ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学学会 2013 年学术年会专辑

第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 19 期　　2013 年 10 月　(半月刊)

目　　次

中国生态学学会 2013 年学术年会专辑　卷首语

生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 …… 马凤娇,刘金铜,A. Egrinya Eneji (5963)
非人灵长类性打搅行为研究进展…… 杨　斌,王程亮,纪维红,等 (5973)
密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 …… 韩群花,郭　聪,张美文 (5981)
食物链长度远因与近因研究进展综述 …… 王玉玉,徐　军,雷光春 (5990)
AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 …… 罗巧玉,王晓娟,李媛媛,等 (5997)
保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 …… 薛建福,赵　鑫,Shadrack Batsile Dikgwatlhe,等 (6006)
圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征…… 张明春,黄　炎,李德生,等 (6014)
利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 …… 赵玉泽,王志臣,徐基良,等 (6021)
风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响…… 杨志宏,吴庆明,董海燕,等 (6028)
白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征…… 李艳红,关进科,黎大勇,等 (6035)
生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响…… 罗媛媛,刘金亮,黄杰灵,等 (6041)
基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薜荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究 ……
…… 吴文珊,陈友铃,孙伶俐,等 (6049)
高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 …… 陈友铃,孙伶俐,武蕾蕾,等 (6058)
镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征…… 王树凤,施翔,孙海菁,等 (6065)
邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响 ……
…… 杨延杰,王晓伟,赵　康,等 (6074)
极端干旱区多枝柽柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应…… 马晓东,王明慧,李卫红,等 (6081)
贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征…… 王荣荣,夏江宝,杨吉华,等 (6088)
陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响…… 谭雪红,郭小平,赵廷宁 (6097)
不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态…… 叶功富,张尚炬,张立华,等 (6107)
珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较…… 裴男才,陈步峰,邹志谨,等 (6114)
AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 …… 宋成军,曲来叶,马克明,等 (6121)
盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性…… 周家超,付婷婷,赵维维,等 (6129)
CO_2浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 …… 师志冰,周　勇,李　夏,等 (6135)
预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响…… 孟　焕,王雪宏,佟守正,等 (6142)
镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 …… 张　雯,魏　虹,孙晓灿,等 (6147)
马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响…… 罗应华,孙冬婧,林建勇,等 (6154)
濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例……
…… 邱广龙,范航清,李宗善,等 (6163)
毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响…… 尹瑞平,吴永胜,张　欣,等 (6173)
塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局…… 韩　路,席琳乔,王家强,等 (6181)
短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响…… 宗　宁,石培礼,蒋　婧,等 (6191)
松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系…… 杨　帆,王志春,王云贺,等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 $PM_{2.5}$浓度及水溶性离子特征 …… 肖以华,李　炯,旷远文,等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局…… 汪振华,赵　静,王　凯,等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化…… 陈云龙,单秀娟,周志鹏,等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态 …… 李　娜,张雪萍,张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性…… 陈友铃,陈晓倩,吴文珊,等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估…… 陈　尚,任大川,夏　涛,等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标…… 郭子良,崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响…… 易　扬,信忠保,覃云斌,等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性 …… 王红梅,王仲良,王　堃,等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性…… 俄有浩,霍治国,马玉平,等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应 …… 盛茂银,刘　洋,熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响…… 贺　伟,布仁仓,刘宏娟,等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性…… 朱剑兴,王秋凤,何念鹏,等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应…… 马志敏,吕一河,孙飞翔,等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价…… 秦鱼生,喻　华,冯文强,等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系…… 杨胜龙,马军杰,张　禹,等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用…… 林　峰,陈　敏,杨伟锋,等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子…… 石洪华,王晓丽,王　嫒,等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响…… 王　丹,吕瑜良,徐　丽,等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性…… 孟翔翔,狄晓艳,王孟本,等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例……
…… 文　雯,周宝同,汪亚峰,等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例……
…… 施晓清,李笑诺,杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析…… 祁新华,叶士琳,程　煜,等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化 …… 倪　尧,岳文泽,张云堂,等 (6418)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 55 * 2013-10

封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区,它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物,它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖,并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是,生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明,凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一,在水分极度匮乏的荒漠生态系统,它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授　北京林业大学　E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305070973
谭雪红, 郭小平,赵廷宁.陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响.生态学报,2013,33(19):6097-6106.
Tan X H, Guo X P, Zhao T N.Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants.Acta Ecologica Sinica,2013,33(19):6097-6106.

陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响

谭雪红[1,2], 郭小平[2,*],赵廷宁[2]
(1. 徐州工程学院,江苏 221008;2. 北京林业大学水土保持学院,北京 100083)

摘要:以河北省廊涿高速公路中央隔离种植槽为研究地点,探讨陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响,结果表明:(1)陶粒覆盖有效地提高了土壤含水量,减弱了不同土层、不同月份之间的差距,两层覆盖(M2)效果要好于一层覆盖(M1)。从 10—60 cm 土层,陶粒覆盖对土壤含水量的影响逐渐降低,裸露地面的土壤含水量和陶粒覆盖下的土壤含水量的差距逐渐减弱。越是干旱季节,陶粒覆盖保水效果越明显;(2)陶粒覆盖对月季、大叶黄杨的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、水分利用效率(WUE)均产生了影响。两植物一天当中任何测量时刻的 P_n 均为 M2>M1>MD(裸地)。陶粒覆盖也提高了月季、大叶黄杨的 T_r 日均值,使其日变化峰值出现时间发生变化。陶粒覆盖对 WUE 影响要远远小于对 P_n、T_r 的影响,相互之间差异均不显著。由于大叶黄杨的抗旱性较差,陶粒覆盖对大叶黄杨光合特性的影响大于对月季的影响。(3)陶粒覆盖大大提高了紫叶小檗、侧柏、小叶黄杨、大叶黄杨、月季 5 种植物的成活率,增加了植物的地径、株高增长量,M2 的效果均好于 M1。

关键词:陶粒;地表覆盖;土壤含水量;光合作用;植物生长;廊涿高速公路

Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants

TAN Xuehong[1,2], GUO Xiaoping[2,*], ZHAO Tingning[2]
1 *Xuzhou Institute of Technology*, *Xuzhou*, *Jiangsu Province* 221008, *China*
2 *School of Soil and Water Conservation. Beijing Forestry University*, *Beijing* 100083, *China*

Abstract: In this study, we investigated the effects of a combination of surface coverage and planting as well as the effects of ceramsite mulching on soil water content and the photosynthetic physiological characteristics of plants located in the central isolation belt of Langzhuo Highway in Hebei Province. The results were as follows: (1) Ceramsite mulching increased the soil water content, reduced the soil water content disparity among soil depths and months, and provided a more stable environment for growth. In addition, two layers of ceramsite (M2) had better effects than did a single layer of ceramsite (M1). The overall order of soil water content in soil at different depths or during different months was as follows: two layers of ceramsite (M2) > a single layer of ceramsite (M1) > bare soil (MD). The effects of ceramsite mulching on soil water content decreased with soil depth from 10 to 60 cm, while the difference in soil water content between bare soil and areas subject to ceramsite mulching was gradually reduced at these depths. During greater drought months, the effects of ceramsite mulching on soil water were obvious. (2) Moreover, ceramsite mulching had an impact on the net photosynthesis (P_n), transpiration (T_r) and water use efficiency (WUE) of *Euonymus japonicus* and *Rosa chinensis*. Specifically, the order of net photosynthesis (P_n) of the two plants at any time of the measurement day was two layers of ceramsite (M2) > a single layer of ceramsite (M1) >bare soil (MD). Furthermore, the average net photosynthesis (P_n) of the two plants was greatly improved under two layers of ceramsite (M2). The average transpiration (T_r) of the two plants also improved, and

基金项目: 江苏省高校自然科学研究项目(09KJD610005);徐州市科技计划指导项目(XZZD1063);国家住房与城乡建设部课题(2011k629);河北省廊涿高速公路管理处项目
收稿日期:2013-05-07; **修订日期**:2013-07-18

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: guoxp@ bjfu. edu. cn

the spike times changed in response to ceramsite mulching. Variations in the water use efficiency (WUE) among the two plants were affected by ceramsite mulching, with the order of diurnal averages being two layers of ceramsite (M2)>a single layer of ceramsite (M1)> bare soil (MD); however, the differences between each other were not significant. Moreover, the effects of ceramsite mulching on water use efficiency (WUE) were much lower than the effects on net photosynthesis (P_n) and transpiration (T_r). Because the drought-resistance of *Euonymus japonicus* was worse than that of *Rosa chinensis*, the effects of ceramsite mulching on *Euonymus japonicus* were greater than on *Rosa chinensis*. (3) Ceramsite mulching affected plant survival and growth through its effects on soil and the other conditions of plant growth. Specifically, ceramsite mulching greatly improved the survival rates of *Euonymus japonicus L*, *Platycladus orientalis Franco*, *Rosa chinensis Jacq*, *Berberis thumbergii cv.atropurpurea* and *Euonymus japonicus L* and increased the growth of diameter at breast height and the height of all five of these plants. The order of survival rates, growth of diameter at breast height and height of the five plants were as follows: two layers of ceramsite (M2)>a single layer of ceramsite (M1)>bare soil (MD). M2 showed better results than M1, but there were no significant differences between two layers of ceramsite (M2) and a single layer of ceramsite (M1).

Key Words: ceramsite; mulching technique; soil water content; photosynthesis; plant growth; Langzhuo Highway

地表覆盖是指在地面覆以某种材料的一种土壤管理方法,该方法具有保温、节水、促进植物生长、改善土壤生态环境等作用,是近年来得到推广的一种具有很高经济效益的植物种植方法[1-5]。通过地表覆盖抑制了土壤的无效蒸发,充分利用了当地土壤水资源和降水资源,这对于我国干旱地区提高林木成活率及作物产量具有重要意义[6-7]。近年来,国外对各种覆盖材料的水、热效应及对农作物增产等进行了大量研究[8-10],同时对地表覆盖在园林绿化中的运用也有相关报道[11-12]。我国关于地表覆盖在农业生产中运用研究较多,覆盖物多以农作物秸秆和地膜为主[13-18],而对其他覆盖材料的研究甚少[19-21]。园林绿化中覆盖材料的运用不但具有一定的生态效益,而且还具有一定的景观效益[22-23]。

廊涿高速公路中央隔离带水泥槽两侧宽约 40 cm,内槽宽约 50 cm,槽内填土高 60—80 cm。中央隔离带两侧汽车高速行驶,水泥槽夏季高温等导致了绿化带中土壤蒸发量增大,进一步加剧了土壤的无效蒸发,对土壤水分来说更是“雪上加霜”,大大影响了隔离带植物的正常生长。陶粒在城市园林绿化中已有所应用,但在公路中央隔离带的利用未见报道。鉴于高速公路中央隔离带的特殊性及实践的可行性,本文就廊涿高速公路中央隔离带陶粒覆盖对土壤含水量及植物光合作用、生长状况的影响进行探讨,以便为廊涿高速公路中央隔离带地表覆盖的实践提供可行性参考。

1 研究区概况

廊涿高速公路位于华北平原北部的河北省界内,路线全长 58.4 km^2,于 2008 年 7 月 22 日建成通车。该公路穿越地区属暖温带大陆性季风气候。多年平均降水量为 500—600 mm,而且该区降水量年内分配不均,春旱秋涝,全年降水量 80%集中在 6—9 月份。降水量年际变化也较大,少雨年份大部分地区降水量不足 400 mm,多雨年份大部分地区降水量多于 800 mm。该区水面蒸发量 900—2000 mm,蒸发量随气温升高而增加,降雨与蒸发时空分布的不均匀,对本区水资源的分布有直接影响。

该区地带性土壤为棕壤或褐土。公路沿边土壤成土母质多为永定河冲积-淤积母质类型,颗粒较粗,沙粘相间,土壤有机质含量低,缺磷少氮,钾也不丰富,且氮磷比例严重失调。砂土、砂壤、轻壤质腰砂、漏砂、底砂潮土面积较大,土壤漏水漏肥。

2 研究方法

2.1 试验材料

陶粒覆盖试验在廊涿高速公路固安县内固安东收费站附近的中央隔离带内进行。中央隔离带土壤为来自于永定河冲积的的淤积土,土壤容重为 1.067 g/cm^3,pH 值为 7.42,全氮含量为 0.46 g/kg,速效磷含量为 5.27 mg/kg,速效钾含量为 98.69 mg/kg,土壤有机质为 9.00 g/kg,土壤田间持水量为 28.9%。

覆盖所用陶粒购买于北京建邦伟业公司,为低密度粉煤灰陶粒,粒径在 5—20mm 之间,自身的堆积密度小于 1100 kg/m^3,一般为 300—900 kg/m^3,具有质轻,耐腐蚀,抗冻和良好的隔绝性等多功能特点。植物材料月季(*Rosa chinensis*)、大叶黄杨(*Euonymus japonicus*),紫叶小檗(*Berberis thumbergii* cv. *atropurpurea*)、小叶黄杨(*Buxus sinica*)和侧柏(*Platycladus orientalis* Franco)均来自北京附近苗圃基地,为高 (50±8) cm 左右的带土球 1 年生灌木。

2.2 试验设计

于 2009 年 4 月 26 日进行中央隔离带地表覆盖和种植试验。设置 3 种试验地段,每种试验地段长 125 m 左右。第一实验段为土壤裸露段,作为对照,用 MD 表示;第二实验段用一层陶粒进行覆盖,覆盖厚度为 2—3 cm,用 M1 表示;第三实验段用两层陶粒覆盖,覆盖厚度为 5—6 cm,用 M2 表示。种植苗木的株间距为 50 cm,连续种植,即每种植物 50 株在每一试验段连续种植

在一起。种植时进行充分浇水,两星期内又进行 2 次浇水以保证苗木成活,此后不再浇水。拔除杂草,以防止给苗木生长带来不利影响。

图 1　中央隔离带陶粒覆盖试验

Fig.1　Mulching with ceramsite test on central green belt

2.3　指标测定

2.3.1　土壤含水量的测定

从 2009 年 5 月开始至 2009 年 11 月为止,每周取土样 1 次,测试野外地表覆盖试验 3 个试验段 10、20、40、60 cm 土层深处的土壤含水量,每个土样 5 次重复,从不同灌木种植处各取一土样,以防止不同植物对土壤水分吸收的不同而影响土壤含水量差异。用烘干法测定土壤含水量,比较 3 个试验段不同深度土壤含水量差异。

2.3.2　陶粒覆盖下植物光合作用的测定

2009 年 7 月份上中旬试验段所在地几乎没有降雨,处于干旱状态,此阶段测定植物光合作用更有利于 3 试验段对比。因此于 2009 年 7 月 10 日(该日天气晴朗),利用 Li-6400 便携式光合作用测定仪对 3 试验段大叶黄杨和月季的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)等光合作用参数进行测定,并计算其水分利用效率(WUE)。测定时间从 8:00—18:00,每 2 h 测定 1 次,每一试验段测试 3 株大叶黄杨和月季,在每株苗木的中上部选取 2—3 片健康成熟叶片,每个叶片连续记录 5 个稳定数据,取平均值。

2.3.3　植物存活率及生长状况的测定

于 2009 年 5 月 10 日对中央隔离带种植苗木的成活状况进行记录、用卷尺测量植物的株高、用游标卡尺测量植物的地径(分枝多的紫叶小檗、月季以地径最大分枝测量值为准),11 月 30 日对中央隔离带的 5 种植物进行了第二次成活状况、株高、地径的测量纪录,把 2 次测量结果对比分析。以前后 2 次测量值之差反应不同苗木、不同处理下幼苗生长季生长状况。

3　**结果分析**

3.1　陶粒覆盖对土壤含水量的影响

陶粒覆盖能有效减少土壤水分蒸发,保持土壤水分,从 5—11 月,不同月份,不同土层的土壤含水量均出现 M2>M1>MD(表 1)。

3.1.1　不同土层水分变化规律

10 cm 土层,就 7 个月的平均土壤含水量而言, M1 为 18.37%,M2 为 20.10%,相对于 MD 分别增加 30.40%、50.93%;MD 和 M1 差异显著($P<0.05$);MD 和 M2 差异极显著($P<0.01$),M1 和 M2 之间也达到了差异显著水平。不同月份由于其降水量不同,陶粒覆盖相对于 MD 增幅不同,相对干旱的 5 月、7 月陶粒覆盖保水作用显著,5 月份 MD 土壤含水量为 6.52%, M1 为 12.42%, M2 为 15.75%,土壤含水量分别增加 90.46%和 141.56%;7 月份 M1、M2 相对于 MD 分别增加 72.87%、108.80%。而降雨量较大的 8 月,陶粒覆盖对土壤含水量的增加并不显著,M1 增加 6.69%,M2 增加 10.88%。由此可见 10 cm 土层陶粒覆盖的保水效果明显,特别是在降水量少、蒸散量大的季节,M2 的效果明显好于 M1。由表 1 还可以看出 MD 不同月份之间土壤含水量差异较大,而陶粒覆盖不同月份之间的土壤含水量差异相对较小。这说明陶粒覆盖能够减缓土壤含水量月变化。土壤裸露(MD)情况下,7 个月之间的变异系数为 42.43%, M1 下为 23.05%, M2 下为 17.26%,M2 情况下月份之间的差异小于 M1,其减缓土壤含水量月变化的效果更明显。

表 1 陶粒覆盖下土壤含水量/%

Table 1 Soil water content for ceramsite mulch

土层/cm Soil layer	处理 Mulching treatment	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	平均 Mean
	MD	6.52	13.48	9.03	24.36	17.44	11.22	15.78	13.98Aa
10	M1	12.42	19.57	15.61	25.99	19.11	16.51	19.37	18.37ABb
	M2	15.75	20.80	18.32	27.01	19.82	18.75	20.22	20.10Bc
	MD	7.22	15.29	9.68	24.74	18.76	13.05	17.08	15.12Aa
20	M1	13.77	18.76	15.73	26.08	21.09	17.44	21.03	19.13ABab
	M2	17.03	22.11	18.54	27.58	22.72	20.13	22.15	21.47Bb
	MD	9.59	17.40	11.56	25.98	20.54	17.79	18.41	17.32Aa
40	M1	15.64	21.24	17.89	26.61	24.42	20.03	21.45	21.04Aab
	M2	18.24	24.15	18.51	28.29	25.39	21.62	22.67	22.70Ab
	MD	14.08	20.09	14.83	26.36	24.29	20.29	20.04	20.00Aa
60	M1	17.84	23.21	18.53	26.14	26.25	23.22	21.57	22.39Aab
	M2	19.87	26.42	23.15	28.35	27.27	23.45	22.72	24.46Ab

MD：裸地，M1：一层陶粒覆盖，M2：两层陶粒覆盖

20、40、60 cm 土层土壤含水量变化规律和 10 cm 土层相似，但随着土层的加深，陶粒覆盖对土壤含水量的影响有减小趋势。20 cm 土层陶粒覆盖的土壤含水量的增幅小于 10 cm 土层的增幅，陶粒覆盖的保水效果仍较明显，MD 不同月份之间土壤含水量变异系数为 38.76%，M1 为 21.24%，M2 为 15.89%。40 cm 土层，7 个月的平均土壤含水量，MD 和 M1 差异不显著，和 M2 差异显著，M1 和 M2 之间差异不显著，这说明随着土层的进一步加深，陶粒覆盖和对照之间的差异进一步缩小；40 cm 土层陶粒覆盖的保水效果仍较明显，5 月、7 月 M2 的增幅仍在 60%以上。60 cm 土层，已经接近廊涿高速公路中央隔离带种植槽的底部，由于种植槽的封闭及不渗透性，在降雨量大的季节可能会出现底部积水现象。60 cm 土层陶粒覆盖的保水效果已经不甚明显，但在 5 月、7 月两层覆盖的增幅仍在 40%以上，M2 土壤含水量月份之间的差异要小于 M1，其减缓土壤含水量变化的效果较一层覆盖明显。

3.1.2 土壤含水量均值的月变化规律

图 2 为 3 种处理下 10、20、40、60 cm 土层条件下土壤含水量均值在 5—11 月的变化情况。可以看出，3 种处理下，其土壤含水量均有先升高后降低的趋势，这是由其降水量、蒸散量及土壤含水量的吸收下渗等条件决定的，7、8 两月降雨量较多，但 7 月份主要集中在下旬，上、中旬处于严重干旱状态，导致了 7 月份土壤含水量偏低而 8 月份土壤含水量较高。任何月份，土壤含水量均值的排列顺序均为：M2>M1>MD。3 条曲线在 8 月份最为紧密，而 5、6、7 月 3 个排列较为松散。这说明越是干旱季节，陶粒保水效果越明显。从其 3 条曲线的变化趋势可以看出，M2 曲线的变化最为平缓，M1 次之，MD 相对较大。MD 土壤含水量最高月份的值相对于土壤含水量最低月份值的变率为 53%，M1 为 27%，M2 为 19%。这也说明了陶粒覆盖能够减缓土壤含水量月份之间变化，为植物生长提供有利条件，这从不同土层 7 个月之间的变异系数得到证实。

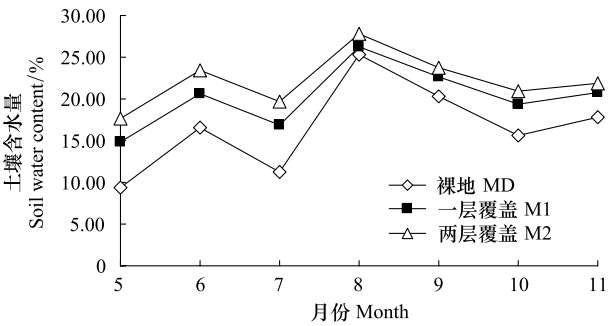

图 2 陶粒覆盖下不同月份 10—60 cm 土层土壤含水量(均值)

Fig.2 Changes in average of soil content from 10cm to 60cm soil depth in different month for ceramsite mulch

3.1.3 土壤含水量均值随土层深度的变化规律

图 3 为 3 种条件下 5—11 月土壤含水量均值随土层深度的变化规律，可以看出，随着土层的加深，3 种处理下土壤含水量均出现逐渐升高的趋势，任何土层深度下，其土壤含水量的排序均为 M2>M1>MD。随着土层的加深，3 条曲线逐渐靠拢，这说明陶粒覆盖对土壤含水量的影响逐渐降低。M2 曲线的变化最为平缓，M1 次之，裸地 MD 变化相对较大。MD 条件下，60 cm 土层相对于 10 cm 土层，其土壤含水量变化率为 42.85%，而 M1 为 22.16%，M2 为 21.69%，这也说明了陶粒覆盖能够减缓土层之间土壤含水量的变化，为其植物生长提供长期平衡、缓和的适宜环境。M1 和 M2 曲线排列相对紧密，而和裸地 MD 之间的差距较大，这从其数据的方差分析也可以看出，一层覆盖和两层覆盖之间除了在 10 cm 土层下达到显著差异，其余各土层它们之间的差异都不显著。

3.2　陶粒覆盖对植物光合作用的影响

3.2.1　测定日陶粒覆盖下的土壤含水量

光合作用是一个复杂的生理生态过程,它受环境因子(外部因素)和植物因子(内部因素)的影响。本文以 2010 年 7 月 10 日所测数据分析陶粒覆盖对月季、大叶黄杨的 P_n、T_r和 WUE 等指标的影响。上午 9 时对 3 种处理下的 10、20、40、60 cm 处的土壤含水量进行了测定,测量数据见表 2。可以看出,2010 年 7 月 10 日这天廊涿高速公路中央隔离带土壤均处于干旱状态,月季、大叶黄杨所植区不同土层的土壤含水量差异不大。特别是 MD 情况下,土壤处于严重缺水状态,而 M1 和 M2 也处于一定的缺水状态。

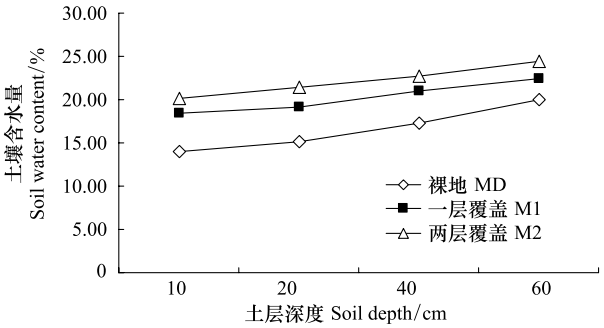

图 3　陶粒覆盖下 5—11 月不同土层深度土壤含水量(均值)

Fig3　Changes in average of soil content from May to November under different soil depth for ceramsite mulch

表 2　光合作用测定日陶粒覆盖下月季、大叶黄杨所植区不同土层的土壤含水量/%

Table 2　Soil content of the place planting *Rosa chinensis* and *Euonymus japonicus* under different soil depth

处理 Mulching treatment	植物 Plants	10 cm	20 cm	40 cm	60 cm	平均 mean
MD	月季 *Rosa chinensis*	4.58	3.58	6.87	8.50	5.88
	大叶黄杨 *Euonymus japonicus*	4.23	3.73	5.11	7.64	5.18
M1	月季 *Rosa chinensis*	10.00	9.49	13.58	14.65	11.93
	大叶黄杨 *Euonymus japonicus*	9.75	10.10	13.82	14.02	11.92
M2	月季 *Rosa chinensis*	16.00	13.69	16.48	23.17	17.34
	大叶黄杨 *Euonymus japonicus*	16.39	13.46	14.96	23.08	16.97

MD: 裸地,M1: 一层陶粒覆盖,M2: 两层陶粒覆盖

3.2.2　陶粒覆盖对月季光合作用的影响

由图 4 可以看出,月季净光合速率(P_n)日变化在 M2 下呈“单峰型”,10:00 达到最高峰(14.463 μmol·m^{-2}·s^{-1})。M1 下 P_n 日变化呈“双峰型”,12:00 出现“午休”现象,峰值出现在 10:00(10.716 μmol·m^{-2}·s^{-1})和 14:00(8.688 μmol·m^{-2}·s^{-1})。MD 下 P_n日变化呈“双峰型”,在 14:00 出现“午休”现象,峰值出现在 12:00(5.619 μmol·m^{-2}·s^{-1})和 16:00(2.057 μmol·m^{-2}·s^{-1})。虽然不同处理下其峰值出现交替,但 M2 的曲线一直处于最上面,任何时刻 M2 的测量值均大于 M1 和 MD,特别是和 MD 相比差异更大,M2 减弱了月季光合作用的“午休”现象,增加了对午间光能的利用。M1 也明显提高了月季的 P_n。MD 下 P_n日均值为 3.427 μmol·m^{-2}·s^{-1},M2 下为 9.662 μmol·m^{-2}·s^{-1},M1 为 7.309 μmol·m^{-2}·s^{-1};可见陶粒覆盖通过对土壤水分、温度及其植物生长环境的影响,从而提高月季对 CO_2的日同化量,促进月季生长。方差分析显示 MD 和 M1 差异不显著,和 M2 之间的差异达到显著水平,M1 和 M2 之间差异不显著。

植物一方面从土壤中吸收水分,另一方面又向大气中蒸发水分。植物叶片的蒸腾速率(T_r)与土壤水分等条件密切相关[24]。地表覆盖通过对其作用,从而对月季 T_r也产生明显的影响。M1 和 M2 下月季的 T_r均大于 MD。随着太阳辐射的增强,M2 下的 T_r迅速增加,从 10:00 到 18:00,3 种处理 T_r 的排序一直为:M2>M1>MD。月季在 M2 下的 T_r日变化表现为“单峰型”;M1 和 MD 下表现为“双峰型”,这和 P_n日变化规律相似。MD 下 T_r日均值为 1.307 mmol·m^{-2}·s^{-1},M1 下为 2.437 mmol·m^{-2}·s^{-1},M2 下为 3.295 mmol·m^{-2}·s^{-1};可见陶粒覆盖对月季的 T_r也产生了极大影响,方差分析显示 MD 和 M1 差异显著,和 M2 之间的差异达到极显著水平,但 M1 和 M2 之间差异不显著。

陶粒覆盖通过对 P_n及 T_r的影响,对 WUE 也产生一定影响。M2 下的 WUE 日变化从 8:00 开始出现了最高值(4.586 mmol/mol),之后便逐渐下降,18:00 达到一天中的最低值(1.113 mmol/mol),这是由于 M2 下月季的 P_n从 10:00 开始大幅度下降,而 T_r虽然从 12:00 也开始,但趋势和缓,下降幅度较小,从而导致了月季下午的 WUE 较小,出现直线型下降趋势,1 4:00以后,M2 下月季的 WUE 小于 MD 和 M1。月季在 M1 下的 WUE 日变化表现为“双峰型”。MD 下的 WUE 日变化和 M1 相似,也表现为“双峰型”,并且峰值出现时间一致,但 MD 下的日变化幅度较大(图 4)。M2 下月季 WUE 日均值为 2.829 mmol/mol,M1 下为 2.827 mmol/mol,MD 下为 2.628 mmol/mol,虽然出现了 M2>M1>MD,但相互之间差异都不显著,这说明了陶粒覆盖虽然对 WUE 日变化幅度有一定影响,但总的来看,影响不大。

3.2.3　陶粒覆盖对大叶黄杨光合作用的影响

由图 5 可以看出,大叶黄杨 P_n日变化在 M2 下呈“单峰型”,M1 下呈“双峰型”, MD 下 P_n日变化不明显,一天中均处于较低

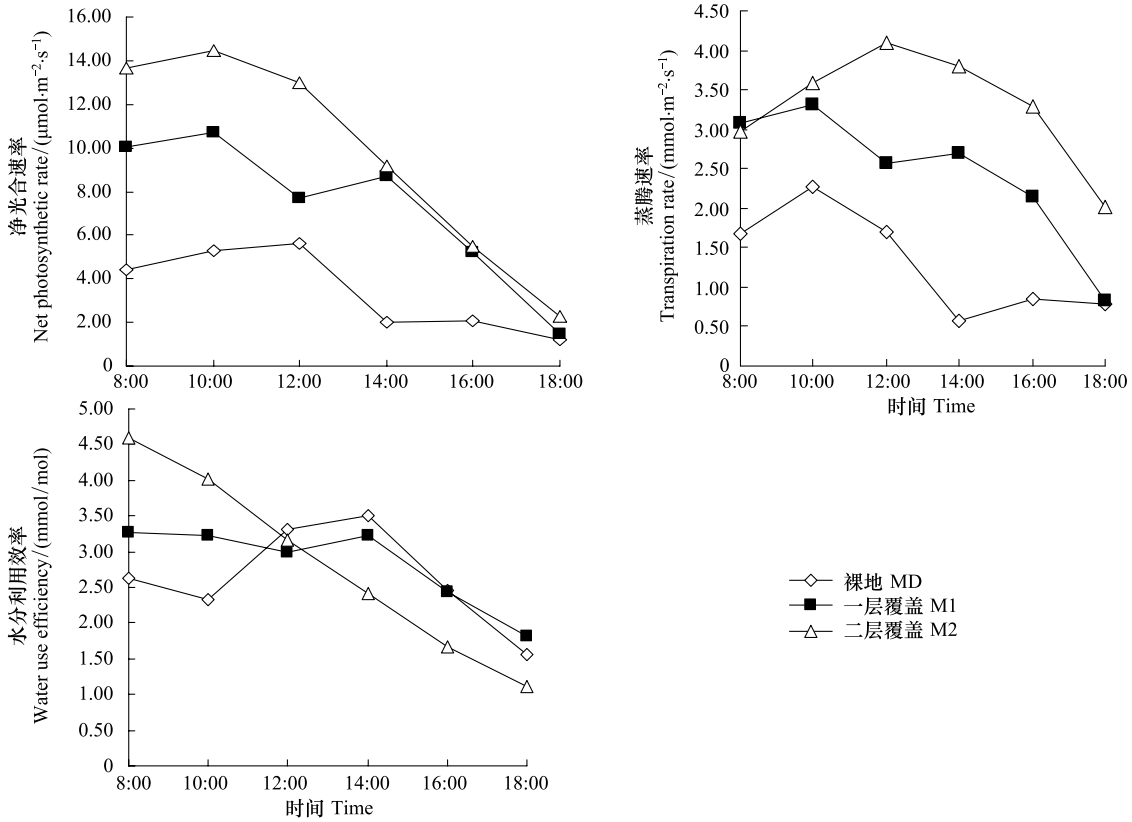

图 4 陶粒覆盖下月季主要光合作用参数日变化

Fig.4 Diurnal change of the main photosynthetic parameters of *Rosa chinensis Jacq* for ceramsite mulch

状态,这是由于 MD 下的土壤含水量较低,大叶黄杨处于严重缺水状态,水分成为限制其光合作用的主要因子,使其内部器官受到伤害。虽然不同处理下其峰值出现交替,但 M2 的曲线一直处于最上面,任何时刻的测量值 P_n 的排序均为:M2>M1>MD。M2 和 MD 差异更大,8:00, M2 测量值与 MD 测量值相差 4.544 μmol·m^{-2}·s^{-1},M2 下土壤含水量得到增加,大大提高了大叶黄杨的光合作用,特别是在干旱季节,大叶黄杨抗旱性较差,裸地 MD 使其光合作用严重受损,效果就更明显。M1 也明显提高了大叶黄杨的 P_n。MD 下 P_n 日均值为 0.74μ mol·m^{-2}·s^{-1},M2 下为 3.88 μmol·m^{-2}·s^{-1},M1 下为 1.725 μmol·m^{-2}·s^{-1};,可见陶粒覆盖也大大地提高了大叶黄杨的 P_n,特别是 M2 下 P_n 的相对增长率远大于月季的相对增长率。方差分析显示 MD 和 M1 差异不显著,和 M2 之间的差异达到极显著水平,M1 和 M2 之间差异显著,方差分析显示陶粒覆盖对大叶黄杨 P_n 的影响要大于月季。

陶粒覆盖对大叶黄杨的 T_r 也产生明显影响。8:00,3 种处理下的 T_r 的排序为:M2(0.879 mmol·m^{-2}·s^{-1})>M1(0.435 mmol·m^{-2}·s^{-1})>MD (0.158 mmol·m^{-2}·s^{-1})(图 5),随着太阳辐射的增强,M2 下的 T_r 迅速增加,而 M1 和 MD 曲线逐渐靠拢。说明了 M2 对大叶黄杨的 T_r 影响明显。大叶黄杨在 M2 下 T_r 日变化表现为“单峰型”;M1 和 MD 下表现为“双峰型”,但 MD 下出现上午峰值提前,下午峰值滞后现象,这是由于 MD 下土壤含水量极低,太阳辐射强烈使大叶黄杨出现萎焉。MD 下大叶黄杨 T_r 日均值为 0.418 mmol·m^{-2}·s^{-1},M2 下为 1.148 mmol·m^{-2}·s^{-1},M1 下为 0.58 mmol·m^{-2}·s^{-1};可见 M2 对大叶黄杨的 T_r 产生极大影响。方差分析显示 MD 和 M1 差异不显著,和 M2 之间的差异达到极显著水平,M1 和 M2 之间差异显著。

陶粒覆盖对大叶黄杨的 WUE 也产生一定影响。M2、M1 和 MD 下的 WUE 日变化为“双峰型”,其峰值出现时间有一定差异。3 种处理下大叶黄杨的 WUE 日变化均较大,这说明在干旱季节里,大叶黄杨的 WUE 波动不均,变化不稳定。MD 下日均值为 2.129 mmol/mol,M2 下大叶黄杨为 3.678 mmol/mol,M1 下为 3.049 mmol/mol,但相互之间差异都不显著,这和对月季的 WUE 差异分析相似。

3.3 陶粒覆盖对植物生长状况的影响

3.3.1 陶粒覆盖对植物成活率的影响

由表 3 可以看出,所有植物在 MD 下的存活率都较低,特别是紫叶小檗和大叶黄杨,其成活率分别为 6.67%和 3.33%,而抗旱性较强的小叶黄杨的存活率也仅为 40%,这可能是由于小叶黄杨对裸地周围环境抗性较差所引起的,陶粒覆盖对土壤及周围环境的影响是综合的、复杂的。MD 下侧柏的成活率最高(80%),5 种植物的平均成活率为 24%。M1 下各植物的成活率大幅度提高,小叶黄杨的成活率达到了 100%,5 种植物的平均成活率为 71.32%。M2 下侧柏和小叶黄杨的成活率均为 100%,5 种植

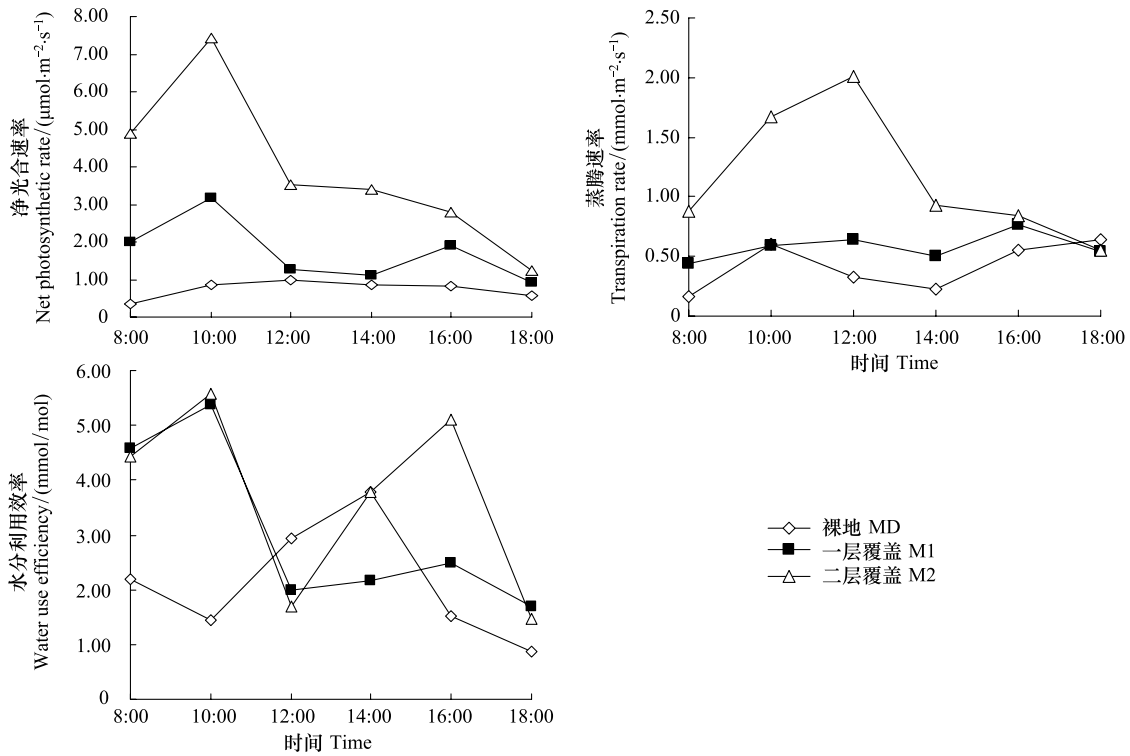

图 5　陶粒覆盖下大叶黄杨主要光合作用参数日变化

Fig.5　Diurnal change of the main photosynthetic parameters of *Euonymus japonicus* L for ceramsite mulch

物的平均成活率为 82.66%。

MD 下 5 种植物成活率的变异系数最大,为 104.82%,M2 下的变异系数最小(20.45%),M1 下 5 种植物间的变异系数为 28.17%,这说明陶粒覆盖可以提高各种植物成活率,缩小由于植物本身特性的差异所引起成活率的差别,M2 的效果要好于 M1。方差分析显示, M1、M2 和 MD 均达到极显著差异,但 M1 和 M2 之间差异不显著。5 种植物 MD、M1、M2 三者之间的变异系数最大的是大叶黄杨,变异系数为 82.49%,最小的为侧柏(12.22%),这说明陶粒覆盖对抗旱性较差的植物的成活率影响更为明显。

表 3　陶粒覆盖下的 5 种植物的成活率/%

Table 3　The survival rate of five plants for ceramsite mulch

处理 Mulching treatment	紫叶小檗 *Berberis thumbergii* cv. *atropurpurea*	侧柏 *Platycladus orientalis*	小叶黄杨 *Buxus sinica*	大叶黄杨 *Euonymus japonicus*	月季 *Rosa chinensis*	平均 Mean
MD	6.67	80	40	3.33	20	30Aa
M1	50	83.3	100	63.3	60	71.32Bb
M2	63.3	100	100	80	70	82.66Bb

MD: 裸地,M1: 一层陶粒覆盖,M2: 两层陶粒覆盖

3.3.2　陶粒覆盖对植物生长速率的影响

由表 4 可以看出,MD 下侧柏地径增加了 0.28 cm,增长量最大,而紫叶小檗地径增长量最小(0.02 cm),侧柏抗性较强,在困难的环境下也能较好生长。从 3 种处理下植物地径增长情况来看,所有植物的增长量均为 M2>M1>MD,只是增长量上有所差异: M1 和 MD 之间,大叶黄杨的差异最大,为 0.26 cm,侧柏最小(0.02 cm)。M2 和 MD 之间,仍然为大叶黄杨差别最大,为 0.4 cm,而紫叶小檗相差最小(0.1 cm)。方差分析显示:MD 和 M2 差异显著,和 M1 差异不显著,M2 和 M1 之间差异不显著。3 种处理下 5 种植物之间变异系数 MD 最大(115.46%),其次为 M2(48.54%)、最小的是 M1(47.43%),M2、M1 下变异系数相差不大,可能是由于植物成长条件比较适宜,不同植物均得到较快生长,然而不同植物本身的生理特性决定他们生长速率的不同所导致。

表 4 2009 年 5—10 月陶粒覆盖下的植物地径增长量/cm

Table 4 The growth of diameter at breast of five plants from May to October in 2009 for ceramsite mulch

处理 Mulching treatment	紫叶小檗 *Berberis thumbergii* cv. *atropurpurea*	侧柏 *Platycladus orientalis*	小叶黄杨 *Buxus sinica*	大叶黄杨 *Euonymus japonicus*	月季 *Rosa chinensis*	平均 Mean
MD	0.02	0.28	0.04	0.03	0.10	0.09Aa
M1	0.08	0.30	0.16	0.29	0.35	0.24Aa
M2	0.12	0.47	0.19	0.43	0.36	0.31Ab

MD: 裸地,M1: 一层陶粒覆盖,M2: 两层陶粒覆盖

由表 5 可以看出,MD 情况下,月季的株高增加了 13 cm,增长量最大,而紫叶小檗株高增长量最小。从 3 种处理下植物的株高增长情况来看,所有植物的增长量均为 M2>M1>MD。M1 和 MD 之间,侧柏的差异最大,为 14.6 cm,其次是月季,相差 6.33 cm,而紫叶小檗相差最小,为 1.47 cm。M2 和 MD 之间,仍然为侧柏差别最大(16.9 cm)。M2 下紫叶小檗增长量大幅度提高,和 MD 相差 6.17 cm。小叶黄杨在 3 种处理下增长量均较小。方差分析显示:MD 和 M2 差异显著,和 M1 差异不显著,M2 和 M1 之间差异不显著,这和对地径的差异分析结果相似。3 种处理下 5 种植物之间变异系数 MD 最大(111.38%),其次为 M1(88.77%)、最小的是 M2(78.20%),陶粒覆盖缩小了植物间株高增长率的变异系数。

表 5 2009 年 5—11 月陶粒覆盖下五种植物株高的增长量(cm)

Table 5 The growth of height of five plants from May to October in 2009 for ceramsite mulch

处理 Mulching treatment	紫叶小檗 *Berberis thumbergii cv. atropurpurea*	侧柏 *Platycladus orientalis*	小叶黄杨 *Buxus sinica*	大叶黄杨 *Euonymus japonicus*	月季 *Rosa chinensis*	平均 Mean
MD	0.93	9.40	1.05	1.20	13.00	5.12Aa
M1	2.40	24.00	3.90	5.90	19.33	11.11Aa
M2	7.10	26.30	4.10	6.20	22.80	13.30Ab

MD: 裸地,M1: 一层陶粒覆盖,M2: 两层陶粒覆盖

4 结论与讨论

廊涿高速公路地处我国北方,降雨较少,蒸发量大,如何进行土壤保湿,减少土壤蒸发,保持土壤水分,为植物生长营造一个稳定的、良好的生长条件是公路绿化首先要考虑的因素。

陶粒作为一种地表覆盖物质能够有效提高土壤含水量,减弱不同土层,不同月份之间的变幅,为植物生长提供一个较为稳定的生长环境,这和其他覆盖物质具有一致的效果[25-26]。刘巧玲的研究发现陶粒覆盖的保水效果要好于片石、木格、树皮和沙石[22]。本文研究表明:不同月份,不同土层的土壤含水量均表现为 M2>M1>MD。从 10 cm 到 60 cm 土层,陶粒覆盖对土壤含水量的影响逐渐降低,裸地和陶粒覆盖下土壤含水量的差距逐渐减弱。越是干旱季节,陶粒覆盖保水效果越明显。

地表覆盖通过对土壤水分及微域生态系统环境的调节,间接影响植物的光合作用,进而影响到植物生长状况。研究地表覆盖下植物光合生理特性是揭示其对生存环境适应性机制的有效途径,以便从植物生理角度为试验区域选择适宜的地表覆盖模式[27-28]。陶粒覆盖通过对廊涿高速公路中央隔离带土壤水热环境及其他环境的调节,尤其是增加了种植槽内的土壤含水量,必将对植物的光合作用产生一定的影响。研究表明:陶粒覆盖对月季、大叶黄杨的 P_n、T_r、WUE 均产生了影响,特别是两层覆盖,大大提高了两植物的 P_n 日均值。陶粒覆盖也提高了月季、大叶黄杨的 T_r 日均值,使其日变化峰值出现时间发生变化。由于大叶黄杨的抗旱性较差,陶粒覆盖对大叶黄杨的影响大于对月季的影响,这说明越是干旱的环境,越是抗旱性弱的植物,其陶粒覆盖发挥的效益越明显。两植物的 WUE 分析表明陶粒覆盖虽然对 WUE 日变化幅度有一定影响,日均值排序也为 M2>M1>MD,但相互之间差异均不显著,对 WUE 影响要远远小于对 P_n、T_r 的影响。

陶粒覆盖能够提高植物的存活率、使植物保持较好的生长势头,特别是对抗旱性较差的植物,其保苗、保持成长的效果更好。紫叶小檗、侧柏、小叶黄杨、大叶黄杨、月季五种植物的平均成活率、胸径、株高增长量均为:M2>M1>MD,但同时也可以看出,不同植物的增长量并不完全一致,这和不同植物的生长特性及对周围环境的适应性有关。

陶粒最为一种新型的地表覆盖材料,具有质轻价廉等优点,虽然在园林绿化的地表覆盖中有一定的运用,但还没有得到普及,而把陶粒运用到高速公路中央隔离带绿化地表覆盖,在我国尚为首次。通过本文研究可知陶粒覆盖两层的保水效果和调节光合作用及植物生长的效果均要好于一层覆盖,但过厚的陶粒覆盖必然会使土壤透气性变差,从而影响植物的正常生长。月季的 P_n、T_r 日均值在 M1 和 M2 之间差异不显著,大叶黄杨的 P_n、T_r 日均值在 M1 和 M2 之间差异显著,而研究的 5 种植物的平均存

活率、地径增长量、株高增长量在 M1 和 M2 之间差异均不显著。这说明对于大多数植物来说,一层覆盖即可达到预期效果,而对于抗旱性较差的植物或者较干旱地区,其陶粒覆盖可适当增加,但不建议超过两层的陶粒覆盖。

References:

[1] Sun L T, Wang Y, Ding Z T. Effects of ground surface mulching in tea garden on soil water and nutrient dynamics and tea plant growth. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(9): 2291-2296.

[2] Zhai S, Liang Y L, Zhang X S, Wang J Y, Dai Q H, Liu H. Effects of soil mulching on cucumber quality, water use efficiency and soil environment in greenhouse. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 65-71.

[3] Geng G J, Bai G S, Du S N, Yu J. Effects of surface mulching on soil temperature and tomato growth in Hetao irrigation area. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(2): 36-41.

[4] Yao J, Wang D, Zhang X S, Xue J H. Effects of different types of mulches on soil moisture, temperature and seedling growth. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2009, 33(5): 7-11.

[5] Diaz F, Jimenez C C, Tejedor M. Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation. Agricultural Water Management, 2005, 74(1): 47-55.

[6] Li S X. Dryland Agriculture in China. Beijing: Science Press, 2007.

[7] Hao Y R. Effects of Eco-mat Mulching on Sands Soil and the Tree Growth. Beijing: Beijing Forestry University, 2005.

[8] Sorochan J C, Rogers J N. The effect of mulch type for turfgrass establishment within a refined wood fiber mat over Plastic. Journal of Environmental Horticulture, 2001, 19(2): 61-64.

[9] Thomas K D, Reid W J, Comena P G. Vegetation management using Polyethylene mulch mats and Glyphosate herbicide in a coastal British Columbia hybrid poplar plantation: four-year growth response. Western Journal of Applied Forestry, 2001, 16(1): 26-30.

[10] Sekhon N K, Hira G S, Sidhu A S, Thind S S. Response of soyabean (*Glycine max* Mer.) to wheat straw mulching in different cropping seasons. Soil Use and Management, 2005, 21(4): 422-426.

[11] Tsutomu Y, Mitsuhiro I, Ichirow K. Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. Agricultural Water Management, 2004, 67(2): 145-155.

[12] Antonaroli R. The base of the trees: A case study into the maintenance of trees in urban areas. Genio Rurale, 2002, 65(5): 16-21.

[13] Wang M Q, Li X D, Jing M. Effects of no-tillage with straw mulch on water saving and soil temperature. Journal of Gansu Agricultural University, 2007, 42(1): 119-122.

[14] Wu Y Q, Qu M, Sun F, Chen Z F. Effect of straw mulching on soil physical and chemical properties, soil microorganism and environment. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(14): 263-268.

[15] Zhao D X, Niu J Y, Yan Z L, Zhang D Y, Zhang Y M, Yu X F. Study on principle of dry matter accumulation and distribution in rape under different field mulching and planting patterns. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(3): 31-36.

[16] Li L L, Wang Z H, Wang X N, Zhang W W, Li X H, Li S X. Effects of soil-surface mulching on organic carbon, inorganic carbon and light fraction organic carbon in dryland soil. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(2): 478-483.

[17] Zhai S, Liang Y L, Wang J Y, Dai Q H, Du S N, You H X, Chen J R. Effects of soil surface mulching on the growth and physiological characteristics of grafted and non-grafted cucumbers in solar greenhouse. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(6): 1039-1044.

[18] Zhou M J, Liang Y L, He L N, Gao J, Wei Z X, Huang M L, Wu Y. Influences of soil mulching approaches on WUE, fruit quality and nitrate distribution of capsicum. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(1): 155-163.

[19] Mao X S, Zeng J H. A study of effects of the concrete mulch on movement of soil water and soil heat transfer. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(2): 68-71.

[20] Wang J X, Huang B L, Luo W X. Influence of drought process on evaporation under partial mulching conditions. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2004, 32(9): 106-109.

[21] Zhuang S Y, Yin B, Zhu Z L. A simulation study on effect of surface film-forming material on water evaporation. Pedosphere, 2001, 11(1): 67-72.

[22] Liu Q L. Study on Experiment of Soil Water-Saving with Mulches on Street Green Belt. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2006.

[23] Wang C, Qie G F, Peng Z H. Application value of organic ground surface mulch in urban forestry construction. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 2213-2217.

[24] Zhang H, Wang B T, Zheng P L. Study on transpiration rate of black locust under different soil water content in semi-arid region Loess plateau. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 122-125.

[25] Hadrian F C, Gerardo S B V, Howard C L. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. Soil and Tillage Research, 2006, 91(1/2): 227-235.

[26] Hou L T, Jiao N Y, Han B, Jiang X D, Li Z J. Effects of different covering methods on soil water distribution. Journal of Irrigation and Drainage,

2007, 26(1): 47-50.

[27] Luo Y Z, Cheng Z Y. Impact of water stress on leaf water potential, transpiration rate (T_r) and stomatal conductance (G_s) of Alfalfa. Acta Agrestia Sinica, 2011, 19(2): 215-221.

[28] Zhang Y, Xie Y S, Hao M D, Li X. Effects of different surface mulch models and physiological ecology factors on apple photosynthesis. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(1): 125-130.

参考文献:

[1] 孙立涛, 王玉, 丁兆堂. 地表覆盖对茶园土壤水分、养分变化及茶树生长的影响. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2291-2296.

[3] 耿桂俊, 白岗栓, 杜社妮, 于健. 地表覆盖对河套灌区土壤水热和番茄生长的影响. 水土保持通报, 2011, (2): 36-41.

[4] 姚健, 王丁, 张显松, 薛建辉. 不同地表覆盖方式对土壤水分、温度及幼苗生长的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(5): 7-11.

[7] 郝亦荣. 生态垫覆盖对沙地土壤及林木生长的影响. 北京: 北京林业大学, 2005.

[13] 王明权, 李效栋, 景明. 覆盖免耕的节水效应与土壤温度的变化. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(1): 119-122.

[14] 吴涌泉, 屈明, 孙芬, 陈祖富. 秸秆覆盖对土壤理化性状、微生物及生态环境的影响. 中国农学通报, 2009, 25(14): 263-268.

[15] 赵东霞, 牛俊义, 闫志利, 张东昱, 张艳明, 俞兴芳. 不同地表覆盖方式油菜花后干物质积累与分配规律研究. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 31-36.

[16] 李利利, 王朝辉, 王西娜, 张文伟, 李小涵, 李生秀. 不同地表覆盖栽培对旱地土壤有机碳、无机碳和轻质有机碳的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 478-483.

[17] 翟胜, 梁银丽, 王巨媛, 戴全厚, 杜社妮, 由海霞, 陈甲瑞. 地表覆盖对温室黄瓜生长及生理特性的影响. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1039-1044.

[18] 周茂娟, 梁银丽, 贺丽娜, 高静, 韦泽秀, 黄茂林, 吴燕. 地表覆盖方式对辣椒水分利用效率、果实品质及氮素分布的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 155-163.

[19] 毛学森, 曾江海. 硬覆盖对土壤水热传输及作物生长发育影响的试验研究. 生态学杂志, 2000, 19(2): 68-71.

[20] 王进鑫, 黄宝龙, 罗伟祥. 局部覆盖条件下干旱过程对土壤水分蒸发的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(9): 106-109.

[22] 刘巧玲. 街道绿化带土壤覆盖保水技术试验研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2006.

[23] 王成, 郄光发, 彭镇华. 有机地表覆盖物在城市林业建设中的应用价值. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2213-2217.

[24] 张华, 王百田, 郑培龙. 黄土半干旱区不同土壤水分条件下刺槐蒸腾速率的研究. 水土保持学报, 2006, 20(2): 122-125.

[26] 侯连涛, 焦念元, 韩宾, 江晓东, 李增嘉. 不同覆盖方式对土壤水分分布的影响. 灌溉排水学报, 2007, 26(1): 47-50.

[27] 罗永忠, 成自勇. 水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响. 草地学报, 2011, 19(2): 215-221.

[28] 张义, 谢永生, 郝明德, 李晓. 地表覆盖及生理生态因子对苹果树光合特性的影响. 水土保持通报, 2010, 30(1): 125-130.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives ····· MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates ····· YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents: a review ····· HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length ····· WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi ····· LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen ····· XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve ····· ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (*Syrmaticus reevesii*) using infrared camera ····· ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows *Passer montanus* in wind different speed and duration ····· YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of *Petaurista caniceps* in Baima Snow Mountain Nature Reserve ····· LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of *Pachycondyla luteipes* on islands in the Thousand Island Lake, East China ····· LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jieling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of *Ficus pumila* var. *pumila* and *Ficus pumila* var. *awkeotsang* ····· WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two *Eupristina* species on *Ficus altissima* ····· CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of *Salix integra* under cadmium stress ····· WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings ····· YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of *Tamarix ramosissima* seedling to different irrigation methods in the extremely arid area ····· MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in *Ziziphus jujuba* var. *spinosus* seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells ····· WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants ····· TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of *Casuarina equisetifolia* plantations at different ages ····· YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta ····· PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of *Bauhinia faberi* seedlings ····· SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity ····· ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO_2 ····· SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of *Typha domingensis* and *Phragmites australis* ····· MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to *Salix* × *aureo-pendula* ····· ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation ····· LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass *Halophila beccarii* in Pearl Bay, Guangxi ····· QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China ····· YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of *Populus pruinosa* population at the upper reaches of Tarim River ····· HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau ····· ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain …… YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
Comparison of TSP, $PM_{2.5}$ and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season …… XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago Ⅱ. Spatio-temporal patterns of community structure …… WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea …… CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests …… LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou …… CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services …… CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system …… GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed …… YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastural transition in north of China …… WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China …… E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst …… SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China …… HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands …… ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River …… MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk …… QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean …… YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 …… LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago …… SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China …… WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers …… MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region …… WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network …… SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones … QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai …… NI Yao, YUE Wenze, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933　　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号　**电　　话**:(010)62941099; 62843362

E-mail:shengtaixuebao@ rcees.ac.cn　**网　　址**:www.ecologica.cn

本期责任副主编　陈利顶　　**编辑部主任**　孔红梅　　**执行编辑**　刘天星　段　靖

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 33 卷　第 19 期　(2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33　No. 19 (October, 2013)

编　　辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
主　　办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
发　　行	科学出版社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
订　　购	全国各地邮局
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933　CN 11-2031/Q　国内外公开发行　国内邮发代号 82-7　国外发行代号 M670　定价 90.00 元