高尔夫球场草坪生态效益及其价值估算*

卢 璐[1,2] 苏德荣[2**]

([1] 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; [2] 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要 通过试验测定,分析了北方草坪草叶面积与其修剪特征之间的关系,进而建立草坪不同修剪高度下的叶面积指数关系模型。结果表明,草坪草叶面积指数随着草坪修剪高度的增加而增加,叶片宽度对叶面积指数变化的影响更大。在此基础上,以天津市某高尔夫球场为例,对该球场内不同组成部分的草坪绿量进行调查统计,并结合草地早熟禾单位面积日蒸腾量、释氧固碳量、蒸腾释水量和吸热量,计算得出案例中高尔夫球场草坪的生态效益为年蒸腾总量 88119744.59 mol,年吸收 CO_2 量 10771.66 t,年释放 O_2 量 7830.67 t,年蒸腾吸热量 6903753.43 GJ,并运用环境效益评价法估算出该球场草坪年吸收 CO_2 量总价值为 1102.59 万元,年释放 O_2 量总价值为 313.23 万元,年蒸腾吸热总价值为 126760.58 万元,总生态价值量达 128176.95 万元。

关键词 高尔夫球场; 草坪; 生态效益; 生态价值量

中图分类号 S731.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)10-2022-06

Ecological benefits of golf course turf in North China and their value estimation. LU Lu[1,2], SU De-rong[2] ([1]*Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academic of Sciences, Beijing* 100085, *China*; [2]*The Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(10): 2022-2027.

Abstract: Through tests and measurements, this paper analyzed the relationships between the leaf area and mowing characteristic of golf course turfs in North China, and further, established a relational model of turf leaf area index with different mowing height. There was a positive relationship between the leaf area index and the mowing height, and the blade width had greater effects on the leaf area index. Taking a golf course in Tianjin City as the case, a survey was made on the turf green quantity in its different components, and the ecological benefits of the golf course were calculated, based on the daily transpiration, O_2 release and CO_2 intake, and heat absorption per unit area Kentucky bluegrass. The annual transpiration of the golf course was 88119744.59 mol, annual O_2 release and CO_2 intake were 7830.67 t and 10771.66 t, respectively, and annual heat absorption for transpiration was 6903753.43 GJ. The economic benefits of the golf course estimated by environmental benefit evaluation method were 1102.59 ten thousand yuan for annual CO_2 intake, 313.23 ten thousand yuan for annual O_2 discharge, and 126760.58 ten thousand yuan for annual heat absorption for transpiration, with the total ecological value being 128176.95 ten thousand yuan.

Key words: golf course; turf; ecological benefit; ecological value.

有 500 多年历史的高尔夫运动如今已风靡全球,据不完全统计,全球有高尔夫球场 3 万余个,截至 2009 年中国已建成高尔夫球场 500 余个,遍及 27 个省、自治区、直辖市,另有一批正在建设或即将建成的高尔夫球场。高尔夫在中国快速发展以来,其生态环境效益也不断接受着人们的质询。高尔夫球场 60~80 hm^2 面积中 90% 为绿地草坪植物。草坪具有释氧固碳、蒸腾吸热等生态效益,尤其是碳氧平衡作用更是不可替代。大面积的高尔夫球场绿地草坪植物产生的这些生态效益是无形产品,具有明显的社会消费性。

* 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD16B09)。

** 通讯作者 E-mail: suderong@163.com

收稿日期: 2010-03-08 接受日期: 2010-07-22

绿地中的物流和能流数量大小,决定于植物叶片面积总量的大小。以叶面积为主要标志的绿量,是决定园林绿地生态效益的最具实质性的因素(陈自新等,1998)。陈自新等(1998)对北京最常用的并有代表性的37种园林植物(15种乔木、17种灌木和5类草本植物)的绿量进行了系列研究,根据不同植物个体的叶面与胸径、冠高或冠幅的相关关系,建立了计算不同植株个体绿量的回归模型,计算绿量总和,最终定量研究了37种园林植物的生态效益。李辉和赵卫智(1998)测算了北方地区常见的早熟禾、野牛草等5种草坪地被植物的叶面积指数、释氧固碳量等,进而定量评价了5种草坪草的生态效益。但其数据无法反映高尔夫球场草坪随修剪高度改变引起的生态效益的变化趋势。目前对高尔夫球场绿地以货币形式反映其生态经济价值的研究尚鲜见报道。

本文通过试验,建立高尔夫球场草坪草叶面积与其修剪管理特征之间的关系,进而建立草坪不同修剪高度下的叶面积指数关系模型,采用春夏秋3季草坪草单位面积日蒸腾量、释氧固碳量、蒸腾释水量和吸热量的平均值,计算出天津某球场草坪生态效益,再通过价值量评价方法中替代市场技术对球场生态效益价值量进行评估,为高尔夫球场草坪所产生的无形产品(生态效益)的经济价值估算提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验地与试验材料

以北京林业大学草业学科昌平试验基地草坪草为试材,在草地早熟禾(*Poa pratensis*,午夜2号)上,根据修剪高度需要进行实地测定,用于分析叶片长度和叶片宽度对草地早熟禾叶面积的影响以及修剪高度与草地早熟禾叶面积指数的关系。以天津市某高尔夫球场为试验案例,调查球场草坪绿地面积、草坪修剪高度等,用于定量分析高尔夫球场草坪生态效益价值量。

1.2　试验观测原理及方法

叶面积指数(leaf area index,LAI),是一块地上作物叶片的总面积与占地面积的比值,即:叶面积指数=绿叶总面积/占地面积,是群体和群落生长分析时必不可少的重要参数(Gholz,1982)。绿地中的物流和能流数量大小,决定于植物叶片面积总量的大小。本试验采用传统的长宽法测定草坪的叶面积指数,其测定方法简便,无需昂贵的仪器。长宽法是将采集到的叶片平铺纸上,量出其平均长度和平均宽度,长宽相乘得出叶面积。

取样地草坪修剪高度设2、4、6、8和10 cm共5个处理,按单因素随机区组设计,每处理3个重复,共计15个小区。取样时用铁框划分小区,面积100 cm^2,利用直尺测量高度,再用剪刀将小区面积内的草坪高度修剪至不同试验高度,修剪整齐后,紧贴地面,将整块草坪草全部剪下,放在白纸上,立即随机选出10株草,用直尺测其长和宽,然后数出小区内草坪草的株数。

1.3　生态效益及其价值估算方法

1.3.1　生态效益分析

1)释氧固碳、蒸腾释水、吸热效益

释氧固碳和蒸腾吸热量的估算是在已有的研究基础上,根据李辉和赵卫智(1998)得出的草地早熟禾单位面积日蒸腾量132.14 mol·m^{-2}、固碳量9.01 g·m^{-2}、释氧量6.55 g·m^{-2}、释水量2378.58 g·m^{-2}、吸热量5774.67 kJ·m^{-2},再结合其叶面积指数,最终得出释氧固碳和蒸腾吸热效益,并进行定量化评价。

2)其他效益

滞尘效益。植物叶片表面特性和本身的湿润性具有较强的滞尘能力(古润泽等,2007),高尔夫球场大面积草坪和乔灌木犹如天然的"吸尘器",不断地接受、吸附、过滤着空气中的尘埃。

净化杀菌。大面积的草坪环境,能够净化空气,吸收大气中的二氧化碳、二氧化硫、氟化氢、氨、氯等有毒有害气体,草地早熟禾等还可测定空气中的SO_2的污染状况。

降低噪音。草坪草的叶和直立茎具有良好的吸音效果,在一定程度上能吸收和减弱125~800 Hz。据北京市园林研究所测定,20 m宽的草坪可减低噪音2 dB(谢汇,2003)。

净化土壤。植物的根系能够吸收大量有害物质,增加促使土壤中有机物迅速无机化的好气性细菌数量。大面积的草坪也是净化土壤的主要植被类型,当裸露的土地种植草坪后,不仅可以改善地表的环境,而且也能改善地下的土壤条件(陈向远,2001;严玲璋,2003)。调节小气候。草坪绿地的温度在夏季比裸地低0.7 ℃~3.2 ℃(黄承标等,2002),具有调节辐射热的功能。草的茎叶中含有60%~70%的水分,可以非常有效地提高空气湿度

(蒋胜铎,2000)。另外,草坪的空气湿度变化和土壤水分蒸发速率比裸地更低(孙吉雄,2002)。

1.3.2 生态效益价值量评价指标和方法 生态效益价值量又叫生态经济效益,评估方法采用替代市场技术,它是以"影子价格"(即等效替代物的价格)和消费者剩余来表达生态效益的经济价值,有费用支出法、市场价值法、机会成本法、旅行费用法和享乐价格法(欧阳志云等,1999a)。由于草坪植物的生态功能无法在市场上显示其价值,为了进行测度,采用具有相同使用价值替代物的市场价格,作为草坪植物生态功能的影子价格,其中市场价值法可适合于没有费用支出但有市场价格的生态经济效益评估。市场价值法应先定量被评价对象的某种生态效益的效果,再根据这些效益的市场价值来确定生态效益的经济价值。其方法可用公式表述如下(Jessie & David,2000;Nowak & Crane,2002):

$$L = \sum P_i \Delta R_i \quad (1)$$

式中:L 为生态效应的经济价值;P_i 为某种生态效益的 i 种效果的市场价格;ΔR_i 为某种环境效应引起的 i 种效果的定量值。

本文生态效益价值量估算运用市场价值法中的环境效益评价法,这是一种常用的生态效应评价法,可分为3个步骤:先根据生态资产的工艺效果,计算出效果的定量值,如每年涵养水源的吨位;再求出生态资产工艺效果的"影子价格",如涵养水源效益的定价可根据水库工程的蓄水成本等,最后计算生态效益的年经济总值(古润泽等,2007)。本文根据草坪年固碳释氧量、蒸腾吸热量,寻找"影子价格",评估其经济价值,使生态效益货币化。环境经济学家们往往使用碳税法,碳税率的确定参照《中国生物多样性国情研究报告》(国家环境保护局,1998),使用瑞典的碳税率150美元·t^{-1} C(Anderson,1990;Pearce,1990)。碳税即各国制定的对温室气体排放的税收,尤其是对 CO_2 的排放税收,其中以刺激为目的的单方国家税具有经济效益和动态的刺激效果,如刺激技术进步,促进加快温室气体的削减。此种税收水平较高,按目前中国人民银行美元对人民币汇率1∶6.8240计算,则其影子价格为人民币1023.6元·t^{-1}C;释氧效益参照《中国生物多样性国情研究报告》中工业生产氧气的价格0.4元·kg^{-1}(欧阳志云等,1999b);可用每度工业用电电价估算蒸腾吸热效益,目前普通工业用电电价为0.661元·3.6 MJ^{-1}(刘禹全和谢玉常,2000);滞尘效益可根据张万钧(1999)研究中除尘费81元·t^{-1}计算。

2 结果与分析

2.1 草地早熟禾叶片宽度和叶片长度对叶面积的影响

2.1.1 不同修剪高度下叶片宽度与叶面积的关系

草坪草叶面积等于单片植株叶片的平均长度与平均宽度相乘。将试验记录的5种修剪高度下,草坪草叶片宽度与叶面积进行回归分析(图1),得出不同修剪高度下,二者之间的线性回归公式从修剪高度2~10 cm依次为:$y=0.156x+0.114$(2 cm),$y=0.530x-0.166$(4 cm),$y=0.544x+0.249$(6 cm),$y=0.825x-0.073$(8 cm),$y=1.005x+0.042$(10 cm),结果表明:2、4、6、8、10 cm的修剪高度下,草地早熟禾叶面积随着叶片宽度的增加而增加。再分析其决定系数 R^2(决定系数的大小决定了相关的密切程度。通常 $R^2>0.5$ 时,认为2个变量之间有较强的线性相关性),除2 cm修剪高度下叶片宽度与叶面积决定系数<0.5,其余修剪高度下叶片宽度与叶面积都有较强的线性相关性,说明叶片宽度是决定草地早熟禾叶面积的重要因素,增加叶片宽度可增加其叶面积。但叶面积与叶片宽度的相关性并非随修剪高度的增加而越密切,从2~6 cm修剪高度的增加,叶片宽度与叶面积相关性逐渐增大,到8 cm修剪高度时,决定系数 R^2 为0.864,此时叶片宽度与叶面积相关的密切程度最大,再增加修剪高度至10 cm,R^2 降为0.67。

此外,修剪高度2 cm时,R^2 为0.224,明显小于其他修剪高度时二者的决定系数,分析原因如下:当

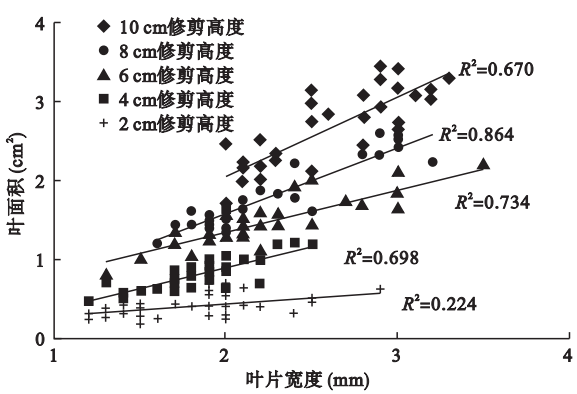


图1 草地早熟禾叶片宽度对叶面积的影响

Fig. 1 Effects of Kentucky bluegrass' blade width on leaf area

草坪植株留茬较低或生长初期时,其叶片宽度变化很小,植株叶片在这个过程中垂直生长比水平生长更明显。因此,在反映叶片宽度与草坪叶面积之间相关性时,2 cm 修剪高度的叶片宽度对叶面积影响不大。

2.1.2　不同修剪高度下叶片长度与叶面积的关系　草坪修剪高度是指草坪修剪后立即测得的地上枝条的垂直高度,也称留茬高度。将试验记录的 5 种修剪高度下,草地早熟禾叶片长度与叶面积进行回归分析(图 2),得出不同修剪高度下,二者之间的线性回归公式从修剪高度 2 ~ 10 cm 依次为:$y=0.160x+0.046$(2 cm),$y=0.241x-0.250$(4 cm),$y=0.106x+0.790$(6 cm),$y=0.289x-0.520$(8 cm),$y=0.253x+0.072$(10 cm)。结果表明,5 种修剪高度下,草地早熟禾叶面积随着叶片长度的增加而增加,在相关性方面,除 2 和 4 cm 修剪高度下,R^2 为 0.589 和 0.539 外,其余修剪高度下 R^2 均<0.5,说明草地早熟禾叶面积随着叶片长度的增加而增加。

从图 2 可见,6 和 8 cm 修剪高度时,叶片长度与叶面积的 R^2 小于其他高度的 R^2,分别为 0.062 和 0.203。在图 1 中,6 和 8 cm 修剪高度下,叶片宽度与叶面积的 R^2 明显大于其他高度的 R^2,二者相关性十分密切,而叶片长度却对叶面积的影响不明显,说明在 6 和 8 cm 修剪高度时,叶片宽度是叶面积变化的决定因素。

此外,修剪高度为 2 和 4 cm 时,R^2>0.5,与图 1 修剪高度为 2 cm 时 R^2<0.5 原因相同,主要是植株叶片在留茬较低或生长初期,垂直生长比水平生长更快。

2.1.3　草地早熟禾叶面积指数　单位面积内草坪叶片面积之和除以所占面积即为草坪叶面积指数。从图 3 可见,修剪高度越高,草地早熟禾叶面积指数越大。在修剪高度 6 ~ 8 cm 时,叶面积指数变化曲线平缓。随着修剪高度的增加,叶面积指数变化最明显区间为修剪高度 2 ~ 6 cm 和 8 ~ 10 cm。根据图 1 和图 2 分析,在 6 ~ 8 cm 修剪高度之间的平缓曲线是由于此修剪高度下,叶片宽度对叶面积的影响已超过了叶片长度,而此时叶片宽度的变化并不明显,因此在这个区间的草地早熟禾叶面积指数变化曲线比较平缓。

综合以上分析可知,提高草地早熟禾草坪的修剪高度可以增加其叶面积指数,当草坪在修剪高度低于 4 cm,即低茬修剪时,提高草地早熟禾叶片长度对叶面积的增加更明显。

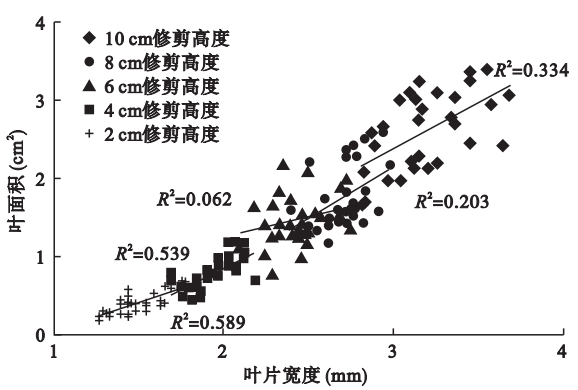


图 2　不同修剪高度下草地早熟禾叶片长度对叶面积的影响

Fig. 2　Effects of Kentucky bluegrass' blade length on leaf area under the different mowing height

2.2　高尔夫球场草坪组成及绿量　本文以天津市某高尔夫球场作为研究案例。由于球场尚未竣工,因此在计算过程中将发球台、球道、高草区的草坪草设定为草地早熟禾(果岭草种为匍匐剪股颖,且所占面积比例很小,故不计算在内),面积分别为 14902.15、138416.2 和 513548.19 m^2,进而计算球场草地早熟禾的生态效益价值量。

2.3　高尔夫球场草坪生态效益价值量估算

2.3.1　草坪生态效益定量化评价　图 3 表明,发球台、球道、高草区 3 种用途的草坪区域,年平均修剪高度分别为 1.5、2 和 6 cm,3 类叶面积指数分别为 1.24、1.72 和 7.01,再乘以各自绿量面积,得出球场草坪年平均总叶面积,结合草地早熟禾单位面积日释氧固碳、蒸腾释水、吸热量和北方地区草地早熟禾平均绿色期 310 d,计算出球场草坪年生态效益定量值(表 1)。

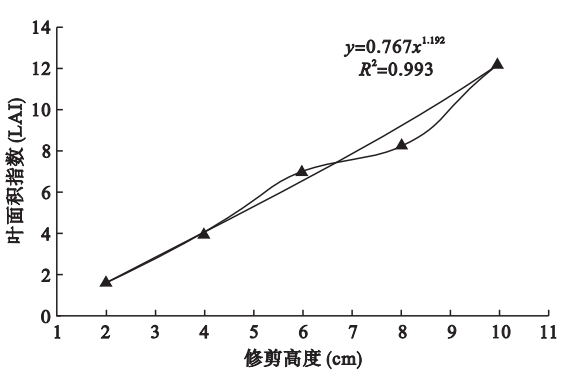


图 3　草地早熟禾修剪高度与叶面积指数

Fig. 3　Mowing height of Kentucky bluegrass and leaf area index

表1 高尔夫球场不同区域草坪生态效益
Tab. 1 Ecological benefits of turf in different part of the golf course

组成部位	叶面积指数	总叶面积(m^2)	年蒸腾量(mol)	年固碳量(t)	年释氧量(t)	年释水量(t)	年吸热量(GJ)
发球台	1.24	18478.66	1969170.10	51.61	37.52	13625.42	33079.53
球道	1.72	238075.80	18290316.70	664.97	483.41	175547.52	426190.85
高草区	7.01	3599972.81	67860257.80	10055.08	7309.74	2654475.00	6444483.05
总计	–	3856527.27	88119744.59	10771.66	7830.67	2843647.94	6903753.43

根据表1对高尔夫球场草坪年释氧固碳及蒸腾吸热能力的统计分析,可以对其改善周围环境生态效益的能力进行如下定量化评价。

按每人每天消耗1379.26 g O_2估算(梁立军等,2004),依照该高尔夫球场高草区草地早熟禾释氧固碳量45.92 g·m^{-2}(用草地早熟禾的日释氧固碳量乘以草坪的叶面积指数,即每平方米草地早熟禾的释氧固碳量)可计算出,只需高草区草地早熟禾30 m^2,即可以满足1个成年人1 d包括燃气和呼吸在内的耗氧量;整个球场年释氧量7830.67 t,则这个高尔夫球场1年的释氧量可提供15554人全年的需氧量。

草地早熟禾草坪的吸热降温效益,如与功率为1 kW(按制冷效率100%计算)的空调机相比较,1 m^2高草区草地早熟禾日吸热40480.44 kJ,相当于空调机工作11.24 h,由此可见,草坪对周围环境的吸热降温效益是十分明显的。

2.3.2 草坪生态效益价值量估算 根据高尔夫球场草坪草地早熟禾生态效益定量值,利用相应的影子价格,估算该球场草坪年释氧固碳、蒸腾吸热价值量,最终得出整个高尔夫球场草坪年生态效益价值量为128176.95万元(表2)。

根据计算高尔夫球场年吸收CO_2量总计10771.66 t,参照碳税法,即各国制定的对温室气体排放的税收,使用瑞典的碳税率150美元·t^{-1}C(Anderson,1990;Pearce,1990),目前中国人民银行美元对人民币汇率1∶6.8240计算,其影子价格为人民币1023.6元·t^{-1}C,则球场草坪年吸收CO_2生态效益价值量为1102.59万元。

高尔夫球场年释放O_2量总计7830.67 t,参照《中国生物多样性国情研究报告》中工业生产氧气的价格0.4元·kg^{-1}估算,则年释放O_2的生态价值量为313.23万元。

高尔夫球场年蒸腾吸热量总计6903753.43 GJ,根据可用每度工业用电电价估算蒸腾吸热效益,目前普通工业用电电价为0.661元·3.6 MJ^{-1},则年蒸腾吸热生态效益价值量为126760.59万元。

研究表明,绿地可以滞尘和减尘0.0173 kg·m^{-2}(陈自新等,1998;杨小波等,2000),则该高尔夫球场草坪年滞尘量为66717.92 kg。按照除尘费81元·t^{-1}计算,高尔夫球场草坪年滞尘价值量为5404.15元。

表2 高尔夫球场不同区域草坪生态经济效益
Tab. 2 Ecological economic benefit of turf in different part of the golf course

组成部位	年固碳生态效益价值量(万元)	年释氧生态效益价值量(万元)	年蒸腾吸热生态效益价值量(万元)	年滞尘价值量(万元)
发球台	5.28	1.50	607.38	0.0026
球道	68.07	19.34	7825.34	0.0330
高草区	1029.24	292.39	118327.87	0.5000
总计	1102.59	313.23	126760.59	0.5400

3 结 论

通过对天津市某高尔夫球场草坪生态效益和价值量的研究,计算得出该球场草地早熟禾草坪年生态效益价值量总计128176.95万元,早已超过投资建设该球场所需的经济成本。

事实上,本文重点研究的释氧固碳、蒸腾释水、吸热的生态效益价值量只是高尔夫球场生态经济效益的一部分,其中还包括以上未详细介绍的间接效益,如净化杀菌、降低噪音、改良土壤、调节小气候等,以及球场内乔灌木等其他植被类型所产生的效益,所以本文所得的生态经济效益值只是高尔夫球场生态经济效益的部分值。一般认为草本植物的固碳作用不像乔灌木,其固碳效益主要体现在土壤含碳量的增加上。但是,高尔夫球场草坪草的枝叶会固碳,但修剪以后的草屑并不完全返回土壤,而是清除出草坪,在异地沤肥、焚烧或作为青贮饲料。因此,本文没有进一步探讨草坪固碳的转化问题。尽管采用最低值来体现高尔夫球场的生态经济效益具

有一定的局限性,但这对探讨高尔夫球场的生态效益、增进大众对高尔夫球场生态价值的认识无疑具有积极的意义。生态经济效益是用生态学的观点分析保护和建设生态环境可获得的经济效益,借此让人们意识到高尔夫球场的建设不再是高成本低效益,只要合理利用球场中景观植物与草坪的设计与搭配,同时采用可持续型的养护方式,就可长期从中获取生态效益和经济效益。

参考文献

陈向远. 2001. 现代化城市需要建设城市大园林. 中国园林, **17**(5): 3-4.

陈自新, 苏雪痕, 刘少宗, 等. 1998. 北京城市园林绿化生态效益的研究(2). 中国园林, **14**(5): 51-54.

古润泽, 李延明, 谢军飞. 2007. 北京城市园林绿化生态效益的定量经济评价. 生态科学, **26**(6): 519-524.

国家环境保护局. 1998. 中国生物多样性国情研究报告. 北京: 中国环境出版社.

黄承标, 莫柳艳, 黄炳京, 等. 2002. 草坪绿地对土壤温度的调节作用. 土壤与环境, **11**(1): 29-31.

蒋胜铎. 2000. 草坪业与生态环境建设初探. 湖南林业科技, **27**(4): 30-32.

李　辉, 赵卫智. 1998. 北京5种草坪地被植物生态效益的研究. 中国园林, **14**(4): 36-38.

梁立军, 李　昂, 王贻谷. 2004. 居住区园林绿化生态效益初探——以杭州丹桂公寓为例. 西北林学院学报, **19**(3): 146-148.

刘禹全, 谢玉常. 2000. 浅谈园林绿化效益评价. 成都建筑, (3): 80-81.

欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 1999a. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报, **10**(5): 635-640.

欧阳志云, 王效科, 苗　鸿. 1999b. 中国陆地生态服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, **19**(5): 607-613.

孙吉雄. 2002. 草坪绿地规划设计与建植管理. 北京: 科学技术文献出版社.

谢　汇. 2003. 草坪在城市生态环境中的作用. 生物学通报, **38**(5): 26.

严玲璋. 2003. 可持续发展与城市绿化. 中国园林, **19**(5): 44-47.

杨小波, 吴庆书, 邹　伟, 等. 2000. 城市生态学. 北京: 科学出版社.

张万钧. 1999. 建"绿色银行"创三个效益. 中国园林, **15**(2): 69-71.

Anderson D. 1990. Carbon Fixing from an Economic Perspective. New York: York University Press.

Gholz HL. 1982. Environmental limits on above-ground net primary production, leaf area, and biomass in vegetation zones of the Pacific North West. *Ecology*, **63**: 469-481.

Jessie LS, David R. 2000. Betters economic analysis of urban tree replacement decisions. *Journal of Arboriculture*, **26**: 69-76.

Nowak DJ, Crane DE. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, **116**: 381-389.

Pearce DW. 1990. Assessing the Returns of Economy and to Society from Investments in Forestry. Edinburgh: Edinburgh Press.

作者简介　卢　璐,女,1987年生,硕士研究生。主要从事环境经济与环境管理方面的研究。E-mail: lulu8733@163.com

责任编辑　刘丽娟