

宋丽芬,陈军霞,杜滨舵,等. 利用工农业废弃物生产无土草皮卷基质的配方研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):166-169.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.057

利用工农业废弃物生产无土草皮卷基质的配方研究

宋丽芬,陈军霞,杜滨舵,史向群

(中国农业大学烟台研究院,山东烟台 264670)

摘要:将污泥、蘑菇渣和秸秆混合好氧发酵产物与不同比例的沙子混合,研究不同配方的基质理化性质及其对高羊茅草坪草生长的影响。结果表明,污泥、蘑菇渣、秸秆按干质量 1:2:2 的比例混合持续发酵 9 d,温度达到 50 ℃ 以上,发酵产品符合 GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》。基质容重随沙子添加比例的增加而增加,通气孔隙度 T_4 大于 T_1 ,毛管孔隙度 $T_1 > T_2 > T_3$ 与 T_4 , T_1 和 T_2 的总孔隙度高于 T_4 。 T_1 处理和 T_4 处理间成坪天数差异不显著,但显著高于 T_2 和 T_3 处理。 T_1 、 T_3 、 T_4 处理间成卷天数差异不显著,但显著高于 T_2 处理。 T_2 处理的地上生物量显著高于其他 3 个处理,其次为 T_3 处理, T_1 处理的地上和地下生物量最低。 T_2 处理的密度最高,其次为 T_3 处理,而 T_1 和 T_4 处理间差异不显著。 T_2 处理的叶绿素含量最高,其次为 T_3 和 T_4 , T_1 处理最低。 T_2 和 T_3 处理间根系活力差异不显著,但高于 T_1 和 T_4 处理。而 T_1 和 T_4 处理间根系活力差异不显著。综合隶属度由大到小的顺序为 $T_2 > T_3 > T_1 > T_4$ 。试验结果表明,最佳基质配方为发酵产物、蛭石、沙子按照 70:20:10(T_2) 体积比例混合。

关键词:基质复配;草皮卷;发酵;无土栽培

中图分类号:S688.404⁺.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)07-0166-04

传统的草皮卷生产在草皮收获时由于铲走 1 层土壤,不仅增加草皮卷的质量及运输费用,也带走了营养肥沃的表层土壤,破坏了原有土壤的理化性质及土层结构^[1]。因此,无土基质草皮卷的生产是未来草皮生产的新趋势^[2]。已有研究表明,无土基质生产的草皮卷的生长指标、品质指标、生长周期等都优于土壤栽培方式^[3-4]。可作为无土栽培的有机工农业废弃物有椰子纤维、泥炭、蔗糖、堆置树皮、锯末屑、稻壳、蘑菇渣、腐殖质、污泥等^[5-6]。城市污泥是污水处理厂污水处理过程中产生的沉积物,含有氮、磷、钾、有机质及多种植物必需的微量元素^[7]。然而,污泥中病菌、虫卵、重金属等有害物质限制了其在农业上的应用,如 GB 4284—84《农用污泥中污染物控制标准》、GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》、NY 525—2012《有机肥料》等国标对农

用污泥中有害物质种类和含量进行了明确规定。因此,污泥配制草皮卷无土基质前,有必要对污泥中有害物质消减和检测。泡沫塑料、玻璃纤维、蛭石、沙子等无机基质中营养成分含量相对较少,难以满足草坪草植物生长的需要;但有机无土栽培基质的理化性状差异变化幅度较大,稳定性相对较差,常常使草坪凹凸不平。目前,无机基质与有机基质的混合基质是无土草皮卷生产中常用的基质^[8]。

本试验将污泥、蘑菇渣和秸秆混合后氧发酵,研制用于配制草皮卷生产的有机-无机无土基质中有机基质原料,并研究发酵后产物中病菌、虫卵、重金属等有害物质含量变化,为污泥在草皮卷生产中的安全应用提供依据;通过将不同比例的发酵产物、蛭石和沙子的复配,研究不同配方的基质的理化性质及其对高羊茅草坪草的生长指标和品质指标的影响,通过综合隶属度对草坪品质进行综合评价,为无土草皮卷的基质复配提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验发酵基质材料为污泥、蘑菇渣和秸秆。其中,污泥重

收稿日期:2014-07-23

基金项目:中国农业大学烟台研究院项目(编号:YT201107)。

作者简介:宋丽芬(1971—),女,山东烟台人,硕士,副教授,主要从事土壤化学与植物营养方面的研究。E-mail:15805351189@126.com。

[5]郑成淑,曹后男,朴炫春,等. 球根大小对唐菖蒲生长发育的影响[J]. 北方园艺,2002(6):32-32.

[6]李秋杰,李红艳. 不同等级唐菖蒲球茎的种性退化特征研究[J]. 湖北农学院学报,2002,22(2):126-128.

[7]陈育青. 唐菖蒲栽培管理技术[J]. 广西园艺,2005,16(3):56-57.

[8]刘爱丽,张延龙,牛立新,等. 不同规格种球对唐菖蒲切花品质的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(7):107-112.

[9]黄嘉鑫,车代弟,龚束芳,等. 光照长度对早、中、晚熟三类唐菖蒲生长、开花的影响[J]. 北方园艺,2003(4):62-63.

[10]Shillo R, Halevy A H. Winter blindness of gladiolus; interaction of light and temperature[J]. Acta Hort,1975,47:277-285.

[11]Heij G, de Lint P. Prevailing CO₂ concentrations in glasshouses[J]. Acta Hort,1984,162:93-100.

[12]薛慧智,窦铁岭,姚全辉,等. 唐菖蒲不同播种期对切花质量和种球繁殖的影响[J]. 河北农业大学学报,2007,30(1):22-26.

[13]苑智华. 唐菖蒲生长过程的部分生理生化变化[J]. 河北北方学院学报:自然科学版,2013(6):36-40.

[14]陈菊,义鸣放. 唐菖蒲种球种植期对匍匐茎和子球生长发育的影响[J]. 园艺学报,2004,31(6):767-772.

金属含量见表 1。从外观上看,污泥呈深褐色、含水量高、黏稠,机械强度小、不易分散,并有恶臭气味。污泥中砷、镉、铅、Cr、Hg 含量低于 GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(pH 值 <6.5)的限定值。蘑菇渣由山东九发食用菌股份有限公司提供,秸秆由牟平养牛场提供,为粉碎的花生蔓。试验草种为高羊茅,沙子为过 2 mm 筛的河沙,蛭石为市售。

表 1 污泥中重金属含量

				mg/kg
总砷	总镉	总铅	总铬	总汞
23.0	0.52	13.5	205.0	1.76

1.2 试验方法

1.2.1 发酵试验设计 污泥:蘑菇渣:秸秆按干质量比 1:2:2 混合,粉煤灰的添加量为发酵有机物料干质量的 5%,发酵菌种(由北京沃土天地生物科技有限公司生产)的添加量为发酵原料干重的 3‰。发酵混合料 C/N 为 24.43,有机质为 64.55%,含水量为 59.01%。将发酵物料装入底部直径 90 cm、高 1 m 的包裹保温材料塑料桶,由空压机提供空气,根据温度变化调节通风量。

1.2.2 基质优化选择试验设计 将发酵产物、蛭石和沙子按照 80:20:0(T_1)、70:20:10(T_2)、60:20:20(T_3)、40:20:40(T_4)体积比例混合。将基质装入 58 cm × 22 cm × 4.8 cm 的育苗平盘中,基质厚度 4.5 cm,盘底先铺设 1 层报纸。高羊茅草种的播种量按照 40 g/m²。每个育苗盘为 1 个处理,重复 3 次,实验室内培养。

1.2.3 观测项目与方法

1.2.3.1 物理性质、化学性质的测定 物理性质采用美国 Hummel 的测定方法,物理性质测定内容包括容重、通气孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度^[9]。化学性质测定内容包括 pH 值、总氮含量、总磷含量、总钾含量、有机质含量、重金属含量。总氮含量、总磷含量、总钾含量采用硫酸-双氧水分解法测定,凯氏定氮仪测氮含量、钼钼黄比色测磷含量、火焰光度计测钾含量。有机质含量测定采用 K₂Cr₂O₇-外热源法;重金属含量测定采用 HNO₃-HF-HClO₄ 联合消煮法。

1.2.3.2 草坪性状指标观测方法 草坪性状指标观测方法:盖度采用电子影像 PS 直线交叉法。草皮质量直接称质量,测前 24 h 灌水 1 次。地上部分生物量直接刈割烘干称质量;地下部分生物量用清水洗净烘干称重。叶绿素的测定采用丙酮:乙醇=1:1 混合液浸提叶绿素法。根系活力采用改良的 TTC 测定法。成坪天数为盖度达到 85% 的天数。成卷天数是将草皮从地上提起不被撕裂,卷起后草皮卷不出现裂缝的天数。

1.2.3.3 草坪综合质量评价 草坪综合质量评价采用模糊综合评判法。为了综合评定不同基质配比的优劣,将这 8 个指标根据模糊数学理论进行隶属函数分析,首先建立“综合评定”这一模糊集合 A 的隶属函数 $U_A(x)$,简记为 $U(x)$ 。

隶属函数的计算公式为:

$$U(X_i) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

式中: $U(X_i)$ 为隶属函数值, X_i 为某指标的测定值, X_{\max} 和 X_{\min} 为某一指标内的最大值与最小值。

如果某一指标与综合评判结果为负相关,则用反隶属函数进行定量转换。

计算公式为:

$$U(X_i) = 1 - \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

其次,对各个坪用性状的测定值计算其隶属值 $U_i(x)$,表示这一指标属于 A 的程度。然后,对各单因素隶属度进行加权平均,计算综合隶属值,即综合品质,即 $U(x) = \sum W_i U_i(x)$,其中 W_i 为第 i 项指标的权重。

权重的确定:打分评判法。各指标互相权衡重要性后,得到成坪时间、成卷时间、密度、根系活力、叶绿素含量、草皮质量、地上生物量、地下生物量 8 个指标的权重 W_i 矩阵为 {0.096, 0.330, 0.102, 0.098, 0.118, 0.100, 0.078, 0.078}^[5]。

1.3 数据处理与分析

所测数据均采用 SAS、Excel 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 发酵温度随时间的变化

发酵周期内温度的变化经历了升温、恒温、降温的过程:发酵 4 d 后温度达到 50 ℃,6 d 后温度达到 60 ℃,并持续 9 d 达到 50 ℃以上,23 d 时堆体内部温度与室外温度的差值不再发生变化,发酵结束(图 1)。温度的变化反映了发酵堆体内微生物活性的变化,能很好地反映发酵过程所达到的状态。堆料中的有机质在微生物的作用下用于微生物的细胞合成,同时分解为 CO₂ 和水,在此过程中产生大量热量促使堆体温度上升。堆体温度在 55 ℃ 条件下保持 3 d 以上,或 50 ℃ 以上保持 5~7 d,是杀灭堆料中所含的致病微生物,保证发酵卫生学指标合格和最后腐熟的重要条件。本试验由于持续 9 d 达到 50 ℃ 以上,物料中病原微生物被有效灭活。

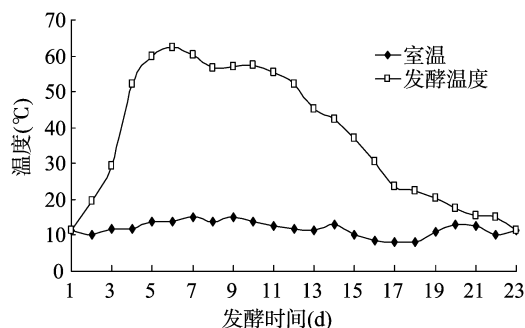


图1 发酵温度变化

2.2 发酵产物的检测

发酵后混合料由原来的黏稠变得疏松、颗粒均匀,颜色由原来的深褐色变为黑色,气味由恶臭变为泥土清香,不再吸引苍蝇等飞虫,堆料中长出大量白色菌丝,已经符合了腐熟的物理指标。

发酵产品中理化指标、养分指标、污染物浓度限定值、卫生学指标均符合 GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(pH 值 <6.5)的规定(表 2)。因此,发酵产物用于草皮卷生产时不存在环境风险。

2.3 基质的物理性质

由于沙子的容重大于发酵产物,随着发酵产物添加的比

表 2 发酵产物检测结果

序号	检测项目	技术要求	单位	检测结果	单项判定
1	总氮的质量分数(以烘干基计)		%	1.59	
2	磷(P ₂ O ₅)的质量分数(以烘干基计)		%	3.14	
3	钾(K ₂ O)的质量分数(以烘干基计)		%	0.67	
4	总养分(N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	≥3	%	5.40	合格
5	水分(鲜样)的质量分数	<40	%	21.15	合格
6	有机质的质量分数(以烘干基计)	≥25	%	50.00	合格
7	总砷(以烘干基计)	<75	mg/kg	11.01	合格
8	总镉(以烘干基计)	<5	mg/kg	0.32	合格
9	总铅(以烘干基计)	<300	mg/kg	6.12	合格
10	总铬(以烘干基计)	<600	mg/kg	120.00	合格
11	总汞(以烘干基计)	<5	mg/kg	0.92	合格
12	粪大肠杆菌数	<100	个/g	54.21	合格
13	蛔虫卵死亡率	>95	%	97.71	合格

例降低、沙子添加比例增加,基质的容重逐渐增加(表 3)。T₄ 处理的通气孔隙度显著高于 T₁ 处理,说明发酵产物的通气孔隙少,添加沙子有利于增加通气孔隙。由于草皮卷基质的质量很轻,其保水性是一个重要的指标,往往保水性越强,草坪草长势则越好。由于沙子的保水性差,添加沙子后,基质的毛管孔隙度显著下降。总孔隙度为通气孔隙度与毛管孔隙度之和,T₁ 和 T₂ 处理的总孔隙度差异不显著,但是显著高于 T₄ 处理。

表 3 基质的物理性质

处理	容重 (g/cm ³)	通气孔隙度 (%)	毛管孔隙度 (%)	总孔隙度 (%)
T ₁	0.42a	24.52c	38.03a	62.55a
T ₂	0.53b	28.51bc	31.64b	60.15a
T ₃	0.64c	32.44ab	25.9c	58.38ab
T ₄	0.86d	35.41a	20.5c	55.91b

注:同列数据后标有不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

2.4 基质的化学性质

表 4 基质的化学性质

处理	总氮 (%)	总磷(P ₂ O ₅) (%)	总钾(K ₂ O) (%)	有机质 (%)	总砷 (mg/kg)	总镉 (mg/kg)	总铅 (mg/kg)	总铬 (mg/kg)	总汞 (mg/kg)
T ₁	1.21a	2.41a	0.52a	39.44a	8.75a	0.25a	4.94a	92.77a	0.70a
T ₂	1.09b	2.08b	0.45b	34.05b	7.65b	0.21ab	4.31b	82.47b	0.61b
T ₃	0.94c	1.75c	0.38c	28.74c	6.57c	0.18b	3.45c	70.87c	0.53c
T ₄	0.60d	1.21d	0.24d	19.44d	4.33d	0.11c	2.41d	46.45d	0.37d

2.5 草皮卷的草皮性状分析

研究发现,不添加沙子的 T₁ 处理和添加 20% 沙子的 T₄ 处理间成坪天数差异不显著,但显著高于 T₂ 和 T₃ 处理。成卷天数决定着生产成本和经济效益。T₁、T₃、T₄ 处理间成卷

相对于发酵产物,无机物质蛭石和沙子中有机质和养分含量低。因此,随着发酵产物添加比例的降低,基质中氮、磷、钾、有机质的含量也降低(表 4)。添加 80% 发酵产物的 T₁ 处理总氮、磷、钾、有机质含量分别是添加 40% 发酵产物的 T₄ 处理 2.02、1.99、2.17、2.03 倍。

随着混合基质中蛭石和沙子的添加比例的增加,基质中重金属含量呈下降趋势。T₁ 处理的总砷、总镉、总铅、总铬、总汞含量分别是 T₄ 处理的 2.02、2.27、2.05、2.00、1.89 倍。

按照 GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》规定,污泥应用于酸性土壤(pH 值 < 6.5)园林绿化时,总砷、总镉、总铅、总铬、总汞的限定值分别是 75、5、300、600、5 mg/kg。本试验所配的 4 种基质,T₁ 处理的重金属含量最高,但仍低于 GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(酸性土壤 pH 值 < 6.5)的规定:GB/T 23486—2009(酸性土壤 pH 值 < 6.5)中总砷、总镉、总铅、总铬、总汞的限定值是 T₁ 处理的 8.57、20.00、60.73、6.47、7.14 倍。

天数差异不显著,但显著高于 T₂ 处理。T₂ 处理的地上生物量显著高于其他 3 个处理,其次为 T₃ 处理,T₁ 处理的地上和地下生物量最低。T₂ 处理的密度最高,其次为 T₃ 处理,而 T₁ 和 T₄ 处理间差异不显著(表 5)。

表 5 不同处理草皮卷的草皮性状

处理	成坪时间 (d)	成卷时间 (d)	地上生物量 (g/dm ²)	地下生物量 (g/dm ²)	密度 (棵/dm ²)	草皮质量 (g/dm ²)	叶绿素 (mg/g)	根系活力 [mg/(g·h)]
T ₁	54.67a	49.67a	2.15c	3.61d	48.00c	154.21d	1.86c	48.18b
T ₂	48.67b	40.67b	2.99a	5.43a	64.33a	224.40b	2.34a	59.71a
T ₃	50.67b	46.67a	2.53b	5.07b	56.33b	184.00c	2.03b	60.57a
T ₄	57.67a	50.33a	2.15c	4.18c	45.29c	247.42a	2.11b	51.40b

草皮的质量主要包括基质质量和草坪草的质量,因为草坪草的质量相对于基质质量而言可以忽略,因此草皮卷的质量主要反映的是基质的质量。沙子的比重和容重高于发酵产物和蛭石,因此随着沙子添加比例的提高,草皮质量也增加。

叶绿素直接反映的是草坪草的叶片颜色,而草坪草的颜色又可以反映草坪草自身的生长状况。研究发现,T₂ 处理的叶绿素含量最高,其次为 T₃ 和 T₄,T₁ 处理最低。根系活力越高的植物,地下部分的活动越旺盛,就能从土壤中吸收更多矿

质元素和水分供应地上部分的生长。T₂ 和 T₃ 处理间根系活力差异不显著,但高于 T₁ 和 T₄ 处理。而 T₁ 和 T₄ 处理间根系活力差异不显著(表 5)。

2.6 综合品质评价

用综合隶属度对草坪品质进行综合评价可以将不同品质指标综合考虑,从而全面评价草坪品质。结果发现综合隶属度由大到小的顺序为 T₂ > T₃ > T₁ > T₄。因此,T₂ 处理的综合性状最好,T₄ 处理的综合性状最差(表 6)。

表 6 不同性状的隶属度

处理	成坪时间	成卷时间	地上生物量	地下生物量	草皮质量	叶绿素	根系活力	密度	综合隶属度
T ₁	0.33	0.07	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.14	0.17
T ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	0.93	1.00	0.92
T ₃	0.78	0.38	0.45	0.80	0.68	0.38	1.00	0.58	0.57
T ₄	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.52	0.26	0.00	0.11

3 结论与讨论

3.1 发酵产物和沙子的比例对基质理化性质的影响

污泥做为生产无土草皮卷的基质具有显著的环境和经济效益,但是污泥中含有大量重金属,因此以纯污泥做为基质存在环境风险,并且污泥中有害物质也会影响种子发芽、植株生长^[10]。污泥的 C/N 一般为 8~10,好氧堆肥工艺要求控制物料的初始 C/N 为 20~30,因此必须添加其它有机物质^[11],这样可降低发酵产物中重金属含量。

发酵产物的容重和通气孔隙度低于沙子,毛管孔隙度高于沙子,因此基质中随着沙子添加量的增加,容重和通气孔隙度逐渐增加、毛管孔隙度降低。T₁、T₂、T₃ 之间的总孔隙度差异不显著,但 T₁、T₂ 高于 T₄。基质的容重可以反映基质的疏松、紧实程度。容重过大,基质过于紧实,通气透水性较差;而容重过小,基质过于疏松,通气透水性虽好但不利于根系的固定,植株易倒伏。因此,基质中有必要添加一定量的沙子。基质孔隙度也是无土基质适合与否的重要指标。一般认为较好的基质总孔隙度为 60%~90%。总孔隙度包括通气孔隙度和毛管孔隙度,两者比例适合,既利于通气,又利于保水。因此,基质中需要添加沙子增加通气孔隙度,但添加沙子的比例有限制,否则会降低毛管孔隙度和总孔隙度。

相对于发酵产物,沙子中有机质和养分含量和重金属含量低。因此,随着发酵产物添加比例的降低,基质中氮、磷、钾、有机质、重金属的含量也降低。污泥中的重金属是限制其农用的主要因素。本试验中的污泥首先经过与秸秆和蘑菇渣混合后好氧发酵,污泥中重金属含量经过稀释后下降。将发酵产物与蛭石和沙子混合后进一步降低了重金属含量。因此,本试验所用的 4 种基质中重金属含量显著低于 GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(酸性土壤 pH 值 < 6.5)的规定。

3.2 发酵产物和沙子的比例对草坪生长和质量的影响

发酵产物和沙子的添加比例影响基质的营养状况、物理性质和重金属含量等指标,因此对草坪的品质有显著影响。不添加沙子的 T₁ 处理虽然养分含量和容重最低、毛管孔隙度最高,但是各项品质指标都低于添加 10% 沙子的 T₂ 处理。随着沙子添加比例的添加的增加,基质容重和通气孔隙度上

升、毛细管孔隙度和总孔隙度下降,当添加沙子的比例达 50% (T₄ 处理)时,各项品质指标都低于 T₂ 处理。通过综合隶属度对草坪品质进行综合评价,T₂ 处理的综合隶属度为 0.92,而 T₁ 和 T₄ 处理的综合隶属度只有 0.17 和 0.11。因此,综合考虑草坪品质指标和综合隶属度,本试验最佳基质配方为发酵产物、蛭石、沙子按照 70 : 20 : 10 (T₂) 体积比例混合。

参考文献:

- [1] 崔建宇,慕康国,胡 林,等. 北京地区草皮卷生产对土壤质量影响的研究[J]. 草业科学,2003,20(6):68-72.
- [2] 张婷婷,袁学军,陈静波,等. 草皮生产及储运过程中的热点问题及研究进展[J]. 草业科学,2008,25(4):105-109.
- [3] 方振东,易咏梅,王铁梅. 不同基质配比与施肥对狗牙根无土草毯密度及成卷天数的影响[J]. 湖北民族学院学报:自然科学版,2004,22(2):38-41.
- [4] 陈玉琴. 不同泥炭配方对多年生黑麦草生长及草皮成熟期的影响[J]. 农业科技通讯,2011(1):65-67.
- [5] 付 玲,王彩云,尹少华. 蘑菇渣基质生产狗牙根无土草皮配方施肥优化研究[J]. 草业学报,2013,22(3):241-249.
- [6] 王小山,张英俊,李 平,等. 低成本无土草坪基质的理化特性及建坪效果研究[J]. 草业科学,2006,23(1):100-102.
- [7] 曹仲宏,王秀朵. 某城市污水处理厂污泥处理处置方案的选择[J]. 中国给水排水,2013,29(2):13-15.
- [8] 邢亚萍,刘 宏,胡惠蓉,等. 污泥生产马尼拉无土草皮基质配方优化研究[J]. 草地学报,2012,20(4):650-656.
- [9] Hummel N W. Standard test methods for saturated hydraulic conductivity, water retention porosity, particle density, and bulk density of putting green and sports turf root zones[J]. USGA Green Section Record,1993,3(2):23-28.
- [10] 刘善江,康少杰,孙 昊,等. 污泥施用对油菜生长和土壤重金属积累的影响[J]. 农业科学与技术:英文版,2012,13(4):827-832.
- [11] 徐新阳,陈 熙,柳 青,等. 城市污水处理厂污泥堆肥化处理优化[J]. 东北大学学报:自然科学版,2012,33(9):1340-1343,1348.