

城市垃圾堆肥及其复合肥对黑麦草草坪质量的影响

范海荣¹, 华 珞^{1*}, 蔡典雄², 王学江¹, 朱风云¹, 尹逊霄¹, 张振贤¹, 高 娟¹, 滑丽萍¹

(1. 首都师范大学资源环境与地理信息系统北京重点实验室, 北京 100037; 2. 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘要:为加速城市生活垃圾堆肥农业资源化利用研究,避免重金属等有害物质进入食物链,利用盆栽试验,研究了垃圾堆肥及其为原料研制而成的 3 种复合肥的不同施肥水平对土壤肥力,黑麦草生长及草坪质量的影响,以选取最佳的适合黑麦草生长的垃圾肥料及其施用量。共设空白、堆肥、化肥、复合肥 1、复合肥 2、复合肥 3 等 6 个处理,每个处理又分为高、中、低 3 种施肥水平,测试草坪生物指标的质量状况和土壤肥力。结果表明:与化肥比较,垃圾复合肥可以显著提高土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷的含量。垃圾复合肥明显促进了黑麦草的茎与根系的生长,提高了生物量,改善了叶片的色泽和整齐度,提高了草坪的密度和质量;促进了黑麦草对氮的吸收,尤其是生长后期,叶片中氮和叶绿素的含量明显高于化肥与空白处理,且差异显著。草坪质量综合评价以垃圾复合肥 1 的中量施肥处理为最好,黑麦草分蘖最高,地上生物量适度;除复合肥的高量施肥处理外,复合肥 1 的中量施肥处理茎叶中氮素和叶绿素含量最高,草坪品质最高。

关键词:城市垃圾堆肥;复合肥;黑麦草;草坪质量

文章编号:1000-0933(2005)10-2694-09 中图分类号:Q948,X173,X7 文献标识码:A

Effects of municipal waste compost and its compound fertilizers on the turf quality of ryegrass

FAN Hai-Rong¹, HUA Luo^{1*}, CAI Dian-Xiong², WANG Xue-Jiang¹, ZHU Feng-Yun¹, YIN Xun-Xiao¹, ZHANG Zhen-Xian¹, GAO Juan¹, HUA Li-Ping¹ (1. *Resource, Environment and GIS Key Laboratory of Beijing, Department of Geography, Capital Normal University, Beijing 100037, China*; 2. *Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2694~2702.

Abstract: More than a hundred million tons of municipal waste are generated every year in China. Compost is an effective approach to municipal waste disposal. Waste compost conceives such characters as follows: (1) it contains organic matters; (2) it contains a lot of nutrition elements such as nitrogen, phosphorus, potassium and so on; (3) it contains various concentrations of trace elements and synthetic organic compounds; (4) it contains heavy metal elements. How to improve waste compost quality is a hotspot of research.

The occurrence of disposal and utilization of waste compost is much earlier in China than other countries. However, most domestic works focused on compost used in vegetables or crops. Waste compost used as fertilizer for lawn has been little reported in China till now. By this experiment, the waste compost and its compound fertilizers were used as lawn fertilizer for ryegrass. The purpose was to examine the effects of waste compost and its compound fertilizers on lawn grass growth and soil fertility. The pot experiment was conducted in April of 2003. It was composed of six treatments, including check, chemical fertilizer, waste compost, waste compound fertilizer 1, waste compound fertilizer 2, waste compound fertilizer 3. Each

基金项目:北京市自然科学基金委与北京市教育委员会科技发展计划资助项目(KZ200310028012);首都师范大学资源环境与地理信息系统北京重点实验室资助项目;北京市教育委员会资助项目(01KJ-109)

收稿日期:2004-09-24;修订日期:2005-04-16

作者简介:范海荣(1979~),女,山东陵县人,硕士生,主要从事生态环境治理与建设研究. E-mail:yingfan22@sina.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: hua-luo@sina.com.cn

Foundation item: Peking Natural Science Foundation and Peking Educational Committee Technological Development Program Key Item (No. KZ200210028012); Item of Resource, Environment and GIS Key Laboratory of Beijing, Capital Normal University; Item Supported by Peking Educational Committee (No. 01KJ-109)

Received date: 2004-09-24; **Accepted date:** 2005-04-16

Biography: FAN Hai-Rong, Master candidate, mainly engaged in environment management and construction. E-mail: yingfan22@sina.com

treatment had three fertilizer rates (high, middle and low). The fertilizer rates were listed in detail as follows: check (0); waste compost high (191.25g/pot), waste compost middle (127.5g/pot) and waste compost low (63.75g/pot); chemical fertilizer high(2.04g/pot), chemical fertilizer middle(1.36g /pot) and chemical fertilizer low(0.68g /pot);waste compound fertilizer 1 high(6.6g/pot), waste compound fertilizer 1 middle(4.4g/pot) and waste compound fertilizer 1 low(2.2g/pot); waste compound fertilizer 2 high(10.8g/pot), waste compound fertilizer 2 middle(7.2g/pot) and waste compound fertilizer 2 low (3.6g/pot); waste compound fertilizer 3 high (13.8g/pot), waste compound fertilizer 3 middle (9.2g/pot) and waste compound fertilizer 3 low (4.6g/pot). Each fertilizer treatment was repeated three times. Soil and compost samples were analyzed by potassium dichromate for organic matter, KDY (9830) for total N, 7~21 spectrophotometer for total P, A A Spectrophotometer (WFX-120) for total K and heavy metals, were extracted by 1mol/L NaOH for available N, respectively. Ryegrass was analyzed by KDY(9830)for total N and colorimeter for chlorophyll.

The results suggested that organic matters, total nitrogen, available nitrogen and total phosphorus in the treatment soils of waste compound fertilizer 1 and waste compound fertilizer 2 were significantly higher than those in chemical fertilizer and check treatment soils. Organic matters increased mostly by 202% and 177% more than chemical fertilizer; by 213% and 187% more than check. Total N increased mostly by 130% and 111% more than chemical fertilizer; by 316% and 283% more than check. Available N increased by 37.6% and 23% more than chemical fertilizer; by 106% and 86.8% more than check. Total P increased by 58% and 46% more than chemical fertilizer; by 190% and 169% more than check. With the enhancement of waste compound fertilizers, the nutrition elements were raised. Facts mentioned above proved waste compound fertilizers conceived a slow release efficiency, which could improve soil fertility. Waste compound fertilizer improved the over-ground as well as under-ground ryegrass biomass, ameliorated turf greenness and the turf uniformity, improved the turf density and quality, and accelerated the nitrogen absorption of ryegrass especially in the later growth of ryegrass. The leaf color was deep green and chlorophyll content is remarkably higher than other treatments. Considering this fact mentioned above, the middle fertilizer treatment of compound fertilizer 1 is better for ryegrass turf. It could bring the turf highest density, higher over-ground biomass, nitrogen and chlorophyll content. The turf quality reaches the first-class level. Waste compost and its compound fertilizers which are used for lawn growth, can not only solve waste compost outlet problems, but also promote urban lawn development.

Key words:municipal waste compost;compound fertilizer;ryegrass;turf quality

我国每年产生的城市生活垃圾达 1 亿 t,城市生活垃圾的科学处置已成为我国突出的资源、环境、经济和社会问题,目前我国采用的城市生活垃圾处理方式有焚烧、填埋、堆肥等。随着社会经济的发展,人民生活水平的提高,城市生活垃圾中的有机成分越来越高,垃圾堆肥是利用微生物的活动,将垃圾中的易腐有机质分解,转变成直接被植物吸收的腐殖质和氮、磷、钾等营养元素的有机肥料,是城市生活垃圾资源化利用的有效途径之一。垃圾堆肥中含有大量的有机质和植物生长所需的营养物质,能够提高土壤肥力,改善土壤的理化性质,促进植物生长,提高作物产量^[1~4];但垃圾堆肥也存在着养分含量低、肥效慢、施用量大、运输不便等不利因素。因此运用现代工艺,把经过两次发酵处理的堆肥作为原料,经过烘干、杂质清除、粉碎、过筛等措施,根据需要添加适当的化肥和微量元素,造粒制成植物需要不同的复合肥系列,使其达到肥效高、体积小、运输方便、使用简单的目的。新型垃圾堆肥及其复合肥的研制对垃圾消纳量的增加,垃圾堆肥新市场的开拓具有重要的意义。垃圾堆肥中还含有重金属、病原菌等物质,直接农用会造成污染环境,降低农产品品质,危害健康的负效应,如何降低重金属污染的毒害效应,完善和提高堆肥技术和堆肥质量已经成为垃圾堆肥研究的热点^[5~7]。草坪作为城市园林绿化的重要组成部分,对人类生存环境绿化、美化、保护和改善的作用日趋突出和重要,草坪绿化已日益受到人们的重视^[8]。近年来城市建植草坪相当部分用地是利用旧城拆迁地或垃圾填埋地。一般土质差,有机质含量低,导致草坪容易枯死,形成斑秃,提早退化。将垃圾堆肥及其复合肥用于草坪建设,不仅可以保持草坪的优良性状,促进草坪的生长,又可脱离食物链,废物利用,节约化肥,是垃圾堆肥合理利用的新途径。

本试验旨在研究城市垃圾堆肥及其复合肥施用于黑麦草时,对土壤肥力、草坪质量的影响,以期选出最适宜黑麦草生长的垃圾肥或垃圾复合肥及其最佳施用量,为城市生活垃圾堆肥在草坪中的合理利用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

盆栽土壤取自中国农业科学院农场的 0~20cm 表土,属于潮褐土,其基本理化性质为:全氮 0.10%,全磷 2.04%,碱解氮 40.6mg/kg,有机质 3.99%,Pb24.6 mg/kg,Zn79.2mg/kg,Cu29.78mg/kg,Cr65.94.82mg/kg,Cd1.65×10⁻¹mg/kg。土壤风干

后,过 2mm 筛备用。供试城市垃圾堆肥由北京二清集团公司南宫垃圾堆肥厂提供,风干后过 2mm 筛,以此为原料经过烘干、杂质清除、粉碎、过筛等措施,根据需要添加一定量的化肥和微量元素,造粒成复合肥(颗粒直径为 2mm)。供试垃圾堆肥的基本理化性质为:全氮 0.37%,全磷 0.34%,全钾 1.21%,硝态氮 0.06%,有机质含量 21.4%,pH7.9,Pb26.79mg/kg,Zn11.18mg/kg,Cu48.78mg/kg,Cr76.82mg/kg,Cd5.11×10⁻²mg/kg。

1.2 试验方法

盆栽试验采用直径为 20cm,高为 35cm 的塑料盆,每盆装土 7kg。供试草种为由中国农业科学院畜牧所提供的意大利多年生冷季型黑麦草(*Lolium multiflorum* L. cv, *Barmultra*),经催芽后 2003 年 4 月 3 日播种,15g/m²,间苗后每盆留 100 株。试验在露天进行,共设空白、垃圾堆肥、化肥、复合肥 1、复合肥 2、复合肥 3 6 个施肥处理,除空白处理外每个处理又分为高、中、低 3 种施肥量,每个施肥量又设 3 个重复,空白不施肥,化肥与复合肥 1、复合肥 2 为等肥分(N、P、K 含量相同),与垃圾堆肥、复合肥 3 为等氮量。各处理具体的施肥量见表 1。

表 1 不同施肥处理的施肥量(g/盆)

Table 1 Fertilizer quantity of different treatment(g/pot)						
处理 Treatment	空白 CK	化肥 C	垃圾堆肥 W	复合肥 1 F1	复合肥 2 F2	复合肥 3 F3
低施肥量 L	0	0.68	63.75	2.2	3.6	4.6
中施肥量 M	0	1.36	127.5	4.4	7.2	9.2
高施肥量 H	0	2.04	191.25	6.6	10.8	13.8

CK: check; C: chemical fertilizer; W: waste compost; F1: waste compound fertileizer1; F2: waste compound fertileizer2; F3: waste compound fertileizer3; L: low fertilizer rate; M: middle fertilizer rate; H: high fertilizer rate;下同 the same below

1.3 田间管理和观测

播种后根据草坪管理的要求^[9]对各试验盆定期进行同样的除杂、灾害和浇灌,并根据试验目的和内容定期观测并记录数据。每次刈剪前测 1 次株高并对颜色、整齐度评分,3 个月 after 测定密度。测株高时每盆随机取十株,测量其自然高度。密度测定时每盆取一个直径为 11cm 的圆样方,固定样方后手工计株数,重复 3 次。草坪颜色的评定采用 Beard^[10]提出的定级标准,墨绿色得分最高 5 分,完全枯黄得分最低 1 分,在评定草坪颜色时,首先浏览各盆草坪,找出颜色最好和最差的草坪,然后参照比色卡确定其分值,以此为参照物,最终确定其它盆草坪的颜色分值。对于整齐度的测定采用 9 分制,草坪在水平和垂直方向上的整齐程度共测 6 次,每次各处理测 3 个点^[11]。每 1 个月刈剪 1 次,修剪高度为 5cm,刈剪 5 次,最后一次刈割时间为 9 月 3 号,先称草鲜重,烘干后保存供其它测试。6 月份在黑麦草抽穗开花期,每周测定 1 次生殖枝数。

1.4 分析方法

土壤和垃圾堆肥有机质含量采用重铬酸钾法。全磷采用硫酸-高氯酸消煮,钼锑抗比色法。全氮采用半微量凯式定氮法,全钾和重金属采用原子吸收法,速效氮采用碱解扩散法。黑麦草叶片中的氮素和叶绿素含量采用凯式法和比色法测定^[12]。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤养分状况的影响

黑麦草收获后,测定了土壤中有机质、全氮、碱解氮的含量(表 2),发现垃圾堆肥和垃圾复合肥能提高土壤有机质、全氮、碱解氮的含量。复合肥 1、复合肥 2、复合肥 3 和堆肥处理的土壤有机质含量比空白对照土壤有机质含量提高分别最高达 213%、187%、125%、185%,比化肥提高分别最高达 202%、177%、118%、175%,且差异均达到极显著水平。复合肥 1、复合肥 2、复合肥 3 和堆肥处理的土壤全氮含量比空白对照土壤提高分别最高达 316%、283%、183%、183%,比化肥提高分别最高达 130%、111%、50%、50%,且差异均达到极显著水平。复合肥 1 和复合肥 2 处理的土壤碱解氮含量比空白对照土壤提高分别最高达 106%、86.8%,比化肥处理提高分别最高达 37.6%、23%,复合肥 3、堆肥处理的碱解氮含量与化肥差别不明显。复合肥 1 和复合肥 2 的高、中施肥处理土壤的全磷含量差异不显著,与其它施肥处理的相应施肥量处理差异显著,复合肥 1 和复合肥 2 施肥处理土壤全磷含量比空白对照土壤提高分别最高达 190%、169%,比化肥处理提高分别最高达 58%、46%。土壤中有有机质、全氮、碱解氮、全磷的含量随着复合肥施肥量的增加而增加。黑麦草收获后复合肥的高、中、低施肥处理的土壤中有有机质、全氮、碱解氮、全磷含量与化肥的相应施肥量处理相比差异显著,说明在草坪生长半年后,复合肥处理的土壤仍含有较高的养分,证明复合肥具有缓放功能,能够提高土壤的养分含量,达到改土培肥的作用。安胜姬在生活垃圾转化高效生物有机肥料的肥效研究也表明:垃圾复合肥能提高土壤中速效氮、磷、钾、有机质等的含量,提高土壤肥力,改善土壤的理化性质,与本试验结果一致^[13]。纯垃圾堆肥的施肥处理的土壤中有有机质含量和垃圾复合肥 1 和垃圾复合肥 2 相应施肥量处理相比差异不显著,但是全氮、碱解

氮、全磷含量与垃圾复合肥 1 和垃圾复合肥 2 相应施肥量处理相比差异达到极显著水平,与化肥施肥处理相比差异不显著,说明垃圾堆肥必须添加适当比例的无机肥料调节氮、磷、钾的比例制成有机无机复合肥,才能达到更好的培肥效果;Chang 等^[14]研究了连续施用堆肥对番茄及其土壤的影响,也认为堆肥与化肥混和施用比单独施用堆肥的土壤理化性质更加合理。本试验尤以复合肥 1 的土壤培肥效果最佳。这表明由于垃圾复合肥含有丰富的有机质和营养物质,施用后,增加土壤肥力,改善其物理性质,有利于草坪草的生长及增强其竞争能力^[15,16]。

表 2 不同施肥处理土壤中有有机质、全氮、碱解氮、全磷的含量

Table 2 Contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen and total phosphorus in soils under different treatments															
处理	有机质	全氮	碱解氮	全磷	处理	有机质	全氮	碱解氮	全磷	处理	有机质	全氮	碱解氮	全磷	
Treatment	Organic matter	Total N	Available N	Total P	Treatment	Organic matter	Total N	Available N	Total P	Treatment	Organic matter	Total N	Available N	Total P	
1 空白	1.76cC	0.06dC	20.47dD	0.94cB	1 空白	1.76c C	0.06dD	20.47dD	0.94cC	1 空白	1.76cC	0.06dD	20.47eD	0.94cC	
2 堆肥低	3.79aAB	0.13b B	23.17cC	1.40bcAB	3 堆肥中	4.43a A	0.15bcB	25.47dD	1.58bBC	4 堆肥高	5.01aA	0.17bB	7.78dC	1.75bBC	
5 化肥低	1.77cC	0.09cC	23.73cC	1.38bcAB	6 化肥中	1.78c C	0.10cC	28.63cC	1.56bBC	7 化肥高	1.82cC	0.12cC	31.03cC	1.73bBC	
8 复肥 1 低	4.18a A	0.20aA	33.28aA	2.18aA	9 复肥 1 中	4.85aA	0.23aA	38.4a A	2.46a A	10 复肥 1 高	5.50aA	0.25a A	42.7a A	2.73aA	
11 复肥 2 低	3.85Aa	0.19aA	27.3bB	1.91abcA	12 复肥 2 中	4.55aA	0.21aA	34.67bB	2.28aAB	13 复肥 2 高	5.05a A	0.23aA	38.23bB	2.53aAB	
14 复肥 3 低	3.04bB	0.13bB	23.33cC	1.47bcAB	15 复肥 3 中	3.49bB	0.15bB	25.83dD	1.69bABC	16 复肥 3 高	3.96bB	0.17bB	27.72dC	1.80bABC	

同列数据后标注小写字母表示 $p<0.05$,大写字母表示 $p<0.01$,LSD 检验结果 The comparison uses LSD;In a line,small English letters indicate significant difference at $p<0.05$,and capital letter suggest significant difference at $p<0.01$;Treatment:1:CK;2:WL;3:WM;4:WH;5:CL;6:CM;7:CH;8:F1L;9:F1M;10:F1H;11:F2L;12:F2M;13:F2H;14:F3L;15:F3M;16:F3H;下同 the same below

2.2 不同施肥处理对黑麦草株高的影响

黑麦草在整个观察期间出现 1 次生长高峰,出现在 5 月 18 号至 6 月 3 号。形成生长高峰的主要原因是气温,高峰期正处于北京地区天气凉爽,气温在 15~25℃,最适于冷季型坪草生长的时期^[11]。6 月 3 号之后生长趋于缓慢,因为气温慢慢升高,黑麦草进入生长缓慢期。各施肥处理黑麦草株高均高于空白处理,且随着施肥量的增加而增加,可见施肥提高了黑麦草的生长速度。由于化肥的速效性,第 1 次测量化肥的高、中、低处理黑麦草的株高比其它施肥的相应各处理高;但随着养分的消耗,垃圾复合肥的缓释效应表现出来,从第 2 次测量开始复合肥 1 和复合肥 2 的高、中、低施肥处理黑麦草株高比其它施肥的各相应施肥量处理的都要高,并且优势一直保持到第 6 茬。表明复合肥的缓释作用能为黑麦草提供持续的养分供应,保证黑麦草的生长需要。

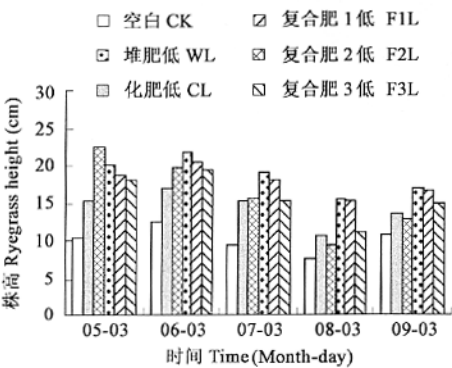


图 1 不同施肥处理低量施肥之间的黑麦草株高差异

Fig. 1 Ryegrass height differences under low fertilizer quantity different treatments

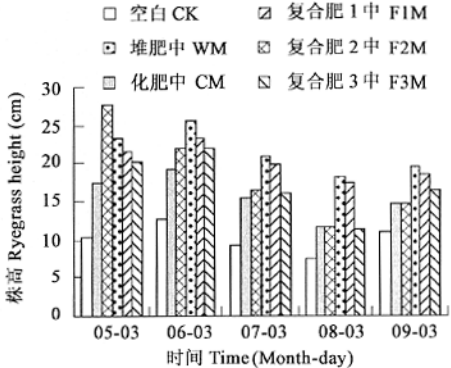


图 2 不同施肥处理中施肥量之间黑麦草株高差异

Fig. 2 Ryegrass height differences under middle fertilizer quantity of different treatments

2.3 不同施肥处理对黑麦草生物量的影响

表 3 表明与黑麦草的生长速度相对应,随着施肥量的提高黑麦草的地上生物量也随之递增;化肥的高、中、低处理第 1 次刈割的黑麦草鲜重比其它的施肥的相应施肥量处理都要高,且差异明显;随着速效养分的释放,化肥处理从第 2 茬开始黑麦草的地上生物量就慢慢降低,复合肥处理从第 2 次测量表现出其缓释效应的优势,复合肥 1 和复合肥 2 的高、中、低处理黑麦草的生物量比其它施肥的相应施肥量处理都要高,且差异明显,并且其优势一直保持到第 5 茬,后效十分明显;垃圾堆肥和复合肥 3 的高、中、低施肥处理从第 3 茬开始就和化肥的相应施肥量处理差异不明显。从培肥地力、促进黑麦草快速生长的角度看,复合肥

1 和复合肥 2 对黑麦草的生长效果最佳。Tester^[17]的两次研究都表明随着堆肥施肥量的增加,草坪地上生物量也增加,本研究的结论与其一致。Sikora 等^[18]研究认为堆肥和化肥混和施用能增加草坪的地上生物量,尤其以堆肥加氮素加磷素的处理为最好,本研究结论与其相似,以复合肥 1 和复合肥 2 最佳,分析认为,复合肥不仅含有较高的有机质,而且氮和磷等营养元素含量丰富,施用后明显改善了土壤的理化性质,并能有效地提供养分,促进了草坪草的生长。

不同施肥处理对黑麦草地下生物量(根系)的影响也非常明显。方差分析表明(表 4),复合肥 1 的高、中、低施肥处理的地下生物量明显高于其它施肥处理的相应施肥量处理,且差异达到极显著水平;复合肥 2 的高、中、低施肥处理的地下生物量与化肥、堆肥、复合肥 3、空白处理的相应施肥量处理差异也达到极显著水平;堆肥、化肥、复合肥 3 相应的施肥量处理的地下生物量差异不明显。施肥促进了地下生物量的增长,随着施肥水平的增长,黑麦草地下生物量也随之增长;与地上生物量相对应。这说明复合肥 1 的施用能够促使草坪草的根系更加发达,提高草坪的抗性。李志强等^[19]研究指出地下生物量越多,贮藏的营养物质越多,有利于地上部茎叶的生长和再生,同时在上层土壤形成根系网络,增加草坪草的耐践踏能力,根系多而分布广,也会提高草坪草的抗旱能力。韩建国等^[20]研究发现缓释肥更有利于地下生物量的积累,与本研究一致。

2.4 不同施肥处理对黑麦草颜色和整齐度的影响

2.4.1 色泽是草坪草质量的重要的指标之一,根据黑麦草在生长季内颜色的 10 次评分的平均值表明,15 个施肥处理的黑麦草颜色比空白对照有较大改善,其颜色随着施肥量的增加而更接近深绿色。各施肥处理与空白相比差异都很明显,说明施肥能提高黑麦草的色泽。复合肥 1 和复合肥 2 相应的高、中低施肥处理差异不大,与其它施肥的相应各处理差异明显,表明图复合肥能够持续的保持黑麦草的颜色,提高黑麦草的质量。其中复合肥 1 的高、中、低处理之间也存在着显著差异,以高量施肥处理最好。Daniel 等^[21]研究认为施用堆肥后,草坪草颜色增加持续时间的差异,可以解释为是由于堆肥中氮元素含量的不同造成的。张如莲等^[22]年研究也发现随着氮肥施用量的增加,草坪颜色逐渐加深。这说明氮肥对草坪颜色的影响起主要作用。

2.4.2 在观测期,对黑麦草整齐度 10 次评分的平均值(图 5)表明,空白对照得最高分(6.57 分),而垃圾堆肥、化肥、复合肥 1、复合肥 2 和复合肥 3 施肥处理的整齐度与空白对照处理比较均成下降趋势,且随着施肥水平的增加,整齐度下降幅度加大。整齐度下降的原因是施肥引起黑麦草的快速生长,使较高的植株难以保持直立的状态,而且不同个体在生长速度方面的差异更为明显,主要表现为草坪表面的高低不平和部分黑麦草的倒伏^[11]。因此与黑麦草的生长速度相对应,化肥处理的整齐度最低,复合肥 1 和复合肥 2 施肥处理的黑麦草整齐度得分也比较低,但仍然与化肥的各处理之间存在着显著差异。复合肥的缓释作用在保证草坪持续生长的同时,也能在一定程度上提高草坪草的整齐度。

2.5 不同施肥处理对黑麦草密度的影响

密度是反映植物在单位面积上植物或株丛分布数量和致密程度的指标。15 个施肥处理的黑麦草密度都高于空白对照处理(表 5),表明施肥促进了黑麦草的分蘖,在垃圾堆肥、化肥、复合肥 1、复合肥 2 和复合肥 3 的施肥处理中都以中量施肥处理黑麦草的密度最大。Eggeus 等^[23]认为中等浓度的氮肥能增加匍匐剪股颖和 1 年生早熟禾的分蘖密度,李鸿祥等^[11]也认为施肥水平对草坪草分蘖增加的影响存在临界值,高于或低于该施肥水平都难以再增加黑麦草的分蘖数量;低水平施肥没有足够的营养供

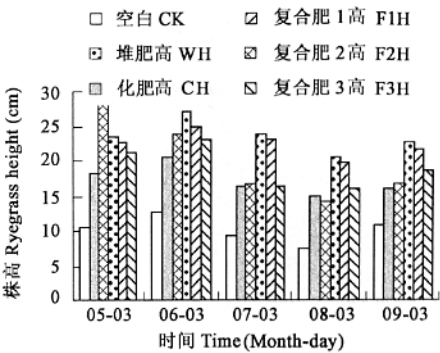


图 3 不同施肥处理高量施肥之间黑麦草株高差异
Fig. 3 Ryegrass height differences under high quantity of different treatments

表 3 不同施肥处理之间黑麦草地上生物量的差异(g/盆)
Table 3 Ryegrass overground biomass under different treatments

处理 Treatment	时间 Time(d)				
	0~30	30~60	60~90	90~120	120~150
1 空白	10.48d	15.33d	11.99c	8.52c	12.21c
2 堆肥低	17.50c	19.59c	16.11b	13.58b	16.42b
5 化肥低	23.10a	22.74b	16.27b	14.50b	15.47b
8 复肥 1 低	19.24b	27.34a	22.48a	19.15a	22.36a
11 复肥 2 低	18.87bc	25.78a	21.41a	18.49a	21.37a
14 复肥 3 低	17.49c	21.71b	17.09b	14.70b	16.88b
1 空白	10.49d	15.33d	11.99d	8.52c	12.21c
3 堆肥中	20.71c	21.17c	19.98c	16.21b	20.32b
6 化肥中	29.61a	27.68b	19.94c	15.86b	19.47b
9 复肥 1 中	24.52b	35.01a	26.97a	23.37a	26.17b
12 复肥 2 中	24.21b	33.58a	25.31b	22.87a	25.28a
15 复肥 3 中	20.88c	25.97b	20.05c	16.60b	20.54b
1 空白	10.49d	15.33d	11.99c	8.52c	12.21c
4 堆肥高	24.71c	28.94c	23.91b	19.77b	22.81b
7 化肥高	38.21a	37.70b	23.32b	19.40b	21.92b
10 复肥 1 高	32.38b	45.71a	36.70a	26.55a	32.17a
13 复肥 2 高	31.66b	45.00a	35.32a	25.19a	31.70a
16 复肥 3 高	24.89c	29.31c	24.44b	20.30b	22.46b

分蘖利用,而过高的施肥水平则使黑麦草地上部分过度徒长,而影响分蘖量的增加。复合肥 1 的高、中施肥处理与其它施肥的相应处理之间相比黑麦草的密度最大,且差异明显,复合肥 1 和复合肥 2 的低施肥处理之间差异不明显,与其它施肥的相应的处理之间差异明显,这说明复合肥能持续的供应黑麦草生长所需的养分,促进黑麦草的分蘖;化肥的速效性一定程度上造成黑麦草的地上部分的徒长,影响了分蘖量的增长。要得到密致的草坪,可采用复合肥 1 的中量施肥处理。

表 4 不同施肥处理黑麦草地下生物量(g/盆)

Table 4 Ryegrass underground biomass under different treatments(g/pot)					
处理 Treatment	根重 Root weight	处理 Treatment	根重 Root weight	处理 Treatment	根重 Root weight
1 空白	14.37dD	1 空白	14.37dD	1 空白	14.37dD
2 堆肥低	18.85cC	3 堆肥中	22.79cC	4 堆肥高	26.50cC
5 化肥低	19.14cC	6 化肥中	23.48cC	7 化肥高	27.50cC
8 复肥 1 低	28.21a A	9 复肥 1 中	34.27aA	10 复肥 1 高	39.05aA
11 复肥 2 低	25.43bB	12 复肥 2 中	30.19bB	13 复肥 2 高	35.70bB
14 复肥 3 低	19.11cC	15 复肥 3 中	24.12cC	16 复肥 3 高	27.71cC

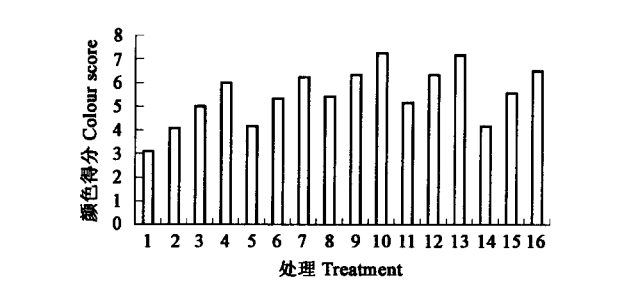


图 4 不同施肥处理黑麦草的颜色差异

Fig. 4 Ryegrass color differences under different treatments
treatments same to table 2

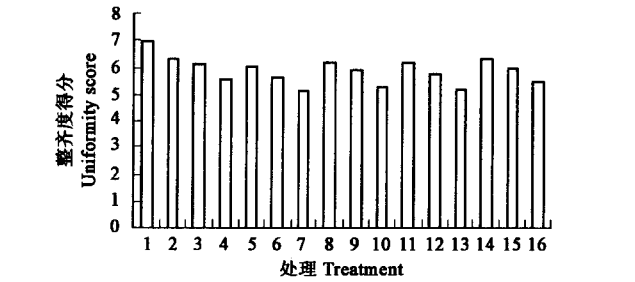


图 5 不同施肥处理黑麦草整齐度差异

Fig. 5 Ryegrass uniformity differences under different treatments
treatments same to table 2

表 5 不同施肥处理之间黑麦草的分蘖密度(株/100cm²)

Table 5 Ryegrass density under different treatments(tiller/100cm ²)					
处理 Treatment	密度 Density	处理 Treatment	密度 Density	处理 Treatment	密度 Density
1 空白	28.54e	1 空白	28.54e	1 空白	28.54d
2 堆肥低	57.13c	3 堆肥中	70.47d	4 堆肥高	64.91d
5 化肥低	57.81c	6 化肥中	70.49d	7 化肥高	65.46d
8 复肥 1 低	68.42a	9 复肥 1 中	83.27a	10 复肥 1 高	81.66a
11 复肥 2 低	68.13a	12 复肥 2 中	81.72b	13 复肥 2 高	78.4b
14 复肥 3 低	62.82b	15 复肥 3 中	77.47c	16 复肥 3 高	74.01c

2.6 不同施肥处理对黑麦草生殖枝的影响

黑麦草在北京 5 月进入生殖枝生长阶段,即使经常修剪,也产生生殖枝,因而影响草坪的美观性和颜色的一致性,在不同施肥处理中,在 5 月底到 8 月中旬共测定了 10 次生殖枝的数量,其平均值表明(图 6),施肥减少了草坪的生殖枝数,并随着施肥水平的提高,生殖枝数呈下降趋势。空白对照的生殖枝数为 17.35 株/盆,与其它施肥处理之间存在着明显差异,表明施肥影响了黑麦草生殖枝数的形成,提高了草坪的质量。这与李鸿祥等^[11]的研究结果相一致。化肥的高、中、低施肥处理与各复合肥的相应处理之间也存在着明显差异,表明复合肥的缓释效应,能降低黑麦草的生殖枝数,其中以复合肥 1 的高量施肥处理最好,其生殖枝数仅为 4.75 株/盆。复合肥的高、中、低施肥之间也存在着明显差异,说明提高施肥量可减少黑麦草的生殖枝数。

2.7 不同施肥处理对黑麦草吸收氮素的影响

氮素是草坪草生长的重要营养元素,氮素的吸收有利于草坪草各项质量指标的提高。表 6 数据显示,各处理之间黑麦草叶片中氮含量存在显著的差异。由于化肥为速效肥料,在黑麦草生长的前 2 个月里,化肥处理叶片中含氮量较高,但是从第 3 个月

开始,每个处理叶片中氮素含量都在逐渐下降,复合肥处理叶片中氮素含量与化肥处理已无明显差异。第5个月,复合肥1和复合肥2处理叶片中的含氮量与其它处理之间存在着明显差异,表明复合肥对黑麦草的氮素供应具有明显后效作用。Schumann等^[24]研究也表明堆肥能提高草坪对氮素的吸收,提高草坪的质量。复合肥1的高、中、低3种施肥处理黑麦草叶片氮素的含量在前4个月内存在着明显差异,但是随着肥料的消耗,第5个月,高、中两种处理已无明显差异。

2.8 不同施肥处理对黑麦草叶绿素含量的影响

叶绿素含量是草坪草的评价指标和重要的质量指标,它反映草坪的观赏质量,也反映草坪的生长状态^[25]。试验最终收获时,对黑麦草的叶绿素含量进行了测定(表7),所有施肥处理的草坪草叶绿素含量均显著高于空白对照,随着施肥量的增大,黑麦草叶绿素的含量明显增加。这说明施肥有利于草坪草进行光合作用,增强草坪草的生长能力。特别是复合肥1施肥处理黑麦草的叶绿素含量明显高于其它施肥处理,叶色深绿,叶绿素含量达到一级水平。说明复合肥1的缓释功能,对增加草坪草的叶绿素含量具有明显的效果。这与刘玉杰等^[26]所得出的缓释肥料后期能提高草坪草的色泽的结论相一致。

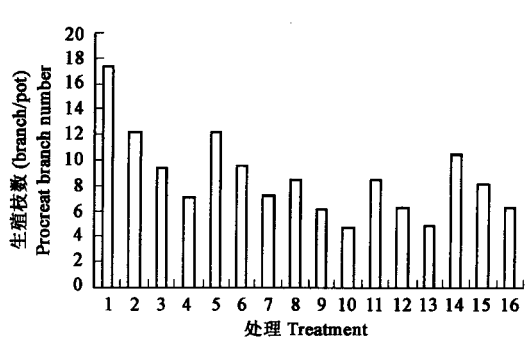


图6 不同施肥处理黑麦草的生殖枝数
Fig. 6 Ryegrass procreant branch number under different treatments

表6 不同施肥处理黑麦草叶片中氮素含量(%,干重)的动态变化

Table 6 The N(% ,dry weight)absorption dynamic change of the ryegrass leave under different treatments											
处理 Treatment			时间 Time(d)			处理 Treatment			时间 Time(d)		
			0~60	60~120	120~180				0~60	60~120	120~180
1 空白			0.97e	0.72c	0.57c	1 空白			0.97d	0.72c	0.57d
4 堆肥高			1.63d	1.67b	1.21b	3 堆肥中			1.33c	1.23b	1.15bc
7 化肥高			2.32a	1.80a	1.15b	6 化肥中			1.91a	1.41a	1.12c
10 复肥1 高			1.94b	1.83a	1.38a	9 复肥1 中			1.61b	1.46a	1.34a
13 复肥2 高			1.84c	1.86a	1.31a	12 复肥2 中			1.65b	1.44a	1.28ab
16 复肥3 高			1.86bc	1.83a	1.15b	15 复肥3 中			1.65b	1.43a	1.14c

表7 不同施肥处理黑麦草中叶绿素含量(g/kg)

Table 7 The chlorophyllous contents in ryegrass leave with different treatments (g/pot)					
处理 Treatment		含量 content	处理 Treatment		含量 content
1 空白		0.84d	1 空白		0.84d
4 堆肥高		1.43b	3 堆肥中		1.19c
7 化肥高		1.51b	6 化肥中		1.29c
10 复肥1 高		1.93a	9 复肥1 中		1.76a
13 复肥2 高		1.66b	12 复肥2 中		1.46b
16 复肥3 高		1.67b	15 复肥3 中		1.43bc

2.9 不同施肥处理对土壤中重金属含量的影响

黑麦草收获后对其土壤进行安全性测定,表明施入垃圾堆肥及其复合肥后,土壤中Pb、Zn、Cu、Cr、Cd的含量都比空白对照处理土壤中大(差异显著),并且随着施肥量的增加,重金属含量增加。复合肥1的低、中、高施肥水平与其他施肥处理的相应施肥水平相比,重金属的含量最少;垃圾堆肥低、中、高施肥水平与其他施肥处理的相应施肥水平相比,重金属含量最高。土壤中Pb、Zn、Cu、Cr、Cd的含量均不超过土壤质量二级标准(为保障农业生产,维护人体健康的土壤限定值),甚至达到土壤环境质量一级标准(为保护区域自然生态,维持自然背景的土壤环境质量的限制值)。

3 结论

3.1 垃圾堆肥与化肥相比能提高草坪土壤的有机质含量,其它方面差异不太明显。垃圾复合肥与化肥和垃圾堆肥相比具有缓释效应,可以提高土壤有机质、全氮、碱解氮的含量,有利于改善草坪的土壤肥力,达到培肥改土的效果。

3.2 垃圾复合肥与化肥和垃圾堆肥相比它能保证黑麦草的持续生长,提高黑麦草的生物量,促进黑麦草根系的生长,改善黑麦

草的色泽,一定程度上提高了黑麦草的整齐度,草坪的密度和盖度也明显提高,草坪质量得到明显改善。

3.3 与化肥和垃圾堆肥相比,垃圾复合肥可以使黑麦草对氮的吸收显著增加,特别是黑麦草生长后期,其叶片中氮和叶绿素的含量明显高于化肥对照处理,且差异显著。

3.4 综合评价应采用垃圾复合肥 1 的中量施肥处理,与其它施肥处理相比使黑麦草分蘖达到最高,获得较高的地上生物量,氮素和叶绿素含量,草坪品质最高。

以上仅为盆栽实验数据,为垃圾堆肥及其复合肥在草坪中的大面积推广使用提供了科学依据。草坪建设对城市绿化、环境保护和生态平衡起着重要的作用,垃圾复合肥在城市草坪中科学施用,可明显促进草坪草的生长,减轻环境压力,提高土壤肥力和草坪质量,既解决了生活垃圾的出路问题,又避免了重金属等有害物质进入食物链,是一种合理利用生物能源的方式。

References:

- [1] Giusquiani P L, Pagliai M, Gigliotto G, *et al* Urban waste compost: Effects on physical, chemical, and biochemical soil properties. *J. Environ. Qual.*, 1995, **24**: 175~182.
- [2] He X T, Traina S J, and Logan T J. Chemical properties of municipal solid waste composts. *J. Environ. Qual.*, 1992, **21**: 318~329.
- [3] Shen A L, Li X Y, Kanamori T, *et al.* Effect of Long Term Application of Compost on Some Chemical Properties of Wheat Rhizosphere and Non-Rhizosphere Soils [P32-1315]. *Pedosphere*, 1996, **6**(4): 355~363.
- [4] Agaassi M, *et al.* Compost Science and Utilization. 1998, **6**(3): 34~41.
- [5] Guo X F, Pan J, Lu W L, *et al.* Test on Waste Compost Quality. *Environmental Sanitation Engineering*, 2002, **10**(3): 128~129.
- [6] Ferreira M E, Cruz MCP, Da Cruz MCP. Effects of A Compost from Municipal Wastes Digested by Earthworms On the Dry Matter Production of Maize and On Soil Properties. *Cientifical Jaboticabal*, 1992, **20**(1): 217~222.
- [7] Cao Z H. Environmental Issues Related to Chemical Fertilizer Use in China [P32-1315]. *Pedosphere*, 1996, **6**(4): 289~303.
- [8] Li Z Q, Han J G, Chen H, *et al.* Effect of perforation and fertilization on the turf quality of Kentucky bluegrass. *Pratacultural Science*, 2000, **17**(6): 71~76.
- [9] Han B L. *Turf Management*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1994. 9.
- [10] Beard J B. *Turfgrass science and culture*, 1982. 132~166.
- [11] Li H X, Han J G, Chuai H B, *et al.* Effects of Fertilization on the Turf Quality of Kentucky Bluegrass. *Acta Agrestia Sinca*, 1998, **6**(1): 38~44.
- [12] Soil Physical and Chemic Analysis. Chinese Sciences Academy Soil and Fertilizer Institute Edit. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [13] An S J, Zhang L Y, Zheng S Z, *et al.* Study on Fertility of the Efficient Bioorganic Fertilizer Inverted by Refuse. *Research of Environmental Sciences*, 2000, **13**(3): 47~50.
- [14] Chang K W, Cho S H, Lee I B. Study on the improvement of soil for high efficient and sustainable agriculture-I. Effect of repeated application of chicken and pig manure composts on tomato growth and soil. physico-chemical properties. *Agricultural-Chemistry -and- Biotechnology*. Oct., 1998; **41**(6): 451~456.
- [15] Fu H, Wang Y M, Zhou Z Y, *et al.* Effect of applying sewage sludge on soil physico-chemical characters and content of heavy metal elements in Lolium perenne lawn. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, **12**(2): 82~86.
- [16] Yu Y W, Xu Z, Miao J X, *et al.* The growing characteristics of perennial rygrass (Lolium perenne) and white clover (Trifolium repens) and their coexisted behave performance in mixed pasture. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, **11**(3): 34~39
- [17] Tester C F. Tall fescue growth in greenhouse, growth chamber, and field plots amended with sludge compost and fertilizer. *Soil Sci.* 1989, **148**: 452~458.
- [18] Sikora L J, Tester C F, Taylor J M, *et al.* Fescue yield response to sewage sludge compost amendments. *Agron. J.* 1980, **72**: 79~84.
- [19] Li Z Q, Han J G, Chen H, *et al.* Effects of Perforation and Fertilization on the Turf Quality of Kentucky bluegrass. *Pratacultural Science*, 2000, **17**(6): 71~76, 80.
- [20] Han J G, Sun Q, Liu S. Study on the Influence of Fast Released Fertilizer and Slow Released Fertilizer to the Turf Evapotranspiration Rate. *Grassland of China*, 2003, **25**(6): 32~35, 50.
- [21] Daniel C G, Michael J B. Temporal Effects of Compost and Fertilizer Applications on Nitrogen Fertility of Golf Course Turfgrass. *Agronomy Journal*. 2001, **93**: 548~555.
- [22] Zhang R L, Huang C H, Bai C J. Comprehensive Evaluation of the Effect of Fertilizer Application on Hybrid Zoysia Quality during Turf Stage. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2003, **24**(4): 74~80.
- [23] Eggeus J L, Wright C P M, Ken Caey. Nitrate and ammonium nitrogen effects on growth of creeping bentgrass and annual bluegrasses.

Hort. Sci. , 1989, **24**(6):952~954.

[24] Schumann G L, Soares H, Holden C M, *et al.* Relationship of traditional parameters of compost stability to turfgrass quality. *Environ. Technol.* 1993, **14**:257~263.

[25] Li Y X, Zhao L, Chen T B. The Municipal Sewage Sludge Compost Used as Lawn Medium. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(6): 797~801.

[26] Liu Y J, Han J G, Yang Y, *et al.* Effects of Fertilization on Turf Quality, Clipping Yield and Evapotranspiration Rate of Kentucky Bluegrass. *Grassland of China*, 2003, **25**(4): 50~55.

参考文献:

[5] 郭秀芳,潘洁,陆文龙,等. 提高生活垃圾堆肥质量的试验. 环境卫生工程, 2002, **10**(3):128~129.

[8] 李志强,韩建国,陈怀,等. 打孔和施肥处理对草地早熟禾草坪质量的影响, 2000, **17**(6):71~76.

[9] 韩烈保. 草坪管理学. 北京:北京农业大学出版社,1994. 9.

[11] 李鸿祥,韩建国,揣海斌,等. 施肥对草地早熟禾草坪质量的影响. 草地学报, 1998, **6**(1):38~44.

[12] 土壤理化分析. 中国科学院南京土壤研究所编, 上海:上海科学技术出版社, 1978.

[13] 安胜姬,张兰英,郑松志,等. 生活垃圾转化高效生物有机肥料的肥效研究. 环境科学研究, 2000, **13**(3):47~50.

[15] 付华,王玉梅,周志宇,等. 施用污泥对黑麦草草坪绿地土壤理化性质和重金属元素含量的影响. 草业学报, 2003, **12**(2):82~86.

[16] 于应文, 徐震, 苗建勋,等. 混播草地中多年生黑麦草与白三叶的生长特性及其共存表现. 草业学报, 2002, **11**(3): 34~39.

[19] 李志强,韩建国,陈怀,等. 打孔和施肥处理对草地早熟禾草坪质量的影响. 草业科学, 2000, **17**(6):71~76, 80.

[20] 韩建国,孙强,刘帅,等. 速效肥和缓释肥对草坪蒸散量的影响. 中国草地, 2003, **25**(6):32~35, 50.

[21] 张如莲,黄承和,白昌军. 施肥对杂交结缕草成坪期草坪质量综合评价. 热带作物学报, 2003, **24**(4):74~80.

[25] 李艳霞,赵莉,陈同斌. 城市污泥堆肥用作草皮基质对草坪草生长的影响. 生态学报, 2002, **22**(6):797~801.

[26] 刘玉杰,韩建国,杨艳,等. 施肥对草地早熟禾草坪质量、剪草量及蒸散量的影响. 中国草地, 2003, **25**(4):50~55.