

高速公路临时用地对土壤质量的综合影响

袁中友¹, 吴家龙², 刘 春³, 代金君², 袁嘉铭², 戴 军^{2†}

(1. 华南农业大学公共管理学院, 510642, 广州; 2. 华南农业大学资源环境学院, 510642, 广州;
3. 广东省公路建设有限公司, 510600, 广州)

摘要: 为了有效对高速公路工程建设损毁临时用地进行复垦利用和生态重建, 利用 t 检验和主成分分析法, 对施工营地、施工便道、弃土场、拌和站和取土场 5 类临时用地土壤质量的变化, 以及 5 类临时用地之间土壤质量差异进行研究。结果表明: 取土场土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷质量分数和酶活性最低, 土壤酸化严重; 施工营地土壤有机质、全氮、碱解氮和速效磷质量分数和酶活性最高; 拌和站土壤密度和紧实度最大, 田间持水量最小; 弃土场土壤密度和紧实度最小, 速效钾养分质量分数最高; 施工便道土壤各指标在 5 类用地中, 均处于中间水平 ($P < 0.05$)。土壤有机质、速效磷以及氮素等养分缺乏, 土壤酶活性降低, 是引发弃土场、取土场的土壤质量下降的主要原因; 土壤紧实度、密度增大, 孔隙度减小及田间持水量的降低是导致施工便道、拌和站和施工营地土壤质量下降的主要因素。不同类型临时用地土壤质量差异极显著 ($P < 0.001$), 在临时用地复垦和生态重建中, 应采取针对性的土壤改良措施。主成分分析是损毁土地土壤综合质量诊断分析的有效研究方法。该研究可为工程建设损毁土地的复垦利用、生态重建及水土流失治理提供理论依据。

关键词: 高速公路临时用地; 土地复垦; 土壤理化性质; 土壤酶活性; 主成分分析

中图分类号: S156.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2673(2018)02-0111-08

DOI: 10.16843/j.sswc.2018.02.015

Comprehensive effects of temporary used land in expressway construction on soil quality

YUAN Zhongyou¹, WU Jialong², LIU Chun³, DAI Jinjun², YUAN Jiaming², DAI Jun²

(1. College of Public Management, South China Agricultural University, 510642, Guangzhou, China;

2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, 510642, Guangzhou, China;

3. Guangdong Province Highway Construction Co., Ltd, 510600, Guangzhou, China)

Abstract [Background] Expressway construction will temporarily occupy and destroy part of the land, and bring damage to land resources, such as soil erosion and other resources and environmental problems. Compared with natural soil, the soil quality of temporary used land becomes worse; moreover, only basic physical and chemical properties are considered in the restoration, and neither the enzyme activity index, nor the correlation among affecting factors. Thus ecological restoration and reclamation of those temporary lands are not so effective. **[Methods]** In order to effectively reclaim and ecologically restore the temporary land damaged by Jianglou expressway engineering construction in Guangdong Province, the T test and Principal Component Analysis (PCA) via SPSS 17.0 SAS 9.0 software were used to study the changes of soil quality in 5 kinds of temporary used land, such as pioneer road, mixing

收稿日期: 2017-05-22 修回日期: 2017-11-27

项目名称: 广东省交通运输厅科技项目“高速公路建设土地破坏防控与复垦利用研究”(科技-2012-02-064)

第一作者简介: 袁中友(1974—)男,博士,副教授。主要研究方向: 土地整治,耕地保护。E-mail: yuanzhongyou@scau.edu.cn

†通信作者简介: 戴军(1958—)男,博士,教授。主要研究方向: 土壤修复和土壤生态。E-mail: jundai@scau.edu.cn

station construction camp, spoil ground and borrow pit, as well as the difference of soil quality among 5 temporary lands. **[Results]** 1) The soil organic matter, total nitrogen (N), available N, phosphorus (P) and enzyme activities (soil invertase, urease, acid phosphatase, and catalase) in the soil from borrow pit were the lowest, and the soil acidification was also the most severe. 2) The soil damaged by construction camp had the highest organic matter, total N, available N and P. 3) The highest soil bulk density and compaction, the porosity and field capacity in the soil from the mixing station were the lowest. 4) The spoil ground soil had the lowest soil bulk density and minimum compaction, lower organic matter content, total N, available N and P, but the highest available K. 5) The higher level of soil organic matter content and other nutrient content was found in the soil from pioneer road, while soil bulk density and soil porosity, moisture content and field capacity were lower in this soil ($P < 0.05$). The differences in the soil quality among the soils affected by different use of highway temporary construction were extremely significant ($P < 0.001$). **[Conclusions]** Lack of organic matter, total N, available N, P content and the decrease of enzyme activities are the major limiting factors for land reclaim and ecological restoration of soils from borrow pit and spoil ground. The increased compaction and soil bulk density, and decreased porosity and field capacity are the major limiting factors for the land reclaim and ecological restoration of soils from construction camp, mixing station and pioneer road. PCA reveals that the comprehensive quality of soils from borrow pit and spoil ground is significantly different from that of soils from the other three sites. Targeted measures for soil improvement should be taken to temporary land. PCA is a robust tool to distinguish the properties of soils under different temporary construction land and to explore the key factors of soil amelioration. The study provides a theoretical basis for reclaim, ecological restoration and soil erosion control in land damaged by engineering.

Keywords: temporary used land in expressway construction; land reclamation; soil physicochemical properties; soil enzyme activities; principal component analysis

高速公路主体工程建设会临时占用和损毁部分土地,并带来土地资源损毁、水土流失等资源环境问题。根据《土地复垦条例》等法律法规的要求,需要对损毁土地进行生态重建和复垦利用,但因工程建设对占用土地土壤性状造成了严重破坏,致使绝大部分被占用和损毁土地都未得到有效利用^[1],导致因高速公路建设引发的水土流失问题日益严重,也加剧了建设中土地资源的供求矛盾。

土壤条件关系到土地复垦的成败,土壤改良是土地复垦和生态重建的核心工作^[2]。土壤质量评价能为土壤改良提供基本信息。土壤密度和孔隙度、土壤 pH 和有机质、土壤的氮、磷、钾质量分数等理化指标,是土壤质量评价的重要内容^[3]。酶活性是土壤微生物性状和土壤理化条件^[4]的综合表征,在土壤质量评价中被广泛使用。研究表明,与自然土壤相比,临时用地土壤质量变差^[5-7]是造成土地复垦利用和植被恢复效果不佳的主要原因;因此,需要探寻影响临时用地复垦利用的主要土壤因子,以采取有针对性的土壤改良措施。但当前研究主要用方差分析法,对比研究临时用地土壤基本理化性状与

区域自然土壤的差异^[5-6],较少引入酶活性指标进行研究。特别是当评价变量较多时,变量间的相互关系在一定程度上,也影响对土壤质量主要因子的分析判断,导致土壤改良措施缺乏针对性,影响土地复垦和生态重建的效果。

笔者以在建的江门—罗定高速公路(以下简称“江罗高速”)临时用地为对象,在 t 检验和方差分析的基础上,用主成分分析法研究临时用地损毁后,土壤理化性状和酶活性的变化,以及不同临时用地土壤质量的差异,揭示临时用地土壤质量的变化特征及引发其质量变化的主要因子,为工程建设损毁土地的复垦利用、生态重建及水土流失治理提供理论依据。

1 研究区概况

“江罗高速”位于广东省江门市和云浮市境内($E 112^{\circ}1'18'' \sim 112^{\circ}10'30''$, $N 22^{\circ}43'40'' \sim 22^{\circ}46'50''$)。工程沿线属亚热带季风气候,年均温 $22.0 \sim 24.4^{\circ}\text{C}$,年降雨量 $1\,380 \sim 1\,517\text{ mm}$,年日照时间 $1\,719 \sim 2\,430\text{ h}$;地貌以低山丘陵为主;土壤以

沉积岩和岩浆岩风化物发育而成的赤红壤为主,土壤黏土矿物以高岭石为主,酸性强,养分质量分数一般较低,表层砂化普遍。

2 材料与方法

2.1 样地选取及土样采集

“江罗高速”占用和损毁的临时用地面积约为87.84 hm²,主要为施工营地、施工便道、试验室、取土场、弃土场、弃渣场、拌和站、预制场、制梁场、料场及钢筋加工厂等占用和损毁。按损毁及占用的方式,可以把临时用地分为5类,包括施工营地(实验室)、施工便道、拌和站(预制场、制梁场、钢筋加工厂和料场等)、取土场和弃土场(弃渣场)。

选取自然条件、土壤类型和质地等大致相同的第10~11标段,15个临时用地作为研究样地,按随机多样点混合原则,在每个样地选取约10 m²范围内的5点,用四分法采集0~20 cm深度土壤层样品。在每一样地周围,选择与占用和损毁前土地利用类型、土壤类型及成土母质相同的地块,采集对照样品。采集到的土样,在室温下自然风干,用土壤研磨仪磨碎过筛,保存备用。另外,在相同样地内,用 ϕ 100环刀取5~10 cm深度土层的土样,测定密度和孔隙度。

2.2 分析测定

2.2.1 物理性质测定 土壤颜色是用门赛尔比色卡法在采样时现场测定;环刀法测土壤密度和孔隙度;威尔科克斯法测田间持水量;紧实度用土壤硬度仪测定。

2.2.2 化学性质测定 用pH计电位法(1:2.5土水比)测土壤pH值;重铬酸钾容量法测有机质;开氏消煮法测全氮;碱解扩散法测碱解氮;Olsen法测速效磷;NH₄OAc浸提-火焰光度法测速效钾。酶活性测定用硫代硫酸钠容量法测转化酶;高锰酸钾容量法测过氧化氢酶;苯酚钠比色法测脲酶;磷酸苯二钠比色法测磷酸酶。

2.3 数据处理

用SPSS 17.0软件,对临时用地损毁土壤与对照土壤进行配对样本 t 检验;用SAS 9.0软件进行方差分析和多重比较(DMRT),比较对照土壤与临时用地损毁土壤性质的差异,以及不同类型临时用地之间土壤性质的差异;用R(ADE-4)软件进行主成分分析。图表中的数据均是各测定数据的平均值 \pm 标准误。

3 结果分析

3.1 临时用地土壤物理性质的变化

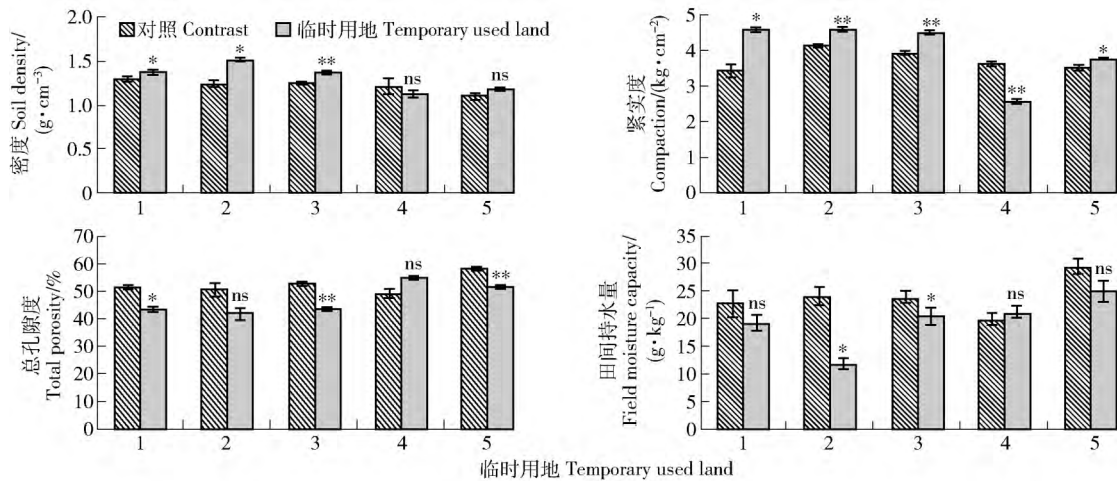
3.1.1 土地利用方式、植被覆盖和土壤颜色的变化 与对照用地相比,临时用地土地利用方式、植被覆盖和土壤颜色等都发生较大变化。土地利用方式从农业用的林地、园地和耕地等,变为高速公路工程建设需要的施工营地、拌和站、施工便道、弃土场和取土场等。土地上原有的植被覆盖全部消失或破坏,地表被压实,或者被硬化。土壤颜色大多较原土变浅,从以灰褐色为主色调变为以红色为主色调。腐殖质层被剥离,或者被掩埋,许多土层没有发生学上的联系;半风化的岩石碎屑、砾石以及其他固体碎屑状物质等侵入土壤,物质组成变复杂。

3.1.2 土壤密度、紧实度、总孔隙度和田间持水量的变化 因施工机械碾压、材料堆压和人们踩踏等原因,施工便道、拌和站和施工营地土壤密度和紧实度显著增加,总孔隙度和田间持水量显著降低。与对照用地相比,施工便道、拌和站、施工营地和取土场土壤密度分别增加7.16%、22.02%、9.28%和6.92%,紧实度分别增加33.92%、11.20%、14.50%和6.95%;但孔隙度分别降低16.46%、17.68%、17.73%和11.62%,田间持水量分别降低15.03%、51.19%、14.04%和14.78%。因弃土场土壤主要为经过机械和人工松翻土壤的简单堆砌,与对照用地相比,密度和紧实度显著降低,分别降低7.8%和28.97%;但孔隙度和田间持水量显著增加,分别增加11.55%和6.47%($P < 0.05$,图1)。

3.2 临时用地土壤化学性质的变化

3.2.1 土壤pH值和有机质质量分数的变化 与对照用地相比,除弃土场土壤pH值变化显著($P < 0.05$,图2)外,其他4类临时用地pH值变化均不显著;但拌和站、施工营地、弃土场和取土场土壤pH值较对照分别上升5.49%、6.55%、14.38%和2.54%。与对照用地相比,可能因为富含有机质的表层土壤被移走、掩埋等原因,除施工便道外,其他4类临时用地的土壤有机质的质量分数都显著降低($P < 0.05$,图2),5类临时用地土壤有机质的损失量都超过对照用地土壤的50%,分别达到54.94%、51.30%、57.60%、71.69%和78.34%。

3.2.2 土壤全氮、碱解氮、速效磷和速效钾质量分数的变化 与对照用地相比,除施工便道外,拌和站、施工营地、取土场和弃土场土壤全氮和碱解氮质量分数变化显著。可能由于机械和人工扰动,



1: 施工便道 Pioneer road; 2: 拌和站 Mixing station; 3: 施工营地 Construction camp; 4: 弃土场 Spoil ground; 5: 取土场 Borrow pit; ns: 差异不显著 denotes no significant difference; *: 差异显著 denotes significant difference; **: 差异极显著 denotes extremely significant difference. 以下类同。The same below.

图 1 临时用地土壤密度、紧实度、总孔隙度和田间持水量的变化

Fig. 1 Changes of soil density, soil compaction, soil porosity, and soil field capacity on the temporary used land

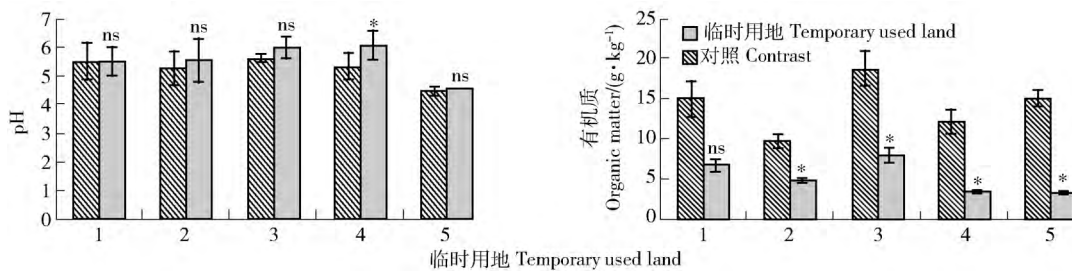


图 2 临时用地土壤 pH 值和有机质质量分数的变化

Fig. 2 Changes of soil pH and soil organic matter on the temporary used land

导致土层混乱、表层土壤被掩埋等原因,土壤全氮质量分数全都降低,施工便道、拌和站、施工营地土壤分别降低 23.83%、33.54%、和 40.34%,弃土场和取土场土壤全氮损失量都超过 50%,分别达到 66.73% 和 71.51%。土壤碱解氮质量分数也有所降低,施工便道、拌和站和施工营地土壤碱解氮分别降低 14.08%、51.19% 和 47.03%,弃土场和取土场土壤碱解氮损失量高达 76.84% 和 79.11%。5 类临时用地的土壤速效磷质量分数均显著降低 ($P < 0.05$, 图 3),取土场和施工营地土壤速效磷质量分数分别减少 9.25% 和 44.24%,施工便道、拌和站和弃土场 3 类临时用地的土壤速效磷质量分数损失量,分别高达 68.97%、78.91% 和 67.94%。但拌和站、施工营地和弃土场 3 类临时用地的土壤速效钾质量分数,分别增加 14.45%、70.03% 和 8.26%。

3.3 临时用地土壤酶活性的变化

与对照用地相比,拌和站和取土场 2 类临时用地的土壤转化酶活性变化显著 ($P < 0.05$, 图 4),5

类临时用地土壤转化酶活性较对照用地均有所降低,施工便道、拌和站、施工营地和弃土场分别降低 5.88%、43.58%、14.36% 和 30.89%,取土场土壤转化酶活性降低高达 76.98%;除施工营地外,其他 4 类临时用地土壤脲酶活性均显著降低 ($P < 0.05$, 图 4),施工便道、拌和站、施工营地、弃土场和取土场土壤脲酶活性分别降低 14.86%、49.64%、30.02%、52.36% 和 23.46%;拌和站、弃土场和取土场 3 类临时用地土壤酸性磷酸酶活性显著降低 11.27%、69.38% 和 91.13% ($P < 0.05$, 图 4),施工便道和施工营地土壤酸性磷酸酶活性变化不显著,但均较对照用地有所降低,分别降低 9.40% 和 68.03%;5 类临时用地的土壤过氧化氢酶活性变化均不显著,但均较对照用地有所降低,分别降低 21.00%、22.23%、3.10%、20.62% 和 31.47%。

3.4 对临时用地土壤质量变化的主成分分析

对临时用地和对照用地土壤质量的主成分分析结果显示,第 1、2 主成分变量累积贡献率为 65.51%,14 个变量的大部分信息均可由其体现。

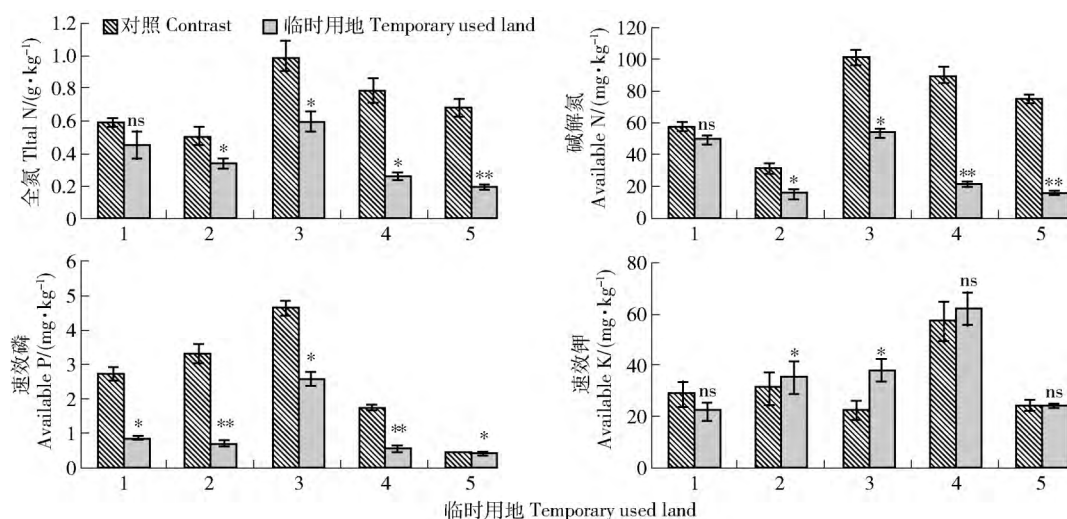


图3 临时用地土壤全氮、碱解氮、速效磷和速效钾质量分数的变化

Fig. 3 Changes of soil total nitrogen (N), available N , available phosphorus (P) and available Kalium (K) on the temporary used land

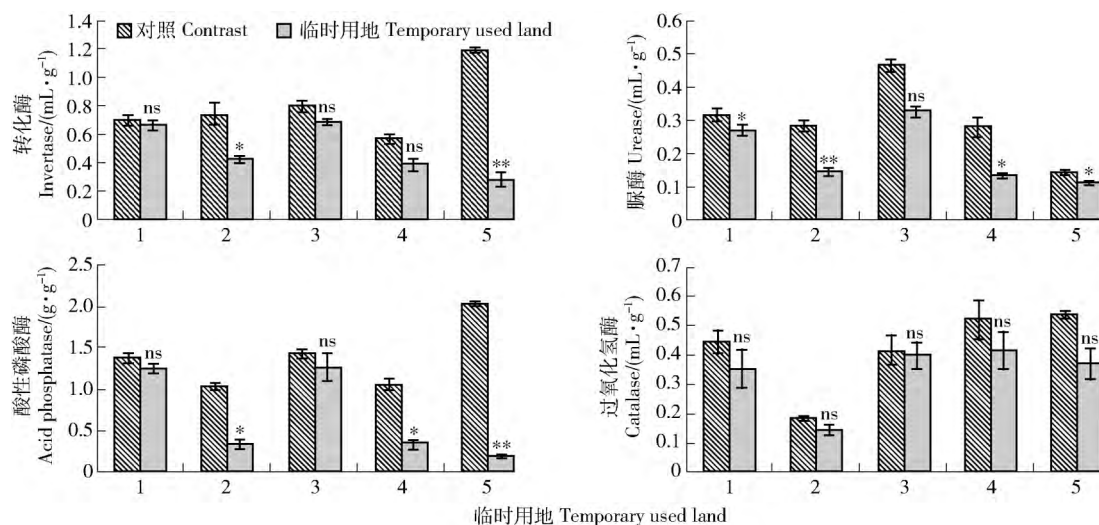


图4 临时用地土壤转化酶、脲酶、酸性磷酸酶和过氧化氢酶活性的变化

Fig. 4 Activity changes of soil invertase , urease , acid phosphatase , and catalase on the temporary used land

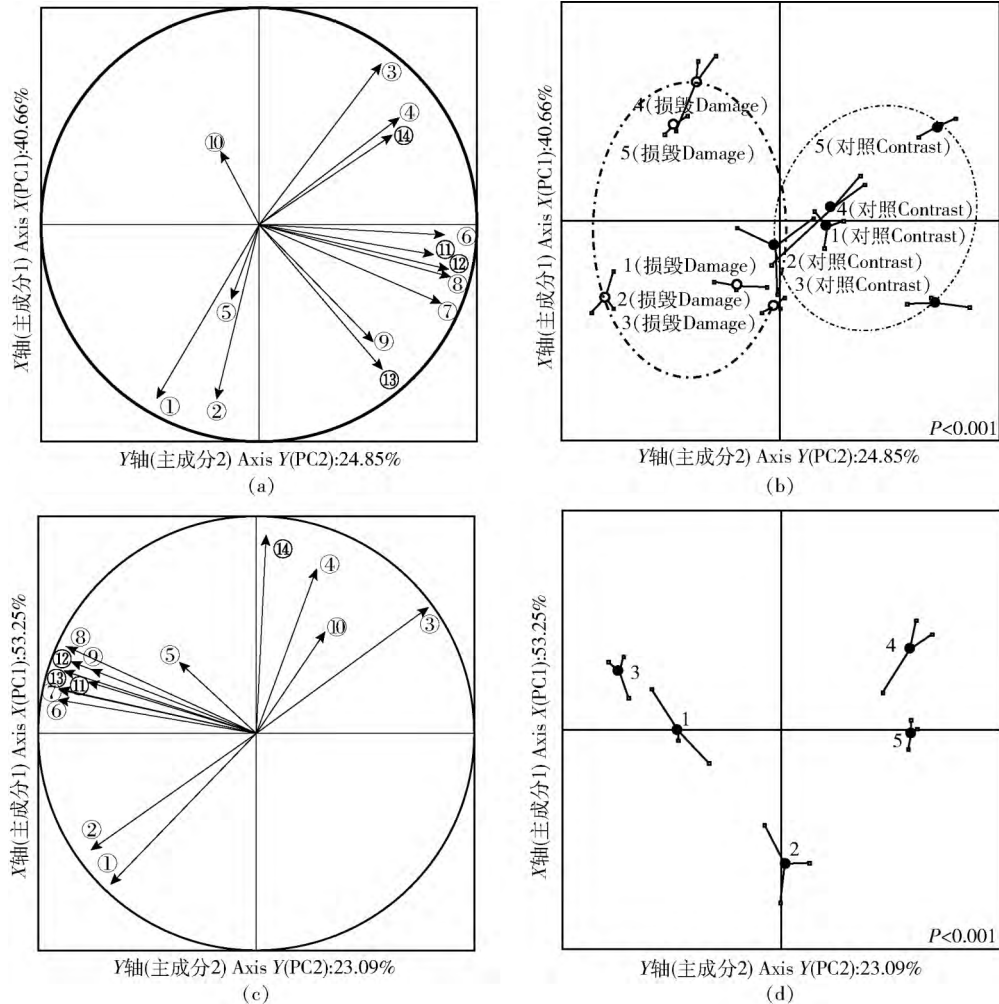
其中,第1主成分(PC1)变量累积贡献率为40.66%,主要与表征土壤物理性质的田间持水量,表征土壤化学性质的有机质、全氮、碱解氮和速效磷,以及表征土壤酶活性的酸性磷酸酶、转化酶、过氧化氢酶和脲酶等变量密切相关(图5a),受其影响,对照用地与临时用地样点空间分布差异极显著($P < 0.001$,图5b)。损毁后,各临时用地样点显著向总孔隙度和田间持水量减小,有机质、全氮、碱解氮和速效磷质量分数降低,酸性磷酸酶、转化酶、过氧化氢酶和脲酶活性减弱方向偏移。第2主成分(PC2)变量累积贡献率为24.85%,主要与表征土壤物理性质的密度、紧实度和总孔隙度等变量有关(图5a)。受其影响,施工营地、施工便道和拌和站3类临时用地样点,显著向密度和紧实度增大,孔隙

度和田间持水量减弱方向偏移(图5b)。表明施工营地、施工便道和拌和站较弃土场和取土场土壤密度、紧实度、总孔隙度和田间持水量等物理性状损毁更加严重。

为区分不同类型临时用地土壤质量的差异,对不同类型临时用地土壤质量进行主成分分析。结果显示:第1、2主成分变量累积贡献率为76.34%,不同类型临时用地14个变量大部分信息均可由其体现。其中,第1主成分变量累积贡献率为53.25%,主要与密度、紧实度、总孔隙度、有机质、全氮、碱解氮、速效磷、脲酶、转化酶和酸性磷酸酶活性等变量密切相关(图5c),不同临时用地土壤质量差异主要由这些变量决定。受第1主成分变量的影响,5类临时用地样点土壤质量差异极显著($P < 0.001$,图

5d) 取土场和弃土场土壤质量更相近,更偏向土壤有机质和养分质量分数降低、酶活性减弱方向,表明有机质、氮、磷、钾等质量分数降低和酶活性减弱,是造成取土场和弃土场土壤质量下降的原因。施工营地和施工便道土壤质量更相近,更偏向土壤总孔隙度降低,密度和紧实度增加的方向,表明土壤物理性状恶化,是施工便道和施工营地土壤质量下降的主要原因。

要原因。第 2 主成分变量累积贡献率为 23.09%, 主要与田间持水量和过氧化氢酶活性等变量关系密切(图 5c), 拌和站受第 2 主成分变量的影响较大, 显著向密度和紧实度增大,总孔隙度和田间持水量减小,酶活性减弱方向偏移(图 5d)。表明土壤酶活性降低、物理性质恶化,是拌和站土壤质量下降的主要原因。



①密度 Soil density; ②紧实度 Soil compaction; ③总孔隙度 Soil total porosity; ④田间持水量 Soil field moisture capacity; ⑤pH; ⑥有机质 Soil organic matter; ⑦全氮 Soil total nitrogen; ⑧碱解氮 Available N; ⑨速效磷 Available P; ⑩速效钾 Available K; ⑪转化酶 Invertase; ⑫酸性磷酸酶 Acid phosphatase; ⑬脲酶 Urease; ⑭过氧化氢酶 Catalase.

图 5 不同类型临时用地土壤综合质量差异主成分分析结果

Fig. 5 Principal component analysis results of differences among comprehensive soil qualities under different temporary used lands

4 讨论

4.1 临时用地土壤理化性状和酶活性的变化

与对照用地土壤相比,临时用地土壤物理性质多产生显著变化。土地被临时占用后,因高速公路工程建设,需要对土地进行挖方和填方;同时,又有

大量的工程垃圾需要丢弃,这些挖填和弃土(渣)活动都会造成地表原有植被被挖损或被掩埋^[8],改变土壤原来的结构,扰乱原有土壤的发育层次和结构,有机质和腐殖质层被剥离或掩埋,导致土壤颜色变浅^[7]。由于高标准道路建设的需要,临时用地多被压实或硬化^[9],使得施工便道、拌和站和施工营地

土壤密度和紧实度显著增大,孔隙度减小,田间持水量显著降低。此外,高速公路工程建设过程中,各种机械碾压以及其他人为活动,都会导致临时占用土地土壤被压实或板结^[10],致使临时用地土壤紧实度增加^[11],密度增大^[5,7,10],田间持水量降低^[11]。

与对照用地土壤相比,高速公路临时用地土壤有机质、土壤氮素和土壤速效磷等养分质量分数急剧降低。已有研究表明,临时用地土壤有机质不足,普遍缺氮,严重缺磷,部分缺钾,氮磷钾比例严重失调^[6]。土壤有机质和养分质量分数降低,是因为工程建设损毁了土壤富含有机质的表土层,而新土多由底层心土以及半风化残积土组成,有机质等养分质量分数减少。土地利用方式的变化,同样会导致土壤有机质及氮素质量分数的变化^[12]。损毁后土壤pH值有所增大,这与余海龙等^[5]研究结果一致。土壤碱性增强,可能与石灰、水泥等碱性建筑材料,在高速公路建设过程中,混入表层土壤有关^[13]。研究发现5类临时用地土壤钾元素质量分数变化不大,甚至有所增加。这是因为土壤钾质量分数与成土母质密切相关,且主要来源于成土母质,而临时用地土壤因工程建设中,挖填活动混入了大量母质风化土,所以临时用地土壤钾质量分数大多保留原成土母质的特性^[7,12]。

与对照用地土壤相比,临时用地土壤转化酶、酸性磷酸酶、脲酶和过氧化氢酶活性都显著降低。原因在于土壤酶活性与土壤结构等理化性质密切相关^[14]。已有研究表明,土壤酶活性与土壤孔隙度呈正相关关系,与土壤密度显著负相关,土壤孔隙度越小,密度越高,土壤的酶活性越低^[15];土壤酶活性与土壤田间持水量正相关,土壤田间持水量越高,土壤酶活性越大^[16];土壤紧实度会影响土壤转化酶、脲酶、过氧化氢酶和磷酸酶的活性,紧实度变大,会导致酶活性降低^[17];土壤有机质、氮素和速效磷质量分数与脲酶、酸性磷酸酶和过氧化氢酶活性显著正相关^[16,18],酶活性会随土壤中碳、氮和磷质量分数增加而变大^[18]。土地被用作临时用地后,土壤理化性状普遍恶化,致使酶活性都显著降低。

4.2 不同类型临时用地土壤质量的差异

高速公路5类临时用地土壤质量差异极显著。拌和站、施工营地和施工便道3类临时用地,相对于取土场和弃土场这2类临时用地,土壤密度和紧实度较大,孔隙度和田间持水量较小。原因在于拌和站、施工便道和施工营地为修建高速公路的施工准备场地,地面多被压实或硬化,致使土壤密度增大、

紧实度增强。此外,施工过程中,反复的人踩车压及材料堆放等,也会导致土壤被压实,致使土壤密度和紧实度增大,结构被破坏,孔隙度减小^[10],田间持水量降低。而取土场和弃土场仅为取土、弃土和弃渣所用,因而其土壤密度和紧实度相对较低,孔隙度相对较大。拌和站、施工营地和施工便道这3类临时用地的土壤有机质、氮素和速效磷等养分质量分数,较取土场和弃土场这2类临时用地土壤高,原因在于拌和站、施工营地和施工便道虽然部分破坏了地表植被,但并没有完全改变土壤的可耕层和肥力^[19],而弃土场和取土场彻底破坏了原有土地植被、表土和可耕层,特别是取土场土壤耕层等表层土壤被彻底移除,所剩土壤多是一些心土或母质,土壤非常贫瘠^[7]。已有研究表明,土壤酶活性与土壤理化性质密切相关,因不同类型临时用地土壤理化性质差异较大,导致土壤酶活性也产生较大差异,致使不同类型临时用地土壤质量呈显著差异。

5 结论

1) 与对照用地土壤相比,5类临时用地土壤质量都显著降低。土地被用作高速公路工程建设临时用地后,土地利用方式彻底改变,工程建设活动改变了原有土壤的结构和层次,土壤密度等物理性状急剧恶化,土壤有机质和速效养分质量分数迅速减少、肥力降低,酶活性减弱,土壤综合质量下降。

2) 受占用和损毁方式的影响,5类临时用地之间土壤质量差异显著。相对而言,土壤肥力下降,土壤酶活性减弱是取土场和弃土场这2类临时用地土壤质量下降的主因。土壤密度等物理性质恶化,是拌和站、施工营地和施工便道这3类临时用地土壤质量下降的主因。因此,在高速公路临时用地复垦利用和土壤管理中,要注意保护临时用地的表土层,科学重构土壤物理层次和结构;同时,适当施用氮肥、磷肥和有机肥等,以促进损毁土壤综合肥力的提高。此外,应根据损毁和占用方式的不同,对不同临时用地采取针对性的土壤改良、复垦利用和水土保持措施。

6 参考文献

- [1] 袁中友,郭彦彪,李强,等. 有机无机肥配施对生态重建先锋植物类芦生长的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5): 302.
YUAN Zhongyou, GUO Yanbiao, LI Qiang, et al. Effects of organic-inorganic fertilizer application on pioneer plant *Neyraudia reynaudiana* on ecological restora-

- tion[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(5): 302.
- [2] 胡振琪, 魏忠义, 秦萍. 矿山复垦土壤重构的概念与方法[J]. 土壤, 2005, 37(1): 8.
HU Zhengqi, WEI Zhongyi, QIN Ping. Concept of and methods for soil reconstruction in mined land reclamation[J]. Soils, 2005, 37(1): 8.
- [3] VELASQUEZ E, LAVELLE P, ANDRADE M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(12): 3066.
- [4] SINSABAUGH R L, HILL B H, FOLLSTAD SHAH J J. Ecoenzymatic stoichiometry of microbial organic nutrient acquisition in soil and sediment[J]. Nature, 2009, 462(7274): 795.
- [5] 余海龙, 顾卫, 姜伟, 等. 高速公路路域土壤质量退化演变的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 195.
YU Hailong, GU Wei, JIANG Wei, et al. Research on soil quality degradation changes in expressway road area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(4): 195.
- [6] 陈友光, 陈振雄, 柯玉诗, 等. 广东地区高速公路边坡生态防护的土壤肥力调查与改良对策[J]. 公路, 2008(6): 200.
CHEN Youguang, CHEN Zhenxiong, KE Yushi, et al. Guangdong area highway slope ecological protection of investigation and soil fertility improvement countermeasures[J]. Highway, 2008(6): 200.
- [7] 田红卫, 黄志荣, 高照良, 等. 高速公路路域土壤特性分析及其质量评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 59.
TIAN Hongwei, HUANG Zhirong, GAO Zhaoliang, et al. Assessment of soil properties and quality of the free-way in road area of highway[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(5): 59.
- [8] 刘建芬. 公路铁路建设损毁土地复垦分析[J]. 中国土地, 2011(9): 11.
LIU Jianfen. Analysis of land reclamation on highway and railway construction[J]. China Land, 2011(9): 11.
- [9] 金晓斌, 周寅康, 汤小櫓, 等. 高速铁路建设临时用地土地破坏特征与复垦利用决策研究: 以京沪高速铁路常州段为例[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1070.
JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, TANG Xiaolong, et al. Land destruction features and reclamation decision for temporary construction land in high-speed railway: A case study in Changzhou section of Beijing-Shanghai high speed railway[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(7): 1070.
- [10] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤的特性及其管理[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 206.
LU Ying, GONG Zitong, ZHANG Ganlin. Characteristics and management of urban soils[J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(2): 206.
- [11] 杨金玲, 汪景宽, 张甘霖. 城市土壤的压实退化及其环境效应[J]. 土壤通报, 2004, 35(6): 688.
YANG Jinling, WANG Jingkuan, ZHANG Ganlin. The compaction degradation of urban soil and its environmental impacts[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(6): 688.
- [12] 卓慕宁, 李定强, 朱照宇. 城乡结合部开发建设扰动土壤质量变化特征[J]. 土壤, 2008, 40(1): 61.
ZHUO Muning, LI Dingqiang, ZHU Zhaoyu. Changes in soil quality of disturbed soil in para-urban region as affected by exploitation and construction[J]. Soils, 2008, 40(1): 61.
- [13] 张家洋, 王书丽, 祝遵凌, 等. 宁淮盐高速公路沿线湿地土壤理化因子差异性分析[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(4): 95.
ZHANG Jiayang, WANG Shuli, ZHU Zunling, et al. Difference analysis of the soil physicochemical factors in wetland along the Ning-Huai-Yan expressway[J]. Journal of northeast Forestry University, 2013, 41(4): 95.
- [14] ASKARI M S, CUI J, O ROURKE S M, et al. Evaluation of soil structural quality using VIS-NIR spectra[J]. Soil and Tillage Research, 2015(146): 108.
- [15] 和文祥, 谭向平, 王旭东, 等. 土壤总体酶活性指标的初步研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1232.
HE Wenxing, TAN Xiangdong, WANG Xudong, et al. Study on total enzyme activity index in soils[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(6): 1232.
- [16] 刘艳, 王成, 彭镇华, 等. 北京市崇文区不同类型绿地土壤酶活性及其与土壤理化性质的关系[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(4): 66.
LIU Yan, WANG Cheng, PENG Zhenhua, et al. Soil enzyme activity and its relationship with soil physico-chemical properties in green areas of Chongwen district of Beijing[J]. Journal of northeast forestry university, 2010, 38(4): 66.
- [17] 张国红, 张振贤, 黄延楠, 等. 土壤紧实程度对其某些相关理化性状和土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1094.
ZHANG G H, ZHANG Z X, HUANG Y N, et al. Effect of compaction on soil properties and soil enzyme activities[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(6): 1094.
- [18] 薛冬, 姚槐应, 何振立, 等. 红壤酶活性与肥力的关系[J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1455.
XUE D, YAO H Y, HE Z L, et al. Relationships between red soil enzyme activity and fertility[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(8): 1455.
- [19] 胡珊, 鲁亚义. 高速公路土地复垦设计的思考与实践[J]. 公路, 2003(2): 80.
HU Shan, LU Yayi. Thinking and practicing for recovering land design of expressway[J]. Highway, 2003(2): 80.