

北京地区典型冷季型草坪草灌水量模拟

刘丽芳^{1,2}, 黄冠华^{1,3*}, 何建平⁴, 李绍森⁴, 汪宏玲⁴, 王虎⁵

(1. 国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875;
3. 中国-以色列国际农业研究培训中心, 北京 100083; 4. 北京市节约用水办公室, 北京 100036;
5. 中国农业机械化研究院, 北京 100083)

摘要: 为了减少北京地区草坪草灌水量、提高降水量的利用率, 该文研究了充分利用降雨条件下的典型冷季型草坪草灌水量。根据典型冷季型草坪草(早熟禾、高羊茅)2003 年的田间试验资料对灌溉制度模拟模型(ISAREG 模型)进行了率定, 然后用 2004 年的田间试验资料对 ISAREG 模型进行了验证, 最后应用此模型对所研究的两种冷季型草坪草在干旱年、平水年和丰水年及不同养护条件下的灌水量进行了模拟研究。研究表明: 生长季节内早熟禾、高羊茅的作物系数在 0.5~1.0 之间; 在特级养护条件下, 早熟禾和高羊茅所需灌水量分别为 432~682 mm/a、462~752 mm/a; 在一级养护条件下, 早熟禾和高羊茅所需灌水量分别为 252~432 mm/a、312~492 mm/a。研究结果可为北京地区冷季型草坪草的灌溉管理提供科学依据。

关键词: 冷季型草坪草, 作物系数, 灌水量, 土壤水分模拟

中图分类号: S688.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2009)-1-0064-05

刘丽芳, 黄冠华, 何建平, 等. 北京地区典型冷季型草坪草灌水量模拟[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 64-68.

Liu Lifang, Huang Guanhua, He Jianping, et al. Simulation of irrigation requirements of typical cool season turfgrass in Beijing area[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 64-68.(in Chinese with English abstract)

0 引言

草坪草株丛低矮紧密, 景观优美, 覆盖地面性强, 对塑造城市形象和改善城市环境条件有着独特的功能, 其中冷季型草坪因其耐寒、绿期较长, 而被北京地区广泛用于城市园林绿化。目前, 随着北京市城市化进程的加快, 绿化面积迅速增加。然而为了满足草坪生长要求, 所需灌水量也迅速增加。但众所周知, 北京地区属于水资源贫乏地区, 人均水资源量不足 300 m³, 并且据预测到 2010 年北京地区将缺水 16.15 亿 m³^[1]。因此, 北京地区草坪灌水量的大小引起了人们的关注。

国内学者对北京地区草坪灌水量进行了估算(程维新等^[2]、赵炳祥^[3]、张新民等^[4]、杨建国等^[7]、孙强等^[9]、何军等^[10]), 但是这些研究大都以月为计算时段, 并假定每次降雨都能为作物吸收利用。然而降雨具有随机性, 并不是每次降雨都能为草坪吸收利用, 因此为了更加精确的确定草坪灌水量的大小、实现草坪的节水灌溉, 还需对其进行深入研究。

作物灌水量可以通过水量平衡分析得到。目前国际上开发了许多水量平衡模拟的软件, ISAREG 模型是其中运用效果较好的软件之一, 它在国内主要应用于农作物的灌溉制度模拟及水量平衡分析(刘钰等^[11]; 张立桢等^[14]; 石贵余等^[15]), 但将其应用于草坪水量平衡分析还鲜有报道。本文即应用 ISAREG 模型、以日为计算时段模拟北京地区典型冷季型草坪草的灌水量。

1 材料与方法

1.1 ISAREG 模型

ISAREG 模型能够模拟农田土壤水分变化、计算作物需水

量和灌水量、评价和制定灌溉制度, 且可在 Windows 视窗环境下进行操作。模型原理如下(Teixeira 和 Pereira^[16]; 刘钰^[11]; 许迪^[17]):

设作物生长初期根系吸水深度为 Z₀, 末期达到 Z_m, 中间阶段线性增长。当时间从 t 变化到 t+Δt, 作物根系吸水深度由 Z 变化到 Z+ΔZ, 根层内土壤平均含水量由 θ_i 变化到 θ_{i+1}, 则水量平衡方程可表示为下列形式:

$$\theta_{i+1}(Z+\Delta Z)-\theta_i Z=\theta_d \Delta Z+P_e+I+G-D-ET_a \Delta t \quad (1)$$

式中 θ_d——时段初根层以下土壤含水率(V/V); P_e——时段内有效降雨量, mm; I——时段内灌水量, mm; G——时段内地下水补给量, mm; D——时段内渗漏量, mm; ET_a——作物实际腾发量, mm/d。

土壤含水率可由田间持水量 F_c、临界含水量 θ_j(腾发量开始受土壤水分影响时的含水率)和凋萎系数 W_p 分成 3 个区域: 1) 过量含水区, θ>F_c。此时超过 F_c 的水量由重力作用排出; 每次降雨或灌水后, 如果土壤含水率超过 F_c, 以 F_c 作为新的起算点; 2) 实效含水区, F_c>θ>θ_j。该区的土壤含水率可为作物即时利用, 且能使作物保持最大腾发量, 故称为最优产量区; 3) 亏水区, θ_j>θ>W_p。此时作物因受旱而不能达到最大腾发量, 产量下降。F_c 与 θ_j 之间的含水量称为土壤实效含水率 RAW, F_c 与 W_p 之间的含水量称为土壤的有效含水量 AW。ISAREG 模型用土壤水分亏缺系数 P 来表示土壤实效含水率与有效含水率的比值:

$$P=\frac{RAW}{AW} \quad (2)$$

当土壤含水率在实效含水区时:

$$ET_a=K_c ET_0 \quad (3)$$

当土壤含水率在亏水区时:

$$ET_a=K_s K_c ET_0 \quad (4)$$

式中 K_s——土壤水分修正系数; K_c——作物系数; ET₀——参照作物腾发量。

ISAREG 模型中假定 K_s 为 θ 的线性函数, 则:

$$K_s=\frac{\theta-W_p}{\theta_j-W_p} \quad (5)$$

收稿日期: 2007-07-23 修订日期: 2008-10-29

基金项目: 北京市政管理委员会项目(2003-06)

作者简介: 刘丽芳(1981-), 女, 重庆忠县人, 博士研究生, 主要从事水文水资源研究。北京 北京师范大学水科学研究院, 100875。

Email: liulifang198160@163.com

*通信作者: 黄冠华(1966-), 男, 江西人, 教授, 博士, 博士生导师,

主要从事农田灌排理论与应用研究。北京 中国农业大学东区 151 信箱,

100083。Email: ghuang@cau.edu.cn

式中 K_s 、 θ 、 θ_j 、 W_p 意义同前。

1.2 试验概况

北京市属暖温带半湿润大陆性季风气候，多年平均气温 11.5℃，多年平均降雨在 500~600 mm 之间，降雨主要集中在夏季（6~8 月），大约占全年降雨量的 70%。

2003~2004 年在北京市通州永乐店节水农业综合试验站进行了田间试验，该站位于东经 114°，北纬 39°，平均海拔高程 20 m。田间试验草种为早熟禾与高羊茅，早熟禾试验地为 A4、B4 地块，高羊茅试验地为 A3、B3 地块，试验地布置如图 1，混凝土防渗帷幕深 1 m。草坪灌溉采用喷灌，四块地灌溉制度相同，见表 1。试验地四周通风条件良好、日照充足。试验地南与气象站相邻。

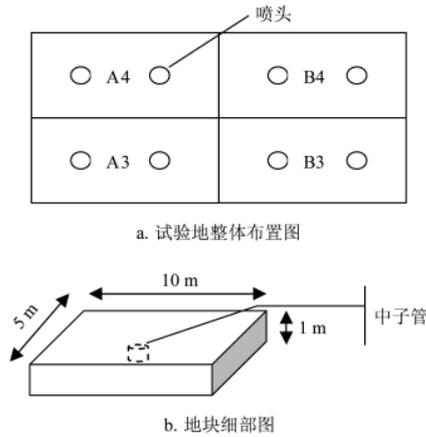


图 1 试验地概况

Fig.1 Schematic diagram of the experimental field

表 1 草坪草灌溉日期及灌水量
Table 1 Irrigation date and quantity in turfgrass

灌溉日期/年-月-日	灌水量/mm	灌溉日期	灌水量/mm
2003-04-16	60	2004-04-06-07	26
2003-05-01	26	2004-04-21	26
2003-05-16	26	2004-05-07	26
2003-05-31	26	2004-05-21	26
2003-06-14	26	2004-06-04	26
2003-07-14	26	2004-07-04	26
2003-07-29	26	2004-07-19	26
2003-08-14	26	2004-08-04	26
2003-09-14	26	2004-08-19	26
2003-09-29	26	2004-09-05	26
2003-10-29	26	2004-12-02-03	50
2003-11-28	50		

土壤含水率 (V/V) 采用中子仪 (CNC503B-DR 智能中子水分仪，北京超能科技公司生产) 测定，分 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80、80~100 cm 共 7 层。

2 结果与分析

2.1 模型率定

利用 2003 年的试验数据进行模型率定。ISAREG 模型式

(1)~(5) 中需要确定根系吸水深度 Z 、地下水补给量 G 、有效降雨量 P_e 、参照作物腾发量 ET_0 、土壤水分亏缺系数 P 、田间持水量 F_c 、凋萎系数 W_p 、作物系数 K_c 。在这些参数中，前七个参数可以根据实际测定资料及试验地的实际情况确定。这些参数确定如下：

1) 根系吸水深度 Z ：一般认为草坪的主要根系层集中在地表 30 cm 内^[7]，模型中考虑干旱促进草坪根系向下伸长，因此计划湿润层深度取为 40 cm。

2) 地下水补给量 G ：根据实测资料显示，永乐店镇的地下水水位在地表 10 m 以下，因此在模拟过程中地下水补给量 G 取为 0。

3) 有效降雨量 P_e ：只有渗入到作物根系层内并为作物吸收利用的降雨才能称为有效降雨，模拟中采用美国水土保持站 (USDA Soil Conservation Service) 推荐的公式^[18]计算有效降雨量 P_e ：

$$P_e = P_i(125 - 0.2P_i)/125 \quad P_i < 250 \text{ mm}$$

$$P_e = 125 + 0.1P_i \quad P_i > 250 \text{ mm}$$

式中 P_i ——总降雨量，mm。

4) 参照作物腾发量 ET_0 ：模型中 ET_0 采用彭曼-蒙特斯 (Penman-Monteith) 公式^[19] 计算。

5) 土壤水分亏缺系数 P ：有关研究表明 P 一般取为 0.4~0.6^[7]；根据作者的盆栽试验发现：当土壤含水率维持在 80%~60% F_c 时，早熟禾、高羊茅的生长量最大；因此在模型中假设当 P 低于 0.50 (即土壤含水率 (V/V) 约 70% F_c) 时，草坪腾发量和质量受到影响。

6) 田间持水量 F_c ：在模型率定和参数确定过程中 F_c 由实测得到；一般草坪土壤为改良后的砂壤土，研究表明中壤土的 F_c 在 0.29 (V/V) 左右^[20]，结合北京市草坪土壤的实际情况，在土壤水分模拟过程中， F_c 取为 0.30 (V/V)。

7) 凋萎系数 W_p ：有试验表明人工牧草 W_p 为 0.08 (V/V)^[21]，并且在试验中将土壤含水率维持在 0.10~0.13 (V/V) (即 40%~50% F_c) 之间的处理设为凋萎缺水处理；作者的盆栽试验结果也显示，当土壤含水率在 0.10 (V/V) (即 30% F_c) 附近时，草坪基本萎蔫，因此早熟禾、高羊茅的 W_p 取为 0.12 (V/V) (即 40% F_c)。

在上述参数确定之后，模型还需率定参数 K_c 。本文在率定过程中，是根据 2003 年早熟禾 A4、B4 试验地、高羊茅 A3、B3 试验地的土壤、气象、灌溉数据，按旬划分草坪生育阶段，通过反复地调整作物系数，使根层土壤含水率的模拟值与实测值拟合最佳。采用模拟值与实测值之间的绝对误差 AAE 和相对误差 ARE 的大小来评价模拟值和实测值的吻合程度^[17]，当 AAE 和 ARE 达到最小值时对应的 K_c 值，即为所推求的各阶段作物系数。

模拟值与实测值之间的绝对误差 AAE 和相对误差 ARE 的大小由下式确定：

$$AAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\theta_{obs} - \theta_{sim}|$$

$$ARE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\theta_{obs} - \theta_{sim}}{\theta_{obs}} \right|$$

式中 θ_{obs} ——根层土壤含水率观测值； θ_{sim} ——根层土壤含水率模拟值； n ——观测值数量。

率定过程中，根层土壤含水率模拟结果见图 2。率定的早熟禾与高羊茅作物系数分别见表 2、表 3。图 2 中早熟禾 A4 地块土壤含水率模拟值与实测值的 AAE 为 0.017 (V/V)， ARE 为 6.28%；B4 地块的 AAE 为 0.014 (V/V)， ARE 为 5.30%；高羊茅 A3 地块土壤含水率模拟值与实测值的 AAE 为 0.019 (V/V)， ARE 为 7.00%；B3 地块的 AAE 为 0.021 (V/V)， ARE 为 7.86%。这一结果说明，模型的率定精度较高，其相对误差控制在 8% 以内。

从表 2、3 中可以看出，早熟禾、高羊茅率定的作物系数在

0.5~1.0 之间,且作物系数分别在 4~5 月、6~7 月、8~10 月比较接近。本文得到的早熟禾和高羊茅的作物系数和国内学者在北京地区得到的典型冷季型草坪草的作物系数一致,其值为 0.87(赵炳祥等^[3]、孙强^[22]、张新民等^[6]、何军等^[10])。另外,对比早熟禾、高羊茅作物系数发现,高羊茅作物系数较大。

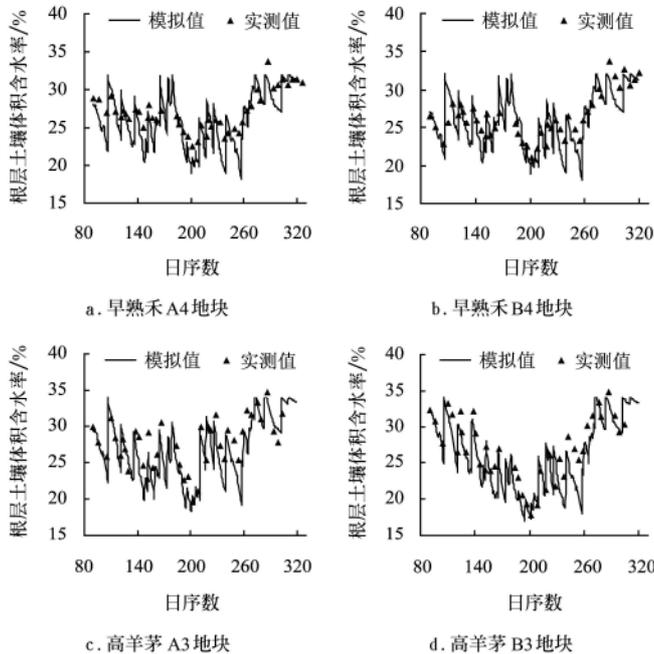


图 2 模型率定时根层土壤含水率模拟值与实测值的比较

Fig.2 Comparison of simulated soil water content and measured data in the root zone for model calibration

表 2 率定的早熟禾作物系数

Table 2 Calibrated crop coefficients for Kentucky bluegrass

日期	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
上旬	0.7	0.8	1.0	1.0	0.9	0.6	0.6	0.5
中旬	0.8	0.8	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	0.5
下旬	0.8	0.8	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	0.5

表 3 率定的高羊茅作物系数

Table 3 Calibrated crop coefficients for Tall fescue

日期	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
上旬	0.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.7	0.6	0.6
中旬	0.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6
下旬	0.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6

2.2 模型验证

根据 2004 年早熟禾 A4、B4 试验地、高羊茅 A3、B3 试验地实测的土壤、气象资料等对模型进行检验,即将率定的参数代入模型推求草坪根层土壤含水率。验证阶段的根层土壤含水率模拟值与实测值的比较如图 3 所示。2004 年早熟禾 A4 地块土壤含水率模拟值与实测值的 AAE 为 0.020 (V/V), ARE 为 7.00%, B4 地块的 AAE 为 0.020 (V/V), ARE 为 7.19%; 高羊茅 A3 地块土壤含水率模拟值与实测值的 AAE 为 0.016 (V/V), ARE 为 5.50%, B3 地块的 AAE 为 0.019 (V/V), ARE 为 6.22%。所有的相对误差均在 8% 之内,这说明率定的作物系数能够反映早熟禾、高羊茅的生长变化规律,模型精度较高,可用于确定不同条件下高羊茅与早熟禾的灌水量。

2.3 不同水文年份冷季型草坪灌水量的模拟

2.3.1 典型年的选择

对 1961~2000 年的气象资料采用蔡甲冰等^[22]提出的灌溉频率分析方法,得出不同频率典型年份。以 25%, 50%, 75%, 95% 的灌溉保证率作为典型年的划分标准。选择 1992 年为丰水年; 1980 年为平水年; 1993 年为枯水年; 1972 年为特干旱年。

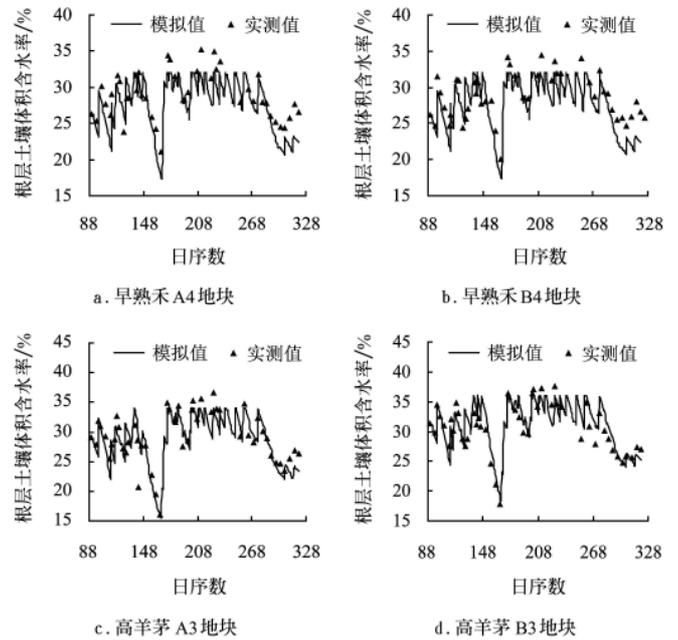


图 3 模型验证时根层土壤含水率模拟值与实测值的比较

Fig.3 Comparison of simulated soil water content and measured data in the root zone for model validation

2.3.2 草坪初始土壤含水率的确定

一般草坪在 3 月中旬灌返青水,土壤含水率达到 F_c ,此时参照作物腾发量为 2 mm/d,作物系数为 0.5,因此到 4 月 1 日,土壤含水率为 90% F_c 。在本模拟中草坪初始含水率取为 90% F_c 。

2.3.3 草坪灌水量的计算

冷季型草坪根据养护目的分特级、一级、二级三种养护水平^[23],其对应的灌溉下限各不相同。利用 ISAREG 模型对选择典型年进行草坪灌水量模拟时,考虑冷季型草坪养护目的,选择特级、一级两种水平进行模拟。特级养护灌水下限为 70% F_c (V/V),一级养护灌水下限为 50% F_c (V/V)。模型需要的气象数据采用典型年实测值。根据冷季型草坪在北京地区的生长周期,模拟时间取为 4~11 月。

典型年早熟禾、高羊茅草坪在不同养护条件下 4~11 月灌水量见表 4。在草坪养护中,一般需在三月中旬灌返青水,在 11 月下旬灌越冬水,返青水和越冬水以浇透土壤为宜。本次模拟中考虑了越冬水,而未考虑返青水。灌返青水时,土壤初始含水量为凋萎含水量,则需灌水量 72 mm。

表 4 北京地区不同水文年份早熟禾与高羊茅 4~11 月份模拟的灌水量
Table 4 Irrigation volumes for Kentucky bluegrass and Tall fescue from April to November of different hydrological years in Beijing area

草种	水文年型	特级养护			一级养护		
		灌水次数	灌水定额/mm	灌水量/mm	灌水次数	灌水定额/mm	灌水量/mm
早熟禾	丰水年(P=25%)	10	36	360	3	60	180
	平水年(P=50%)	12	36	432	4	60	240
	枯水年(P=75%)	14	36	504	6	60	360
	特旱年(P=95%)	17	36	612	6	60	360
高羊茅	丰水年(P=25%)	11	36	396	4	60	240
	平水年(P=50%)	13	36	468	5	60	300

枯水年(P=75%)	17	36	612	6	60	360
特旱年(P=95%)	19	36	684	7	60	420

因此, 在特级养护条件下, 早熟禾所需灌水量为 432~682 mm; 高羊茅为 462~752 mm; 在一级养护条件下, 早熟禾所需灌水量为 252~432 mm; 高羊茅为 312~492 mm。

国内许多学者都对北京地区冷季型草坪的灌水量进行了估算。程维新等^[2]通过比较最大蒸发力和多年平均降雨, 认为草坪全年缺水 123 mm。杨建国等^[7]运用 FAO 编制的 CROPWAT 软件制定了不同降雨频率下草坪污水灌溉制度, 发现早熟禾、高羊茅的全年灌水量在 350~450 mm 之间。赵炳祥^[3]、张新民等^[4]通过小型蒸渗仪试验, 估计 4~11 月早熟禾、高羊茅草坪水分亏缺量: 在充分灌溉条件下, 为 500~600 mm; 在限水灌溉条件下, 为 400~500 mm。孙强等^[9]估计典型冷季型草坪 4~11 月灌水量为 450~650 mm。何军等^[10]估计全年灌水量约 500 mm。从这些研究中可以看出, 国内学者大致认为北京地区冷季型草坪(早熟禾、高羊茅)全年灌水量在 400~700 mm 之间。本研究得出的早熟禾、高羊茅灌水量与这一范围基本一致。

3 结 论

1) 本文应用 2003 年北京地区典型冷季型草坪(早熟禾、高羊茅)实测的土壤、气象资料对 ISAREG 模型进行率定, 并确定了相应的作物系数, 且应用 2004 年实际测定资料对模型进行了验证。研究表明模型具有较高的精度, 在率定与验证过程中, 根层土壤含水率模拟值与实测值的相对误差小于 8%。生长季节内, 早熟禾、高羊茅的作物系数在 0.5~1.0 之间。

2) 应用 ISAREG 模型, 对典型水文年型两种草坪的灌溉制度进行了预报。在特级养护条件下, 早熟禾所需灌水量为 432~682 mm; 高羊茅为 462~752 mm; 在一级养护条件下, 早熟禾所需灌水量为 252~432 mm; 高羊茅为 312~492 mm。

致谢: 感谢北京市通州节水农业综合试验站为本论文提供的有关试验资料。

[参 考 文 献]

- [1] 北京市人民政府. 北京市政府工作报告[R]. 北京: 北京市人民政府, 2002.
Beijing Municipal People's Government. Beijing Government Work Report[R]. Beijing: Beijing Municipal People's Government, 2002. (in Chinese)
- [2] 程维新, 康跃虎. 北京地区草坪耗水量测定方法及需水量浅析[J]. 节水灌溉, 2002, (5): 12-14.
Cheng Weixin, Kang Yaohu. Measuring method of water consumption and water requirement of lawn in Beijing area[J]. Water Saving Irrigation, 2002, (5): 12-14. (in Chinese with English abstract)
- [3] 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.
Zhao Bingxiang, Hu Lin, Chen Zuozhong, et al. Evapotranspiration rates and crop coefficients of turfgrasses in North China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25(6): 39-44. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张新民, 胡 林, 边秀举, 等. 灌水条件对冷季型草坪草蒸散量和草屑积累量的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 50-52.
Zhang Xinmin, Hu Lin, Bian Xiujun, et al. The influence of soil water condition on the evapotranspiration and clipping yields of three cool-season turfgrasses[J]. Acta Agrictir Sinica, 2002, 10(1): 50-52. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张新民, 孙新章, 胡 林, 等. 北京地区常用草坪草的耗水规律及适宜灌溉量研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 77-80.
Zhang Xinmin, Sun Xinzhang, Hu Lin, et al. Evapotranspiration and reasonable irrigation amount of the common turfgrasses in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(6): 77-80. (in Chinese with English abstract)

- [6] 张新民, 胡 林, 边秀举, 等. 北方常用草坪草的蒸散量差异及耗水性评价[J]. 草业学报, 2004, 13(1): 79-83.
Zhang Xinmin, Hu Lin, Bian Xiujun, et al. Evapotranspiration differences and water consumption of common turfgrasses in Northern China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2004, 13(1): 79-83. (in Chinese with English abstract)
- [7] 杨建国, 黄冠华, 黄权中, 等. 污水灌溉条件下草坪草耗水规律与灌溉制度初步研究[J]. 草地学报, 2003, 11(4): 329-333.
Yang Jianguo, Huang Guanhua, Huang Quanzhong, et al. A preliminary study on turfgrasses water consumption and irrigation schedule with irrigation of sewage effluent[J]. Acta Agrictir Sinica, 2003, 11(4): 329-333. (in Chinese with English abstract)
- [8] 杨建国, 张新民. 北京市草坪灌溉制度拟定[J]. 节水灌溉, 2005, (2): 11-13.
Yang Jianguo, Zhang Xinmin. Studying out of turfgrass irrigation schedule in Beijing[J]. Water Saving Irrigation, 2005, (2): 11-13. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙 强, 韩建国, 姜 丽, 等. 草坪蒸散量及水分管理的研究[J]. 草地学报, 2004, 12(1): 51-56.
Sun Qiang, Han Jianguo, Jiang Li, et al. Study on the evapotranspiration rate and water management of turf[J]. Acta Agrictir Sinica, 2004, 12(1): 51-56. (in Chinese with English abstract)
- [10] 何 军, 刘自学, 胡自治, 等. 北京地区三种草坪草蒸散量与需水特性初探[J]. 草原与草坪, 2005, (2): 50-54.
He Jun, Liu Zixue, Hu Zizhi, et al. Study on the evapotranspiration and water requirement of three turfgrass species in Beijing[J]. Grassland and Turf, 2005, (2): 50-54. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘 钰, Teixeira J L, Pereira L S. 作物需水量与灌溉制度模拟[J]. 水利水电技术, 1997, 28(4): 38-43.
Liu Yu, Teixeira J L, Pereira L S. Simulation on crop water requirements and irrigation scheduling[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1997, 28(4): 38-43. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘 钰, Pereira L S. 考虑地面灌水技术制约的灌溉制度优化[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 74-79.
Liu Yu, Pereira L S. Optimization of irrigation scheduling considering constraints of surface irrigation technology[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(4): 74-79. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘 钰, 蔡甲冰, 蔡林根, 等. 黄河下游灌区农田灌溉制度与供需平衡分析[J]. 水利学报, 2005, 36(6): 701-708.
Liu Yu, Cai Jiabing, Cai Linggen, et al. Analyses of irrigation scheduling and water balance for irrigation district in lower reaches of yellow river[J]. Shuili Xuebao, 2005, 36(6): 701-708. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张立桢, 张万美, 朱巧玲. 利用农田水量平衡模型评价棉田不同的灌溉制度[J]. 棉花学报, 1997, 9(3): 142-149.
Zhang Lizhen, Zhang Wanmei, Zhu Qiaoling. Evaluation of different cotton irrigation scheduling by using field water balance model[J]. Acta Gossypii Sinica, 1997, 9(3): 142-149. (in Chinese with English abstract)
- [15] 石贵余, 张金宏, 姜某余. 河套灌区灌溉制度研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(5): 72-76.
Shi Guiyu, Zhang Jinhong, Jiang Mouyu. Research of crop irrigation scheduling for Hetao irrigation district[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003, 22(5): 72-76. (in Chinese with English abstract)
- [16] Teixeira J L, Pereira L S. ISAREG, an irrigation scheduling simulation model[J]. ICID Bull, 1992, 41(2): 29-48.
- [17] 许 迪, 蔡林根, 王少丽, 等. 农业持续发展的农田水土管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 154-156.
Xu di, Cai lingen, Wang shaoli, et al. A study on field water and soil management under sustainable agricultural development[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000: 154-156. (in Chinese)
- [18] Smith M. CROPWAT—A Computer Program for Irrigation Planning and Management[J]. FAO Irrigation and Drainage Paper 1992, 56.
- [19] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements[J]. FAO Irrigation and Drainage Paper 1998, 56.
- [20] T. J. 马歇尔, J. W. 霍姆斯. 土壤物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
Marshall T J, Holmes J W. Soil Physics[M]. Beijing: Science Press, 1986. (in Chinese)

- [21] 王志强, 朝伦巴根, 高瑞忠, 等. 多年生人工牧草高效用水灌溉制度的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 49-55.
Wang Zhiqiang, Chao lunbagen, Gao Ruizhong, et al. High efficient irrigation scheduling of the perennial cultivated forage grasses[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(12): 49-55. (in Chinese with English abstract)
- [22] 孙 强. 北京地区常用草坪草水分利用比较及节水灌溉研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [23] 蔡甲冰, 刘 钰, 蔡林根, 等. 灌区灌溉设计频率分析计算方法研究[J]. 灌溉排水学报, 2001, (4): 30-31.
Cai Jiabing, Liu Yu, Cai Lingen, et al. A method of determining suitable probability for irrigation project design[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2001, (4): 30-31. (in Chinese with English abstract)
- [24] DB11/T 349-2006, 草坪节水灌溉技术规定[S].

Simulation of irrigation requirements of typical cool season turfgrass in Beijing area

Liu Lifang^{1,2}, Huang Guanhua^{1,3*}, He Jianping⁴, Li Shaoseng⁴, Wang Hongling⁴, Wang Hu⁵

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Chinese-Israeli International Center for Research and Training in Agriculture, Beijing 100083, China;

4. Beijing Municipality Water-Saving Office, Beijing 100036, China;

5. Chinese Academy of Agricultural Mechanical Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to reduce the irrigation requirements of turfgrass species and increase the utilization ratio of precipitation in Beijing, the study focuses on the irrigation requirements of typical cool season turfgrass species under full use of precipitation. The datasets of two cool season turfgrass species, i.e., Kentucky bluegrass and Tall fescue collected in 2003 were used to calibrate the irrigation scheduling simulation model (ISRAEG), and then the datasets of 2004 were used to validate the ISRAEG model. Finally, the ISAREG model was used to simulate the irrigation schedules for the two cool season turfgrass species in dry, normal and wet years with different maintenance levels. The results show that the value of crop coefficient for the cool season turfgrass species in the growing season is ranged in 0.5~1.0. And the irrigation quantity required for Kentucky bluegrass and Tall fescue are 432~682 mm/a and 462~752 mm/a in the highest maintenance level, respectively. Meanwhile, the irrigation quantity required for the cool season turfgrass species are 252~432 mm/a and 312~492 mm/a in the first degree of maintenance level, respectively. The results are expected to provide some scientific implications for the best irrigation management practices of the cool season turfgrasses in Beijing area.

Key words: cool season turfgrass, crop coefficient, irrigation requirement, soil moisture simulation