

东北黑土区小流域综合治理实践探究

——以老二色小流域为例

梁淑娟¹, 赵法领²

(1. 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;

2. 内蒙古鄂尔多斯市国源矿业开发有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 010300)

摘要:黄土高原区、西南土石山区、东北黑土区小流域综合治理模式和体系日趋成熟,为实现流域治理可持续发展,结合黑土区流域治理的经验,分析流域治理存在的问题,以国家扩大内需重点治理项目——老二色小流域为典型案例,探究黑土区小流域可持续经营道路。对老二色小流域进行实地调查,针对存在问题,坚持坡面治理、沟道防护、自然修复、人工维护的原则,对不同坡面和典型沟道采取生物措施治理、工程措施治理、生物工程综合治理的模式。结果表明:老二色小流域治理取得了显著的生态、经济和社会效益,改善了小流域生态脆弱和贫困落后的面貌。

关键词:东北黑土区;老二色小流域;综合治理模式

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0162-05

Exploration on the Practice of Comprehensive Management for Small Watershed in Black Soil Region of the Northeast

—Taking Laoerse Small Watershed as an Example

LIANG Shu-juan¹, ZHAO Fa-ling²

(1. Key Lab of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of

Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Guoyuan Mining Development Company in Erdos City of Inner Mongolia, Erdos, Inner Mongolia 010300, China)

Abstract: Comprehensive management model and system for small watershed have been becoming perfect in the regions of Loess Plateau, the earth and rock mountainous of southwest and the black soil of northeast. To realize sustainable development of watershed management, it is combined with the experience of watershed management in the black soil region, and the problems existing in the management are analyzed. As Laoerse small watershed is selected as the key management project to expand domestic demand for country, it is taken as the typical case to explore sustainable management way of the watershed. The field investigation has been undertaken in the small watershed. With regard to the existing problems, the principles of slope erosion control, gully protection, natural rehabilitation and artificial maintenance were implemented, models of biological, engineering and biological-engineering comprehensive measures for different slope and typical gullies were adopted. The results showed that the ecological fragility and poverty had been improved, significant ecological, economic and social benefits had been obtained.

Key words: black soil region of northeast; Laoerse small watershed; comprehensive management model

小流域经营管理和山区流域管理或集水区经营都体现流域治理的理念:即以小流域为单元,因地制宜地布设综合治理措施,实现水土资源及其它再生自然资源保护、改良与合理利用^[1-2]。以小流域为单元进行综合治理已成为当今世界各国治理水土流失的

主要形式^[3]。美国、日本、奥地利、印度等国家,注重不同尺度下的流域经营管理,在土壤侵蚀计量,植被恢复技术,山地灾害防治,促进农业、环境的可持续发展,对土地使用者采用激励措施等方面取得良好的成效^[4-5]。我国在西北黄土高原区、长江流域地区、东北

沙丘漫岗区等区域形成了“防治体系差异,治理目标相同”的水土保持治理模式,并逐渐将水土保持监测、设计和规划方面的“3S”技术应用到流域治理中^[6],但对东北黑土区的流域治理研究区域不够典型。东北黑土区被划分为国家水土保持防治区的重点治理区,2003 年开始,国家启动了一系列东北黑土区的水土资源保护与治理项目^[7]。为了保护黑土资源,推广黑土区流域治理经验,选取黑土区典型的老二色小流域,从调查分析问题和治理模式对策上探索出黑土区流域可持续经营道路。

1 小流域概况

老二色小流域位于阜新蒙古族自治县化石戈乡,流域总面积 2 568.7 hm²,水土流失面积 1 440.5 hm²,占流域总面积的 56%,土壤侵蚀模数 1 378 t/(km²·a),土壤主要为褐土。本区属于北温带半干旱季风大陆性气候,年均气温 7.2℃,多年平均降水量 530 mm,汛期降雨多以大雨、暴雨出现。该小流域四面环山,海拔高程 274~566 m,所属地貌类型为石质低山丘陵区。

2 小流域治理前现状及问题分析

老二色小流域所在阜蒙县水土流失面积占总面积

表 1 土壤理化性质

理化性质	土层厚度/ m	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	土壤孔隙率/ %	pH	土壤持水量/ %	有机质/ %
褐土	0.2—1.2	1.46	41.2	7.8	25.6	1.02
棕壤土	0.2—0.6	1.39	43.14	7.6	31.2	0.94

2.2 问题分析

由调查结果分析老二色小流域存在的主要问题是:根据土壤的理化性质及国家土地等级评定统一标准(5 级),小流域土地等级均为“中下”和“瘠薄”级。流域内土壤多为褐土和棕壤土,土层较薄,质地黏重,容水量小,抗蚀性能弱。林草植被覆盖面积小,坡耕地较多,降雨季节不均,汛期降雨冲刷力强,导致坡面侵蚀严重,肥沃土壤流失,泥沙淤积河道,水土流失严重,水旱风沙灾害频繁发生。流域土地利用不合理,陡坡开荒,坡耕地比例大,林地面积较少,广种薄收,耕作措施不当,土地生产力降低,导致贫困加剧。

针对老二色小流域生态环境条件、水土流失状况、土地利用结构等方面存在的问题,结合国内外流域治理的经验,应进行流域斑块的划分,因地制宜地合理利用土地,因害设防地综合配置防治措施^[10],坚持“坡面治理为主,沟道防护为辅,自然修复为主,人工维护为辅”的治理原则。践行阜新市“以水土保持

积 92.4%,是辽宁省面积最大的县^[8],相继被列为黑土区水土流失综合防治试点项目区、东北黑土区水土流失综合防治一期工程项目区^[9],老二色小流域水土保持工程是国家扩大内需重点治理项目。为获得流域实效而准确的信息,治理前进行了流域自然条件、社会经济条件、水土流失现状等方面的典型调查实测,并对存在问题进行分析。

2.1 治理前现状

老二色小流域多年平均降水量 530 mm,汛期降雨(6—9 月)约占全年总量 75%以上。坡地占总面积的 81.8%,沟壑占总面积的 14.15%,坡度范围在 3°~25°,坡地由耕地、荒地、林地及裸岩组成,耕地占 51.4%,荒地 13.8%,林地 30.5%,裸岩 4.3%。主要土壤为褐土和棕壤,土质地均为中壤土,褐土面积达 85%,流域土壤理化性质见表 1。流域内主要植被为杨树、松树和荒山荒坡中的天然野生草,森林覆盖率为 7.9%。流域内产业结构以农业生产为主,土地利用状况是农业用地占 46%,林业用地 24.9%,荒山荒坡 11.3%,其它用地 0.2%,未利用土地 17.7%。水土流失面积占流域总面积的 56%,主要土壤侵蚀类型为轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀和极强度侵蚀,可利用土地较少,目前为贫困山区。

为中心,以造林种草为重点,实行工程措施与生物措施相结合,山、水、林、田、路综合治理”的方针。

3 老二色小流域综合治理模式

依据水土保持措施布局 and 不同区域类型的特点将小流域划分为生态型、经济型和综合型三大治理模式,建立了城郊水土保持开发治理模式,生态环保和经济致富型的水土流失治理模式,防蚀固沙兼高效生态经济功能的复合生态系统综合治理模式^[11]。东北黑土区流域治理主要是坡耕地治理和侵蚀沟治理,并划分水土保持类型区,确立治理开发模式,形成适合区域的水土流失综合治理体系^[12]。辽宁省依据流域特点和治理经验,总结出小流域治理的三大模式^[13]:辽东低山丘陵区的“农、果、蚕、柴、林区”镶嵌配套治理模式;流域开发治理与经济发展相结合的治理模式;朝阳地区的“林、果、牧、田、坝”综合配置的金字塔治理模式。

小流域治理模式因自然、社会、经济条件的差异呈现不同。阜新市黑土区在措施布局上从坡耕地、荒坡治理、林业生态脆弱区、沟道治理等方面分类治理^[9]。结合黑土区小流域综合治理体系,根据老二色小流域的地形坡度和沟道侵蚀的特点,探究出不同坡度和典型沟道的水土保持治理模式:生物措施治理、工程措施治理和生物工程措施配套治理。体现出流域治理“工程与生物措施相结合,封、育、造、建相结合,山、水、田、路、林相结合,合理配置,发挥群体防护作用,保护和合理利用水土资源”的治理理念^[14]。

3.1 生物措施治理模式

阜新黑土区的适生树种:阴坡适合杨树、榆树、油松、樟子松等,阳坡适合大枣、山杏、沙棘等,刺槐、紫穗槐最适生^[8]。老二色小流域林草覆盖率低,坡耕地多,水土流失严重,地形区域坡度划分为: $<3^{\circ}$, $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$, $>15^{\circ}$,主要是对坡面不同坡度进行林草植被的配置。

3.1.1 坡度大于 15° 在各支流的漫川漫岗区,对 15° 以上坡耕地通过坡面工程整地后退耕还林^[15]。对坡度陡,难治理区域以生态效益为主,恢复初期植被,采取彻底封山禁牧^[9]。老二色小流域降水稀少,面蚀严重,在 $>15^{\circ}$ 的陡峻荒山采取植被自然恢复和人工促进植被修复措施,实行退耕还林还草,人工补植水保灌木林,主要树种是柠条、油松、胡枝子等,撒播天然野生草籽或优质牧草,有效拦蓄坡面雨水,进行封禁治理,促进植被自然更新。

3.1.2 坡度 $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 东北黑土区选取部分坡度 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,在土层较薄,一般厚度 30~35 cm 的坡耕地修筑地埂植物带^[16],配置植物防冲带,减少肥沃土壤的流失。老二色小流域地埂植物选取油松、樟子松、沙棘等抗风力强、耐瘠薄抗旱树种。为获取一定的经济效益,在梯田坎坡面上部的水平沟内栽植柠条、紫穗槐等薪炭林,也可以适当选种果树,杏树等经果林。

3.1.3 坡度 $<3^{\circ}$ 东北典型黑土区 5° 以下的坡耕地采用保土耕作措施防治水土流失^[12]。如坡度 $<3^{\circ}$,水土流失较轻,设置农田防护林^[8]。对老二色小流域坡度 3° 以下的坡耕地,可采用等高耕作种植作物或蔬菜,开沟阻止径流,增加径流入渗,改善土壤墒情,促进作物生长与增产。在地势条件不好的农田边缘栽植防护林带,形成农田防护林。

3.2 工程措施治理模式

选取流域内具有代表性的沟道进行工程措施的合理配置,达到沟头、沟底、沟坡兼治的目标^[13]。由于东北黑土区降水量比较集中,沟蚀比较严重,为控制沟底下切,沟岸扩张,稳定沟坡,根据当地降雨量、

集水面积和地形状况,修建沟头防护工程、土谷坊、石谷坊等工程^[17]。鉴于老二色小流域降雨、地形条件,可以拦蓄沟头 10 a 一遇 6 h 最大暴雨(102.84 mm)为设计标准^[18],修筑沟头防护工程,断面设计见表 2。谷坊的防洪标准,按 5~10 a 一遇 3~6 h 最大暴雨设计,间距按下一道谷坊的顶部大致与上一道谷坊的底部等高为准^[19]。根据流域内侵蚀沟的特点及修建谷坊的经验,对基本农田构成威胁的沟道修建石谷坊,采用 10 a 一遇 6 h 最大暴雨(102.84 mm)为设计标准,谷坊断面设计见表 3。

表 2 沟头防护工程断面规格

项目	间距/ m	沟顶 宽/m	沟底 宽/m	沟深埂 高/m	边坡	挖方量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)
沟头防护	6	1	0.6	0.6	1:0.5	0.48

表 3 石谷坊工程断面尺寸

坝高/m	坝顶宽/m	坝底宽/m	迎水坡	背水坡
2.0	1.5	3.4	1:0.2	1:0.7

3.3 生物工程综合治理模式

在老二色小流域造林条件较好,坡度 $<15^{\circ}$ 林地与耕地接壤处挖截水沟,按照 10 a 一遇 6 h 最大降雨量为标准设计,沟埂上栽植牧草或紫穗槐,就地拦蓄坡面径流、泥沙,保护农耕地。在流域平缓的沟道底部,栽植耐水湿、萌生力强的杨树或柳树,固持土壤,减缓沟底下切。在立地条件较好,对土层较厚(大于 60 cm)、坡度适宜($5^{\circ}\sim 15^{\circ}$)、坡面完整的坡耕地修建水平梯田或栽植地埂植物带^[9]。对 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 土层厚的地块一次性修建水平梯田,选取 5° 、 8° 、 12° 、 15° 分别进行梯田要素的设计(表 4),可在梯埂上、梯坎上覆盖百喜草,作为发展养牛养羊和食用菌的材料。 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 的坡耕地可以改垅修地埂,配置生物防冲带,截短坡长。项目区小流域的作业道路主要布设在新增坡改梯、经果林等地块中,以人行道为主,宽度控制在 2 m 以内^[20]。老二色小流域使用 74 W 推土机推土后,为方便机动车通行,设置 5 m 宽作业路,并在项目治理区每隔一定距离标注水土保持宣传牌。

4 结果与分析

4.1 治理成果

老二色小流域已治理水土流失面积 300 hm^2 ,静态总投资 51.19 万元。其中工程措施费 10.78 万元,主要修筑梯田工程 15 hm^2 ,封禁治理 120 hm^2 ;林草措施费 37.82 万元,其中水土保持造林工程 13.78 万元,包括水保林整地 40 hm^2 ,栽植水保林 40 hm^2 ,栽、种植(覆土)125 hm^2 ;施工土方量 51.19 m^3 ,主要材料 6.67 万株树苗,种草籽 5 t。根据调查结果显示,

老二色小流域有效治理水土流失,土壤侵蚀由强度侵蚀变为中度、轻度和无侵蚀状态,土地利用结构发生明显改观,以平地、林地和坡耕地为主,治理后现状见表 5。

表 4 水平梯田设计要素值

坡度/ (°)	田宽/ m	机械倍数	田面斜 宽/m	田坎高 度/m	地边埂		定线宽		挖方量/ (m ³ ·a ⁻¹)
					高度/m	宽度/m	水平/m	斜距/m	
5	10.8	6	11.3	0.985	0.3	0.3	11.857	11.902	82.0505
8	10.8	6	11.67	1.624	0.3	0.3	12.157	12.276	135.2792
12	7.2	4	8.17	1.699	0.3	0.3	8.785	8.593	141.5267
15	7.2	4	8.52	2.205	0.3	0.3	8.830	9.141	183.6765

表 5 老二色小流域治理现状

斑号	所在 位置	土层厚 度/cm	地面坡 度/(°)	土壤侵 蚀程度	现状
1	牐牛河边地	100	3	无	平地
2	公路边地	100	3	无	平地
3	西老二色南山	80	10~15	轻	坡耕地
4	西老二色南小山	40	10~15	无	林地
5	东老二色南山	30	>15	无	林地
6	东老二色东南山	30	>15	无	林地
7	东老二色路边地	70	10~15	轻	坡耕地
8	东老二色北地	70	10~15	轻	坡耕地
9	下新丘大地	70	10~15	轻	坡耕地
10	三叉沟坡地	60	10~15	轻	坡耕地
11	红石砬东坡	50	10~12	无	林地
12	鸡冠山	10	>15	中	荒地

4.2 效益分析

《水土保持综合治理效益计算方法》(GB /T 15774—1995) 标准规定的水土保持综合治理效益中包括基础效益(保水、保土)、经济效益、社会效益和生态效益 4 类^[21-22]。一般生态效益、经济效益、社会效益分别为第一、第二、第三评选项进行对比分析^[23]。结合相关文献,使用权重分析法进行效益评价^[24-25],其中经济效益权重(015)、生态效益权重(013)、社会效益权重(012),建立评价指标体系^[21],该体系包括经济、生态、社会效益 3 大类 18 个亚类,详细分类见表 6。

计算流域治理的各项效益,合理利用效益参数指标,确定各项措施的有效数量和增产生效时间。老二色小流域属于东北地区,各项水土保持措施的增产生效时间为:梯田 3 a,水保(混交) 4 a,经济林 4~6 a,种草 1~3 a,横坡垄作 2 a,塘坝 2 a,截流沟 1 a,鱼鳞坑 1 a^[26]。针对 2009—2011 年水土保持某项措施生效时,据当地调查初步分析,通过对各项新增措施的蓄水保土效益进行估算,到治理期末,该流域的蓄水保土效率明显改观,生态环境发展趋势良好,流域治理后的农作物和经果林经济产出效益显著,提高了当地居民的生活水平。栽植林木成活率高,梯田工程、截水沟和谷坊工程的综合配置,有效减少坡面水土流失量。通过开发荒山、荒沟,土地资源优势转化为经

济优势,农林牧用地比例趋于合理,提高了生态环境质量,促进了当地经济发展。

表 6 效益评价指标体系

指标分类	指标名称	权重代码
经济效益	人均总收入和纯收入	011
	恩格尔系数	011
	农产品商品率	0108
	人均粮食占有量	0107
	家庭非农收入增长量及其比例	0105
	家庭农业收入增长量及其比例	0105
	人均基本农田	0105
生态效益	治理度	0105
	土壤侵蚀模数	0105
	地表径流模数	0105
	林草覆盖率	0105
	水平梯田指数	0105
	生物多样性	0103
	退耕指数	0101
社会效益	耕地指数	0101
	土地生产率	011
	土地利用结构比例	0105
	农业技术人员变化率	0105

5 结论与讨论

老二色小流域是东北黑土区国家扩大内需重点治理项目,在自然条件和开发前景方面具有典型性,其治理模式可以推广到辽西北黑土区的小流域治理。经过 2 a 的综合治理,取得了显著的治理成果。

5.1 结 论

(1)分析了老二色小流域治理存在的问题,结合黑土区不同区域的流域治理经验,老二色小流域实行“生物措施治理、工程措施治理、生物工程措施治理相结合”的模式,对不同坡度采取坡改梯,封禁治理和林带防护措施,对典型沟道修建防护工程,辅助设计作业路和宣传牌,合理配置水土保持措施。

(2)老二色小流域治理取得了显著的水土保持效益,调整了土地利用结构,增加了植被覆盖率,降低了土壤侵蚀程度,提高了土地生产力,促进了经济发展,改变了贫困落后的面貌。

5.2 讨论

本文突破了以往的水土保持三大措施综合配置的研究思路,探索出了黑土区小流域可持续经营道路,取得了良好的治理成效,但有待进一步的使用水土保持科技监测技术,在各项治理措施全部生效年进行水土保持效益定量分析。

参考文献:

- [1] 王礼先. 小流域综合治理的概念与原则[J]. 中国水土保持, 2006(2): 16-17.
- [2] 高圭, 常磊, 刘世海. 山区小流域综合治理可持续发展指标体系及其评价初探[J]. 水土保持通报, 2003, 23(4): 72-74.
- [3] 董仁才, 余丽军. 小流域综合治理效益评价的新思路[J]. 中国水土保持, 2008(11): 22-24.
- [4] Bergsma E. Incentives of land users in projects of soil and water conservation, the weight of intangibles[J]. GeoJournal, 2000, 50(1): 47-54.
- [5] Grewal S, Mittal S, Dyal S, et al. Agroforestry systems for soil and water conservation and sustainable production from foothill areas of north India [J]. Agroforestry Systems, 1992, 17(3): 183-191.
- [6] 曹江源, 于杰. 浅谈“3S”技术在水土保持工作中的应用[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 168-169.
- [7] 许静. 基于 GIS 的黑土区小流域综合治理效益评价信息系统[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [8] 郑英荣, 丁瑞军. 应用生物措施治理阜新县水土流失问题的探讨[J]. 防护林科技, 2006(4): 96-97.
- [9] 李凤荣, 张凤勇. 阜新市黑土区水土流失防治措施[J]. 东北水利水电, 2011(1): 60-61.
- [10] 许靖华, 李成杰, 吕志学, 等. 侵蚀山区水土保持与可持续发展的理论思索[J]. 黑龙江水利科技, 2002(4): 13-15.
- [11] 李岩, 王立群. 小流域综合治理及其效益评价研究进展[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2008, 7(3): 62-66.
- [12] 李国强. 东北黑土区水土流失综合治理模式研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [13] 王振颖. 辽宁省小流域生态特点与治理模式的探讨[J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 117-120.
- [14] 孙国文. 马家台小流域综合治理工程综合效益分析[J]. 甘肃农业, 2005(11): 113.
- [15] 范建荣, 潘庆宾. 东北典型黑土区水土流失危害及防治措施[J]. 水土保持科技情报, 2002(5): 36-38.
- [16] 许静, 王玉玺, 樊华. 东北黑土区小流域综合治理措施及效益评价: 以振祥小流域为例[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 95-100.
- [17] 杨滇平, 王军, 张根锁. 香沟流域综合治理的水土保持效益分析[J]. 山西水土保持科技, 2006(1): 13-15.
- [18] 段海侠, 李靖. 莫古沟小流域水土保持综合治理及效益分析[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2009, 18(S2): 223-225.
- [19] 吴泉源, 徐秋晓, 方学蜜, 等. 基于 Virtual GIS 技术的龙口市流域综合治理研究[J]. 国土资源遥感, 2005(1): 57-60.
- [20] 马根录, 吴遵雄. 湖北省“长治”工程水土保持前期工作存在问题探讨[J]. 水土保持通报, 2008, 28(6): 177-179.
- [21] 姚文波, 刘文兆, 赵安成, 等. 水土保持效益评价指标研究[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 112-117.
- [22] 董仁才, 余丽军. 小流域综合治理效益评价的新思路[J]. 中国水土保持, 2008(11): 22-24.
- [23] 陈维杰. 水土保持综合治理措施效益分析: 以浑槽河流域为例[J]. 水利经济, 2006, 24(2): 22-25.
- [24] 李智广, 李锐. 小流域治理综合效益评价方法刍议[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 20-22.
- [25] 水利部. 水土保持小流域治理办法(草案)[J]. 中国水土保持, 1980(1): 1-2.
- [26] 李成杰, 陆洪斌, 许靖华, 等. 浅谈水土保持效益计算中存在问题及解决途径[J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 29-30.

(上接第 161 页)

- [6] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲地区浅层地下水与耕层土壤积盐空间分异规律定量分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 45-51.
- [7] 周在明, 张光辉, 王金哲, 等. 环渤海微咸水区土壤盐分及盐渍化程度的空间格局[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 15-20.
- [8] 吕桂军, 康绍忠, 张富仓, 等. 盐渍化土壤不同入渗条件下水盐运动规律研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(4): 52-54.
- [9] 郭娇, 石建省, 石迎春, 等. 黄河三角洲土壤水分遥感监测研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 229-233.
- [10] 王静, 刘湘南, 黄方, 等. 基于 ANN 技术和高光谱遥感的盐渍土盐分预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 161-166.
- [11] 高佩玲, 雷廷武, 张石峰. 新疆阿图什哈拉峻地区地下水系统模型研究[J]. 水利学报, 2004(4): 61-66.
- [12] 李毅, 王文焰, 王全九, 等. 非充分供水条件下滴灌入渗的水盐运移特征研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 1-4.
- [13] 李晓明, 杨劲松. 黄淮海平原典型区域耕地盐碱障碍诊断指标研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4): 56-58.
- [14] 孙丹峰, 李红. 民勤绿洲荒漠化遥感评价研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 176-181.
- [15] Forkutsa I, Sommer R, Shirokova Y I, et al. Modeling irrigated cotton with shallow groundwater in the Aral Sea Basin of Uzbekistan: II. Soil salinity dynamics[J]. Irrigation Science, 2009, 27(4): 319-330.
- [16] Gowing J W, Rose D A, Ghamarnia H. The effect of salinity on water productivity of wheat under deficit irrigation above shallow groundwater[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(3): 517-524.