



中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨
第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会

论文集

土壤科学与社会可持续发展

(中)

土壤科学与资源可持续利用

中国土壤学会



中国农业大学出版社

ZHONGGUO NONGYE DAXUE CHUBANSHE

中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨
第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会 论文集

土壤科学与社会可持续发展 (中)

土壤科学与资源可持续利用

中国土壤学会

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土壤科学与社会可持续发展(中)——土壤科学与资源可持续利用/中国土壤学会. —北京:中国农业大学出版社,2008.9

ISBN 978-7-81117-271-3

I. 土… II. 中… III. 土壤科学-关系-可持续发展研究 IV. S15 X22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 137418 号

书 名 土壤科学与社会可持续发展(中)——土壤科学与资源可持续利用

作 者 中国土壤学会

策划编辑 孙 勇

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

规 格 889×1 194 16 开本 32 印张 956 千字

定 价 本册定价:80.00 元(全套定价:240.00 元)

责任编辑 李鸿洲

责任校对 晓 明

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编辑委员会

主 编 李保国 张福锁

副主编 周健民 沈其荣 武志杰

编 委 (按姓氏笔画为序)

王 冲	王方浩	王敬国	任图生	刘 忠	刘宝存	吕贻忠
孙丹峰	朱永官	江荣风	何园球	张凤荣	张玉龙	张维理
张福锁	李保国	李彦明	李贵桐	沈其荣	苏德纯	陈 清
陈新平	周健民	林启美	武志杰	范明生	胡克林	赵小蓉
赵桂慎	贾小红					

序

土壤是最基本的和不可再生的重要自然资源,它的数量与质量直接影响人类的生存与发展,在粮食安全、环境保护和生态系统功能发挥等方面有着重要作用。

随着人们对土地持续高强度地利用,人地矛盾日趋尖锐。我国的问题尤其严重,一方面耕地资源数量匮乏,整体质量欠佳,土壤环境质量日趋恶化。另一方面耕地资源空间分布不均衡,水土资源匹配不协调;耕地后备资源不足,开发整理复垦难度大等危及资源、环境与粮食安全的严重问题。土壤科学作为解决上述问题的核心学科,既面临前所未有的挑战,同时也是难得的发展机遇。

土壤学在解决全球粮食问题和人类社会可持续发展中发挥了巨大作用。土壤资源保护与土壤肥力培育是现代土壤学的重要内容;土壤生态环境安全与农业可持续发展是现代土壤学的根本任务;土壤环境质量改善是我国农产品质量安全及人民健康的重要基础。这说明,土壤研究具有学科交叉性与综合性的特点,在解决国民经济的重大问题中,将更加注重土壤与环境、土壤质量和肥力、生态和健康之间的影响。从研究土壤本身转向研究土壤与人口、资源、生态、环境、社会经济发展相协调,在不断丰富和发展土壤学自身的研究内容的同时,使土壤学研究参与并服务于国家重大战略,保障我国人口—资源—环境—经济—社会这个大系统协调与可持续发展。

在这样的前提下,中国土壤学会决定在北京召开第十一次全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨大会,围绕土壤科学与农业可持续发展、土壤科学与资源可持续利用、土壤科学与生态安全和环境健康等三个方面进行研讨,并编辑出版《土壤科学与社会可持续发展》会议论文集。

该论文集的出版反映了我国土壤肥料科学的繁荣与进步,也体现了广大会员对学会的关心与支持!希望该文集能为全国广大土壤和肥料科学工作者提供借鉴,启迪创新思想,掌握新知识,促使土壤科学研究不断创新,为我国土壤科学与社会可持续发展贡献一份力量。

中国土壤学会理事长 周健民

2008年9月

前 言

2008 年是中国最不平凡的一年,从年初的南方冰雪灾害到 5 月 12 日的汶川大地震、从全民抗灾到北京奥运会,中国人民表现出了惊人的团结和坚强。与此同时,全球范围内暴发的粮食和能源危机影响世界各国的经济与社会发展,而中国却依然保持着经济的高速发展,为世人所瞩目。然而,中国做为人口与资源环境及经济发展矛盾最为突出的国家,只有通过全国人民的艰苦奋斗和共同努力,才能解决不断出现的比其他国家更为严峻的各种各样的问题,最终实现可持续发展。在这样一个对土壤科学工作者来说,既面临严峻挑战,又是大好机遇之际、在北京成功举办奥运会一个月之时,中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会将于 2008 年 9 月 24—27 日在北京召开。这是中国土壤学会成立 60 年来第一次在北京召开的盛会,将会极大地促进土壤和肥料科学工作者在新的形势下为国家粮食安全、环境保护、资源高效利用做出更大的贡献。

土壤是陆地生态系统的基础、农业生产的基本资料、人类社会可持续发展的必备支撑条件。从人类的吃、穿、住、行到生产、生活的方方面面,人类的一切活动都要依靠土壤功能的发挥。为此大会确定的主题是“土壤科学与社会可持续发展”,会议将围绕土壤科学与农业可持续发展、土壤科学与资源可持续利用和土壤科学与生态安全和环境健康等三个方面,对土壤资源现状、土壤性质与演变过程、土壤与环境退化、土壤资源利用与粮食安全、肥料高投入对土壤质量与生态环境的影响、工业化和城市化对土壤资源变化的影响、农业与环境平衡的土地资源利用策略、生态环境协调与粮食安全保障、土地资源的保护与合理利用、土壤在社会、环境和农业可持续发展中的作用、土壤资源合理利用和提高土壤质量的政策与建议、土地资源利用—生态环境友好—粮食安全保障和谐的政策、措施与建议等具体内容展开学术交流和讨论。

为了开好这次会议,在中国土壤学会的领导下,承办单位北京土壤学会、中国农业大学、中国科学院南京土壤研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、中国科学院生态环境研究中心、北京市农林科学院、农业部种植业司、全国农业技术推广服务中心、北京市农业局和土肥站、中国科学院沈阳应用生态研究所、南京农业大学等单位及有关人员做了一年多辛苦的筹备工作,通过中国土壤学会各省分会和各专业委员会在全国范围内进行了论文征集,广大会员积极性高,踊跃投稿;台湾中华土壤肥料学会也积极组织会员投稿;为加强中国土壤科学家与国际土壤科学家的联系,组委会还邀请了国际知名土壤学家到会做土壤科学最新进展的学术报告并提交相应的论文。

会议共收到中英文论文全文、详细摘要、摘要共 245 篇,本着全面反映土壤和肥料科学近年来的研究进展,积极扩大此次会议学术交流成果的宗旨,经编辑委员会认真评审,选用了 225 篇论文和详细摘要,分上、中、下三册编辑出版。

上册“土壤科学与农业可持续发展”包括了土壤养分化学与土壤肥力、植物营养学、施肥科学与技术三方面内容;中册“土壤科学与资源可持续利用”包括了土壤物理与水分利用、土壤地理与土壤资源、水土保持、盐渍土资源利用、土壤计量学与信息技术应用、土地利用与耕地保护方面内容;下册“土壤科学与生态安全和环境健康”包括了土壤生物与生态、土壤环境化学、土壤科学与全球变化方面内容。每册当中文章的排序是按上述各方面内容顺序分类后,再按题目的汉语拼音为序进行排列。

由于时间紧、任务重,编辑水平有限,文集中不当之处,恳请广大会员和读者指正。

张福锁

2008 年 8 月

目 录

WRSIS 在灌溉农业水土环境修复中的应用及其展望	王海燕	邵孝侯	廖林仙等/1
不同灌溉施肥方式香蕉生长效应	臧小平	习金根	张承林等/6
不同集雨补灌方式对谷子产量和水分利用率的影响	妥德宝	李焕春	段 玉等/10
长期施肥下水稻土中水稳性团聚体及其有机质分布规律	刘小粉	任图生	刘树福等/15
氮肥品种对砖红壤中 NO_3^- -N 淋溶特征的影响	林清火	林钊沐	罗 微等/23
稻田免耕对水稻产量和土壤肥力的影响	吴建富	潘晓华	石庆华/30
鄂尔多斯沙地土壤生物结皮物理特性研究	吕貽忠	于雅琼	高 原/38
黑土反射光谱特征影响因素分析	刘焕军	宇万太	沈善敏等/43
利用随机网络模型和 CT 数字图像预测近饱和土壤水分特征曲线	吕 菲	刘建立	何 娟等/50
生活污水施用于上海滩涂土壤的氮磷淋失研究	张 琪	方海兰	/56
水分亏缺和施肥对玉米干物质积累和水分利用的影响	王熊军	李伏生	曾黎明等/62
土壤二向反射特性及水分含量对其影响研究	程街亮	史 舟	/70
土壤温湿度对人工杨树林土壤呼吸影响	谭炯锐	查同刚	/80
不同植被覆盖与施肥管理对黑土活性有机碳及碳库管理指数的影响	张 迪	韩晓增	李海波等/81
滇西南亚热带山地不同植被类型土壤养分效应研究	赵筱青	杨树华	/87
抚顺市耕地土壤肥力状况	康 恕		/92
基于“3S”技术的区域土地利用变化研究	赵小敏		/99
基于 ArcIMS 的土壤养分信息发布系统研制	杨联安		/104
基于 GIS 的醴陵市耕地土壤肥力变异研究	周卫军	黄利红	田 珂等/108
基于 WebGIS 的农田生态安全预警系统研究	马友华	赵艳萍	王 强等/115
人工重建植被对荒漠土壤特性的影响研究—以克拉玛依城市外围人工生态防护林为例	郑 路	胡秀琴	姜逢清等/122
深圳郊野公园土壤理化性质及肥力评价	曾曙才	廖业佳	叶金盛/129
天山北坡中段山地草地类型组成与结构格局	冯 纓	许 鹏	安沙舟/139
延边地区土壤硼元素生态地球化学特征及其对苹果梨品质的影响	王冬艳	李月芬	尚 媛等/149
中国土壤数据的集成与拓展研究	史学正	王洪杰	于东升等/156
不同水土保持措施对榆树大沟土壤质量的影响	张玉斌	曹 宁	闫 飞等/161
滴灌带不同埋置深度对西红柿生长的影响研究	郑雅莲	张 娜	邱 虹/166
湖北省坡地沟种节水技术的试验	鲁明星	梁华东	徐 辉等/172
淮河流域伏牛山区土壤侵蚀经济损失评估	宋 轩	张学雷	/176
三峡库区水土流失与面源污染问题及防治对策探讨	夏立忠	杨林章	/182
西藏山体水土保持对西藏耕地及粮食安全的影响	关树森		/189
蚌埠地区设施土壤盐分累积特征研究	邹长明	孙善军	张晓红等/193
滨海盐土三维土体电导率空间变异研究	李洪义	史 舟	/199

不同插值方法对成分数据空间预测结果的影响——以土壤连续分类

模糊隶属度为例	檀满枝 陈 杰/208
不同磷肥用量对硫酸铝改良后的苏打盐碱土磷素形态及吸附特性的影响	李月芬 赵兰坡 杨有德/215
氮素营养对盐生植物的根系生长和耐盐性的影响	原俊凤 田长彦 冯 固等/221
地统计学方法及其在农田有效磷分布估算中的应用	蔡德利 陈宝政/229
基于 GIS 的土地利用规划支持系统(STEPP)设计与应用	陈文波 Gerrit J. Carsjens/233
基于 RS 与 GIS 的秭归县植被覆盖度与水土流失关系研究	罗志军/241
吉林省西部土地开发整理重大工程镇赉项目区盐碱土碱化与有机质组成特征	郝翔翔 窦 森/247
耐盐碱细菌筛选及对盐碱土团聚体形成和土壤活性的影响	刘彩霞 黄为一/255

上海市耕地土壤养分空间变异研究	杨佩珍 金继运 王国忠等/256
太湖地区土壤中氮、磷的空间变异研究	朱红霞 陈效民 方 堃等/266
橡胶园土壤养分空间变异特征研究	池富旺 张培松 茶正早等/271
小尺度下潮土区林地土壤重金属空间变异研究	李红伟 邢维芹 李立平等/276
新疆绿洲盐渍化耕地的水盐动态类型及改良分区	樊自立 乔 木 李和平/281
新疆盐渍化土壤上氮肥氨挥发损失特征研究	徐万里 刘 骅 张云舒等/286
盐碱土壤生物改良利用的研究进展	董晓霞 王学君 刘兆辉等/288

20 年来南京市耕地数量与耕地利用效益的变化	赵彦锋 孙志英/292
3S 技术在土地开发整理中的应用展望——以湖南省沅江市为例	刘建华 匡常贵 李 辉等/298
Frontiers of Hydropedology Research and Applications	Hangsheng(Henry)Lin/302
Restoring Degraded Soils For Advancing Food Security And Mitiga ting Climate Change	R. Lal/303
白浆土心土培肥的改土机理及其效果的研究	刘 峰 匡恩俊/304
不同利用方式及施肥对黑土供肥能力的影响	宋 春 韩晓增 乔云发等/311
大城市郊区耕地集约利用程度变化趋势及对土壤养分的影响	张 琳 张凤荣 吕贻忠等/318
大都市区农田的功能与空间规划、作物种植区划与土壤质量管理	张凤荣/325
稻草还田对耕层土壤理化性状的影响研究	肖汉乾 靳志丽 梁文旭/331
高光谱遥测在精准农业之应用	王淑姿 何素鹏 申 雍/337
果园土壤养分动态的分析	孔祥银 高如泰 何跃东等/346
黑龙江垦区耕地地力评价指标体系的建立	陈宝政 蔡德利 姜国庆等/358
黑土耕地质量评价及可持续利用对策	胡瑞轩/362
黑土退化阶段与强度分析	孟 凯/368
黄淮海平原耕地质量现状、问题及解决对策	李晓林 张宏彦/373
黄土丘陵土壤钾养分变化	段建南 王改兰 贾宁凤等/380
灰色关联方法在均腐土土系质量评价中的应用	张有利/387
基于 GIS 的明光市耕地地力评价	方灿华 马友华 钱国平等/393
基于 GIS 的闲置土地管理信息系统功能设计——以长沙市为例	马兰俊 段建南 李永平等/400
基于休耕的我国耕地保有量初探	揣小伟 黄贤金 钟太洋/404
简易蒸发盆应用于盆栽花卉灌溉管理之探讨	洪瑞廷 林正钊 蔡秀莉/411
江西省农用地分等定级估价信息系统数据分析	余 敦/418
南仁山区低地亚热带雨林之土壤氮动态变化	崔君至 陈尊贤/425

农村耕地流转中补偿现状的实证分析	陈美球 何维佳 周丙娟等/432
区域土地利用结构变化及驱动因素分析	周丙娟 赵丽红 贾婷婷/437
区域土壤有机碳含量变化的农户经济学解释	徐 艳 张凤荣/443
三江平原白浆土供肥能力在持续利用中的变化	张之一 辛 刚/451
台湾都市土壤之特性与土壤分类	简士濠 蔡呈奇 许正一 陈尊贤/455
新疆绿洲棉田土壤质量演变与评价	梁 智 徐万里 周 勃等/462
永济市不同土壤类型的土地利用景观格局分析	毕如田 郭 慧/467
种植结构变化对菜地土壤养分含量的影响	贾小红 高如泰 任慧勤等/473
种植结构变化对粮田土壤养分含量的影响	梁金凤 高如泰 任慧勤等/483
紫色丘陵区不同利用方式下土壤有机碳和全氮的垂直分布特征	高雪松 任秋容 何 鹏等/492

WRSIS 在灌溉农业水土环境修复中的应用及其展望*

王海燕¹ 邵孝侯¹ 廖林仙¹ 徐征² 鞠茂森² 茆智¹

(1. 河海大学农业工程学院, 南京 210098; 2. 水利部综合事业局, 北京 100053)

摘要:农业面源污染已成为限制我国经济与社会可持续发展的重要因素, WRSIS 作为一种旨在控制、减少乃至解决农田面源污染和修复水土环境的以水利技术为主的新型综合管理系统, 已在美国 21 个州推广并取得了良好的增产及生态改善效果。该系统能在其内部形成良好水循环, 构建完整生态系统, 具有减少农田污染物排放, 提高灌溉保证率、水分利用效率和粮食产量以及保护与修复农业水土环境等作用。本文综述了 WRSIS 在农业水土环境修复中的应用, 对 WRSIS 在我国农业水土环境修复中的应用前景进行了展望。

关键词:WRSIS; 农业面源污染; 水土环境修复

当前农业面源污染已成为我国重要污染类型之一, 是限制我国经济与社会和谐发展的重要因素。要控制、降低农业面源污染, 除合理施肥和减少农药使用外, 还必须采取农业水土环境修复措施。我国业已采用了一些水土环境修复技术和措施, 但由于它们或效果缓慢, 或措施复杂、投资大、管理难, 尚难于实际推广。因此, 有必要开发出效果好、投资省、易于推广的农业水土环境修复技术与方法。

在治理农业面源污染及修复水土环境等方面, 美国自 20 世纪 70 年代起, 对湿地净化水质的功能开展研究, 90 年代末期研究开发了与农田地下排水系统和地下灌溉系统及湿地相结合的“灌溉-排水-湿地”系统, 该系统是为修复水土环境而采取的以水利技术为主的综合系统, 已在美国的许多地方得到应用, 取得了良好的增产及生态改善效果。

1 WRSIS 概述

WRSIS(Wetland Reservoir Sub-irrigation System)是由美国俄亥俄州立大学研究人员于 20 世纪 90 年代提出的, 是为了控制、减少乃至解决农田面源污染问题、修复水土环境而采取的以水利技术为主的综合管理系统。

WRSIS 由灌溉、排水和湿地三个子系统构成, 各子系统之间通过一定灌溉排水设施连接为一个有机的整体(图 1)。

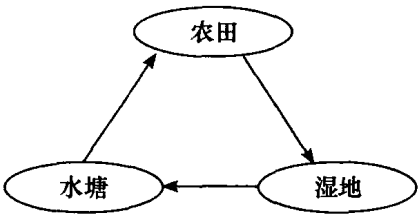


图 1 WRSIS 中各部分(农田、水塘、湿地)组成的关系示意图

Fig. 1 The relationship diagram of the three parts(farmland, reservoir, wetland) in WRSIS

灌溉子系统包括水塘和灌溉控制设施;排水子系统包括田间沟、管和农田水位控制设施;湿地子系统通过管道或明渠与灌溉和排水两个子系统相连接。WRSIS 各部分的功效分别是补充灌溉水源、地下排水、对

* 基金项目:水利部 2008 年行政事业项目“WRSIS 在我国旱地灌溉农业水环境修复中的应用研究”的部分研究内容

排出水(包括:地表水、地下水)进行净化。系统通过三部分的有机结合及合理应用,形成节水、增效、减污的循环系统。

2 WRSIS 改善水质与促进作物增产机理分析

2.1 WRSIS 净化水质机理分析

WRSIS 净化水质的主要原理是:通过田间沟道和地下排水管网收集地表径流和农田排水,并输送至湿地,被降雨所侵蚀的表土可以滞留在湿地中,减少水土流失,并利用湿地中的土壤吸附、植物吸收、生物降解等作用来降低农田排水中氮、磷的含量,经过湿地净化后的水再输送到水塘中储存,农田需要灌溉时,再由灌溉设施供水到田间。减少富营养化和农药残留等对环境的负面影响,且使水资源重复利用,达到节水效果。

WRSIS 中的净化作用主要是依靠湿地系统来完成的。湿地在去除农业面源污染方面是一个简单而有效的工具^[1]。在人工湿地中氮主要是通过微生物的硝化和反硝化作用^[2]、植物的吸收、氨的挥发及基质的吸附和过滤等过程去除。Chescheir^[3]等通过模型研究表明湿地可以净化 79% 的总氮、82% 的硝酸盐氮、81% 的总磷。

理论上,磷的去除可通过土壤的吸附、过滤、植物吸收、微生物转化等过程。但据研究报道^[1,4~6],磷含量的下降实际上主要依靠土壤的吸附和沉淀作用,仅少数种类的水生植物可以吸收磷。此时,土壤在某种程度上起到了“磷缓冲器”的作用^[7]。

湿地具有从径流中去除杀虫剂、杀真菌药和除草剂等潜能。实验表明,它对毒死蜱、百菌清、阿特拉津和伏草隆(除草剂)均有一定的截留和去除效果;使用标志(sentinel)物种 *Ceriodaphnia dubia* 和 *Pimephales promelas* 在人工湿地中试系统中来模拟去除暴雨径流中的毒死蜱和百菌清,径流中的毒性分别下降 98% 和 100%^[5,8,9]。

2.2 WRSIS 促进作物增产机理分析

WRSIS 促使作物增产是通过合理的农田水位控制来实现的。合理的农田水位管理目的是使地下水位能够一直维持在一个有效的地下水位范围,作物可以稳定地得到生长所需的水分从而减小水分胁迫,同时,通过控制水位也防止了作物根系受涝。另外,地下暗管排水减少了地表径流对氮、磷和表土的侵蚀,使得土壤的养分残留更多,且暗管排水有利于土壤通气性增加,改善土壤结构,更有利于作物的生长。

3 WRSIS 的应用研究状况

3.1 国内外研究情况

目前国内外在农业生产中补充水源的取水方式基本相同,主要采取就近从江河取水,从湖、库取水,打井取水三种方式。在节水灌溉方面技术比较多,也比较成熟,如喷灌、滴灌、渗灌等。在排水方面有暗管排水、鼠洞排水等。在对农业排出水的净化方面,湿地的净化作用在理论上得到证实,但在实际农业生产中主要依靠湿地有效解决农业(面源污染问题)排出水的净化问题的技术模式尚未得到认可或广泛应用。在地下灌排方面,目前国内外情况大致相同,要么单一的采取地下灌溉,要么是单一的采取地下排水。在同一生产条件下,“灌排合一”的模式很少报道。由于 WRSIS 能在增加粮食产量的同时,减少农业生产对环境造成的压力,因此它已在美国 21 个州得到推广和应用。WRSIS 成功推广应用的关键是该系统将农业生产中所需的条件有机地结合起来,形成了一个较合理、适用、可接受的模式,并产生了良好的效果。

3.2 WRSIS 在美国的应用状况

近几年,在美国农业部的支持下,该系统在美国东北部以排水为主的几个州得到了推广应用。应用结果表明该系统具有减少农田污染物质排放、提高灌溉保证率和水利用率以及粮食产量的作用;同时由于湿地面积的增加,丰富了生物的多样性,有利于生态系统保护与修复。

研究人员抽取美国 Defiance 州 WRSIS 试验区的灌溉地两英尺处深的土壤水样,经检测发现水样中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的平均浓度为 1.38 mg/L (中值浓度为 0.28 mg/L),而在四英尺深的水样中其浓度为 1.09 mg/L (中值浓度为 0.12 mg/L)。这证明 WRSIS 的运行至少在去除氮素方面,没有对地下含水土层造成环境上的负面影响。2003—2005 年美国 Defiance 州 WRSIS 试验区湿地的水质情况如表 1 所示,从中可以看出湿地能有效降低农田排水中氮、磷的含量,WRSIS 确实能减少农田污染物的排放量,降低富营养化的可能性。

表 1 2003—2005 年美国 Defiance 州 WRSIS 试验区中湿地水质情况
Table 1 Preliminary Water Quality Results of Defiance County WRSIS Wetland: 2003—2005

	平均浓度 (mg/L)		中值浓度 (mg/L)	
	$\text{NO}_3\text{-N}$	TP	$\text{NO}_3\text{-N}$	TP
进入湿地的表面流	1.60	0.11	0.10	0.08
进入湿地的地表灌溉水	8.03	0.07	2.22	0.07
湿地出水	1.47	0.06	0.91	0.05

美国的研究还表明,与对照区相比,利用该系统地下灌溉农田,玉米和大豆产量在干旱年分别增加了 34.5% 和 38.1%;在平水年分别增加了 14.4% 和 9.7%,而湿润年分别增加了 19.6% 和 17.4% (表 2)。在干旱年应用 WRSIS 可使玉米和大豆产量提高 30% 以上;在平水年和湿润年可提高 10%,总体平均提高幅度在 15% 以上。

表 2 1997—2001 年美国 WRSIS 试验点的玉米和大豆产出量
Table 2 Corn and Soybean Crop Yields: 1997—2001

WRSIS 试验点	年份	玉米 (kg/ha)			大豆 (kg/ha)		
		地下灌溉	对照区	差额	地下灌溉	对照区	差额
Defiance 州	1997	9 995	8 360	1 635	—	—	—
	1998	8 172	—	—	3 621	—	—
	1999	8 738	7 732	1 006	2 374	1 497	877
	2000	4 526	4 526	0	526	681	-155
	2001	4 803	5 180	-377	1 062	728	334
Fulton 州	1997	11 943	10 686	1 257	4 248	4 073	175
	1998	13 201	11 692	1 509	4 464	4 248	216
	1999	12 006	8 549	3 457	4 639	3 675	964
	2000	11 378	10 309	1 069	3 688	3 378	310
	2001	12 060	4 570	7 490	4 902	3 247	1 655
Van Wert 州	1997	9 052	9 322	-270	3 129	3 183	-54
	1998	9 498	10 171	-673	2 765	2 778	-13
	1999	11 918	9 844	2 074	3 506	2 643	863
	2000	10 912	9 687	1 225	3 581	3 216	365
	2001	12 911	11 855	1 056	3 634	3 608	26

WRSIS 在美国试验研究成功后,在 21 个州进行了推广,并取得了良好的增产效益和环境改善效果。

4 WRSIS 效益分析

WRSIS 的应用结果表明它具有减少农田污染物排放,提高灌溉保证率、水分利用效率和粮食增产以及保护与修复农田生态系统等作用,通过对应用结果的分析,可得出 WRSIS 有如下效益:

1) 减少农业面源污染,有利于水资源可持续利用:通过排水再利用和节水灌溉措施的使用,农田肥料的流失显著减少,农田废水排放量也得到减少;同时,湿地可有效净化水质、降解污染,美国方面的实测数据显示,WRSIS 能减少农田排水中 TN 和 TP 含量的 50% 以上。

2)减少水土流失、削减洪峰流量:由于通过节水灌溉、排水再利用、以湿地调控和净化排水水质等手段进行环境修复,会增加降雨在农田的入渗量、减少地面径流,同时,因湿地对洪水的持蓄和延缓,减少了洪峰流量和水土流失量。

3)增加作物产量,节约用水,提高经济效益:在开展 WRSIS 的试点的实验研究表明,使玉米和大豆不同程度地增产,又由于节水灌溉、排水再利用,节约了用水量,农民可获更多的经济效益,随着推广面积的加大,推广年份的增长,该效益将大幅增加。

4)为农田提供良好的生态环境,保护生物多样性:由于充分利用湿地资源,提高了人们对湿地的认识并且增加了人们保护现有湿地的意识,而湿地的有效保护和湿地面积的增加,有利于保护农田生物多样性^[10],使一些和农作物生长有紧密关联的动物(如鸟类、蛙类、蛇类、蚯蚓等)得以繁衍生息,从而减少害虫造成的损失;湿地动植物调查结果表明,植物群落的种类增加了 10%~20%,动物数量和种类也有一定的增加^[11]。

5 WRSIS 在我国的应用展望

探索适合我国国情运作的农业增产、减污、改善农业水土环境的新型模式是当前之急需。WRSIS 在美国的成功应用表明,如何解决农田面源污染问题已进入一个全新的时代,需要有崭新的理念。为解决我国当前所面临的农业水土环境恶化及农业面源污染造成的水体富营养化问题,应充分利用美国已有的经验与成果,通过在国内开展试验研究,将理论分析和实验观测相结合,形成符合我国实际情况的解决农业面源污染和保护农业水土环境的技术方案。

当然 WRSIS 作为一种新型修复农田水土环境的管理系统应用到我国还需作进一步的完善,要在试验研究、现场考核、开发与示范基础上提出适合我国各地实际的运行管理方式等。再为重要的是需要完善符合我国各地灌溉农业实际的主要农作物施用化肥的指导标准;湿地与农田灌溉排水系统相结合进行农业面源污染控制的技术要素(如结合形式、设计参数、影响因素等)。我们相信随着 WRSIS 的不断成熟及其在我国的研究与示范应用,必将为解决我国农业面源污染和保护农业水土环境做出重要贡献。

参考文献

- [1] David A K, David M B, Gentry L E, Starks K M, and Cooke R A. Effectiveness of constructed wetlands in reducing nitrogen and phosphorus export from agriculture tile drainage [J]. J Environ Qual, 2000, 29:1262-1274
- [2] 沈耀良, 王宝贞. 人工湿地系统的除污机理[J]. 江苏环境科技, 1997, 3:1-6
- [3] Chescheir G M, Skaggs R W and Gilliam J W. Evaluation of wetland buffer areas for treatment of pumped agricultural drainage water [J]. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, 1992, 35:175-182
- [4] Farahbak hshazad N, Morrison G M and Filho E S. Nutrient removal in a vertical upflow wetland in Piracicaba, Brazil [J]. Ambio, 2000, 29(2):74-77
- [5] 丁疆华, 舒强. 人工湿地在处理污水中的应用[J]. 农业环境保护, 2000, 19(5):320-封三
- [6] Rickerl D H, Janssen L L and Woodland R. Buffered wetlands in agricultural landscapes in the Prairic Pothole Region: environmental agronomic, and economic evaluations [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 55(2):220-225
- [7] Chescheir G M, Skaggs R W and Gilliam J W. Evaluation of wetland buffer areas for treatment of pumped agricultural drainage water [J]. Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 1992, 35:175-182

- [8] Moore M T, Rodgers J H, Cooper C M, et al. Constructed wetlands for mitigation of atrazine-associated agricultural runoff *Environmental Protection*, 2000, 110(3), 393-399
- [9] Sherrard R M, Berr J S, Murray-Gulde C L, et al. Feasibility of constructed wetlands for removing chlorothalonil and chlorpyrifos from aqueous mixtures *Environmental Pollution*, 2004, 127(3), 385-394
- [10] 陈芳清, Jean Marie Hartman. 退化湿地生态系统的生态恢复与管理——以美国 Hackensack 湿地保护区为例、*自然资源学报*, 2004. 3, Vol. 19(2)
- [11] 董斌. WRSIS 系统:修复湿地水环境. *中国水利报*, 2006. 11

Application and Prospect of WRSIS in Restoration of Water and Soil Environment in Irrigation Agriculture

Wang Haiyan¹, Shao Xiaohou¹, Liao Linxian¹, Xu Zheng², Ju Maosen², Mao Zhi¹

(1. Department of Modern Agriculture Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu, 210098;

2. Bureau of Comprehensive Development of Ministry of Water Resources of P. R. China, Beijing 100053, China)

Abstract Agricultural non-point source pollution has become an important factor which restricts the sustainable and harmonious development of economy and society in China. As a new technology-based integrated management system, WRSIS can control, reduce, resolve the problem of non-point source pollution of farmland and restore the agricultural water and soil environment. It is generalized to 21 states in U. S. A. and it got a good procreative and ecological effects. The system forms a water cycle in its interior, it is a complete ecosystem, it has the functions of reducing the emissions of pollution from farmland, improving the guaranteed rate of irrigation, advancing the water use efficiency, increasing the grain yield, protecting and restoring the agricultural water and soil environment. This paper reviews the application of WRSIS in restoration of agricultural water and soil environment, and it prospects the application of WRSIS in restoration of agricultural water and soil environment in China.

Key words WRSIS; agricultural non-point source pollution; water and soil environment

不同灌溉施肥方式香蕉生长效应*

臧小平¹ 习金根¹ 张承林² 祁寒¹ 孙光明¹

(1. 中国热带农业科学院亚热带作物研究所, 广东湛江 524091;

2. 华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510640)

摘要:本研究通过大田小区试验,比较了几种不同灌溉施肥方式对香蕉生长和产量的影响。试验共设5种灌溉方式,依次为传统浇灌(CK)、喷水带、滴灌带、微喷灌、滴灌。试验结果表明:与浇灌相比,滴灌在香蕉周年生长中的灌水量仅为浇灌处理的27%,产量增加15.6%;微喷灌灌水量为浇灌处理的31.6%,产量增加5.6%。

关键词:灌溉施肥;香蕉;生长;产量

香蕉是大水大肥作物,一年内要施肥多次,灌溉也非常频繁。雷州半岛是我国华南地区香蕉的主要产区,然而,由于该地区的季节性、区域性干旱以及香蕉园绝大部分分布于丘陵坡地等原因,灌溉和施肥是香蕉生产中花费劳力最多的工作。传统的灌溉和施肥方法很难满足和适应集约化香蕉生产的需要,而且还费水费肥、效率低。为此,探索一种高效的香蕉灌溉和施肥方法,提高香蕉水肥管理水平势在必行^[1~7]。本研究应用先进的节水灌溉施肥技术,研究了不同灌溉施肥方式对香蕉生长和产量的影响,旨在为香蕉产业的发展和标准化生产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

试验于2006年3月至2007年2月在广东省湛江市湖秀新村中国热带农业科学院亚热带作物研究所科研基地进行。供试土壤为砖红壤,质地为砂黏土。土壤基本性状为:有机质2.0%,全氮0.12%,有效磷1.2 mg/kg,速效钾126.5 mg/kg,代换钙1.3 meq/100 g土,代换镁1.88 meq/100 g土,pH4.8。供试香蕉品种为8818。

试验设5种灌溉方式,分别为传统浇灌(简称T1)、喷水带(T2)、滴灌带(T3)、微喷灌(T4)、滴灌(T5)共5个处理,每个处理5次重复,大田随机排列。其中喷水带流量为30 L/h/m;滴灌带流量为4 L/h/m;微喷灌采用以色列ENTAL公司微喷头,流量50 L/h,每株树安装1个微喷头。滴灌采用压力补偿滴头,流量2.3 L/h,滴头间距70 cm。每个处理种植香蕉株数分别为:T1:91,T2:81,T3:77,T4:77,T5:77。香蕉每株用肥量为氮400g,五氧化二磷910g,氧化钾1090g,硫酸镁350g,猪粪5000g(基肥),试验用肥料氮肥为尿素、磷肥为过磷酸钙、钾肥为氯化钾。除T2-T5处理中N和K随灌溉系统进行施肥外,其余肥料均为土施。

灌溉系统由过滤系统、管道系统、施肥系统组成。过滤系统采用西班牙阿速德120目叠片式过滤器,施肥采用美国Dosmatic柱塞泵施肥,管道系统由干管(直径63 mm)、支管(直径32 mm)以及毛管组成,毛管为PE管(直径16 mm)。

香蕉于2006年3月29日种植(株行距为2 m×2 m),2007年1~2月收获。在香蕉抽蕾期(2006年9~10月),每个处理随机选择生长中等的3株香蕉,采集香蕉倒数第三叶片进行养分含量分析并进行香蕉农艺性状调查。果实生长参数测量的取样方法为在第3梳蕉中随机取3条进行测量。香蕉产量测定为各处理按固定位置选择5株调查单株产量。土壤各项理化指标和植株养分含量的测定用常规方法分析。

* 广东省财政厅“广东省果树综合节水节肥技术研究与示范”项目和2007中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助

2 结果与分析

2.1 不同灌溉施肥方式下香蕉叶片养分含量

表 1 表明,不同灌溉方式下香蕉对氮、磷、钙的吸收差异不显著,但对钾、镁的吸收则表现出一定的差异性。其中,在滴灌和微喷灌条件下香蕉叶片钾的含量显著高于滴灌带、喷水带和传统浇灌处理;而四种不同设施灌溉处理间香蕉叶片镁的含量表现为差异不显著,但均显著高于传统浇灌处理香蕉叶片镁的含量。由此可见,不同灌溉方式对香蕉吸收钾镁的影响要大于对磷的吸收。

表 1 抽蕾期不同处理的香蕉叶片养分含量(干样,g/kg)

Table 1 Nutrient contents in banana leaf of different treatments during floral emergence (on the basis of dry weight,g/kg)

处理 Treatments	N	P	K	Ca	Mg
T1	24.80±1.11a	1.23±0.07a	17.27±2.48b	6.70±0.31a	4.87±0.19b
T2	25.07±0.54a	1.30±0.10a	14.37±0.64b	7.73±0.63a	6.70±0.27a
T3	25.70±1.44a	1.23±0.03a	16.33±0.63b	7.77±1.13a	6.57±0.64a
T4	24.23±1.20a	1.27±0.07a	25.53±2.52a	7.20±0.31a	6.60±0.29a
T5	24.27±1.44a	1.23±0.03a	25.03±0.22a	6.23±0.27a	6.23±0.43a

注:表中数据为 3 次重复的平均值,“±”后数据为 3 次重复的标准误,每一列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平(DMRT 法, $p=0.05$),下同。Data in table are average of 3 replications±standard error ;Different letters means significant difference at 5% level (DMRT, $P=0.05$).

2.2 不同灌溉施肥方式对香蕉生长势的影响

香蕉生长状况的好坏将直接影响到香蕉产量的高低和品质的优劣。在抽蕾期对香蕉生长势的调查结果(表 2)表明,不同灌溉处理对香蕉株高、假茎围、青叶数、叶片长度、宽度等的作用效果差异显著。其中,滴灌、微喷灌、喷水带三种灌溉方式间香蕉的株高、假茎围、叶片长度、宽度均表现为差异不显著,但显著大于滴灌带处理香蕉的株高、假茎围、叶片长度、宽度;而滴灌和微喷灌处理的有效叶片数要显著多于喷水带处理。总体而言,在五种不同的灌溉处理中以滴灌、微喷灌更有利于香蕉的生长。

表 2 抽蕾期不同处理的香蕉长势

Table 2 Growth status of banana plant of various treatments during floral emergence

处理 Treatments	株高(cm) Plant height	假茎围(cm) Pseudostem girth	青叶数 Leaf No.	叶长(cm) Leaf length	叶宽(cm) Leaf width
T1	181.3±3.0b	46.7±1.2b	8.7±0.3bc	182.0±1.2ab	75.3±1.8a
T2	203.7±4.9a	54.3±1.5a	8.0±0.0c	193.3±7.2a	73.3±2.9a
T3	182.7±2.9b	47.3±1.5b	9.0±0.0ab	178.0±1.2b	66.7±2.4b
T4	212.3±6.9a	56.0±2.6a	9.7±0.3a	196.0±5.0a	79.0±1.0a
T5	203.7±3.2a	56.0±1.7a	9.3±0.3ab	195.3±2.9a	79.3±1.5a

2.3 不同灌溉施肥方式对香蕉果实生长的影响

在香蕉生产中,香蕉果指长、果指围及果指个数是构成香蕉产量的重要参数。从表 3 数据可以看出,滴灌和微喷灌处理香蕉果指长和果指围要显著大于喷水带和传统浇灌处理,而与滴灌带处理间则表现为差异不显著。不同灌溉方式对香蕉果指个数的影响差异不显著。

表 3 不同处理对香蕉果实生长的影响
Table 3 Fruit parameters of various treatments

处理 Treatments	果指长(cm) Finger length	果指围(cm) Finger girth	每梳果指个数 Finger No. per hand
T1	17.8±0.8b	9.6±0.4c	13.3±0.7a
T2	17.8±0.3b	10.7±0.1b	14.9±0.2a
T3	19.3±1.4ab	10.9±0.6ab	13.4±0.7a
T4	21.7±1.0a	12.2±0.5a	14.8±1.1a
T5	21.1±0.3a	12.3±0.5a	14.2±0.5a

2.4 不同灌溉施肥方式增产及节水效应分析

从不同灌溉施肥处理香蕉产量的统计结果来看(表 4),滴灌处理香蕉单株产量与微喷灌处理的产量相当,差异不显著,但显著高于传统浇灌、喷水带、滴灌带处理香蕉的单株产量。与传统浇灌相比,增产15.6%。在整个生长周期内,香蕉对水分的需求主要来源于灌溉和降雨两部分。对不同处理灌水量的统计结果表明:传统浇灌、喷水带、滴灌带、微喷灌、滴灌等处理香蕉整个生育期内总的灌水量依次为:32 36 L/株、2 395 L/株、710 L/株、1 021 L/株和 883 L/株。其中,滴灌和微喷灌的灌水量仅为传统灌水量的 27%和 31.6%,在不影响香蕉产量的条件下取得了显著的节水效果。

表 4 不同灌溉施肥方式下的香蕉产量结果
Table 4 Banana yield per plant among different treatments

处理 Treatments	单株产量 Yield per plant(kg/株)	比浇灌增产(%) Yield increase over T1
T1	16.42±0.61bc	—
T2	15.84±0.55bc	-3.5
T3	14.48±0.43c	-11.8
T4	17.34±0.70ab	5.6
T5	18.98±1.03a	15.6

3 讨 论

适宜的水、肥、气、热条件同样是香蕉生产取得高产、稳产的基本保证。本研究中,不同处理间香蕉产量相对较低,其中可能的原因有:一是生产管理中的问题,在香蕉生长前期水分、养分供应不及时,供应量不足,影响了植株的营养生长;二是气候原因,在香蕉花芽分化时期恰逢多雨季节,错过了最佳施肥时间,香蕉抽蕾后气温又开始下降,影响了香蕉果实的生长、膨大。

另外,在几种不同灌溉方式中,滴灌带和滴灌是属于同一形式的两种灌溉方式,但在香蕉上的使用效果却表现出极大的差异性,这其中可能的原因是:首先,本研究所使用的滴灌带为小流量滴灌带,而试验地土壤为砂黏土,其保水性能并不好,因此在滴灌带流量与土壤质地的匹配选择上可能存在问题;其次,在试验过程中出现部分滴灌带堵塞现象,影响了灌溉施肥效果。虽然在香蕉的生长周期内,滴灌带处理的灌水量很少,也就是说具有显著的节水效果,但这是以降低香蕉的产量为代价的。因此,有关滴灌带在香蕉生产中的真实应用效果则有待于在今后的研究中作进一步的探讨。此外,通过调查还发现,在几种不同灌溉方式中,传统施肥处理香蕉抽蕾日期为 10 月 10—20 日,比另外 4 个处理晚 15~20 d。在果实收获日期上比较,传统施肥处理为 2 月 8—15 日,比其余 4 个处理迟 20~30 d。因此可以初步认为,灌溉施肥条件下可以缩短香蕉生育期,达到提早成熟的效果。

综合几种灌溉施肥方式在香蕉生产中的节水、节肥效果及其在香蕉生长势、香蕉果实农艺性状、香蕉产量等参数表现来看,滴灌和微喷灌施肥将是香蕉生产中理想的灌溉施肥方式。但从对灌溉设施的投入角度