

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.02.004

南方气候区草坪草需水规律试验研究

庞桂斌¹ 彭世彰¹ 丁加丽² 徐俊增¹ 焦 健³ 魏 征¹

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 ,江苏 南京 210098 ; 2. 南通市水利局 ,江苏 南通 226006 ;
3. 昆山市水利局 ,江苏 昆山 215300)

摘要 :根据蒸渗仪试验实测资料 ,分别利用 Penman-Monteith 方法和 Priestley-Taylor 方法计算了参考作物蒸发蒸腾量 ,并利用农田水量平衡方程计算了草坪草实际蒸发蒸腾量 ,由此计算了草坪草作物系数 ,分析了草坪草作物系数的变化规律 ,构建了作物系数与观测期旬序数之间的回归关系模型 .结果表明 ,利用 Penman-Monteith 方法和 Priestley-Taylor 方法计算的参考作物蒸发蒸腾量结果无显著差异 ,在气象资料缺少情况下 ,推荐使用 Priestley-Taylor 方法 ;基于 Priestley-Taylor 方法计算的草坪草作物系数在观测期内呈现先升后降的变化趋势 ;作物系数与观测期旬序数表现出较好的三次多项式关系 ,Priestley-Taylor 方法可作为粗略推算草坪草作物系数的简便方法 .

关键词 :参考作物蒸发蒸腾量 ;Penman-Monteith 方法 ;Priestley-Taylor 方法 ;作物系数 ;草坪草

中图分类号 :S688.4 **文献标识码 :**A **文章编号 :**1000-1980(2009)02-0143-04

作物系数 K_c 定义为作物的实际蒸发蒸腾量 ET_c 与实测或估算的参考作物蒸发蒸腾量 ET_0 的比值 ,是计算作物需水量的重要参数^[1] .已有研究表明 ,采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 方法估算 ET_0 ,计算结果精度较高 .然而 ,由于 Penman-Monteith 方法需要大量的实测气象资料 ,一定程度上影响了该方法的应用和推广^[2-3] .Priestley-Taylor 方法需要输入的参数较少 ,因而得到广泛关注 .国外很多较有影响的作物模型中 ET_0 的估算都是采用了 Priestley-Taylor 方法 ,如 CERES ,COTTAM ,CROPSIM ,EPIC 等模型^[4] .国内很多学者也使用该方法进行 ET_0 和作物需水量方面的研究^[4-8] ,但研究大多集中在北方和高原气候条件下 ,尚未见该方法在南方典型气候区的适用性研究报道 .

目前 ,国内外对于草坪灌溉方面的研究主要集中于灌溉设备的选用与研究开发 ,对于特定气候条件下草坪草蒸发蒸腾量和作物系数的研究较少^[9-11] ,而不同的气候条件对作物蒸发蒸腾量和作物系数有很大的影响 .本文根据蒸渗仪的实测资料 ,以 Penman-Monteith 方法为对照 ,探讨了 Priestley-Taylor 方法在研究南方典型气候区草坪草需水规律及作物系数方面的适用性 ,以期对草坪的合理灌溉提供理论基础和依据 .

1 试验设计与方法

试验区位于河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室在昆山的试验研究基地(36°63′21″N , 121°05′22″E) ,属亚热带南部季风气候 ,年平均气温 15.5℃ ,年平均降雨量 1 097.1 mm ,年平均蒸发量 1 365.9 mm ,年平均日照时数 2 085.9 h ,平均无霜期 234 d ,年平均气压 1 016 hPa ,年平均相对湿度 83% .试验田土壤为潴育型黄泥土 ,耕层土壤为重壤土 .0 ~ 18 cm 土层土壤有机碳质量分数为 30.3 g/kg ,全氮为 1.79 g/kg ,全磷 1.4 g/kg ,全钾 20.86 g/kg ,pH 值 7.4 . 0 ~ 30 cm 土壤密度为 1.3 g/cm³ .

草坪草蒸发蒸腾量试验在试验区蒸渗仪(2 m×2.5 m)中进行 .试验时间为 2006 年 5 ~ 11 月 .试验品种为暖季型草坪草(狗牙根 ,Bermudagrass) ,采用铺设草皮的方法种植 ,3 次重复 .每个重复均在 0 ~ 20 cm ,20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm 土层埋设 TDR 探头 ,用于测量田间土壤含水率和控制不同生育阶段土壤含水率下限 .当

40 cm 土层可利用水的 30% 被消耗时进行灌水,即 40 cm 土层土壤体积含水率达到 31% 时,灌水 20 mm 至田间持水率(取田间持水率为 36%,凋萎系数为 20%)。利用翻斗式水量自动装置测量地表排水量和深层渗漏量。测量时段内,保证草坪高度在 12 cm 左右。出苗后施氮肥 5~7 g/m²,进入炎热期前施复合肥 20~30 g/m²。气象资料由试验区内的自动监测气象站提供。

2 研究方法

作物系数 K_c 反映了作物本身的生物学特性、作物种类、产量水平、土壤水肥状况以及田间管理水平等对农田蒸发蒸腾量的影响^[2],可根据作物生育期某阶段田间的 ET_c 与相应阶段内 ET_0 计算,公式为^[3]

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0 K_s} \tag{1}$$

式中 K_s 为土壤水分修正系数,本文试验中草坪不受水分胁迫的影响,取 $K_s = 1$ 。

ET_0 分别采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 方法(式(2))和 Priestley-Taylor 方法(式(3))来推求:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \tag{2}$$

$$ET_0 = \frac{1}{\lambda} \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \tag{3}$$

式中: R_n ——太阳净辐射; G ——土壤热通量; U_2 ——距地面 2 m 高处的日平均风速; e_s ——饱和水汽压; e_a ——实际水汽压; Δ ——饱和水汽压与温度曲线的斜率; λ ——汽化潜热,取值为 2.45 MJ/kg^[6]; α ——Priestley-Taylor 系数,取 $\alpha = 1.26$ ^[6]; γ ——干湿计常数。式(2)各参数计算公式见文献[5]。

草坪草 ET_c 根据试验观测资料,利用农田水量平衡原理计算,公式为

$$ET_c = 1000H(W_1 - W_2) + p + m + k - f - c \tag{4}$$

式中: W_1, W_2 ——相邻天数的土壤含水率; m ——时段灌水量; p ——时段降水量; c ——时段地表排水量; k ——时段地下水补给量; f ——时段地下水渗漏量; H ——土壤计划湿润层深度。由于蒸渗仪内地下水位埋深 1.2 m 左右,远大于 0.4 m 的计划湿润层深度,因此时段内地下水补给量忽略不计。

3 结果与分析

3.1 草坪草实际蒸发蒸腾量 ET_c

观测时段期内(6~10 月,日序数 $J = 178 \sim 288$), ET_c 逐渐增大,达到最大后逐渐降低(图 1)。根据 ET_c 的变化过程,其变化趋势可划分为 3 个阶段: $J = 178 \sim 211$ (6~7 月),日值变化幅度较大,大部分 ET_c 值在 3~4 mm/d 范围内; $J = 213 \sim 243$ (8 月), ET_c 较大,大于 4 mm/d 的占 75%; $J = 244 \sim 288$ (9~10 月), ET_c 一般为 2~4 mm/d,变化幅度相对于其他阶段较小。 ET_c 最大值为 8.14 mm/d,出现在 8 月 13 日($J = 224$);最小值为 1.08 mm/d,出现在 6 月 27 日($J = 178$)。

3.2 参考作物蒸发蒸腾量 ET_0

利用 Penman-Monteith 和 Priestley-Taylor 2 种方法分别计算了 ET_0 ,结果如图 2 所示。由图 2 可见,2 种方法估算的 ET_0 变化趋势一致,结果较为接近。

从整个变化过程来看,前期变化幅度较大, Priestley-Taylor 方法的计算值明显高于 Penman-Monteith 方法的计算值;后期 ET_0 呈现缓慢下降的趋势, Priestley-Taylor 方法与 Penman-Monteith 方法的计算值十分接近。 t 检验分析表明,2 种方法的计算结果无显著差异,相关系数 $R^2 = 0.9705$,在 $\alpha = 0.01$ 置信度水平上显著相关。

刘晓英等^[6]研究表明, Priestley-Taylor 方法与 Penman-Monteith 方法在干旱、半干旱条件下的结果有显著差异,而在湿润的 7、8 月份,2 种方法的计算结果无显著差异。本文研究与已有的研究结论一致^[7,12-13],进一步证明了 Priestley-Taylor 方法在湿润气候条件下的适用性,可用该方法计算湿润气候条件下的 ET_0 。

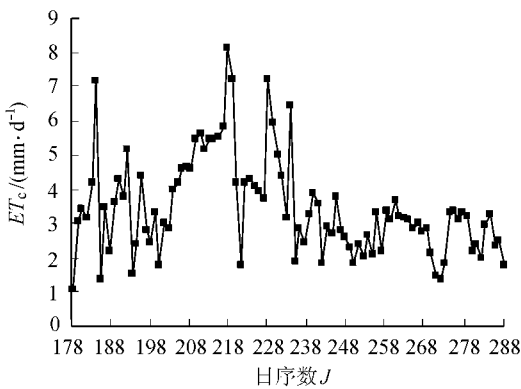


图 1 ET_c 变化过程曲线

Fig. 1 Variation curves of ET_c

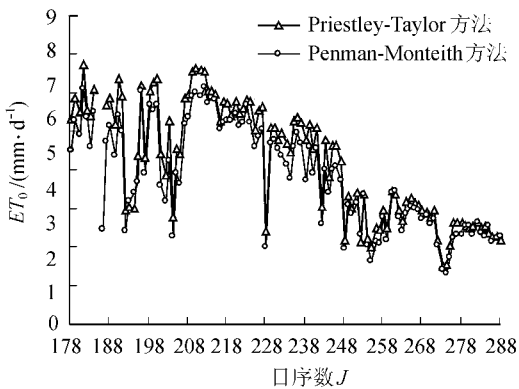


图 2 ET_0 变化过程曲线

Fig. 2 Variation curves of ET_0

3.3 草坪草作物系数 K_c

在生长季内,草种本身的遗传特性、土壤水分条件和气象因素等对草坪草 K_c 的影响具有较大的变动性^[11].因此,不能简单仅依据生长季的平均作物系数来决定草坪草的灌溉量.本文以旬为单位来研究生长季内草坪草 K_c 变化规律.利用式(1)计算得到观测期内各旬的 K_c 值,结果如表 1 所示.基于 Priestley-Taylor 方法的计算结果略低于根据 Penman-Monteith 方法的计算结果,但在整个生育期的变化较为一致.随着生育期的推进呈现先升后降的变化趋势.6 月和 7 月,草坪草 K_c 较低,处于 0.6~0.7 之间.此后, K_c 达到了较高值,在 0.8~1.1 范围内变化.10 月,由于气候变化,草坪需水量减小,草坪草 K_c 呈现减小的趋势.

表 1 Priestley-Taylor 法计算的草坪草作物系数 K_c

Table 1 Crop coefficient K_c of turfgrass

6 月		7 月		8 月		9 月		10 月	
下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
0.63	0.64	0.64	0.68	0.98	0.96	0.94	0.86	0.93	1.01
									1.08
									1.04

3.4 草坪草作物系数 K_c 的模拟计算

草坪草 K_c 与作物生长发育有直接关系,作物移栽后的天数反映了作物生长发育过程特征^[14].根据试验资料,将整个观测期划分为 12 个旬(6 月下旬至 10 月中旬),以旬序数为自变量,根据最小二乘法,构建了草坪草 K_c 与自变量之间的回归关系模型:

$$K_c = ax^3 + bx^2 + cx + d \tag{5}$$

式中 x 为旬序数.

模拟曲线如图 3 所示.由图 3 可见,草坪草 K_c 与观测期旬序数间表现出较好的三次多项式关系.相关系数 R^2 达到 0.8102,在相似的气候背景条件下,可以粗略推算草坪草 K_c :

$$K_c = 0.0008x^3 - 0.004x^2 + 0.0818x + 0.5065 \tag{6}$$

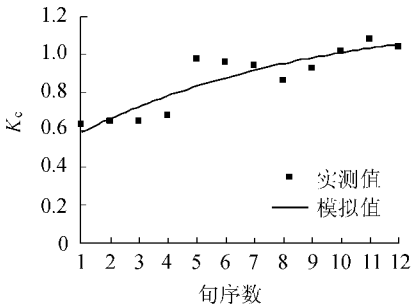


图 3 草坪草 K_c 模拟曲线

Fig. 3 Simulation curves of crop coefficient K_c of turfgrass

4 结论与展望

- a. 南方气候区条件下, Priestley-Taylor 方法估算的 ET_0 与 Penman-Monteith 方法计算结果无显著差异,可作为在气象资料缺失情况下 ET_0 估算的简便方法.
- b. 基于 Priestley-Taylor 方法计算的草坪草 K_c 在观测期内呈现先升后降的趋势.6 月和 7 月 K_c 较小,处于 0.6~0.7 之间.此后 K_c 逐渐增大至 0.8~1.1,10 月份又表现出降低趋势.
- c. 草坪草 K_c 与观测期旬序数表现出较好的三次多项式关系,表明在相似的气候背景条件下,可以利用式(6)得到回归方程进行草坪草 K_c 的粗略推算.
- d. 本文在不同水分处理和不同草坪品种处理的设计上存在不足,将在后续试验中予以完善.

参考文献：

[1] ALLEN R G ,LUIS S P ,RAES D ,et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements :FAO irrigation and drainage paper 56[M]. Rome :Food & Agriculture Organization of the UN ,1998.

[2] 李远华 ,罗金耀. 节水灌溉理论与技术[M]. 武汉 :武汉大学出版社 ,2003 :49-55.

[3] 丁加丽 ,彭世彰 ,徐俊增 ,等. 控制灌溉条件下水稻蒸发蒸腾量及作物系数试验研究[J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2006 ,34(3) :239-242.

[4] 刘晓英 ,林而达 ,刘培军. Priestley-Taylor 与 Penman 法计算参照作物腾发量的结果比较[J]. 农业工程学报 ,2003 ,19(1) :32-36.

[5] 彭世彰 ,徐俊增. 参考作物蒸发蒸腾量计算方法的应用比较[J]. 灌溉排水学报 ,2004 ,23(6) :5-9.

[6] 刘晓英 ,林而达 ,刘培军. 干旱气候条件下 Priestley-Taylor 方法应用探讨[J]. 水利学报 ,2003(9) :31-38.

[7] 杨聪 ,于静洁 ,宋献方 ,等. 华北山区短时段参考作物蒸散量的计算[J]. 地理科学进展 ,2004 ,23(6) :71-80.

[8] 刘绍民. 用 Priestley-Taylor 模式计算棉田实际蒸散量的研究[J]. 应用气象学报 ,1998 ,9(1) :88-93.

[9] 马燕玲. 草坪水分需求及研究趋势[J]. 国外畜牧学 :草原与牧草 ,1998(2) :13-16.

[10] 赵炳祥 ,陈佐忠 ,胡林 ,等. 草坪蒸散研究进展[J]. 生态学报 ,2003 ,23(1) :148-157.

[11] 赵炳祥 ,胡林 ,陈佐忠 ,等. 常用六种草坪草蒸散量及作物系数的研究[J]. 北京林业大学学报 ,2003 ,25(6) :39-44.

[12] MCANENEY K J ,TIER B. Operational limits to the Priestley-Taylor formula[J]. Irrigation Science ,1996 ,17 :37-43.

[13] ANGEL U ,JIMMA F ,ANTONIO M C ,et al. Comparing Penman-Monteith and Priestley-Taylor approaches as reference evapotranspiration inputs for modeling maize water-use under Mediterranean condition[J]. Agriculture Water Management ,2004 ,66 :205-219.

[14] 杨晓光 ,BOUMAN B A M ,张秋平 ,等. 华北平原旱稻作物系数试验研究[J]. 农业工程学报 ,2006 ,22(2) :37-41.

Evapotranspiration from turfgrass under south China climate conditions

PANG Gui-bin¹ , PENG Shi-zhang¹ , DING Jia-li² , XU Jun-zeng¹ , JIAO Jian³ , WEI Zheng¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. Water Conservancy Bureau of Nantong City , Nantong 226006 , China ;
3. Water Conservancy Bureau of Kunshan City , Kunshan 215300 , China)

Abstract : Based on field test data generated by use of lysimeters , the reference crop evapotranspiration was calculated with the Penman-Monteith equation and the Priestley-Taylor approach , and the actual evapotranspiration from turfgrass was determined with the water balance equation for agricultural land. On this basis , the crop coefficient of turfgrass was calculated. The variation laws of the crop coefficient were analyzed , and a regression model of the relationship between the crop coefficient and time was established as well. The results show that the reference crop evapotranspiration calculated with Priestley-Taylor approach has no significant difference from that calculated with the Penman-Monteith equation. The former is recommended when there is a shortage of meteorological data. The crop coefficient of turfgrass calculated with Priestley-Taylor approach shows a low-high-low trend. There is a good cubic multinomial relationship between the crop coefficient and time. The Priestley-Taylor approach can be employed to calculate the crop coefficient of turfgrass.

Key words : reference crop evapotranspiration ; Penman-Monteith equation ; Priestley-Taylor approach ; crop coefficient ; turfgrass