

应用于垂直绿化栽培的基质保肥性研究

杨梦珂¹,郑思俊²,张青萍^{1*},朱 义²,张 浪^{2*}

(1. 南京林业大学 风景园林学院,江苏 南京 210037; 2. 上海市园林科学规划研究院,上海 200232)

摘要:对椰砖、生物炭(木屑)、珍珠岩、陶粒、生物炭(稻壳)、蛭石、鸡粪、菇渣、泥炭9种适用垂直绿化栽培的基质材料(以轻质为前提)进行保肥性差异及其关键影响因素分析,以为垂直绿化适用保肥型栽培基质配方产品的开发提供科学支撑。采用各类标准方法测定各基质材料的理化性质,并对各基质的理化指标进行差异显著性分析。通过淋溶试验测定各基质材料的氮、磷淋出特性,并运用相关分析法分析各基质的氮、磷淋出特性与理化指标的相关性。结果表明:9种不同基质的持水特性和孔隙特性等主要物理性质均差异显著,有效磷、水解性氮、有机质含量等化学性质也均差异显著;9种基质的氮、磷流失量差异显著,鸡粪的全氮流失量、流失速率最大,菇渣次之,稻壳炭的全磷流失量、流失速率最大,菇渣次之。淋溶后基质的全氮流失量与体积含水量呈显著正相关,全磷流失量与非毛管孔隙度呈正相关。基质淋溶后的pH值、EC值(电导率)差异显著。与基质材料保肥特性密切相关的物理指标是体积含水量、非毛管孔隙度,它们是基质材料氮、磷流失的主要影响因子。

关键词:垂直绿化;栽培基质;理化性质;保肥性;氮磷流失量

中图分类号: S606.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2017)11-0120-07

Nutrient Preservation of Cultivation Matrix Applied to Vertical Greening

YANG Mengke¹, ZHENG Sijun², ZHANG Qingping^{1*}, ZHU Yi², ZHANG Lang^{2*}

(1. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Shanghai 200232, China)

Abstract: The differences of fertility preserving characteristics and its key influence factors of coconut chaff, sawdust, perlite, ceramsite, rice husk carbon, mushroom residue, peat, vermiculite and chicken manure were studied to provide scientific support for the development of nutrient preserving cultivation matrix suitable for vertical greening. Commonly used standard method was used to determine the various physical and chemical properties of the matrix to detect the differences in physical and chemical indexes of various matrix. The nitrogen and phosphorus leaching amount were determined by leaching test, and the relevance between the nitrogen and phosphorus leaching amount and the physical and chemical indicators was analyzed by correlative analysis. Results showed that in terms of physical properties such as water-holding characteristic, pore structure characters, significant difference was detected among the 9 matrix materials. In terms of chemical properties, significant difference was also detected in available phosphorus, available nitrogen and organic matters of the 9 matrix materials. There were significant difference of N&P loss of the 9 matrix, and the total nitrogen loss and the rate of the loss of chicken manure showed the highest, followed by the mushroom residue. The total phosphorus loss and the loss rate of the rice husk carbon were the largest, followed by the mushroom residue. The total nitrogen loss was significantly correlated with the

收稿日期:2017-05-20
基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目(15DZ1203701)
作者简介:杨梦珂(1991-),女,河南南阳人,在读硕士研究生,研究方向:风景园林工程技术与管理。
E-mail:404409650@qq.com

* 通讯作者:张青萍(1965-),女,江苏南京人,教授,博士,主要从事风景园林学研究。E-mail:qpzh@njfu.edu.cn
张 浪(1964-),男,安徽合肥人,研究员,博士,主要从事城市困难立地园林绿化的生态修复途径研究。

volumetric water content. The total phosphorus loss was significantly correlated with the non-capillary porosity. There were significant differences in pH and EC of the leached matrix. Physical indicators closely related to protecting fertilizer characteristics of the matrix were volumetric water content and non-capillary porosity, which were main factors impacting on the nitrogen and phosphorus loss of matrix materials.

Key words: vertical greening; cultivation matrix; physical and chemical properties; fertility preserving characteristics; loss of nitrogen and phosphorus

基质的理化性质和保水保肥性是评价基质优劣的重要指标^[1]。有研究证明,土壤的物理特性高度影响作物的养分吸收能力^[2],土壤的生产力与其自身的物理特性之间有密切的关系^[3],利用基质的物理特性是进行配方研发的有利切入点。测定单体基质材料的理化性质是栽培基质配方研发的前提,通过对部分单体基质进行理化性质的测定,再将其进行一定的比例混合,达到适宜的 pH 值和碳氮比,以供植物生长使用^[4-5]。氮磷流失情况反映了基质保肥的特性^[1],已研发的栽培基质在实际应用中,其养分的损耗除去植物生长吸收的消耗以外,大多随雨水径流排入地表,雨水径流成为养分流失的主要路径,尤其是氮的流失^[6]。垂直绿化由于空间关系,养分流失更为严重,制约其发展,将轻质、保肥性基质应用于垂直绿化,将有利于垂直绿化景观的持续性和经济性。目前用于垂直绿化的栽培基质材料包括泥炭、花生壳、树皮、树枝粉碎物、作物秸秆、稻壳灰、锯木屑、草炭土、鸡粪、椰砖、菇渣、蛭石、砂质土、珍珠岩、陶粒、生物炭、泡沫有机树脂制品等人工或天然固体轻型物质,这类基质具有固定植物、保持水分、质地轻、养分高的特性,其中一些有机材料例如菇渣通过堆置发酵等无毒害处理后,添加其他辅料,可混配成绿化用有机基质下^[7-8];还有人将一些农林废弃物通过高温炭化制备成了生物炭,部分代替了泥炭,或作为土壤改良材料用于植物的栽培^[9-12]。对这些基质理化性质和保肥特性进行详细的研究分析,可以为垂直绿化保肥型基质产品的研发提供基础性依据,使配方研发更具目标性和侧重点,进而有利于垂直绿化的推广与发展。因此,在不施加肥料或者其他辅助材料的前提下,系统分析目前几种常见基质材料的特性,从单体基质材料自身理化性质及保肥特性的角度考虑,进行有针对性的配方材料选择及配比,以期为保证型栽培基质产品研发寻求新的突破口,同时也可可为其他功能型基质产品的研发提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试基质与材料

试验以市场上常见的椰砖、生物炭(木屑)、珍珠岩、陶粒、生物炭(稻壳)、蛭石、鸡粪、菇渣、泥炭 9 种基质材料为供试体。其中椰砖选择由椰子外壳加

工的纤维丝压制成型制成,生物炭采用限氧升温炭化法制备而成,珍珠岩、蛭石、泥炭选择市场标准产品,菇渣为粒径 3 mm、经发酵后的无害产品,鸡粪为高温发酵烘干无毒无臭产品。

1.2 试验方法

依据国标或行业标准采用常规实验室方法测定各基质理化性质。参照郭世荣^[13]的方法测定基质的物理特性。EC 值的测定:电导仪法。pH 值的测定:酸度计法(5:1 水基质比)。全氮含量的测定:凯氏定氮法;水解性氮含量的测定:碱解—扩散法;全磷含量的测定:碱熔—钼锑抗比色法;有效磷含量的测定:盐酸—硫酸浸提法;全钾含量的测定:氢氧化钠碱熔—火焰光度法;有效钾含量的测定:乙酸铵溶液浸提—火焰光度计法;有机质含量的测定:重铬酸钾氧化—外加热法。于 2016 年 5 月在上海市园林科学规划研究院实验室内进行基质理化性质的测定。

参考员学锋等^[14]的间歇淋溶法进行试验:用孔径 0.074 mm 滤布封住 PVC 管(高 100 cm,内径 10 cm),在管底部铺设少量石英砂,装入 500 g 风干基质,再以少量砂子覆盖以防加水时扰乱基质层。研究证明,水分入渗会引起管子内部渗流场的变化,土柱的压力水头和含水率都增大,湿润峰会向下推进。土柱上表面的入渗流量,一部分被非饱和基质吸收,增加了含水率,另一部分则向下传递,这两部分流量相互制约^[15]。因此,依据各个基质的物理性质第 1 天先加水使基质水分接近饱和,之后再加水 200 mL,室温下培养 1 d 后,同时收集当天的淋溶液,用 200 mL 水进行第 2 次淋溶,以后各次按同样操作进行,总共收集 7 天的淋溶液。量取各次淋溶液体积,测定 N(紫外分光光度法)、P(钼锑抗比色法)含量以及 pH 值、EC 值。

1.3 数据处理

数据处理、分析及作图主要用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 完成,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)对各基质的理化指标进行差异显著性分析,各处理间的差异显著性使用新复极差法(Duncan's)分析,相关分析采用皮尔森(Person)双侧检验法。

2 结果与分析

2.1 几种基质的物理性质比较

基质的物理性质主要反映了基质的保水、透气性能及其质量大小。基质最大持水量、总孔隙度可作为反映基质保水、透气性能的重要指标,容重反映了基质的疏松程度及对作物支撑能力的高低,排水能力则反映了基质的失水能力。9 种基质的物理性质见表 1。

2.1.1 容重 一般栽培基质(包括应用于盆栽、花坛、屋顶、绿地、林地等)的干容重以 0.1~0.8 mg/m³ 为宜,屋顶绿化用的栽培基质干容重宜 < 0.5 mg/m³;湿容重宜≤1.2 mg/m³,屋顶绿化用的栽培基质湿容重宜 < 0.8 mg/m³ (LY/T 1970—2015)。由表 1 可知,木屑炭干容重最大,鸡粪其次,泥炭最轻。在选用垂直绿化基质时以上基质都可以作为配合基质使用。

表 1 各基质的物理性质

基质名称	质量含水量/(g/kg)	体积含水量/(g/L)	干容重/(mg/m ³)	湿容重/(mg/m ³)	最大持水量/mm	毛管持水量/mm	最小持水量/mm	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	土壤通气度/%	排水能力/mm
椰砖	414.17 ± 75.02c	75.88 ± 14.23c	0.18 ± 0.01d	0.98 ± 0.01a	42.41 ± 0.63a	41.55 ± 0.05a	35.10 ± 2.00a	1.65 ± 0.57e	79.91 ± 0.97a	81.56 ± 1.2a	73.98 ± 0.67b	7.31 ± 1.97d
木屑炭	116.51 ± 5.65d	71.00 ± 4.38c	0.61 ± 0.01a	1.15 ± 0.02a	28.98 ± 0.75d	28.05 ± 0.72e	24.83 ± 0.89e	1.78 ± 0.09e	53.95 ± 1.38e	55.73 ± 1.44d	48.63 ± 1.42e	4.15 ± 0.53e
珍珠岩	609.47 ± 83.01b	52.63 ± 7.23d	0.09 ± 0.00f	0.54 ± 0.00b	36.93 ± 0.81c	23.56 ± 0.31f	13.88 ± 0.25f	25.70 ± 1.92b	45.31 ± 0.59f	71.01 ± 1.55c	65.75 ± 1.07c	23.04 ± 0.74a
陶粒	0.67 ± 0.77e	0.33 ± 0.29f	0.36 ± 0.03c	0.43 ± 0.05c	10.50 ± 0.25e	3.82 ± 1.53h	2.18 ± 0.12g	12.85 ± 2.85c	7.35 ± 2.95h	20.20 ± 0.48e	20.17 ± 0.50f	8.33 ± 0.37d
稻壳炭	90.40 ± 3.78d	12.88 ± 0.85e	0.14 ± 0.01e	0.81 ± 0.04a	41.65 ± 1.22ab	34.70 ± 2.05c	26.03 ± 1.28de	13.35 ± 2.11c	66.74 ± 3.93c	80.09 ± 2.34ab	78.80 ± 2.29a	15.62 ± 0.41b
蛭石	12.05 ± 4.19e	2.25 ± 0.65f	0.19 ± 0.00d	0.92 ± 0.01a	41.67 ± 0.67ab	37.96 ± 0.57b	31.00 ± 0.89c	7.14 ± 0.72d	73.00 ± 1.10b	80.14 ± 1.28ab	79.91 ± 1.25a	10.67 ± 0.70c
鸡粪	356.78 ± 16.96c	151.63 ± 5.02a	0.43 ± 0.02b	1.03 ± 0.04a	35.75 ± 1.73c	31.33 ± 0.98d	27.60 ± 1.06d	8.50 ± 4.58d	60.25 ± 1.88d	68.75 ± 3.34c	53.59 ± 3.33d	8.15 ± 2.53d
菇渣	350.48 ± 13.01c	51.50 ± 1.68d	0.15 ± 0.00e	0.48 ± 0.01c	35.95 ± 2.64c	17.10 ± 0.37g	13.32 ± 0.19f	36.26 ± 5.00a	32.88 ± 0.71g	69.14 ± 5.07c	63.99 ± 5.00c	22.63 ± 2.80a
泥炭	1 242.68 ± 40.07a	87.13 ± 5.57b	0.07 ± 0.00f	0.75 ± 0.04b	39.94 ± 2.39b	35.38 ± 2.04c	32.70 ± 1.42b	8.76 ± 1.01d	68.04 ± 3.93c	76.80 ± 4.6b	68.09 ± 4.47c	7.24 ± 0.99d

注:同列不同字母表示在 5% 水平差异显著,下同。

2.1.2 持水性能 最大持水量、总孔隙度、土壤通气度等指标较大,说明基质的持水能力较强、通气性较好。以上 9 种基质中,椰砖、泥炭、蛭石、稻壳炭、珍珠岩的持水能力与通气性能较好,鸡粪、菇渣次之,陶粒、木屑炭的通气度、持水能力较差(表 1),在使用时应注意基质水分的管理,避免水分缺失影响植物的生长。

2.1.3 排水性能 排水能力是最大持水量与最小持水量的差值,反映基质的失水性能。珍珠岩虽然有较好的持水力与通气性能,但是排水能力较大(表 1),说明失水较快;菇渣的排水能力次之;木屑炭、椰砖与泥炭的排水能力较小,失水较慢。

2.2 几种基质的化学性质比较

基质的化学性质,主要是对基质养分的供应能力和缓冲能力的评判,也是体现基质肥力水平的指标。几种基质材料的化学性质见表 2。

2.2.1 氮、磷、钾养分含量 9 种基质中陶粒、珍珠

岩与蛭石 3 种材料的氮和磷含量较低,其他有机材料中全氮含量以菇渣最高(表 2),为 6.10 g/kg,鸡粪次之,为 3.51 g/kg,泥炭、稻壳炭、木屑炭、椰砖也较高;全磷含量以鸡粪最高,稻壳炭次之;全钾含量以蛭石最高,泥炭最低。

2.2.2 电导率 适宜盆栽、花坛、屋顶、绿地、林地等类型的栽培基质的 EC 值宜在 0.35~2.5 mS/cm (LY/T 1970—2015)。鸡粪、菇渣、稻壳炭的 EC 值较高,蛭石、泥炭、珍珠岩、陶粒的 EC 值较低,椰砖、木屑炭的 EC 值在适宜范围内(表 2)。EC 值过低则营养缺乏,而过高则会造成盐渍伤害。EC 值过高的基质,栽培时要淋洗或者与其他基质配比混合,以降低栽培基质的 EC 值,以免出现烧苗现象。

2.2.3 酸碱性 一般植物生长的适宜 pH 值在 4.5~8.2 (LY/T 1970—2015)。除少数植物偏好酸性环境外,在垂直绿化基质栽培中应注意调节 pH 值。9 种基质中,除稻壳炭、木屑炭和陶粒(磨碎)pH 值

表 2 各基质的化学性质

基质名称	pH	EC/ (mS/cm)	有效磷含量/ (mg/kg)	水解性氮 含量/ (mg/kg)	有机质含量/ (g/g)	全磷含量/ (g/kg)	全氮含量/ (g/kg)	有效钾含量/ (mg/kg)	全钾含量/ (mg/kg)
椰砖	5.63 ± 0.01g	2.37 ± 0.01d	640.37 ± 55.7d	140.05 ± 8.82d	0.37 ± 0.00e	0.19 ± 0.00e	0.89 ± 0.02e	6 024.42 ± 134.03b	6 838.56 ± 133.34e
木屑炭	9.19 ± 0.01c	1.28 ± 0.01e	123.65 ± 6.52e	48.38 ± 17.64de	0.62 ± 0.01c	0.27 ± 0.00d	0.91 ± 0.06e	2 395.04 ± 154.84d	4 635.71 ± 125.85f
珍珠岩	8.19 ± 0.01d	0.16 ± 0.01f	111.84 ± 10.82e	84.03 ± 15.28de	0.01 ± 0.00g	0.03 ± 0.00g	0.17 ± 0.02g	287.17 ± 62.49ef	15 620.11 ± 203.50b
陶粒	9.57 ± 0.01b	0.17 ± 0.01f	16.36 ± 15.13e	33.10 ± 8.82e	0.02 ± 0.00g	0.27 ± 0.01d	0.11 ± 0.01h	162.88 ± 17.31f	9 720.52 ± 158.27c
稻壳炭	10.3 ± 0.01a	4.32 ± 0.01c	4 162.57 ± 146.68a	35.65 ± 8.82e	0.65 ± 0.01b	1.53 ± 0.02b	1.28 ± 0.01c	5 770.30 ± 264.74c	6 848.92 ± 140.60e
蛭石	6.53 ± 0.01e	0.03 ± 0.01h	37.15 ± 6.48e	30.56 ± 7.64e	0.01 ± 0.00g	0.28 ± 0.00d	0.49 ± 0.01f	523.60 ± 16.81e	16 020.11 ± 123.33a
鸡粪	6.31 ± 0.01f	7.05 ± 0.01a	1 674.64 ± 63.93c	2 918.09 ± 145.74a	0.26 ± 0.00f	5.35 ± 0.03a	3.51 ± 0.04b	7 215.29 ± 89.03a	9 780.98 ± 191.21c
菇渣	5.31 ± 0.01h	5.36 ± 0.01b	3 475.32 ± 59.79b	2 772.95 ± 72.87b	0.68 ± 0.00a	0.98 ± 0.03c	6.10 ± 0.06a	7 225.06 ± 220.89a	8 245.54 ± 105.36d
泥炭	4.13 ± 0.01i	0.07 ± 0.01g	11.71 ± 2.80e	496.53 ± 15.28c	0.47 ± 0.01d	0.09 ± 0.02f	1.21 ± 0.05d	238.56 ± 11.35f	447.65 ± 9.18g

较高,泥炭较低以外,其他都在 5.3~8.2(表 2),均适宜作为垂直绿化用的栽培基质。

2.2.4 有机质含量 有机质在微生物或者其他生物的作用下,自身易分解的或者不易分解的组分之间可以进行交替,难以分解的部分,其含量和性状受基质理化性质的影响,氮素的淋失对基质中有机物质的交替动态具有不可忽视的影响^[16]。9 种材料中,菇渣的有机质含量最大,由于菇渣多由废弃作物掺和动物粪便经过发酵消毒制成,有机质含量较丰富;由木屑和稻壳制成的生物炭有机质含量也较高,有研究已经证明生物炭不仅能改善基质的物理性质,所含的有机质成分通过生物分解的方式在保持土壤肥性和缓冲性方面起着重要的作用^[17]。有机质是基质养分的重要组成部分,有机质含量是判断基质肥力的重要依据^[18]。珍珠岩、蛭石、陶粒有机质含量最低,菇渣有机质含量最高,泥炭和椰砖的有机质含量也较高(表 2)。

2.3 几种基质的保肥性比较

氮、磷流失特性表征了基质材料的保肥性^[1]。从表 3 和表 4 可以看出,9 种基质自身的养分含量差异显著,淋溶后的养分含量差异也显著。随淋溶次数的增加,9 种基质材料的氮和磷流失量总体呈下降的趋势。

2.3.1 氮素流失量 从表 3 可以较直观地看出,鸡粪的全氮流失量、流失速率最大,在第 1 次淋溶时达到最大,之后逐渐降低,且流失速率较快;菇渣的全氮流失量第二,在第 2 次淋溶时流失量达到最大,可能由于菇渣的毛管持水量较小,需要水分浸泡培养的时间较鸡粪稍长,虽然在培养前期流失趋势较为急促,但在中后期流失趋势较为平缓;除珍珠岩、蛭石和陶粒 3 种无机材料外,泥炭与椰砖的全氮流失趋势较为平缓稳定,流失量也较低,属于较理想的有机型配方材料。

2.3.2 磷素流失量 从表 4 可以看出,稻壳炭的全

表 3 不同基质淋溶后全氮流失量

基质名称	淋溶期流失量/(mg/kg)							累积流失量/(mg/kg)	流失速率/[mg/(kg·d)]
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d		
椰砖	0.85	0.41	0.51	0.54	0.47	0.18	0.16	3.13 ± 0.23d	0.090 7
木屑炭	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.07 ± 0.01g	0.002 8
珍珠岩	0.69	0.15	0.08	0.09	0.11	0.03	0.24	1.40 ± 0.23e	0.055 4
陶粒	0.06	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.17 ± 0.02g	0.009 1
稻壳炭	0.18	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.31 ± 0.06f	0.020 7
蛭石	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.08 ± 0.01g	0.002 4
鸡粪	232.55	191.36	133.47	80.43	57.98	35.89	23.72	755.39 ± 80.29a	36.176 0
菇渣	101.84	101.94	50.47	30.71	31.69	27.31	14.93	358.89 ± 36.12b	15.313 0
泥炭	1.32	1.26	1.06	1.13	1.17	0.93	0.79	7.66 ± 0.18c	0.076 2

磷流失量、流失速率最大,菇渣次之,鸡粪第三,稻壳炭、菇渣分别在第 1 次、第 2 次淋溶时全磷流失量达到最高,鸡粪在第 6 次淋溶时全磷流失量达到最高;木屑炭、陶粒、珍珠岩和蛭石在第 7 次淋溶时全氮流失量基本已达到终点。总体来看,除去珍珠岩、蛭石、陶粒等无机基质材料,椰砖与泥炭的氮、磷流失量较少,流失速率较慢,椰砖的全氮流失量较泥炭更低,泥炭的全磷流失量较椰砖更低,泥炭的氮、磷流失速率较椰砖慢,综合比较说明,椰砖、泥炭具备较好的保肥能力和缓冲性能。

表 4 不同基质淋溶后全磷流失量

基质名称	淋溶期流失量/(mg/kg)							累积流失量/(mg/kg)	流失速率/[mg/(kg·d)]
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d		
椰砖	7.34	5.38	5.50	5.28	6.16	5.69	4.70	40.06±0.84d	0.236 9
木屑炭	0.36	0.24	0.21	0.22	0.19	0.21	0.17	1.60±0.06e	0.022 8
珍珠岩	0.24	0.05	0.04	0.05	0.06	0.03	0.03	0.49±0.07f	0.022 8
陶粒	0.07	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.20±0.02g	0.006 7
稻壳炭	96.30	31.85	14.99	12.46	9.70	7.76	6.60	179.66±32.29a	11.520 0
蛭石	0.07	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.14±0.02g	0.005 7
鸡粪	15.32	19.70	18.34	14.74	21.37	21.78	21.70	132.94±2.98c	0.926 5
菇渣	41.27	42.21	19.69	15.78	18.62	17.64	9.48	164.69±12.88b	5.199 2
泥炭	0.03	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.14±0.01g	0.003 9

2.3.3 氮、磷流失量相关性分析 相关性分析表明,9 种基质的全氮流失量虽然与毛管持水量、毛管孔隙度、土壤通气度呈负相关,但与体积含水量呈显著正相关(表 5)。体积含水量是一个可以反映土壤含水特征的物理指标,甘露等^[19]研究得出土体的稳定性与体积含水量的变化呈相反趋势,即随着体积含水量的增加,土体的稳定性降低。因此,在淋溶过程中,加水导致土柱内浅层基质滑动,基质的稳定性遭到破坏,这与本研究得出的体积含水量越高,基质全氮淋出量越高的结果一致。

表 5 基质全氮流失量与物理性质指标的相关性

项目	质量含水量	体积含水量	干容重	湿容重	最大持水量	毛管持水量	最小持水量	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	总孔隙度	土壤通气度	排水能力
相关系数	0.009	0.694 *	0.266	0.133	0.053	-0.06	0.006	0.21	-0.06	0.053	-0.124	0.067

注: * 为 0.05 水平上显著相关(双侧)。

基质的全磷流失量与质量含水量、干湿容重呈负相关,与土壤通气度、排水能力呈负相关,与非毛管孔隙度、体积含水量、最大持水量、毛管持水量、最小持水量、毛管孔隙度、总孔隙度呈正相关(表 6);全磷的流失量与最大持水量、总孔隙度、非毛管孔隙度的相关系数表明,不同水分条件下基质由于其空隙与传输通道的差异,不同程度地影响了全磷的流失,这与任文畅等^[20]的研究结果一致。

表 6 基质全磷流失量与物理性质指标的相关性

项目	质量含水量	体积含水量	干容重	湿容重	最大持水量	毛管持水量	最小持水量	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	总孔隙度	土壤通气度	排水能力
相关系数	-0.188	0.165	-0.114	-0.04	0.288	0.042	0.009	0.408	0.041	0.288	-0.365	-0.485

菇渣的 pH 值随淋溶的变化较大(图 1),鸡粪、菇渣的 EC 值随淋溶的变化较大(图 2),分析发现基质的氮、磷流失量与淋出后基质的 pH 值、EC 值的变化存在相关性(表 7、表 8)。菇渣的 pH 值、EC 值通过淋溶变化最大,pH 值与全氮的淋出量呈显著负相关($P<0.05$),EC 值与全氮的淋出量呈极显著正相关($P<0.01$),可以推断当菇渣的 pH 值升高时,可以有效减少其全氮的流失,当 EC 值升高时全氮的流失量会增加;泥炭的 pH 值、EC 值较低,且与全氮、全磷淋出量的相关性不显著。如果泥炭和菇渣混合使用,二者可以优势互补^[21]。稻壳炭的全氮、全磷淋出量与 pH 值呈显著负相关($P<0.05$),表明在淋溶过程中,随着 pH 值的降低,稻壳炭的氮、磷淋出量反而会增加。这是由于稻壳炭本身 pH 值较高,全氮含量不高,全磷含量较高,在对磷的吸附过程中存在较强的磷释放作用^[22]。木屑炭的全氮淋出量与 pH 值呈极显著负相关($P<0.01$),与 EC 值呈显著正相关($P<0.05$)。珍珠岩、蛭石、陶粒 3 种基质的氮、磷淋出量与 pH 值、EC 值的相关性较弱,主要由于无机基质的性质稳定,自身氮、磷含量较少。鸡粪的全氮淋出量与 EC 值呈显著正相关($P<0.05$)。

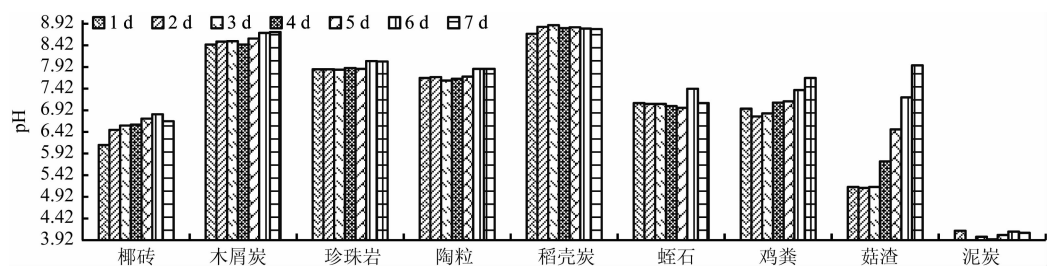


图 1 淋溶后基质的 pH 值

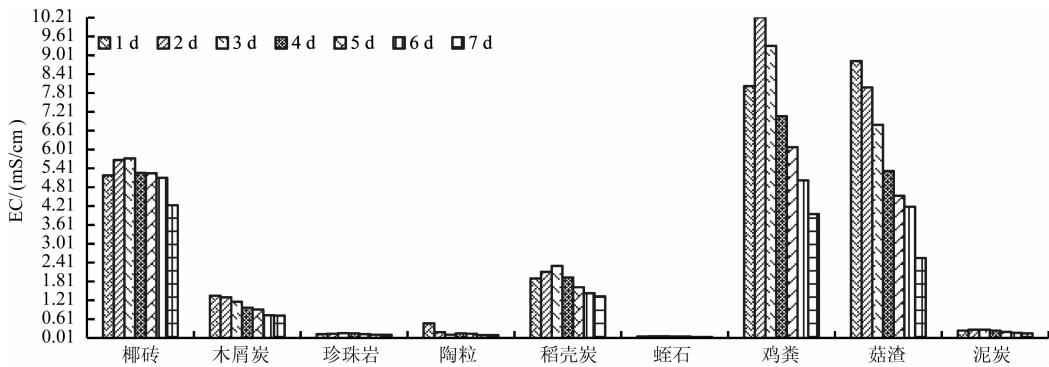


图 2 淋溶后基质的 EC 值

表 7 各基质的全氮流失量与淋出后基质 pH 值、EC 值的相关性

项目	椰砖	木屑炭	珍珠岩	陶粒	稻壳炭	蛭石	鸡粪	菇渣	泥炭
pH	-0.854 *	-0.892 **	-0.230	-0.626	-0.801 *	-0.660	-0.801 *	-0.776 *	-0.290
EC	0.517	0.865 *	-0.143	0.382	0.270	0.354	0.824 *	0.939 **	0.752

注: ** 和 * 分别为 0.01 和 0.05 水平上显著相关(双侧),下同。

表 8 各基质的全磷流失量与淋出后基质 pH 值、EC 值的相关性

项目	椰砖	木屑炭	珍珠岩	陶粒	稻壳炭	蛭石	鸡粪	菇渣	泥炭
pH	-0.644	-0.635	-0.396	-0.361	-0.786 *	-0.055	0.494	-0.720	-0.316
EC	0.276	0.749	0.008	0.485	0.295	-0.088	-0.464	0.903 **	0.504

3 结论与讨论

基质的选用应以保水保肥能力强、通气性好、pH 值和 EC 值条件适宜、有一定容重可支撑作物生长的基质为佳。本试验结果表明,在材料的肥力保持特性方面,9 种材料以泥炭、椰砖作为基质主成分最好,在具备较高的氮、磷等养分含量的同时,体积含水量、非毛管孔隙度、总空隙度等处于较适宜的范围内,尽管氮素在土壤中易发生迁移淋洗,泥炭、椰砖作为富含纤维类基质可以将松散的轻型基质颗粒紧密地粘结起来,泥炭、椰砖自身的氮、磷流失速率缓慢,流失量较小,保肥效果较好;从物理指标的分析结果来看,珍珠岩与蛭石具备较好的物理特性,且性质稳定,适宜作为垂直绿化栽培基质的辅助材料;稻壳炭相比于木屑炭,容重小,仅次于泥炭,且孔隙度高,仅次于椰砖,养分含量丰富,全磷流失速率较快,可以及时给植物补充磷肥,栽培基质添加一定比

例的稻壳炭不仅可以改善基质的物理结构,还能延长基质有效养分的供给,但用量不宜过多,防止 pH 值过高。鸡粪质地较细,颗粒状一旦吸水容易散开,因而其养分释放速度快些^[23],养分流失较快,因此,比较适合在生长期较短的绿化植物上施用,可以考虑应用于短期肥力型的垂直绿化栽培基质的研发上,但要保证鸡粪在应用前进行无害化处理。菇渣较泥炭的保肥能力弱,氮磷流失量、流失速率较大,建议基质研发在选择菇渣作为配方成分时搭配泥炭进行配比,可提升基质的保肥性能。珍珠岩、陶粒、蛭石等无机基质的添加是影响配方物理性质的关键因素,从而间接影响基质肥性的保持效果。

参考文献:

[1] 卫星,李贵雨,吕琳.农林废弃物育苗基质的保水保肥效应[J].林业科学,2015,51(12):26-34.
[2] Mackie-Dawson L A, Millard P, Robinson D. Nutrient uptake by potato crops grown on two soils with contrasting

- physical properties [J]. *Plant and Soil*, 1990, 125 (2): 159-168.
- [3] Erkössa T, Stahr K, Gaiser T. Effect of different methods of land preparation on runoff, soil and nutrient losses from a Vertisol in the Ethiopian highlands [J]. *Soil Use and Management*, 2005, 21 (2): 253-259.
- [4] 李国龙, 唐继伟, 袁硕, 等. 甘肃戈壁滩日光温室蔬菜栽培基质理化性质状况评价 [J]. *中国土壤与肥料*, 2014 (2): 27-34.
- [5] 唐菁, 康红梅. 几种栽培花卉基质的理化特性研究 [J]. *土壤通报*, 2006, 37 (2): 2291-2293.
- [6] Xia L Z, Liu G H, Ma L, *et al.* The effects of contour hedges and reduced tillage with ridge furrow cultivation on nitrogen and phosphorus losses from sloping arable land [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2014, 14 (3): 462-470.
- [7] 孙向丽, 张启翔. 菇渣和锯末作为丽格海棠栽培基质的研究 [J]. *土壤通报*, 2010, 41 (1): 117-120.
- [8] 黄松杉, 王艮梅, 郑光耀, 等. 未腐菇渣替代草炭作为三叶草育苗基质的研究 [J]. *河南农业科学*, 2016, 45 (8): 53-58.
- [9] 田永强, 张正, 张倩茹, 等. 生物炭的研究现状与对策分析 [J]. *山西农业科学*, 2016, 44 (5): 680-681, 714.
- [10] 魏春辉, 任奕林, 刘峰, 等. 生物炭及生物炭基肥在农业中的应用研究进展 [J]. *河南农业科学*, 2016, 45 (3): 14-19.
- [11] 武春成, 李天来, 曹霞, 等. 添加生物炭对连作营养基质理化性质及黄瓜生长的影响 [J]. *核农学报*, 2014, 28 (8): 1534-1539.
- [12] 陈庆飞, 石岩, 刘玉学, 等. 生物炭替代泥炭栽培基质对铁皮石斛生长的影响 [J]. *中国农学通报*, 2015, 31 (13): 30-35.
- [13] 郭世荣. 无土栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 423-424.
- [14] 员学锋, 吴普特, 汪有科, 等. 施加 PAM 条件下土壤养分淋溶试验研究 [J]. *水土保持通报*, 2003, 23 (2): 26-28.
- [15] 王俊, 黄岁樑. 土壤水分特征曲线模型对数值模拟非饱和渗流的影响 [J]. *水动力学研究与进展 (A 辑)*, 2010 (1): 16-22.
- [16] 王敬国, 曹一平. 土壤氮素转化的环境和生态效应 [J]. *北京农业大学学报*, 1995, 21 (Z2): 99-103.
- [17] Dalland A, Våje P I, Matthews R B, *et al.* The potential of alley cropping in improvement of cultivation systems in the high rainfall areas of Zambia. III. Effects on soil chemical and physical properties [J]. *Agroforestry Systems*, 1993, 21 (2): 117-132.
- [18] 张泽民. 有机肥料中有机质的检测方法及其注意问题 [J]. *养殖技术顾问*, 2010 (11): 55.
- [19] 甘露, 范海燕, 吴文勇, 等. 无土栽培基质水分特性参数研究 [J]. *农业机械学报*, 2013, 44 (5): 113-118, 142.
- [20] 任文畅, 王沛芳, 钱进, 等. 干湿交替对土壤磷素迁移转化影响的研究综述 [J]. *长江科学院院报*, 2015, 32 (5): 41-47.
- [21] 时连辉, 张志国, 刘登民, 等. 菇渣和泥炭基质理化特性比较及其调节 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24 (4): 199-203.
- [22] 张璐, 贾丽, 陆文龙, 等. 不同碳化温度下玉米秸秆生物炭的结构性质及其对氮磷的吸附特性 [J]. *吉林大学学报 (理学版)*, 2015, 53 (4): 802-808.
- [23] 王岩, 山本克己. 畜禽粪便堆肥养分释放及其合理施用 [J]. *土壤通报*, 2003 (6): 521-524.