**	-0.328	-2.693**		
	5 月	0.137	1.007	—	-0.137	0.870	—	-1.007	-0.870	—	—	—	—		

注:表中数据为土地利用类型 I 与土地利用 J 蒸散速率的差值。

总之,茶园与油菜地、小麦地、撂荒地之间的蒸散速率呈极显著性差异,在 3 月,主要体现在 12:00—15:00 时段;4 月,在 9:00—15:00 时段均显著,并且差异最大。5 月和春季其他不同时段,虽然不同土地利用类型蒸散速率之间尚存显著性差异,但是差值均较小。

3 结 论

通过静态箱/红外气体分析仪法测定太湖流域不同土地利用类型春季日均蒸散速率,可知春季(3—5 月)蒸散速率从大到小依次为,茶园[2.24 mmol/(m²·s)]>油菜地[1.48 mmol/(m²·s)]>小麦地[1.28 mmol/(m²·s)]>撂荒地[1.16 mmol/(m²·s)]。4 种土地利用类型蒸散速率不同生长阶段总体呈现不断增大的趋势,但不同土地利用类型各有特征:茶园修剪后蒸散速率大幅下降(36.73%);油菜地在始花期也突现一峰值。日变化趋势基本一致,总体呈以 12:00—15:00 为峰值的单峰曲线,其中茶园修剪后蒸

散速率的日变化平缓,而油菜地和小麦地蒸散速率的日变化幅度随着生长期逐渐增大。

春季茶园蒸散速率总体极显著高于油菜地、小麦地和撂荒地,差值最大的关键时段分别是 3 月的 12:00—15:00,4 月的 9:00—15:00。5 月茶园修剪后和春季其他不同时段,虽然 4 种土地利用类型蒸散速率之间尚存显著性差异,但是差值均较小。

太湖流域丘陵山区农业综合整治开发了大面积茶园,在茶株修剪后,蒸散作用总体偏小,生态系统耗水能力降低,易导致丘陵山区水土流失,增加平原区的低洼地蓄水量,降低平原区汛期水量调节能力。因此,在太湖流域丘陵山区农业综合整治开发的同时,需充分认识不同土地利用类型对生态系统调节服务功能的影响,优化土地利用方式,从生态水文角度管理流域水资源。

致谢:野外监测得到中国科学院南京地理与湖泊

研究所孙小祥博士、潘佩佩博士、戴雪硕士,南京农业大学夏文斌硕士和肖锦成硕士的帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Chapin III F S, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M]. 李博, 赵斌, 彭容豪, 等, 译. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [2] 程国栋, 赵文智. 绿水及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(3): 221-227.
- [3] Schilling K E. Relation of baseflow to row crop intensity in Iowa[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment 2005, 105(1): 433-438.
- [4] 王贺年, 余新晓, 赵阳, 等. 北京山区 4 种优势林分生态用水实验研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 62-65.
- [5] 杨帆, 张万军. 太行山低山区不同植被群落蒸发蒸腾研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 30-34.
- [6] 谢田玲, 沈禹颖, 邵新庆. 黄土高原 4 种豆科牧草的净光合速率和蒸腾速率日动态及水分利用效率[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1678-1685.
- [7] 张燕, 杨浩, 金峰, 等. 宜兴茶园土壤侵蚀及生态影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 815-821.
- [8] Law B E, Ryan M G, Anthoni P M. Seasonal and annual respiration of a ponderosa pine ecosystem[J]. Global Change Biology, 1999, 5(2): 169-182.
- [9] 邵阳, 王琼, 王伟, 等. 锡林河中游河流湿地草间荆群落蒸散量的动态变化[J]. 内蒙古气象, 2007(4): 29-30.
- [10] 张喜英, 陈素英, 裴冬. 秸秆覆盖下的夏玉米蒸散、水分利用效率和作物系数的变化[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 583-592.
- [11] 王亚军, 谢忠奎, 小林哲夫, 等. 河西绿洲区春小麦蒸腾蒸散的变化研究[J]. 中国沙漠, 1999, 19(3): 272-275.
- [12] 孙宏勇, 刘昌明, 张喜英, 等. 华北平原冬小麦田间蒸散与棵间蒸发的变化规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 62-64.
- [13] 杨晓光, 刘海隆, 王玉林. 华北平原夏玉米农田生态系统蒸散规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 66-68.
- [14] 甘卓亭, 刘文兆. 黄土塬区麦田蒸散特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1435-1438.
- [15] 黄高宝, 秦舒浩. 耕作措施对绿洲灌区冬小麦田蒸散特征的影响[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5): 793-799.
- [16] Kelliher F M, Leuning R, Raupach M R, et al. Maximum conductances for evaporation from global vegetation types[J]. Agriculture and Forest Meteorology, 1995, 73(1): 1-16.
- [17] Jarvis P G, McNaughton K G. Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to region[J]. Advances in Ecological Research, 1986, 15(1): 1-49.
- [18] 段华平, 谢小立, 王凯荣. 红壤坡地茶园蒸腾及其影响因子研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(2): 19-23.
- [19] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1853-1857.
- [20] 苏礼武, 吴永华, 诸葛天秋. 浅析春茶后茶园修剪利弊问题[J]. 福建茶叶, 2011, 33(5): 23-25.
- [21] 赵英, 张斌, 赵华春, 等. 农林复合系统中南酸枣蒸腾特征及影响因子[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2035-2040.

(上接第 201 页)

- [16] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [17] 章文波, 谢云, 刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 43-46.
- [18] Fournier F. Climate and Erosion[M]. Ed. Press Universitaires de France, Paris, 1960.
- [19] 梁音, 史学正. 长江以南南部丘陵山区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 47-52.
- [20] Moore I, Burch G. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1986, 50(5): 1294-1298.
- [21] 汤小华, 王春菊. 福建省土壤侵蚀敏感性评价[J]. 福建师范大学学报, 2006, 22(4): 1-4.
- [22] 刘柏根, 温桃芳, 梅宗焕, 等. 江西省都县地质因素与水土流失的关系[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 146-150.
- [23] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 等. 三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 788-796.
- [24] 刘峰. 会昌县水土保持预防监督[J]. 中国水土保持, 2005(11): 34-35.
- [25] 孙秀美, 孙希华, 冯军华. 沂蒙山区土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持通报, 2007, 27(3): 84-87.
- [26] 刘光正, 潘江平, 岳军伟. 江西红壤低丘水土流失发生规律和防治对策[J]. 江西林业科技, 2008(4): 6-9.