

银南灌区控制排水实施效果分析

刘建刚¹ ,罗 纨² ,贾忠华²

(1. 中国水利水电科学研究院水资源所 ,北京 100044 ; 2. 西安理工大学水资源所 ,陕西 西安 710048)

摘要 :阐述控制排水的定义、作用、适用条件和运行管理要求 ,以宁夏银南灌区为研究对象 ,对该灌区水稻田的控制排水试验资料进行分析 ,试验结果表明 :控制排水可以较常规排水抬高地下水位 1.8 cm ,有效减少 50% 左右的总排水量和 46% 左右的地下排水量 ,在满足水盐平衡的同时 ,减少了硝氮的排放量 ,不会对环境造成危害。控制排水在许多国家的应用也取得了很好的效果 ,所以控制排水技术值得大面积推广。

关键词 :银南灌区 ;控制排水 ;水盐平衡 ;环境保护 ;效果分析

中图分类号 :S276.1 ;TV213.4 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2009)01-0040-04

Implementation effect analysis of controlled drainage in Yinnan Irrigation District//LIU Jian-gang¹ ,LUO Wan² ,JIA Zhong-hua² (1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100044 ,China ; 2. Water Resource Institute of Xi 'an University of Technology , Xi 'an 710048 , China)

Abstract : The definition , effects , applicable conditions and operation management requirements of controlled drainage are described . Using a rice paddy in the Yinnan Irrigation District as the research object , the drainage experiment data are analyzed . The results show that controlled drainage causes a water table rise of 1.8 cm , the total drainage reduced by 50% , and the groundwater drainage reduced by 46% . This allows a salt-water balance . Also the nitrate nitrogen emission is reduced , preventing harm to the environment . The application of controlled drainage has obvious benefits in many countries , and is worth popularizing on a large scale .

Key words : Yinnan Irrigation District ; controlled drainage ; salt-water balance ; environmental protection ; effect analysis

随着全球气候变暖 ,水资源的供需矛盾变得越来越突出 ,保护和合理利用水资源成为当务之急。而目前我国的水资源利用率仅为 46.3% ,远远低于发达国家的水平 ,因此我国农业的节水潜力巨大。宁夏虽然地处干旱、半干旱地区 ,但由于位于黄河的上游地区 ,引水方便养成了灌区“大引大排”的引水习惯 ,对日益短缺的水资源是一个严峻的考验。因此 ,必须充分挖掘农业节水潜力 ,改“大引大排”为合理灌排 ,引导水资源向高效利用的方向发展。

农田排水是灌溉农业条件下防止土地盐碱化的重要手段 ,一个合理的排水系统应该在满足农田淋洗的前提下 ,尽量减少污染物排入接受水体^[1-2]。控制排水技术从提出到广泛应用的过程中受到越来越多国家农业管理专家的青睐 ,而且该技术在湿润区的应用效果十分理想 ,在减少灌水量和排水量的同时起到保护生态环境的作用 ,在干旱区也有良好的应用效果^[3-5] ,国内虽然只有为数不多的学者进行了

控制排水的理论探讨和试验研究 ,但也取得了较为理想的研究成果^[6-10]。控制排水 ,就是根据作物的承受能力 ,通过建造控制性建筑物如溢流堰等 ,在作物生长发育的适当时候抬高排水出口水位 ,在减少灌溉水量的同时减少排放到下游水体的水量 ,从而减少盐分和硝氮的排放量 ,以达到减少环境污染、保护环境的目的。控制排水系统包括地表排水系统和地下排水系统 ,在春耕前为便于田间操作可将水排走 ,在夏季和冬季的时候将水储存在田间 ,是一个可以灵活操作的田间管理技术。

1 控制排水技术

1.1 控制排水的作用

控制排水技术是一种结合灌溉与排水的水管理模式 ,它通过调整排水出口堰板的高度将水储存在田间 ,抬高地下水位以减少排水量 ,使农作物最大限度地利用灌溉水量和降水 ,同时进行适当的排水以

基金项目 :国家自然科学基金(50709043) ,国家重点基础研究发展计划(973 项目)(2006CB403406)
作者简介 :刘建刚(1979—) ,男 ,山东青岛人 ,博士研究生 ,从事节水与水资源高效利用及水资源管理研究。 E-mail :jiangangliu@163.com

防止水渍以及土壤积盐的发生。在欧美一些国家控制排水被认为是最佳的农田水管理实践(BMP)之一。在干旱缺水的年份通过抬高地下水位来增加土壤的湿润程度,就相当于对作物在干旱阶段进行部分渗灌,可以增加作物产量^[11]。概括说来,控制排水的主要作用包括:

a. 节水。减少灌水量,将节约的水用于其他作物的灌溉,或者补充给需水量更高的作物。运用控制排水后,水稻可以减少高于 40% 的常规灌溉水量。

b. 节省灌溉时间和费用。可以改变以前的灌水频率,减少灌溉次数,在灌水定额不变的条件下,减少了灌水总量,从而减轻了农民的水费负担,相应的操作管理时间、劳力和水泵运作费用都会减少。

c. 提高作物产量。控制排水在干旱年份对作物的增产作用较为明显。

d. 降低水体污染。在农业污染源中,硝酸盐是最受关注的污染物,控制排水可减少的硝态氮约为常规排水中的 20% 左右。

e. 减少排水量。Evans 等^[12]在美国北卡罗来纳州进行控制排水和常规排水对比试验时发现,控制排水至少可以减少 30% 的排水量;Gilliam 等^[13-14]发现在排水不畅的农田实施控制排水比不实施控制排水能够减少 50% 的排水量。

1.2 控制排水的适用条件和运行管理

实践证明,不是所有的耕地和土壤都适合进行控制排水,如丘陵以及坡度较大、地形起伏较大的地区就不适合进行控制排水的操作。一般说来,控制排水的实施,需要满足地形、土壤等方面的要求,具体包括:

a. 地形条件。试验田应该接近水平,田间坡度不超过 0.5%,试验田表面应该尽量平整,小的坑洼地和凸起处的高差不要超过 30 cm。

b. 土壤条件。土壤剖面比较统一,同一土质的土壤层较厚,具有良好的水力传导度;不透水层要尽量平行于土壤表面,比较理想的情况是从土壤表层到不透水层的深度不超过 3 m,以降低和限制渗漏损失。

c. 其他方面的条件。实施地区要有完善的明沟排水系统或者是完善的水平地下暗管排水系统,系统应配有检查井,地表灌溉是该地区主要的灌水方式,该地区供水不足或引水不便,实施控制排水的地区要求灌溉同期,作物根系发育状况基本一致,排水前的自然地下水位应该接近或高于排水管的深度。

在控制排水的操作中,控制好水位是实施控制排水的关键。在作物的生长季需要对灌溉和排水都进行操作管理,由于降水的空间分配、时间、强度、水

质等方面存在较大差异,水位的管理很难达到最优。需要根据降雨量的大小及时调整灌溉和排水时间,如果降雨量较小,对地下水位基本没有影响,就可以保持地下水位在一个稳定的深度,若降雨量过大,就要及时调整控制设备,排出过多的降雨。因此,控制排水系统运行和管理的几个关键操作过程包括:
①在什么时间抬高和降低控制设备比较合适;②在作物生长发育的不同时期控制设备上的堰板保持在一个怎样的高度;③在什么时间进行灌溉比较合适。

2 实例研究分析

为了验证控制排水的作用,2004 年 5~9 月在位于银南灌区的望远镇西卫村进行了控制排水和常规排水的对比试验。

2.1 研究区概况

银南灌区降水稀少,蒸发强烈,多年平均气温为 8℃、降雨量 180 mm、蒸发量(E601)1176 mm、灌区面积 1297 km²,多为稻、旱轮作地区。试验区研究对象是单季水稻,生长期为 146 d。试验区的具体布置见图 1,研究区有 A、B、C、D 共 4 块试验田和 a、b、c、d 共 4 条水渠以及编号为 1、2、3、4、5 的 5 条排水沟,排水沟深约 1 m,间距约为 80 m,排水进入永清沟,最终流入黄河。西部 2 块试验田(A、B)进行控制排水试验,东部 2 块试验田(C、D)进行常规排水试验。在整个试验过程中,不对试验区进行单独的灌溉操作,保持当地农民的灌溉习惯和灌溉制度,排水沟的水位固定在 60 cm 左右,在试验田中埋设 30 cm、60 cm、100 cm、140 cm 和 170 cm 的水位观测井用来监测不同深度盐分、硝氮的变化规律,以及不同观测井的水位变化规律。

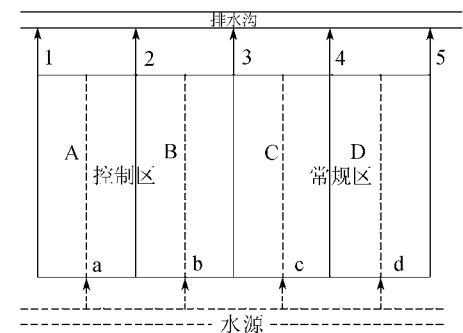


图 1 试验区布置

2.2 控制排水试验结果分析

该研究通过分析银南灌区的灌溉定额计算得到试验期内的灌溉水量,通过实测的堰上水头计算得到试验期内的排水量,同时验证控制排水减少排水量的作用,通过测定排水沟以及下游地区的盐分变化得到水盐平衡的动态变化趋势,通过试验区观测

井和排水沟的盐分、硝氮的变化 验证控制排水抬高盐分不会对周围水体造成污染的环境保护效应。

2.2.1 控制排水抬高地下水位的效应分析

控制排水的直接作用是抬高控制区域的地下水位 图 2 描绘了整个试验期内控制排水区和常规排水区地下水位的变化趋势 在灌溉前和 水稻成熟时期地下水位较低 试验期地下水位较高 而且较长时间内存在地表积水的情况。在整个观测期内 控制排水区的地下水位平均值为 11.4 cm 常规排水区地下水位平均值为 13.2 cm 控制排水区比常规排水区抬高地下水位 1.8 cm 达到一定的控制效果。

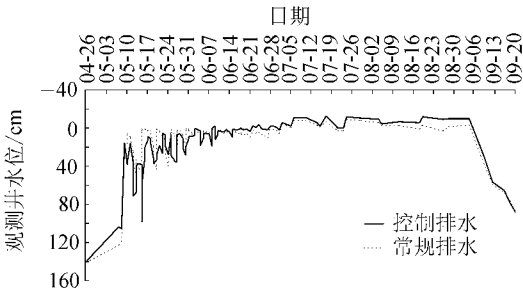


图 2 地下水位动态变化趋势

2.2.2 控制排水减少排水量的效果分析

表 1 是根据实测堰上水头计算的排水量 以此来分析试验区采用控制排水后减少排水量的实际效果。

表 1 典型周期沟排水量计算成果

排水类型	排水沟编号	排水量/ m³	排水面积/ m²	单位面积日排水量/ (10 ⁻² m³·m ⁻²)
控制排水	2	4 150	26 858	0.7
控制排水	3	4 553	28 844	0.7
常规排水	4	9 374	30 314	1.4

从表 1 可以看出典型周期内各排水沟的出流状况 控制排水沟 2、3 的排水量分别为 4 150 m³ 和 4 553 m³ 常规排水沟 4 的排水量为 9 374 m³ 将以上各排水量数值换算为单位面积日排水量 控制排水沟 2、3 的值为 0.7×10⁻²m³/m²/d 而常规排水沟为 1.4×10⁻²m³/m²/d。

利用表 1 中的计算结果对控制排水减少排水量进行分析 扣除无效的地表径流后 分别得到总排水量和地下排水量。从总排水量来看 控制排水区比常规排水区平均减少 50% 排水量 从地下排水量来分析 控制排水区比常规排水区平均减少 46% 地下排水量。

排水量的大量减少 并不影响作物的正常生长。

表 3 控制排水区灌溉用水量计算成果

试验田	面积/ m²	灌溉用水量/m³					总灌溉 水量/m³
		5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	
A	25 324	8 656	14 426	8 656	8 656	1 443	41 837
B	28 392	9 704	16 174	9 704	9 704	1 617	46 903

由于排水量的减少 灌水次数也相应减少 可以节约大量的灌溉用水用来灌溉其他作物维持生态平衡。

2.2.3 控制排水后水盐平衡分析

a. 试验区灌溉用水量。银南灌区地处黄河上游 供水的保证率很高 作物用水一般都能得到保证。灌区的渠系水利用系数仅为 0.44 有超过 50% 的水量都通过各级灌溉渠道渗漏补充给了地下水。灌区目前每公顷水稻田所采用的灌水定额为 2 250 mm 考虑到有效降水、渠系利用系数、作物系数等的影响 结合银南灌区现有的灌溉制度 经推算得出的灌区每公顷水田的灌溉定额为 11 535 mm 具体计算结果见表 2。在整个观测周期 共灌水约 29 次 根据试验区情况 经计算得出试验期控制排水区灌水 量为 8.9×10⁴m³ 具体结果见表 3。

表 2 银南灌区水稻耗水量

月份	降雨量/ mm	蒸腾蒸发量/ mm	作物系数	耗水量/ mm
5	29	168	0.9	151
6	25	181	1.1	199
7	37	193	1.2	228
8	42	160	1.2	189
9	20	111	1.0	111

注 5~9 月份实际降水为 171 mm 有效利用量为 109 mm 总耗水量为 878 mm。

b. 水盐平衡分析。灌区盐分平衡的条件是引入水总盐量等于排水总盐量 即

$$\Delta S = V_i C_i - V_d C_d \tag{1}$$

式中:V_i 为引入灌区的总灌溉水量 m³ ;C_i 为灌溉水中盐分的平均质量浓度 kg/m³ ;V_d 为灌区排出的总水量 m³ ;C_d 为排水中盐分的平均质量浓度 kg/m³。

试验过程中 灌水 量为 8.9×10⁴m³ 排水量为 4.8×10⁴m³ 灌溉水中盐分的质量浓度为 0.46 g/L 排水中盐分的质量浓度为 0.88 g/L 故试验过程中引盐量为 4.10×10⁴kg 排盐量为 4.23×10⁴kg 引排水量差为 4.1×10⁴m³ 引排盐量差 ΔS = -1.30×10³kg 试验区依然满足水盐平衡。

2.2.4 控制排水后的环境效应分析

a. 控制排水对排水沟盐分质量浓度的影响分析。试验中为了研究采用控制排水后所引起的排水沟盐分和田间盐分的变化 对排水沟进行了盐分检测。如图 3 所示 控制排水沟试验期内盐分质量浓度的变化范围在 0.67~0.81 g/L 之间 常规排水沟盐分质量浓度变化范围在 0.72~0.92 g/L 之间。控

制排水沟排水中盐分的质量浓度比常规排水沟排水
中盐分的质量浓度高 11.6 个百分点 ,达到了
一定的控制排水效果 ,但无论是控制排水区
中盐分的质量浓度的最高值 0.81 g/L 还是
常规排水区中盐分的质量浓度的最高值 0.92
g/L ,都小于水稻在不同生育期的耐盐临界
值 ,还有进一步抬高排水出口水位和地下
水位的潜力。

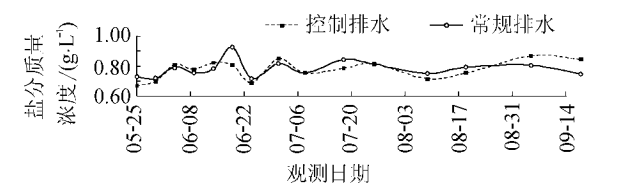


图 3 不同类型排水沟中盐分的质量浓度变化规律曲线

b. 控制排水对试验田盐分含量的影响分析。
图 4 给出了不同观测深度盐分质量浓度的变化
情况。总的说来 ,控制排水区和常规排水区水
样中盐分质量浓度的变化趋势是一致的 ,在 30
cm 和 100 cm 处水样中盐分的质量浓度都处
于峰值 ,60 cm ,140 cm 和 170 cm 处盐分质
量浓度相对较低 ,控制排水区盐分提高了 31.2%
 ,常规排水区盐分提高了 30.6% ,控制排水区
略高于常规排水区 ,达到一定的控制排水的预
期效果 ,换算后的盐分质量浓度小于水稻各生
育期的耐盐临界值 ,不会对作物造成伤害。

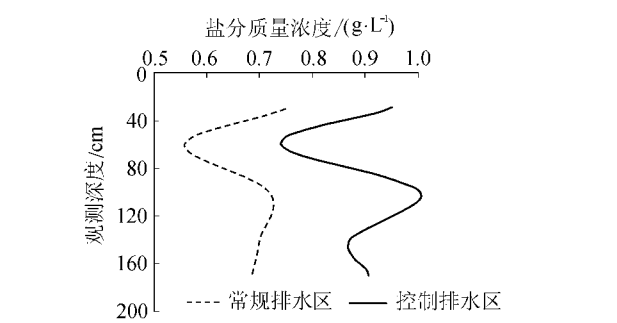


图 4 不同观测深度盐分质量浓度的变化

c. 控制排水对硝氮的影响分析。控制排水较
为显著的环境保护效应主要体现在减少硝氮的
排放量上。氮氮的变化不明显 ,甚至有可能增
加 ,因此该次研究以硝氮为例进行分析。表 4
给出了全生育期排水沟在各月的硝氮质量浓
度变化情况 ,经过换算可以得到控制排水条件
下排水沟 2 在全生育期少排 18.05 kg 硝氮 ,
排水沟 3 少排 9.71 kg 硝氮 ,平均每公顷稻田
在全生育期能少排 13.88 kg 硝氮 ,并且排水
沟硝氮的质量浓度没有超过 10 mg/L ,这样的
浓度均不会对地表水体造成污染。

表 4 5~9 月硝氮质量浓度变化		g/L				
排水类型	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	平均值
控制排水	6.33	1.96	0.25	0.04	0.10	1.74
常规排水	5.67	2.27	1.09	0.35	0.26	1.93

3 结 论

通过在银南灌区进行一个生长季的控制排水
对比试验 ,根据上面的分析可以得到以下结论 :

a. 试验期内抬高了 1.8 cm 的水位 ,达到了
一定的控制效果。

b. 扣除地表径流的影响 ,控制排水减少 50%
的总排水量以及 46% 的地下排水量 ,效果非常
明显。

c. 试验期内 ,试验区减少排盐量 1300 kg ,
在不影响作物正常生长的情况下依然满足水盐
平衡的要求 ,效果比较理想。

d. 控制排水实施后 ,排水沟和试验区内的
盐分都有一定程度的升高 ,但也都低于作物的
承受能力 ,不会对作物造成伤害。

e. 试验期内 ,控制排水减少了约 13.88 kg
的硝氮 ,且排水沟硝氮质量浓度低于 10 mg/L
 ,不会对下游水体造成污染 ,起到一定的环保
作用。

在越来越紧张的水资源短缺情形下 ,如何
合理地保护和利用水资源 ,是当前必须面临和
解决的难题。采用控制排水技术 ,改变灌区的
灌水频率 ,减少灌水次数 ,根据田间的水分、
盐分和养分状况等具体情况进行管理。改变目
前灌区“大引大排”的管理现状 ,调整水资源
调度理念 ,将“以需定供”调整为“以供定需”
。在暴雨事件发生时 ,及时监测雨量及其成分
 ,适时调整控制方案 ,不仅节约了农户田间操
作时间 ,还节省了引水费用以及水泵抽水所耗
费的动力费用等。控制排水在减少排水量达
到节约用水目标的同时 ,不影响作物的正常生
长 ,满足水盐平衡 ,有效地保护了生态环境 ,
值得在种植高耗水作物的地区积极推广。

参考文献 :

[1] 美国内务部垦务局.排水手册[M].北京:水利电力出版社,1985:1-4.
[2] 赵春辉,刘正茂.绥滨灌区排水对黑龙江和松花江水质的影响预测[J].水资源保护,2005,21(3):25-28.
[3] AYERS J E, TANJI K K, Effects of drainage on water quality in arid and semiarid irrigated land[C]//SKAGGS R W, Van SCHILFGAARDE. Agricultural Drainage. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of American, 1999:831-867.
[4] GUITJENS J C, AYARS J E, GRISMER M E, et al, Drainage design for water quality management: overview[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1997, 123(3):148-153.

(下转第 56 页)

震工况下桩顶水平荷载最大值为168 kN。

由以上结果可知 ,完建期工况单桩水平荷载为 228 kN ,大于单桩水平承载力设计值 200 kN ;地震工况下的单桩水平荷载最大值为 251 kN ,略大于250 kN (地震工况单桩水平承载力设计值放大 1.25 倍) ,均不满足要求。为设计安全起见 ,建议在垂直于水流方向加 1 排桩 ,即由 30 根(6 列 × 5 排)调整为 36 根(6 列 × 6 排)桩。同时 ,该方向的桩距由 2.425 m 调整到 2.0 m ,承台(底板)宽度从 11.3 m 调整到 11.6 m ,即底板两侧各外扩 0.15 m ,调整较小。调整后完建期及地震工况下的单桩水平荷载最大值分别为 176 kN 和 219 kN ,均满足要求。

4 结 论

a. 深圳公明供水调蓄工程进水塔垂直于水流方向的地震响应要大于顺水流方向的地震响应。在顺水流方向地震及垂直于水流方向地震分别作用下 ,进水塔的最大动位移分别为 22.81 mm 和 35.59 mm ,均发生在塔顶 ,塔体的相应加速度放大系数分别为 2.77 和 2.95 ,启闭层顶的加速度放大系数分别为 4.19 和 4.69。

b. 无地震作用时塔体结构主要受压应力作用 ,主压应力最大的部位在闸墩底部。其大小远小于混凝土抗压强度设计值。地震作用影响的塔体结构竖向动应力明显大于水平动应力。垂直水流向地震作

用下的应力大于顺水流向地震作用下的应力。

c. 按三维有限元计算的最大拉应力配筋的钢筋面积均小于设计实配值 ,实配钢筋是满足要求的。

d. 有限元计算获得的最大桩顶竖向荷载为 2479 kN ,小于单桩竖向承载力设计值 ,桩基的竖向承载力满足要求。

e. 计算得到的完建期时桩顶最大水平荷载为 228 kN ,地震工况下的桩顶最大水平荷载为 251 kN ,均略大于设计时采用的单桩水平承载力设计值 ,建议在垂直于水流的方向加 1 排(6 根)桩 ,从而确保进水塔安全。

参考文献 :

[1] SL—203—97 水工建筑物抗震设计规范[S]。
[2] 殷宗泽.土工原理[M]。北京 :中国水利水电出版社 , 2007。
[3] 张柏成 ,李同春.百色水电站进水塔抗震分析[J]。水利水电科技进展 ,2004 ,24(1) :29-31。
[4] 胡良明 ,李宗坤 ,王广印 ,等.地震作用对小浪底水利枢纽 2 号进水塔底影响分析[J]。人民黄河 ,2001 ,23(5) :38-39。
[5] 何发祥 ,王忠 ,刘浩吾.采用无质量地基模型时动力平衡方程的缩减[J]。四川大学学报 :工程科学版 ,2000 ,32(4) :7-10。

(收稿日期 2008-04-25 编辑 :方宇彤)

(上接第 43 页)

[5] SKAGGS R W ,CHESCHEIR G M. Effects of subsurface drain depth on nitrogen losses from drained land[J]。Transactions of the ASAE ,2003 ,46(2) :237-244。
[6] 刘建刚 ,罗 纨 ,贾忠华 ,等.从水盐平衡的角度分析控制排水在银南灌区实施的可行性[J]。农业工程学报 , 2005 ,21(4) :43-46。
[7] 刘建刚.宁夏银南灌区采用控制排水后水盐平衡分析研究[D]。西安 :西安理工大学 ,2005。
[8] 杨丽丽 ,刘建刚 ,刘 昕 ,等.银南灌区控制排水后水盐平衡分析[J]。人民黄河 ,2006 ,28(7) :40-44。
[9] 尹娟 ,费良军 ,勉韶平.宁夏银南灌区稻田控制排水条件下氮素淋失的研究[J]。西北农林科技大学学报 :自然科学版 ,2006 ,34(1) :108-112。
[10] 殷国玺 ,张展羽 ,邵光成.农田地表控制排水对排水中磷质量浓度的影响[J]。水利水电科技进展 ,2006 ,26(4) :24-26 ,39。
[11] AYARS J E ,GRISMER M E ,GUITJENS J C. Water quality as design criterion in drainage water management systems[J]。Journal of Irrigation and Drainage Engineering ,ASCE ,1997 , 123(3) :154-158。

[12] EVANS R O ,GILLIAM J W ,SKAGGS R W ,et al. Effects of agricultural water table management on drainage water quality [EB/OL]。[1989-03-01]。http ://www.ncsu.edu/ncsu/wrri/reports/report237.html。
[13] GILLIAM J W ,SKAGGS R W ,WEED S B. An evaluation of the potential for using drainage control to reduce nitrate loss from agricultural fields to surface waters[R]。Raleigh :North Carolina Water Resources Research Institute ,1978。
[14] GILLIAM J W ,SKAGGS R W ,WEED S B. Drainage control to reduce nitrate loss from agricultural fields[J]。Journal of Environmental Quality ,1979 ,8(1) :137-142。

(收稿日期 2008-06-25 编辑 :方宇彤)

