

树皮与污泥堆肥混合基质的性质及其对黑麦草无土草坪的影响

李苏翼^{1,2}, 时连辉^{1,2*}

1. 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018
2. 山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271018

摘要: 为解决污泥堆肥基质透气性差、过于紧实等问题, 采用树皮堆肥作为调节材料, 以不同比例与污泥堆肥进行混合, 通过小区试验研究其对黑麦草草坪性状的影响, 同时探讨不同树皮堆肥添加量对污泥堆肥基质理化性状的影响。结果表明: 黑麦草的出苗率、株高、生长速度、分蘖数以及根系活力均为添加 50%树皮堆肥条件下最高, 与纯污泥堆肥相比, 分别提高了 10%、52.5%、31%、61.9%和 53.9%; 添加树皮堆肥条件下, 混合基质的总孔隙度、通气孔隙度、渗透系数分别比对照增加了 2.7%~9.1%、2.17~4.40 倍和 1.84~5.1 倍, 且随树皮堆肥添加量增多而增大, 而混合基质的容重、持水孔隙度、水气比、电导率和养分含量则随树皮堆肥添加比例升高而降低。综合分析表明, 添加树皮堆肥能够显著影响污泥堆肥基质的理化性状, 其中树皮堆肥添加比例为 50%的混合基质对黑麦草根系及地上部生长等性状的效果最佳, 可作为黑麦草无土草坪的理想栽培基质。

关键词: 污泥堆肥; 树皮堆肥; 理化性状; 黑麦草; 栽培基质

中图分类号: S141.4;S688.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2017)01-0013-07

Properties of the Media Mixed with Bark and Sewage Sludge and Its Effects on Soil-less Lawn of Ryegrass

LI Su-yi^{1,2}, SHI Lian-hui^{1,2*}

1. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Tai'an 271018, China
2. College of Resource and Environment/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

Abstract: In order to solve the problems of sewage sludge compost's compaction and poor permeability, the experiment was conducted to study the effect on ryegrass characteristics by using the bark compost as the adjust material and fixing the different amount of bark compost with sewage sludge compost, and explored the impact of different bark compost amount to the physical and chemical properties of sewage sludge. The results showed that the emergence rate, plant height, growth rate, number of tillers and root activity of ryegrass increased by 10%, 52.5%, 31%, 61.9% and 53.9% which were grown at the mixture of 50% bark compost and 50% sewage sludge compost when compared to pure sewage sludge compost. The total porosity, aeration porosity and permeability coefficient were increased by 2.7%~9.1%, 2.17~4.40 times and 1.84~5.1 times in adding bark compost than that of pure sewage sludge compost respectively, while the bulk density, water holding porosity, WAP/AP, EC and nutrient content decreased gradually with the increasing amount of bark compost. The total results indicated that adding bark compost could affect the physical and chemical properties of sewage sludge compost significantly, and the addition amount of 50% bark compost has the best effect on ryegrass roots and aerial growth, and it could be ryegrass soil-less lawn's ideal growing media.

Keywords: Sewage sludge compost; bark compost; physical and chemical properties; *Lolium perenne* L.; growing media

无土草坪是无土栽培技术应用于草坪培育的创新, 其种植不以天然土为原料, 而是在隔离层上利用栽培基质播种草种或者草茎所形成的草坪^[1]。无土草坪的固体栽培基质很多, 总体上分为有机基质和无机基质两类, 有机基质(草炭、锯末、农作物秸秆、树皮、畜禽粪便等)具有生物活性及团聚作用, 有较强的缓冲能力和持水能力, 含有丰富的营养成分; 无机基质(蛭石、石砾、珍珠岩、岩棉、砂、陶粒、炉渣等)通常阳离子交换量较低, 蓄肥能力相对较差, 但来源广泛, 能长期使用。

污泥是由污水处理过程中得到的固体有机物质, 是一种能够有效利用的富含有机质的城市产生生物^[2]。经过高温好氧堆肥处理后没有明显的臭味, 挥发性成分减少, 病原菌和寄生虫卵几乎被杀死, 重金属得到固化和钝化^[3,4], 形成了有利于养分转变为植物易于吸收形态的类似腐殖质的产物, 可被植物利用的营养成分增加。但污泥堆肥本身存在颗粒较细、过于紧实、透气不良、吸水易粘稠、盐分含量高等缺点, 过高的盐分会破坏养分之间的平衡, 抑制种子发芽和植物吸收, 甚至对根系造成

收稿日期: 2016-03-03

修回日期: 2016-05-11

基金项目: 2016年山东省重点研发计划:重点产业关键技术(2016CYJS05A02);“十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAL04B05)

作者简介: 李苏翼(1990-),男,在读硕士,主要从事农业废弃物资源化利用. E-mail:lysqi@163.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:shilh@sdau.edu.cn

直接伤害。目前解决污泥堆肥此类问题大多采用工农业废弃物与污泥堆肥混合配制复混基质的方法^[5], 有效地改善了污泥堆肥的理化性状。因此, 选择能够循环利用、就地取材, 不污染环境、栽培效果好的配选料是污泥堆肥混合基质草坪利用的发展方向。

树皮经堆肥化处理后具有颗粒大、渗透性强、抗分解、支持作用强等优点, 在基质的物理性状改善方面具有显著的作用^[6], 它既不妨碍水分向下渗透, 也不阻碍基质内水分蒸发^[7], 同时还能抑制杂草蔓延, 在容器栽培中被广泛应用。目前还未见利用发酵树皮改善污泥堆肥性状应用于无土草坪上的报道, 鉴于此, 本文以树皮堆肥作为污泥堆肥透气性调节材料, 研究不同树皮比例对污泥堆肥理化性状及黑麦草生长的影响, 以期筛选出使黑麦草长势较好的树皮与污泥堆肥配比, 为污泥的有效利用以及无土草坪的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于山东农业大学南校区资环试验基地, 海拔 150 m, 地理位置为东经 117° 08', 北纬 36° 11', 属温带大陆半湿润季风气候区, 年均气温 13 °C, 极端最高气温 42.1 °C, 极端最低气温 -20.7 °C, 年降水量 600~700 mm, 其降水多集于 7~8 月份, 年平均相对湿度 66%, 日照时数 2536.2 h。

1.2 试验材料

污泥堆肥基质: 污泥来自泰安市污泥处理厂, 采用静态条垛式自然通风堆肥法, 将污泥和锯末按 2:1(v/v) 的比例充分混合, 再加入适量 EM 菌剂, 调节含水量至 55%~65%, 堆肥前两周每 3 d 人工翻堆 1 次, 然后每周翻堆 1 次, 当堆体温度下降至 50 °C 时, 晾晒, 过 5 mm 筛, 装袋供试验用。经测定污泥堆肥容重值为 0.37 g·cm⁻³, pH 值为 6.01, 电导率值为 4.89 ms·cm⁻¹, 有机质含量为 550.37 g·kg⁻¹, 全氮含量为 19.93 g·kg⁻¹, 速效磷含量为 4.38 g·kg⁻¹, 速效钾含量为 2.98 g·kg⁻¹, 污泥堆肥中重金属全量及农用标准^[8]见表 1。

供试树皮堆肥: 选用松树皮, 由泰安市木材市场提供, 过粉碎机 (1 cm 孔径) 粉碎, 进行好氧堆肥腐熟 2 个月过后 5 mm 筛, 装袋备用。经测定发酵树皮容重值为 0.19 g·cm⁻³, pH 值为 7.05, 电导率值为 0.64 ms·cm⁻¹, 总孔隙度为 75.9%, 通气孔隙度为 40.1%, 持水孔隙度为 35.8%。

供试作物: 多年生黑麦草 (*Lolium perenne* L.), 品种为爱神特, 购自山东艺景园林有限公司。

表 1 污泥堆肥中重金属含量及控制标准

项目 Item	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
全量	22.7	0.4	388.6	201.3	365.7
控制标准 (pH<6.5)	300	5	600	250	500

1.3 试验设计

试验共设 6 个处理, 每个处理重复 3 次, 随机排列, 各小区面积为 2 m×1 m, 小区间设 20 cm 隔离带。试验处理见表 2。于 2015 年 4 月 12 日, 将污泥堆肥基质和树皮堆肥根据不同处理分别混合后铺设在山东农业大学南校区资环试验基地水泥地上, 基质铺设厚度为 4.5 cm, 铺设前预留部分基质用于播种后覆盖, 喷水湿润基质, 播种覆盖, 覆盖厚度为 0.5 cm, 播种量为 30 g·m⁻², 之后每天各处理浇定量清水, 不施肥。播种后一周内测定预留的各处理混合基质理化性状; 试验开始 30 d 后取植株鲜样, 测定其株高、生物量、叶绿素含量、根系活力等生长与生理指标。

表 2 试验处理设计

编号 ID	试验处理 Experiment treatment
CK	纯污泥堆肥基质
T1	污泥堆肥基质:树皮堆肥=3:1 (v/v)
T2	污泥堆肥基质:树皮堆肥=2:1 (v/v)
T3	污泥堆肥基质:树皮堆肥=1:1 (v/v)
T4	污泥堆肥基质:树皮堆肥=1:2 (v/v)
T5	污泥堆肥基质:树皮堆肥=1:3 (v/v)

1.4 测定项目与方法

1.4.1 基质理化性状的测定 重金属元素 Pb、Cd、Cr、Cu、Zn 全量采用 HNO₃+HClO₄+HF 常压消化法、原子吸收分光光度法测定；基质容重按照环刀烘干基质体积法测定；总孔隙度、通气孔隙、持水孔隙采用饱和重力排水法^[9]测定。

基质渗透系数采用定水头法^[10]测定：用直径和高度都为5 cm的玻璃管，用透明胶带将玻璃管粘在一起达到要求的高度，里边放入紧实度一致的基质，根据不同的透水性选择不同基质高度，测定时保持上部5 cm水头不变，定时测定渗出水量。温度为 t (°C)时的渗透系数 K_t (mm/min)可用下式计算：

$$K_t = v \times L / (h + L)$$

式中 v ——渗透速度，mm/min； h ——水层高度，cm； L ——基质高度，cm。

10 °C的渗透系数： $K_{10} = K_t / (0.7 + 0.03t)$ 。

基质pH、电导率采用饱和浸提法，并用Eutech优特PC700 pH/电导率多参数测量仪(新加坡)测定；基质有机质采用重铬酸钾容量法^[11]；基质全氮采用H₂SO₄+H₂O₂消煮法^[11]；基质有效磷采用柠檬酸浸提比色法^[12]；基质速效钾采用硝酸浸提火焰光度法。

1.4.2 草坪生长指标的测定及外观质量评价 株高的测定用直尺测定（茎基部到叶尖的距离）；生长速度根据修剪后与下次修剪前测定的植株高度计算；株数和分蘖数 10 cm×10 cm 样方内人工记数法测定；成坪时间用从播种到草坪盖度达到 90%所需天数表示；叶绿素采用 SPAD502 叶绿素仪测定，相对值，无单位；根系活力采用 TTC 法测定。

生物量的测定：在各小区内随机取3个10 cm×10 cm的样方，连同基质一并起出，带回室内清洗，用吸水纸吸干表面水分，分别称量地上部与地下部鲜重，再将地上样方和地下样方放在70 °C的烘箱中持续烘干24 h，用0.01电子天平称量并记录，取平均值；根冠比的测定采用干重比。

草坪外观质量评定，采用美国国家草坪评比项目 NTEP 9 分制评分方法，依据评分标准对草坪的密度、颜色、质地、均匀性进行打分，然后按不同项目分配的权重：颜色 2 分、密度 3 分、质地 2 分、均匀性 2 分，计算各处理草坪的外观质量总分^[13]。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 SAS 软件对数据进行统计分析，利用 Excel 2003 软件作图。

2 结果与分析

2.1 树皮堆肥添加比例对污泥堆肥基质物理性状的影响

表 3 不同处理基质的物理性状

Table 3 Physical properties of substrate with different treatments

处理	容重(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	通气孔隙/%	持水孔隙/%	水气比	10 °C渗透系数/(mm·min ⁻¹)
Treatment	Bulk density	Total porosity	Aeration porosity	Holding porosity	WAP/AP	Permeability coefficient
CK	0.37 ± 0.01a	67.16 ± 0.09f	7.05 ± 0.02f	60.11 ± 0.07a	8.53 ± 0.02a	41.04 ± 0.04f
T1	0.34 ± 0.00b	68.99 ± 0.20e	15.29 ± 0.20e	53.70 ± 0.07b	3.51 ± 0.05b	75.57 ± 0.22e
T2	0.32 ± 0.00c	69.51 ± 0.14d	20.39 ± 0.31d	49.12 ± 0.20c	2.41 ± 0.05c	109.79 ± 0.24d
T3	0.30 ± 0.01d	71.53 ± 0.09c	23.86 ± 0.14c	47.67 ± 0.16d	2.00 ± 0.02d	142.19 ± 0.27c
T4	0.26 ± 0.00e	72.48 ± 0.23b	27.78 ± 0.13b	44.70 ± 0.34e	1.61 ± 0.02e	177.02 ± 0.36b
T5	0.22 ± 0.01f	73.29 ± 0.19a	31.00 ± 0.12a	42.29 ± 0.21f	1.36 ± 0.01f	209.37 ± 0.30a

注:同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平。Note: Different letters in a column mean significant at the 5% level.

如表 3 所示，添加树皮堆肥后，各处理的容重值均显著低于 CK ($P < 0.05$)，且随树皮堆肥添加量的增多呈减小趋势，T1、T2、T3、T4、T5 与对照 (0.37g·cm⁻³) 相比分别降低了 8.1%、13.5%、18.9%、27.0%、35.1%；各处理的总孔隙度和通气孔隙度均显著高于对照 ($P < 0.05$)，T1、T2、T3、T4、T5 的通气孔隙度分别为 CK (7.05%) 的 2.17、2.89、3.38、3.94、4.40 倍；持水孔隙度和水气比均为 CK>T1>T2>T3>T4>T5，处理间差异显著。

从表 3 中还可看出，添加树皮堆肥后各处理的渗透系数比对照增加量在 34.53~168.33 mm·min⁻¹

之间,各处理渗透系数依次是: T5>T4>T3>T2>T1, 分别是 CK (41.04 mm·min⁻¹) 的 5.10、4.31、3.46、2.68、1.84 倍, 这可能是由于孔隙特性是影响基质渗透性能的最重要因素, 添加树皮堆肥改变了污泥堆肥基质的孔隙特性, 通气孔隙越大、数量越多, 相应地渗透速率就越快。

2.2 树皮堆肥添加比例对污泥堆肥基质化学性状的影响

由表 4 可知, 各处理的 pH 值均在 6.0~7.0 这个适宜草坪生长的范围内, 添加树皮堆肥处理的 pH 值虽有所升高且呈正相关, 但 T4 和 T3、T5 之间差异不显著, 其余处理间差异显著。随着树皮堆肥添加量的增多, 混合基质的 EC 值显著降低, T1、T2、T3、T4、T5 和对照 (4360 μS·cm⁻¹) 相比分别降低了 19.04%、33.72%、48%、64.45%、75.83%, 说明添加树皮堆肥显著降低了混合基质的可溶性盐含量, 大大降低了其发生盐害的可能。各处理的有机质含量随树皮堆肥用量的增加而升高, 差异显著; 全氮、速效磷、速效钾养分均随树皮堆肥用量的增加而降低, T5 处理的全氮、速效磷、速效钾含量均最低, 比对照分别降低了 28.65%、54.9%、37.25%, 但 T2 处理的全氮含量与 T1、T3 处理之间差异不显著, T2 处理的速效磷含量与 T1 处理无显著差异, T1 与 CK、T2 与 T3 处理的速效钾含量差异不显著 (P>0.05)。

表 4 不同处理基质的化学性状

Table 4 Chemical properties of substrate in different treatments

处理 Treatment	pH	电导率/(μS·cm ⁻¹) EC	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	速效磷/(g·kg ⁻¹) Available P	速效钾/(g·kg ⁻¹) Available K
CK	6.01 ± 0.03e	4360 ± 11.55a	550.37 ± 4.77f	19.93 ± 0.16a	4.39 ± 0.12a	2.98 ± 0.02a
T1	6.18 ± 0.04d	3530 ± 5.77b	605.34 ± 3.53e	18.05 ± 0.09b	3.65 ± 0.03b	2.85 ± 0.07a
T2	6.33 ± 0.03c	2890 ± 11.55c	676.08 ± 3.84d	17.61 ± 0.10bc	3.49 ± 0.05b	2.60 ± 0.01b
T3	6.57 ± 0.08b	2267 ± 3.33d	748.75 ± 4.38c	17.36 ± 0.06c	3.13 ± 0.08c	2.48 ± 0.05b
T4	6.69 ± 0.05ab	1550 ± 5.77e	820.33 ± 3.59b	15.93 ± 0.24d	2.57 ± 0.08d	2.08 ± 0.04c
T5	6.80 ± 0.02a	1054 ± 2.89f	899.17 ± 1.65a	14.22 ± 0.26e	1.98 ± 0.06e	1.87 ± 0.04d

注:同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平。Note: Different letters in a column mean significant at the 5% level.

2.3 树皮堆肥与污泥堆肥不同配比基质对黑麦草草坪的影响

2.3.1 树皮堆肥与污泥堆肥不同配比基质对黑麦草草坪出苗率的影响 出苗率是反映播种期基质性状的主要指标。由图 1 可知, 各处理的出苗率随树皮堆肥用量增加呈先上升后下降的趋势, 不同处理的出苗率依次为: T3>T4>T2>T1>T5>CK, 处理间差异显著 (P<0.05), 说明用适量树皮堆肥改良后的基质对于提高草坪出苗率有促进作用, 施用树皮堆肥比例在 50%时黑麦草出苗率达到峰值, 出苗效果最好。

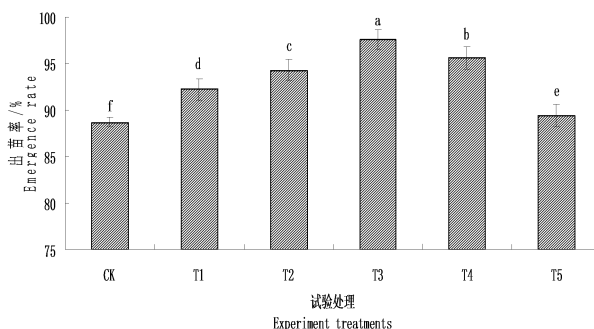


图 1 不同处理对黑麦草草坪出苗率的影响

Fig.1 The effects of different treatments on ryegrass lawn emergence rate

2.3.2 树皮堆肥与污泥堆肥不同配比基质对草坪黑麦草生长的影响 从表 5 可以看出, 不同处理的株高、生长速度、分蘖数的变化规律一致, 均随树皮堆肥用量增加呈先增大后减小的趋势, 添加树皮堆肥后的处理显著高于对照 (P<0.05), 说明添加树皮堆肥可以显著提高草坪草生长, 但不是混合基质中树皮堆肥添加量越高, 黑麦草生长状况越好, 其中 T3 处理的株高、生长速度、株数、分蘖数均达到最大值, 和 CK 相比分别提高了 52.5%、31%、53.4%、61.9%。各处理的成坪时间依次为: T3<T4<T2<T1<T5<CK, 这可能是因为树皮堆肥的添加比例超过体积比 1:1 时会因混合基质养分供应

不足、保水性差等原因而限制草坪生长,从而影响了成坪时间。

表 5 不同处理对草坪黑麦草生长的影响

Table 5 The effects of different treatments on ryegrass lawn growth

处理	株高/cm	生长速度/(cm·week ⁻¹)	株数/(Strain·100 cm ⁻²)	分蘖数/(Strain·100 cm ⁻²)	成坪时间/d
Treatment	Plant height	Growth rate	Strain	Density	Growing time of turf grass
CK	11.87 ± 0.18e	3.64 ± 0.03f	73 ± 1.76c	63 ± 1.45d	48 ± 0.33a
T1	14.50 ± 0.23c	4.23 ± 0.04d	90 ± 2.65b	82 ± 1.73b	42 ± 0.33cd
T2	16.27 ± 0.23b	4.61 ± 0.04b	105 ± 4.1a	97 ± 4.41a	41 ± 0.33d
T3	18.10 ± 0.17a	4.77 ± 0.06a	112 ± 2.65a	102 ± 2.31a	38 ± 0.33e
T4	15.83 ± 0.15b	4.47 ± 0.02c	94 ± 1.76b	88 ± 1.45b	40 ± 0.33c
T5	13.63 ± 0.15d	4.06 ± 0.05e	80 ± 1.45c	74 ± 2.31c	44 ± 0.33b

注:同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平。Note: Different letters in a column mean significant at the 5% level.

2.3.3 树皮堆肥与污泥堆肥不同配比基质对黑麦草生物量与根冠比的影响 从表 6 可以看出,混合基质中树皮堆肥的不同用量对草坪生物量影响较为显著,随树皮堆肥用量增加,地上部和地下部的干鲜重均呈先增大后减小的趋势,且显著高于对照 ($P < 0.05$)。就地上部干重而言,生物量依次为 T3>T2>T4>T1>T5>CK,其中 T4 与 T1、T2 之间,CK 和 T5 之间差异不显著 ($P > 0.05$);就地下部干重而言,生物量依次为 T3>T4>T5>T2>T1>CK,其中 T3 和 T4 之间无显著差异,其他各处理均差异显著 ($P < 0.05$)。根冠比是反映植物地上部和地下部生长协调程度的指标^[14],与基质的透气性密切相关。从表 6 还可看出, T1~T5 处理的根冠比随树皮堆肥用量增加呈增大的趋势,与对照相比分别提高了 24.2%、35.5%、33.9%、66.1%和 77.4%。

表 6 不同处理对黑麦草草坪生物量的影响

Table 6 The effects of different treatments on ryegrass lawn biomass

处理	地上部 Overground part		地下部 Underground part		根冠比
	鲜重/(g·m ⁻²)	干重/(g·m ⁻²)	鲜重/(g·m ⁻²)	干重/(g·m ⁻²)	
	Fresh weight	Dry weight	Fresh weight	Dry weight	
CK	4644.27 ± 15.16e	179.94 ± 7.72d	3272.89 ± 4.26f	111.89 ± 2.76e	0.62 ± 0.01e
T1	5186.99 ± 11.33c	212.10 ± 3.66c	3997.13 ± 4.22e	163.84 ± 4.73d	0.77 ± 0.01d
T2	5293.84 ± 14.07b	232.51 ± 3.34b	4519.92 ± 8.74d	195.60 ± 1.25c	0.84 ± 0.01c
T3	5782.77 ± 6.28a	293.04 ± 15.10a	5497.73 ± 4.04a	242.96 ± 5.71a	0.83 ± 0.02c
T4	5278.76 ± 2.23b	226.9 ± 1.77bc	5001.84 ± 5.81b	232.92 ± 1.27a	1.03 ± 0.01b
T5	4760.24 ± 9.09d	193.48 ± 3.83d	4839.53 ± 3.68c	213.56 ± 2.22b	1.10 ± 0.01a

注:同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平。Note: Different letters in a column mean significant at the 5% level.

2.3.4 树皮堆肥与污泥堆肥不同配比基质对草坪黑麦草根系活力的影响 根系活力是反映根系吸收功能的一项重要指标,直接关系到草坪草对基质水分、养分的吸收,进而影响草坪植株的生长情况^[15]。从图 2 可以看出,不同处理的根系活力依次为: T3>T4>T2>T1>T5>CK,各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。可见,适量树皮堆肥可以增加草坪草根系活力,促进根系对水分和养分的吸收,树皮堆肥施用比例在 50%时黑麦草根系活力达到峰值,效果最佳。

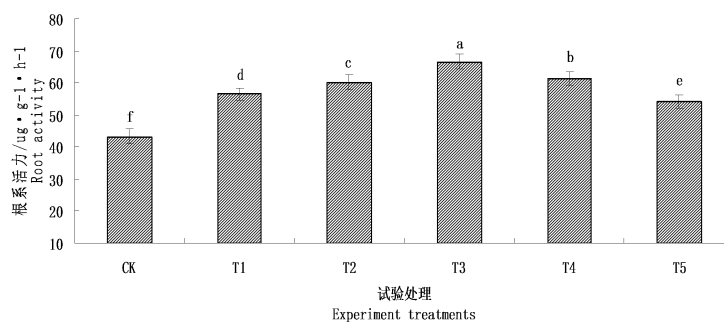


图 2 不同处理对草坪黑麦草根系活力的影响

Fig.2 The effects of different treatments on ryegrass lawn root activity

2.3.5 树皮堆肥与污泥堆肥不同配比基质对黑麦草草坪外观质量的影响 草坪外观质量是评价草坪优

劣的重要指标,是草坪生态功能和景观质量的反映。由表 7 可知,添加树皮堆肥处理的草坪外观质量评分均高于对照(6.5),其中 T3 得分(8.2)最高。说明添加树皮堆肥有助于提高草坪外观质量,T3 草坪质量极佳,CK 草坪质量良好,T1、T2、T4、T5 草坪均为优质草坪。

表 7 不同处理的黑麦草草坪外观质量评估结果

Table 7 The assessment of different treatment on appearance quality of ryegrass lawn

处理 Treatment	密度 Density	颜色 Color	质地 Quality	均匀性 Uniformity	总分 Score
CK	6.3 ± 0.05f	6.8 ± 0.07e	7.5 ± 0.00b	5.7 ± 0.02f	6.6 ± 0.04f
T1	7.2 ± 0.04d	7.5 ± 0.05c	7.7 ± 0.03a	7.1 ± 0.02d	7.4 ± 0.01d
T2	7.4 ± 0.01c	7.9 ± 0.06b	7.8 ± 0.04a	8.3 ± 0.05b	7.8 ± 0.03b
T3	8.2 ± 0.06a	8.1 ± 0.01a	7.8 ± 0.02a	8.9 ± 0.01a	8.3 ± 0.02a
T4	7.6 ± 0.09b	7.6 ± 0.01c	7.8 ± 0.03a	7.7 ± 0.02c	7.7 ± 0.04c
T5	6.9 ± 0.02e	7.3 ± 0.04d	7.6 ± 0.02b	6.5 ± 0.03e	7.1 ± 0.01e

注:计算总分时,不同指标予以不同分配权重:密度 3 分、颜色 2 分、质地 2 分、均匀性 2 分;同列不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。
Note: When calculating the total scores, different indexes had different assignment weights: density for 3 score, color for 2 score, quality for 2 score, uniformity for 2 score; different letters in a column mean significant at the 5% level.

3 讨论

栽培基质是植物生长的基础和媒介,也是无土草坪种植成败的关键^[16]。作为固体基质,除具固定作物根系功能外,更重要的是为根系创造良好的水、肥、气条件等,这一功能决定了它必须具有良好的物理性。基质的通气性状和水分特性对草坪草的生长至关重要,两者动态平衡既能增加根际环境的透气性又能提高基质的保水能力,从而为根系提供良好的生长环境^[17]。研究表明,污泥堆肥颗粒较细,孔隙特性差,其表面吸附的和孔隙内容留的水分不易流动^[18],易阻碍草坪根系的伸展和呼吸。本试验中,添加树皮堆肥后,混合基质的总孔隙度、通气孔隙度、渗透系数显著升高,而容重、水气比、电导率和养分含量降低,说明树皮堆肥可以改善污泥基质的孔隙特性,进而影响基质的渗透特性和根呼吸,同时还能显著降低污泥堆肥的盐分含量,但由于树皮堆肥本身的养分含量不如污泥堆肥,故混合后的基质养分含量随树皮堆肥比例升高呈现降低的趋势。

植物根系所处的微环境是受基质本身的理化性状影响的,而根系微环境是植株获取水分、养分的主要场所。王军等^[19]研究发现添加一定量的树皮可以改善桉树根系微环境,使桉树在生根率、平均根数、每株根长度等一系列指标中达到较优的水平。本试验中,在施用树皮堆肥比例不超过 50% 的条件下,树皮堆肥对草坪根际微环境的改善作用随施用量的增加而增强,这明显促进了草坪草的生长发育,主要表现在株高、生长速度、生物量、叶绿素含量的增加和根系活力的增强上,且差异显著。但当超过这个比例时,由于基质孔隙度过大,根系与基质结合不紧密,影响了根系对水分、养分的吸收,造成草坪草生长受阻。

4 结论

添加树皮堆肥可增加纯污泥堆肥基质的总孔隙度、通气孔隙度、渗透系数,且该增加效果会随着树皮堆肥添加量的增加而增加;而容重、持水孔隙度、水气比、电导率和养分含量则随树皮堆肥添加比例的升高而降低。混合堆肥基质中树皮堆肥添加比例为 50% 时对黑麦草草坪的生长效应最佳,黑麦草的出苗率、株高、生长速度、分蘖数以及根系活力均达到最高值,能形成优质草坪,该混合基质可以作为黑麦草无土草坪的备选栽培基质。

参考文献

- [1] 江生泉,姜自红,汤士勇.生态型无土基质草毯生产设计研究[J].安徽农学通报,2015,21(23):87-89
- [2] Lec DJ.生物固体的调理与脱水[C].南京:有机废弃物管理与利用国际学术研讨会,2000
- [3] Sanchez-Monedero MA, Mondini C, Nobili M, *et al.* Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter[J]. Waste Management, 2004(24):325-332
- [4] Selivanovskaya YS, Latypova VZ, Kiyamova SN, *et al.* Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2001(86):145-153

- [5] 胡雨彤,时连辉,刘登民,等.不同比例珍珠岩对污泥堆肥理化性状与孔雀草生长的影响[J].应用生态学报,2014,25(7):1949-1954
- [6] 范双喜,伊东正.树皮草炭混配基质对生菜生长的影响[J].中国蔬菜,2002(6):18-20
- [7] 那 斌,彭小琴,郭晓磊.树皮的综合利用[J].木材加工机械,2008(5):40-52
- [8] 中华人民共和国环境保护部.农用污泥中污染物控制标准(GB 4284-84).北京:中国标准出版社,1984
- [9] 江胜德.现代园艺栽培介质:选购与应用指南[M].北京:中国林业出版社,2006:26-29
- [10] 陈立新.土壤实验实习教程[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2005:59-63
- [11] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准,有机肥料(NY-525-2011).北京:中国标准出版社,2011
- [12] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准,有机肥料(NY/T 300-1995).北京:中国标准出版社,1995
- [13] 田 波,时连辉,王秀峰,等.菇渣堆肥对土壤及草坪生长的影响[J].中国草地学报,2011,33(5):101-106
- [14] 胡艳丽.施肥量对盆栽不同苹果砧木实生根/冠比的影响[D].泰安:山东农业大学,2006
- [15] 朱子龙,王秀峰,王英华,等.草莓无土栽培方式及基质配方研究[J].山东农业科学,2008(8):58-60
- [16] 胡 杨.观赏植物无土栽培基质研究进展[J].草原与草坪,2002(2):8-10
- [17] 武 良,边秀举,徐秋明,等.草坪无土栽培基质的研究进展及发展趋势[J].中国农学通报,2008,24(8):259-299
- [18] 李斗争,张志国.颗粒粒径对育苗基质孔隙特性的影响研究[J].北方园艺,2006(6):1-3
- [19] 王 军,谢耀坚,彭 彦.桉树轻型基质育苗研究初报[J].桉树科技,2005,22:29-35

.....

(上接第12页)

惯施肥每公顷纯收入增加 2578 元,也达显著水平,而控释掺混肥加腐植酸调理剂和控释掺混肥加有机微生物肥处理比农民习惯施肥产量有所下降,但差异不显著,由于施肥成本高,其纯收入每公顷减少了 9258 元和 7278 元,差异显著。从施肥方便性、玉米产量和农民纯收入等总体效果考虑,在低含盐量滨海盐碱土种植玉米,推荐选择施用硫加树脂包膜控释掺混肥。

参考文献

- [1] 潘 洁,肖 辉,王立艳,等.滨海盐碱地玉米施肥效应及土壤供肥潜力研究[J].华北农学报,2014,29(6):208-213
- [2] 关元秀,刘高焕.黄河三角洲盐碱地动态变化遥感监测[J].国土资源遥感,2003(2):19-22
- [3] 李金彪,陈金林,刘广明,等.滨海盐碱地绿化理论技术研究进展[J].土壤通报,2014(1):246-251
- [4] 董合忠.滨海盐碱地棉花成苗的原理与技术[J].应用生态学报,2012,23(2):566-572
- [5] 罗成科,肖国举,张峰举,等.脱硫石膏改良中度苏打盐渍土施用量的研究[J].生态与农村环境学报,2009,25(3):44-48
- [6] 陈义群,董元华.土壤改良剂的研究与应用进展[J].生态环境学报,2008,17(3):1282-1289
- [7] 王睿彤,陆兆华,孙景宽,等.土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效应[J].水土保持学报,2012,26(4):239-244
- [8] 李松龄.脱硫废弃物改良盐碱土效果及对玉米生长发育的影响[J].西北农业学报,2012,21(8):94-100
- [9] 高 伟,邵玉翠,杨 军,等.盐碱地土壤改良剂筛选研究[J].中国农学通报,2011,27(21):154-160
- [10] 贺海升,王文杰,朱 虹,等.盐碱地土壤改良剂施用对种子萌发和生长的影响[J].生态学报,2008,28(11):5338-5346
- [11] 高 亮,丁春明,王炳华,等.生物有机肥在盐碱地上的应用效果及其对玉米的影响[J].山西农业科学,2011,39(1):47-50
- [12] 郭庆海.中国玉米主产区的演变与发展[J].玉米科学,2010,18(1):139-145
- [13] 刘 学,周 璇,曾 兴,等.玉米芽期和苗期耐盐性鉴定方法的比较分析[J].玉米科学,2015,23(1):115-121
- [14] 冯爱青,张 民,路艳艳,等.控释氮用量及生物炭对玉米产量及土壤生物化学性质的影响[J].水土保持学报,2014,28(2):159-164
- [15] 卢艳丽,白由路,王 磊,等.华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):209-215
- [16] 李宗新,王庆成,刘 霞,等.控释肥对夏玉米的应用效应研究[J].玉米科学,2007,15(6):89-92
- [17] 赵 斌,董树亭,张吉旺,等.控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J].作物学报,2010,36(10):1760-1768
- [18] 许海涛,王成业,刘 峰,等.缓控释肥对夏玉米创玉 198 主要生产性状及耕层土壤性状的影响[J].河北农业科学,2012,16(10):66-70
- [19] 杨俊刚,倪小会,徐 凯,等.接触施用包膜控释肥对玉米产量、根系分布和土壤残留无机氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(4):924-930
- [20] 赵 斌,董树亭,王空军,等.控释肥对夏玉米产量及田间氨挥发和氮素利用率的影响[J].应用生态学报,2009,20(11):2678-2684
- [21] 卫 丽,马 超,黄晓书,等.控释肥对土壤全氮含量及夏玉米产量品质的影响[J].水土保持学报,2009,23(4):176-179
- [22] 卫 丽,马超,黄晓书,等.控释肥对夏玉米碳、氮代谢的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(3):773-776
- [23] 于淑芳,杨 力,张 民,等.控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(1):128-133
- [24] 王庆成,李宗新,刘 霞,等.不同肥料运筹对夏玉米的生产效应[J].中国农学通报,2007,23(6):396-400
- [25] 姜增明,费云鹏,陈 佳,等.土壤调理剂在盐碱地改良中的作用[J].北方园艺,2014(20):174-177