

节水农业综合效益分析

褚琳琳

(江苏大学流体机械工程技术研究中心,江苏 镇江 212013)

摘要 :分析了节水农业综合效益,认为节水农业具有经济效益、环境效益和社会效益的统一性。节水农业经济效益表现为节水农业在微观上的盈利能力;节水农业环境效益表现为对水资源、土壤、植被、大气、生物等环境要素及其生态过程产生的正面影响;节水农业社会效益是对社会环境系统的影响产生的宏观经济效益,表现为实现社会发展目标所作的贡献与影响程度。

关键词 :节水农业 综合效益 经济效益 环境效益 社会效益

中图分类号 :F323.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1003-9511(2011)02-0022-04

节水农业作为实现水资源可持续利用的一种有效手段,在实现水资源的合理配置,提高水资源利用率,保障国家粮食安全、生态安全和社会经济可持续发展等方面,具有其他措施无法替代的作用。从目前节水农业的理论与实践来看,节水农业综合效益作为节水农业的重要组成部分,其研究尚处于探索阶段,还没有形成成熟的理论体系。研究节水农业综合效益,不仅可丰富节水农业理论,而且对规范与指导节水农业实践活动具有重要现实意义。实践证明,节水农业不仅可以减少农业用水、减少能耗、提高土地利用率、减轻劳动强度,还能有效改善生态环境、土壤环境、水环境,促进农业增收、工业增产,也能为居民提供生活用水。由于节水农业是指为获得最佳区域经济效益、环境效益和社会效益而采用的一系列工程节水技术、农艺节水技术和节水技术的总称,因此,本文将节水农业的综合效益归纳为节水农业经济效益、环境效益、社会效益的综合。

1 内涵界定

节水农业是一种资金和劳动投入的过程,是典型的经济行为。节水农业经济效益指投资主体进行资金、劳动、技术等节水农业投入所获得的经济收益,它是衡量节水农业投资收益、考察节水农业在微观上的盈利能力、评价节水农业经济合理性^[1]的重要指标。节水农业环境效益指节水农业实施过程中对水资源、土壤、植被、大气、生物等环境要素及其生态过程产生诸多直接或间接的积极影响。节水农业

社会效益指节水农业技术实施后对社会环境系统的影响及其产生的宏观经济效益,即在获得经济效益、环境效益的基础上,从社会角度出发,节水农业为实现社会发展目标所作的贡献和产生影响的程度,其本质是在确保现有水资源满足农业基本生产需求的基础上,将节约的水资源向工业生产、居民生活、城市生态环境转移所产生的效益。

节水农业具有效益的统一性。从经济角度来看,追求经济效益是节水农业的中心,也是节水农业生命力所在;从节水农业的基础来看,自然因素(环境因素)是制约节水农业实施的主导因素,追求环境效益是节水农业的基础与前提;从节水农业服务对象来看,社会因素成为制约节水农业实施的主导因素,社会效益是节水农业的目的所在,因此,节水农业应追求经济效益、环境效益和社会效益的统一,做到经济上有效、生态上平衡、社会上可行和可接受。

2 节水农业经济效益

2.1 提高农业水资源利用率,减少农业用水量

在农业灌溉中实施节水农业技术,可以减少水分的深层渗漏和无效蒸发损失,达到提高水资源利用率、减少农业用水量、节约灌溉用水的目的。不同的节水农业技术在不同的环节发挥各自的作用。如,在输配水环节中,采用渠道防渗技术最直接的目的是减少水分渗漏损失,与土渠相比,土料类防渗渠道可减少水分渗漏损失 40%~50%,水泥类与石料类防渗渠道可减少水分渗漏损失 50%~60%,埋铺

式膜料类防渗渠道可减少水分渗漏损失 70% ~ 80% ,混凝土类防渗渠道可减少水分渗漏损失 60% ~ 70%^[2]。在输配水和灌水环节中应用低压管道输水技术,输水利用率可达 95% ,比土渠减少输水损失 90% 以上,比渠道灌溉省水 30% ~ 40%。在灌水环节中应用田间灌水改进技术,其中采用喷灌灌水技术的灌溉水利用率达 80% 以上,比地面灌溉省水 30% ~ 50% ,而采用微灌灌水技术的灌溉水利用率达 85% ~ 90% ,比地面灌溉省水 33% ~ 50%。在农作物对水分的吸收利用环节中采用水稻节水灌溉技术与农艺节水技术,能减少水分无效蒸发,达到用最少的水生产最高产量的优质农产品的目的。

2.2 减少能耗,缓解工农业用电紧张矛盾

与土渠或大水漫灌相比,采用节水农业技术能提高节水装置效率,降低提水级数,加速灌溉水流动,缩短输水时间和灌溉周期,减少能耗,有效缓解工农业用电紧张的矛盾。如,采用渠道防渗技术能抬高渠底高程,减少渠床糙率,每年可节电 2.7 kW·h/m²或节油 1.2 kg/m²左右;而实施井灌区渠道防渗工程每年大约可节电 5.6 kW·h/m²或节油 3.0 kg/m²^[3];采用低压管道输水技术所需的输水工作压力低,一般为 0.02 ~ 0.20 MPa,比土渠输水节能 25% ~ 50% ;在低压力条件下采用微灌灌水技术,使灌溉水利用率提高,而在提水灌区,节水意味着减少能耗。

2.3 提高土地利用效率,增加土地复垦面积

实施节水农业可节约渠道占地,有效提高土地利用效率,增加土地复垦面积。如,渠道衬砌防渗技术中,采用较陡的矩形和 U 形防渗渠道为沟坡,与土渠相比,该渠道断面缩小,渠道口宽变窄,支渠与干渠渠身横向占地宽度一般比衬砌前减少 1 ~ 2 m²^[4],可省地 0.2%。低压管道输水技术中,管道均埋于地下,与渠道输水相比,可节约土地 7% ~ 13%^[5]。田间灌水改进技术中,采用压力管道输水,可减少农田中渠道、田埂的占地,提高土地利用率达 10% ~ 20%^[6]。

2.4 减轻劳动强度,减少管理与运行费用

实施节水农业能减轻农民劳动强度,减少管理与运行费用。如,采用渠道防渗技术,可有效防止渠道冲刷、淤积和坍塌,增强渠道稳定性,减轻渠道整坡、修理和清淤的强度,减少渠闸配套管理人员和维修清理人员,从而降低渠道运行管理维护成本(比土渠管理维护成本减少 70%)。低压管道输水的运行费用少,适应性强,受气候、地形、作物分区、灌水时间等因素干扰少,管理方便,且管道埋于地下,不易被破坏,技术也易于被农民掌握与使用。采用地面

灌水改进技术,对土地平整程度要求不高,无需开沟、筑畦,在一定程度上降低灌水劳动强度,与地面灌溉相比,可节省劳动力 50% 左右。

3 节水农业环境效益

3.1 对气候环境的影响

节水农业对气候环境会产生一定的影响,大面积的节水灌溉将会造成局部地区空气温度、湿度、水分蒸发量发生改变,小范围的节水灌溉则对农田小气候产生影响^[7]。如,输水过程中水分的渗漏损失及农艺节水技术的实施,导致田块裸间水分蒸发和植株水分蒸腾减少,区域实际陆面水分蒸发量相应减少,从而导致了区域雾日的减少和空气相对湿度的减小。采用其他节水农业技术,如喷灌灌水技术,可增加近地表的空气湿度,降低地面温度。采用水稻节水灌溉技术,白天田面以下 5 cm 处土温温差达 3℃ 以上,田面以下 20 cm 处土温温差也在 1.5℃ 左右^[8],明显高于淹水稻田,稻田株间昼夜温差可增加 1 ~ 3℃,株间空气湿度减小 1% ~ 5%^[9]。

3.2 对区域水文循环的影响

节水农业改变了农田水文循环变化规律,采用不同的节水农业技术对水文循环的过程有着不同程度的影响,如,渠道防渗、低压管道输水改变了水循环的结构和转化量,影响了区域地下水的补排关系,使地下水、土壤水和地表水的转化强度减弱,地下水水位下降,不重复的地下水资源量显著增加^[10-11]。采用农艺节水技术,通过充分利用土壤水,改变了降雨产流、降雨入渗和地下水补给条件。而采用地膜覆盖保墒技术,在增温保墒的同时,由于地膜对雨水的阻隔作用,使得降雨入渗减少,一方面不利于充分利用雨水,另一方面也加大了地表径流。大面积的地膜覆盖将影响地区的水循环条件,改变原来的水文特性,甚至使水资源状况发生变化。这些影响通过改变原有水循环过程和降雨产流过程,形成新的水资源循环系统,对区域内的农业生产条件和生态环境产生影响^[12]。

3.3 对地表水环境的影响

节水农业对地表水环境的影响包括对水量的影响和对水质的影响两部分。对水量的影响主要表现为水文循环过程中地表径流的变化,对水质的影响主要表现为灌溉回归水的排出所产生的影响。采用不同节水农业技术对地表水水质的影响表现不同,如,采用渠道防渗技术可增强径流拦蓄能力,增加蓄水量,对污染物起到稀释作用,同时水体的增加为水体中污染物的氧化、分解、吸附、沉淀和吸收提供了很好的平台,从而进一步改善了水质。采用喷灌灌

水技术,可直接把水和肥料送到植物根部,避免水分和肥料在土壤的残留,减轻了地表水的恶化程度。采用地膜覆盖技术,可减少稻田的排水量,降低稻田肥料流失对水体的污染(研究表明,减少田间水的排出是降低农田氮、磷流失的关键^[13])。

3.4 对地下水环境的影响

节水农业对地下水环境的影响体现在节水农业实施后地下水水位与地下水水质的变化。对地下水水位的影响表现为,在渠灌区,由于减少渗漏量,相应减小了地下水水位的上升幅度;在井灌区,随着地下水开采量的减少,地下水水位得到控制,但同时由于渗漏量的减少,地下水补给减少,可能会产生负面影响。王贵玲^[14]对渠灌区节水农业进行研究发现,若保持现有地下水开采规模不变,10年后研究区地下水水位减缓下降10m,即地下水水位少下降了10m,从而证明节水农业在一定程度上能缓解地下水水位的下降。节水农业对地下水水质的影响表现为由于节水农业技术的实施,减少了化肥、农药的施用及排放,从而减少了污染地下水水质的受污染水体下渗量。如,采用微灌技术可以提高肥料和农药的使用效率,减少化学物质的施用量,从而有效防止地下水污染^[15]。

3.5 对土壤环境的影响

节水农业对土壤空气、土壤微生物、土壤盐分、土壤物理性质和结构产生较大影响^[16]。如,喷灌灌水技术的实施可能会对农田周围生态环境变异、生物多样性、微生物等造成影响;采用水稻节水灌溉技术,经常排水晒田,可增加土壤通气性和土壤含氧量,氧气还原电位升高,还原物质得到氧化,减少对稻根的危害;采用地膜覆盖保墒技术,可调节农田土壤水、热、盐及养分状况,改善耕作层土壤环境,提高土壤水分利用率等^[17];采用水田旱作技术,可改变土壤潜育层氧气还原电位,使好气细菌、嫌气细菌的活动产生变化,加速分解土壤有机质,并由此对水稻的生长和品质产生影响。但是,农膜覆盖、污水灌溉可能会对土壤环境产生负面影响,其中农膜覆盖后的残膜会影响土壤物理性状,抑制作物生长发育;污水灌溉会产生重金属元素(根据实验研究表明,污水灌溉的土壤中全盐及氯化物的累积均高于清水灌溉的土壤),并且作物籽实中有毒元素的积累有所增加。总体来说,由于减少灌溉用水量,一方面减少了由灌溉水带入土壤表面的盐分,另一方面也防止了因过量灌溉引起的地下水水位抬高,从而有效抑制了地下水和下层土体中的盐分向上层运移,因此,可认为节水农业有利于土壤盐碱化的防治。

3.6 对水土流失的影响

水土流失的根本原因是土壤侵蚀,而土壤侵蚀

主要由外力引起,其中最常见、最普遍的外力是水力侵蚀。实施节水农业能减轻水力侵蚀引起的水土流失^[18]。采用不同节水农业技术对水土保持的作用不同,如,渠道防渗具有防冲、防淤、防坍塌、稳定渠道等特性,能减少水分渗漏,抑制地下水水位的抬高,改善土壤盐碱化状况,缓解由于土壤盐碱化导致植物生长困难、形成水土流失的危机。采用喷灌、微灌灌水技术,不需平整土地和控制地面坡度,减少沟渠和田埂占地,少动土而减少土石弃方,对水土保持产生积极作用。采用地膜覆盖保墒技术,可抑制土壤水分蒸发,减少地表径流,起到蓄水保墒、保持水土的作用。施用化学制剂可以提高土壤保水能力,如,采用具有强吸水性能的高分子材料制成的土壤保水剂,能使土壤在降雨或灌水后吸收相当于自身重量上千倍的水分,并膨胀形成不易离析的凝胶,在干旱时将水释放出来供作物吸收利用,再遇降雨时重复吸水,从而减少了地面径流的形成,起到了保持水土的作用。

4 节水农业社会效益

4.1 对农业的贡献

节水农业对农业的贡献,表现为节水农业实施后增加了灌溉面积,提高了灌溉保证率,提高了农作物产量,从而增加农户收入,促进农村经济发展。

实施节水农业,能够按作物不同生育阶段的需求要求适时、适量供水,提高灌溉的均匀度;在总水量及灌溉面积相同的情况下,缩短了灌溉周期,提高了水资源利用率;在保障原有灌溉田块用水需求的前提下,改善处于渠道末端而灌溉困难的田块或荒废田块的灌溉条件,有效扩大了灌溉面积。据江苏省农业综合开发节水技术推广示范区如皋市野树灌区^[19]的实践表明,修建0.15万 hm^2 防渗渠,可解决地势高、处于灌区尾部、高沙土漏水严重的田块的灌溉问题,扩大灌溉面积近133.33 hm^2 ,扩大水稻种植面积400 hm^2 。在水分丰沛地区,修建衬砌渠道后,灌溉面积由原来的2 hm^2 增加到7.33~8.67 hm^2 。在沿海缺水地区,尤其是黄河故道、滨阜响半高地,修建防渗渠道后,灌溉面积成倍增长。王建勋的研究^[20]表明,与传统的地面灌溉相比,微灌可增产20%~30%,喷灌可增产10%~20%,水稻浅湿和棉花膜上、膜下灌溉可增产5%~10%。彭世彰^[21]分析了宁夏引黄自流灌区示范应用水稻控制灌溉技术,研究表明,控制灌溉的水稻产量比常规灌溉的水稻产量增产519 kg/hm^2 ,增产幅度达5.3%。与此同时,节水农业的实施还能减少水分的渗漏与无效蒸发,降低灌溉用水定额,提高灌溉用水保证率和灌溉

质量,增强了农业抗旱、抗涝等能力,在保障粮食稳产的基础上,提高粮食产量。江苏省南京市的节水农业实践表明,在出现50年一遇的特大干旱的情况下,节水农业技术的实施增强了农业抗旱能力,使农业没有减产反而增产。笔者在江苏省泰兴市所作的调研表明,实施节水农业后,改善灌溉面积0.24万 hm^2 ,平均增产粮食750 kg/hm^2 左右。

4.2 对工业的贡献

节水农业对工业的贡献表现为节水农业实施后节约的水资源从利用效率与效益较低的农业向利用效率与效益较高的工业转移,从而增加工业产值,促进社会经济发展。

工业产值的增加与水资源要素和生产要素(如设备、原材料、动力、劳务、技术等)的投入密切相关,其中水资源作为工业生产必需的投入要素之一,在工业生产中起着举足轻重的作用。倪红珍^[22]对北京市水资源价值的研究表明,水资源对工业总产值的贡献率为0.207,即工业用水每增加1%,工业总产值将增长0.207%。邵景力^[23]对内蒙古自治区包头市水资源系统经济效益的研究表明,水资源对工业各行业生产总产值的贡献率从大到小依次为电力、电子、化工、冶金、食品、轻工、建材、机械、纺织,分别为35.31%、10.78%、7.99%、7.97%、5.83%、2.15%、2.90%、2.06%、1.99%,水资源对包头市工业总产值的贡献率平均为0.79,即工业用水每增加1%,工业总产值将增加0.79%。实践证明,节水农业实施后,节约的水资源向工业转移,能促进工业总产值增加,而作为经济增长的主导产业,工业产值的增加进一步加快了社会经济的发展。

4.3 对生活用水的贡献

节水农业对生活用水的贡献表现为节水农业实施后节约的水资源向生活用水转移,达到维持人类生命和健康、提高居民生活水平的目的。

生活用水指除农业、工业生产用水以外的所有用水,包括城镇居民家庭用水、城镇公共用水、城镇环境用水、农村居民家庭用水和牲畜用水等^[24]。生活用水是人类生存和发展不可缺少的要素,与人们的日常生活需求息息相关。随着经济的发展,生活水平的提高,人类对水的需求量也在逐渐增加,从维持人类生命的饮用水需求,到保证人类健康的卫生用水需求,到满足人类娱乐休闲的用水需求(如花园浇灌等)等^[25],而节水农业对生活用水的贡献功不可没。据江苏省节水改造示范项目白屈港灌区表明,节水农业实施后,总节水量的11%用于生活用水。笔者在江苏省皂河灌区所作的调研发现,节水农业的实施有效增加了生活用水供水量,实施节水

农业所节约的水资源的15%转移到了生活用水。

4.4 对城市生态环境的贡献

节水农业对城市生态环境的贡献,表现为节水农业的实施减少了中上游农田灌溉用水量,节约的水资源用于改善城市水环境,即增加城市生态用水,从而改善了城市生态环境,增强了城市的可持续发展能力。

生态用水是指为维护生态系统的特定结构、生态过程和生态系统服务功能的用水^[26]。长期以来,我国生态环境一直处于“局部有所好转,整体正在恶化,前景令人担忧”的状态。随着人口的增加和工农业的迅速发展,挤占生态用水的现象越来越明显,生态用水危机导致生态环境恶化,严重威胁人类的生存和国民经济的健康发展。为了保障生态用水,近年来,我国政府和各级部门采取了多种措施,如塔里木应急调水、黑河调水、珠江引淡压咸等,均取得了较明显的成效。但是这些成效大部分是通过行政手段实现的,花费了大量的人力、物力和财力,而保障生态用水的长效机制并没有建立起来。针对目前生态用水现状,有研究^[27]认为,实施节水农业是保障生态用水的最主要手段。江苏省皂河灌区节水农业的实践表明,自1998年实施节水农业以来,皂河灌区每年将节约的水资源向城市市区段古黄河补水,为黄河生态基流、冲沙及稀释净化等生态功能的维持提供了保障。

5 结 语

在水资源有限性、稀缺性和不可替代性的前提下,节水农业因其节水、高产和可持续等特点,成为克服水资源短缺、改善生态环境、实现农业可持续发展的必然选择。实施节水农业对区域经济、环境、社会产生全方位影响,节水农业的环境效益和社会效益是节水农业经济效益的有力保障,节水农业经济效益只在节水农业环境效益和社会效益良好的基础上才能够得到更好的发挥。对节水农业综合效益进行全面分析具有重要现实意义。

参考文献:

- [1]沈菊琴,陈明,陈晓坤.农业节水投资与效益分析方法初探[J].灌溉排水,2001,20(4):51-55.
- [2]水利部农村水利司,中国灌溉排水技术开发培训中心.渠道防渗工程技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [3]陈菁,冯广志.江苏省大型灌区自评报告[R].南京:江苏省水利厅,2005.
- [4]张文渊,李晓琴.灌溉渠道防渗处理经济分析[J].节水灌溉,2001(1):25-26.

(下转第45页)

表 1 某水库不同情形下在线与离线收益对比

时段 <i>t</i>	庄稼理想 需水量/ 万 m ³	水库实际 来水量/ 万 m ³	$\beta = 0.5, \alpha = 0.5$				$\beta = 0.8, \alpha = 0.5$			
			实际供水量/万 m ³		每个时段收益/万元		实际供水量/万 m ³		每个时段收益/万元	
			在线	离线	在线	离线	在线	离线	在线	离线
1	5.0	4.0	2.5	4.0	5.0	8.0	4.0	4.0	8.0	8.0
2	10.0	5.0	5.0	5.0	10.0	10.0	5.0	5.0	10.0	10.0
3	12.0	19.0	6.0	6.0	12.0	12.0	4.8	6.0	9.6	12.0
4	6.0	2.0	3.0	6.0	6.0	12.0	2.4	3.0	4.8	6.0
5	7.0	1.0	3.5	7.0	7.0	14.0	2.8	3.5	5.6	7.0
6	8.0	5.0	8.0	8.0	16.0	16.0	4.0	4.0	8.0	8.0
合计	48.0	36.0	28.0	36.0	56.0	72.0	23.0	29.5	46.0	51.0

参考文献:

- [1] 郭元裕,李寿声.灌排工程最优规划与管理[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [2] 顾世祥,傅骅,李靖.灌溉实时调度研究进展[J].水科学进展,2003,14(5):660-666.
- [3] WARDLAW R B. Optimal allocation of irrigation water in real time[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 1999, 6: 345-354.
- [4] 余艳玲.灌区水资源优化配置模型的建立及应用[J].云南农业大学学报:自然科学版,2010,25(5):703-706.
- [5] 刘招,黄文政,黄强,等.基于水库防洪预报调度图的洪水资源化方法[J].水科学进展,2009,20(4):578-563.
- [6] 胡名雨,李顺新.逐次逼近动态规划法在水库优化调度中的应用[J].计算机与现代化,2008(6):8-10.
- [7] MAMASSE M S, MCGEOCH L A, SLEATOR D D. Competitive algorithms for server problem[J]. Journal of Algorithms, 1990, 11: 208-230.
- [8] DAVID S B, BORODIN A. A new measure for the study of the on-line algorithm[J]. Algorithmica, 1994, 11: 73-91.
- (收稿日期:2010-11-10 编辑:张志琴)
- (上接第25页)
- [5] 阎伟,江建华,缪海洋.低压管道输水与田间优化灌溉技术[J].节水灌溉,2005(4):43-44.
- [6] 吴玉柏,常本春,王亦斌.江苏省农业节水问题研究[J].水资源保护,2002,18(2):53-56.
- [7] 刘莉.大型灌区节水改造项目生态环境效应后评价研究[D].南京:河海大学,2008.
- [8] 李远华,罗金耀.节水灌溉理论与技术[M].武汉:武汉大学出版社,2003.
- [9] 茆智.水稻节水灌溉及其对环境的影响[J].中国工程科学,2002,4(7):8-16.
- [10] MEIJER E, BOELEEE E, AUGUSTIJN D. Impacts of concrete lining of irrigation canals on availability of water for domestic use in southern Sri Lanka[J]. Agricultural Water Management, 2005, 12: 243-251.
- [11] ZALEWSKI M. Ecohydrology: the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources[J]. Ecological Engineering, 2000, 16: 1-8.
- [12] 齐学斌,庞鸿宾.节水灌溉的环境效应研究现状及研究重点[J].农业工程学报,2000,16(4):37-40.
- [13] HECTOR M, CARLOS, NOEMI R. Agricultural waters[J]. Water Environment Research, 1998, 7(4):601-620.
- [14] 王贵玲,蔺文静,陈浩.农业节水缓解地下水位下降效应的模拟[J].水利学报,2005,36(3):286-290.
- [15] 余根坚,李久生,龚时宏,等.喷微灌技术发展的影响因素分析[J].节水灌溉,2005(5):1-4.
- [16] 李俊峰,赵晓蓉.灌溉工程环境影响评价的内容和方法探讨[J].水资源与水工程学报,2006,17(1):33-38.
- [17] 方荣杰.非充分灌溉条件下稻田生态环境研究[J].节水灌溉,2001(5):35-37.
- [18] 李龙国,曹叔尤,舒仲英.浅论节水灌溉与水土流失[J].中国水土保持科学,2008,16(5):63-66.
- [19] 王善飞,王菊,吴玉柏.江苏省农业综合开发中节水技术推广的现状及其效益[J].防渗技术,2000,13(3):1-4.
- [20] 王建勋,庞新安,刘彬.农业节水灌溉经济效益的分析和计算[J].中国农学通报,2006,22(1):372-375.
- [21] 彭世彰,郝树荣,刘文俊,等.宁夏引黄灌区应用水稻控灌技术节水增产效果分析[J].人民黄河,2000,22(10):43-45.
- [22] 倪红珍.基于绿色核算的水资源价值与价格研究[D].北京:中国水利水电研究院,2004.
- [23] 邵景力,崔亚莉,李建萍,等.包头市水资源系统经济效益分析[J].长春科技大学学报,1998,28(3):303-308.
- [24] 褚俊英,王浩,王建华,等.我国生活水循环系统的分析与调控策略[J].水利学报,2009,40(5):614-622.
- [25] European Commission. Towards sustainable water resources management: a strategic approach [M]. Brussels: European Commission, 1998.
- [26] 苗鸿,魏彦昌,姜立军,等.生态用水及其核算方法[J].生态学报,2003,23(6):1156-1164.
- [27] 魏彦昌,苗鸿,欧阳志云,等.海河流域用水平衡及生态用水保障措施探讨[J].水资源与水工程学报,2006,17(1):11-14.
- (收稿日期:2010-10-09 编辑:彭桃英)