

屋顶绿化草坪草蒸散量与土壤水分阈值研究

宋玉飞¹, 李海梅¹, 刘霞², 汤新¹, 刘晓¹

(1. 青岛农业大学 园林与林学院, 山东 青岛 266109; 2. 山东绿城市政园林工程有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要:以屋顶绿化中主要应用的3种草坪草(草地早熟禾、多年生黑麦草、狗牙根)为试材, 分别进行充足灌水与限制灌水处理, 对其蒸散量及土壤水分阈值进行研究。结果表明:充分灌水组和限制灌水组试验期内蒸散量均表现为黑麦草>狗牙根>早熟禾, 且充分灌水组草坪的蒸散量要大于限制灌水组草坪的蒸散量, 得出最佳土壤水分阈值狗牙根为66.0%~82.6%, 黑麦草为59.7%~70.3%, 早熟禾为62.5%~81.9%, 并由此得出狗牙根需补充灌溉5次, 每次灌溉量为25.9 mm; 黑麦草需补充灌溉9次, 每次16.5 mm; 早熟禾需补充灌溉4次, 每次30.3 mm。

关键词:草坪草; 蒸散量; 光合生理; 土壤水分阈值

中图分类号: TU 985.12⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)19-0101-05

草坪不仅可以美化环境, 改善小气候, 且能提供休闲游憩与体育活动的场所。因其优良的景观效果与生态功能使其成为城市绿化中重要的基础绿化素材。屋顶绿化作为一种不占用城市用地空间的新型绿化形式, 越来越受到人们的关注。随着城市绿化建设迅速发展, 屋顶绿化面积逐步扩大, 屋顶草坪种植面积也随之增加, 但草坪建植面积的增大必然带来对水资源需求的骤增^[1]。当前由于草坪的盲目灌溉, 不可避免的造成了水资源的浪费, 在满足草坪的景观效果和使用性能的前提下尽可能的减少灌溉量是缓解水分供需矛盾的有效手段^[2]。因此, 研究在屋顶绿化环境条件下草坪草的耗水特性及草坪草生长适宜的土壤水分阈值, 筛选出草坪草适宜的灌水方案, 以期对草坪草的节水灌溉提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择北方地区主要应用的3种草坪草草地早熟禾(*Poa pratensis*)、多年生黑麦草(*Lolium perenne*)、狗牙根

(*Cynodon dactylon*)作为试验材料。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 2015年5月采用屋顶种植结合盆栽种植的方法进行试验, 盆栽草坪草用于蒸散量的测定。屋顶种植铺设3个3 m×5 m小区, 小区之间间隔50 cm, 试验用土为园土与草炭土按照1:1的比例均匀混合配制而成, 再添加适量的蛭石和珍珠岩。盆栽苗选用内径为32 cm, 高26 cm底部有透水孔的花盆, 采用与小区相同的基质, 每种草坪草播种6盆, 试验期间用遮雨棚防止雨水进入。设置充分灌水组和限制灌水组2种水分处理组, 充分灌水组指生长期内保证水分处于充裕状态, 限制灌水组进行水分胁迫处理, 直至叶片出现轻度萎蔫时再浇水。

1.2.2 土壤水分梯度的设置 用环刀法测得试验所用土壤容重为0.52 g·cm⁻³, 试验期间对草坪草浇透水使水分自然下渗。利用土壤湿度计监测土壤含水量的变化(早、中、晚各测定1次, 取其平均值, 测定时间为8:00、14:00、18:00), 1 d后获得第1个水分梯度, 以后每隔1 d获得一个土壤水分梯度。通过测算得出3种草坪草的土壤水分梯度: 狗牙根为98.4%、82.6%、66.0%、38.9%; 黑麦草为90.5%、70.3%、59.7%、33.4%; 草地早熟禾为96.9%、81.9%、62.5%、37.0%。

1.3 项目测定

1.3.1 草坪草蒸散量测定 试验期间对所有的盆栽草坪草浇透水, 让其自然下渗6 h后进行称重, 记录初始数据。之后每天18:00对花盆称重, 当日与前一日花盆质量之差为这期间的蒸散量。计算公式为: $ET = (W_1 -$

第一作者简介:宋玉飞(1990-), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向为城市生态学。E-mail: songyufei972@163.com

责任作者:李海梅(1975-), 女, 山东青岛人, 博士, 教授, 研究方向为城市生态学。E-mail: lihaimei75@163.com

基金项目:山东省青年基金资助项目(BS2012NY005); 研究生创新计划资助项目(760-1425); 大学生创新计划资助项目(1105001); 青岛市科技局资助项目(13-1-4-165-jch)。

收稿日期:2016-05-06

$W_2)/A$,式中: ET 为草坪草的日蒸散量(mm); W_1 和 W_2 是相邻2 d称取的盆重(kg); A 为花盆内径面积(m^2)。

1.3.2 不同土壤水分梯度下光合参数的测定 9:00—11:00 选择长势良好且长势一致的草坪草,利用 CIRAS-3 便携式光合仪测定草坪草在不同土壤水分梯度下的各光合参数的光响应进程,3 次重复。光强(PAR)设定为 1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、100、50、20、0 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 11 个水平。记录叶片净光合速率(P_n , $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)、水分利用效率(WUE , $mmol \cdot mol^{-1}$)等参数。

1.4 数据分析

采用 SPSS 数据分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 草坪草的蒸散量

蒸散量是植株蒸腾量及土壤蒸发量的总称,蒸散量的大小反映了草坪草的耗水特性,是草坪草是否节水的重要指标^[3-5]。根据 3 种草坪草的日蒸散量,得出试验期间草坪草在充分灌水和限制灌水条件下的蒸散总量。由图 1 可知,3 种草坪草蒸散量表现为:充分灌水组试验期内蒸散量表现为黑麦草(230.95 mm)>狗牙根(193.75 mm)>早熟禾(189.10 mm),限制灌水组的蒸散总量表现为黑麦草(187.02 mm)>狗牙根(169.95 mm)>早熟禾(167.18 mm)。由于屋顶环境(光照、温度、风速等)的特殊性及生长季草坪生理代谢活动比较旺盛,3 种草坪草整体蒸散量均较高。对于同一种草坪草,充分灌水处理组的蒸散量要高于限制灌水组的蒸散量,且差异显著($P<0.05$)。充分灌水条件下获得的蒸散量理论上是草坪草的最大蒸散量,限制灌水条件下获得的蒸散量是理论上的最小蒸散量,二者之差即为草坪草的节水潜力^[6],由此可知 3 种草坪的节水潜力为黑麦草(43.93 mm)>狗牙根(23.80 mm)>早熟禾(21.92 mm),相比其它 2 种草坪草来说,黑麦草的节水潜力较大。

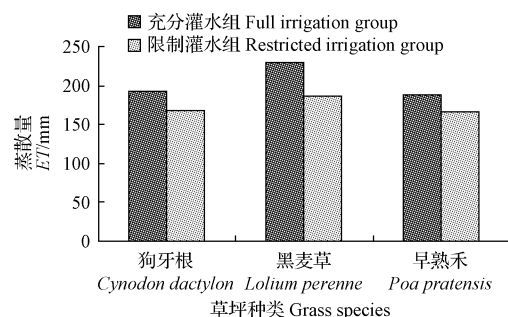


图 1 不同水分处理下 3 种草坪草的蒸散量

Fig. 1 The ET of 3 kinds of turf-grass under different water content conditions

2.2 不同土壤水分梯度下的光响应进程

在植物生长发育过程中,植物光合生理活动最活跃

的阶段并不是在土壤水分最高的时候,而是在一个适当的土壤水分范围,不同的植物其最佳的土壤水分阈值也不同^[7-8]。

2.2.1 不同土壤水分梯度下净光合速率的光响应 对不同土壤水分下狗牙根的 P_n 光响应曲线进行模拟,由图 2 可知,不同水分条件下的光响应曲线变化趋势相似, P_n 随着光合有效辐射(PAR)的增强而逐渐升高,直至达到饱和,曲线的变化趋于平稳。不同土壤水分条件下狗牙根的 P_n 饱和点不同,在土壤相对含水量(RWC)为 82.6%时 P_n 最高。当 RWC 在 66.0%~82.6%范围内,狗牙根表现出较高的光合效率,在 RWC 高于 82.6%和低于 66.0%时, P_n 均有所下降。 RWC 为 38.9%时的 P_n 明显低于其它 3 个水分梯度,说明当土壤相对水分含量过低时会影响植物光合作用的进行。综上所述,有利于狗牙根 P_n 的土壤相对含水量为 66.0%~82.6%。由图 3 可以看出,黑麦草 P_n 在 RWC 为 59.7%~90.5%时都表现出较高水平,低光照强度下, P_n 随光照强度的增加迅速上升,在 PAR 达到 1 000~1 200 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时曲线开始趋于平缓, P_n 达到饱和。在 RWC 为 33.4%时 P_n 最低,在光强为 600 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时 P_n 就达到了稳定,当光照强度继续增加时, P_n 变化幅度不大,主要原因是土壤水分过低时植物叶片组织对光能利用能力降低所致。由图 4 可知,4 种水分梯度下的草地早熟禾在光照强度达到 100 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 之前光合作用和呼吸作用均达到平衡状态,此时的净光合速率为零,之后光合作用不断增强,在 1 000 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时净光合速率基本达到饱和。草地早熟禾在 4 种水分梯度下的净光合速率差异不显著,在 RWC 为 62.5%~81.9%时处于较高水平,低光强下当 RWC 为 96.9%时早熟禾的净光合速率较高,但随着光照强度的增加, P_n 的变化幅度不明显且有减少的趋势,在 RWC 为 37.0%时, P_n 处于最低水平,说明植物在水分亏缺时,利用光能的能力减弱。

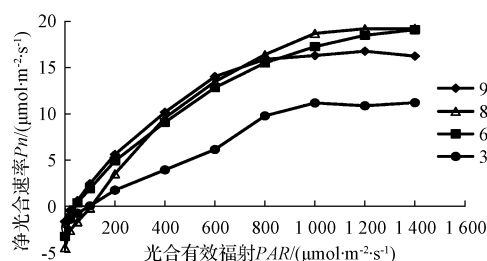


图 2 狗牙根在不同土壤水分梯度下净光合速率的光响应曲线

Fig. 2 Light response curves of net photosynthetic rate of *Cynodon dactylon* under different soil water content conditions

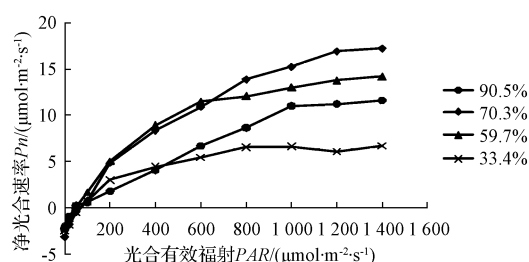


图3 黑麦草在不同土壤水分梯度下
净光合速率的光响应曲线

Fig. 3 Light response curves of net photosynthetic rate of *Lolium perenne* under different soil water content conditions

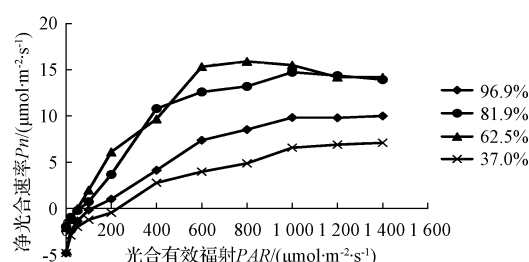


图4 草地早熟禾在不同水分梯度下
净光合速率的光响应曲线

Fig. 4 Light response curves of net photosynthetic rate of *Poa pratensis* under different soil water content conditions

2.2.2 不同土壤水分梯度下水分利用效率的光响应
水分利用效率(WUE)是研究植物对水分高效利用的一个核心问题,通常作为评价植物生长适宜程度的综合性指标^[9-10]。从图5可以看出,在不同的土壤水分梯度下,狗牙根的水分利用效率的变化规律呈相似趋势。在低光强($PAR < 300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)时,WUE随着PAR的增强上升迅速,随着PAR增强,WUE上升缓慢,在达到饱和后有略下降的趋势。不同土壤水分条件下,WUE差异显著,在RWC为66.0%~82.6%时,WUE可达到较高水平,当土壤水分高于或低于此值时,WUE均下降,说明在土壤水分过高和过低时,均不利于狗牙根对水分的利用,能维持较高WUE的水分范围为RWC在66.0%~82.6%。从图6可以看出,黑麦草各土壤水分浓度下,水分利用效率的光响应曲线变化趋势与狗牙根类似,弱光下($PAR < 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),随着光照强度的增强,WUE上升较快,随后上升缓慢,逐渐趋于稳定。在光照强度过强($PAR > 1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)时,WUE有下降的趋势;不同的土壤水分梯度下,WUE明显不同,当RWC为70.3%时,WUE达到最高水平,土壤水分降低时,WUE明显降低,但是土壤水分继续升高,WUE也表现为下降的趋势。黑麦草保持最佳水分利用

效率的土壤水分阈值为59.7%~70.3%。从图7可以看出,在低光照强度($PAR < 300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)时,WUE上升较快,之后随着光照强度继续增加,WUE的变化趋势不同。在RWC为62.5%和81.9%时,WUE达到最大值之后不再上升,在RWC为37.0%和96.9%时,WUE随着光照的增强缓慢上升,最后保持在较平稳的水平,在RWC为96.9%时,在高光强下,WUE有下降的趋势。维持较高WUE的RWC为62.5%~81.9%。

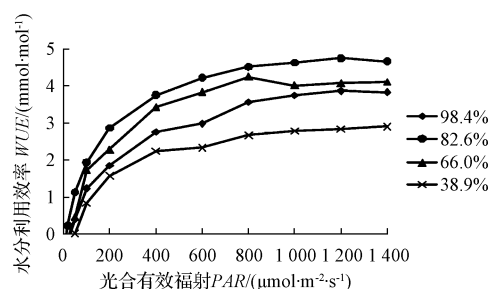


图5 不同水分梯度下狗牙根水分利用效率的光响应曲线
Fig. 5 Light responses of WUE of *Cynodon dactylon* under different soil moisture conditions

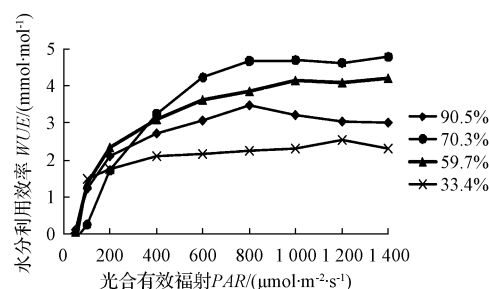


图6 不同水分梯度下黑麦草的水分利用效率的光响应曲线
Fig. 6 Light responses of WUE of *Lolium perenne* under different soil moisture conditions

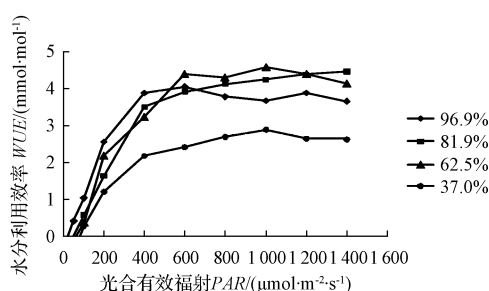


图7 不同水分梯度下草地早熟禾
水分利用效率的光响应曲线

Fig. 7 Light responses of WUE of *Poa pratensis* under different soil moisture conditions

2.3 土壤水分阈值与灌溉制度的确定

根据3种草坪草在不同土壤水分梯度下的净光合速率和水分利用效率的光响应曲线分析得出,各草坪草同时具有较高的光合速率和较高的水分利用效率时的土壤水分阈值为狗牙根66.0%~82.6%,黑麦草59.7%~

70.3%,草地早熟禾 62.5%~81.9%。

草坪草的根系分布在 0~30 cm 深度的土层中,设定草坪草的计划湿润深度为 30 cm,根据公式计算灌溉定额即补灌量,计算公式为: $H=RH \times (W_{\text{上}} - W_{\text{下}}) \times Sd$ 。式中, H 为灌溉定额(mm)即为补灌量, Rh 为计划湿润湿度(mm), $W_{\text{上}}$ 为土壤相对含水量上限, $W_{\text{下}}$ 为土壤相对含水量下限, Sd 为土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

根据气象资料可知,青岛市城阳区多年来春季的平均降雨量为 47.2 mm,有效降雨量为 47.2 mm。由草坪草的最低蒸散量与有效降雨量得出每种草坪草的缺水量,由缺水量和补灌量得出其灌溉次数。

由表 1 可知,不同草坪草在 5 月的补灌量和缺水量有所差异,其中黑麦草与其它草坪草的差异最大,主要原因是其蒸散量高于其它 2 种草坪,需要补充灌溉 9 次,每次灌溉量为 16.5 mm;狗牙根需要补灌 5 次,每次灌溉量为 25.9 mm;草地早熟禾需要补充灌溉 4 次,每次灌溉量为 30.3 mm。

表 1 3 种草坪草的灌溉制度

Table 1 Irrigation systems of 3 kinds of turf-grass

草坪草种类 Grass species	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>
灌溉定额 Irrigation amount/mm	25.9	16.5	30.3
缺水量 Water shortage/mm	122.7	139.8	120.0
灌溉次数 Irrigation times	5	9	4

3 结论与讨论

通过对草坪草蒸散量的测定,得出 3 种草坪草的蒸散总量为黑麦草(187.02~230.95 mm)>狗牙根(169.95~193.75 mm)>早熟禾(167.18~189.10 mm),不同水分处理对草坪草蒸散量有较大影响,充分灌水条件下草坪的蒸散量要显著高于限制灌水条件下的蒸散量。

对不同土壤水分梯度下的净光合速率和水分利用效率光响应曲线进行研究,结果表明,3 种草坪草适宜的土壤水分阈值狗牙根为 66.0%~82.6%,黑麦草为 59.7%~70.3%,草地早熟禾为 62.5%~81.9%,在此土壤水分阈值内草坪草对水分的利用效率最高,属于高产高效水。根据草坪草的蒸散量、有效降雨量及最佳土壤水分阈值得出狗牙根需补充灌溉 5 次,每次灌溉量为

25.9 mm;黑麦草需补充灌溉 9 次,每次 16.5 mm;草地早熟禾需补充灌溉 4 次,每次 30.3 mm。

在屋顶特殊的环境影响下,该试验中的 3 种草坪草叶片及土壤水分散失速度均处于较高水平,该试验蒸散率最低的草地早熟禾也在 5.22~6.10 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 的水平,而之前的一些研究结果显示草地早熟禾蒸散率均在 3.2~4.0 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间,形成这种差异的主要原因是该试验处于春季,植物生理活动较为旺盛,另外在屋顶环境下光照、温度、风速等影响因子都加剧了植物及土壤水分的散失。

试验是在草坪草自然失水所形成的多级土壤水分梯度下测定完成的,得出的草坪草最适宜的土壤水分范围,并由此推算出草坪草的最佳灌溉量,由于草坪蒸散量受气候因子的影响较大,不同地区草坪草蒸散量也存在较大差异,建议在光合进程的研究中每天测定土壤水分的变化,其灌溉量也要根据当地使用的草坪草的种类和气候条件做出适当调整。

参考文献

- [1] 赵玉婷,胡永红,张启翔. 屋顶绿化植物选择研究进展[J]. 山东林业科技,2004(2):27-29.
- [2] 邢文刚,王艳艳,寇丽娟,等. 不同水分处理对高羊茅草耗水及生长质量的影响[J]. 中国水土保持,2010(2):39-41.
- [3] 孙强,韩建国,毛培胜. 草地早熟禾与高羊茅蒸散量的研究[J]. 草业科学,2003,20(1):16-19.
- [4] 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):39-43.
- [5] 高凯,朱铁霞,胡自治. 北京地区三种冷季型草坪草蒸散量的研究[J]. 中国草地学报,2008,3(1):93-96.
- [6] 李倩,李海梅. 青岛地区五种混播草坪耗水特性研究[J]. 北方园艺,2014(19):57-60.
- [7] 陈建,张光灿,张淑勇,等. 辽东楸木光合和蒸腾作用对光照和土壤水分的响应过程[J]. 应用生态学报,2008(19):1185-1190.
- [8] 张征坤. 土壤水分对不同树种光合作用日动态过程的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2012.
- [9] 张光灿,刘霞,贺康宁,等. 金矮生苹果叶片气体交换参数对土壤水分的响应[J]. 植物生态学报,2004,28(1):66-72.
- [10] 李艳琴,谢帆,徐敏云,等. 北方常用草坪草的光合速率、蒸腾速率和水分利用效率研究[J]. 河北农业大学学报,2007,30(2):42-46.

Research on Evapotranspiration and Soil Moisture Threshold of Roof Greening Turf-grass

SONG Yufei¹, LI Haimei¹, LIU Xia², TANG Xin¹, LIU Xiao¹

(1. College of Landscape Architecture and Forestry, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109; 2. Shandong Green City Municipal Garden Engineering Co. Ltd., Liaocheng, Shandong 252000)

Abstract: Three kinds of turf-grass(*Poa pratensis*, *Lolium perenne*, *Cynodon dactylon*) which usually planted on roof were used as material, two groups which one was full irrigation and the other one was limited irrigation were set, the ET and photosynthetic physiology process of the turf-grass were measured. The results showed that during the experimental

“多规合一”趋势下风景名胜区管理问题研究

刘 澜^{1,2}, 唐晓岚¹, 熊 星¹

(1. 南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037; 2. 三江学院 建筑学院, 江苏 南京 210012)

摘 要:在探讨“多规合一”本质的基础上,梳理当前风景名胜区管理存在的机构衔接不顺畅、管理主体不统一、管辖范围不一致等问题,并分析其形成原因。按照“多规合一”的思路和理念,主要从管理体制、法规体系、管理范围和信息化建设等方面提出了提高风景名胜区管理水平的具体对策措施。

关键词:“多规合一”;风景名胜区;管理

中图分类号:TU 984.181 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)19-0105-05

2014年8月26日,由国家发改委、国土资源部、环保部和住建部联合下发的《关于开展市县“多规合一”试点工作的通知》中要求:“开展市县空间规划改革试点,推动经济社会发展规划、城乡规划、土地利用规划、生态环境保护规划‘多规合一’,形成一个市县一本规划、一张蓝图,是2014年中央全面深化改革工作中的一项重要任务。”“多规合一”的正式提出,既有利于提高各类区域规划的合理性,也有利于提高各类区域的管理水平。我国大多数风景名胜区具有地域广阔、景区和景点分散、涉及行政区域多等特征,这给管理带来了不少困难。因此,在“多规合一”的大趋势下,研究“多规合一”的本质,运用“多规合一”的理念和方法,研究解决当前风景名胜区管理存在的各种问题,不断规范风景名胜区管理的科

学性和有效性,是当前亟需研究的重要问题。

1 “多规合一”的本质

开展“多规合一”的主要原因是我国现行规划类型众多,这些规划由不同部门负责,极易造成同一地区多个部门各自进行,造成相互矛盾甚至冲突的规划局面,使得城镇发展建设效益低下、不可持续。

“多规合一”不能简单地与“多种规划合成一种规划”划上等号,因为“多规合一”并不是要“消灭”经济社会发展规划、城乡规划、土地利用规划和生态环境保护规划等,仅留一种“综合规划”,而是要将这些规划统筹并整合起来,实现基于“一张蓝图”的规划体系。所谓“一张蓝图”,主要是指各类规划基于统一的标准(含坐标系、数据和符号等)进行集中展现,其视图是统一的,尺度是统一的,权威信息来源是一致的。同时,各类规划的信息浏览、查询统计、分析决策等是互联共享的。因此,从本质上看,“多规合一”并不是独立的规划类型,而是一种能使多种规划互相协调、有效衔接的手段或方法,其目的是合理配置土地资源、提高土地使用效益和政府行政效能。基于此,“多规合一”不仅适用于经济社会发展规划、城乡规划、土地利用规划和生态环境保护规划等这一层面的规划,也适用于下一级层面,即也适用于这些规划的相关子规划,如风景名胜区规划、历史文化保护区保护规划、历史文化名城保护规划、城市绿

第一作者简介:刘澜(1984-),女,博士,讲师,研究方向为风景园林规划设计与理论。E-mail:184706606@qq.com.

责任作者:唐晓岚(1968-),女,教授,博士生导师,研究方向为风景园林规划设计与理论。E-mail:398887917@qq.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31270746);国家社会科学基金资助项目(128ZD029);江苏省2013年度“六大人才高峰”资助项目(2013-JZ-014);住房和城乡建设部2016年资助项目(2016-R2-068,2016-K6-014);江苏省高校自然科学基金资助项目(15KJD220001)。

收稿日期:2016-04-21

period the two kinds of irrigation group both behaves as *Lolium perenne* > *Cynodon dactylon* > *Poa pratensis*, meanwhile the evapotranspiration of turf-grass in full irrigation group was greater than the limited irrigation group. Besides, the suitable soil moisture scope was acquired, *Poa pratensis* 62.5%—81.9%, *Cynodon dactylon* 66.0%—82.6%, *Lolium perenne* 59.7%—70.3% and the most suitable irrigation volume was determined. Three turf-grass demand supplementary irrigation five times, nine times and four times, and the supplementary irrigation quantity were 25.9 mm, 16.5 mm and 30.3 mm once.

Keywords: turf-grass; evapotranspiration; photosynthetic physiology; soil moisture threshold