

园林有机废弃物在花卉栽培中的应用效果

王朴, 金晶, 康凯丽, 涂继红 (武汉市园林科学研究院, 湖北武汉 430081)

摘要 为了综合了解园林废弃物在园林上的应用效果, 将腐熟后的园林有机废弃物堆肥产品与进口泥炭进行不同配比, 研究不同配比处理对金边吊兰生长指标的影响。结果表明, 对5种基质处理栽植前后的粒径进行分析后, 基质在栽植植物后均有一定的降解现象, 园林废弃物堆置产品降解速率更慢, 有利于延长基质的使用时间; 对叶鲜重、株高和冠幅等指标进行了评定, 其中在进口泥炭中添加园林有机废弃物堆置产品的处理在这几个方面都表现出一定的优越性, 园林废弃物堆肥产品基本符合无土栽培基质要求, 可以很好地部分替代进口泥炭基质。

关键词 园林废弃物; 金边吊兰; 泥炭; 基质; 理化性质

中图分类号 S141.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)05-0155-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.05.043



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Application Effect of Garden Waste in Flower Cultivation

WANG Pu, JIN Jing, KANG Kai-li et al (Wuhan Institute of Landscape Architecture, Wuhan, Hubei 430081)

Abstract In order to understand the application effect of garden waste in garden, this study planted *C. comosum* variegatum Hort on five substrates of garden waste and imported peat, studied and analyzed the influence of five substrates on the growth index of *C. comosum* variegatum Hort. The results showed that after analyzing the particle size of five substrates before and after planting, it could be seen that the substrate had certain degradation phenomenon after planting, and the garden waste stacking products was slower, which was conducive to prolonging the use time of the substrate; the fresh weight of leaves, plant height and crown width were evaluated, among which the imported peat was added with garden waste stacking. The garden waste basically met the requirements of soilless cultivation substrate and could replace the imported peat.

Key words Garden waste; *C. comosum* variegatum Hort; Peat; Substrate; Physical-chemical properties

基质是无土栽培的基础, 而无土栽培则是设施栽培的主要栽培方式^[1]。随着我国种植业结构的调整和社会主义新农村的建设, 基质栽培有着很大的发展空间, 且对栽培基质的需求量也随之逐年增加^[2-3]。

现代观赏植物无土栽培生产主要依赖于泥炭作为栽培基质, 泥炭作为一种理想的无土栽培基质, 现已广泛应用于花卉栽培、蔬菜和苗木的工厂化育苗、屋顶绿化等过程中。然而泥炭作为一种珍贵资源, 其资源有限性和开采对环境产生破坏, 且价格高昂, 又不可再生^[4-5]。因此, 寻找一种替代基质且具有与泥炭相似性质, 来源广泛, 环保, 利于规模化生产成为无土栽培发展的当务之急。

《2016年武汉市绿化状况公报》数据显示, 建成区绿化覆盖率39.65%, 绿地面积20 015.00 hm², 绿地占比34.18%。按照保守估算, 建成区绿地每年产生园林废弃物0.5 kg/m², 全年仅武汉市建成区园林废弃物产量就在10万t以上, 可利

用资源量十分充足, 发展空间巨大。大量有机质含量丰富的园林废弃物被随意填埋、焚烧, 不仅造成资源浪费, 而且严重污染环境。近年来, 针对园林废弃物资源化利用途径的研究和应用不断增多^[6-8], 大部分通过好氧发酵生产堆肥^[9-11], 堆肥处理后的产品可以用于有机覆盖材料^[12]、土壤改良^[13]和直接作为植物栽培基质^[14-15]等方面。不同处理手段和基质对植物的影响也不同, 笔者以金边吊兰开展试验, 通过比较不同处理基质的理化性质以及金边吊兰的生长状况, 分析添加不同比例的园林废弃物堆制产品作为替代基质栽培园林植物的可行性, 为后期园林废弃物在武汉的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 园林废弃物堆肥产品为笔者所在课题组在2018年7—9月的堆腐产品, 以国内使用广泛的加拿大“阳光”牌泥炭(加拿大 Sun Gro Horticulture Canada Ltd. 公司生产)为对照基质, 主要理化性质见表1。

表1 基质原料的主要理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of substrate

材料 Material	pH	全氮 Total N g/kg	碱解氮 Available N mg/kg	有效磷 Available P mg/kg	有效钾 Available K mg/kg	EC μS/cm
进口泥炭 Import peat	6.3	5.2	286.1	35.4	218.7	36
园林废弃物 Garden waste	7.6	14.9	917.9	95.8	164.2	426

1.2 试验方法 试验于2019年5—10月在武汉市园林科学研究院温室大棚进行, 园林废弃物堆制品先灭菌后进行配比, 每个配比基质10盆, 共50盆, 栽培管理按照常规管理方式。

作者简介 王朴(1979—), 男, 湖北荆州人, 高级工程师, 硕士, 从事园林植物营养和基质研究。

收稿日期 2020-06-23

配比基质共5种, 以进口泥炭(OP)和园林废弃物堆制产品(GWC)按不同比例配比, 其基本理化性质见表1。第一种基质纯进口泥炭; 第二种基质为进口泥炭(OP)和园林废弃物堆制产品(GWC)以3:7配制; 第三种基质为进口泥炭(OP)和园林废弃物堆制产品(GWC)以5:5配制; 第四种基质为进口泥炭(OP)和园林废弃物堆制产品(GWC)以7:3配

制;第五种基质为纯园林废弃物堆制产品(GWC)。

1.3 测定项目与方法 植物上盆后约 180 d,进行叶鲜重、根鲜重和冠幅指标测定。基质取样后干处理用于容重、孔隙度、pH、EC 值、全氮、碱解氮、有效磷和有效钾测定^[16]。

容重和孔隙度测定:基质自然风干后,加满体积为 625 mL(容量为 500 mL)的塑料烧杯(W_1, g),称重(W_2, g),然后浸泡 24 h,称重(W_3, g),将烧杯中的水分沥干后再称重(W_4, g)。干容重(g/cm^3)= $(W_2 - W_1)/625$;总孔隙度(%)= $(W_3 - W_2) / (625 \times 100)$;通气空隙(%)= $(W_3 - W_4) / (625 \times 100)$;持水空隙(%)=总孔隙度-通气空隙。

pH 和 EC 值:电位法测定;全氮:凯氏定氮法;碱解氮:碱解扩散法;速效磷:NaHCO₃-钼锑抗比色法;速效钾:NH₄OAc

浸提,火焰光度法。

1.4 数据分析 用 Excel 2007 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同基质的物理性质 总体而言,理想的花卉栽培基质应为疏松、透气,有较强的保水、肥保能力及稳定性,酸碱度适宜,能对植物根系起支撑作用,且价廉、易得。

基质的总孔隙度、持水孔隙、干容重和通气孔隙等指标测定结果见表 2。从表 2 可以看出,上述 5 种使用园林废弃物和进口泥炭的基质干容重均小于 0.40 g/cm³,其在植物生长栽培基质理想的干容重范围之内,其中第三种基质 C 即 OP:GWC(5:5)配比的干容重最小。

表 2 基质物理性质
Table 2 Physical properties of substrate

处理 Treatment	基质配比 Substrates ratio	干容重 Dry density g/cm ³	总孔隙度 Total porosity//%	通气孔隙 Aeration porosity//%	持水空隙 Water-honding interstice//%
A	OP	0.31	65.84	26.55	43.26
B	OP:GWC(7:3)	0.30	64.20	18.23	55.35
C	OP:GWC(5:5)	0.28	63.46	10.20	50.76
D	OP:GWC(3:7)	0.35	59.26	14.52	45.91
E	GWC	0.39	55.52	15.80	36.29

基质的固体组成比例很大程度上决定基质的总孔隙度,其与基质的干容重也存在一定的相关性。由表 2 可知,进口基质的总孔隙度最大,园林废弃物产品孔隙度最小,添加了园林废弃物产品的基质总孔隙度均有不同程度的降低,理想的符合植物生长的栽培基质总孔隙度为 70%,通气孔隙度和持水孔隙变化基本与总孔隙度保持一致。虽然较低的通气孔隙不利于植物生长,但通气孔隙过高会影响养分水分的利用率。

2.2 不同基质栽植前后粒径分析 粒径的分布影响基质中水分和空气含量的平衡以及植物后期生长所需的水分和养

分的供给,是土壤物理特征的重要指标之一,研究其粒径大小组成有利于更好地了解基质的特性。由表 3 可知,添加园林有机废弃物产品后,其粒径分布都有很大的变化,有效地增加 0.5~2.0 mm 的粒径分布,有利于基质的通透性,更有利于植物的生长。5 种基质通过一定时间的栽培试验后,基质都有降解现象产生,>2.0 mm 的降解率分别为 49.1%、54.1%、46.9%、50.8%和 44.1%,>1.0 mm 的降解率分别为 34.0%、37.1%、28.8%、29.0%和 25.0%,说明园林有机废弃物堆肥产品在栽植后降解速率更慢,增加了基质的使用时间。

表 3 基质栽培前后粒径分析
Table 3 Particle size analysis of substrate

时间 Time	粒径 Size diameter	处理 Treatment				
		A	B	C	D	E
栽培前 Before cultivation	>2.0 mm	65.29	62.04	55.82	50.16	46.91
	1.0~2.0 mm	10.56	15.36	18.74	20.10	21.06
	5.0~<1.0 mm	13.72	14.68	16.52	18.56	19.52
	<0.5 mm	10.43	7.92	8.92	11.18	12.51
栽培后 After cultivation	>2.0 mm	33.24	28.45	29.63	24.69	26.24
	1.0~2.0 mm	16.84	20.21	23.46	25.17	24.72
	0.5~<1.0 mm	44.75	42.45	38.27	37.64	36.59
	<0.5 mm	5.17	8.89	8.64	12.50	12.45

2.3 不同基质对金边吊兰鲜重、株高和冠幅的影响 通过植物的生长量,可以初步判断各个配比的合理性以及园林废弃物发酵产品替代进口泥炭的可行性,因而对植物的生长指标进行测定。

由表 4 可知,添加园林废弃物对金边吊兰的叶片鲜重、株高和冠幅等都有一定的影响。在叶片鲜重方面,添加园林

废弃物基质均高于纯进口泥炭基质,E 处理叶片鲜重达 55.62 g/盆,显著高于 A 处理,表明加入园林废弃物有利于金边吊兰叶鲜重的增加,处理 E 单片最大叶重达 3.16 g,也显著高于其他几个处理;株高方面,处理 A 最小,为 19.8 cm,与其他处理差异显著,加入废弃物的处理显著高于未加的处理,最小的处理 D 株高也达 23.7 cm,最大处理 E 为 26.6 cm;

冠幅方面,纯园林废弃物处理的基质冠幅最小,为 43.1 cm,处理 C 冠幅最大,达 52.2 cm,说明添加园林废弃物的处理促进叶片、株高和冠幅的增长,但纯园林废弃物处理的冠幅偏小。

2.4 不同基质栽培前后化学性质分析 从表 5 可以看出,金边吊兰在生长过程中大量消耗有效养分,栽植前处理 E 最高,栽植后消耗量也最大,达 675.7 mg/kg,最小的为处理 A,消耗量为 250.4 mg/kg,但为栽植前的 87.5%,其他几个处理消耗量均在 70%以上,说明基质中碱解氮含量高,利用也高,吊兰在生长过程中消耗大量的碱解氮。从有效磷分析,消耗量最大的为处理 C,消耗量为 50.6 mg/kg,消耗了 68.3%,消耗量最小的为处理 A,仅为 7.3 mg/kg,说明其对有效磷吸收利用不多。有效钾与有效磷有相似之处,处理 A 消耗量最大,栽植后消耗量为 98.8 mg/kg,达 48.6%,其他几个处理的消耗量在 10%~30%,说明除处理 C 外,其他几个处理有效钾

吸收利用不多。结合金边吊兰鲜重等方面的分析,处理 E 消耗碱解氮含量最大,其鲜重也最大;但处理 C 在碱解氮、有效磷和有效钾方面的消耗相对比较均衡,其株型(株高和冠幅)较为饱满,更有利于金边吊兰均衡生长。

表 4 各处理基质金边吊兰生长情况

Table 4 Growth of *C. comosum variegatum* Hort in five substrates

处理 Treatment	叶鲜重 Fresh leaf weight//g/盆	单片最大叶重 Max weight of single leaf//g	株高 Height cm	冠幅 Crown width cm
A	40.49 b	2.25 b	19.8 b	46.7 ab
B	43.54 b	2.38 b	25.3 a	48.9 ab
C	44.67 b	2.33 b	26.4 a	52.2 a
D	48.54 ab	2.47 b	23.7 a	45.6 b
E	55.62 a	3.16 a	26.6 a	43.1 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)
Not: Different lowercase letters in the same column mean significant difference between different treatments at 0.05 level

表 5 各处理基质栽培前后化学性质

Table 5 Chemical properties in five substrates

处理 Treatment	碱解氮 Alkaline hydrolysis nitrogen			有效磷 Available P			有效钾 Available K		
	试验前 Before exp	试验后 After exp	消耗量 Consumption	试验前 Before exp	试验后 After exp	消耗量 Consumption	试验前 Before exp	试验后 After exp	消耗量 Consumption
A	286.1	35.7	250.4	35.4	28.1	7.3	218.7	158.1	60.6
B	345.8	79.2	266.6	51.2	31.8	19.4	210.3	185.4	24.9
C	590.2	80.6	509.6	74.1	23.5	50.6	203.5	104.7	98.8
D	754.6	180.5	574.1	80.4	39.3	41.1	185.9	138.3	47.6
E	917.9	242.2	675.7	95.8	56.2	39.6	164.2	128.8	35.4

3 结论

对经过充分腐熟发酵的园林有机废弃物和进口泥炭进行了不同配比,研究了处理基质用于金边吊兰栽培基质的可行性,金边吊兰在处理基质中生长适应性以及处理基质对金边吊兰生长的影响。结果表明,通过进口泥炭与园林有机废弃物堆肥产品的养分比较,可以大致了解两者之间的差异状况,即园林有机废弃物堆肥产品容重大但总孔隙度小,进口泥炭偏酸性,而园林有机废弃物堆肥产品中性偏碱。处理基质容重、孔隙度等物理指标,基本符合无土栽培基质要求,可以在生产中替代进口泥炭基质。园林废弃物堆置产品碱解氮含量相对很高,用作栽培基质时,不需要另外添加氮肥,对有些苗木需要降低比例,以免“烧苗”等不良影响。对 5 种基质处理栽植前后的粒径进行分析,可以看出基质在栽植植物后均有一定的降解现象,园林废弃物堆置产品降解速率更慢,有利于延长基质的使用时间。测定了 5 种处理基质配方在金边吊兰试验中的表现,并对叶鲜重、株高和冠幅等指标进行了评定,其中在进口泥炭中添加园林有机废弃物堆置产品的处理在这几个方面都表现出一定的优越性,可以很好地部分替代进口泥炭基质。

总体而言,园林有机废弃物作为花卉栽培基质可以满足其花卉生产要求,而且还能节省因外源添加无机肥料而带来的经济成本。由于不同花卉以及花卉不同生长阶段对基质的性状要求不尽相同,所以园林有机废弃物堆肥产品能否应

用于其他花卉品种,应用比例是多少还有待进一步研究。在今后的研究中,还将引入更多的试验花卉品种,最终生产一种或几种通用型的基质产品。我国替代基质研究正处于起步阶段,在园林有机废弃物替代基质的研究方面更是有很大空白,大量实质性的问题有待于科学工作者进一步探讨。

参考文献

- [1] 范如芹,罗佳,高岩,等. 农业废弃物的基质化利用研究进展[J]. 江苏农业学报,2014,30(2):442-448.
- [2] 郭利京,王颖. 中国农业面源污染与经济增长关系及治理对策研究[J]. 东北农业大学学报(社会科学版),2017,15(5):30-38.
- [3] 吴义根,冯开文,李谷成. 我国农业面源污染的时空分异与动态演进[J]. 中国农业大学学报,2017,22(7):186-199.
- [4] 刘中良,高昕,张艳艳,等. 基质栽培与土壤栽培番茄品质产量的比较研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):124-127.
- [5] MOHAMMADI TORKASHVAND A, ALIDOUST M, MAHBOUB KHOMAMI A. The reuse of peanut organic wastes as a growth medium for ornamental plants [J]. International journal of recycling of organic waste in agriculture, 2015, 4(2):85-94.
- [6] 虞富文,周俊辉,袁丽珍,等. 园林废弃物堆腐产品在花卉基质栽培中的应用研究[J]. 广东农业科学,2019,46(9):47-55.
- [7] 王芳,李洪远. 绿化废弃物资源化利用与前景展望[J]. 中国发展,2014,14(1):5-11.
- [8] 乔永,王小平. 城市污泥和园林废弃物混合堆肥对桑树种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 林业科学,2020,56(3):164-171.
- [9] VÁZQUEZ M A, SOTO M. The efficiency of home composting programmes and compost quality [J]. Waste management, 2017, 64:39-50.
- [10] AZIM K, SOUDI B, BOUKHARI S, et al. Composting parameters and compost quality: A literature review [J]. Organic agriculture, 2018, 8(2):141-158.

(下转第 161 页)

的差异主要由基因型造成。苗期后期,施磷浓度越高,玉米株高越高,但各玉米品种对高磷促进生长的反应也不同,类玉米、玉米草 2 在出苗后第 43 天的株高 3 个磷水平间存在差异,而其他品种中高磷水平下没有差异。类玉米在此时的高磷株高在 6 个品种中最大,说明在苗期,充足的磷肥促进其生长的效果明显。

玉米为须根系,由初生根(种子根)及次生根(节根)组成,是典型的低磷敏感性作物^[16]。在该试验中,多项指标的测量均可表明不同磷水平下,玉米的生长存在差异。同时,不同品种玉米的地上部干重及根系干重均比中高磷条件下低,而玉米的根冠比都有所增加,表明缺磷对地上部的抑制比地下部大。缺磷对根长的影响可能因试验条件不同而得出不同的结论。短期缺磷可能会增加根长^[17],但长期缺磷则明显降低根长^[18]。在该试验取样时,各个磷水平下的玉米均在 6 叶龄期或以上,结果表现为根长均下降。其中,类玉米的根长相对值最小,玉米草 2 最大,玉米草 1 比亲本低。

增加根冠比是植物适应低磷胁迫的一种表现^[19],但仅比较根冠比的大小不能准确说明该品种玉米的耐低磷特性,该试验结果表明,须综合比较不同磷水平对根冠比、根系干重、地上部干重的影响。综上,类玉米属于磷敏感型,但玉米草 2 及玉米草 1 均表现出良好的耐低磷特性。推测原因有 2 个,其一是其亲本普通玉米、甜玉米均表现耐低磷胁迫,且杂交品种具有杂交优势;其二,类玉米是一年生植物,生长较缓慢,植株的各种生理特性与其他品种同时期表现不同。对类玉米开花期、成熟期的耐低磷特性还有待研究。

在试验过程中,玉米草 2、普通玉米、类玉米、农大 108 这 4 个品种在叶尖叶缘上均出现紫斑。其中,玉米草 2、类玉米在 LP、MP 条件下均有此症状。推断紫叶现象不单只与玉米品种的特性相关,而且与受低磷胁迫也有关。根据江苏农业科技报的报道^[20],玉米叶色变紫原因可能是土壤中有效磷供应不足,碳水化合物代谢受到阻碍,叶内积累糖分过多形成花青素,使叶片变紫。各品种在试验过程中出现紫斑的时间、程度不同。根据其他指标的测试情况推测农大 108 出现紫叶是低磷胁迫环境诱发的。具体每个品种形成该现象的原因还有待进一步研究。

类玉米有强大的分蘖能力。玉米草 2、玉米草 1 都遗传了亲本的分蘖特性,且分蘖出现时间较类玉米早。

在该试验条件下,大部分玉米品种在高磷条件下未出现生长受抑制的情况,且大部分测试指标的值均比中磷条件下

表现较好。说明在该磷浓度范围内,施加磷肥还存在增长的可能。若要测试各品种玉米在高磷抑制下的表现还需调整试验的磷浓度。

4 结论

玉米草 1 在株高、地上部干重、根干重、根长、根表面积上具有超亲遗传现象,而玉米草 2 具有中亲或低亲遗传现象;在低磷、中磷和高磷处理下,玉米草 1 的干重分别是类玉米干重的 3.55、2.42 和 1.64 倍,类玉米是生产上推广的玉米草品种,该研究结果表明,玉米草 1 的产量明显高于类玉米,具有更大的推广潜力。

参考文献

- [1] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [2] BOECKMAN O C, KAARSTAD O, LIE O H, et al. Agriculture and fertilizers[M]. Oslo, Norway: Agricultural Group, 1990:135-138.
- [3] WISSUWA M. How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency? Small causes with big effects[J]. Plant Physiol, 2003, 133(4): 947-1958.
- [4] VANCE C P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources[J]. Plant Physiol, 2001, 127(2): 390-397.
- [5] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京:化学工业出版社, 1998:49-53.
- [6] 李庆逵. 中国红壤[M]. 北京:科学出版社, 1983:125-134.
- [7] 鲁如坤, 时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施 I. 退化状况评价及酸害纠正措施[J]. 土壤, 2000, 32(4): 198-200, 209.
- [8] 刘厚诚, 广炎华. 植物对营养胁迫的生理生化反应研究进展[J]. 华南农业大学学报, 1998, 19(4): 118-122.
- [9] 刘贵富, 韩立德, 吴跃进, 等. 耐低磷、低钾水稻品种的筛选[J]. 安徽农业科学, 1996, 24(3): 199-202.
- [10] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3): 193-205.
- [11] RUNGE-METZGER A. Closing the cycle: Obstacles to efficient P management for improved global security[C]//TIESSEN H. Phosphorus in the global environment. Chichester, UK: John Wiley, 1995.
- [12] 王庆仁, 李继云, 李振声. 植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 107-116.
- [13] 刘建中, 李振声, 李继云. 利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性[J]. 生态农业研究, 1994, 2(1): 16-23.
- [14] 年海, 郭志华, 余让才, 等. 不同来源大豆品种耐低磷能力的评价[J]. 大豆科学, 1998, 17(2): 108-114.
- [15] 李冬郁, 郭乐群, 张忠, 等. 玉米野生近缘种类玉米的研究和利用[J]. 玉米科学, 2001, 9(2): 11-13.
- [16] 刘向生, 陈范骏, 春亮, 等. 玉米自交系耐低磷胁迫的基因型差异[J]. 玉米科学, 2003, 11(3): 23-27.
- [17] ANGHINONI I, BARBER S A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply[J]. Agron J, 1980, 72(4): 685-688.
- [18] MOLLIER A, PELLERIN S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency[J]. J Exp Bot, 1999, 50(333): 487-497.
- [19] 米国华, 邢建平, 陈范骏, 等. 玉米苗期根系生长与耐低磷的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 468-472.
- [20] 水清. 玉米叶色变紫可能是缺磷[N]. 江苏农业科技报, 2008-06-11(006).
- [11] 张家齐. 园林废弃物堆腐微生物过程及纤维素降解菌筛选研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2012.
- [12] 王朴, 丁昭全, 张瑛, 等. 园林废弃物覆盖对园林土壤理化性质的影响[J]. 北方园艺, 2013(1): 70-72.
- [13] 崔萌, 李素艳, 杨田, 等. 园林绿化废弃物堆肥对公园绿地土壤的改良研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(17): 106-110.
- [14] 胡嘉伟, 刘勇, 马履一, 等. 园林废弃物堆肥替代油松容器苗基质材料的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(5): 81-86.
- [15] 孙明慧, 常笑超, 刘勇, 等. 园林废弃物堆肥不同施肥量对雄性毛白杨栽植效果的影响[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(9): 24-27.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2000.

(上接第 157 页)