

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.015

南水北调北京段 PCCP 工程植被恢复效果

曹云生¹, 高国军², 陈丽华¹, 杨苑君¹, 李长暄¹, 及金楠¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083;
2. 北京市南水北调工程建设委员会办公室, 北京 100142)

摘要: 以南水北调北京段 PCCP 管线工程的植被恢复区为研究对象, 基于南水北调中线北京段 PCCP 管线工程特点及其穿越地区的环境特点, 通过野外调查与室内分析方法, 对不同植被恢复措施的植被配置模式以及草本植物多样性和生物量进行了研究。结果表明: 工程绿化模式在短期内能取得较好的恢复效果, 复层和混交模式下草本植物多样性指数和生物量均较高; 封育模式的草本植物生物量大但是种类较少; 复耕复林模式下的草本植物多样性指数和生物量则较为平均和稳定。

关键词: 南水北调; PCCP 工程; 植被恢复模式; 草本植物; 多样性指数

中图分类号: TV 68; X 171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)03-0069-04

Study on Vegetation Restoration Effect along PCCP Project in Beijing Section of South to North Water Transfer Project

CAO Yunsheng¹, GAO Guojun², CHEN Lihua¹, YANG Yuanjun¹, LI Changxuan¹, JI Jinnan¹

(1. Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification of Education Ministry, College of Water and Soil Conservation, Beijing 100083, China;

2. The Office of South-North Water Diversion Project Construction Commission in Beijing, Beijing 100142, China)

Abstract: According to the characteristics of PCCP pipeline project and environmental characteristics of area where the pipeline crosses over, the vegetation restoration area of PCCP project in Beijing section of South to North Water Transfer Project was investigated to determine the configuration modes of different vegetation restoration measures and the diversity and biomass of herbs using the field investigation and laboratory analysis. The results showed that (1) the engineering greening mode can achieve good restoration effects within a short time, whereas the diversity and biomass of herbs are high for both stratified and mixed modes; (2) the fencing mode can result in high biomass but low diversity of herbs; and (3) the rehabilitation mode can lead to relatively even and stable diversity index and biomass of herbs.

Key words: South to North Water Transfer Project; PCCP project; vegetation restoration mode; herbaceous plant; diversity index

植被作为重要的生态因子, 是控制水土流失、改善生态环境的有效措施, 在自然生态环境中占有极其重要的地位^[1-2]。多年以来, 由于自然滑坡、水土流失、岩石风化及大规模的工程建设和矿山开采等人类活动常常会破坏天然植被, 留下许多裸露的坡面。例如, 占地面积巨大的煤矸石山, 或是贫瘠干旱的路堤、路堑边坡, 或是修路造成的土质或岩质边坡立地, 或者水利工程导致的土地植被破坏。关于裸露地表的修复技术和效果评价, 以往学者都做了大量的研究。黄义雄^[3]等对高岭土矿区植被恢复与生态效应进行了研究,

认为通过熟土回填和合理的植被配置措施能有效的起到改良土壤和保持水土的作用。赵毓璋^[4]对高速公路生态护坡恢复效果的研究, 表明采用乡土物种, 采取乔灌草结合的群落模式, 有利于植被的恢复。张学权^[5]对不同类型植被恢复措施的土壤入渗性进行了研究, 认为土壤结构与植被类型有较大关系。张笑培^[6]等对黄土沟壑区的不同植被恢复群落特征和多样性进行了研究, 表明随着时间的增加, 植被恢复的物种数量和群落多样性明显改善。郭燕^[7]对露天煤矿废弃地的植被恢复过程中的土壤理化性质和物种多样性的研

收稿日期: 2013-08-02 修回日期: 2014-03-25 网络出版时间: 2014-05-07

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.015.html>

项目来源: 北京市南水北调工程建设委员会办公室“南水北调工程北京段引水工程影响区生态防控综合技术体系研究”(2012HXFW150)

作者简介: 曹云生(1985-), 男, 山东淄博人, 在读博士研究生, 主要从事生态环境工程研究。E-mail: cys888cys888@163.com

通讯作者: 陈丽华(1957-), 女, 北京人, 教授, 博士, 从事森林水文、生态环境工程研究。E-mail: chenlh2004@163.com

究表明,采取适宜的植被恢复措施能有效改善土壤理化性质。此外,宋炜等^[8]、侯新民等^[9]对南水北调济平干渠生态修复模式和效益也进行了研究;李振海^[10]等对南水北调中线北京段总干渠工程的主要环境影响及保护措施进行了探讨。

PCCP 管道工程是南水北调中线北京段总干渠线路最长的大型输水工程,上接惠南庄泵站,下接大宁调压池^[11]。PCCP 管道工程采取沟槽土石方开挖埋管后回填的方法施工。施工过程中土石方开挖和回填量大,对地表植被和原有土壤结构破坏严重。本研究将根据南水北调中线北京段 PCCP 管道工程区的生态环境特征和社会状况,对研究区内不同植被恢复措施及其草本多样性进行探讨。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

南水北调北京段 PCCP 管道工程区位于太行山脉北端与华北平原的接壤地带。工程于 2007 年 12 月竣工,输水干线全长 56.359 km(其中设两条隧洞,西甘池隧洞和崇青隧洞),为两排直径 4 m 的 PCCP 管道。工程沿线地区属暖温带半干旱大陆季风气候,四季分明,雨热同期;年平均气温在 11℃~12℃,年极端最高气温一般在 35℃~40℃之间,年极端最低气温一般在-14℃~-20℃之间;多年平均降水量 590 mm 左右,降水量年内分配不均匀,其中 6 月-8 月降水量占全年降水量的 75% 以上。工程区沿线地形地貌以低矮山地、丘陵和平原为主,土壤以砾质轻壤质为主,砾质砂壤及中壤次之,无原生植被,林木覆盖率较低,主要为人工经济林、城市绿化带和生态公益林。本地区河流主要有北拒马河、永定河等。

1.2 研究方法

经过对 PCCP 管道工程现场考察和对比分析,选取了 3 种植被恢复模式中的 20 个典型植被恢复类型作为研究对象。在每个植被恢复类型地设置 20 m×20 m 样方,每个样方内均匀布设 5 个 5 m×5 m 样方,每 5 m×5 m 样方内均匀布设 3 个 1 m×1 m 草本样方,进行草本多样性的调查^[12],包括草本层植物种类、多度、盖度、平均高度、株数、生物量等均得到记录。将所取生物量装塑料袋带回实验室,置于 85℃ 的烘箱中烘干至恒重^[13]。

物种多样性是物种丰富度和分布均匀性的综合反映,体现了群落结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异,植物群落的多样性指数是刻画群落组成结构的重要指标^[14]。本文选择了表示群落优势度的 Simpson 指数、表示物种变化度的 Shannon wiener 指数、表示物种均匀度的 Pielou 指数和表示物种丰富度的 Menhinick 指数等进行不同植被恢复类型的草本植物多样性分析。各样地多样性指数的计算公式和计算方法如下。

$$\text{Shannon wiener 多样性指数}(H'): H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou 均匀度指数}(E): E = H' / \ln S$$

$$\text{Simpson 多样性指数}(D): D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

$$\text{Menhinick 丰富度指数}(M): M = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

$$\text{相对重要值 } P_i: P_i = \frac{(\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度})}{3}$$

式中: P_i 为种 i 的相对重要值; S 为样地内的种数; N 为样地内所有种个体数量之和。

2 结果与分析

2.1 北京段 PCCP 管线工程地区植被恢复模式

研究区植被恢复过程中遵循的原则是“防止水土流失,保护输水水质,以生态效益为主,兼顾经济、社会效益,因地制宜、适地适树(草),乔、灌、草相结合,水平与立体配置相结合”。PCCP 管线工程穿越了包括公路、村庄、农田、林地、荒地、裸岩以及城市景观绿化带等多种类型的地表环境,沿线气候干旱,资源分布不均匀,人口密集,因此人类活动较强烈。根据原有的土地利用类型、水资源分布和利用情况,结合当地的经济和发展情况,对因 PCCP 管线施工所造成的植被破坏主要采取自然封育(\tilde{N})、工程绿化(\tilde{O})和复耕复林(\tilde{O})三种恢复模式(表 1)。其中, \tilde{O} 模式的植被配置类型最为复杂,植物种类多、组合方式多,而且人工整地后穴植乔木和灌木等管护方式的成本较高,仅适用于便于浇水灌溉的重要的城镇、道路沿线和景观用地; \tilde{N} 模式的成本较低,适用于人为干扰较小的偏远地区,但社会效益较低,适于破坏初期的植被快速恢复; \tilde{O} 模式以工程沿线百姓为主体,遵循“谁出力、谁受益”的原则,对破坏的原本为耕地和农地的土地进行恢复,具有长远的发展前景。

表 1 不同土地类型的植被恢复模式

植被恢复模式	植被配置类型	适用地区
自然封育(\tilde{N})	灌草	荒地等
工程绿化(\tilde{O})	乔灌-草,灌草,乔草	道路沿线、城镇附近、原为景观用地等
复耕复林(\tilde{O})	乔,乔草	原为耕地,林地,村民四旁用地等

2.2 不同植被恢复类型的草本植物多样性分析

研究区样地内野生和栽植的草本植物共有 32 个属 36 个种,主要植物为葎草(*Humulus japonicus*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、播娘蒿(*Descurainia sophia*)、高羊茅(*Festuca arundinacea*)、早熟禾(*Poa nemoralis*)、野牛草(*Buckloe dactyloides*)、狗尾草(*Setaira viridis*)、大油芒(*Spodiopogon sibiricus*)、小蓟(*Cirsium segetum*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、野鸢尾(*Iris dichotoma*)、猪毛菜(*Salsola collina*)等^[15]。不同植被恢复类型的草本植物种类和多样性指数见表 2,草本植物种类在 6~19 种之间,其中 \tilde{O} -紫叶桃类型的草本种类最少, \tilde{O} -柳树油松-五角枫混交类型的草本种类最多; \tilde{N} -蒿草类型下 Simpson 指数值最小为 0.734 8, \tilde{O} -椿树类型下的 Simpson 指数值最大为 0.913 9; \tilde{O} -柿树 Shannon Wiene 指数值最小为 1.867 3, \tilde{O} -五角枫-华山松混交类型下的 Shannon Wiene 指数值最大为 3.247 5; \tilde{O} -柿树类型下的 Menhinick 指数值最小为 0.761 6, \tilde{O} -栎树-黄栌混交类型下 Menhinick 指数值最大为 2.782 2; \tilde{O} -柿树的 Pielou 指数值最小

为 0.666 8, $\hat{0}$ -五角枫-华山松混交类型下的 Pielou 指数值最大为 0.870 3。从总体来看, $\hat{0}$ 模式的效果差异很大, 采取复层和混交模式的草本植物多样性指数要高于单一树种模式和封育模式的草本多样性指数, 而 $\hat{0}$ 模式的草本生物的种数和 4 种多样性指数则差异不大。

表 2 不同植被恢复类型的草本多样性

Table 2 The herb diversity for different types of vegetation restoration

植被恢复类型	草本种类	Simpson 指数	Shannon Wiener 指数	Menhinick 指数	Pielou 指数
\hat{N} -蒿草	8	0.734 8	1.980 8	0.859 8	0.867 6
\hat{N} -灌草	12	0.886 9	2.345 2	1.523 2	0.739 1
$\hat{0}$ -油松	14	0.848 9	2.604 3	1.398 5	0.732 5
$\hat{0}$ -银杏	6	0.826 6	2.267 1	1.883 4	0.832 1
$\hat{0}$ -五角枫	10	0.875 5	1.882 1	2.171 0	0.793 9
$\hat{0}$ -栎树	11	0.901 5	2.231 5	2.729 4	0.853 6
$\hat{0}$ -柳树	14	0.833 3	2.586 0	2.266 3	0.789 5
$\hat{0}$ -白蜡	10	0.899 9	2.763 9	2.458 3	0.764 1
$\hat{0}$ -紫叶桃	6	0.912 3	2.467 2	2.765 6	0.852 8
$\hat{0}$ -山杏	8	0.845 5	1.968 3	2.271 0	0.849 8
$\hat{0}$ -栎树黄栌混交	16	0.882 8	2.885 4	2.782 2	0.804 8
$\hat{0}$ -柿树	10	0.880 2	1.867 3	0.761 6	0.666 8
$\hat{0}$ -五角枫华山松混交	15	0.842 2	3.247 5	2.604 9	0.870 3
$\hat{0}$ -柳树油松五角枫混交	19	0.835 5	2.605 7	2.418 9	0.741 8
$\hat{0}$ -柳树刺槐白蜡混交	17	0.855 6	2.486 1	1.572 1	0.735 2
$\hat{0}$ -榆树	13	0.905 6	2.766 4	1.297 7	0.834 8
$\hat{0}$ -枣树	14	0.861 7	2.136 8	1.128 6	0.796 6
$\hat{0}$ -杨树	12	0.876 1	2.780 8	1.386 5	0.856 3
$\hat{0}$ -柳树	13	0.838 8	2.271 8	1.244 5	0.792 2
$\hat{0}$ -椿树	11	0.913 9	2.881 3	1.342 8	0.766 8

2.3 不同植被恢复类型的生物量分析

林下草本生物量的多少, 可在一定程度上反映林下草本的多样性和丰富度指数大小, 生物量越大, 说明林下草本的数量越多, 或者生长更旺盛。由图 1 可知, $\hat{0}$ -山杏类型的草本生物量鲜重最小为 31.1 g/m², $\hat{0}$ -柳树油松五角枫混交类型下的草本生物量鲜重最大为 382.2 g/m²; $\hat{0}$ -山杏类型的草本生物量干重最小为 10.8 g/m², \hat{N} -蒿草类型的草本生物量干重最大为 183.1 g/m²; $\hat{0}$ -榆树类型的鲜重与干重的比最小为 1.8, $\hat{0}$ -紫叶桃类型的鲜重与干重的比最大为 4.2。草本生物量鲜重的最大值是最小值的 12.3 倍, 干重最大值是最小值的 17 倍, 不同植被恢复类型的草本植物生物量差别较大。说明草本植物的干重和鲜重与不同植被恢复类型下的草本植物种类和数量有关: 含水量大的草本植物种类鲜重较大, 而干重不一定大, 含水量小的草本植物种类鲜重与干重的比则较小。

3 结论与讨论

南水北调中线北京段 PCCP 管道工程对原有土壤破坏严重, 基本丧失了原有的土壤结构和土壤肥力。通过对不同植被恢复模式下的草本植物多样性和生物量进行分析, 认为

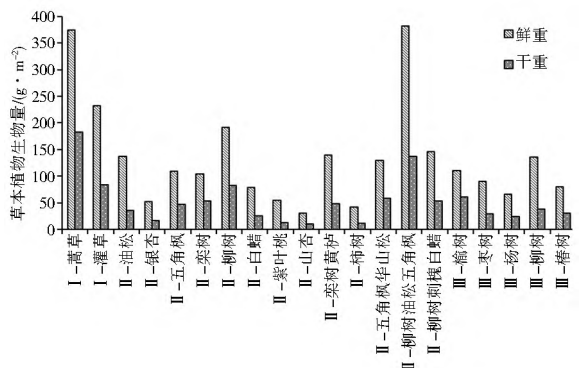


图 1 不同植被恢复模式草本植物生物量

Fig. 1 Herbaceous plant biomass for different vegetation restoration modes

植被恢复模式的选择一定要适地适树、适草, 在开始阶段以生态恢复为主, 同时兼顾景观效益和社会经济效益。在不同的生态恢复目的下, 采取自然封育与工程绿化模式相结合, 调动沿线居民的积极性, 使其充分参与到植被恢复工作中。本研究中未考虑裸岩和陡坡等无法采取植被恢复措施的土地类型, 仅从目前三种植被恢复模式来看, 工程绿化是主要的恢复方式, 虽然人工绿化的投资较大, 维护成本较高, 但能在短期内恢复植被并取得良好的景观效果; 封育模式虽然成本低, 但是社会效益较差; 复林复耕模式不仅成本较低, 还能取得一定的经济效益, 应该在后期加大推广力度。

从不同植被恢复类型的草本生物多样性分析结果来看, Simpson 指数和 Pielou 指数的变化较为平稳, Shannon Wiener 指数和 Menhinick 指数表现出相同的变化趋势且波动较大。其中, $\hat{0}$ -五角枫-华山松混交的 Shannon Wiener 指数和 Pielou 指数值均最大, $\hat{0}$ -柿树 Shannon Wiener 指数、Menhinick 指数和 Pielou 指数值均最小, 说明工程绿化的针阔混交和复层混交类型的生物多样性指数较高, 单一树种的工程绿化模式的草本生物多样性指数变化较大, 草本的种类和数量受干扰强度大, 复耕复林模式下的草本生物多样性指数变化差别不大。本研究是在完成植被恢复措施后第二年进行的调查, 而随着植被的自然演替和人为因素的影响, 草本植物多样性可能会变化, 因此需要对植被恢复地区进行长期观测以评估恢复效果。

草本生物量的变化规律与草本多样性类似, 总体上表现为工程绿化的混交和复层模式好于封育模式、复耕复林模式和单一树种的绿化模式。其中, $\hat{0}$ -柳树油松五角枫混交类型下的草本生物量鲜重和干重均较大, $\hat{0}$ -山杏类型的草本生物量鲜重和干重均最小, \hat{N} -蒿草类型的草本生物量的干重和鲜重较大, 但草本植物种类单一, 生长旺盛。说明混交和复层林能更好的维持群落的生态稳定性, 利于草本植物的生长, 乡土植物能更好的适应土地破坏变化, 发挥较好的生态和社会效益。

参考文献(References):

- [1] 吴丹丹, 蔡运龙. 中国生态恢复效果评价研究综述[J]. 地理科学进展, 2009, (4): 622-628. (WU Dair dan, CAI Yuir long. Evaluation of Ecological Restoration Effects in China: A Review

- [J]. *Progress in Geography*, 2009, (4): 622-628. (in Chinese)
- [2] 解焱. 恢复中国的天然植被[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 25-88. (Xie Yan. *Natural Vegetation Restoration of Chinese* [M]. Beijing: China Forestry Press, 2002: 25-88. (in Chinese))
- [3] 黄义雄, 方祖光, 林皆敏, 等. 高岭土矿区植被恢复与生态效应研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2008, (2): 86-91. (HUANG Yi xiong, FANG Zu guang, LIN Jie min. et al. Study of Vegetation Restoration on Ecological Effect in Kaolin Mining Region[J]. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2008, (2): 86-91. (in Chinese))
- [4] 赵毓璋. 高速公路生态护坡植被恢复效果评价[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012(09): 342-345. (ZHAO Yu zhang. Assessment on Vegetation Restoration by Soil Spray Seeding Technique on Road Verge Slopes of Expressway[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2012 (09): 342-345. (in Chinese))
- [5] 张学权. 不同类型植被恢复土壤入渗性研究[J]. 安徽农业科学, 2012(32): 15779-15780. (ZHANG Xue quan. Study about Soil Water Infiltration under Different Types of Vegetation Restoration[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2012, 40 (32): 15779-15780. (in Chinese))
- [6] 张笑培, 杨改河, 王和洲, 等. 黄土沟壑区不同植被恢复群落特征及多样性研究[J]. 西北林学院学报, 2011, (2): 22-25. (ZHANG Xiao pei, YANG Gai he, WANG He zhou. et al. Species Diversity and Community Characteristics of Different Vegetations During Restoration in the Gully Region of Loess Plateau[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, (2): 22-25. (in Chinese))
- [7] 郭燕. 露天煤矿废弃地植被恢复过程中土壤理化性质及物种多样性特征[J]. 林业科技, 2012, (5): 51-54. (GUO Yan. Soil Physical and Chemical Properties and Species Diversity Characteristics during the Vegetation Recovery Process in Wasteland of Opencast Coal Mine[J]. *Forestry science & technology*, 2012, (5): 51-54. (in Chinese))
- [8] 宋炜, 郑良勇, 侯新民. 南水北调济平干渠工程生态修复模式和效益研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, (1): 18-20. (SONG Wei, ZHENG Liang yong, HOU Xin min. Pattern and Benefit of Ecological Restoration in Jiping Canal of the East Route of South to North Water Diversion Project [J]. *South to North Water Diversion and Water Science & Technology*, 2011, (1): 18-20. (in Chinese))
- [9] 侯新民, 韩凤来, 郑良勇, 等. 南水北调东线济平干渠工程沿线生态修复配置模式研究[J]. 水利水电技术, 2008, (4): 27-30. (HOU Xin min, HAN Feng lai, ZHENG Liang yong. et al. Study on Ecological Restoration Allocation along Jiping Canal of East Route of South to North Water Transfer Project [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2008, (4): 27-30. (in Chinese))
- [10] 李振海, 赵蓉, 祝秋梅. 南水北调中线北京段总干渠工程的主要环境影响及保护措施探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2010 (1): 19-23. (LI Zhen hai, ZHAO Rong, ZHU Qiu mei. Primary Environmental Impact and Countermeasures of the Beijing Section of the Middle Route of the South to North Water Transfer Project [J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2010(1): 19-23. (in Chinese))
- [11] 郭晓娜, 郭永峰. 南水北调中线北京段PCCP管道工程进度管理实践[J]. 南水北调与水利科技, 2009, (2): 16-17. (GUO Xia na, GUO Yong feng. Large Diameter PCCP Pipeline Construction Progress Control [J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2009, (2): 16-17. (in Chinese))
- [12] 方精云, 沈泽昊, 唐志尧. “中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 5-9. (FANG Jing yun, SHEN Ze hao, TANG Zhi yao, et al. The Protocol for the Survey Plan for Plant Species Diversity of China's Mountains [J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 5-9. (in Chinese))
- [13] 韩彬, 樊江文, 钟华平. 内蒙古草地样带植物群落生物量的梯度研究[J]. 植物生态学报, 2006, (4): 553-562. (HAN Bin, FAN Jiang wen, ZHONG Hua ping. Grassland Biomass of Communities along Gradients of the Inner Mongolia Grassland Transect [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, (4): 553-562. (in Chinese))
- [14] 王永繁, 余世孝, 刘蔚秋. 物种多样性指数及其分形分析[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 391-395. (WANG Yong fan, YU Shi xiao, LIU Wei qiu, et al. A New Species Diversity Index and Its Fractal Analysis [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(4): 391-395. (in Chinese))
- [15] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴[M]. 北京: 科学教育出版社, 1972. (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. *China's Illustrated of Higher Plants* [M]: Beijing: Education Science Press, 1972. (in Chinese))