

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200334036

UDC _____

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

采用生活污水浇灌绿地的可行性研究

Research on the Feasibility of Using Domestic Wastewater
Irrigating Green Lands

方 宏 达

指导教师姓名: 景 有 海 副 教 授

专 业 名 称: 环 境 工 程

论文提交日期: 2006 年 6 月

论文答辩日期: 2006 年 6 月

学位授予日期: 2006 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘要

本文提出“采用生活污水浇灌绿地”的新思路，拟采用化学强化一级处理和消毒的方法对生活污水进行预处理后浇灌绿地，其工艺流程如下：



本文通过对以下三方面的主要问题的研究，探讨该方法的可行性：

- (1) 采用生活污水浇灌绿地是否引起植物生长不良；
- (2) 生活污水浇灌绿地是否污染绿地土壤；
- (3) 生活污水浇灌绿地是否污染地下水。

通过近 10 个月的模拟绿地浇灌试验，研究结果表明：

- (1) 采用生活污水浇灌绿地不但不对绿地的植物生长产生不良影响，相反还促进了植物的生长发育；
- (2) 生活污水浇灌绿地后，绿地土壤并没有产生重金属的累积，因此认为绿地土壤不会受到污染；
- (3) 绿地土壤对浇灌的污水具有很强的净化能力，对悬浮物、氨氮、磷酸盐、有机物的平均去除率分别为 80%、99%、89%、80%，经过土层的净化后，下渗水达到地下水回灌水质标准，不会污染地下水。

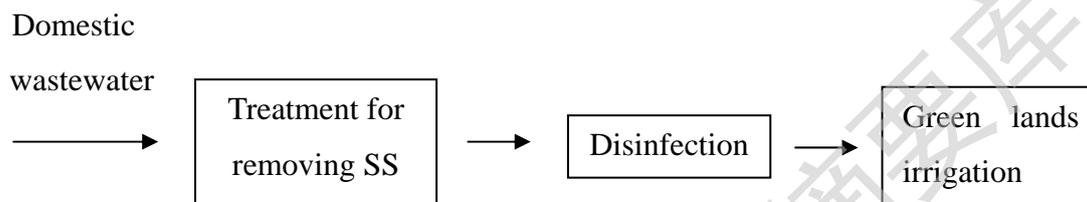
以上结论表明，本文提出的“采用生活污水浇灌绿地”的思路是可行性的，可以代替自来水或中水用于绿地浇灌，不存在隐患。本研究提出的思路解决城市绿化用水，与传统的中水浇灌相比，可以节省设施投建资金 60% 以上，节约运行成本 50%，同时也可以节约绿地用肥，具有很高的实际经济效益。

本文提出的思路属于创新性的做法，目前国内外未有先例。

关键词：生活污水；绿地浇灌；可行性

Abstract

The thesis put forward a new method of using domestic wastewater to irrigate the green lands. In research we use “Chemically Enhanced Primary Treatment” and “Disinfection” as pre-treatment. The process are following.



The thesis studied on the feasibility of using domestic wastewater to irrigate the green lands. And the research focuses on three points:

- (1) Using the domestic wastewater to irrigate the green lands, whether the plants will develop worse.
- (2) Using the domestic wastewater to irrigate the green lands, whether the soil will be polluted.
- (3) Using the domestic wastewater to irrigate the green lands, whether the groundwater will be polluted.

The researcher used the domestic wastewater to irrigate the green lands. After 10 months' research, we got the results as follows:

- (1) The domestic wastewater does no harm to the plants, and it is good for them reversely.
- (2) The heavy metals in the soil did not increase after irrigation. And the soil of green lands has not been polluted.
- (3) It was found that the green lands have a super ability to cleanse the wastewater. The filtrated water after passing through a 50cm thick soil layer was purified substantially. Removal of SS 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、phosphate and CODcr was 80% 、99%、89% and 80% respectively . The filtrated water was clear enough to reach the quality standard of groundwater recharge. So using the domestic wastewater to irrigate the green lands would not lead a groundwater pollution.

Basing on the results above, it is concluded that using domestic wastewater to irrigate the green lands is feasible.

There is much benefit to use domestic wastewater irrigating the green lands instead of using reclaimed water. Firstly, it can save 60% of the construction expenditure of water treatment establishment and 50% the cost of treatment operation. Secondly, it can provide green lands an additional nutrition. And it can also save fertilization.

Using domestic wastewater to irrigate the green lands is a new method. The research has not been done before.

Keywords: Domestic wastewater; Green lands irrigation; Feasibility

目 录

摘 要.....	1
ABSTRACT.....	II
第一章 绪 论.....	1
1.1 雨水用于绿化的实践与研究进展.....	1
1.2 中水回用绿化的实践与研究进展.....	2
1.2.1 国内外中水回用绿化的概况.....	3
1.2.2 用于绿化的中水处理技术研究进展.....	4
1.2.3 中水用于绿化的环境安全研究进展.....	6
1.3 污水直接用于绿化的实践与研究进展.....	8
第二章 论题的提出及研究设计.....	10
2.1 本文论题的提出.....	10
2.2 研究设计.....	12
2.2.1 须解决的主要问题.....	12
2.2.2 确定的主要研究内容.....	13
2.2.3 本文研究的技术路线.....	14
2.2.4 研究的实施方法设计.....	14
2.3 本研究的意义及创新点.....	17
2.3.1 本研究的意义.....	17
2.3.2 本研究的创新点.....	17
第三章 试验方法与材料.....	18
3.1 试验装置及材料.....	18
3.1.1 污水预处理装置.....	18
3.1.2 模拟绿地试验装置.....	18
3.2 试验方法.....	19
3.2.1 污水预处理方法.....	19
3.2.2 绿地浇灌模拟试验方法.....	19
3.3 水样的采集与分析.....	20

3.3.1 分析指标及方法.....	21
3.3.2 分析仪器.....	21
3.4 土壤样分析.....	21
3.4.1 样品采集及处理方法.....	21
3.4.2 分析指标及方法.....	22
3.4.3 分析仪器.....	22
第四章 试验结果与讨论.....	23
4.1 绿地对浇灌水的净化效果及下渗水水质的研究.....	23
4.1.1 绿地对污水中悬浮物（浊度）的净化效果.....	23
4.1.2 绿地对污水中氨氮的净化效果.....	24
4.1.3 绿地对污水中磷酸盐的净化效果.....	26
4.1.4 绿地对污水中有机物（COD _{cr} ）的净化效果.....	27
4.1.5 小结.....	31
4.2 绿地土壤重金属积累研究.....	32
4.3 浇灌量与下渗量的研究.....	36
4.4 结果与讨论.....	38
4.4.1 污水浇灌对地下水影响的分析.....	39
4.4.2 污水浇灌对土壤影响（重金属积累）的分析.....	40
4.4.3 污水浇灌对植物生长影响的分析.....	40
第五章 总 结.....	43
5.1 结论.....	43
5.2 建议与展望.....	44
附 1 生活污水混凝烧杯试验.....	45
1 试验材料.....	45
2 试验方法.....	45
3 分析项目及方法.....	45
4 试验结果与讨论.....	45
附 2 混凝过滤预处理对污水的净化效果.....	50
1 实际装置图.....	50
2 实际工作的处理效果.....	50

参考文献.....	54
致 谢.....	58

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

我国是一个资源相对贫乏的国家,人均水量仅为世界平均水平的 1/4。而且水资源在时间和地区分布上很不平衡,南方多北方少。另外,在北方干旱半干旱地区全年的降水量主要集中在 7、8、9 三个月,这就使可利用的水资源尤其显得不足。随着经济发展和城市化的加快(每年以 1.4% 增长^[1]),城市缺水问题尤为突出。当前相当部分城市水资源短缺,城市缺水范围不断扩大,缺水程度日趋严重,据统计,全国 669 个城市中,400 个城市常年供水不足,其中有 110 个城市严重缺水。全国城市日缺水量达 1600 万立方米,年缺水量达 60 亿立方米,由于缺水原因每年受影响的工业产值达 2000 多亿元^[2, 3]。

随着生活水平的提高,人们对生活环境的要求开始从已往的安居型逐步走向康居型。舒适的生活环境已成为人们追求的目标,而城市绿化则起到关键的作用,城市绿化状况、绿地的多少从侧面反映了城市的进步与发展。伴随着城市绿化建设的迅速发展,绿地面积的增加,绿化灌溉所需水量也相应越来越多。

目前,城市用水已是日趋紧张,然而多数城市的园林和绿地仍采用自来水灌溉,这更加剧了自来水的供需矛盾。因此,开辟绿化用水的新水源成为了海内外的研究热门。

目前解决城市的绿化用水,主要发展趋势是:雨水利用,中水利用(再生水),污水直接利用。

1.1 雨水用于绿化的实践与研究进展

用雨水来满足绿化浇灌用水,主要是通过采用雨水集蓄技术收集雨水,经过处理后达到水质指标回用^[4]。在国外,雨水资源化和雨水收集利用于绿化灌溉已有几十年的历史。

日本是一个淡水缺乏的国家但却雨水充沛,因此日本领先于亚洲其他国家率先使用雨水灌溉绿地。

日本的雨水使用从 1955 年开始,受 1977 年节能政策调整和 1978 年福冈水荒的影响,国家及地方制定了雨水等杂用水利用的指导计划。从 1980 年开始,雨水利用设施建设数量激增。截止 1993 年,使用雨水作杂用水的设施全日本共

有 528 处, 使用水量为 500 万 m^3/d , 其中东京的雨水利用设施占全国的 65%, 福冈占 7%, 收集的雨水主要用于冲厕及绿化用水, 绿化用水约占总用水量的 20%^[5, 6, 59, 60]。

英国对于雨水绿化利用, 主要是把局部地域内收集到的径流雨水, 用人工方式贮存起来, 经过处理后成为城市中水, 用于绿化浇灌。如在英国诺丁汉有一个 Edwinstowe 青年旅行社, 在建筑物附近采用“蓄水地面”, 利用人行道、车道、停车场的地下空间, 贮存、截留雨水, 即在具有一定强度的多孔、可渗的路面下依次铺设砾石层、土工织物, 以干净的碎石等蜂窝状材料作为基底蓄水层, 并用土木工程中使用的透水性很小的高聚物薄膜——土工膜将结构包围起来, 贮水量可达 $100\text{L}/\text{m}^2$, 收集的地面雨水与屋面雨水一起储存经处理后回用^[7]。

德国在雨水绿化浇灌资源化研究方面, 走在世界的前沿。在上个世纪德国就已经利用公共雨水管收集雨水并经简单的处理达到杂用水水质标准后, 用于街区公寓的厕所冲洗和庭院绿地浇洒, 部分地区利用雨水可节约饮用水达 50%。目前, 德国在新建小区(无论是工业、商业、居住区)时均要设计雨水利用设施, 否则, 政府将征收雨洪排放设施费和雨水排放费。德国已经形成了一整套较为成熟的雨水资源利用的实用性技术、行业标准和管理条例^[8,9]。

我国城市雨水利用于绿化相对较晚, 始于 20 世纪 80 年代。目前主要在缺水地区有一些非标准性应用。如甘肃省的“121”工程、集雨节灌工程和宁夏的水窖节灌工程等。还有北京、上海、大连等一些节水理念较为进步的都市, 也兴建了一批雨水利用设施。如王俊岭^[10]报道北京某中学通过收集雨水处理后, 年均收集雨水 7995m^3 用于校园的绿地浇灌 (5552m^2); 上海浦东国际机场的雨水绿地灌溉系统等^[11, 12]。

1.2 中水回用绿化的实践与研究进展

所谓“中水”^[13, 14], 是指城市污水或生活污水经过处理后, 达到规定的水质标准, 可在一定范围内重复使用的非饮用水, 其水质介于清洁水(上水)与污水(下水)之间。中水虽不能饮用, 但它可以用于一些对水质要求不高的场合, 如绿化等用水。

1.2.1 国内外中水回用绿化的概况

中水回用于绿化在国外早已应用于实践，其中以美国、日本、南非、以色列最为典型。

自美国于 1920 年在亚利桑那州修建第一个分质供水系统用于浇灌绿地等以来，从此开始了中水用于绿地浇灌的实际运用。目前美国有 300 多座城市实现了污水处理后再利用，回用于市政绿化达到 600 万 m^3/a 。美国加州的法律甚至规定如果有可获得的回用水，不能用饮用水进行浇洒灌溉^[15, 16]。美国中水用于绿化的突出特点是集中处理回用。美国的中水利用工程主要分布于水资源短缺、地下水严重超采的西南部和中南部的加利福尼亚、亚利桑那、得克萨斯和佛罗里达等州。

日本自 20 世纪 60 年代起就开始使用中水用于绿地浇灌，至今已有 40 多年的历史，最初在沿海和西南一些缺水城市如东京、名古屋、川崎、福冈等地进行推广，70 年代初见规模。目前除正规污水处理厂外，日本还有数以千计的建筑和区域再生水回用系统。据 1996 年统计，全日本有约 2100 个建筑或区域中水回用系统，每天使用的中水量在 32,400 m^3 左右，约占日本当年家庭用水的 0.8%^[17]。

南非作为世界上最缺水国家之一，其广泛采用双重供水系统（也称双轨或双管系统），即城市的供水优质供水系统（一般饮用的）和中水系统，目前南非的城市绿化浇灌已经基本上完全采用了中水浇灌，几乎没有使用优质水浇灌^[18]。

以色列是中东沙漠国家，在 20 世纪 60 年代就把中水回用列为一项国家政策。截至 1987 年，已建造了 210 个中水工程，规模最大的为 20 万 m^3/d ，最小的 27 m^3/d ，一般介于 0.5 万~1 万 m^3/d 之间，100%的生活污水和 72%的市政污水已经实现再生利用，其中 42%的中水用于园林、农业等灌溉^[18]。

荷兰王国被称为“低地之国”绝大部分国土是平原地带，水网密布，水面占国土面积 1/6 以上，国家长期注重水质及水资源的管理。城市污水经处理后被输送至森林、公园及二级河道，很少直接排放江河湖泊等自然水体，充分利用中水的同时，有效保护了水环境^[15]。

我国中水用于绿地浇灌始于 20 世纪 90 年代，主要在北京、天津、秦皇岛、大连、青岛等城市进行示范尝试，分别有 1992 年投产运行的大连市春柳河水质净化厂（回用量 5000 m^3/d ），同年运行的深圳滨河水质净化厂建造的污水回用示

范工程 (1000 m³/d), 青岛海泊河污水厂回用工程、天津市纪庄子污水回用厂、泰安污水处理厂、北京高碑店污水厂等, 处于全国目前推广阶段^[15, 19]。

厦门中水回用于绿化是于近几年开始的, 目前中水回用于绿地的主要有: 筓筓湖公园 (采用厦门第一污水厂的二级处理出水), 海沧的柯达、翔鹭等大企业。另外还有鼓浪屿内厝沃污水厂的处理后的中水用于鼓浪屿的绿化^[20, 21]。

1.2.2 用于绿化的中水处理技术研究进展

国内外的中水使用, 一般都是将污水处理达到市政杂用水、工业冷却用水等水质标准后, 同时用于绿化、冲厕、洗车等。其处理方法主要分成两类: A. 物理化学法, 适用于水量小而水质变化较大的生活污水的处理; B. 生物法, 适用于有机物含量较高的生活污水。

(1) 物理化学法的研究进展

Kyu-HongAhn, et al.^[22]采用陶瓷膜法处理生活污水, 在试验中采用超滤和微滤膜系统, 在改变过膜压力、错流速度和陶瓷膜孔径等参数的条件下考察膜的性能和出水质量。由于进水的微粒平均直径大于陶瓷膜的孔径, 孔径对陶瓷膜过水性能的影响不大。当达到假稳态时, 过膜流量随着错流速度的增大而增大。研究得出, 在保持稳定的过膜压力和系统的稳定性方面, 紊流($Re > 2000$)比层流效果更好, 最佳的过膜压力是 150kPa, 膜的孔径对能耗有影响, 0.1 μm 的微滤膜的能源消耗最低。实验所得的净化水达到了韩国的中水回用水质标准, 可回用于绿化及冲洗厕所等。

Alonso, et al.^[23]采用膜法对传统污水处理的二级出水进行处理, 并对微滤膜和超滤膜的出水水质和运转费用进行对比评价。两种工艺的 COD 去除率都在 50% 左右, BOD₅ 的去除率在 80% 左右; 进水中的去垢剂和苯酚的去除率也可达到 40% 左右。超滤对总磷的去除率大于微滤, 达到了 26%。过滤后金属中的 Fe、Zn、Al、Cr、Cu 和 Mn 也有较大的去除率。由于微生物的直径比膜孔大, 这两种方法对微生物都有较大的去除率。微滤和超滤这两种工艺的净化水具有以下特性^[24]:

- A. 较高的营养物含量;
- B. 无微生物污染;

- C. 钙、钠和锰的浓度结构合适;
- D. 适当的盐分;
- E. 低的微污染浓度。

这两种工艺处理后的净化水的物理、化学和生物的特性表明其适用于农业灌溉回用、公园回用和运动场的灌溉回用。

徐元勤^[25]采用规模为 $800\text{m}^3/\text{d}$ 的浸入式连续微滤膜装置对生活污水进行深度处理并回用。运行结果表明该装置在技术上是可行的,对悬浮固体、胶体等污染物具有显著的过滤作用,其出水水质稳定、无色无嗅、优于生活杂用水水质标准(CJ25.1-89)。

高 湘等^[26]对絮凝-气浮法处理氧化沟二级出水的可行性进行了探索。试验结果表明:混凝阶段是气浮工艺的重要预处理阶段,氧化沟二级出水经过絮凝(硫酸铝作为絮凝剂)、溶气气浮的深度处理可以达到《生活杂用水水质标准》,可以回用于工艺冷却、道路冲洗、洗车和绿化等。

(2) 生物法的研究进展

虽然膜技术具有良好的技术生存能力,但因其高昂的投资和运行费用而受到应用限制,化学混凝和气浮等方法由于水质的不稳定,它们的应用也会受到限制。而生物技术在这些方面就体现出其独特的优越性,并在水再生回用上得到推广应用。

德国的 Ervin^[27]对生物转盘处理系统和流化床反应器处理生活污水生产中水进行了研究,研究表明生物转盘采用四级处理系统,在负荷波动时有更好的稳定性,其进水的 BOD_5 浓度在 $50\sim 250\text{mg/L}$ 时,出水的 BOD_5 浓度在 5mg/L 以下,每周的维护时间仅需 0.2 小时。而流化床反应器也可以得到良好的出水水质(TOC : $4\sim 8\text{mg/L}$; BOD_5 : $<5\text{mg/L}$),且占地面积小,采用紫外线杀菌能使净化水达到微生物要求。运转表明,这两个系统在节能和维护上是最佳的。

Fujioka 等^[28]设计了污水的固定湿地处理系统,它包括水葫芦塘,化学混凝,过滤和紫外线杀菌等工序。在整个工艺中水葫芦塘能减少细菌的 $82\%\sim 96\%$,化学混凝和过滤将细菌进一步减少 $90\%\sim 99\%$,而紫外线又使 99% 的细菌失活。整个方案能减少水体中 99.99% 的大肠杆菌,处理后出水能满足非饮用水水质标准,可回用于绿化、冲厕等杂用。

在波兰，由于维斯杜拉河的水盐分太高，其处理成本高于城市生活污水再生成本。在 20 世纪 80 年代提出了将城市生活污水再生回用于绿化浇灌。Jerzy 等^[29]对城市生活污水的再生回用进行小型试验和示范工程试验，在研究中采用活性污泥法，经过活性污泥的缺氧、厌氧和好氧处理后，得出的净化水成分如表 1-1 所示：小试和示范工程试验结果表明，这一再生法的净化水回用为绿化是完全可行的。

表 1-1 活性污泥法处理后的净化水水质^[29]

成 分		COD	BOD ₅	氨氮	硝酸盐	总氮	总磷
小型	出水 (mg/L)	26	10	0.196	5.39	10.3	0.8
试 验	平均去除率(%)	90	96	99		64.5	84.5
示范	出水 (mg/L)	35	8.3		6.9	8.0	0.3-6.3
工 程	平均去除率(%)	81	94	99		56	48

1.2.3 中水用于绿化的环境安全研究进展

目前国内外对中水用于绿化的环境安全研究，主要集中在：采用中水浇灌绿地对植物生长、土壤、地下水及公共卫生等方面的影响进行研究。

(1) 中水灌溉绿地对植物生长影响的研究

在中水灌溉对草坪质量及生长影响研究中，国内在这方面做的研究极少，而国外做的研究相对较多。

Wu^[30]在对狗牙根、结缕草、高羊茅、草地早熟禾及多年生黑麦草的中水灌溉研究中发现，植物对 Ca^{2+} 、 K^{+} 及 Mg^{2+} 的吸收增加不显著，而大量的 Cl^{-} 被草坪草吸收，最后通过修剪除去，他认为在合理管理下，处理后中水可用于草坪草灌溉。

Hayes^[31]研究了中水对草坪草的影响，主要分析了土壤、淋溶水的质量及中水对草坪质量的影响。Hayes 认为在美国西南沙漠地带用中水灌溉可提高土壤的电导率， NO_3 、N、P、K、Na 及交换 Na 的百分率水平，土壤 pH 值变化不显著，另外研究发现在 0.61m 深处的淋溶液比用饮用水灌溉下的电导性、Na 含量均要高。Hayes 认为城市中水灌溉能产生高质量的草坪，但是由于水中可溶盐含量较高，

从而需要一些特殊的管理措施。

韩烈保、孙吉雄等^[32, 33]人分别用自来水和中水灌溉草坪一年的生长观察得出:中水灌溉与自来水灌溉的草坪在生长发育和质量方面没有显著差异;同时通过对草坪草的细胞膜透性、CAT 活性、脯氨酸的积累量测试表明:中水灌溉不但不会导致草坪草抗寒抗热性的下降,而且还使高羊茅和结缕草的抗寒性有所提高,并且促进了大多数草坪草的根系生长,春季返青和越夏都较顺利。但在用中水灌溉的绿地草坪中却发现了大量的勃虫、螟虫、鳞蜡、金针虫等害虫发生,这些虫害的发生是否与中水有关尚不清楚。

(2) 中水灌溉绿地对土壤影响的研究

Neilsen^[34]经过 5 年的研究表明,中水灌溉的土壤中 P, K, B 元素的水平高于井水灌溉的,而 Ca 和 Mg 元素的水平则低于井水灌溉的。

Zekrid^[35]研究中水灌溉时认为,通过中水灌溉,绿地土壤的 pH 值以及 N、P、K、Ca、Mg、Na 元素的含量都会增加。

王玉岱等^[36]对中水灌溉对土壤影响进行了研究。研究结果表明应用中水浇灌园林植物,不会造成土壤污染、降低土壤肥力,建议在园林绿化中推广使用。只是由于回用水含一定量的盐分,虽然不会对植物造成伤害,但有可能在土壤中积累。

黄冠华等^[37]的研究结果表明,中水灌溉使草坪草根系层(0~30cm 土层)土壤中的全氮、速效氮和铵态氮的含量低于清水灌溉;与此相反,可使草坪草根系层及其以下土层硝态氮明显高于清水灌溉。另外采用中水以渗灌和滴灌 2 种方式灌溉,土壤全氮、速效氮和铵态氮的含量差异不明显,但与滴灌相比,渗灌的土壤硝态氮的含量高于滴灌的情况,尤其是 15~30cm 和 30~45cm 土层。二者硝态氮含量差异显著。

(3) 中水灌溉绿地对地下水影响的研究

墨西哥加里哥斯^[38]在研究墨西哥莱昂和梅斯基塔尔流域中水灌溉对地下水环境的影响时发现,在较浅处(离地面 10m 以内),在地下水位的顶部大肠杆菌含量较高,在梅斯基塔尔流域硝酸盐浓度普遍升高。

姜翠玲等^[39]的研究结果表明:中水中含量高达 5.35mg/L 的氨氮进入土壤后,

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库