

## 绿化植物废弃物堆肥改良高速公路绿地土壤效果研究

黄丽丹<sup>1</sup>, 韦路易<sup>2</sup>, 黄旭光<sup>1</sup>, 李志胜<sup>2</sup>, 廖堂贵<sup>2</sup>, 钟琼琼<sup>1</sup>, 黄玲璞<sup>1</sup>, 秦玲<sup>1</sup>, 杨思霞<sup>1</sup>, 陆炎松<sup>1</sup>, 霍行<sup>1</sup>

(1. 南宁市园林科研所, 广西南宁 530011; 2. 南宁市绿化工程管理中心, 广西南宁 530011)

**摘要** [目的]研究绿化植物废弃物堆肥对高速公路绿地土壤持水量和肥力的影响。[方法]以主成分权重法构建综合评价函数(SQI)对土壤肥力特征和持水能力进行综合评价。[结果]绿化废弃物堆肥能明显改善土壤的持水能力,增加有机质、全氮、全磷、水解氮、有效磷、速效钾含量,降低土壤密度和pH。土壤综合评价以堆肥施用量为30 015.0 kg/hm<sup>2</sup>的效果最好。[结论]绿化植物废弃物堆肥对提高高速公路土壤质量、降低养护费用有积极作用,也有利于改善区域生态环境。建议连续多年施用绿化废弃物堆肥改良土壤,每次施用量控制在30 015.0 kg/hm<sup>2</sup>以内,减少化肥的使用。

**关键词** 绿化植物废弃物;堆肥;改良;高速公路绿地;土壤质量

中图分类号 S156 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)15-0058-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.15.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Study on the Effects of Greenery Waste Compost on Soil Remediation of Expressway Greenbelts**HUANG Li-dan<sup>1</sup>, WEI Lu-yi<sup>2</sup>, HUANG Xu-guang<sup>1</sup> et al (1. Research Institute of Landscape Architecture of Nanning City, Nanning, Guangxi 530011; 2. Nanning City Greening Project Management Center, Nanning, Guangxi 530011)

**Abstract** [Objective] To study the effects of greenery waste compost on the moisture capacity and fertility of expressway green space. [Method] The characteristics of soil fertility and water-holding capacity were comprehensively evaluated using the method of comprehensive evaluation function (SQI) which was built up by the principal component weight method. [Result] The greenery waste compost could significantly improve soil water-holding capacity, increase the contents of organic matter, total nitrogen, total phosphorus, hydrolytic nitrogen, available phosphorus and available potassium, and reduce the soil density and pH. The result of soil comprehensive evaluation showed that the effect of compost application of 30 015.0 kg/hm<sup>2</sup> was the best. [Conclusion] The greening plant waste composting has a positive role in improving highway soil quality and reducing maintenance costs, as well as improving the regional ecological environment. It was suggested that the greenery waste compost should be applied to modify soil for consecutive years, and the amount of each application should be controlled within 30 015.0 kg/hm<sup>2</sup> to reduce the use of chemical fertilizers.

**Key words** Greening plant waste; Compost; Improvement; Expressway green; Soil quality

随着我国高速公路建设的快速发展和全社会环境保护意识的普遍提高,高速公路绿化正在受到越来越多的关注,高速公路绿化不仅可以提供安全舒适的交通运输环境,与天然森林生态系统类似,其还具有涵养水源、保护生物多样性、防止水土流失、过滤污染物等功能,对交通运输安全和改善区域生态环境具有十分重要的意义<sup>[1-2]</sup>。然而,在高速公路跨越式发展的背景下,高速公路建设对生态环境和景观产生巨大的负面影响,相对于公园、住宅区、单位附属绿地,公路绿地土壤质量对于公路绿化的影响更大,因其理化性质更差,养分更缺乏<sup>[3-5]</sup>。为了短期内能达到景观效果,养护单位往往过量使用化肥。实际上,化肥的当季实际利用率仅为30%~35%,大部分留在土壤里或冲入水域,没能被植物吸收,不仅造成资源的浪费,还污染了环境,破坏了土壤,而土壤物理性质的恶化直接影响到绿化植物生长发育和景观功能的发挥<sup>[6]</sup>。因此,减少化肥的用量,寻求既修复土壤又培肥地力的环境友好型肥料势在必行。城市有机废弃物对土壤改良作用已有大量的报道,但与我国乡村农业废弃物的土地利用情况比较,城市有机废弃物土地利用情况要远远落伍<sup>[7]</sup>。该研究选择南宁市具有典型意义的高速公路绿地为研究对象,进行不同用量绿化植物废弃物堆肥的土壤改良应

用试验,探讨绿化植物废弃物堆肥对高速公路绿地退化土壤的修复和培肥效果,对节约高速公路的绿化养护成本,进而为绿化植物废弃物的合理处置提供技术依据。

**1 材料与方法**

**1.1 研究区概况** 研究区位于南宁市的吴圩机场第二高速公路中央分隔带绿地(108°17'59"E,22°42'21"N)。该地区属于南亚热带季风气候区,年均气温21.8℃,年均降雨量1 304.2 mm,年均日照时数1 843.1 h。植被主要为三角梅(*Bougainvillea spectabilis* Willd)和朱槿(*Hibiscus rosa-sinensis* Linn.)。

**1.2 试验材料** 绿化植物废弃物来自南宁市区行道树修剪的枝条,经粉碎机粉碎成6~8 mm的粒径后进槽堆肥2个月,各项指标已达到腐熟的标准。土壤类型以黏土为主,混有大量建筑废弃物,理化性质差。供试材料的主要理化性状见表1。

**1.3 研究方法**

**1.3.1 试验设计** 试验时间从2019年3月14日春季大修剪、抚育施肥开始,至2019年11月14日结束(试验期间的气候情况见表2)。共设置4组处理,每组处理3个重复,每个试验小区面积约为100 m<sup>2</sup>,每个小区中间设有0.5 m宽的隔离带。处理①,绿化植物废弃物堆肥施用量为15 007.5 kg/hm<sup>2</sup>;处理②,绿化植物废弃物堆肥施用量为30 015.0 kg/hm<sup>2</sup>;处理③,绿化植物废弃物堆肥施用量45 022.5 kg/hm<sup>2</sup>;处理④为对照(CK),不施加堆肥。将绿化植物废弃物堆肥均匀撒施在土层表面,翻耕0.2 m使其与表层土拌匀。

**基金项目** 南宁市科技计划项目“南宁市绿化植物废弃物资源化利用关键技术研究及应用示范”(20193112)。**作者简介** 黄丽丹(1981—),女,广西田东人,高级工程师,硕士,从事城市固体废弃物的资源化利用研究。**收稿日期** 2020-12-02

表 1 供试材料的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested material

原料 Raw material	pH	有机质 Organic matter g/kg	全氮 TN//g/kg	全磷 TP//g/kg	全钾 Total potassium g/kg
绿化植物废弃物堆肥 Greenery waste compost	6.50	750.49	22.85	12.70	14.00
试验地土壤 Plot soil	7.65	4.74	0.31	0.50	6.59

表 2 2019 年 3—11 月气温和降水量情况

Table 2 Temperature and precipitation from March to November 2019

月份 Month	白天平均气温 Daytime mean temperature//℃	平均气温 Mean temperature ℃	平均降雨量 Average rainfall mm
3	21.8	17.6	113.7
4	28.5	23.6	148.9
5	29.2	24.9	120.7
6	32.3	28.0	216.0
7	32.8	28.3	258.0
8	33.8	28.3	192.8
9	33.7	27.1	46.0
10	30.0	23.5	46.5
11	25.6	19.5	15.9

**1.3.2 土样采集。**每个试验区按 S 型多点采样后混合,采集深度为 20 cm。自然风干后磨碎过筛分析土壤密度、pH、有机质、全氮、全磷、全钾、水解氮、有效磷和速效钾等理化指标。同时用环刀采集原状土用于含水量测定。

**1.3.3 分析测定方法。**土壤基本理化性质的测定参照《森林土壤分析方法》<sup>[8]</sup>。数据分析采用 Microsoft Office Excel 2007 和 DPS 9.01 软件。

**1.4 改良效果综合评价** 以土壤密度、含水量、pH、有机质、全量养分和速效养分指标,采用主成分分析方法进行主成分分析,根据方差贡献率  $\geq 80\%$  的标准提取  $n$  个主成分,用各主成分的特征向量的绝对值计算各变量的权重系数。最后用权重系数构建土壤改良效果综合评价函数(SQI)来综合评价各处理对土壤的改良效果。因为各项指标的量纲不同,在主成分分析前用隶属度函数法对数据进行标准化处理以消除量纲。

隶属函数计算公式<sup>[9]</sup>:

如果指标与土壤质量呈正相关,则:

$$U(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

如果指标与土壤质量呈负相关,则:

$$U(X_j) = 1 - (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

各指标的权重计算公式<sup>[10-11]</sup>:

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (3)$$

式中,  $W_j$  表示第  $j$  个指标在所有指标中的重要程度,即权重;  $P_j$  代表第  $j$  个指标测定值的贡献率。

综合评价函数(SQI)的计算公式<sup>[9,11]</sup>:

$$SQI = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j] \quad (4)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 绿化植物废弃物堆肥对土壤持水能力的影响

质量含水量动态变化曲线(图 1)可以看出,由于该区域土壤水分的补给主要是通过降雨,土壤质量含水量的季节性变化很强,不同处理土壤质量含水量随季节变化规律基本一致。一般认为,土壤含水量在 173.2~232.1 g/kg 时植物生长良好,低于 114.4 g/kg 不利于植物生长<sup>[12]</sup>。试验初期 3—5 月份土壤质量含水量平均值为 172.9 g/kg,基本能满足植物生长需求,可能是这一时期气温较低(表 2),土壤中的水分蒸腾作用较小;而 6—8 月份虽然有大量集中降雨(表 2),但土壤质量含水量很低,可能是高速公路绿化带土壤蓄水能力差,高温加剧地表蒸发和植物蒸腾,土壤水分消耗大于供给造成的,若不及时人工灌溉,可能导致植物萎蔫而死。施加绿化废弃物堆肥在一定程度上改善了土壤的物理结构,增加了土壤的蓄水能力,施肥处理土壤的质量含水量均高于对照,增幅最明显在试验 90 d 后(6 月份),处理①、处理②和处理③土壤质量含水量分别比对照高出 18.71%、23.21%和 23.67%。

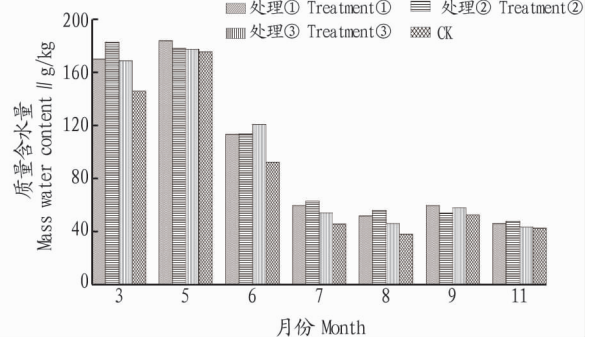


图 1 土壤质量含水量动态变化

Fig. 1 Dynamic change of soil mass water content

从图 2 可以看出,各处理土壤饱和和持水量和田间持水量波动变化趋势基本一致。施加绿化废弃物堆肥对提高土壤饱和和持水量和田间持水量有一定的作用,试验 90 d 后(6 月份),土壤的饱和和持水量和田间持水量与对照差别最明显。在 7 月份饱和和持水量和田间持水量都达到低谷的情况下,施肥处理土壤饱和和持水量和田间持水量与对照差异不显著,但仍略高于对照。可能在 7 月份高温天气影响下,表层土壤含水量主要受土壤蒸发的影响,施加堆肥虽然能改善土壤蓄水能力,但作用微弱。

**2.2 绿化植物废弃物堆肥对土壤密度的影响** 从图 3 可以看出,试验前试验地土壤密度达到 1.80 g/cm<sup>3</sup> 以上,按中华人民共和国城镇建设行业标准《绿化种植土壤》(CJ/T 340—2016)要求绿地土壤密度要小于 1.35 g/cm<sup>3</sup><sup>[13]</sup>,说明高速公路绿地土壤紧实度大,这可能是在建设工程中施工大量使用

机械和后期养护管理粗放造成的。施加绿化废弃物堆肥后,各处理土壤密度变化短期内效果较明显,前3个月土壤密度逐渐降低,到第4个月(7月份)土壤密度增加,处理③土壤

密度反而大于CK,可能是高温天气,加上处理③施肥量大,绿化废弃物腐解消耗水分多造成的土壤紧实度增加。经过5个月的改良,处理②土壤密度降低最显著,降至 $1.61\text{ g/cm}^3$ 。

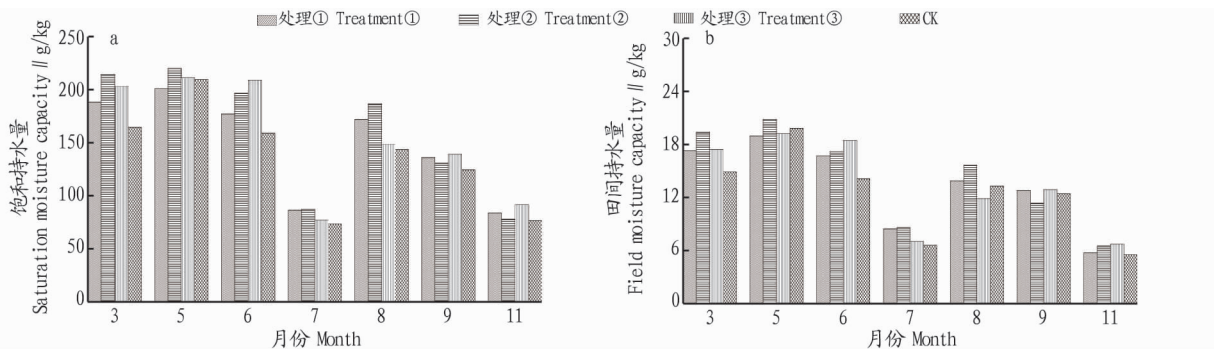


图2 土壤饱和持水量(a)和田间持水量(b)动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of soil saturation moisture capacity (a) and field moisture capacity (b)

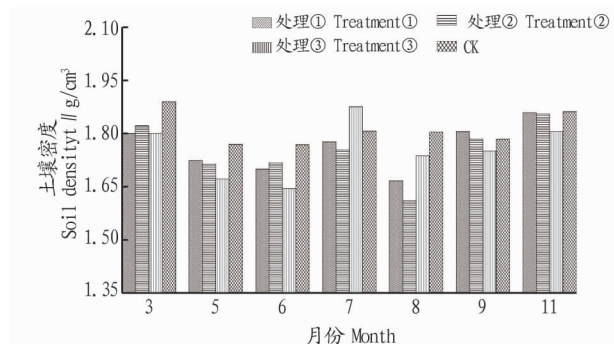


图3 土壤密度动态变化

Fig. 3 Dynamic change of soil density

**2.3 绿化植物废弃物堆肥对土壤 pH 的影响** 从图4可以看到,试验地土壤 pH 较高,接近 8.0,这对植物生长很不利。造成高速公路绿地土壤 pH 居高不下的主要原因可能是施工过程回填的大量建筑废弃物释放碱性物质;高速公路车流量大,有大量碳酸钙和碳酸镁灰尘沉降。施加绿化废弃物堆肥后,土壤 pH 下降呈波动变化,整个试验过程处理③降低最多,比未施肥前降低 0.55。

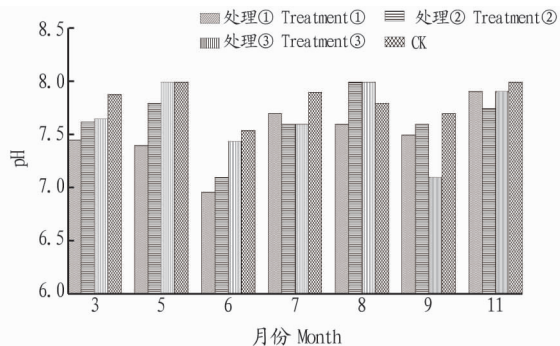


图4 土壤 pH 动态变化

Fig. 4 Dynamic change of soil pH

**2.4 绿化植物废弃物堆肥对土壤肥力的影响**

**2.4.1 绿化植物废弃物堆肥对土壤有机质含量的影响。**根据全国第二次土地调查土壤养分等级分级标准<sup>[14]</sup>,图5显示,试验前土壤有机质含量处于极度缺乏的状态( $<6\text{ g/kg}$ ),施加绿化废弃物堆肥后,不同处理的有机质含量变化规律基

本上都是先增加后减少,然后再增加和减少,可能是绿化废弃物堆肥不断被微生物利用,有机物的释放和微生物数量需要保持一个动态的平衡,以达到土壤改良的持久效果。施加堆肥4个月(7月份),有机质含量达到峰值,处理①、处理②、处理③的有机质含量分别比对照增加了 6.27%、23.66%和 66.24%,这可能是6月份降雨量大,不断加速绿化废弃物的分解,使土壤有机质含量快速升高。对照处理有机质含量总体较低,但试验过程中有机质含量有增加的情况,可能是试验抚育苗木松土促进植物根系活动,根系分泌物增加了土壤有机质含量。

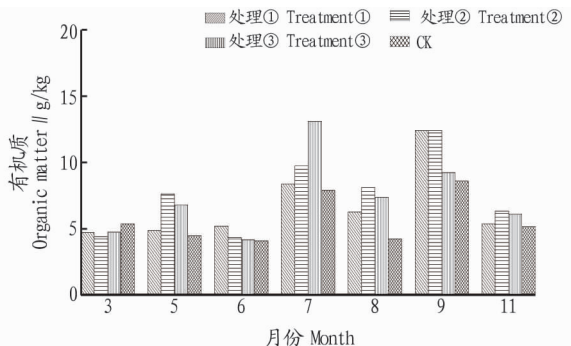


图5 土壤有机质含量动态变化

Fig. 5 Dynamic change of soil organic matter content

**2.4.2 绿化植物废弃物堆肥对土壤氮含量的影响。**施加堆肥后土壤中全氮含量的变化见图6,不同处理的全氮含量与有机质含量的动态变化趋势大体相似。根据全国第二次土地调查土壤养分等级分级标准,试验区土壤全氮含量 $<0.50\text{ g/kg}$ ,属于极度缺乏的状态,施加堆肥后的土壤全氮水平有不同程度的提高,但始终保持在较低的水平( $<0.75\text{ g/kg}$ ),可能是偏碱性的土壤使大量有机氮转化为极易被淋溶的硝态氮,造成土壤氮素补给量很低。

从图7可以看出,试验区土壤水解氮含量 $<30.00\text{ mg/kg}$ ,也处于极度缺乏的状态。水解氮含量在施肥后4~5个月明显增加,处理③的水解氮含量最多,增加至 $52.98\text{ mg/kg}$ ,是对照的4.19倍。处理①、处理②水解氮含量一直没有明显的增加,这可能是由于处理③施用量最多,施加堆肥一段时

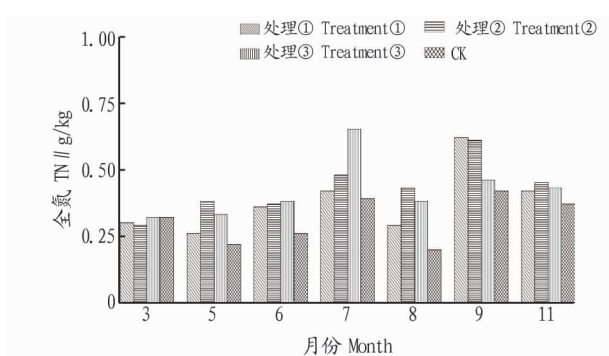


图6 土壤全氮含量动态变化

Fig. 6 Dynamic change of soil TN content

间后,土壤微生物数量增加、活性增强,加速氮的分解。

**2.4.3 绿化植物废弃物堆肥对土壤磷含量的影响。**从图 8a 可以看到,试验前样地土壤的全磷含量平均值为 0.5 g/kg,处于磷缺乏的状态,不像城市绿地土壤一样有明显的磷富集<sup>[15-16]</sup>。可能是高速公路绿地特殊的地理位置给养护带来困难,施肥、灌溉、病虫害防治等养护措施不像城市绿地那样精细,因而肥料、灌溉水、杀虫剂等带来的有机磷物质少,引

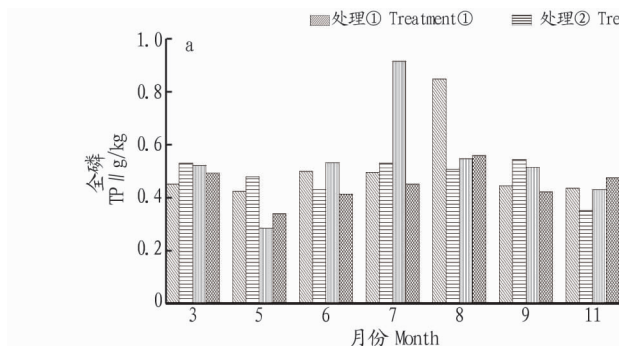


图8 土壤全磷(a)和有效磷(b)含量动态变化

Fig. 8 Dynamic changes of soil TP (a) and available phosphorus (b) content

**2.4.4 绿化植物废弃物堆肥对土壤钾含量的影响。**从图 9a 可以看出,施用堆肥后直到 5 个月时,土壤全钾含量才略有增加,且整个试验过程全钾含量增幅不大,原因可能是绿化废弃物堆肥全钾含量和土壤全钾含量差别不大,造成绿化废弃物堆肥对土壤全钾含量的影响不明显(表 1)。

从图 9b 可以看出,试验前,样地土壤速效钾含量较低,平均值仅为 43 mg/kg,但施用堆肥后在短时间内能显著提高

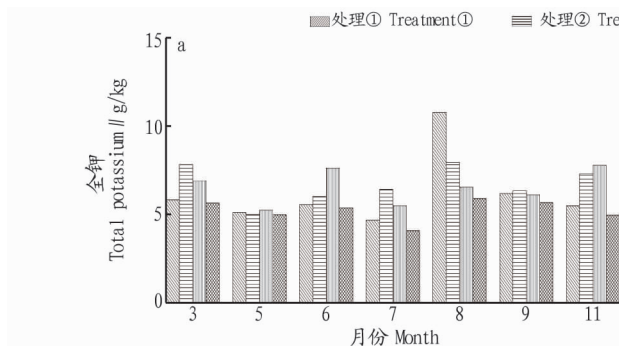


图9 土壤全钾(a)和速效钾(b)含量动态变化

Fig. 9 Dynamic changes of soil total potassium (a) and available potassium (b) content

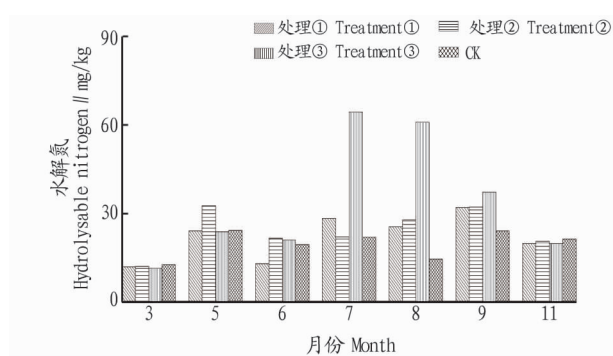
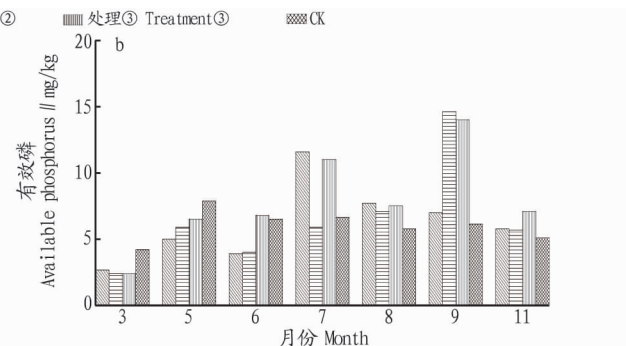


图7 土壤水解氮含量动态变化

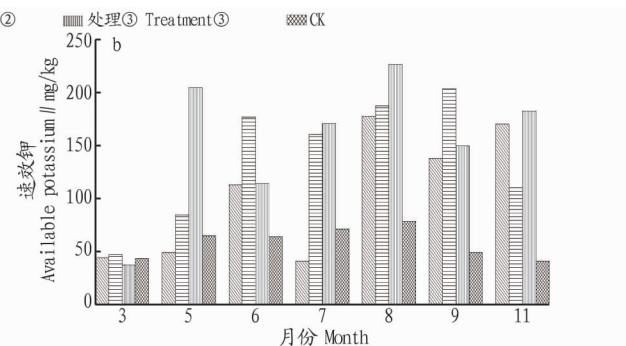
Fig. 7 Dynamic change of soil hydrolyzable nitrogen content

起磷含量偏低。虽然绿化废弃物堆肥全磷含量远高于试验地土壤的全磷含量,但施用堆肥后,全磷含量只有 2 次明显的增加,可绿化废弃物堆肥对土壤全磷含量的影响具有迟效性。

从土壤有效磷含量变化(图 8b)可以看到,施肥后 2 个月内,各处理土壤有效磷含量明显增加。施肥后 6 个月(9 月份),处理②、处理③土壤有效磷含量显著增加,分别达 14.6 和 14.0 mg/kg,分别是施肥前的 6.08 和 5.83 倍。



土壤速效钾的含量,并一直保持在较高的水平。施肥 5 个月后,处理①、处理②、处理③的速效钾含量分别达 178、188 和 227 mg/kg,比施肥前速效钾含量分别增加了 134、141、189 mg/kg。据说解钾细菌能将土壤中的不溶性钾素溶解供植物吸收,土壤速效钾含量高,可能是绿化废弃物堆肥中含有解钾的功能菌,它们在土壤中活动释放了被土壤吸附和固定的钾,从而增加了土壤速效钾的含量。



**2.5 主成分分析和土壤改良效果的综合评价** 通过试验可以获得施用不同用量绿化废弃物堆肥对土壤含水量、密度、pH、有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾等理化性质影响的数据,但这些数据与改良效果之间没有表现出明显的线性相关,不能够客观地反映土壤性质的综合改良效果,需要通过主成分分析法把多个指标进行综合评价。将全部数据经隶属函数转化后进行主成分分析(表3),结果表明,方差累计贡献率达到83.2962%,其中,第1主成分的贡献率为51.9047%,第2主成分的贡献率是31.3915%。

表3 土壤指标主成分分析

Table 3 Principal component analysis of soil index

土壤指标 Soil index	主成分特征向量 Principal component eigenvector	
	PC1	PC2
土壤密度 Soil density	0.377 9	-0.164 4
pH	0.142 1	-0.457 2
有机质含量 Organic content	0.268 3	0.341 6
全氮含量 TN content	0.338 3	0.272 3
水解氮含量 Hydrolyzable nitrogen content	0.199 2	0.242 9
全磷含量 TP content	-0.058 0	-0.432 6
有效磷含量 Available phosphorus content	-0.100 4	0.213 7
全钾含量 Total potassium content	-0.054 9	0.494 0
速效钾含量 Available potassium content	0.368 1	-0.099 1
质量含水量 Mass water content	0.381 2	-0.158 4
饱和含水量 Saturation moisture content	0.394 8	0.046 9
田间持水量 Field moisture capacity	0.397 1	-0.008 2
特征根 Characteristic root	6.228 6	3.767 0
贡献率 Contribution rate//%	51.904 7	31.391 5
累计贡献率 Accumulative contribution rate//%	51.904 7	83.296 2

由表3分析得到的指标测定值的贡献率可以计算出土壤各指标的权重,土壤密度、pH、有机质含量、全氮含量、水解氮含量、全磷含量、有效磷含量、全钾含量、速效钾含量、质量含水量、饱和含水量、田间持水量的权重系数分别为0.098、0.086、0.098、0.104、0.071、0.066、0.047、0.073、0.088、0.098、0.087、0.083。为了更准确地反映不同用量绿化废弃物堆肥对土壤的改良效果,避免单一评价指标的片面性,以权重系数构建土壤综合评价函数(SQI)来综合评价各处理对土壤的改良效果,将各指标的隶属函数值和权重系数带入SQI计算公式中,可得土壤综合评价结果,结果见表4。由土壤改良效果综合评价结果(表4)可知,绿化废弃物堆肥的施用都能较好地改良土壤,其中,以处理②的改良效果最好,处理①、处理③略差,但是明显好于对照。

表4 土壤改良效果综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation results of soil improvement effect

处理 Treatment	SQI	排名 Rank
①	0.417	3
②	0.447	1
③	0.434	2
④	0.283	4

### 3 讨论与结论

由于高速公路绿地与城市绿地相比,管理更粗放,所以土壤质量更差,表现出干旱缺水、容重偏大、pH偏高、养分不足的严重问题。根据高速公路绿地土壤自身的理化性质特点,设置的几组绿化废弃物堆肥施用量虽然比前人试验结果要大,但从整个试验周期看,各组施肥处理对土壤理化性质的改良没有表现出显著的持久效果,究其原因主要是土壤质量太差,引起的一系列恶性循环。一方面,可能是土壤的微环境,pH、土壤的物理结构等因素限制微生物的活动;另一方面可能是施用的绿化废弃物堆肥提供的资源有限,很快被微生物分解殆尽,微生物活动减少,造成效果不明显。

绿化废弃物堆肥能显著提高土壤含水量,提高土壤有机质、全氮、全磷、水解氮、有效磷和速效钾含量,降低pH和土壤密度,这与顾兵等<sup>[17]</sup>研究绿化废弃物改良土壤的结果一致。由于绿化废弃物堆肥施用量和土壤主要理化指标并不呈显著线性正相关,综合评价得出的结果表明,并不是施用量越大,土壤改良效果越显著,施用量宜控制在30 015.0 kg/hm<sup>2</sup>以内。建议连续多年施用绿化废弃物堆肥,富含有机物的绿化废弃物在土壤中会不断被微生物分解,促进土壤团粒结构的增加,破坏了细密土层中的毛细管道,减少土壤水分沿着毛细管道的蒸腾作用而造成的损失,使土壤保持相对湿润和疏松,既达到提高土壤蓄水保肥的能力,降低养护费用,又有利于改善区域生态环境。

### 参考文献

- [1] 黄少滢. 江苏省主要高速公路绿化养护管理研究[D]. 南京:南京林业大学,2013;1-12.
- [2] 王志科,余华,殷云龙,等. 近十年江苏省公路绿化综合效益评估与分析[J]. 植物资源与环境学报,2012,21(4):94-99.
- [3] 毕华松. 上海景观公路土壤现状与改良关键技术研究[D]. 上海:华东理工大学,2011.
- [4] 张琪,方海兰,杨意,等. 上海市浦东公路绿地土壤肥力质量评价[J]. 华中农业大学学报,2007,26(4):491-495.
- [5] 赵丹,马俊杰. 城市园林绿地土壤肥力调查与评价研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(33):12851-12853,12858.
- [6] 李俊,姜昕,黄为一,等. 微生物肥料生产应用技术百问百答[M]. 北京:中国农业出版社,2019.
- [7] 方海兰. 城市土壤生态功能与有机废弃物循环利用[M]. 上海:上海科学技术出版社,2014.
- [8] 张万儒. 森林土壤分析方法(中华人民共和国林业行业标准)[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [9] 涂永成. 干旱矿区复合微生物菌肥土壤改良实验研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2015.
- [10] 王树刚,王振林,王平,等. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价[J]. 生态学报,2011,31(4):1064-1072.
- [11] 冯士令,程浩然,李旭,等. 长林无性系油茶抗旱性的综合评价[J]. 广西植物,2016,36(6):735-740,757.
- [12] 周柳伶. 城市不同绿地土壤状况及其对绿化树种天竺桂的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2014;20-21.
- [13] 方海兰,徐忠,张浪,等. 绿化种植土壤:CJ/T 340—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [14] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 谢国雄,章明奎,吴崇书,等. 杭州城市绿地表土理化性状的研究[J]. 江西农业学报,2013,25(9):57-61.
- [16] 黄青,张凯,邓文鑫,等. 合肥城市绿地土壤特点[J]. 城市环境与城市生态,2009,22(2):12-15.
- [17] 顾兵,吕子文,方海兰,等. 绿化植物废弃物堆肥对城市绿地土壤的改良效果[J]. 土壤,2009,41(6):940-946.