

不同覆盖材料对城市树穴土壤理化性质的影响

负炳辉,李素艳*,曲炳鹏,孙向阳,张 骅,王心语,张 乐

(北京林业大学 林学院,北京 100083)

摘 要:以国槐树穴土壤为研究对象,进行树篦子、草皮、透水砖、鹅卵石、木片和无覆盖 6 种覆盖处理,2 a 后测定树穴土壤理化性质。结果表明,树穴覆盖对 0~10 cm 土层的土壤理化性质影响较大,其中木片覆盖能显著改善土壤理化性质,使土壤容重降低 8.72%,总孔隙度提高 19.81%,有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾含量分别提高 64.65%、60.34%、110.54%、107.08%、62.34%;透水砖覆盖会压实树穴土壤;树篦子、鹅卵石和草皮覆盖对土壤理化性质无显著影响。树穴覆盖对 10~20 cm 土层土壤理化性质的影响程度较 0~10 cm 土层有所减弱,对 20 cm 以下的土壤理化性质无显著影响。

关键词:树穴;覆盖材料;土壤物理性质;土壤化学性质

中图分类号:S714.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)06-0034-06

Effects of Different Mulching Materials on the Soil Physicochemical Property of the Plant Pits in the Cities

YUN Bing-hui, LI Su-yan*, QU Bing-peng, SUN Xiang-yang, ZHANG Hua, WANG Xin-yu, ZHANG Le

(School of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In this study, field experiment was employed to assess of different mulching materials (tree pit nets, turf, water permeable bricks, pebbles, and wood mulching) on the soil physicochemical properties of the plant pits after coving 2 years. The results showed that tree pits mulching had significant effect on the soil physicochemical properties at the depth 0—10 cm, the surface physicochemical property could be significantly improved ($P<0.05$) with wood mulching; and soil bulk density decreased by 8.72%, the total porosity increased by 19.81%, organic matter, total nitrogen, alkali hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 64.65%, 60.34%, 110.54%, 107.08% and 62.34%, respectively. Turf coverage could improve tree soil porosity and permeability in a certain degree. There was no significant difference in the physicochemical properties of the soil with tree pit nets, pebbles and turf. The effect of different mulching materials to 10—20 cm soil physicochemical property was weaker than that of 0—10 cm soil, soil under 20 cm had no correlation with different mulching materials in plant pits.

Key words: plant pit; mulching material; soil physical property; soil chemical property

树穴覆盖作为城市树穴的一种管理调控方式,在世界各地均有很多的应用。目前覆盖材料的研究主要集中在对城市绿地景观的影响方面,关于覆盖材料对树穴土壤质量的研究鲜有报道^[1-2]。树穴覆盖材料的种类多种多样,主要有无机覆盖(inorganic

mulch)、有机覆盖(organic mulch)和植生覆盖(living mulch)3类。覆盖合适的材料可以减少地表蒸发,减弱地面径流,控制地表温度,改善土壤孔性和通透性,同时为植物提供养分以及吸尘滞尘等作用^[3-4]。对树穴进行有机覆盖在欧美以及澳大利亚

收稿日期:2017-05-03 修回日期:2017-07-11

基金项目:北京市科技计划(Z161100001316004)。

作者简介:负炳辉,男,在读硕士,研究方向:土壤改良。E-mail:18205515521@163.com

* 通信作者:李素艳,女,博士,副教授,研究方向:土壤与植物营养。E-mail:lisuyan@bjfu.edu.cn

的应用已经非常普遍^[5],而我国树穴的覆盖材料主要以透水砖、树篦子等无机材料为主,仍有大部分树穴处于裸露状态。

树穴土壤理化性质对土壤养分供应、土壤质量、根系呼吸以及植物生长至关重要^[6]。目前土壤紧实、通透性差、pH 偏高、养分含量低、水土流失严重是北京市城市树穴土壤面临的主要问题^[7-8]。北京市近些年雾霾日益严重,裸露的土壤造成地面扬尘,也是 PM2.5 的重要来源之一^[9],对树穴进行覆盖亦可减少扬尘的产生。本研究以国槐树穴土壤为研究对象,利用树篦子、鹅卵石、透水砖、草皮和木片 5 种北京地区常见材料进行树穴覆盖处理,研究不同类型地表覆盖物对城市树穴土壤理化性质的影响,以期筛选出最适宜的材料,为城市树穴覆盖提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于北京市海淀区志新路(39°59′40.25″N, 116°22′18.12″E)。地处北温带,湿润性季风气候,冬季寒冷干燥,盛行西北风,夏季高温多雨,盛行东南风。年均气温 12.5℃,年平均降水量 628.9 mm。园林绿化树种主要有国槐(*Sophora japonica*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、榆树(*Ulmus*

pumila)等。

1.2 试验设计

试验地点选择在志新路北侧种有国槐的典型树穴铺设,国槐的树龄一致,均为 15 a,树穴大小为 1.2 m×1.2 m,面积 1.44 m²,土壤类型为潮土(表 1)。5 种覆盖材料分别为树篦子、草皮、透水砖、鹅卵石和木片,无覆盖(CK)作为对照,共 6 种覆盖方式。对每个树穴覆盖一种覆盖材料,覆盖厚度均为 6 cm,随机区组排列,3 次重复。

树篦子为定制的黑色玻璃钢格栅,由树脂和玻璃纤维混合制备,方孔规格 3.8 cm×3.8 cm×6.0 cm;草皮覆盖将高度 6 cm 的北萱草移植在国槐树穴,株间间距 10 cm;透水砖规格 15 cm×15 cm×6 cm,符合国标 JC/T 945—2005,颜色黑色;鹅卵石直径约 3 cm,颜色为暗色系;木片购自北京 Leche-Mulch 公司,直径约 3 cm,颜色棕色;无覆盖,即对树穴不做任何覆盖处理。

试验于 2014 年 7 月初铺设,试验过程均以常规的园林养护管理,不进行其他人为因素的干扰,覆盖 2 a。于 2016 年 6 月底采样分析,每种处理分别于 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 的土层采集环刀样品和分析样品。环刀样品用于测定土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度等物理指标;分析样品用于测定土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾等化学指标。

表 1 试验树穴土壤主要理化性质

Table 1 Major soil physicochemical properties in the plant pits

土层深度 /cm	容重 /(g·cm ⁻³)	孔隙度 /%	毛管 孔隙度 /%	非毛管 孔隙度 /%	pH	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 /(mg·kg ⁻¹)
0~10	1.45	45.15	36.84	8.31	8.32	15.70	1.15	8.63	14.32	89.15
10~20	1.50	42.08	35.09	6.99	8.28	11.02	1.02	11.50	13.79	88.09
20~40	1.52	41.54	34.12	7.42	8.66	12.98	0.94	7.35	12.76	92.70

1.3 测定方法

土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度采用环刀法测定^[10];pH 采用电位法测定;土壤有机质采用重铬酸钾容量法—稀释热法测定;全氮采用半微量凯氏定氮法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用 NaHCO₃—钼锑抗比色法测定;速效钾采用 NH₄OAc 浸提,火焰光度计法测定^[11]。

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS20.0 和 Excel2013 软件进行统计分析。LSD 法做方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖材料处理的树穴土壤物理性质

在 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 土层中,透

水砖覆盖树穴的土壤容重随土层深度的增加而降低,树篦子、鹅卵石、草皮、木片覆盖和 CK 树穴的土壤容重随土层深度的增加而增加。在 0~10 cm 土层,不同覆盖材料下城市树穴土壤容重大小排序为:透水砖>鹅卵石>CK>树篦子>草皮>木片,透水砖覆盖树穴的土壤容重显著高于其它处理,比 CK 高 7.53%,比木片覆盖高 19.94%;木片覆盖树穴的土壤容重显著低于 CK,降低了 8.72%。在 10~20 cm 土层,透水砖覆盖树穴的土壤容重显著高于木片覆盖;在 20~40 cm 土层中,各覆盖材料下树穴的土壤容重无显著差异。各覆盖材料对土壤容重的影响随土层深度的增加而减弱(表 2)。

在 0~10 cm 土层,不同处理的土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度范围分别为 40.75%~

表 2 不同覆盖材料处理树穴土壤的物理性质

Table 2 Soil physical properties with different mulching materials in the plant pits

覆盖材料	层次/cm	土壤容重 /(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
树篦子	0~10(含 10)	1.44±0.07bc	45.66±1.82b	36.82±1.32ab	8.84±0.87ab
鹅卵石		1.45±0.05b	45.28±1.25b	36.03±1.58ab	9.25±1.21a
透水砖		1.57±0.05a	40.75±2.86c	33.67±1.87b	7.08±1.02b
草皮		1.36±0.03bc	48.68±2.14ab	41.79±1.48a	6.89±1.14b
木片		1.32±0.08c	50.19±1.32a	40.34±1.60a	9.85±1.06a
CK		1.46±0.02b	44.91±0.98b	36.38±1.24ab	8.53±0.88ab
树篦子	10~20(含 20)	1.48±0.04ab	44.15±1.23ab	36.13±1.25a	8.02±0.98a
鹅卵石		1.49±0.05ab	43.77±1.08ab	36.91±1.36a	6.86±0.85a
透水砖		1.52±0.02a	42.64±1.31b	35.24±1.47a	7.40±1.04a
草皮		1.42±0.03ab	46.42±1.05ab	37.07±1.62a	9.35±1.77a
木片		1.36±0.03b	48.68±1.42a	40.02±1.05a	8.66±0.96a
CK		1.49±0.02ab	43.77±1.01ab	35.39±1.14a	8.38±1.01a
树篦子	20~40(含 40)	1.54±0.01a	41.89±0.79a	35.22±1.21a	6.67±0.76a
鹅卵石		1.52±0.02a	42.64±1.01a	35.94±1.35a	6.70±0.42a
透水砖		1.53±0.03a	42.26±0.87a	35.10±1.02a	7.16±1.01a
草皮		1.50±0.02a	43.40±0.98a	35.91±1.10a	7.49±0.87a
木片		1.55±0.03a	41.51±0.45a	34.76±0.76a	6.75±0.62a
CK		1.52±0.02a	41.64±1.10a	35.43±1.11a	7.21±0.76a

注:小写字母代表 0.05 水平显著性,下同。

50.19%、33.67%~40.34%和 6.89%~9.85%,总孔隙度大小排序为:木片>草皮>树篦子>鹅卵石>CK>透水砖;毛管孔隙度大小排序为:草皮>木片>树篦子>CK>鹅卵石>透水砖;非毛管孔隙度大小排序为:木片>鹅卵石>树篦子>CK>透水砖>草皮。与 CK 相比,木片覆盖可显著提高树穴土壤总孔隙度,提高了 11.76%;透水砖覆盖显著降低了树穴土壤总孔隙度,降低了 9.26%;木片、草皮、树篦子覆盖树穴土壤总孔隙度均和 CK 无显著性变化;草皮和木片覆盖树穴土壤的毛管孔隙度分别较透水砖覆盖提高了 24.12%和 19.81%,差异达显著水平($P<0.05$);木片和鹅卵石覆盖树穴土壤的非毛管孔隙度显著高于透水砖和草皮覆盖。在 10~20 cm 土层,各覆盖处理树穴的总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度均较 CK 无显著差异,木片覆盖

树穴土壤的总孔隙度显著高于透水砖覆盖。在 20~40 cm 土层,树穴土壤各孔隙度在不同覆盖处理间无显著差异。不同覆盖材料覆盖对树穴土壤各孔隙度的影响,随着土层加深而不断地减弱,对 20 cm 以下土层无显著影响。

2.2 不同覆盖材料处理的树穴土壤化学性质

2.2.1 不同覆盖材料处理的树穴土壤 pH 不同覆盖材料对 0~10 cm 土层的 pH 影响,草皮和木片覆盖显著低于 CK,分别降低了 0.34 和 0.16,树篦子、透水砖和鹅卵石覆盖 pH 较 CK 变化不大,差异性未达到显著水平;在 10~20 cm 土层,草皮覆盖的土壤 pH 显著低于其它处理;在 20~40 cm 土层,不同覆盖材料下的土壤 pH 无显著差异。在不同土层间,随着土层的加深,pH 变异程度在减小,不同覆盖材料对土壤 pH 的影响逐渐减弱(表 3)。

表 3 不同覆盖材料处理树穴土壤的 pH

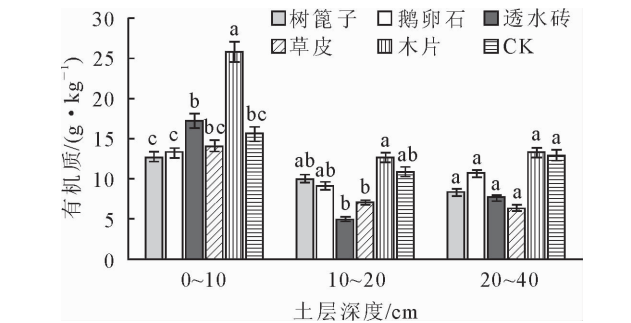
Table 3 Soil pH with different mulching materials in the plant pits

土层深度/cm	树篦子	鹅卵石	透水砖	草皮	木片	CK
0~10	8.6±0.16a	8.24±0.17a	8.78±0.59a	7.96±0.03b	8.14±0.27b	8.30±0.06a
10~20	8.52±0.14a	8.44±0.14a	9.14±0.58a	8.15±0.17b	8.27±0.02a	8.49±0.03a
20~40	8.35±0.13a	8.46±0.04a	8.91±0.07a	8.27±0.10a	8.28±0.12a	8.46±0.03a

2.2.2 不同覆盖材料处理的树穴土壤有机质 在 0~10 cm 土层有机质含量为 11.59~28.54 g·kg⁻¹,木片覆盖与 CK 相比,土壤有机质含量显著增加,增幅为 64.65%,透水砖和草皮覆盖有机质有所增加,但增幅不显著,树篦子和鹅卵石覆盖有机质含量低于 CK,差异性不显著;在 10~20 cm 土层不同

覆盖材料对土壤有机质含量有一定影响,各覆盖材料和 CK 相比,差异性不显著,透水砖和草皮覆盖的有机质含量显著低于木片覆盖;在 20~40 cm 土层,土壤有机质含量在不同覆盖处理间无显著性差异(图 1)。

2.2.3 不同覆盖材料处理的树穴土壤氮素 在 0~



注:小写字母代表 0.05 水平,下同。

图 1 不同覆盖材料处理的树穴土壤有机质

Fig. 1 The soil organic matter with different mulching materials in te plant pits

10 cm 土层,土壤全氮含量大小排序为:木片>草皮>鹅卵石>树篦子>透水砖>CK,土壤碱解氮含量的大小排序为:木片>树篦子>鹅卵石>透水砖>CK>草皮。5 种覆盖材料的全氮均较 CK 均有所增加,增幅分别为 60.34%、32.76%、25.00%、10.34%和 0.86%;木片覆盖树穴土壤的全氮和碱解氮含量均高于其它处理,差异达显著水平($P<0.05$),树篦子、鹅卵石、透水砖、草皮覆盖与 CK 之间土壤的全氮和碱解氮含量均无显著差异;在 10~20 cm 土层,草皮和木片覆盖树穴土壤的全氮和碱解氮含量均显著高于鹅卵石、透水砖和 CK 处理;在 20~40 cm 土层中 5 种覆盖材料的全氮和碱解氮含量均较 CK 无显著差异。不同覆盖材料对土壤全氮和碱解氮含量的影响随着土层深度的增加而不断减弱(图 2)。

2.2.4 不同覆盖材料处理的树穴土壤速效磷 在 0~10 cm 土层,各覆盖材料下树穴土壤速效磷含量大小排序为:木片>透水砖>树篦子>鹅卵石>CK>草皮,木片覆盖可显著增加表层土速效磷含量,较 CK 增加了 107.08%,差异达到显著水平($P<0.05$);树篦子、鹅卵石和透水砖覆盖速效磷含量均高于 CK,草皮覆盖速效磷含量最低。在 10~20 cm 土层,木片覆盖处理的树穴土壤速效磷含量显著高于 CK,其它处理的树穴土壤速效磷含量均较 CK 无显著差异。在 20~40 cm 土层,各覆盖材料下的树穴土壤速效磷含量无显著差异;不同覆盖材料对树穴土壤速效磷含量的影响随着土层深度的增加而不断减弱(图 3)。

2.2.5 不同覆盖材料处理的树穴土壤速效钾 在 0~10 cm 土层,5 种覆盖材料处理的土壤速效钾的含量均高于 CK,木片、草皮、透水砖、树篦子、鹅卵石覆盖的土壤速效钾含量分别较 CK 提高 62.34%、42.43%、26.58%、17.80%、9.66%,木片、草皮和透水砖覆盖的树穴土壤速效钾含量较 CK 差异显著

($P<0.05$),而树篦子、鹅卵石覆盖的土壤速效钾含量虽高于 CK,但无显著差异。在 10~20 cm 土层,木片覆盖的土壤速效钾含量显著高于 CK,其他覆盖方式土壤速效钾含量与 CK 无显著差异。在 20~40 cm 土层,各处理之间速效钾含量均无显著性差异(图 4)。

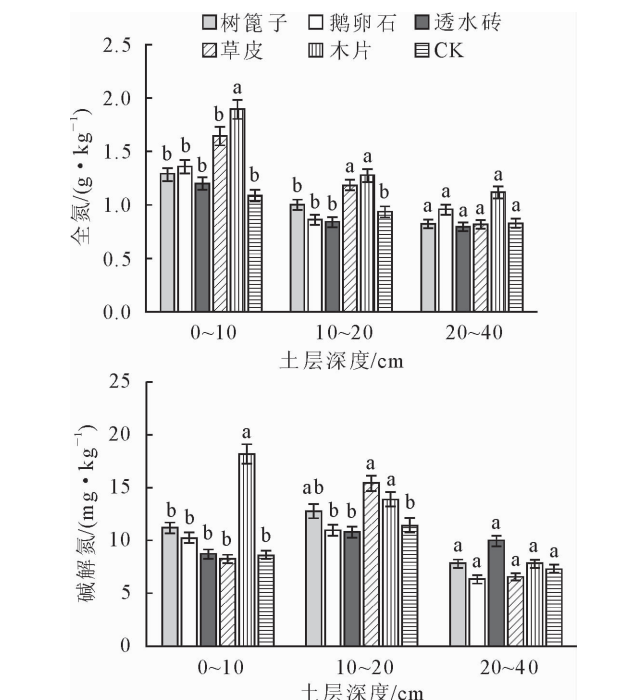


图 2 不同覆盖材料处理树穴土壤的全氮和碱解氮

Fig. 2 Soil total N and alkali hydrolysable N with different mulching materials in the plant pits

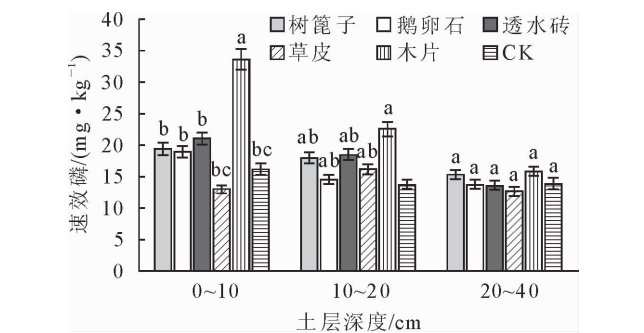


图 3 不同覆盖材料处理树穴土壤的速效磷

Fig. 3 The soil available P matter with different mulching materials in the plant pits

3 结论与讨论

3.1 不同覆盖材料对树穴土壤物理性质的影响

目前城市绿地土壤 pH 偏高,是限制植物生长,影响土壤质量的一个重要因子^[12]。由于对树穴土壤进行不同材料的覆盖,一方面会减少雨水冲刷,降低地表径流,另一方面也会压实土壤,影响土壤通气透水状况,从而对土壤容重和孔隙度产生不同的影响。本研究表明,木片覆盖可改善树穴土壤通透性,

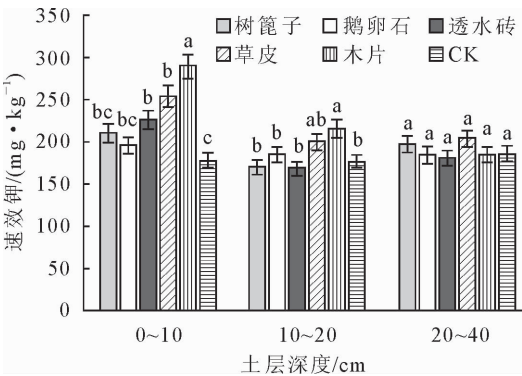


图 4 不同覆盖材料处理树穴土壤的速效钾

Fig. 4 The soil available K matter with different mulching materials in the plant pits

显著降低土壤容重,提高土壤总孔隙度,毛管孔隙度和非毛管孔隙度也有所提高,这与商侃侃^[13]的研究结果一致。木片覆盖能够增加土壤有机质,改善土壤孔隙结构,同时减轻机械碾压和人为践踏,使土质变松。透水砖覆盖由于覆盖物本身会压实土壤以及行人的践踏,导致土壤紧实,容重增加,通透性下降,这与王焕新对北京古树立地土壤的研究一致^[14]。草皮覆盖容易形成密集而有弹性的根茎层,固结表土,结成网状草皮,一定程度上可以改善土壤通透性,但改良效果不如木片覆盖^[15]。

3.2 不同覆盖材料处理对树穴土壤化学性质影响

草皮覆盖和木片覆盖可显著降低树穴表层土壤的 pH,树穴种植草皮,植物根系分泌有机酸,以及根际微生物的活动,可降低树穴土壤的 pH,与阚丽艳^[16]对马尼拉草地的研究结果一致;树穴覆盖木片,木片在分解的过程中,由于微生物活动和木片中各种腐解酸的释放,会降低土壤 pH,改善土壤的酸性^[17];透水砖覆盖土壤的 pH 有所升高,这和土壤孔隙度变化相一致,厌氧性微生物的呼吸作用导致 pH 升高^[18],土壤酸碱性升高是由于透水砖压实土壤,土层产生渍水现象,氧化还原电位降低,还原性物质积累,酸根离子被还原从而导致 pH 升高^[19]。

木片覆盖可显著提高表层土壤有机质、全氮以及速效养分的含量,这可能是因为木片作为有机覆盖物,在微生物的分解作用下进入土壤,使土壤有机质含量增加,有机质进一步分解释放各类养分,提高土壤中速效养分的含量,促进植物的生长,这与多数研究有机覆盖物对土壤养分影响的结果一致^[20]。草皮覆盖有机质含量有所增加,速效养分整体减少,草皮根系在生长过程中释放的有机物质以及死亡的根系在土壤中腐解均会增加土壤有机质的含量,但增加量较小,这与杨丽霞^[21]的研究结果一致;草皮

在自身生长过程中会吸收速效养分,导致表层土中的碱解氮和速效磷的含量下降^[22]。树篦子、鹅卵石和透水砖覆盖由于不能提供外源的有机物质加入土壤,土壤中有有机质和各速效养分的含量无显著变化。地表覆盖所引起的物质运移和生物活动主要集中在土壤的表层,随着土层的加深,这种变化在逐渐减弱,土层深度达 20 cm 以下,不同覆盖材料处理对树穴土壤理化性质无显著影响。

参考文献:

[1] 黄利斌,李荣锦,王成. 国外城市有机地表覆盖物应用研究概况[J]. 林业科技开发, 2008(6):1-8.

[2] CHALKER-SCOTT L. The informed gardener blooms again [M]. 1st ed. Seattle, WA: University of Washington Press, 2010:242.

[3] 顾兵,吕子文,梁晶,等. 绿化植物废弃物覆盖对上海城市林地土壤肥力的影响[J]. 林业科学, 2010,46(3):9-15.

GU B, LV Z W, LIANG J, et al. Effect of mulching greenery waste on soil fertility of municipal forest land from Shanghai [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(3):9-15. (in Chinese)

[4] 王成,鄧光发,彭镇华. 有机地表覆盖物在城市林业建设中的应用价值[J]. 应用生态学报, 2005,16(11):209-213.

WANG C, QIE G F, PENG Z H. Application value of organic ground surface mulch in urban forestry construction [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11):2213-2217. (in Chinese)

[5] 王欣国. 有机覆盖物及其在美国城市园林中的应用概况[J]. 广东园林, 2015(2):77-79.

WANG X G. Introductions of organic mulch and its applications in American gardens [J]. Journal of Guangdong Landscape Architecture, 2015(2):77-79. (in Chinese)

[6] 伍海兵,方海兰,彭红玲,等. 典型新建绿地上海辰山植物园的土壤物理性质分析[J]. 水土保持学报, 2012,26(6):85-90.

WU H B, FANG H L, PENG H L, et al. Soil physical properties analysis of the typical newly-established green belt of Shanghai Chenshan botanical garden. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(6):85-90. (in Chinese)

[7] CRAUL P J. Urban soil in landscape design[M]. USA: John Wiley & Sons Inc, 1992.

[8] 项建光,方海兰,杨意,等. 上海典型新建绿地的土壤质量评价[J]. 土壤, 2004(4):424-429.

XIANG J G, FANG H L, YANG Y et al. Soil quality evaluation of some typical newly-established green belts in Shanghai [J]. Soils, 2004(4):424-429. (in Chinese)

[9] 李晓燕. 京津冀地区雾霾影响因素实证分析[J]. 生态经济, 2016(3):144-150.

LI X Y. Empirical analysis of the smog factors in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Ecological Economy, 2016(3):144-150. (in Chinese)

[10] 伍海兵,李爱平,方海兰,等. 绿地土壤孔隙度检测方法及其对土壤肥力评价的重要性[J]. 浙江农林大学学报, 2015,32(1):98-103.

WU H B, LI A P, FANG H L, et al. Green-belt soil testing

methods for porosity and the importance of porosity on soil fertility evaluation[J]. Journal of Zhejiang Agricultural & Life Uninersity, 2015, 32(1): 98-103. (in Chinese)

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1999.

[12] 邹明珠, 王艳春, 刘燕. 北京城市绿地土壤研究现状及问题[J]. 中国土壤与肥料. 2012(3): 1-6.

ZOU M Z, WANG Y C, LIU Y. The status and problems of the research on Beijing urban green space soil[J]. Soil and fertilizer Sciences in China, 2012(3): 1-6. (in Chinese)

[13] 商侃侃. 不同覆盖处理对红花槭种植土壤及植株生长的影响[J]. 西北林学院学报. 2014, 29(3): 53-56.

SHANG T T. Effects of different mulches on soil properties and growth of *Acer rubrum*. [J]. Journal of northwest forestry university. 2014, 29(3): 53-56. (in Chinese)

[14] 周翔. 有机覆盖物在园林绿地中的应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.

[15] 王焕新. 改善古树立地土壤环境的复壮法效果分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2006.

[16] 戚元春, 王小德, 肖昆仑, 等. 杭州湖滨景区古樟树不同立地土壤性状分析[J]. 浙江农林大学学报. 2011, 28(2): 319-325.

QI Y C, WANG X D, XIAO K L, *et al.* Soil properties of ancient *cinnamomum camphora* at different sites in the lake-side scenic area of Hangzhou[J]. Journal of Zhejiang Agricultural & Life University, 2011, 28(2): 319-325 (in Chinese)

[17] 阚丽艳. 有机覆盖物对园林马尼拉草土壤水分、养分、微生物的影响及肥力综合评价[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版. 2016, 34(4): 76-83.

KAN L Y. Effect of organic mulch on soil moisture, nutrients, microorganisms in *zoysia matrella* and comprehensive assessment of soil fertility [J]. Shanghai Jiao Tong University: Natural Science Edition, 2016, 34(4): 76-83. (in Chinese)

[18] 阚丽艳, 奚霄松, 何晓颖, 等. 有机覆盖物对城市园林植物土壤养分状况的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版. 2014, 32(1): 79-88.

KAN L Y, XI X S, HE X Y, *et al.* Effect of organic mulch on soil nuteient status in urban landscape plants [J]. Shanghai Jiao Tong University: Natural Science Edition, 2014, 32(1): 79-88. (in Chinese)

[19] SUN L, CHEN S, CHAO L, *et al.* Effects of flooding on changes in Eh, pH and speciation of cadmium and lead in contaminated soil. [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2007, 79(5): 514.

[20] 王明, 张晴雯, 杨正礼, 等. 宁夏引黄灌区干湿交替过程中土壤 pH 的动态变化及影响因素[J]. 核农学报. 2014, 28(4): 720-726.

WANG M, ZHANG Q W, YANG Z L, *et al.* Soil pH changes in the paddy field during the drying and rewetting cycles in the ningxia irrigation area of the Yellow River basin[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2014, 28(4): 720-726. (in Chinese)

[21] SSALI H, MCINTYRE B D, GOLD C S, *et al.* Effects of mulch and mineral fertilizer on crop, weevil and soil quality parameters in highland banana. [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2003, 65(2): 141-150.

[22] 陈彦君, 王德炉, 丁波. 不同有机物覆盖对兔眼蓝莓土壤理化性质的影响[J]. 西北林学院学报. 2016, 31(6): 78-82.

CHEN Y J, WANG D L, Ding B, *et al.* Effects of different organic matter mulching on soil physicochemical properties of rabbiteye blueberry. [J]. Journal of northwest forestry university. 2016, 31(6): 78-82. (in Chinese)

[23] 杨丽霞, 陈少锋, 安娟娟, 等. 陕北黄土丘陵区不同植被类型群落多样性与土壤有机质、全氮关系研究[J]. 草地学报. 2014, 22(2): 291-298.

YANG L X, CHEN S F, AN J J, *et al.* Relationships among community diversity and soil organic matter, total nitrogen under different vegetation types in the gully region of loess region[J]. Acta Agrestia Sinica, 2014, 22(2): 291-298. (in Chinese)

[24] 陈玉娟. 有机覆盖物对城市绿地土壤的影响[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.