

湿地生态系统服务功能及价值评估

张素珍¹, 李晓粤², 李贵宝³

(1. 石家庄学院资源与环境系, 石家庄 050035;

2. 河北工程技术高等专科学校, 河北 沧州 061001; 3. 中国水利水电科学研究院水环境研究所, 北京 100038)

摘要: 生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。湿地生态服务功能不仅包括大量物质资源, 而且具有巨大的环境调节功能和环境效益, 在调节气候、控制土壤侵蚀、均化洪水、降解污染物、美化环境等方面发挥着重要作用。同时, 湿地还是一个丰富的遗传基因库, 特别是珍稀濒危物种的存续具有难以估量的重要价值。近年来生态系统服务功能已引起了人们的广泛重视, 现已成为当前生态学与生态经济学研究的前沿课题。系统地分析了湿地生态系统服务功能及评价方法, 并探讨生态服务功能淤其可持续发展研究的关系。

关键词: 湿地; 生态系统服务功能; 评价; 可持续发展

中图分类号: P343.3; X176

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)06-0125-04

The Wetland Ecosystem Service Function and Value Estimation

ZHANG Su-zhen¹, LI Xiao-yue², LI Gui-bao³

(1. Department of Resources and Environment, Shijiazhuang College, Shijiazhuang 050035, China;

2. Hebei Engineering and Technical College, Cangzhou, Hebei 061001, China;

3. Institute of Water Environment, China Academy of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The ecosystem service function refers to the natural environment condition and effectiveness, which are formed by ecosystem and eco-process, on which the human beings rely for existence. It consists not only large quantity of natural resources but also the great environmental regulating function and environmental profits. It can regulate the climate, control soil erosion and flood, decrease the pollutants and is also plays an important role in beautifying the environment. Furthermore, the wetland is also a rich gene bank, and it has immeasurable values, especially for the existence of the disappearing species. In recent years, the ecosystem service function has caused vast concern and it has become the hot question of study. It systematically analyses the wetland service function and the evaluation method, and it also probes into the relationship between the ecosystem service function and sustainable development.

Key words: wetland; ecosystem service function; evaluation; sustainable development

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用, 它不仅包括各类生态系统为人类所提供的食物及其它工农业生产原料, 更重要的是支撑与维持了地球的生命支持系统^[1,2]。湿地是地球上具有多功能的独特生态系统, 是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一, 被人们誉为“自然之肾”^[3]。湿地生态服务功能不仅包括大量淡水资源、农产品、水产品和矿产等多种资源, 而且具有巨大的环境调节功能和环境效益, 在调节气候、控制土壤侵蚀、均化洪水、促淤造陆、降解污染物、美化环境等方面发挥着重要作用。同时, 湿地还是一个丰富的遗传基因库, 湿地所保存的遗传基因对保障生物种群的存续, 特别是珍稀濒危物种的存续具有难以估量的重要价值。因此, 维护和保育湿地生态服务功能是实现可持续发展的重要物质基础, 现已成为当前生态学与生态经济学研究的前沿课题。

湿地是一个独特的生态系统, 它可以提供多种资源, 如果人们对湿地生态系统认识不够充分, 只根据自己的需要而

决定湿地资源的开发和利用方式, 则会忽视甚至破坏湿地的其它生态功能和效益。因此, 科学、全面地评价湿地所具有的生态服务功能, 不仅为湿地及其资源的监测和研究提供数据资料, 而且为湿地的规划和开发提供可靠的科学依据, 确保湿地及其资源的持续利用。

1 湿地生态系统服务功能概述

1.1 调节径流, 控制洪水

湿地能将过量的水分储存起来并缓慢地释放, 从而将水分在时间上和空间上进行再分配。过量的水分, 如洪水, 被贮存在土壤(泥炭地)中或以地表水的形式(湖泊、沼泽等)保存着, 从而减少下游的洪水量。因此, 湿地对河川径流起到重要的调节作用, 可以削减洪峰, 均化洪水。据实验, 沼泽对洪水的调节系数与湖泊相近^[4]。沼泽土壤具有巨大的持水能力, 因此被称为“水物蓄水库”^[5]。据在三江平原的实验, 沼泽和沼泽化的土壤的草根层和泥炭层, 泥炭层的空隙度达72%~93%, 最大持水量400%~600%, 饱和持水量在500%~800%, 高者可达

* 收稿日期: 2005-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50179040, 50379057)

作者简介: 张素珍(1966-), 女, 河北新乐人, 石家庄学院副教授, 研究方向为生态环境。

900%；草根层持水量一般在300%~800%^[6]，沼泽径流模数小于耕地，一次降水产流量沼泽明显小于耕地^[7]，沼泽地开垦后饱和持水量呈明显下降趋势，草甸沼泽土0~16 cm层年下降速率为6.22%^[8]。湿地既可作为表面径流的接收系统，也可以是一些河流的发源地，地表径流源于湿地而流入下游系统，这些湿地通常是下游河流重要的水量调节器。控制洪水的能力因湿地的类型而异，已经水饱和的河边湿地不能蓄水，所以雨水和上游来水经过这里直接流入河中，这个区域为过渡区域，使河水流量加大。与此相反，洪泛平原在洪水期可以储存大量洪水，从而可以削减洪峰高度，减少下游的洪水风险。在长江沿岸，1954年的特大洪水，最大来水量 $4.85 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，而最大出水量仅 $2.24 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，消减率达53%。湿地植被也可减少洪水流速，从而进一步消减洪水的危害。我国长江流域1998年和1999年的大洪水被认为是湿地面积大幅度减少以及长江被大坝与其临近湿地隔离的结果。

1.2 供水功能

湿地常作为居民用水、工业用水和农业用水的水源。如河流、水库、溪流、湖泊等可直接被利用，而泥炭沼泽地常成为浅水水井的水源。由于湿地所处的地势不同，一块湿地有可能成为另一块湿地的供水源地，一块湿地为另一块湿地提供水源的过程和功能是很重要的。如白洋淀上游的河流和湖库入淀水量的多少直接关系到白洋淀的兴衰。

当水由湿地渗入或流到地下蓄水系统时，蓄水层的水就得到了补充，湿地则成为补给地下水蓄水层的水源。从湿地流入蓄水层的水随后可成为浅层地下水系统的一部分，因而得以保持。浅水地下水可为周围供水，维持水位，或最终流入深层地下水系统成为长期的水源。湿地水源补充地下水对于依赖中/深度水井作为水源的社区和工农业生产来说很有价值的。

1.3 滞留与降解污染物，净化水质

湿地被誉为“地球之肾”，具有减少环境污染的作用，当水体进湿地时因水生植物的阻挡作用，缓慢的水体有利于沉积物的沉积，许多污染物质吸附在沉积物的表面，随同沉积物而积累起来，从而有助于与沉积物结合在一起的污染物储存、转化。一些湿地的许多植物如挺水、浮水和沉水植物，能够在组织中富集重金属的浓度比周围水体高出10万倍以上。水浮莲、香蒲和芦苇都已被成功地用来处理污水。其中湿地中的芦苇对水体中污染物质的吸收、代谢、分解、积累和减轻水体富营养化等具有重要作用，尤其对大肠杆菌、酚、氯化物、有机氯、磷酸盐、高分子物质、重金属盐类悬浮物等的净化作用尤为明显^[5]。

国外自20世纪60年代以来，就对苇塘的生态效应展开了研究^[9]。我国学者测定太湖区芦苇根茎，发现六六六和DDT含量为水体含量的125和2933倍^[10]；江行玉等研究表明^[11]，在镉含量为3 mmol/L的污水中，芦苇幼苗没有表现出明显受害症状，故芦苇对处理镉含量较高工业污水具有很大应用价值。在人工芦苇湿地中，芦苇对BOD、COD、TN、TP平均去除率为85.72%、76.36%、49.34%、29.39%^[7]。李贵宝等^[12]在芦苇根孔对污水净化的研究中发现，污水经过土层一定时间的处理后，得到了净化，对磷的净化能力最大，达到85.8%~92.4%，氮为41.3%~43.5%，COD为29.8%~54.1%（表1）。根据在黑龙省七星河流域芦苇田的实验，芦苇田对As净化能力为96.06%，Fe为92.78%，Mn为94.54%，Pb为80.18%，Be和Cd为100%^[13]。以上试验表明，芦苇湿地系统对净化湖泊、水库的水质具有非常重要的作用。但湿地吸纳沉积物、营养物和有毒物质的能力是有限度的，不能仅仅依靠湿地来缓解过量的沉积物、营养物和有毒物质，而要改变流域内土地利用方式，减少

污染物向湿地的排放。

表1 白洋淀苇田土柱净化污水的效果 mg/L

土柱类型 (0~100 cm)	总 磷		总 氮		COD	
	处理前	处理后	处理前	处理后	处理前	处理后
苇地原状土柱		0.149		8.31		30.3
苇地模拟土柱	19.6	0.216	1.47	8.47	66.0	36.0
麦地模拟土柱		0.280		8.63		46.3

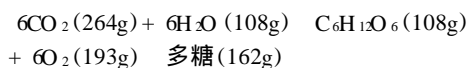
1.4 生物多样性丰富

中国幅员辽阔，自然条件复杂，导致湿地生态系统多种多样。湿地景观的高度异质性为众多野生动植物栖息、繁衍提供了基地，因而在保护生物多样性方面有极其重要的价值。据统计^[14]，中国湿地已知高等植物825种，被子植物639种，鸟类300种，鱼类1040种，分别占已知植物种数的2.8%、2.6%、26.1%和37.1%。独特的湿地生境在物种基因库保护方面有着巨大的经济价值，袁隆平利用海南实地的野生稻（*Oryza rufipogon*）雄性不育系，培育成水稻三系（不育系、保持系、恢复系），使水稻产量成倍增加，同时大大降低了制种成本，开创了大面积种植杂交水稻的新局面。我国目前6个省区分布有野水稻，其遗传多样性非常丰富，为水稻进一步杂交育种提供了宝贵的基因资源。中国湿地还养育着许多野生物种，从中可培育出数个商业性品种，给我们带来更大的经济价值。

1.5 调节气候，改变大气组分的功能

湿地调节气候功能包括通过湿地及湿地植物的水分循环和大气组分的改变调节局部地区的温度、湿度和降水状况，调节区域内的风、温度、湿度等气候要素，从而减轻干旱、风沙、冻灾、土壤沙化过程，防止土壤养分流失，改善土壤状况。如果湿地上游水土流失严重，导致集水区沉积物量的增加，致使湿地的蓄水量和湿地面积减少，而且还导致湿地吸纳沉积物的能力大幅度降低，湿地调节气候的能力下降。

芦苇是湿地主要的植物资源，原芦苇素有“第二森林”之美称。芦苇根系从土壤吸收大量水分后，大部分通过茎叶的气孔以水汽的形态逸入大气中。其蒸腾系数为637~862，即生产1 t芦苇要蒸腾70 t左右水分^[15]，这一水分生物调节作用，能有效地净化空气，润泽一方水土。芦苇不但能够湿润空气，而且能够通过光合作用吸收空气中大量的CO₂。通过研究实地采样，对芦苇做植物样品分析，根据光合作用方程式：



由方程式可知，植物生产162 g干物质可吸收264 gCO₂，即1 g干物质需要1.63 gCO₂。

湿地土壤温度低，湿度大，微生物活动弱，植物残体分解缓慢，土壤呼吸释放CO₂速率低，形成碳积累。湿地排水后，进行各种方式的开发利用，湿地分解加快，CO₂浓度水平可能有潜在的影响。Franzer提出，全球的沼泽地全部排干，碳的释放量相当于森林砍伐和化石燃料燃烧排放量的35%~50%^[16]。由此可见，芦苇湿地能够大大缓解湿地排放温室气体对环境的破坏。

1.6 生态旅游功能

远离都市喧嚣，融入自然已成为现代人们休闲的时尚。风光旖旎的湖泊、河流、草原湿地等相映成趣，成为休闲度假的好场所。湿地以其形态、声韵或习性的优美给人以精神享受，增强生活情趣，湿地生态系统多种多样，千姿百态的风景区是人们休闲娱乐、疗养的好地方。旅游者希望看到原始自然状态和自然生境中野生动物壮观的场面，在自然中人的本性可以得到充分体现。自然常常使人在整体上、人格上得到

发展和升华。在全方位的游动中情景交融, 可以获得德、智、体、美的多种效益。

1.7 湿地与区域生态安全

湿地生态系统是陆地生态系统与水域生态系统相互作用的界面, 是陆地生态系统与水域生态系统相互连接的纽带。湿地生态系统的健康状况与相连接的陆地生态系统、水域生态系统的健康状况密切相关, 同时又影响陆地生态系统、水域生态系统的健康。湿地是陆地系统和开敞水面生态系统之间的过渡地带。由于湿地处于这个过渡位置, 它们对自身水分贮存和运动的正常模式的变化尤其敏感, 也就是说, 湿地对其水文敏感。水文条件能直接修改或改变湿地的物化特征, 如营养物质的有效性、下层土的缺氧程度、土壤盐度、沉淀物的性质和pH值等。水分输入是湿地的一个主要营养源, 水分输出也常从湿地中带走生物和非生物物质。物化环境的这些改变就反过来直接的影响湿地中生物的响应。当湿地的水文条件改变时, 即使是细微的变化, 也会引起生物区系在物种丰富度和生态系统生产力方面的很大变化^[5]。

湿地面积的大小与当地的生态安全关系极为密切。当一个流域或区域湿地面积超过一定阈值时, 或者湿地景观格局发生明显变化时, 则会对该流域或区域的物质循环、能量流动带来明显影响, 进而影响区域或流域的生态安全。

另外, 湿地生态系统还有许多其它重要功能, 如防风、防岸、储存古环境信息、生态美、教科研价值等, 这都需要对不同地区、不同类型湿地给予定量解释。

2 湿地生态系统服务功能主要评价方法

2.1 市场价值法

市场价值法适用于没有费用支出的但有市场价值的环境效应价值核算^[17], 如湿地野生动植物产品等, 这些自然产品虽然没有市场交换, 但它们有市场价格, 因而可以按市场价格来确定它们的经济价值。这种方法可以直接反映在国家收益帐户上, 受到国家和地方的重视, 也是当前人们普遍概念上的生物资源价值^[18]。其计算方法可用公式表述如下:

$$V = \sum S_i \cdot Y_i \cdot P_i$$

式中: V ——物质产品价值; S_i ——第 i 类物质生产面积; Y_i ——第 i 类物质单产; P_i ——第 i 类物质市场价格。

2.2 旅行费用法

旅行费用法常常被用来描述那些市场价格的自然景点或者环境资源的价值。根据游客在旅游活动中所有的支出和花费来表示该效益的经济价值^[19], 包括游客在某一湿地所支出的交通费、饮食费、门票、住宿费和旅行时间价值等。

2.3 费用支出法

费用支出法是从消费者角度来核算生态环境效益的价值。它

以人们对其中环境效益的支出费用来表示该效益的经济价值。

2.4 碳税法

碳税即各国制定的对温室气体排放的税收, 尤其是对 CO_2 的排放税收。碳税法以瑞典政府提议的 $\text{USD}/\text{t}(\text{C})$ (即 $1\,921\text{元}/\text{t}$) 为标准。此种税收水平较高, 但这可加快温室气体的削减。欧洲一些国家以实行的碳税达 $170\text{美元}/\text{t}(\text{C})$ 。计算时, 根据光合作用方程式, 以干物质产量来换算湿地植物固定 CO_2 的量, 再根据国际上对 CO_2 排放收费标准换算出固定 CO_2 的经济价值^[20]。这一值对于我国来说无疑是偏高了, 我国采用造林成本法进行计算。根据单位面积植物碳素的净生长量和造林成本以及湿地植物面积总数, 三者乘积计算湿地植物固碳价值。我国造林成本为 $260\,9\text{元}/\text{t}(\text{C})$ ^[21]。

2.5 替代费用法

用来分析需花费多少钱才能替代某一开发项目对生产资料所造成的损失, 然后必须把这些费用与防止环境损失发生的费用相比较, 如果替代费用大于预防费用, 那么环境破坏就可以避免^[18]。

2.6 影子工程法

影子工程法是恢复费用法的一种特殊形式, 假设当环境破坏后, 用人工方法建造一新工程来替代原来生态环境系统的功能, 然后用建造新工程所需的费用来估计环境破坏(或污染)造成经济损失的一种计量方法。如湿地水调节价值就等于总水分调节量和单位蓄水量的库容成本之积。

2.7 权变估值法

也叫条件价值法, 调查法, 假设评价法。它适用于缺乏实际市场和替代市场交换商品的价值评估, 因而是类似生态资产这样的“公共商品”价值评估的一种特有的重要方法, 能评价各种环境效益(包括无形效益和有效效益)的经济价值。它的核心是直接调查咨询人们对环境商品的支付意愿(WAP), 并以支付意愿和净支付意愿来表达环境商品或服务价值^[22]。

3 湿地生态系统服务功能与可持续发展

几个世纪以来, 随着工业化的进程, 人们干预自然的能力增强, 湿地的开发及土地利用方式的改变, 湿地生态系统面积锐减, 大量的环境污染进入湿地生态系统, 大大超过了其承载容量, 破坏了生态系统的结构与功能, 生态系统服务功能受到损害, 从而导致生态系统的破坏, 使人类未来的发展受到威胁。从可持续发展的角度来看, 维护湿地生态系统的安全, 就必须维持和保护生态系统服务功能, 从而保护人类生存和发展的环境。因此, 生态系统服务功能是可持续发展得基础。

参考文献:

- [1] Daily G, et al Nature's Service: Social Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [2] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635- 640
- [3] 河池. 生态服务功能研究[M]. 北京: 气象出版社, 2002. 67- 87.
- [4] 陈刚起, 张文芬. 三江平原沼泽对河川径流影响的初步研究[M]. 北京: 科技出版社, 1988. 14
- [5] 吕宪国. 生态服务功能研究[M]. 北京: 气象出版社, 2002. 133- 139
- [6] 张养贞. 三江平原沼泽土壤的发生、性质与分类[J]. 地理科学, 1981, 1(2): 171- 180
- [7] 陈刚起. 三江平原沼泽径流试验研究[A]. 见: 黄锡畴. 中国沼泽研究[M]. 北京: 科技出版社, 1988. 120- 125
- [8] 马学慧, 吕国宪, 等. 三江平原沼泽地碳循环初探[J]. 地理科学, 1996, 16(4): 323- 330
- [9] Hellings S E, Gallagher J L. The effects of salinity and flooding on *Phragmites australis* [J]. Appl Ecol, 1992, 29: 41- 49
- [10] 韩顺正. 三江平原芦苇资源与管理措施[J]. 地理科学, 1992, 12(1): 78- 84

- [11] 江行玉, 王长海, 赵可夫 芦苇抗镉污染机理研究[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 856- 862
- [12] 李贵宝, 周怀东, 等 水陆交错带芦苇根孔及其净化污水的初步研究[J]. 中国水利专题研究(B 刊), 2003, 3: 66- 68
- [13] 杨永兴 三江平原沼泽区稻- 苇- 鱼复合生态系统效益研究[J]. 地理科学, 1993, 13(1): 41- 47
- [14] 赵魁义 中国湿地多样性研究与持续利用[A]. 见: 陈宜瑜 中国湿地研究[C]. 长春: 吉林科学出版社, 1995 48- 54
- [15] 王宗典 中国南荻和芦苇科技论文集[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994
- [16] Franzer L G Can earth afford to lose the wetlands in the battle against the increasing greenhouse effect? [A]. Proceedings of 9th international Peat Congress[C]. Uppsala: International Peat Society, 1992 1- 18
- [17] 庄大昌, 丁登山, 董明辉 洞庭湖湿地资源退化的生态经济损失评估[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 680- 685
- [18] 崔保山, 杨志峰 吉林省典型湿地资源效益评价研究[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 55- 61
- [19] 许晓峰, 李富强, 孟斌 资源资产化管理与可持续发展[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 1999 254- 268
- [20] 刘红玉, 吕宪国, 刘振乾, 等 辽河三角洲湿地资源与区域持续发展[J]. 地理科学, 2000, 20(6): 545- 551
- [21] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 608- 613
- [22] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635- 640

(上接第115页)

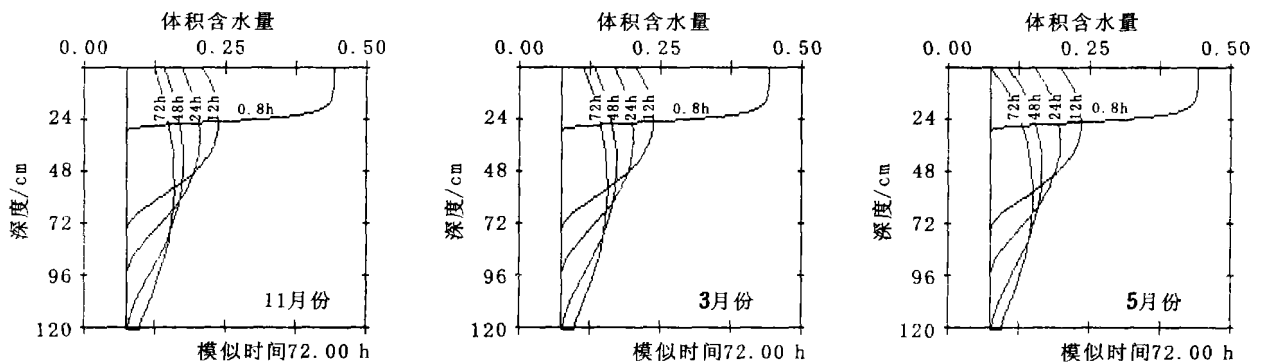


图5 灌溉0.8h后不同蒸发强度1.2、2.4、4.8和7.2h后土壤水分的分布

4.2.3 蒸发强度对土壤水分运动的影响

蒸发作用是影响土壤水分运动的主要因素之一。考虑到冬小麦生长期在11~5月份, 分别取11、3、5月份的蒸发量85.5、174、430mm, 根据以往的经验, 土面蒸发强度取水面蒸发强度的一半, 折合成蒸发强度分别为0.006 cm/h, 0.012 cm/h, 0.03 cm/h。图5为不同蒸发强度下, 漫灌0.8h后土壤又连续蒸发4.8h的水分分布曲线。

从图5看出土壤深度20cm内的含水量递减梯度变化较大, 而土壤20~60cm内平均含水量基本保持在14%~18%, 可以说蒸发对表层水分的散失有较大影响。随着深度的增加, 蒸发的影响逐渐减少。比较不同蒸发强度下的水分分布曲线, 蒸发的影响从11、3到5月份逐渐增大, 深度1.2m以内土层平均含水量逐渐降低, 因而实际灌溉中的间隔时间要相应缩短, 灌溉量也要相应地增加, 以保证作物生长期内的

根系层中的平均含水量满足作物的生长需求。另外, 由于蒸发强度的增大, 减少了上层重力水的入渗, 5月份连续蒸发两天土层10cm以内含水量梯度变化大。土层10~20cm内含水量基本保持在14%~16%。蒸发减缓了水分的垂向运移。

5 结论

(1) 利用所建数学模拟方法, 对喷灌条件下冬小麦田间水分运移进行模拟计算, 模拟结果与田间试验资料吻合, 说明所建数学模型合理, 模拟计算结果可靠。

(2) 模拟计算得出的土壤水分分布规律, 为制定合理的喷灌定额和喷灌方式提供了科学依据, 对加强灌溉水分的田间管理有理论指导作用。

参考文献

- [1] 姚贤良 土壤物理学的研究动态及展望[J]. 土壤, 1985, 17(6): 281- 289
- [2] 杨诗秀, 雷志栋, 谢森传 均质土壤一维非饱和流动通用程序[J]. 土壤学报, 1985, 22(1): 24- 34
- [3] 周维博 降雨入渗和蒸发条件下野外层状土壤水分运动的数值模拟[J]. 水利学报, 1991, (9): 32- 36
- [4] 雷志栋, 杨诗秀, 等 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988 220- 263
- [5] 胡浩云, 谢森传, 惠士博 喷灌条件下冬小麦田间水分运移数学模拟及灌溉模式的研究[J]. 水科学进展, 1995, 6(4): 278- 284
- [6] 左强, 李保国, 杨小路 蒸发条件下地下水对1m土体水分补给的数值模拟[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(1): 37- 42
- [7] Kook, J B, J C Parker, M T H Van Genuchten Determining soil Hydraulic properties from one-step outflow experiments by parameter estimation: I Theory and numerical studies[J]. Soil Science Society of American Journal, 1985, 49: 1348- 1354
- [8] Van Genuchten, M T A closed-form equation for prediction the hydraulic conductivity of unsaturated soils [J]. Soil Science Society of American Journal, 1980, 44: 892- 898