

污泥蚓粪对匍匐剪股颖草生长的影响

王小治^{1,2}, 王爱礼¹, 王守红³, 赵海涛^{1,2}, 单玉华¹, 钱晓晴¹, 封克¹

(1.江苏省扬州农业环境安全技术服务中心/扬州大学环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225127; 2.江苏省扬州规模猪场高效健康养殖公共技术服务中心, 江苏 扬州 225009; 3.扬州里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州 225007)

摘要:在塑料大棚内采用盆栽试验方法研究污泥蚓粪作为草坪坪床基质改良剂对基质理化性状和草生长的影响,并与泥炭进行了对比,以确定污泥蚓粪作为坪床基质改良剂的可行性,为开拓生活污水资源化利用途径提供理论基础。结果表明:污泥蚓粪的加入增加了基质的养分供应,可促进草的生长,缩短草坪成坪时间。20 g·kg⁻¹和40 g·kg⁻¹蚓粪处理的草屑量分别是40 g·kg⁻¹泥炭处理的2.4倍和3.3倍。20~80 g·kg⁻¹蚓粪处理草的再生速度和叶绿素含量均大于40 g·kg⁻¹泥炭处理。但高含量的污泥蚓粪会抑制草坪草的生长,使草坪成坪时间延长,且成坪后盖度较差,质地较粗。实际建设中20~60 g·kg⁻¹的污泥蚓粪用量较为合适。污泥蚓粪具备取代泥炭成为坪床基质改良剂的潜能,可成为生活污水农业工程利用的有效途径。

关键词:污泥;蚓粪;基质;草坪坪床;匍匐剪股颖

中图分类号:X799.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)08-1683-05

Influence of Sludge-vermicompost on Growth of Creeping Bentgrass

WANG Xiao-zhi^{1,2}, WANG Ai-li¹, WANG Shou-hong³, ZHAO Hai-tao^{1,2}, SHAN Yu-hua¹, QIAN Xiao-qing¹, FENG Ke¹

(1. Yangzhou Technical Service Center for Agro-Environment Safety of Jiangsu Province; College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China; 2. Service Center for Efficient and Healthy Breeding in Scaled Pig Farms of Jiangsu Province, Yangzhou 225009, China; 3. Lixiahe Region Agricultural Research Institute of Jiangsu Province, Yangzhou 225007, China)

Abstract: Sludge-vermicompost is the product of the process of sludge treatment by using earthworm. Influence on the properties of turf-bed and growth of creeping bentgrass based on sludge-vermicompost as the basic materials were studied to determine the feasibility and effectiveness of sludge-vermicompost as substrate modifier of the turf-bed, and to provide theoretical basis for the development of sludge resource. The results showed that the addition of sludge-vermicompost could significantly shorten the time of the formation process of the lawn, considerably increase the regeneration speed, and remarkably improve the chlorophyll content and the clipping content. The growth of grass in sludge-vermicompost treatments was better than that in peat treatment. The clipping contents in E1 (20 g·kg⁻¹ sludge-vermicompost) and E2 (40 g·kg⁻¹ sludge-vermicompost) treatments were 2.4 and 3.3 times of that in S (40 g·kg⁻¹ peat) treatment, respectively. The regeneration speed and the chlorophyll content in all sludge-vermicompost treatments were higher than that in peat treatment. But the high dosage treatment with sludge-vermicompost inhibited the growth of the grass, thus to lengthen the time of the formation process of the lawn. During actual performance, the amount of 20~60 g·kg⁻¹ of sludge-vermicompost was recommended actual performance. Sludge-vermicompost has potential to replace peat as substrate modifier of the turf-bed, which will be developed and utilized to be one of the effective ways of utilization of sludge.

Keywords: sludge; vermicompost; substrate; turf-bed; creeping bentgrass

目前我国产生的生活污水产生量急剧增加,为避免污泥产生的二次污染和利用污泥中的有效成分,污

泥的无害化处理和资源化利用尤为重要。生活污水中含有大量的有机质和丰富的营养元素,但同时也含有病原体、寄生虫(卵)、重金属和多种有机污染物,并常伴有恶臭气味。所以污泥一般难以直接农用,需经过适当处理后才施用于土壤,国内外的研究主要集中在污泥堆肥处理及其农田及园林绿地的应用上^[1-2]。蚓粪是蚯蚓消解有机固体废弃物的产物,是一种黑色、均

收稿日期:2010-12-05

基金项目:农业部公益性(农业)科研专项项目(200803031);江苏省重大科技支撑与自主创新项目(BE20083450)

作者简介:王小治(1975—),男,江苏新沂人,博士,副教授,硕士生导师,从事农业环境、固体废弃物资源化利用研究。

E-mail: xzwang@yzu.edu.cn

一、有自然泥土味的细碎类物质,具有良好的团粒结构、孔隙性、通气性、排水性和持水性,作用特点类似于泥炭等物质^[3],可促进农作物生长,提高作物产量^[4-5]。利用蚯蚓可对生活污水进行处理,并获得无味、更适合植物生长的污泥蚓粪^[6],是对污泥进行资源化利用的有效途径之一。

草坪业在我国有广泛的前景,但目前与国外先进水平相比尚存在一定差距,如我国至今仍缺乏对草坪专用有机肥料的研究^[7]。泥炭是一种广泛用于砂基坪床基质的有机改良剂^[8],由于泥炭 pH 值偏低,过多使用也不利于草坪草的生长,同时泥炭属不可再生性资源。目前在园艺育苗基质方面,国内已十分重视泥炭替代基质的研究^[9]。将污泥蚓粪开发和研制成适合我国草坪的基质改良剂及专用有机肥,既避开了食物链,不会对人类健康造成直接危害,同时可替代大量化肥使用,降低草坪生产成本,实现社会、环境和经济效益的高效统一。

迄今为止,关于污泥蚓粪用于草坪坪床基质改良的研究还未见报道。本研究选用经蚯蚓吞食生活污水后产生的蚓粪为基础材料,替代泥炭作为坪床基质的改良物质,研究蚓粪施用量对砂基坪床理化性状、草坪草生长和成坪质量等的影响,为我国实现低成本建设优质的运动场草坪提供理论和实践依据,对促进生活污水的处理和资源化利用,保护生态环境和促进农业可持续发展 also 具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用草种是美国 Jacklin 种子公培育的匍匐剪股颖,草种名称为 T1。试验用砂来自于扬州境内长江水域里的天然河砂,经过适当筛分,其粒径组成为: >1.0 mm 5.7%, 0.5~1.0 mm 32.1%, 0.25~0.5 mm 38.9%, 0.15~0.25 mm 19.1%, <0.15 mm 4.2%。试验用泥炭产自东北高寒山区。由蚯蚓吞食生活污水产生的蚓粪(以下简称污泥蚓粪),来源于江苏省农业环境安全技术服务中心有机固废生物消解基地,蚯蚓品种为大平 2 号。所用材料的理化性质见表 1。

1.2 试验设计

试验在扬州大学江阳路南校区塑料大棚内进行,属于江淮冷暖季型草坪兼种区。试验设 6 个处理,3 次重复,用盆栽试验模拟坪床根系生长层,花盆直径 34 cm,高 30 cm,随机区组排列。各处理分别为:100% 砂(CK),4%(W/W)泥炭+96%砂(S),2%蚓粪+98%砂(E1),4%蚓粪+96%砂(E2),6%蚓粪+94%砂(E3),8%蚓粪+92%砂(E4)。2009 年 7 月 28 日播种,播种量为 $12 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,播种后用无纺布覆盖细砂,直至种子出苗,去掉无纺布。试验地上方盖有遮阳网,采用常规方法进行浇水、施肥、除草等日常管理、养护工作。

1.3 测定方法

坪床基质(包括砂、泥炭和蚓粪等)物理、化学性质的测定:比重采用比重瓶法、容重采用环刀法、毛管持水量采用环刀法测定,利用公式计算出毛管孔隙度、总孔隙度和通气孔隙度^[10]。有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量分别采用 KCr_2O_7 容量法、碱解扩散法、 NaHCO_3 浸提法和火焰光度法;pH 和 EC 分别用 pH 计和电导率仪测定^[11]。

草坪各项指标的测定:采用分光光度计法测定叶片叶绿素含量,通过叶绿素含量与叶鲜重的比值来表示草的颜色;草坪质地指草叶片的宽度(用 mm 表示),测定时间内按 S 形随机选取植株 12 次,选取叶龄与着生部位相同的叶片,用游标卡尺测量,取平均值^[12];草坪盖度是单位面积上草坪植物的垂直投影面积与草坪所占土地面积的比例^[13],用 10 cm×10 cm 的塑料架,内用线绳等分为 100 个小格,将其放在被测草坪上,计数草坪植物在每格中所占有的比例,然后将每格的观测值统计后,用百分数表示草坪的盖度值,以草坪盖度达到 80%的时间为草坪成坪时间^[14];再生速度用株高生长率来表示,草坪每 10 d 修剪 1 次,每次修剪前在每个处理内随机抽取 10 株样株,用直尺测量高度减去上次留茬高度即为草坪草 10 d 内的生长株高,精度为 1 mm;草屑量用单位面积草坪在单位时间内的修剪量来表示,采用单位样方法,每 10 d 进行 1 次,将面积为 100 cm² 的自制样方框随机放置在草坪上,统一修剪,将修下的草屑全部收集,烘干称重。

表 1 试验用砂、泥炭、蚓粪的基本性质

Table 1 Characters of sand, peat and vermicompost in experiments

处理	pH	EC/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	比重	容重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	毛管孔隙度/%	碱解氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
砂	7.85	23	2.64	1.56	—	5.4	0.4	4.0	0.9
泥炭	5.33	370	1.05	0.29	—	829.4	7.9	85.9	440.6
蚓粪	5.63	3140	2.17	0.71	61.9	2 399.9	154.8	390.9	182.3

1.4 数据处理

数据采用 SPSS 15 软件进行单因素方差(One-Way ANOVA)分析,不同处理之间多重比较采用 Duncan 新复极差方法,然后经过 t 检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 污泥蚓粪对坪床物理化学性状的影响

不同处理坪床基质物理性状和养分含量情况如表 2 所示。随蚓粪加入量的增加,坪床基质的比重和容重有下降的趋势,当蚓粪添加量在 $40\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上时,基质的比重和容重均显著低于对照。与添加 $40\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 泥炭的 S 处理相比,加入 $40\sim 80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的蚓粪处理的比重无显著性差异,但所有蚓粪处理的容重均显著大于 S 处理。随蚓粪加入量的增加,坪床基质的总孔隙度和通气孔隙度有增加的趋势,而对毛管孔隙度无明显影响。同时所有蚓粪处理的孔隙度均显著低于 S 处理,表明蚓粪的加入对基质松紧度的改善效果不如泥炭明显。除施用 $80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 蚓粪的 E4 处理外,其余蚓粪处理基质有机质含量均显著低于 S 处理;而蚓粪处理基质碱解氮、速效磷和速效钾的养分均高于 S 处理,且大多达显著水平。

图 1 为不同处理对成坪前后坪床基质 pH、EC 的影响。随着蚓粪用量的加大,坪床基质 pH 值呈下降的趋势,但高于施用泥炭的 S 处理。随着草的生长,蚓粪处理成坪后坪床 pH 值均有所升高。坪床基质 EC 值随着蚓粪用量的增大而显著提高,且所有蚓粪处理均显著高于 S 处理。与草的生长初期(成坪前)相比,成坪后的蚓粪处理 EC 值均显著下降。

2.2 污泥蚓粪对草坪草生长的影响

草坪成坪时间是指当草坪盖度达到 80%的时间^[4],是衡量草坪草生长的一个重要评价指标。成坪时间短,表明幼苗活力强,苗期抗性好,该种坪床基质有利于草坪草的生长。从表 3 可见,蚓粪的加入可以使草坪成坪时间明显缩短, $20\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的蚓粪处理(E1)

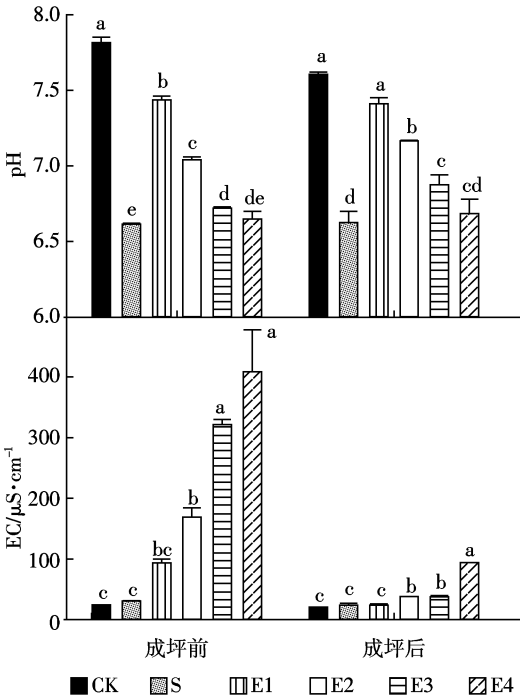


图 1 蚓粪含量对成坪前后坪床基质 pH、EC 的影响
Figure 1 Effects of vermicompost on pH and EC of turf-bed

成坪时间小于 51 d,早于 S 处理,比 CK 处理缩短 10 d 以上,但高蚓粪含量 E3 和 E4 处理的草坪盖度一直低于 E1 和 E2 处理,说明较大的污泥蚓粪混合量不利于草坪草幼苗的生长。

再生速度也是草坪草生长指标的重要参数之一。从图 2 可以看出,污泥蚓粪的加入能够显著增加草坪草的再生速度,改良效果明显。在 3 个测定时期内,所有蚓粪处理株高生长率均高于泥炭处理。在草坪幼苗生长的前两个时间段, $40\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的蚓粪混合量处理的株高生长率最大,而随着蚓粪比例的进一步提高,株高生长率又出现降低的趋势。在接近成坪的时间段(51~62 d)内, $60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的污泥蚓粪混合量的处理株高生长率最大,但处理间差异大多不显著。

各处理草坪草质地、叶绿素和草屑量结果列于表 4。

表 2 不同处理坪床基质物理性状和养分含量									
Table 2 Physical properties and nutrient contents of turf-bed in different treatments									
	比重	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	通气孔隙度/%	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
CK	2.67±0.00a	1.58±0.02a	40.6±0.6d	31.6±0.6b	9.0±0.0c	0.83±0.02e	5.43±0.17d	0.45±0.15e	5.26±0.13d
S	2.62±0.01cd	1.40±0.00e	46.8±0.1a	34.2±1.0a	12.6±0.9a	14.7±0.64a	46.73±1.65bc	1.19±0.1e	9.36±1.02d
E1	2.66±0.00ab	1.56±0.01ab	41.3±0.3cd	31.2±0.3b	10.1±0.6bc	1.50±0.09e	26.92±4.04cd	3.27±0.1d	8.96±0.6d
E2	2.64±0.01bc	1.54±0.01bc	41.9±0.3cd	31.5±0.5b	10.3±0.7bc	4.77±0.1d	62.42±8.04b	8.01±0.55c	19.24±1.74c
E3	2.62±0.00cd	1.50±0.01cd	42.8±0.5bc	31.5±0.2b	11.3±0.3ab	10.58±0.3c	85.32±8.91a	10.47±0.05b	26.41±0.59b
E4	2.61±0.01d	1.48±0.01d	43.5±0.5b	31.9±0.1b	11.6±0.6ab	13.57±0.11b	102.82±8.64a	12.05±0.27a	34.23±2.5a

注:同列相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

表 3 蚓粪对草坪草成坪时间的影响

Table 3 Effects of vermicompost on time of the formation process of the lawn

处理	草坪盖度/%					
	14 d	23 d	30 d	40 d	51 d	62 d
CK	18±1c	23±2b	32±1b	45±1d	55±2d	80±1c
S	30±1a	33±1a	35±1b	63±2bc	75±1c	87±1ab
E1	30±1a	35±6a	40±1ab	70±1ab	85±1a	89±1a
E2	32±2a	35±3a	50±8a	76±5a	84±2ab	88±3ab
E3	26±1b	28±1ab	42±1ab	57±1c	80±2abc	87±2ab
E4	26±1b	29±1ab	37±1b	57±2c	79±2bc	81±3bc

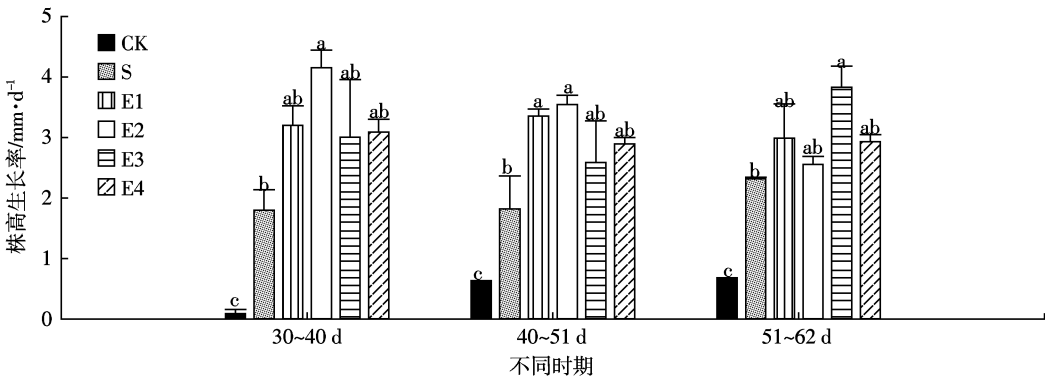


图 2 蚓粪含量对草坪草再生速度的影响

Figure 2 Effects of vermicompost on the speed of the regeneration

表 4 蚓粪对草坪草质地、叶绿素、草屑量的影响

Table 4 Texture, chlorophyll and clipping content of turf-bed in different treatments

处理	质地/mm	叶绿素含量/mg·g ⁻¹	草屑量/g·m ⁻²
CK	0.7±0.0d	1.9±0.2c	9.9±0.0d
S	0.9±0.0d	3.3±0.2b	23.6±0.9c
E1	1.1±0.1c	3.4±0.1ab	56.0±7.3b
E2	1.3±0.0b	3.7±0.2ab	77.3±1.2a
E3	1.4±0.1ab	4.0±0.2a	67.1±1.9ab
E4	1.5±0.1a	3.4±0.1ab	67.1±3.7ab

低含量蚓粪处理质地较细,随着蚓粪混合比例量的提高,叶片变宽,质地逐渐增粗,且与 CK 和 S 处理均达到显著性差异。一般认为,草坪质地越纤细,质量越好^[15],但孙吉雄等在草坪质地分级中提出最佳叶宽的概念^[13]。所有蚓粪处理叶绿素含量均显著高于 CK,也高于泥炭处理。随着蚓粪混合量的增加,叶绿素含量逐渐升高,在混合量为 60 g·kg⁻¹ 时最高,随着蚓粪添加量的进一步增加叶绿素含量又出现下降趋势。各蚓粪处理草屑量均显著高于 CK 和 S 处理。20 g·kg⁻¹ 的蚓粪处理的草屑量是 CK 处理的 5.7 倍,是泥炭处理的 2.4 倍。随着蚓粪混合比例的进一步提高,草屑量呈现先增加后有所下降的趋势,40 g·kg⁻¹ 的蚓粪处理

草屑量最大,达 77.3 g·m⁻²,是添加 40 g·kg⁻¹ 泥炭处理的 3.3 倍。

3 讨论

本文首次研究污泥蚓粪对果岭草坪基质的改良效果。结果表明,污泥蚓粪具备取代泥炭成为坪床基质改良剂的潜能。20~40 g·kg⁻¹ 污泥蚓粪的加入增加了基质的养分供应,促进了草的生长,草坪成坪时间缩短,颜色较深,可获得比使用 40 g·kg⁻¹ 泥炭更好的效果。蚓粪对草生长的有益作用与其特殊的理化和生物学性质密切相关。蚓粪具有良好的结构性、高持水量和表面积大等特点,利于许多有益微生物生存^[16]。同时,蚯蚓粪富含腐植酸类物质和促进生根的 GA、IAA 等多种植物激素和活性酶^[17-18]。但蚓粪对基质的物理性状的改善作用不如泥炭突出。高含量(80 g·kg⁻¹)的污泥蚓粪会抑制草坪草的生长,其草坪成坪时间延长,成坪时草坪盖度较差,质地较粗。根据本试验的结果来看,在实际建设中 20~60 g·kg⁻¹ 的污泥蚓粪用量较为合适。污泥蚓粪与砂混合,产生的效果可能与土壤及其他栽培基质混合不同。因此,在以后的生产实践中,要根据草坪生长的需要选择性地使用,进一步探讨污泥蚓粪合理的使用比例,以达到合理改良砂基

坪床物理性状和化学性状的目的,满足草坪草生长的需要。

4 结论

研究表明,适量污泥蚓粪的加入可缩短草坪成坪时间,显著提高草坪草的叶绿素含量、再生速度和草屑量,但过高的污泥蚓粪加入量处理会抑制草坪草的生长,延长草坪成坪时间,并造成草坪盖度变差,颜色变浅等现象。污泥蚓粪具备取代泥炭为坪床基质改良剂的潜力。

参考文献:

- [1] 刘 强,陈 玲,黄 游,等.施用污泥堆肥对土壤环境及高草茅生长的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(1):199-203.
LIU Qiang, CHEN Ling, HUANG You, et al. Effect of application of sewage sludge on soil environment and festuca arundinacea schreb[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(1):199-203.
- [2] 李 琼,徐兴华,左余宝,等.污泥农用对痕量元素在小麦-玉米轮作体系中积累及转运的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(10):2042-2049.
LI Qiong, XU Xing-hua, ZUO Yu-bao, et al. Effect of biosolid on the accumulation and transfer of trace elements in soil-wheat/maize system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(10):2042-2049.
- [3] Edwards C A, Burrows I. The potential of earthworm composts as plant growth media [M]/Edwards C A, Neuhauser E. eds. *Earthworms in Waste and Environmental Management*. The Hague, The Netherlands:SPB Academic Press, 1988.
- [4] Atiyeh R M, Lee S, Edwards C A, et al. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth[J]. *Bio-resource Technology*, 2002, 84:7-14.
- [5] Arancon N Q, Edwards C A, Bierman P, et al. Influences of vermicomposts on field strawberries: Effects on growth and yields[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 93:145-153.
- [6] 赵海涛,庄明明,徐轶群,等.生活污泥经蚯蚓生物处理床消解后的性质变化特征研究[C].中国环境科学学会学术年会论文集,2010:3615-3620.
ZHAO Hai-tao, ZHUANG Ming-ming, XU Yi-qun, et al. Characteristics of sludge digested by the *Earthworm biological bed*[C]. Chinese Society of Environment Science Annual Meeting Collection, 2010:3615-3620.
- [7] 孙衍启,戴建民,周卫东.草坪业发展的概况与思考[J].中国园林,1998,14(2):36-38.
SUN Yan-qi, DAI Jian-min, ZHOU Wei-dong. Summary and thinking of development of turf[J]. *Journal of Chinese Landscape Architecture*, 1998, 14(2):36-38.
- [8] Stewart V L. *Sports Turf: Science, construction and maintenance* [M]. London; New York: E& FN Spon. 1994:11-12.
- [9] 曲继松,郭文忠,张丽娟,等.柠条粉作基质对西瓜幼苗生长发育及干物质积累的影响[J].农业工程学报,2010,26(8):291-295.
QU Ji-song, GUO Wen-zhong, ZHANG Li-juan, et al. Influence of caragana-straw as nursery substrate on growth and dry matter accumulation of watermelon seedlings[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(8):291-295.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Analysis method of soil physical properties*[M]. Beijing: Science Press, 1978.
- [11] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
LU Ru-kun. *Analysis method of soil agricultural chemistry*[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [12] 孙吉雄.冷地型足球场草坪混播组合多年生黑麦草最佳含量的研究[J].草业学报,1995,4(4):66-70.
SUN Ji-xiong. The study on the optimum ratio of *Lolium perenne* in mixed-seeding cool sportfield turf [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 1995, 4(4):66-70.
- [13] 孙吉雄.草坪学[M].北京:中国农业出版社,2003.
SUN Ji-xiong. *Turf grass science*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003.
- [14] 宋桂龙.运动场草坪土壤配比及其对草坪草生长影响研究[D].北京:北京林业大学博士学位论文,2006.
SONG Gui-long. Study on rootzone mixture and effect on the growth of port turf[D]. Beijing: Beijing Forestry University Dissertation, 2006.
- [15] 刘及东,陈秋全,焦念智.草坪质量评定方法的研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),1999,20(2):44-48.
LIU Ji-dong, CHEN Qiu-quan, JIAO Nian-zhi. Approach of assessment method of turf quality [J]. *Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry*, 1999, 20(2):44-48.
- [16] Edwards C A, Burrows I. The potential of earthworm compost as plant growth media[M]/Edwards C A, Neuhauser E F, eds. *Earthworms in waste and environmental management*. The Hague:SPB Academic Press, The Netherlands, 1988:21-32.
- [17] Tomati U, Grappelli A, Galli E. Fertility factors in earthworm[M]/Tomati U. *Prospects in earthworm farming*. Rome: Publication Ministro della Ricerca Scientifica Tecnologica, 1983:49-56.
- [18] 胡 佩,刘德辉,胡 锋,等.蚯蚓粪中的植物激素及其对绿豆插条不定根发生的促进作用[J].生态学报,2002,22(8):1211-1214.
HU Pei, LIU De-hui, HU Feng, et al. Plant hormones in earthworm casts and their promotion on adventitious root formation of mung bean cutting[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8):1211-1214.