

草本植物根系网的固土机制模式与力学试验研究

程 洪¹, 颜传盛², 李建庆², 刘爱平¹, 杨小洁³

(1. 南昌工程学院, 南昌 330029;

2. 江西吉安公路局, 吉安 343000; 3. 江西香根草业园林生态科技有限公司, 南昌 330029)

摘 要: 针对生物软措施的力学固土护坡作用进行了力学机制方面的探讨, 提出植物根系网固土力学机制模式的四个层次, 以及对不同草本植物根系的固土性能进行了力学试验比较。结果表明不同植物根系具有不同的抗拉强度。香根草根系平均抗拉强度最大达 85 mPa, 其次为假俭草, 平均抗拉强度 27. 3 mPa, 白三叶根系平均抗拉强度为 24. 6 mPa, 莎草根系平均抗拉强度为 24. 5 mPa, 宣草根系平均抗拉强度为 19. 7 mPa, 百喜草根系平均抗拉强度为 19. 23 mPa, 马尼拉草根系平均抗拉强度为 17. 5 mPa, 狗牙根根系平均抗拉强度为 13. 45 mPa。不同的植物根系具有不同的抗拉强度、不同的固土性能与其遗传结构及其组织材料不同有关。充分了解和认识植物根系固土性能, 科学合理运用生物软措施代替或部分代替工程措施在我国繁重的生态环境保护和恢复的基本建设工程项目中具有重要的应用价值和意义。

关键词: 生物软措施; 根系网; 固土力学; 抗拉强度; 根- 土复合体; 草本植物

中图分类号: S 157. 433

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)01-0062-04

An Experimental Study on Mechanic Performance
and Mechanism of Soil-reinforcement by Herb Root System

CHENG Hong¹, YAN Chuan-sheng², LI Jian-qing², LIU Ai-ping¹, YANG Xiao-jie³

(1. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330029, China; 2. Jian Highway Administration of Jiangxi, Jian 343000, China; 3. Jiangxi Vetiver Grass & Eco-garden Science Technology Ltd. Company, Nanchang 330029, China)

Abstract: A study carried out on the mechanic function and the mechanism of soil reinforcement by herb root system was discussed, in which there are four primary functions analyzed and four sorts of soil-stabilities in using herb roots are raised and an experimental comparison with mechanics in the function of soil-reinforcement of various herb roots was conducted. The results were revealed that various roots have different tensile strength. Thus, the maximum of tensile strength of Vetiver grass (*Vetiveria Zizanioides*) reaches 85 mpa; secondly, Common Cetipede grass (*Eremochioa ophiuroides* hack), 27. 3; White Clover (*trifolium repens*), 24. 64; Late Juncellus (*Juncelles serotinus*), 24. 50; Dallis grass (*Paspalum dilatatum* poir), 19. 74; Bahio grass (*paspalum notatum* flugge), 19. 23; Manila grass (*Zoysia matrella* merr), 17. 55; Bermuda grass (*Cynodon dnactylo*), 13. 45. Different tensile strength of various roots and performance of soil reinforcement are discussed and revealed that the difference is concerned with the gene variety and tissue structure. Up to the present it is quite important and necessary for us to make use of soft engineering approach instead of hard engineering approach in all or partly, so as to protect natural resource and restore environment during peak time of primary construction in China.

Key words: soft bioengineering approach; root network; mechanics of soil-reinforcement; tensile strength; root and soil composite; herb

生物软措施是环境保护, 植被生态恢复和防止水土流失, 土壤侵蚀的重要手段。普遍认为水土保持措施分为工程措施和生物措施, 理论上前者称为“硬措施”, 后者称为“软措施”。现在问题是这两种措施之间存在什么样的关系, 什么情况下必须使用硬性措施, 什么情况下两者可相互配合, 补充, 什么情况下软措施可以取代或部分取代硬性措施? 可以肯定的是软措施的具体作用是存在的。据研究植物生物措施主要有以下重要作用: 1 截留雨水, 防止雨水击溅侵蚀。2 减少地表径流, 防止地表水流侵蚀。3 防止践踏。4 增加水分渗透。5 根系固定土壤和支撑作用。6 根系吸收水分。7 参与蒸发

蒸腾作用。8 防止风蚀等。从生态角度分析植物是保持生态因子水分的重要载体, 在水分- 根系- 植物- 大气连续体中^[1]根系起着桥梁作用, 根系一方面依靠根压作用及参与植物水分蒸发蒸腾与大气相连结, 一方面与土壤中的水分、可溶性矿质及土壤黏粒、微生物等相关联, 从而发生水分梯度矿质溶液的质流、物质的迁徙和富集现象^[2], 从而参与和影响整个生态系统的变化、影响水分变化、物质转移。气候环境改变等, 因此植物根系的作用是非常重要和关键的。发挥以上生理生态作用的条件和基础是植物根系始终位于土壤中而且根系与土壤中的黏粒、胶体、有机质、矿质及微生物等充

¹ 收稿日期: 2005-04-26

基金项目: 江西交通重点科技项目 9904 资助

作者简介: 程洪(1965-), 男, 硕士, 副教授, 江西波阳人, 主要研究方向为水土保持、生态恢复、农学等, 发表论文 35 篇。

分接触并构成有机复合体。这种根系与土壤完美结合方式构成了植物根系的固土性以及植物与土壤之间相互影响和相互支持的紧密关系。一般来说根系数量越多, 越长越深, 分布越广, 植物根系与土壤接触面积越大, 植物根系固土性能越强, 植物根系与土壤颗粒关系越紧密, 能吸收利用的物质越多。在一般农林生产和栽培农艺学中主要强调植物根系生长的立地条件和生长环境^[3~7], 这方面的研究和技术比较成熟, 但是植物根系固土性方面往往被忽视或研究的较少。水土保持科学研究也往往偏重于比较宏观方面的研究, 如针对土壤、水分而言, 泥沙沉积量, 径流量, 径流系数, 侵蚀模数和侵蚀面积大小等, 对生物和土壤接触面中存在的微观性根系固土机制研究甚少。

根系固土包括两方面, 一是根系本身固土力学能力, 二是根系与土壤形成复合有机整体方面的性质。由于不能搅动原状土, 因此根- 土壤有机复合体研究比较困难, 大部分的研究主要集中于根际土壤理化性质, 根际微生物活性, 根系活动^[8], 根系吸收营养的能力及微生物, 矿质促进根系生长情况^[9, 10], 虽然研究报道不少, 但缺乏系统性, 对根系固土力学性质的研究则更少。据报道, 植物根系抗拉强度如下, 柳树 9~36 MPa, 杨树 5~38 MPa, 桉树 4~74 MPa, 黄杉 19~61 MPa, 银槭 15~30 MPa, 西铁杉 27 MPa, 越桔 10 MPa, 大麦 15~37 MPa, 地衣仅 2~7 kPa。禾草, 非木本科草 2~20 MPa, 香根草 40~180 MPa。一些研究者研究了植被对斜坡稳定性的影响因素包括水文机制, 力学机制。力学因素指植物生长增加了土壤负荷, 根系作用增加了土壤的黏附力^[11]。根系类似于土壤加铆钉的作用, 但到目前为止, 缺乏强有力数据来证实这一点。本研究试图从探讨植物根系固土力学机制方面重点研究比较不同植物根系固土力学性能差异, 为目前繁重的生态恢复和基础建设中的工程项目运用生物软措施代替或部分代替某些工程措施寻找力学理论依据, 并且达到节省工程造价和环境生态保护的目的。

1 植物根系固土力学机制的理论模式

植物林木根系强化土壤抗冲性, 抗蚀性作用已被大多数学者所认识^[12, 13]。李勇等通过油松人工林根系与土壤物理性质的关系研究认为有效根密度($\leq 1\text{ mm}$ 细根)与土壤物理性质改善的效应的关系最为密切, 可明显提高土壤水稳性团粒, 非毛管孔隙度, 增加土壤有机质含量, 降低土壤紧密度和容重, 从而揭示了根系强化土壤抗冲性机理^[14]。刘国彬^[15]进一步将根系固结土壤强化抗冲性作用分为 3 种方式, 网络串联作用, 根- 土黏结作用, 根系化学作用, 在此基础上考虑根系本身材料力学作用, 便构成植物根系网力学机制模式, 见图 1, 构成四个层次。

1.1 根系材料力学

根系材料力学可定义为根系生长发育及其物质构成在受外力作用下具有的抗外力作用的特性, 如抗拉强度, 抗剪性质, 不同植物根系遗传差异, 构造差异等都造成根系材料力学性质的不同。

1.2 根系网络串联作用

纵横根系形成网络结构, 网络之间的相互连接的性质、能力; 及其根系网络与土壤网络复合的难易程度。

1.3 根系- 土壤有机复合体的黏结作用

根系与土壤接触发生有机物质的胶结作用, 有机物质如木质素, 蛋白质, 真菌, 菌丝等都有胶结作用并且在分解中产生的糖类, 脂肪, 蜡等都能起胶结作用。

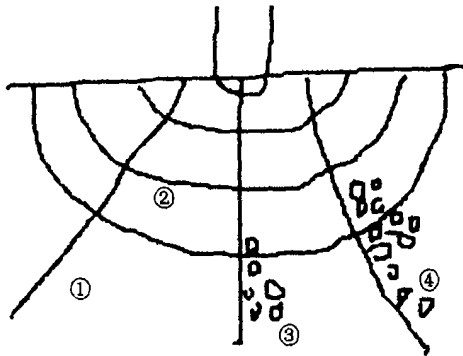


图 1 根系固土机制模式的四个层次

1.4 根系—土壤生物化学作用。

根系- 土壤有机复合体系的形成过程中植物根系与土壤接触面上产生有机物胶结物质, 通过多价阳离子 Ca^{2+} Fe^{3+} Al^{3+} 等与矿物质土粒形成有机无机矿质复合体。通过阳离子桥、多糖物质- OH 基, H^+ 质子的桥梁作用与黏粒矿物质晶面上的氧原子形成 H 键把土粒团聚起来构成根系- 土壤有机复合体系。

2 根系固土机制模式中的力的组成及其界定

植物根系上发生作用的力主要有: 植株重量产生的重力分摊在各根系上成为土壤的挤压力; 根表面上水的吸附力; 根- 土壤之间的黏结力、胶结力; 根系网络之间相互牵动的张力和拉力; 根系- 土壤接触面的摩擦力以及来自于土壤的反作用力; 上下土壤之间滑动产生的对根表面的剪力、拉力; 以及水分蒸腾产生的由根外→根内向上的抽吸力。以上由重力转化来的挤压力, 根- 土壤之间的吸附力, 黏结力, 胶结力, 摩擦力, 根系网络相互牵引的拉力以及根系材料抵抗外来力的抗拉力, 抗剪力均构成植物根系的固持土壤的力学组成, 因此评判植物根系固土力学性能应从以上几个方面进行。

由于反映草本植物根系力学性能的报道很少, 同时也因为草本植物根系相对于林木根系研究起来方法较为简单, 因此以下重点反映几种草本植物根系的材料力学特性, 借以说明根系材料力学作用。

3 草本植物根系固土力学性能试验比较

3.1 植物根系固土力学性能试验材料与方法

3.1.1 植物材料及种类

香根草(*Vetiveria Zizanioides*) 2001 年 5 月 6 日取自于杨子州农场南昌水专香根草苗圃。狗牙根(*Cynodon dactylon*), 马尼拉(*Zoysia matrella merr*), 莎草(*Juncellus Scrobinus*) 于 2001 年 6 月 2 日取自于南昌水专校园, 假俭草(*Eremochioa Ephiwroides Hack*), 百喜草(*Paspalum Notaum Flagge*), 白三叶(*Trifolium Repens*), 宜安草(*Paspalum Dilattum Pior*) 于 2001 年 6 月 5 日取自于昌北, 蛟桥, 江西省畜牧推广试验站。

3.1.2 植物根系抗拉力试验及抗拉强度计算

试验方法按 Diti 介绍的方法进行, 使用刻度弹簧拉力计测定试样根系拉断时的最大抗力, 用游标卡尺测定根系被拉断时根系断裂面直径, 计算试样的抗拉强度, $P = 4F / PD^2$ (F ——最大抗拉力, D ——拉断处根系直径), 每试样重复 10~28 次。

3.2 试验结果

(1) 香根草根系抗拉强度调查结果, 见表 1。

表 1 香根草根系抗拉强度调查结果

直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa	直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa
0.20	5.88	186.69	0.63	26.75	85.6
0.35	11.76	121.90	0.62	27.44	71.4
0.38	14.70	129.20	0.65	26.75	63.3
0.40	13.03	103.40	0.65	26.46	76.7
0.40	14.70	116.70	0.66	26.85	78.2
0.45	13.52	97.10	0.62	24.79	81.9
0.48	17.15	93.50	0.67	26.26	74.3
0.55	21.85	91.70	0.62	25.77	85.2
0.57	25.68	100.3	0.65	25.09	75.4
0.60	25.58	90.20	0.60	21.07	74.3
0.63	26.07	83.4	0.70	28.91	74.9
0.62	25.77	85.10	1.30	48.02	36.1
0.61	22.54	76.90	1.50	49.98	28.2
0.62	24.30	79.00	1.70	51.13	22.9

(2) 狗牙根、马尼拉根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果, 见表 2。

表 2 狗牙根、马尼拉根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

狗牙根			马尼拉		
直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa	直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa
0.78	10.03	13.79	0.65	6.86	20.12
0.85	9.02	15.85	0.90	7.35	19.05
0.80	7.94	15.75	0.72	7.45	18.25
0.93	10.78	15.82	0.78	8.82	18.41
0.90	8.04	12.61	0.75	7.35	10.40
1.00	7.84	9.95	0.80	9.02	17.90
1.15	12.74	12.73	0.83	10.78	19.90
1.17	12.25	11.37	0.87	9.11	15.30
1.21	14.41	12.50	0.80	8.82	17.50

(3) 白三叶、百喜草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果, 见表 3。

表 3 白三叶、百喜草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

白三叶			百喜草		
直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa	直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa
0.90	16.66	26.10	0.60	6.86	24.20
0.90	17.15	26.80	0.65	7.15	22.40
0.90	17.44	25.60	0.67	7.15	20.20
1.00	17.93	26.20	0.70	9.31	24.10
0.80	15.29	30.30	0.75	9.21	21.00
0.90	15.68	25.90	0.75	8.82	15.70
1.00	18.13	23.10	0.80	10.78	21.30
1.20	13.72	12.10	0.83	9.80	18.10
1.00	18.62	23.60	0.80	11.76	18.30
1.10	19.11	20.00	0.73	6.86	13.30
1.20	20.58	19.70	0.84	11.96	16.90

(4) 莎草、宜安草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果, 见表 4。

4 结果讨论与分析

4.1 草本植物根系材料力学性能

表 1- 6, 图 1, 表明不同植物由于结构不同, 根系组成材料存在很大差异。香根草根系力学性能抗拉强度达 85 mPa

> 假俭草 27.3 mPa> 白三叶 24.6 mPa> 莎草 24.5 mPa> 宜安草 19.74 mPa> 百喜草 19.23 mPa> 马尼拉 17.5 mPa> 狗牙根 13.4 mPa^[17]。其它研究表明, 林木根系如冬瓜杨、峨眉冷杉根系拉断时表现为典型弹性断裂, 杜鹃根系为脆性断裂^[16]。因此, 植物种类的差异, 决定组成结构材料差异, 根系力学性能的差异。目前, 不同植物, 不同根系抗拉强度研究甚少, 不同植物根系抗拉力强度等力学性能这方面研究具有极大的研究空间和前景。

表 4 莎草、宜安草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

莎草			宜安草		
直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa	直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa
0.29	1.49	29.10	0.80	12.25	24.3
0.33	2.74	31.3	0.82	12.25	23.10
0.35	2.45	25.4	0.84	12.64	22.70
0.38	3.14	27.6	0.90	13.03	20.40
0.37	2.94	27.3	0.90	12.74	19.97
0.40	2.74	21.8	0.93	12.74	19.40
0.40	2.25	19.4	0.99	12.94	18.20
0.41	2.94	22.2	0.97	13.23	17.80
0.41	2.74	20.3	1.00	12.94	16.20
0.43	2.94	20.2	1.05	13.23	15.20

(1) 假俭草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果, 见表 5。

表 5 假俭草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

直径/mm	拉力/N	最大抗拉强度/mPa
0.6	8.33	29.3
0.6	7.84	27.7
0.62	7.94	25.9
0.65	8.82	26.5
0.65	9.80	29.4
0.68	10.29	29.2
0.70	9.31	24.1
0.70	10.78	27.8
0.72	10.78	26.4
0.75	11.76	26.5

(2) 各种草类根系抗拉力、根系直径及抗拉强度, 见表 6。

表 6 各种草类根系抗拉力、根系直径及抗拉强度

种类	平均根系直径/mm	平均抗拉力/N	平均抗拉强度/mPa
莎草	0.38±0.43	2.66±0.47	24.50±4.2
宜安草	0.92±0.28	12.98±0.35	19.74±3.00
白三叶	0.91±0.11	12.80±0.59	24.64±3.36
香根草	0.66±0.32	24.89±1.08	85.10±31.2
假俭草	0.66±0.05	9.56±1.33	27.30±1.74
百喜草	0.73±0.07	8.99±1.99	19.23±3.59
马尼拉	0.77±0.67	8.84±1.25	17.55±2.85
狗牙根	0.99±0.17	10.49±2.65	13.45±2.18

4.2 草本植物根系网络的固土力学机制

草本植物与林木根系最大的区别一般是其没有强大的主根。通常以须根为主或细根为主($E < 1\text{ mm}$), 如香根草 $E < 1\text{ mm}$ 占 50~66%^[17]。这样的话, 根系与土壤颗粒能够充分地接触, 在接触表面上经受水的吸附力。有机无机胶体的黏结力、胶结力, 以及土壤在根表面上滑动产生的摩擦力。根系表面经受土壤运动产生的剪切力和根系抵抗外部因素而生产的抗拉力等。

5 研究与展望

植物根系稳定土壤结构方面的研究是一个崭新的领域, 通过多学科、多领域联合攻关深入系统研究植物根系稳定土壤、防治土壤侵蚀必将为我国生态环境恢复与重建, 实现可持续发展战略发挥重要作用。这也是水土保持及荒漠化防治理论深入发展的需要。

植物根系固土机制或模式问题的解决, 有助于揭示植被

措施防治水土流失基础关键问题的解决, 这对我国实施生态环境战略目标的完成和实现都具有重要积极的意义, 不仅促进小流域治理、植被生态的自然修复和人工生态工程的实施, 而且有助于沙漠化、荒漠化等严重生态问题的解决, 对我国迅速发展城市化过程中大量基础建设遗留下来的工程边坡、弃石土场及尾矿等人工生态恢复和生态化进程, 也同样具有重要理论指导作用。

参考文献:

[1] 康绍忠. 土壤- 植被- 大气连续体水分传输理论与应用[M]. 北京: 水电出版社, 1994.

[2] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[3] Jackson R B, Canadell J, Mooney H A. A global analysis of root distribution for terrestrial biomass[J]. *Oecologia*, 1996, 180: 389- 411.

[4] Gale M R, Grigal D E. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status[J]. *Can J For For*, 1987, (17): 829- 834.

[5] Lyr H, Hoffmann G. Growth rates and growth periodicity of tree roots[J]. *Int. Rev. For. Res.*, 1967, 2: 181- 236.

[6] Coile T S. Distribution of forest tree roots in North Carolina Piedmont soils[J]. *J. For.*, 1936, 35: 247- 257.

[7] 李鹏, 等. 渭北黄土高原不同立地上刺槐根系分布特征研究[J]. *水土保持通报*, 2002, 22(5): 15- 19.

[8] 刘建军. 林木根系生态研究综述[J]. *西北林学院学报*, 1998, 13(3): 74- 78.

[9] 单建平, 陶大立. 国外对树木细根的研究动态[J]. *生态学杂志*, 1992, 11(4): 46- 49.

[10] 宋长贵, 张献义. 深翻对根系的影响[J]. *湖北林业科技*, 1992, (4): 1- 3.

[11] Diti Hengchaovanich. 15 years of bioengineering in the wet tropics from A (*Acacia auriculiformis*) to V (*Vetiveria Zizanioides*) [A]. *Proceedings of the first Asia- Pacific conference on ground and water Bioengineering for erosion control and slope stabilization*[C]. Manila, the Philippines, 1999. 54- 63.

[12] Kazuroki Abe, Masaru Iwamoto. Stimulation model for the distribution of tree roots- application to a slope stability model[J]. *J. Jap. For. Soc.*, 1990, 72(5): 375- 387.

[13] 竹下敬司. 林木根系N 崩塌防止机能[J]. *林业技术*, 1989, (7): 12- 16.

[14] 李勇, 等. 黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效性研究[J]. *林业科学*, 1993, 29(3): 193- 198.

[15] 刘国彬. 黄土高原草地拉冲性及其机理研究[D]. 陕西杨陵: 中科院西北水土保持研究所, 1996.

[16] 朱清科, 等. 贡嘎山森林生态系统根系固土力学机制研究[J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 64- 67.

[17] 程洪, 张新全. 草本植物根系网固土原理的力学试验探究[J]. *水土保持通报*, 2002, 22(5): 20- 23.

(上接第 44 页)

经济发展较快省份相比, 存在着相当大的差距^[9]。当前存在的突出问题主要是发展循环经济的指导思想不够明确, 有关的法律法规不健全, 缺乏对循环经济发展的统一规划与管理, 技术装备和技术水平落后, 循环经济的宣传教育不够, 公众参与意识不强。

4.3 采取积极措施, 加快河南循环经济发展

4.3.1 制订和完善促进循环经济发展的政策、法规

应尽快着手制订和完善绿色消费、资源循环再生利用以及家用电器、建筑材料、包装物品等行业在资源回收利用方面的法律法规; 建立健全适应新形势的政策体系, 包括财政、税收、金融、投资、技术等促进循环经济的技术经济政策, 充分发挥优惠政策的鼓励、引导和扶持作用。制定污染治理的监督管理条例, 使企业和监管部门的所有行为都置于法律法规的规范之下。

4.3.2 加强政府引导和市场推进作用

积极探索适合本省不同地域特点循环经济实践模式, 继

续扩大创建循环经济示范区建设试点工作。政府有关部门特别是环保部门应认真转变职能, 依法推进企业清洁生产并加强企业清洁生产审核。

4.3.3 依靠科技进步, 建立循环经济发展的技术支撑体系

加快用高新技术和先进适用技术提升循环经济发展的技术水平。要以解决循环经济发展中的共性和关键技术为重点, 选择具有标志性和广泛推广前景的先进适用技术, 在本省重点行业、企业组织一批重大示范工程, 促进资源综合利用再上新台阶, 为新型工业化奠定坚实的基础。

4.3.4 提高全民发展循环经济意识和公众参与水平

政府有关部门要利用大众传媒和网络广泛开展国民循环经济素质教育和科学普及, 增强公众合理利用资源的意识和责任感, 把循环经济的法制规范转化为普通的道德准则和广泛的社会行动。积极鼓励与支持社会组织和民间团体参与促进循环经济发展的各项活动, 使全民能够理解、支持和自觉参与循环经济事业的发展, 从而使循环经济步入良性发展的轨道。

参考文献:

[1] 江泽民. 全国建设小康社会隔半个字符开创中国特色社会主义事业新局面[M]. 北京: 人民出版社, 2002.

[2] 朱桂香. 黄河中下游地区生态经济建设与可持续性研究[J]. *可持续发展*, 2003, (3): 46- 48.

[3] 樊万选, 朱桂香. 关于河南省实施可持续发展战略的思考[J]. *中州建设*, 2000, (3): 3- 6.

[4] 河南省环境保护局. 2002 年河南省环境状况公报[J]. *中州环境*, 2003, (6): 12- 14.

[5] 冯建平, 等. 河南省环保产业现状及发展建设[J]. *中州环境*, 2002, (11): 8- 10.

[6] 樊万选. 走可持续性的新型工业化发展道路[J]. *中州学刊*, 2003, (2): 4- 7.