

# 北京4种常见园林植物的水分分级管理\*

王瑞辉<sup>1,2</sup> 马履一<sup>2</sup> 奚如春<sup>2</sup> 樊敏<sup>2</sup> 李丽萍<sup>2</sup>

(1. 中南林业科技大学 长沙 410004; 2. 北京林业大学 北京 100083)

**摘要:** 用盆栽和蒸散皿分别对大叶黄杨、金叶女贞、铺地柏3种灌木和草地早熟禾进行控水试验,测定土壤干旱胁迫过程中植物的蒸腾速率,观测外貌变化,据此将4种灌草植物的水分管理分为特级、一级和二级。特级为充分供水,植物生长旺盛,灌木和草坪的土壤水势分别为 $-0.24 \sim -0.08$  MPa和 $-0.07 \sim -0.02$  MPa;一级为轻度缺水,植物蒸腾减弱,但生长正常,外观未见明显的干旱胁迫症状,灌木和草坪的土壤水势分别为 $-0.48 \sim -0.24$  MPa和 $-0.18 \sim -0.07$  MPa;二级为中度缺水,植物出现短暂萎蔫,但对观赏效果影响不大,灌木和草坪的土壤水势分别为 $-1.41 \sim -0.48$  MPa和 $-0.78 \sim -0.18$  MPa。植物水分分级管理有利于提高水分利用效率,节约水资源。

**关键词:** 城市绿化; 节水灌溉; 蒸腾速率; 水分管理; 北京

中图分类号:S731.2 文献标识码:A 文章编号:1001-7488(2007)09-0018-05

## Controlled Water Supply of Four Species of Landscape Plants in Beijing

Wang Ruihui<sup>1,2</sup> Ma Lüyi<sup>2</sup> Xi Ruchun<sup>2</sup> Fan Min<sup>2</sup> Li Liping<sup>2</sup>

(1 Central South University of Forestry and Technology Changsha 410004; 2 Beijing Forestry University Beijing 100083)

**Abstract:** Water controlling experiment was conducted to study the transpiration rate of *Poa pratensis* and three shrubs including *Euonymus japonicus*, *Ligustrum × vicaryi*, *Sabina procumbens* by pot experiment and microlysimeter under soil moisture stress. Grade of water supply of these plants was divided into three grades: super grade, grade 1 and grade 2 according to observation data. Super grade refers to sufficient water supply, under this condition plants flourish and soil water potentials of shrubs and turf are respectively  $\sim -0.24 \sim -0.08$  MPa and  $-0.07 \sim -0.02$  MPa. Grade 1 means slightly water deficiency, under this condition plants grow normally and their transpiration rates decrease without responses against moisture stress, the water potential is respectively  $-0.48 \sim -0.24$  MPa and  $-0.18 \sim -0.07$  MPa. Grade 2 is medium water deficiency, that is, soil water potentials are respectively  $-1.41 \sim -0.48$  MPa and  $-0.78 \sim -0.18$  MPa and plants appear temporary wilting without influence on ornamental effect. Controlled water supply can increase efficiency of water use and save water resource.

**Key words:** urban landscaping; irrigation of water saving; transpiration rate; water management; Beijing

北京自然降雨稀少,水资源严重不足。为了改善北京的生态环境,满足人们对良好生态的渴望,实现“绿色奥运”的庄严承诺,北京已建立起庞大的城市绿地系统,且绿地面积呈快速增长态势。园林植物在发挥生态、景观等多种有益效能的同时,自身的耗水量也是巨大的。对于一个水资源短缺的城市,如何用较少的水量养护好这些绿地,是城市面临的重大课题(王瑞辉等,2005)。在北京的园林绿地中,灌草绿地占相当大的比例。本次试验选择的大叶黄杨(*Euonymus japonicus*)、金叶女贞(*Ligustrum × vicaryi*)、铺地柏(*Sabina procumbens*)和草地早熟禾(*Poa pratensis*)都是北京城市绿地中常见的灌草植物。大叶黄杨和金叶女贞既可配置成绿球、绿篱,也可片状种植,铺地柏为优质的地被植物,草地早熟禾是北京草坪的主要草种。灌木和草本植物由于根系较浅,对土壤水分敏感,是绿地水分管理的重点(王瑞辉,2006)。城市绿化植物的水分生理和水分利用历来是园林和园艺学者关注的重要课题(Janacek, 1997; Miller et al., 1998; 巨关升等, 2000; 冷平生等, 2000; 周平等, 2002; 马履一等, 2003; 王得祥等, 2004; 康博文等, 2005; 孟凡荣等, 2005),但以往的研究多数集中在绿化植物的耐旱性和灌溉方法的优化上(Loustau et al., 1993; 李银芳等, 1994; Saliendra et al., 1995; 张建国等, 2000; 李吉跃等, 2002; 招礼军等, 2003),强调的是耐旱植物的选择、先进灌溉技术的引进和应用(程维新等, 2002; 黄兴军等, 2005),着眼于植物本身水分生理需求的节水灌溉研究未见报道。从栽培和管理的角度,实现园林绿地节水有2条途径:一是基于不同植物蒸腾耗水量的差异,选择低耗水植物;二是

收稿日期:2006-11-21。

基金项目:国家自然科学基金项目(30371147);北京市自然科学基金项目(6052016);北京林业大学森林培育与保护教育部重点实验室(JD100220535);教育部高校博士点基金(20030022009)共同资助。

\* 马履一为通讯作者。

基于所有植物都能忍受适度干旱胁迫的理论,根据不同地段绿地功能的差异,有区别地对绿地水分进行分级管理,即对重点区域的绿地充分供水,对非重点区域的绿地适当干旱。本研究通过对北京4种常见绿化植物的水分梯度试验,掌握它们在不同水势下的生理和外貌特征,为实现园林绿地的水分分级管理打下基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

4年生的大叶黄杨、金叶女贞、铺地柏,2年生的草地早熟禾,它们均来自北京西山试验林场丹青苗圃。2005年3月中旬准备苗木,每树种20株,要求同一树种的苗木大小和株形基本相同。在起苗前先配制盆栽土,就近选择苗圃地肥沃的表层土,均匀搅拌后过筛。用于栽植苗木的花盆直径为30 cm、高25 cm。将苗木起出栽于花盆中,浇足定根水,进行常规管理,确保苗木成活。草坪蒸腾耗水通常用微型蒸散皿(microlysimeter)测定,本试验采用自制的微型蒸散皿。将横截面积47.716 cm<sup>2</sup>的PVC塑料管截成长度18 cm的圆筒9个,一端用胶带封口,在底部钻3个品字形小孔,以便浇水时水分能从蒸散皿中沥出,将直径略大的截成同等长度。将草坪装入蒸散皿的方法是:用刀片割取与PVC管内径面积相同的草皮,先将草坪下的土壤装入蒸散皿,再将草皮盖在上面,草皮应尽量多带土,草皮装入后面上与蒸散皿的上沿齐平。为了模拟纯草坪的蒸散效果,选择北京林业大学校门口的草地早熟禾纯草坪广场作为蒸散观测试验地,先将口径略大的PVC圆筒装入土中,圆筒的上端与地面齐平,再将装好草皮的蒸散皿放入PVC圆筒中,作好标记。

### 1.2 试验方法

试验分控水和充分供水2种处理。试验前所有参试植物都浇透水1次,控水的以后不再浇水(在试验过程注意避雨),充分供水的以后每天正常浇水,确保水分充分供应,植物不受干旱胁迫影响。参试灌木每种10盆,其中5盆控水、5盆充分供水。草坪蒸散皿共埋设10个,其中5个控水、5个充分供水。为了防止盆栽土壤水分蒸发,用塑料薄膜将盆体严密包扎,确保苗木蒸腾耗水是土壤水分流失的唯一途径。观测时段为2005年春季(5月15—31日)、夏季(7月10—25日)、秋季(9月8—28日),从控水的第1天开始观测(下雨天不测),直到控水苗木出现永久凋萎为止,每天6:00开始,18:00结束,每隔2 h 观测1次。

### 1.3 观测指标

1) 植物蒸腾速率 盆栽灌木的蒸腾速率用Licor-6400便携式光合分析仪(美国产)测定,草坪蒸腾速率用TG630扭力天平(最大称量30 kg,精度0.1 g)测定。

2) 土壤含水量 用土壤水分速测仪(MPM-26)测定。

3) 土壤水分特征曲线 试验开始前分别提取盆栽土壤和草坪土壤,各3个重复,将土样在干燥箱烘干制成土粒,用SEC广域压力膜仪(美国产)测定不同大气压力下的土壤含水量,设置的压力梯度为0.01、0.02、0.03、0.05、0.1、0.15、0.20、0.30、0.50、1.00、1.50、2.00 MPa,每一压力下的水分平衡时间为2 d。根据所得的试验数据,以土壤含水量(%)为因变量,土壤水势为自变量,利用SPSS12.0进行线性函数、二次多项式、对数、指数等11种曲线类型的拟合,置信度为95%,选定相关系数R最大者为最佳拟合曲线。

$$\text{盆栽土壤: } W_s = 9.782 - 3.42 \ln \psi_s, \quad \psi_s = e^{\frac{9.782 - W_s}{3.42}} \quad R = 0.994;$$

$$\text{草坪土壤: } W_s = 8.649 - 2.674 \ln \psi_s, \quad \psi_s = e^{\frac{8.649 - W_s}{2.674}} \quad R = 0.991.$$

式中:W<sub>s</sub>为土壤含水量(%),ψ<sub>s</sub>为土壤水势(-MPa),R为相关系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 蒸腾速率日变化与控水时间的关系

图1是4种植物随控水时间的延续蒸腾速率的日变化动态。从曲线的形状看,在控水的第1天里,由于水分供应充足,大叶黄杨、金叶女贞和铺地柏呈单峰型,以后随着土壤水势的下降,蒸腾速率的日变化呈现双峰型,中午前后有一个明显的暂缓期,草地早熟禾在整个控水期间蒸腾速率的日变化都呈单峰型,大叶黄杨、金叶女贞和铺地柏控水至15天、草地早熟禾控水至第7天,随着干旱胁迫的发展,各植物蒸腾速率的日变化均趋向于平缓,日周期里不再有大的变化;从日蒸腾的峰值大小来看,随控水时间的延长,各植物的蒸腾速率逐渐减弱,第15天以后,大叶黄杨、金叶女贞出现永久性凋萎,铺地柏虽未出现永久凋萎,但仪器已测不出

蒸腾作用,草地早熟禾控水至第7天后,出现永久性凋萎。

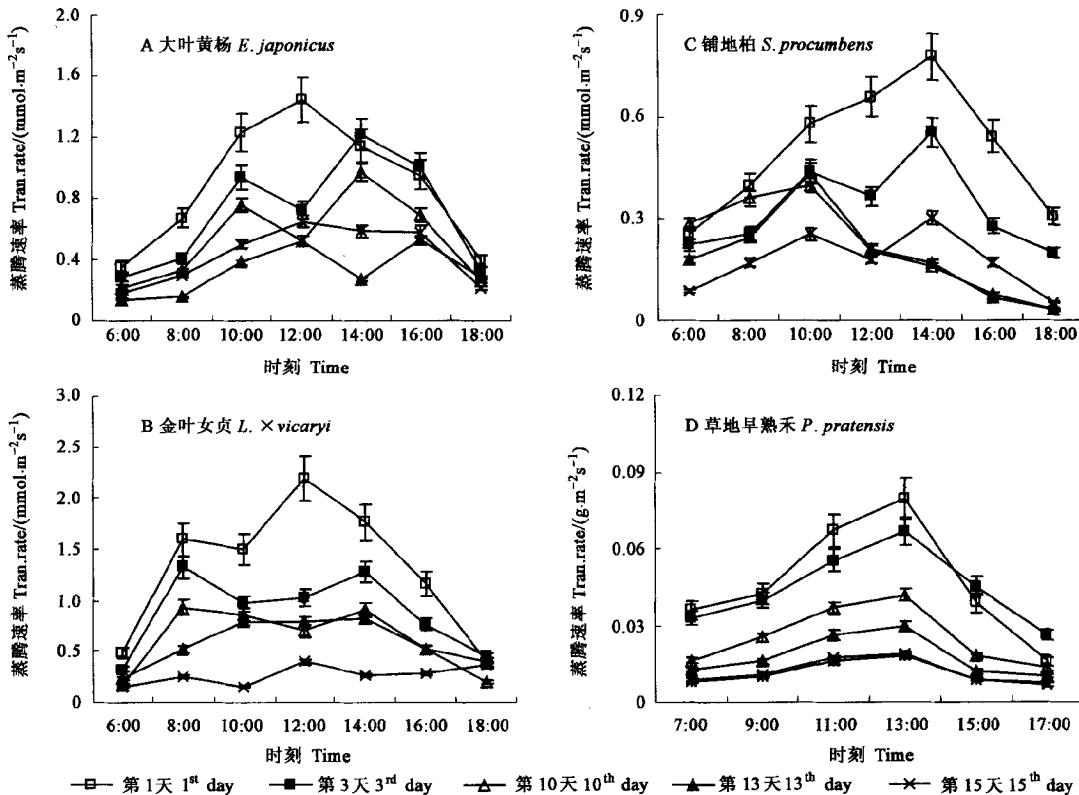


图 1 控水时间与植物蒸腾速率日变化的关系

Fig. 1 The relationship between daily fluctuation of transpiration rate and the time of controlled water

## 2.2 不同土壤水分梯度下植物的耗水性

控水试验的作法是先浇透水,以后不再浇水。第1次观测约在浇水后的12 h进行,土壤已排干了重力水,此时土壤含水量即为田间含水量。如图2所示,盆栽灌木的土壤田间含水量为18.6%、草坪为19.6%,控水后土壤含水量下降,3种灌木的土壤含水量在14.6%~18.6%、草坪的土壤含水量在15.7%~19.6%范围内,4种植物的蒸腾速率变化不大,金叶女贞和铺地柏在土壤含水量14.6%时,蒸腾强度达到最大值,高于此值时,蒸腾强度略有下降,可能是因为水分太多,土壤空隙度小,不利于根系的呼吸作用,根系吸水能力下降,大叶黄杨和草地早熟禾都是在土壤含水量为田间含水量时,蒸腾强度最大。3种灌木的土壤含水量低于14.6%、草坪的土壤含水量低于15.7%时,蒸腾开始显著减弱,但当前者的含水量在14.6%~12.3%、后者的含水量在15.7%~13.2%时,从外表上看植物仍然生长正常,看不出干旱胁迫症状,当3种灌木的土壤含水量低于12.3%、草坪的土壤含水量低于13.2%时,植物出现干旱症状,表现为晴天的中午叶片出现轻度萎蔫,但午后可逐渐恢复,至傍晚时可恢复到常态,当3种灌木的土壤含水量低于8.6%、草坪的土壤含水量低于9.3%时,大叶黄杨和金叶女贞叶片的萎蔫时间延长,下部叶片变黄、脱落,铺地柏下部叶片焦黄、脱落,草地早熟禾下部叶片枯黄;当3种灌木的土壤含水量下降到6.2%、草坪的土壤含水量下降至7.6%时,大叶黄杨、金叶女贞和草地早熟禾出现永久凋萎,铺地柏大量落叶,仅上部保留少量叶片维持蒸腾和光合。

各阶段土壤含水量所对应的土壤水势可以通过土壤水分特征曲线查得。水的运动方向是依水势由高向低,因此用水势衡量土壤中的水分能更好地说明土壤中可供植物吸收的水分状况。当土壤含水量在田间含水量及以下的一定范围内时,土壤水分多,水势高,土壤颗粒间充满水并在其间形成彼此相通的微细管道,水会沿此压力梯度形成集流通过这些管道运动到根的表面,植物对水分的需求就会得到充分的满足;当土壤水分进一步减少时,土壤颗粒间的管道由于被空气充入而使水流中断,这时水只能沿土壤颗粒表面流动,速度变慢,水势急剧变小,土壤水分的有效性降低,植物开始经受干旱胁迫;当土壤含水量继续下降时,由于土壤颗粒表面凹凸不平,附着在土壤颗粒上的水膜的表面也凹凸不平,水由于表面张力的作用而产生很大的负

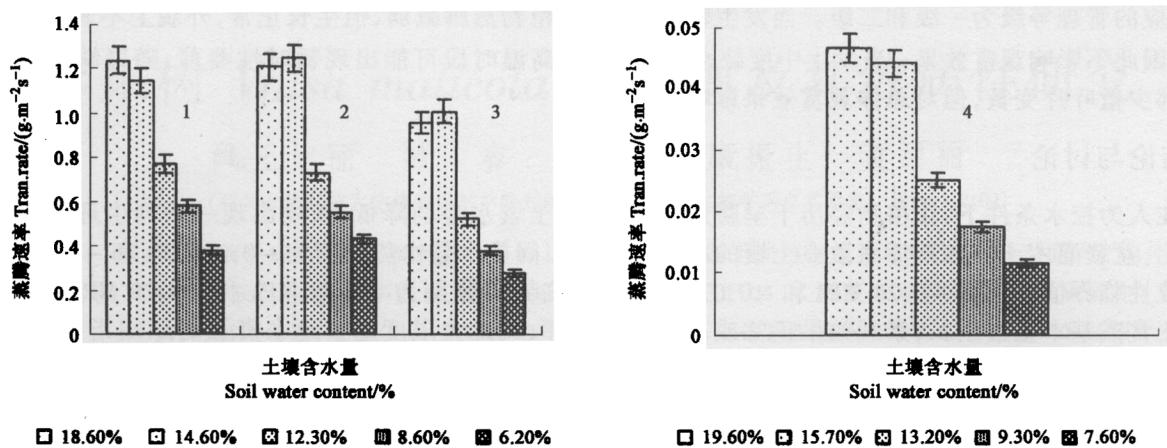


图2 土壤失水过程中的植物蒸腾变化

Fig. 2 Variation in the transpiration rate of plants in the course of soil water loss

1大叶黄杨 *E. japonicus*;2金叶女贞 *L. × vicaryi*;3铺地柏 *S. procumbens*;4草地早熟禾 *P. pratensis*.

压,土壤水势进一步下降,植物旱害加剧;当土壤水势下降到低于植物根系的水势时,植物就不能从土壤中吸水,植物出现永久凋萎(武维华,2003)。可见,在土壤含水量从田间含水量降至凋萎含水量的过程中,有两个的临界值需要把握,一是土壤水分有效性降低,植物开始遭受干旱胁迫时的土壤水势,可称为土壤水分的“有效性临界值”,高于此值,植物享受充分的水分供应,低于此值,植物开始经历干旱胁迫;二是土壤水分下降至影响植物正常生长、降低植物观赏性时的土壤水势,可称为土壤水分的“旱害临界值”。就同一种土壤而言,旱害临界值与植物种类的关系不大,原因是不同植物能达到的旱害临界水势虽然不同,但相差不会超过1 MPa,而在旱害临界值附近,含水量的微小变化都能引起水势值的大幅度增减,因此,对于栽培在同一种土壤上的不同植物,确定一个统一的旱害临界值是可行的(庞士栓,1990)。

表1 土壤供水等级划分

Tab. 1 Grades of water supply in soil

| 供水等级<br>Grades of water<br>content in soil | 盆栽灌木土壤<br>Soil of potted shrub   |                        | 草坪土壤<br>Soil of lawn             |                        | 生长特点<br>Growing<br>characteristic   | 供水等级<br>Grade of water<br>supply |
|--|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|---|----------------------------------|
|  | 水势<br>Water<br>potential/(- MPa) | 含水量<br>Water content/% | 水势<br>Water<br>potential/(- MPa) | 含水量<br>Water content/% |   |                                  |
| 水分充足<br>Sufficient water supply            | 0.24 ~ 0.08                      | 14.6 ~ 18.6            | 0.07 ~ 0.02                      | 15.7 ~ 19.6            | 生长旺盛<br>Blooming growing  | 特级<br>Special grade              |
| 轻度缺水<br>Slightly water deficiency          | 0.48 ~ 0.24                      | 12.3 ~ 14.6            | 0.18 ~ 0.07                      | 13.2 ~ 15.7            | 生长正常,无水分胁迫症状<br>Normal growing, no symptom<br>of moisture stress                            | 一级<br>Grade 1                    |
| 中度缺水<br>Medium water deficiency            | 1.41 ~ 0.48                      | 8.6 ~ 12.3             | 0.78 ~ 0.18                      | 9.3 ~ 13.2             | 出现暂时凋萎,可恢复,<br>下部少量叶片变黄<br>Impermanent languish, leaves at the<br>lower trunk become yellow | 二级<br>Grade 2                    |
| 严重缺水<br>Serious water deficiency           | > 1.41                           | < 8.6                  | > 0.78                           | < 9.3                  | 出现永久性凋萎,<br>大量叶片变黄,脱落<br>Permanent languish, a lots of leaves<br>become yellow and come off |                                  |

### 2.3 植物水分管理等级的划分

通过对植物在干旱胁迫进程中生理和外貌变化的观测,可以找到土壤水分的几个特征值:春夏秋3季田间含水量平均值盆栽土壤为18.6%(水势-0.08 MPa)、草坪土壤为19.6%(水势-0.02 MPa),水分有效性临界值盆栽土壤为-0.24 MPa(含水量14.6%)、草坪土壤为-0.07 MPa(含水量15.7%),旱害临界值盆栽土壤为-1.41 MPa(含水量8.6%)、草坪土壤为-0.78 MPa(含水量9.3%)。在田间含水量至旱害临界值范围内,可对植物实行水分分级管理。如表1所示,当土壤水分为田间含水量至土壤水分有效性临界值范围时,土壤水分能完全满足植物蒸腾的需要,植物生长旺盛,此时的供水等级为水分充足,维持土壤水分充足的管理等级为“特级”;在土壤水分有效性临界值至旱害临界值之间可划分两个水分等级,分别为轻度缺水和中度缺

水,对应的管理等级为一级和二级。当发生轻度缺水时,植物蒸腾减弱,但生长正常,外貌上不表现干旱胁迫症状,因此不影响观赏效果;当发生中度缺水时,植物在高温时段可能出现暂时性萎蔫,随着缺水时间的延续下部少量叶片变黄,但对总体观赏效果影响不大。

### 3 结论与讨论

在人为控水条件下,让植物经历干旱胁迫过程,随着土壤水势的降低,植物出现一系列生理和外貌特征的变化,盆栽灌木土壤和草坪蒸散皿土壤的水势特征值田间持水量水势分别为-0.08 MPa 和 -0.02 MPa、水分有效性临界值分别为-0.24 MPa 和 -0.07 MPa、旱害临界值分别为-1.41 MPa 和 -0.78 MPa。在既保证植物正常或基本正常生长,景观效果正常或基本正常发挥,又最大限度地节约水资源的原则指导下,将植物的供水分为水分充足、轻度缺水、中度缺水3个等级,相应的水分管理等级为特级、一级和二级,盆栽灌木和草坪各等级的水势范围特级分别为-0.24~-0.08 MPa 和 -0.07~-0.02 MPa、一级分别为-0.48~-0.24 MPa 和 -0.18~-0.07 MPa、二级分别为-1.41~-0.48 MPa 和 -0.78~-0.18 MPa。

将上述单株灌木和小面积草坪的水分等级管理应用到大面积绿地需要解决3个问题:一是土壤水势的监测,用土壤水分速测仪可以随时测定土壤的含水量,用铝盒取土样进行烘干测定精度更高,但需要花费几个小时的时间,测定了含水量后,根据土壤水分特征曲线换算水势;二是单位绿地灌溉量的计算,可先确定绿地水分管理等级,然后按灌木湿润30 cm 土层、草坪湿润10 cm 土层,计算土壤水势从该等级的下限上升至该等级的上限所需的水量;三是盆栽和蒸散皿能否代表大面积绿地。盆栽和蒸散皿对植物根系的生长发育和水分吸收有一定的影响,但只要选用足够大的花盆,观测时尽量模拟绿地真实环境,就能将这种不利影响降至最低(张建国等,2000)。

对绿地水分实现分级管理不仅具有生理、生态学依据,而且也符合集约管理的需要。在北京这样的大都市,建成区绿地面积已达26 248 hm<sup>2</sup>(2004年),如果对所有绿地都充分供水,已日趋紧缺的水资源将更加不堪重负,即便水资源充分,要确保如此庞大的绿地充分供水,其人力、物力和财力的消耗也将是巨大的(王瑞辉,2006)。城市中不同位置绿地的功能和作用是与它所处地段的地位相联系的,而城市各个部位在政治、经济、文化和城市功能协调等方面对城市总体的影响是不同的,据此可将城市绿地分为重点地段绿地、次重点地段绿地和一般地段绿地,相应地对绿地水分采用特级、一级和二级管理。至于具体地段的绿地适用哪一级水分管理,应由园林绿化主管部门和绿地所有者根据绿地的功能作用、当地水资源供需状况等确定。

### 参 考 文 献

- 程维新,康跃虎. 2002. 北京地区草坪耗水量测定方法及需水量浅析. 节水灌溉, (5):12~14  
 黄兴军,周 禾,严学兵. 2005. 城市园林节水灌溉技术的应用现状及发展趋势. 四川草原, (6):28~31  
 巨关升,刘奉亮,郑世锴,等. 2000. 稳态气压计与其他3种方法蒸腾测值的比较研究. 林业科学, 13(4):360~365  
 康博文,侯 琳,王得祥,等. 2005. 几种主要绿化树种苗木耗水特性研究. 西北林学院学报, 20(1):29~33  
 冷平生,杨晓红,胡 悅,等. 2000.5 种园林树木的光合和蒸腾特性的研究. 北京农学院学报, 15(4): 13~18  
 李吉跃,周 平,招礼军. 2002. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响. 生态学报, 22(9):1380~1386  
 李银芳,杨 戈,蒋 进,等. 1994. 盆栽条件下不同供水处理对六个树种蒸腾速率的影响. 干旱区研究, 11(3):39~43  
 马履一,王华田,林 平. 2003. 北京地区几个树种耗水性比较的研究. 北京林业大学学报, 25(2):1~7  
 孟凡荣,乔 芳,张志强. 2005. 北京城区3种绿化树种蒸腾耗水性比较. 福建林学院学报, 25(2):176~180  
 庞士栓. 1990. 植物逆境生理学基础. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 36~39  
 王得祥,康博文,刘建军,等. 2004. 城市主要绿化树种苗木耗水特性研究. 西北林学院学报, 19(4):20~23  
 王瑞辉,马履一,奚如春. 2005. 论城市森林建设树种选择的原则. 中南林学院学报, 25(3):58~62  
 王瑞辉. 2006. 北京主要园林树种耗水性和节水灌溉制度研究. 北京林业大学博士学位论文  
 武维华. 2003. 植物生理学. 北京:科学出版社, 47~66  
 张建国,李吉跃,沈国舫. 2000. 树木耐旱特性及其机理研究. 北京:中国林业出版社, 12~26  
 招礼军,李吉跃,于界芬,等. 2003. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水日变化的影响. 北京林业大学学报, 25(3): 42~47  
 周 平,李吉跃,招礼军. 2002. 北方主要造林树种苗木蒸腾耗水特性研究. 北京林业大学学报, 24(5/6):50~55  
 Janacek J. 1997. Stomatal limitation of photosynthesis as affected by water stress and CO<sub>2</sub> concentration. Photosynthetica, 34(3): 473~476  
 Loustau D, Granier A. 1993. Environmental control of water flux through Maritime pine(*Pinus pinaster* Ait) // Borghetti M, Grace J, Raschi A. Water transport in plants under climate stress. Cambridge University Press, 205~218  
 Miller B J, Clinton P W. 1998. Transpiration rates and canopy conductance of *Pinus radiata* growing with different pasture understoreys in agroforestry systems. Tree physiology, 18:575~582  
 Saliendra N Z, Sperry J S. 1995. Influence of leaf water status on stomatal responses to humidity, hydraulic conductance and soil drought in *Batula occidentalis*. Planta, 196:357~366

(责任编辑 郭广荣)