

云南省农业灌溉用水定额标准的编制

张玉蓉¹, 顾世祥², 谢波¹, 周云¹, 段兴林¹

(1. 云南省水利水电勘测设计研究院, 云南 昆明 650021; 2. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要 简要介绍云南省在农业灌溉用水管理水平落后、灌溉试验资料缺乏条件下的农业灌溉用水定额标准编制技术方法, 从理论计算和灌区实际调查两方面综合分析得到灌溉用水定额, 并以全省宏观层面的水资源供需分析及与已审定的规划设计和研究成果相比较, 最终得到反映云南现状生产力水平的农业灌溉用水定额标准。全省共划分出 6 个农业灌溉用水定额分区, 水稻还进一步细化至二级分区, 反映出不同气候、土壤、水资源条件对水稻灌溉用水定额的影响。

关键词 灌溉用水定额; 灌溉分区; 农作物; 云南省

中图分类号 S274.1 文献标识码 A 文章编号 1006-764X(2007)02-0080-05

Determination of agricultural irrigation water quota of Yunnan Province//ZHANG Yu-rong¹, GU Shi-xiang², XIE Bo¹, ZHOU Yun¹, DUAN Xing-lin¹(1. Yunnan Institute of Water Resources and Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming 650021, China; 2. School of Water Resources and Hydropower, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract : In consideration of the lag technique and management of irrigation water utilization and the lack of experimental data of irrigation in Yunnan Province, a method for determining the standard quota of irrigation water was presented. From theoretical calculation and field investigation of irrigation districts, the irrigation water quota was obtained at first. Then, the standard quota of irrigation water reflecting the current level of productivity of Yunnan Province was worked out based on water resources demand-supply balance analysis for the province from macroscopic angle and its comparison with the related plan and design having been examined and the research result having been achieved. Finally, the whole province was divided into 6 sub-areas of agricultural irrigation water quota, and another secondary partition for paddy was performed, so that the influences of climate, soil, situation of water resources on irrigation water quota could be reflected.

Key words : irrigation water quota; irrigation regionalization; crop; Yunnan Province

云南省水资源总量相对丰富, 人均水资源量 5 050 m³, 但时空分布不均, 与社会经济、耕地、光热资源分布极不匹配, 以滇池流域为中心的滇中地区长期缺水, 水资源供需矛盾日益加剧, 水环境恶化未得到有效治理。现状农业用水占 78%, 灌区普遍季节性缺水, 同时存在水量浪费巨大、灌溉技术及管理水平落后、灌溉水利用率低等问题。节约用水成为当前解决水资源供需矛盾和实现可持续利用的重要举措之一, 农业灌溉用水定额地方标准的编制, 对推行节约用水、水资源的优化配置和合理利用、提高水的利用效率、建设节水型社会等都具有十分重要的意义。

1 农业灌溉用水现状

云南省地处祖国西南边陲, 属于典型的高原山区省份。山地河谷间分布的山间盆地及高原台地是

城镇所在地及农业生产发达地区^[1-2]。云南省属低纬山原季风气候, 气候类型多样, 立体气候显著。全省水资源总量 2 210 亿 m³, 但坝区少, 山区多, 自西向东相间分布着 3 个多水带、2 个中水带及 1 个少水带。农业经济的主体仍是种植业, 农作物种类繁多, 以水稻、玉米、小麦、烤烟、甘蔗、茶叶、油料等为主, 适宜耕地为 420 万 hm², 有效灌溉面积为 146 万 hm²^[3-5]。2003 年全省总用水量 146 亿 m³, 在农业用水 114 亿 m³ 中, 农田灌溉为 112 亿 m³, 占 98%, 其中水稻用水又占农田灌溉用水量的 50% 以上, 林牧渔业用水仅 2 亿 m³^[6]。

目前云南省农业灌溉用水管理还存在一些问题^[2, 6-7], 主要是: ①灌溉技术落后。部分地区仍然沿袭古老的灌水模式, 串灌串排、放“跑马水”现象较为普遍。②全省还没有一套地方性的灌溉用水定额标准作为考核灌溉用水管理的技术依据, 也没有形

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2003CB415105); 云南省水资源综合规划专题研究(YSZY-2003-01, 05)

作者简介: 张玉蓉(1973—), 女, 云南师宗人, 工程师, 从事水资源规划利用等研究。E-mail: zhangyr666@sohu.com

成科学、合理的放水和计划用水制度。③农田灌溉试验与技术研究欠缺。目前虽然对全省的灌溉试验站网已重新进行规划布局,但因资金短缺,还未建成和开展试验观测研究。④缺乏量水设施,水费征收仍按照作物种类进行“按亩收费”或者“按产量收费”。⑤水费征收较为困难。云南省整体上社会经济落后,农民生活较为贫困,水费征收到位率低。

2 农业灌溉用水定额分区

当前农业用水管理新技术、新方法难以推进的一个主要原因是缺乏衡量用水是否存在浪费的定额标准,农民用水节水积极性不高。结合云南省地形地貌错综复杂,气候、水资源、土壤、作物种类复杂多样的特点,首次制定的行业用水定额标准必须实用、可行,求大同,略小异,应基本包含绝大部分用水量,按不同分区归类进行灌溉用水定额管理。

分区遵循的原则为:自然条件(地理位置、地形地貌、气候、水资源、土壤等)和社会经济技术条件相对一致,结合已有的农业区划、水利区划、气象区划,以县级行政区为基本单元,保持行政区的完整性,特殊气候区单独划片,对金沙江、元江及怒江等局部干热河谷另行分区;作物种植结构、种类、布局等特点基本类似,农业发展方向相似,耕作栽培制度、供水结构、农艺配套措施、灌溉模式、田间生产管理水平基本一致,节水型农业发展途径基本相同^[3-4]。

根据分区原则,全省共划分为6个区,即滇中区、滇东北区、滇东南区、滇西南区、滇西北区和干热河谷区。滇中区位于云南中部腹地,地处金沙江、珠江、澜沧江、红河四大水系的分水岭。区域高原盆地集中,水资源贫乏,普遍干旱缺水,是云南省乃至全国小春旱灾情最为严重的地区之一,也是云南省的政治、经济、文化中心,农业经济发达,生产水平较高。滇东南区为典型的喀斯特岩溶区,渗漏严重,广泛分布着溶蚀、断裂等成因的大小盆地和湖泊,光热条件普遍较好。滇西南区为中山区,纬度和地势较低,自然条件优越,水资源、光热资源丰富,气候湿热,是云南省主要热区之一。滇东北区属中山山原峡谷地貌,山高谷深,气候温冷,人口稠密,地多田

少,以旱粮为主,长期过度垦植,贫困面最大。滇西北区为典型的高山峡谷区,气候寒冷,人口稀少,垦殖指数低,作物种类单一,旱粮比重大,耕作粗放,生产水平较低。干热河谷区指海拔在1200~1600m以下,且年降雨量低于全省平均值的干热区域,包含金沙江中下段、红河中段、怒江中下段等的干热河谷区,区域作物种类繁多,适合发展热区农业、糖料、热带水果和冬春早蔬菜产业发展前景广阔。各分区主要特征如表1所示。

3 农业灌溉用水定额标准编制方法

3.1 农业灌溉用水定额标准编制技术路线

行业用水定额地方标准具有较强的实用性,同时,还要符合GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第1部分 标准的结构和编写规则》的规定。随着用水管理实践资料的不断积累,还可及时进行个别定额的调整,并在5年或更短的周期内滚动修订。通常编制农业灌溉用水定额的方法是以灌溉试验站网的系列整编成果为主要依据,结合灌区实际用水资料进行统计分析确定。灌溉试验站的分布应满足:①试验站网应具有一定密度,基本代表全省不同地形、土壤、降雨等类型的灌溉用水情况;②试验站场地、试验方法及技术应遵照SL 13—2004《灌溉试验规范》的规定;③试验的作物品种应基本包括全省主要的农作物;④试验观测成果资料应具有一定的系列长度。显然,云南省的灌溉试验站网建设在短期内不可能达到上述要求,但编制行业用水定额地方标准,作为建设资源节约型、环境友好型社会,编制节水规划,推进水价改革及水资源管理行政执法等工作的基础,必须尽快提出和发布执行。基于灌溉试验站的资料极为缺乏、灌水技术试验研究欠缺的现状,编制云南省农业灌溉用水定额标准的技术路线如下:

a. 采取理论分析计算方法。在全省范围内选取50个代表各种气候、土壤、作物结构、水资源条件等的典型灌区,按GB 50288—99《灌溉与排水工程设计规范》推荐的灌溉制度设计方法,按系列年法计算1970~2000年的作物灌溉需水定额,结合各个典型

表1 灌溉分区基本特征

分区	土地面积/km ²	总人口/万人	主要土壤类型	多年平均气温/℃	多年平均降雨量/mm	耕作制度	有效灌溉面积/万hm ²	农业用水量/亿m ³
滇中区	96119	1631	红壤、石灰岩土	12~16	700~1200	一年两熟	58	42
滇东南区	44780	535	赤红壤、红壤及石灰岩土	15~17	1000~1800	一年两熟	14	9
滇西南区	137399	1028	砖红壤和赤红壤	15~22	900~2800	一年两熟或三熟	44	44
滇东北区	32110	711	棕壤、红壤	11~13	700~1100	一年一熟或两熟	13	10
滇西北区	59457	185	棕壤	4~6	700~1300	一年一熟	7	8
干热河谷区	24274	286	燥红土、褐红土、紫色土	18~24	580~900	一年两熟或三熟	10	11

灌区的实际用水调查综合分析拟定^[9-10]。典型灌区包括了全部大型灌区、9个重点中型灌区以及26个一般的中小型灌区。在区域分布上,滇中区有18个,滇东北区5个,滇东南区4个,滇西南区12个,滇西北区5个,干热河谷区6个。考虑到云南省属于水资源相对丰富地区,现阶段所确定的用水定额为丰产灌溉模式下的用水定额。

b. 收集云南省近年来完成并通过国家和省级技术咨询机构审查认定的各种类型的大、中、小型灌区的规划设计,及已建、在建、规划的大型水库的设计成果,进行各区域主要作物灌溉定额的对比分析,检查成果的合理性,如由国家层面审查认定的柴石滩、渔洞、麻栗坝、云龙、青山嘴等大型水库及曲靖、嵩明、祥云、宾川、元谋、蜻蛉河、蒙开个、平远、丘北、盈江、勐海等大型灌区的主要作物灌溉定额与本次编制成果基本一致。

c. 参考已完成的《云南省灌溉用水定额编制评价报告》(以下简称“用水调查”)项目成果^[11-12]。由于理论计算和用水调查在全省范围内均有13个典型灌区的灌溉定额调查和分析成果,故选择做两个成果的对比。两个成果中玉米、蚕豆、油菜、甘蔗、烤烟等较为接近,但本次以理论分析为主的定额稍大一些,主要原因为本次是从需求侧提出的灌溉定额成果,而用水调查是从供给方面得出的不同结果,但随着工程措施的不断投入,径流调节程度提高后,最终的用水量必然向需求侧靠拢,故本次定额编制值稍大一些,反映出云南省以河道引水工程为主和季节性缺水的灌溉用水特点,难以解决3~5月用水高峰期供求矛盾。

d. 采用最终确定为地方标准的定额成果并考虑作物种植结构因素之后,再从宏观层面进行全社会的水资源供需平衡分析,检查定额水平的合理性,在未扣除水质不达标供水量的情况下,2003年全省总缺水量40亿 m^3 ,缺水率约为26%,主要是春、夏季灌溉高峰期来水不足,蓄水调节程度低造成的季节性缺水,所得出的结论与前面的定额对比分析基本一致。

e. 遵循应用—实践反馈—修订再应用的循环过程,首次将制定的灌溉用水定额向社会发布后,及时收集各地在应用中反馈的信息,如可操作性、应用范围等意见。通过进一步调查研究分析后,对定额标准作适当调整,增强标准的适用性,也为下一轮的定额体系修订积累基础资料。

3.2 主要作物分类

云南省气候资源丰富,农作物种类繁多,包含粮、烟、糖、油、菜、果、茶、麻、丝、药、杂等。在首次制定农业灌溉用水定额标准时,主要选择在种植结构

中播种面积和用水量都较大的农作物先期拟定用水定额标准。

从对云南省上述50个代表性灌区的调查分析看,复种指数一般为137%~195%,复种较低的区域是滇西北、滇东北等气温较低的区域,滇中、干热河谷等光热条件较好或农业生产发达的地区复种指数较高。根据各个灌区的作物种植情况,本次编制农业灌溉用水定额标准的作物确定为:水稻、玉米、小麦、蚕豆、大豆、薯类、烤烟、甘蔗、油菜、茶叶、花卉、蔬菜、咖啡、林果。上述作物的灌溉用水量已占农业灌溉总用水量的85%以上,可基本满足农业用水实行定额管理的需要,其余作物今后视种植规模和灌溉试验研究情况逐渐补充其用水定额标准值。

3.3 水稻灌溉用水定额标准

云南省水稻播种面积和产量均居各种粮食作物的首位,也是用水量最大的作物,以一季中稻的种植面积和分布范围最广,是主要栽培模式。双季早稻、双季晚稻、再生稻仅在气候炎热、无8月低温冷害的云南南部及干热河谷的少部分地区种植。

由于全省多个气候带并存,立体气候突出,气候类型复杂多样,各个分区内的中稻用水定额仍存在一定差异。考虑到用水定额管理的可操作性,再次对这些分区细分出二级分区(即亚区)。各个亚区的海拔、生育期降水量、蒸发量、降水蒸发分配过程、土壤等因素大致相同,灌溉用水定额也基本处于同一水平。各分区(亚区)水稻农业灌溉用水定额(指田间净灌溉定额,下同)标准如表2所示。分区间水稻灌溉定额规律大致为:干热河谷区>滇东南区>滇中区>滇东北区>滇西北区>滇西南区,与影响灌溉定额大小的各地气候、土壤条件及耕作管理水平的差异情况基本吻合。

云南省的双季稻理论上可适合于南部气候炎热多雨的地区种植,但早稻产量不高,收割期正值雨季,收打浪费严重,晚稻生育期稍长,单产较低,且影响小春作物适时复种,故长期以来发展缓慢。再生稻仅在气温较高、积温对种植双季稻又略显不足的地区种植,播种面积有限,但生育期短、产量低^[13]。因此,对早稻、晚稻、再生稻不再进行分区,全省按统一标准执行,见表2。

3.4 主要旱作物农业灌溉用水定额标准

云南省旱作物的灌溉用水主要是枯季,在雨季除蔬菜、花卉外的其他作物灌溉补水量很少。由于枯季降水一般只占全年的10%~25%,特别是春节以后长期无降水,故灌溉用水的地区差异较小,在各灌溉分区上也呈现出以下趋势:干热河谷区>滇中区>滇东北区>滇西北区>滇东南区>滇西南区。

表 2 水稻灌溉用水定额标准				m ³ /hm ²
种	类	分 区	亚区	P = 75 %灌溉用水定额
中 稻		滇中区	1	6 900
			2	7 800
			3	8 250
			4	7 350
		滇东南区	1	7 500
			2	8 850
		滇西南区	1	5 250
			2	6 450
			3	7 500
		滇东北区	1	6 750
			2	7 500
		滇西北区		7 050
		干热河谷区	1	10 950
			2	9 450
		双季早稻		9 000
		双季晚稻		4 800
		再 生 稻		1 050

旱作物的灌溉方式主要为沟灌、畦灌等常规地面灌溉方式,喷灌、滴灌、微喷灌等节水灌溉模式只在高附加值的经济作物中才有。在相同的灌溉条件下,茎叶类蔬菜较瓜果类蔬菜的用水定额大,草本类水果较木本类水果的用水定额大。同一种作物在大棚栽培方式下由于无降水补给,定额较露天栽培大得多。主要旱

表 3 云南省主要旱作物中等干旱年份灌溉用水定额标准

作物名称		灌溉用水定额						灌溉方式
		滇中区	滇东南区	滇西南区	滇东北区	滇西北区	干热河谷区	
玉 米		2 100 ~ 2 250	1 875 ~ 2 025	1 800 ~ 1 950	2 025 ~ 2 175	1 950 ~ 2 100	2 250 ~ 2 400	沟 灌
小 麦		3 000 ~ 3 150	2 700 ~ 2 775	2 550 ~ 2 700	2 850 ~ 3 000	2 775 ~ 2 925	3 150 ~ 3 375	畦 灌
蚕 豆		2 700 ~ 2 850	2 400 ~ 2 550	2 325 ~ 2 475	2 625 ~ 2 775	2 550 ~ 2 625	2 850 ~ 3 000	畦 灌
大 豆		1 275 ~ 1 500	1 125 ~ 1 350	1 125 ~ 1 275	1 275 ~ 1 425	1 200 ~ 1 425	1 350 ~ 1 575	沟 灌
薯 类		1 050 ~ 1 200	975 ~ 1 125	900 ~ 1 050	1 050 ~ 1 200	975 ~ 1 125	1 125 ~ 1 275	沟 灌
油 菜		3 150 ~ 3 300	2 775 ~ 2 925	2 700 ~ 2 850	3 000 ~ 3 150	2 925 ~ 3 075	3 375 ~ 3 525	畦 灌
烤 烟		1 650 ~ 1 800	1 500 ~ 1 650	1 425 ~ 1 575	1 575 ~ 1 725	1 575 ~ 1 725	1 800 ~ 1 950	沟 灌
甘 蔗		5 400 ~ 6 150	4 800 ~ 5 475	4 650 ~ 5 250	5 175 ~ 5 850		5 700 ~ 6 525	沟 灌
蔬菜(瓜果类)		3 600 ~ 3 900	3 225 ~ 3 450	3 075 ~ 3 375	3 450 ~ 3 750	3 375 ~ 3 600	3 825 ~ 4 125	露天栽培、常规地面灌溉
		11 100 ~ 11 550	10 575 ~ 10 950	10 425 ~ 10 875	10 875 ~ 11 325	10 650 ~ 11 100	11 325 ~ 11 775	大棚栽培、常规地面灌溉
		8 325 ~ 8 625	8 025 ~ 8 325	7 875 ~ 8 175	8 250 ~ 8 550	8 100 ~ 8 400	8 550 ~ 8 925	大棚栽培、滴灌、微喷灌
蔬菜(茎叶类)		4 500 ~ 4 875	3 975 ~ 4 350	3 825 ~ 4 200	4 275 ~ 4 650	4 200 ~ 4 500	4 725 ~ 5 175	露天栽培、常规地面灌溉
		13 875 ~ 14 400	13 200 ~ 13 650	13 050 ~ 13 575	13 575 ~ 14 100	13 350 ~ 13 800	14 175 ~ 14 700	大棚栽培、常规地面灌溉
		10 425 ~ 10 800	9 900 ~ 10 275	9 825 ~ 10 200	10 200 ~ 10 575	9 975 ~ 10 350	10 650 ~ 11 025	大棚栽培、滴灌、微喷灌
花 卉		4 800 ~ 5 400	4 275 ~ 4 800	4 125 ~ 4 650	4 575 ~ 5 175	4 425 ~ 5 025	5 100 ~ 5 700	露天栽培、常规灌溉
		14 625 ~ 15 150	13 875 ~ 14 400	13 725 ~ 14 250	14 325 ~ 14 850	14 025 ~ 14 550	14 925 ~ 15 450	大棚栽培、常规灌溉
		10 950 ~ 11 400	10 425 ~ 10 800	10 350 ~ 10 725	10 725 ~ 11 175	10 500 ~ 10 950	11 175 ~ 11 625	大棚栽培、滴灌、微喷灌
茶 叶		2 700 ~ 2 850	2 400 ~ 2 550	2 325 ~ 2 475	2 625 ~ 2 775	2 550 ~ 2 625	2 850 ~ 3 000	常规地面灌溉
		1 800 ~ 1 875	1 575 ~ 1 650	1 500 ~ 1 575	1 725 ~ 1 800	1 650 ~ 1 725	1 875 ~ 1 950	喷 灌
咖 啡				2 175 ~ 2 325			2 700 ~ 2 850	常规地面灌溉
果类(木本类)		1 500 ~ 1 650	1 350 ~ 1 500	1 275 ~ 1 425	1 425 ~ 1 575	1 425 ~ 1 575	1 575 ~ 1 800	常规地面灌溉
		975 ~ 1 125	900 ~ 975	900 ~ 975	975 ~ 1 050	900 ~ 1 050	1 050 ~ 1 200	喷 灌
		900 ~ 975	825 ~ 900	750 ~ 825	900 ~ 975	825 ~ 900	975 ~ 1 050	滴灌、微喷灌
果类(草本类)		2 250 ~ 2 400	2 025 ~ 2 175	1 950 ~ 2 100	2 175 ~ 2 325	2 100 ~ 2 250	2 400 ~ 2 550	常规地面灌溉
		1 500 ~ 1 575	1 350 ~ 1 425	1 275 ~ 1 350	1 425 ~ 1 500	1 350 ~ 1 500	1 575 ~ 1 650	喷 灌
		1 350 ~ 1 425	1 200 ~ 1 275	1 125 ~ 1 200	1 275 ~ 1 350	1 275 ~ 1 350	1 425 ~ 1 500	滴灌、微喷灌

作物在中等干旱年份的灌溉用水定额见表 3。

4 结 语

在农业灌溉用水管理水平落后、量水设施缺乏、灌溉试验站资料及研究成果欠缺的现状条件下,编制云南省的农业灌溉用水定额标准采取了典型灌区理论分析计算结合实际用水调查拟定的技术路线,与已审定的相关规划设计研究成果对比检查,并从宏观层面的水资源供需平衡分析等途径的对比表明,所制定的定额标准合理,适合于云南省当前的农业生产力水平。从灌溉分区看,各区界限与地貌区域大致吻合,基本勾画出云南省经纬度、海拔高程及水热条件变化的地域差异,突出省内岩溶地区和干热河谷区的特点,同时也揭示了各地通过长期历史发展过程所形成的作物种植结构特点。

为保证用水定额标准的顺利实施及完善,提出以下建议:①成立专门管理机构,建立完善用水定额管理机制,负责用水工程的建设 and 计量设备的日常管理维护工作。②建设、完善主要灌溉渠系的量水设施,为推行计划用水,按方收费及用水资料积累打下坚实基础。③建立灌溉试验站,研究合理、科学的用水定额。④建立健全节约用水激励机制,提高用

水户节水意识。⑤建立健全用水定额修订机制,建立健全用水统计制度,考核用水水平和效率,追踪用水定额的变化规律。

致谢:本文得到李作洪总工程师和云南农业大学熊耀湘、李靖两位教授的帮助指导,特此致谢。

参考文献:

[1]《新编云南省情》编委会.新编云南省情[M].昆明:云南人民出版社,1996:3-12.
[2]李荣梦,李作洪,何春培.云南水资源及其开发利用[M].昆明:云南人民出版社,1981:9-37.
[3]云南省土地管理局.云南省土地利用现状调查领导小组办公室.云南省土地资源[M].昆明:云南科技出版社,2000:33-40.
[4]云南省土壤肥料工作站,云南省土壤普查办公室.云南土壤[M].昆明:云南科技出版社,1996:101-121.
[5]云南省农牧渔业厅.云南省种植业区划[M].昆明:云南

科技出版社,1992:123-184.

[6]云南省水利厅.2003年云南省水资源公报[R].昆明:云南省水利厅,2004:13-25.
[7]顾世祥,傅骅,李靖.云南省农业灌溉现状及对策研究[J].中国农村水利水电,2001(3):9-12.
[8]云南省统计局.2003年云南省统计年鉴[R].北京:中国统计出版社,2004:723-726.
[9]顾世祥,傅骅,高嵩,等.低纬度高原区农业灌溉需水规律研究[J].灌溉排水学报,2004,23(4):71-74.
[10]段兴林,顾世祥,浦承松,等.滇中高原区农业灌溉研究[J].节水灌溉,2005(5):42-44.
[11]邱苑梅,段美英,付学芬.云南省灌溉用水定额编制中的几个关键技术问题[J].节水灌溉,2004(5):40-41.
[12]王龙,李靖.云南省水稻灌溉用水定额等值线图研究[J].节水灌溉,2006(1):28-30.
[13]云南省农业厅.云南再生稻[M].昆明:云南科技出版社,1997:24-78. (收稿日期:2005-03-13 编辑:熊水斌)

(上接第72页)

参考文献:

[1]武汉市水务局.武汉市水资源规划[R].武汉:武汉市水务局,2001:5-13.
[2]王浩,秦大庸,王建华.黄淮海流域水资源合理配置[M].北京:科学出版社,2003:7-31.
[3]姜涛.对区域水资源优化配置多目标规划的模型[J].黑龙江水利科技,2004(2):95.
[4]翁文斌,蔡喜明,史慧斌,等.宏观经济水资源规划多目标决策分析方法研究与应用[J].水利学报,1995(2):1-11.
[5]吴险峰,王丽萍.枣庄城市复杂多水源供水优化配置模

型[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(1):30-32.

[6]赵丹,邵东国,刘丙军.西北灌区水资源优化配置模型研究[J].水利水电科技进展,2004,24(4):5-7.
[7]袁宏源,邵东国,郭宗楼.水资源系统分析理论与应用[M].武汉:武汉水利电力大学出版社,2000:218-232.
[8]冯尚友.多目标决策理论与应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1990:81-82.
[9]陈宝林.最优化理论与算法[M].北京:清华大学出版社,2002:57-69.
[10]徐士良.C语言程序设计集[M].2版.北京:清华大学出版社,1994:261-265.

(收稿日期:2005-11-22 编辑:高建群)

(上接第79页)

“前埂后沟+梯壁植草”方式的水平梯田与梯壁不植草的对照水平梯田相比,其减少土壤流失量达98.2%;从柑橘产量来看,外斜式梯田的第15小区与标准式梯田的第12小区相比,其产量提高45%。所以在修筑土坎梯田的区域,要更加注重植物措施的水土保持作用,大力推广梯壁植草,既能有效地保护梯壁,又能起到良好的水土保持效果。

b. 不同类型梯田水土流失量的减与增和柑橘产量的高与低不完全一致,这表明作物产量不仅与水土流失量有关,而且与土壤水分含量和土壤肥力密切相关。百喜草虽然有很好的蓄水保土效应,但其根系发达,能大量吸收临近柑橘区的养分,对柑橘产量有一定的影响。由于未对径流和泥沙中养分含量进行观测,其影响程度尚待进一步研究。

参考文献:

[1]贺湘逸.红壤坡地利用中的水分问题[C]//杨言生,信诠.中国红黄壤地区农业综合发展与对策.北京:中国农业科技出版社,1995:107-111.
[2]谢开云.中国南方红壤区种草养畜的潜力及问题[C]//

张马祥.中国红壤与牧草.北京:中国农业科技出版社,1993:19-26.

[3]赵其国,何园球,张桃林.红壤低丘岗地的优化农业生态模式[C]//王明珠,张桃林,何园球.红壤生态系统研究.南昌:江西科学技术出版社,1993:88-91.
[4]陈斌飞,陈鸿昭,曹锦铎.红壤土地资源持续利用与管理的研究方法[C]//王明珠,张桃林,何园球.红壤生态系统研究.南昌:江西科学技术出版社,1993:27-32.
[5]ZUO Chang-qing, ZHANG Xian-ming, WU Chia-chun. Preliminary report on technical for soil and water conservation, flood control and natural disaster reduction on red-soil hilly and sloping lands[C]//Proceedings of 12th International Soil Conservation Organization Conference(Volume 1). Beijing: Tsinghua University Press, 2002:160-165.
[6]左长清,胡根华,张华明.红壤坡地水土流失规律研究[J].水土保持学报,2003,17(6):89-91.
[7]胡建民,胡欣,左长清.红壤坡地坡改梯水土保持效应分析[J].水土保持研究,2005,12(4):271-273.
[8]徐明岗,文石林,高菊生.红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应[J].水土保持学报,2001,15(1):77-80.
[9]陈旭晖,周长华,周丕东.贵州山区水土保持实验研究[J].贵州农业科学,1994(1):3-8.

(收稿日期:2005-09-30 编辑:马敏峰)