农业环境科学学报 2008,27(2):627-635
Journal of Agro-Environment Science

管道工程建设对沿线地区农业土壤养分的影响
——以西气东输冀宁联络线为例

许申来[1,2], 陈利顶[1], 陈 忱[3], 黄 勇[3], 张镀光[3]

(1. 中国科学院生态环境中心城市与区域国家重点实验室, 北京 100085;2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;3. 国家环境保护总局环境工程评估中心, 北京 100012)

摘 要:通过对西气东输冀宁联络线具有代表性的19个样点的作业带和非作业带土壤养分状况监测对比,并在此基础上计算工程对土壤的养分干扰指数和土壤养分表底层分布干扰指数, 分析工程施工对农田土壤养分含量影响以及对土壤养分的干扰强度,为工程建设后的土壤环境恢复提供理论依据。结果表明:(1)对于土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷而言,非作业带的含量低于作业带,说明工程施工导致了有机质、全氮、碱解氮、速效磷含量的降低。(2)对全磷、全钾、速效钾含量而言,非作业带的含量和作业带差异不大,说明工程施工对全磷、全钾、速效钾含量影响较小。(3)就土壤养分含量干扰强度而言,工程施工对全氮、碱解氮、速效磷和有机质干扰较大;对全磷、全钾、速效钾含量干扰较小。(4)就土壤养分表底层分布干扰强度而言,施工对有机质、碱解氮、全氮和速效磷干扰较大;对全磷、全钾和速效钾干扰较小。(5)施工对于土壤养分表底层分布干扰趋势与对养分含量的干扰趋势基本相同。施工对土壤养分表底层分布干扰强度高于对土壤养分含量干扰强度。为减缓工程施工对土壤养分产生的不利影响,结合施工特点本文在管道开挖、回填、泥浆池处理、地貌恢复、土壤养分恢复方面提出了相应建议。

关键词:西气东输冀宁联络线;工程建设;土壤养分;干扰指数
中图分类号:X825 **文献标识码**:A **文章编号**:1672-2043(2008)02-0627-09

The Impact of Construction on Agricultural Soil Nutrients in the Ji-Ning Section of Gas Pipeline Project from West to East

XU Shen-lai[1,2], CHEN Li-ding[1], CHEN Chen[3], HUANG Yong[3], ZHANG Du-guang[3]

(1. State Key Laboratory of Urban and Region Ecology, Research Center For Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Appraisal Center For Environment & Engineering of State Environmental Protection Administration, Beijing 100012, China)

Abstract: In the section of Ji-Ning along the gas pipeline of the project from West to East, 19 soil samples were taken from representative spots both in operational region and in non-operational region to evaluate the influence of the construction of the project on soil nutrients. The disturbance index of the impact of construction on soil was developed to evaluate the difference of intensity of the impact on soil nutrients. The results show that (1) for soil organic matter, soil total N, hydro-soluble-N and available P, their contents in operational region was lower than that in non-operational region; (2) for soil total P, soil total K and available K, their contents in operational region was no more than that in non-operational region; (3) The disturbance index in the content of soil organic matter, soil total N, hydro-soluble-N and available P was higher than that of soil total P, soil total K and available K. (4) The disturbance index of distribution of soil organic matter, soil total N, hydro-soluble-N and available P in the top-layer and the sub-layer was higher than that of soil total P, soil total K and available K. (5) The disturbance index of distribution of soil nutrients in the top-layer and the sub-layer was always higher than the disturbance index of content of soil nutrients. In order to mitigate the negative influence of construction on agricultural soil nutrients, corresponding measures to the procedures of the construction were proposed, such as excavating, backfill, slurry disposal, relief restoration and soil nutrient restoration.

Keywords: Ji-Ning Section of Gas Pipeline Project from West to East; construction of project; soil nutrients; disturbance index

收稿日期:2007-06-26
基金项目:该项研究得到西气东输管道分公司资助;国家自然科学基金项目资助(40621061)
作者简介:许申来,内蒙通辽人,博士研究生,从事GIS应用和环境评价研究,Email:xushenlai@163.com
通讯联系人:陈利顶 E-mail:liding@rcees.ac.cn

工程建设对区域生态环境的影响历来受到工程施工部门、环境保护部门的高度重视,施工完工后,一般要求必须进行必要的地貌、土壤和植被恢复。然而工程建设不可避免地对环境形成干扰,不同类型的工程影响差异较大。输气管道工程是地埋敷设工程,工程建设过程中将对地表土壤造成大的扰动,直接破坏地表植被和土壤系统[1~3]。而土壤系统是复杂的生物环境系统,是陆地生态系统的重要组成部分,地表植被与土壤系统有密切联系[4~6]。土壤质量是土壤的许多物理、化学和生物学性质,以及形成这些性质的一些重要过程的综合体,是土壤支持生物生产能力、净化环境能力和促进动植物和人类健康能力的集中体现[7~10]。质量好的土壤系统是净化空气和水环境的过滤器,是有机物分解与植物养分循环的最终受体[11]。农田生态系统是一个具有一定结构、功能和自然调节机制的动态开放系统,一个相对稳定的整体良好的农田生态系统是实现农业持续发展的重要保证[12~14]。因此管道建设对土壤质量的影响一直以来是研究的热点,也是一个亟需解决的一个问题。西气东输冀宁线铺设影响的地区大部分是农业土壤系统,施工期对不同土壤类型进行开挖和回填,扰乱土壤耕作层,破坏土壤结构。除开挖部分受到直接破坏以外, 弃土的混合和扰动,也会改变耕作层的性质,破坏土壤结构。管沟下挖回填改变了土壤层次和质地,影响土壤发育,降低土壤耕作性能[15]。土壤紧实度是表征土壤物理性质的指标之一。由于在管道施工过程中均采用大型机械作业,这对于作业带内的土壤势必产生压实效应,机械碾压的结果使土壤紧实度增高,地表水入渗减少,土体过于紧实不利于作物的生长,压实作用直接影响了作物生长所需的土壤物理环境,降低了土壤肥力,土壤养分降低[16]。工程施工和投产后土壤有机质含量、氮、磷、钾含量降低。同时在管道施工中废弃的物质如管道防腐等工序中的遗弃物以及生活垃圾有可能残留于土壤中。这些残留于土壤的固体废物,难于分解,被埋入土壤中会长期残留, 影响土壤质量和农作物的生长。总之,本工程在施工期,要开挖管沟、修建施工道路、建设站场等,施工活动将占用土地,并造成土壤结构、植被的破坏,直接影响到农业生产的正常运作,从而对该区域农业生态系统的功能造成一定的影响。因此客观地了解工程建设对农田土壤环境的影响程度对制定合理的赔偿标准提供依据以及科学合理地进行土壤恢复具有非常重要的意义。

1 概况与方法

1.1 研究区概况

本工程起点是陕京二线河北安平分输站,终点为西气东输江苏仪征青山分输站。途经河北、山东、江苏3省16个城市、55个区县,管道线路全长910 km,沿线采用变径敷设, 其中, 安平至泰安段管径 Φ1 016 mm, 泰安至青山段管径 Φ711 mm; 设计压力为 10 MPa;沿线建输气站场13座;设计输气能力为 90×10^8 $m^3\cdot a^{-1}$。该工程主要建设项目有线路工程,包括输气干线工程,河流、公路、铁路穿越工程;站场工程;辅助系统工程,包括截断阀室、自控工程、通讯系统等。根据本工程的地形地貌以及沟渠河流情况,全线大部分地段采用沟埋敷设,局部地段采用定向钻和顶管等方式敷设。工程的施工期为2004年8月—2006年12月,共计28个月。冀宁联络线工程主要经过的地貌类型有平原地区、低山丘陵区。沿线海河平原地区为244 km,鲁中南低山丘陵区长约266 km,黄淮平原区长约400 km。管线所经过地区由于长期人类活动的影响,自然植被已寥寥无几,现有植被多系人工栽培。管道沿线土壤以耕作土为主,主要有潮土和水稻土。线路所经地区分别属暖温带大陆性半干旱季风气候、暖温带半湿润季风气候区、北亚热带气候区。

1.2 研究方法

1.2.1 监测点布置

结合工程区的实际情况,选择有代表性的典型农田区共布设了19个监测样段,位点情况见表1。2007年3月采集土壤样品,用于分析管道施工建设对土壤环境的影响。根据管道建设的特点,选取阀室、分输站、保护区(石榴园、凤凰岛)、典型河流穿越点(黄河、京杭大运河)、基本农田作为采样地点。由于管道铺设主要经过的是农田,并且农作物比较单一,整个地区地形起伏很小,因此布设的19个监测样段,基本上可以反映施工对该区域的土壤环境的影响。

1.2.2 土壤取样和分析方法

在选取的19个样段内,分别在管道作业带(管沟上方)和非作业带(距作业带20 m)采用梅花法钻取表层土(0~25 cm)和底层土(25~50 cm)取样,经过充分混合,共76个样。将土样风干、过筛后分析土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾的含量。土壤有机质和养分由中国科学院生态环境研究中心城市与区域国家重点实验室测定,其中有机质采用

表 1 土壤采样样段设置

Table 1 The setup of soil sampling locations

序号	位置	样地/作物类型
1	扬州站	小麦
2	5#阀室	小麦/水稻
3	凤凰岛	水稻
4	连云港站	水稻
5	京杭大运河	大蒜
6	孙叔庄	小麦/水稻
7	15#阀室	水稻
8	徐州二八河	小麦
9	2#阀室	小麦
10	徐庄	小麦
11	3#阀室	小麦
12	临沂站	水稻
13	石榴园	石榴
14	枣庄站	小麦
15	梁公林	小麦
16	27#阀室	小麦
17	29#阀室	小麦
18	黄河穿越	大蒜
19	德州站	棉花

重铬酸钾容量法（油浴加热），全氮采用半微量开氏法，全磷采用硫酸–高氯酸消煮–钼锑抗比色法，碱解氮采用碱解扩散法(康卫皿法)，速效磷采用 0.5 mo1·L^{-1} 碳酸氢钠浸提–钼锑抗比色法，土壤全钾的测定采用 NaOH 熔融–火焰光度计法，土壤速效钾采用醋酸铵–火焰光度计法。

1.2.3 干扰评价模型建立

为了比较工程施工建设对土壤的干扰程度，根据本研究的具体情况，通过对土壤养分退化综合指数[17]的修正，提出了含量干扰指数和分布干扰指数。两种指数的值越大，说明工程施工对土壤影响越大，反之越小。干扰指数和分布干扰指数消除了量纲和数量级对指标的影响，便于比较和综合。通过这两个指数可以比较工程建设对于土壤养分影响程度的差异。

$$Dc = \{| \sum_{1}^{n} (An - Bn)/An |\}/n \quad (1)$$

式中 An 为作业带各养分指标的实测值；Bn 为非作业带各养分指标的实测值；n 为采样总数量；Dc 表示施工建设对某一养分含量的干扰程度；

$$Ds = \{| \sum_{1}^{n} (Cn - Dn)/Cn |\}/\mathrm{n} \quad (2)$$

式中 Cn 为作业带表底层养分指标比值；Dn 为非作业带表底层养分指标比值；n 为采样数量；Ds 表示对某一养分表底层分布的干扰程度。

2 结果分析

2.1 工程施工建设对土壤表层养分的影响

2.1.1 工程施工对土壤表层有机质含量的影响

由图 1(a)可知，作业带土壤表层有机质含量均低于非作业带，表明施工建设造成了土壤中有机质含量的下降。其主要原因是在管道施工过程中没有进行分层堆放和分层回填，导致作业带土壤层次和土壤质地发生改变，使耕作层(0~20 cm)土壤有机质含量较高的土壤与含量较低的犁底层和母质层（20~50 cm）混合，所以作业带表层土壤有机质含量较低。

2.1.2 工程施工对表层土壤碱解氮的影响

由图 1(b)可知，作业带的碱解氮含量绝大多数低于非作业带，碱解氮含量比非作业带下降超过 40%的有 9 个样，占总样量的 47%，其中临沂站土壤中碱解氮含量下降最为明显。说明施工使土壤中碱解氮含量下降。由于表层土壤有机质含量降低，有机质的矿化能力下降，碱解氮释放能力也随之下降，致使表层土壤碱解氮的含量下降。

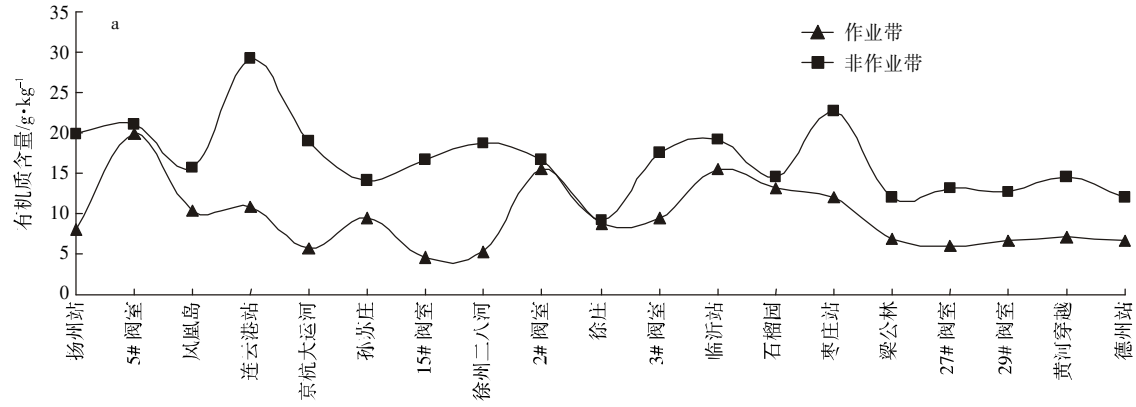
2.1.3 工程施工对土壤速效磷的影响

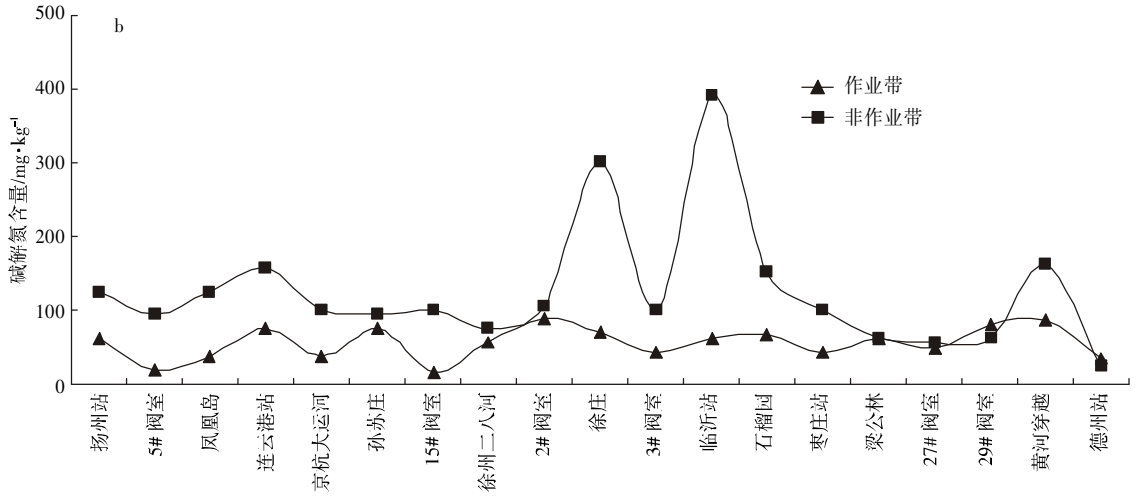
由图 1(c)可知，3、4、7 及 12 号样点作业带的速效磷含量高于非作业带，速效磷在水稻土的作业带与非作业带相比有所增加，其原因是下部土壤长期处于淹水还原条件，磷素以磷酸亚铁的形式存在，有效性含量相对较高，工程施工过程中，土体下部速效磷(磷酸亚铁)含量高的土壤与上部土壤相混后，导致速效磷含量有所增加，但随着时间的推延，磷酸亚铁被氧化为磷酸铁，这一现象会很快消失，达到新平衡的时间估计在 1~2 a 里[18]。

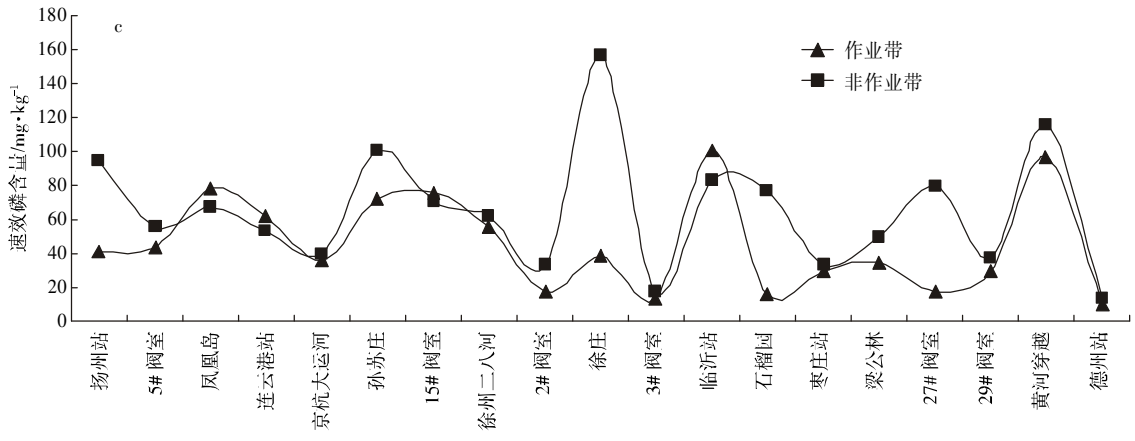
除 3、4、7 及 12 号样点外，其他样点作业带的速效磷含量均低于非作业带，其中 8 号点二八河穿越处土壤中速效磷的含量下降最为明显，说明施工对土壤中速效磷的含量产生了一定的影响。由于速效磷在潮土上因不具备水稻土下部较强的还原条件，土体上下部之间氧化还原电位差值不大，磷酸亚铁效应并不显著，管线建设对于土壤速效磷的影响主要取决于上下部土壤肥沃度的差值，所以表现为作业带与非作业带相比，土壤速效磷的含量降低。

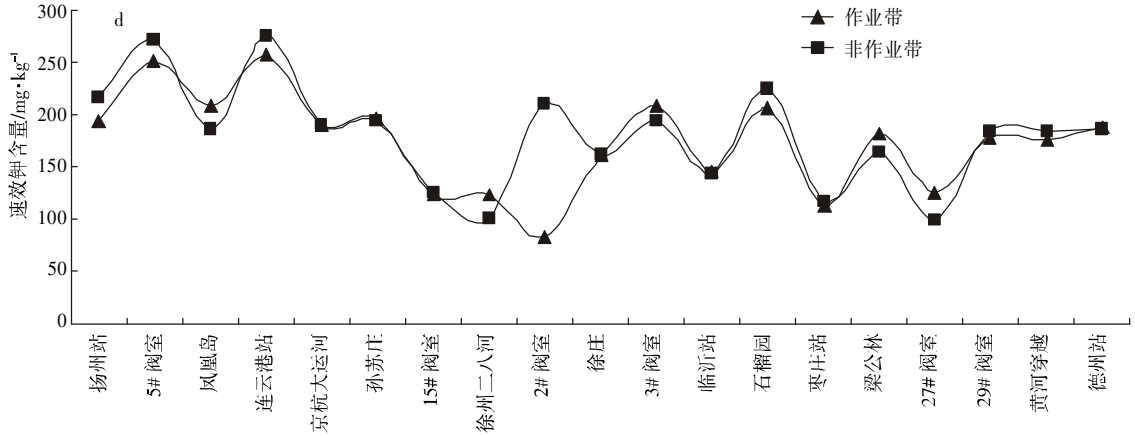
2.1.4 工程施工对土壤速效钾的影响

由图 1(d)可看出，有 4 个点作业带的速效钾含量略高于非作业带，其原因可能是在管道施工中废弃的物质所引起的。而其他样点中，只有 1 号点 9 号点作业带速效钾含量比非作业带略有下降，其他点基本相


a
作业带
非作业带
有机质含量/g·kg⁻¹
0
5
10
15
20
25
30
35
扬州站
5# 阀室
凤凰岛
连云港站
京杭大运河
孙苏庄
15# 阀室
徐州二八河
2# 阀室
徐庄
3# 阀室
临沂站
石榴园
枣庄站
梁公林
27# 阀室
29# 阀室
黄河穿越
德州站


b
作业带
非作业带
碱解氮含量/mg·kg⁻¹
0
100
200
300
400
500
扬州站
5# 阀室
凤凰岛
连云港站
京杭大运河
孙苏庄
15# 阀室
徐州二八河
2# 阀室
徐庄
3# 阀室
临沂站
石榴园
枣庄站
梁公林
27# 阀室
29# 阀室
黄河穿越
德州站


c
作业带
非作业带
速效磷含量/mg·kg⁻¹
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
扬州站
5# 阀室
凤凰岛
连云港站
京杭大运河
孙苏庄
15# 阀室
徐州二八河
2# 阀室
徐庄
3# 阀室
临沂站
石榴园
枣庄站
梁公林
27# 阀室
29# 阀室
黄河穿越
德州站


d
作业带
非作业带
速效钾含量/mg·kg⁻¹
0
50
100
150
200
250
300
扬州站
5# 阀室
凤凰岛
连云港站
京杭大运河
孙苏庄
15# 阀室
徐州二八河
2# 阀室
徐庄
3# 阀室
临沂站
石榴园
枣庄站
梁公林
27# 阀室
29# 阀室
黄河穿越
德州站

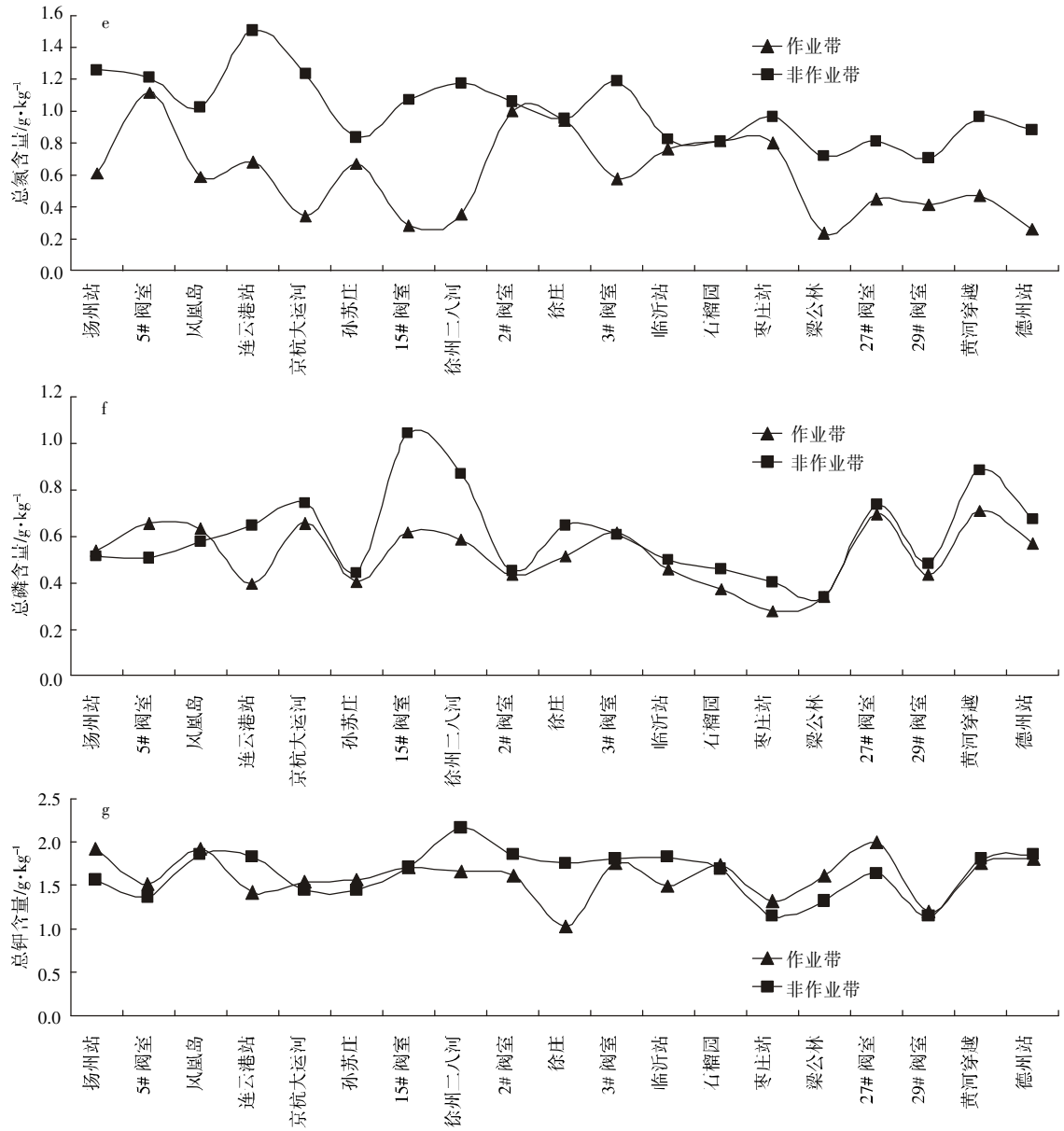


图 1 表层土壤养分含量对照 a:**有机质**; b **碱解氮**; c **速效磷**; d **速效钾**; e **全氮**; f **全磷**; g **全钾**

Figure 1 Comparison on the soil nutrient in the top-layer between operational region and non-operational region, a: Soil organic matter; b: Hydrosoluble-N; c: available P; d: available K; e: Soil total N; f: Soil total P; g: Soil total K

同。说明施工对土壤中速效钾的含量影响不大。土壤的速效钾的含量主要取决于土壤母质类型和成土条件[19],管线建设对于土壤速效钾的含量影响不显著。

2.1.5 工程施工对土壤全氮的影响

由图 1(e)可以看出,2# 阀室、徐庄、临沂站和石榴园作业带全氮含量与非作业带基本相同,由于施工后恢复措施较好, 所以施工对其土壤全氮含量影响不大。其他样点作业带土壤表层全氮含量均低于非作业带,说明施工使土壤中全氮含量下降。总氮含量下降超过 50%的有 9 个点,占总样量的 47%,其中 4 号点(连云港站)、7 号点 15# 阀室、5 号点 (京杭运河穿越处)以及 8 号点(二八河)穿越下降幅度最大。其原因与碱解氮相同。

2.1.6 工程施工对土壤全磷的影响

由图 1(f)可看出,4 号、7 号和 8 号样点作业带的全磷含量低于非作业带,主要原因是施工后恢复措施不到位,并且施工后长期撂荒。除 4 号、7 号和 8 号样点外, 作业带与对照样点表层的全磷含量基本相当,说明施工对土壤中全磷含量产生的影响较小。全磷含量主要是母质类型和成土条件决定,因此管道施工对全磷含量影响较小。

2.1.7 工程施工对土壤全钾的影响

由图 1(g)可知,有 7 个样作业带全钾含量高于非作业带,这 7 个样点作业带的全钾含量高于非作业带低于 20%，其原因可能是在管道施工中遗弃物所引起的。其它点作业带全钾含量小于或等于非作业带。并且全钾含量比非作业带下降低于 15%，说明工程施工对土壤中全钾含量的变化不大。土壤的全钾的含量主要取决于土壤母质类型和成土条件[19],由于施工对土壤母质类型和成土条件影响不大,所以管道施工对土壤全钾含量造成的影响十分有限。

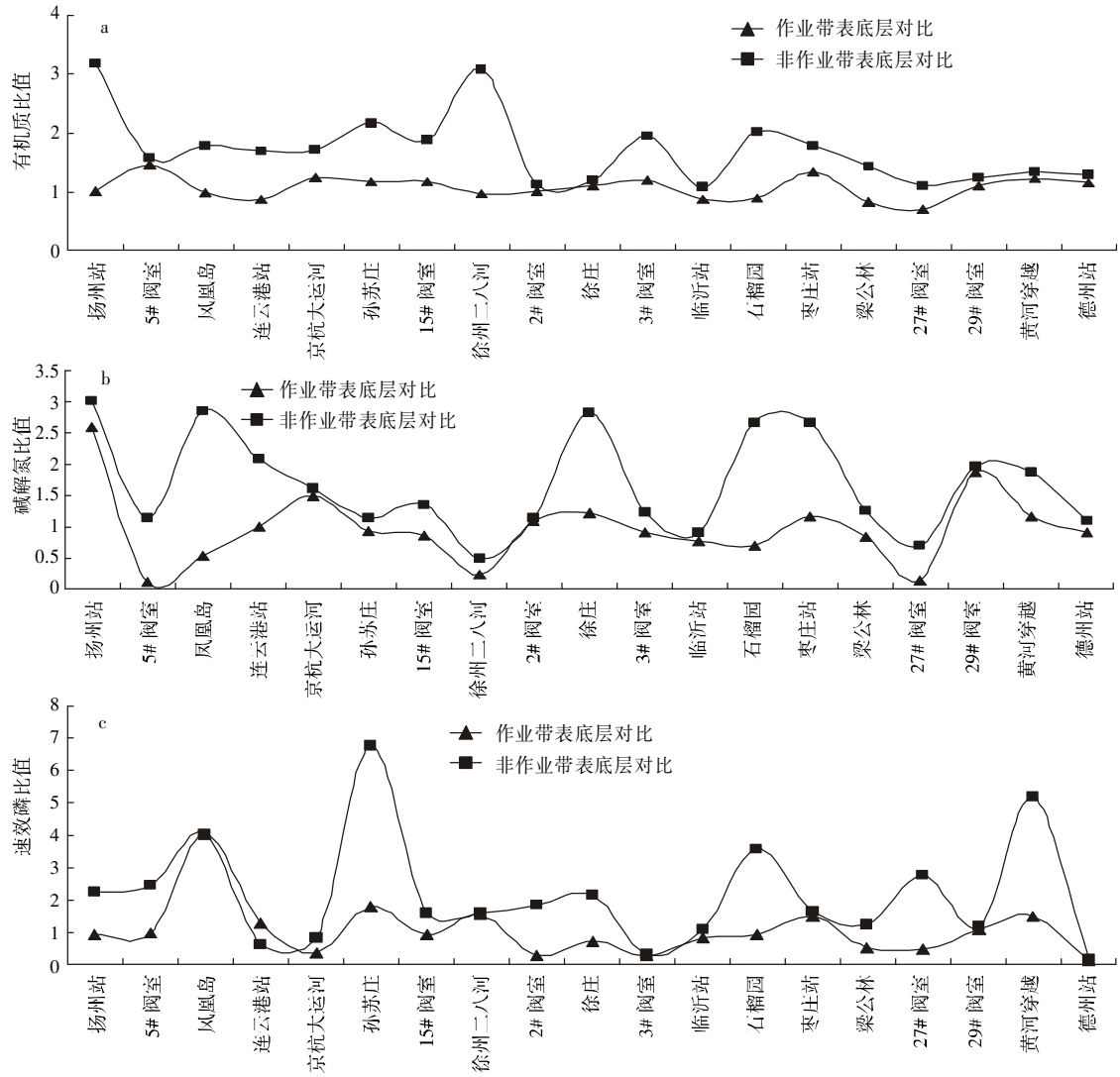
2.2 工程施工建设对土壤养分分层的影响

从图 2 中可以看出,土壤各养分作业带表底层对比与非作业带相比,比值均低于非作业带,这表明工程施工对土壤有机质(a)、碱解氮(b)、速效磷(c)、速效钾(d)、全氮(e)、全磷(f)、全钾(g)在表层和底层分布具有明显的影响,其主要原因是在管道施工过程中没有进行分层堆放和分层回填,使耕作层(0~20 cm)土壤养分含量较高的土壤与含量较低的犁底层和母质层（20~50 cm)混合,导致作业带土壤层次和土壤质地的重大改变,作业带有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾在表底层分布不同于非作业带。

2.3 工程施工对土壤养分干扰强度差异分析

为了比较工程施工建设对土壤的干扰程度,根据公式(1)、(2)分别计算施工对土壤养分干扰指数和对土壤养分表底层分布干扰指数。如图 3 所示,对于土壤养分表底分布干扰趋势与对养分含量的干扰趋势基本相同,同时施工对土壤养分表底分布干扰指数高于对土壤养分含量干扰指数。施工作业对土壤最直接的影响是破坏了土壤的土体构型，进而影响土壤养分,因此两者的变化趋势基本相同。但是由于某些养分含量(速效钾、全磷、全钾和全磷)还要受到母质类型和成土条件的影响，在一定程度上缓解了工程对其影响,所以养分含量干扰指数低于养分分布干扰指数。

对土壤养分含量干扰程度而言，工程施工对全氮、碱解氮、速效磷和有机质干扰指数较大;对全磷、



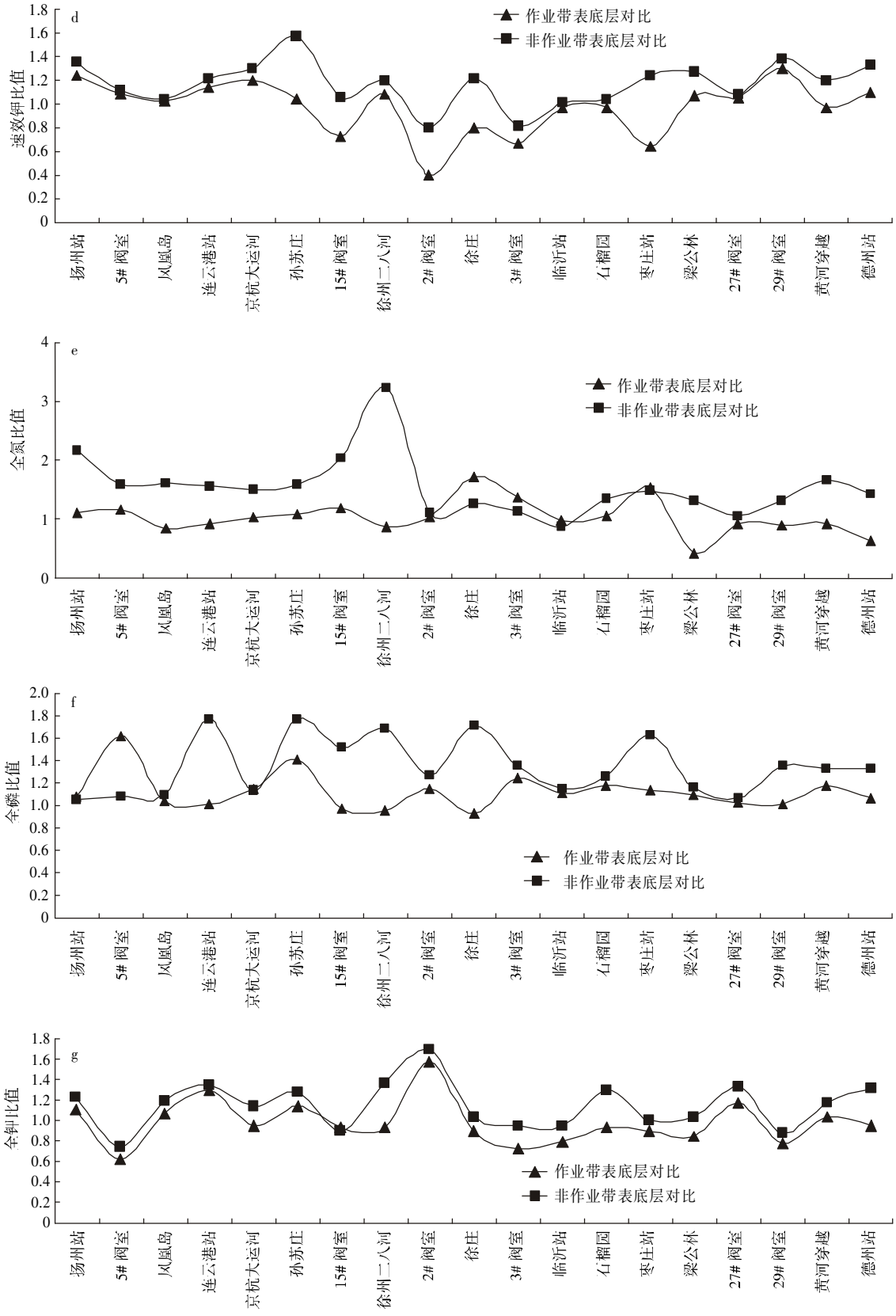


图 2 各养分在土壤表底层分布对比 a:有机质; b 碱解氮; c 速效磷; d 速效钾; e 全氮; f 全磷; g 全钾

Figure 2 Comparison on the distribution of soil nutrients in the top-layer and the sub-layer between operational region and non-operational region a: Soil organic matter; b:ydrosoluble-N; c: available P; d: available K; e: Soil total N; f: Soil total P; g: Soil total K

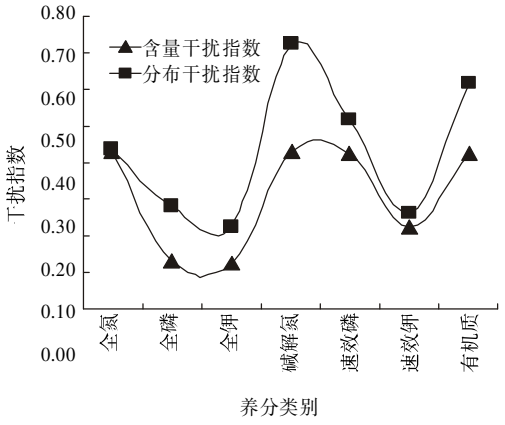


图 3 土壤各养分干扰指数对比

Figure 3 The contrast of disturbing index of soil nutrients

全钾、速效磷含量干扰指数较小;其主要原因在于全氮、碱解氮、速效磷和有机质的含量完全受到施工影响,而速效钾、全钾和全磷的含量受到土壤母质和成土条件的影响,这些稳定的因素在一定程度上抑制了施工对速效钾、全钾和全磷的含量影响。

对土壤养分表底层分布干扰程度而言,施工对有机质、碱解氮、全氮和速效磷干扰指数较大;对全磷、全钾和速效钾干扰指数度较小, 其主要原因在于全氮、碱解氮、速效磷和有机质表底层分布完全受到施工影响,而全钾、速效钾、全磷的表底层分布在一定程度受到土壤母质和成土条件的影响,这些稳定的因素在一定程度上抑制了施工对全钾、速效钾、全磷的表底层分布的影响。

3 结论与建议

输气管道的开挖和回填对原有土体构型产生了扰动,使有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾在土壤表底层的分布受到影响。同时不同层次的土体进行混合填埋使土壤中有机质、碱解氮、速效磷含量下降,而对于全磷、全钾和速效钾而言,由于其含量受到土壤母质和成土条件影响,所以施工并未对其产生明显影响。对于个别样点,管道施工的遗弃物未得到及时处理,导致全磷、全钾和速效钾的含量升高。尽管计算施工对土壤影响的含量干扰指数和分布干扰指数可以比较工程对土壤养分含量和分布影响的差异,但是工程对土壤不同养分影响程度的差异及其原因仍有待进一步研究。

为减缓工程施工建设对土壤产生的不利影响,结合施工特点在管道开挖、回填、泥浆池处理、地貌恢复、土壤养分恢复方面提出以下建议:

(1)管沟开挖时,应将挖出的土堆放在与施工便道相反的一侧,距沟边不小于 1 m,在耕作区开挖时,表层土堆放必须与下层土堆放隔离开来,表层耕作土应靠边界堆放,下层土应靠近管沟堆放。如需排水和让牲畜和农用机械通过的通道, 则表土必须留出缺口。大风条件下,作业时会有大范围的粉尘,此时也不可把表土除去。暴雨条件下尽量不施工,避免暴雨条件下的土壤养分径流流失[20]。在保留和堆放表土的作业过程中, 应建造临时的冲蚀控制设施以防止冲蚀,在作业带平整和清理过程中,如出现大风天气,则应暂停表土处理作业, 堆放表土的土堆应用水进行湿润,使它产生一层不被风蚀的硬壳。

(2)回填前沟内所有的废弃物必须清理干净,堆放挖出的土壤时,不可把表层草皮或表土除去;严格控制管沟回填的作业顺序,做到先回填深层土后再回填表层土,然后人工整形并预留 300 mm 沉降余量;下层土和表层土回填应与管沟内两侧的土层匹配,不可将废料与保存的表土或附近没有动过的表土混杂在一起;灌溉区回填下层土时,至少两层,每回填一层,压实后再回填下一层。回填土粒径、回填厚度达到要求,把下层土回填到管沟,必须压实,石方段在管线下沟前先回填 200 mm 后细土,严禁出现管道悬空和浅埋。

(3)在定向钻施工前,先配制一定量的泥浆,并将泥浆样本进行化验,符合要求后方可使用,达不到环保要求时要更换泥浆用料,并重新配置泥浆进行化验,直到配置出符合环保要求的泥浆;定向穿越施工完成后, 将剩余泥浆和回收返浆运送到指定的排放地点;在入土点、出土点以外有泥浆漏失时,先挖泥浆坑或围堰进行收集,穿越结束后拉运到指定排放场地排放。

(4)地貌恢复时把作业带内设备、车辆行走的公共通道、水渠中的所有施工材料和杂物清理干净,剩余泥浆处理达到环保要求;焊条筒、砂轮片、油漆桶等废弃物要收集起来从作业带清走, 不得在管沟中掩埋;回填时尽量恢复地表原来形状,使地表能正常排水;最终平整后,应让土表保留大土块的粗荒状态以减轻土壤被冲刷的潜能和为种子发芽提供一个较好的条件。

(5)土壤养分恢复时,应加大对于作业带土壤的有机肥投入。施用有机肥能有效提高土地的土壤肥力[21]。秸秆是改善土壤物理性质最好的有机肥料之一,虽对土壤中速效磷的含量无贡献,但可增加碱解氮、速效钾的含量,较大程度提高土壤的有机质含量,提高作物产量,足够的养分投入可保持土壤肥力[22]。

参考文献：

[1] 李仁华，杜左华.西气东输工程郑州至上海段水土流失及防治措施[J].中国水土保持，2002，242:28-29.
LI R H, DU Z H. The preventive measurement and the water soil erosion in the section from ShangHai to Zhengzhou of the West-East Gas Pipeline Project[J]. *Soil and Water Conservation in China*,2002,242:28-29.

[2] 阳　光，罗　心，高立群.西气东输沿线水土腐蚀勘测方法[J].腐蚀与保护，2003，24:29-31.
YANG G, LUO X, GAO L Q, Corrosion investigation and survey of the soil and water in the project of the transmission of natural gas from west to east[J].*Corrosion & Protection*, 2003,24:29-31.

[3] Jae-Young Ko, John W Day. A review of ecological impacts of oil and gas development on coastal ecosystems in the Mississippi Delta[J]. *Ocean & Coastal Management*,2004,47 :597-623.

[4] 孙忠英，李宝筏.农业机器行走装置对土壤压实作用的研究[J].农业机械学报，1998，29(3):1 72-174.
SUN Z Y, LI B F. The research of the effect of agricultural machine equipment on soil pressing[J]. *Transactions of the Chinese Society For Agricultural Machinery*, 1998,29(3):172-174.

[5] 杨长明，杨　林，颜廷梅.不同养分和水分管理模式对土壤生态环境影响[J].农村生态环境，2002，118(l3):11-15.
YANG C M, YANG L, YAN T M. Effects of nutrient and water regimes on paddy soil eco-environment[J]. *Rural Eco-Environment*, 2002,118(l3):11-15.

[6] 张合平，刘云国.环境态学[M].北京：中国林业出版社，2001.13-l9
ZHANG H P, LIU Y G. Environment and Ecology[M]. Beijing: China Forestry Press, 2001.13-l9.

[7] 董广辉，武志杰，陈利军.生态农业对土壤质量变化的响应[J].农业系统科与综合研究，2001，17(3):190-192.
DONG G H, WU Z J, CHEN L J. Responses of eco-agriculture to the changes of soil quality[J]. *System Science and Comprehensive Study in Agriculture*,2001,17(3):190-192.

[8] 齐　伟，张风荣，牛振国.土壤质量时空变化一体化评价方法及其应用[J].土壤通报，2003，34(1)：1-5.
QI W, ZHANG F R, NIU Z G. An Assessment Method of soil quality: Spatial-temporal changes and its Application[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003,34(1)：1-5.

[9] 张心昱，陈利顶.土壤质量评价指标体系与评价方法研究进展与展望[J].水土保持研究，2006，13(3):31-34.
ZHANG X Y, CHEN L D. The progress and prospect of soil quality indicators and evaluation methods[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2006,13(3):31-34.

[10] 张　贞，魏朝富，高　明，等.土壤质量评价方法进展[J].土壤通报，2006，37(5):999-1006.
ZHANG Z, WEI C F, GAO M, et al. Assessment method for soil quality: a Review[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006,37(5):999-1006.

[11] 孙铁珩，周启星，李培军.污染生态学[M].北京：科学出版社，2001.136-143.
SUN T H, ZHOU Q X, LI P J. Pollution Ecology[M]. Beijing : Science Press, 2001.136-143.

[12] 吕家珑，李祖萌.旱地土壤培育研究[J].西北农业大学学报，1993，21(增刊)：61-66.
LV J L, LI Z M. The research of cultivation of dry soil[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*,1993,21(addition)：61-66.

[13] 吕家珑，张一平，王旭东.农田生态对土壤肥力的保护效应[J].生态学报，2001，21(4)：613-616.
LV J L, ZHANG Y P, WANG X D. Protective effect of agri-land ecosystem for fertility[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001,21(4)：613-616.

[14] 刘晓冰，邢宝山.土壤质量及其评价指标[J].农业系统科学综合研究，2002，18(l2)：109-112.
LIU X B, XING B S. Soil quality and its assessment indicators[J]. *System Science and Comprehensive Study in Agriculture*,2002,18 (l2)：109-112.

[15] 程金香，马俊杰，王伯铎，等.输油管线工程生态环境的影响及保护对策[J].水土保持研究，2003, 10(4):303-315 .
CHENG J X, MA J J, WANG B D, et al. An analysis of environmental impact of the oil pipeline projects[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2003,10(4):303-315.

[16] 穆从如，杨林生.石油长输管道工程对生态环境的影响[J].环境科学，1995，16(2)：83-87.
MU C R, YANG L S. The influence of oil pipeline project on the eco-environment[J]. *Environmental Science*, 1995,16(2)：83-87.

[17] 章家恩，徐　琪.三峡库区秭归县农业生态系统退化综合评价[J].华南农业大学学报，1999，20(1)：39-41.
ZHANG J N, XU Q. Synthetic evaluation of agro-ecosystem degradation in Zigui County of the Three Gorges Reservoir Area [J].*Journal of South China Agricultural University*, 1999，20(1)：39-41.

[18] 郭丽新，郭书海，冷延慧，等.西气东输河南至上海工程段沿线土壤扰动及其对农田生态系统的影响 [J]. 农业环境科学学报，2004，23(3)：536-539.
GUO L X, GUO S H, LENG Y H, et al. Soil disturbance and its impact on farmland ecosystem in the Hennan-Shanghai section of Gas Pipeline Project from West to East [J].*Journal of Agro-Environment Science*,2004,23(3)：536-539.

[19] 刘兆辉，江丽华，张文君，等.氮、磷、钾在设施蔬菜土壤剖面中的分布及移动研究[J]. 农业环境科学学报，2006，25(增刊)：537-542.
LIU Z H, JIANG L H, ZHANG W J, et al. N,P,K Distribution and movement in soils for greenhouse and outdoor field[J].*Journal of Agro-Environment Science*, 2006,25(addition)：537-542.

[20] 陆　敏，刘　敏，黄明蔚，等.大田条件下稻麦轮作土壤氮素流失研究[J]. 农业环境科学学报，2006，25(5)：1 234-1 239.
LU M, LIU M, HUANG M W, et al. Field study of nitrogen loss in soil with rice-wheat rotation sysytem[J] .*Journal of Agro-Environment Science*, 2006，25(5)：1 234-1 239.

[21] 艾天成，李方敏，万健民，等.不同有机肥对土地整后土壤肥力及水稻生育的影响[J].湖北农学院学报，2002，22(3)：206-209.
AI T C, LI F M, WAN J M, et al. The effect of different organic fertilizers on soil fertility of the recovered land and the growth of rice[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002, 22(3)：206-209.

[22] 高　超，张桃林，吴　蔚.东太湖地区农田土壤养分动态及其启示[J].地理科学，2001，21(5)：428-432.
GAO C, ZHANG T L, WU W. Agricultural soil nutrient status in Taihu Lake Area and its implication to nutrient management strategies[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001,21(5)：428-432.