

农田明渠排水条件下土壤水盐运移规律研究

曹伟¹, 魏光辉², 谷新保², 加孜拉¹

(1. 新疆水利水电科学研究院, 乌鲁木齐 830049; 2. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 土壤水分、盐分、地下水埋深是表征当地土壤质量的重要状态变量, 研究其动态变化过程是研究土壤质量演变规律和赖以防治土壤盐渍化的重要方面。在农田明渠排水条件下, 土壤中发生的各种物理、化学和生物过程尤为复杂。因此通过对农田土壤盐分的定点实时监测, 能够定量表征农田生态环境状况优劣; 地下水位埋深变化, 可警示农田盐渍化的演变, 对调整灌溉定额采取预防措施有指导意义。同时通过实验计算确定了农田斗排的合理间距。

关键词: 水盐运移; 水盐监测; 农田排水

中图分类号: S275.3; S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0234-05

A Study on Salt Transport in Saline Soil Under Drainage Condition

CAO Wei¹, WEI Guang-hui², GU Xin-bao², JIA Zi-la¹

(1. Institute of Hydraulic & Hydropower Research of Xinjiang Province, Urumqi 830049, China; 2. College of Water Conservancy & Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Soil moisture, salinity, groundwater depth are the important state variable of symptom local soil quality and studying its development change course is mainly concentrated in soil quality changes and its prevention of soil salinization. In farmland drainage condition, the various physical, chemical and biological courses that occur in soil are particularly complex. Therefore, the fixed point and real time monitoring can be able to quantitative characterization of the merits of farmland ecological environment. Groundwater fluctuation can warn development of agricultural field salinization. It can help leader adjust irrigation quota and adopt preventing measures. At the same time, we find the proper interval of drainage canal based on experiment.

Key words: water salt transport in soil; water salt monitoring; drainage canal

土壤水分、盐分、地下水埋深是表征当地土壤质量的重要状态变量, 研究其动态变化过程是研究土壤质量演变规律和赖以防治土壤盐渍化的重要方面。在农田明渠排水条件下, 土壤中发生的各种物理、化学和生物过程尤为复杂。因此, 开展农田明渠排水条件下土壤盐分运移研究, 不仅可以加深人们对环境质量演变规律的科学认识, 而且对于盐渍化土壤治理、土壤污染控制、地下水污染控制等应用有着重要的指导意义。

盐碱地滴灌中盐分在土壤中的积累程度不仅与当地气候条件、土壤的质地和理化性质、灌溉水的化学组分、灌溉制度、栽培耕作措施以及不同作物品

种的抗盐性等有关系, 还与农田明渠排水条件有密切的关系, 在灌溉水的下渗和强烈的地下水蒸发蒸腾作用下, 土壤中水分和盐分的运动更加活跃, 不但影响着水量平衡, 对土壤中的盐分运动与积聚也有促进作用。因此, 充分研究农田明渠排水条件下盐碱地滴灌下的土壤水盐运动规律是十分必要的。

1 研究方法

1.1 项目区概况

项目区位于玛纳斯县北五岔镇庙沟渠村, 地理位置处于北纬 43°28'29" - 45°20', 东经 85°41'6" - 86°43'10"。南北狭长, 中间窄, 形似长靴, 属玛河灌

* 收稿日期: 2008-09-29

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技攻关和重点科技项目 (200633131); 国家科技支撑计划 (2007BAD38B09); 国家 863 计划 (2006AA100218)

作者简介: 曹伟 (1977 -) 男, 新疆呼图壁县人, 工程师, 主要从事节水灌溉、水土改良工作。E-mail: skycaov@163.com

区,主要灌溉水源为新户坪水库和白土坑水库。项目区西部与新湖七场、六户地镇接壤,北部与 148 团三营、新湖二场为邻,南接广东地乡,东部和新湖三、四场相连。

项目区属玛纳斯河下游的冲洪积细土平原区,地势开阔平坦,地形总趋势由东南向西北平缓倾斜,海拔高程 395~375 m,地面坡降 2/1000~2.5/1000 之间。玛纳斯河进入冲积平原后,侵蚀切割能力显著减弱,因此,沟谷不甚发育,区内没有大的河道,南北两侧均为开阔的耕地和荒漠草滩。土质较重,地表岩性为黄褐色,深灰色,棕黄色亚砂土、亚黏土,地下水位高,矿化度高,积盐较重。

1.2 研究内容及方法

选择试验区 33.3 hm²,新建 2 条斗排,斗排间距 520 m,在斗渠进水口全部安装进水闸和节制闸。在试验区内布置地下水位管 8 个,通过逐天测定地下水位变化情况,测定田间土壤参数,确定适合当地条件的排水渠间距。同时在试验区棉田中间布置土壤盐分监测点 8 个,荒地盐分监测点 2 个,定期测定土壤盐分变化,结合项目实施前的土壤盐分调查对比,评价明渠排水技术对土壤盐渍化的影响效果。实验共取盐分样品 500 个。

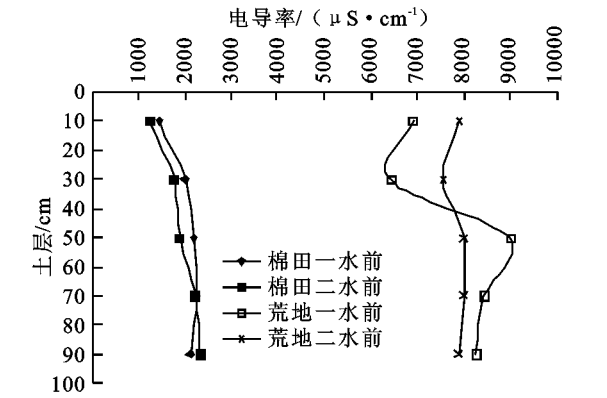


图 1 棉田与荒地土层电导率对比

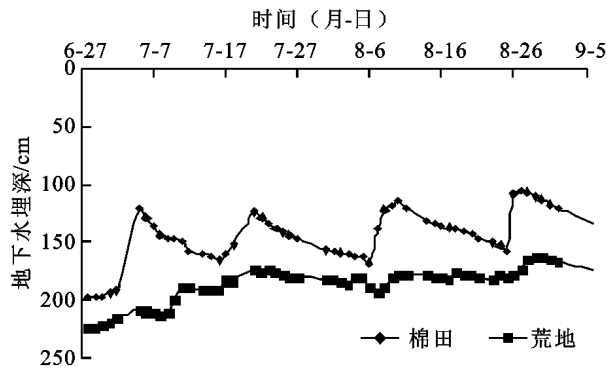


图 3 荒地棉田地下水历时变化

2.2 距排水沟不同距离农田受排渠影响效果分析

在灌溉过程中,除了满足作物得到所需水分之

2 明渠排水技术效果分析

2.1 有排水的土壤盐分、地下水历时变化对比分析

图 1 为荒地与离排渠 90 m 处棉田土层电导率对比图,由图 1 可见荒地各土层电导率明显高于棉田各土层电导率,并且棉田 0 - 60 cm 土层电导率从第一次灌水前的 1 885 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 降到第二次灌水前的 1 626 $\mu\text{S}/\text{cm}$,处于脱盐状态,而荒地 0 - 60 cm 土层电导率从 7 433 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 升到 7 825 $\mu\text{S}/\text{cm}$,处于积盐状态。图 2 为有明渠排水技术措施棉田和荒地 0 - 20 cm 表层土壤电导率历时变化情况。由图 1 可见,棉田 0 - 20 cm 表层土壤电导率从一水前 1 445 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 减少到四水前 1 133 $\mu\text{S}/\text{cm}$,成逐渐下降的趋势,表明表层土壤处于脱盐状态。荒地土壤表层 0 - 20 cm 电导率从一水前 6 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 增加到 8 532 $\mu\text{S}/\text{cm}$,成逐渐上升的趋势,表明荒地表层土壤处在积盐状态,荒地成为棉田干排盐区。图 3 为有明渠排水技术措施棉田和荒地在生育期内地下水历时变化图,棉田每次灌水之后地下水位迅速上升,但由于明排的作用,地下水位在灌水后很快回落到大致初始水位。而荒地地下水埋深逐渐上升,并无明显回落的过程。可见,明渠排水技术具有良好的排水排盐效果。

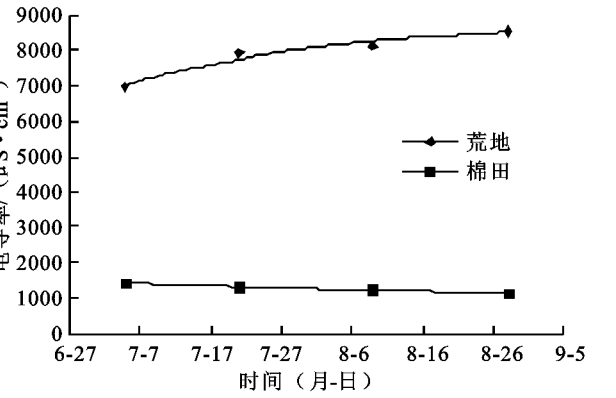


图 2 棉田与荒地表层土壤电导率历时变化

外,另一个作用就是洗盐^[4]。也就是通过灌溉,使土壤中的盐分融于水中,在通过排水沟的作用,使水分排出农田,从而降低土壤中的盐分。但往往距离排水沟较远处,排水作用不够明显,导致没有很好排盐效果。下面就排水沟不同距离处的农田,进行盐分变化与地下水历时变化分析。

图 4 为 3 - 4 斗排距离 4 斗排间距 90 m 的 1 # 监测点,每次灌水前电导率变化情况。由图可见,在每次灌水前土壤 0 - 50 cm 电导率有明显的降低。这是因为灌溉之后,由于灌溉水的淋洗将土壤表层盐分带入地下水中,而由于明排排水沟的作用,使得盐分随着排水排除农田。

图 5 为 3 - 4 斗排距离 4 斗排间距 270 m 处的 3 # 监测点, 每次灌水前电导率变化情况。由图可见, 在每次灌水前土壤 0 - 50 cm 电导率, 每次灌水前的电导率都在上升, 说明该点在积盐。这是因为, 灌水后地下水抬高, 由于该点受排渠影响较小, 地下水位不能及时回落而导致反盐。

图 6 为 3 - 4 斗排间离 90 m 处 1 # 监测点与

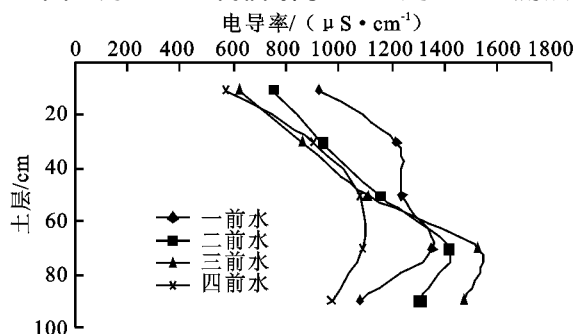


图 4 距离排渠 90 m 处监测点电导率历时变化情况

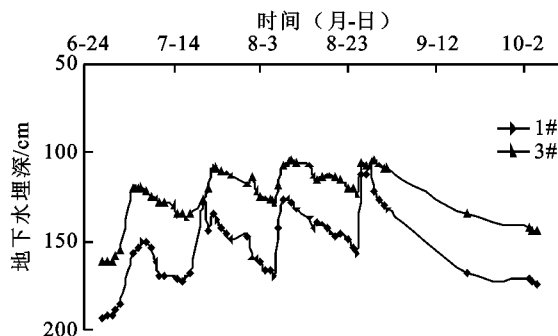


图 6 1 # 监测点与 3 # 监测点地下水历时变化情况

3 农田斗排间距的确定

明渠排水措施对土壤的盐碱化程度有降低作用, 距离排水沟不同距离处盐碱化降低的效果也不同。因此选择合理布置的明排间距非常重要。首先对示范区斗排的间距进行合理分析; 若不合理, 则重新确定斗排间距。

3.1 斗排间距的合理性分析

在农田排水中, 常以土壤含水率、地下水埋深、土壤脱盐深度等作为控制指标, 对其进行排水设计。在这里, 用地下水埋深和土壤脱盐深度作为指标, 来对示范区的斗排间距进行合理性分析。

3.1.1 以地下水埋深为控制指标 地下水埋深是目前应用最广的指标, 根据地区气候和农作物生长条件, 结合排水沟的有效标准, 示范区要求 10 d 内地下水位下降至适宜埋深。根据《玛纳斯县盐碱地改良规划》, 取地下水适宜埋深为 1.5 m。

试验取 3 - 4 斗排 1 #、2 # 和 3 # 地下水监测点作为对象, 分析整个试验过程中的地下水埋深情况变化。其中 1 #、2 #、3 # 分别距离 4 斗排 90、180、270 m。从图 7 我们可以看出, 除 1 # 地下水监测点

270 m 处 3 # 监测点地下水历时变化情况对比图。由图可见, 两个监测点每次灌水后地下水都有急剧上升, 由于 1 # 点离排渠近, 受排渠影响较大, 灌完水后很快能降到适宜埋深 (1.5 m) 以下。3 # 监测点由于离排渠距离远, 灌水后地下水有所下降, 但是下降的幅度不大, 使得地下水一直在适宜埋深以上, 从而导致电导率偏大。

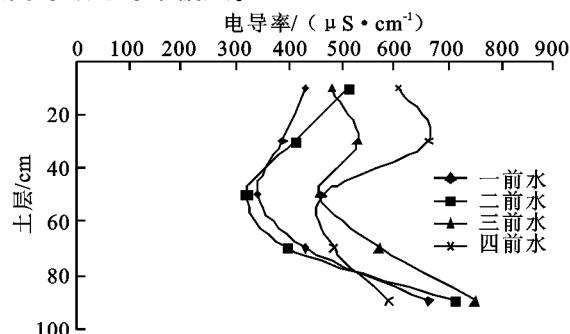


图 5 距离排渠 270 m 处监测点电导率历时变化情况

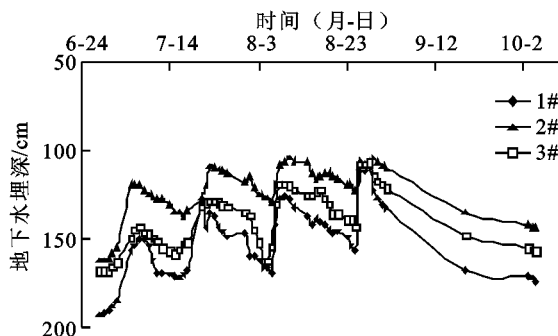


图 7 3 - 4 斗 1 #、2 # 和 3 # 地下水监测点地下水埋深

之外, 另外 2 个监测点均不能在规定时间内降到适宜埋深以下, 因此并不满足排水沟的有效标准。

3.1.2 以土壤脱盐深度为控制指标 在盐碱地改良地区, 为了保证改良后的土地适于作物生长, 在作物生育期内 (本文即为灌溉期), 应该使得土壤脱盐至一定深度。土壤脱盐深度视作物品种和区域的气候条件而异。旱作物地区一般要求的脱盐深度较大, 因此这里我们取土壤脱盐深度为 1 m。

为了更具有代表性, 取 3 - 4 斗排和 4 - 5 斗排的中间位置 (即 3 #) 为对象进行分析。图 8 为 3 - 4 斗 3 # 和 4 - 5 斗 3 # 盐分监测点土层不同深度电导率, 从图中可以看出, 4 - 5 斗 3 # 脱盐深度满足要求, 而 3 - 4 斗 3 # 土壤上层在积盐。不能达到要求, 其他监测点情况类似。因此, 以土壤脱盐深度为控制指标, 不能满足设计标准。

3.2 斗排间距的确定

排水沟间距的设计指标主要有地下水位、排水流量 (体现着排盐量) 和排蒸比等^[5]。而示范区的排水量和排盐量只能反映排水地段内排走的平均数, 很难反映排水任一地段排水情况和流量在时间上的

变化。因此用地下水位作为设计指标来对斗排间距进行设计。对 3 - 4 斗间的监测点进行地下水位分析。通过地下水面线分析以及计算的 2 种方法进行

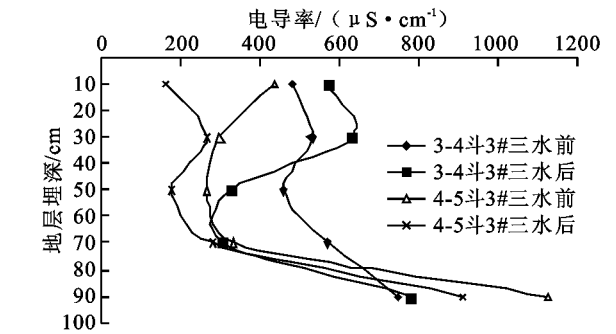


图 8 3# 盐分监测点土层不同深度电导率

结合排水沟有效标准和当地的水文气候条件。在一次灌溉中,只要 2 个排水沟中间位置的地下水位在 10 d 之内能降到适宜埋深(1.5 m)之下,我们就认为其间距合理。

3.2.1 通过分析地下水实测资料得到合理间距

图 9 是第 1 次灌水后,距 4 斗排不同距离处的地下水埋深图。其中 7 月 23 日为灌溉后的地下水面线形状。8 月 3 日为灌溉 10 d 后的地下水面线的形状。从图中经过计算,得出 3 - 4 斗间中间位置处在 8 月 3 日的地下水埋深为 109.8 cm,较适宜埋深浅。因此要缩短间距,从图中观察,8 月 3 日的水面线与 $x = 150\text{ m}$ 相交,而这个交点距 4 斗排的距离为 149.5 m。即灌溉 10 d 后,距 4 斗 149.5 m 处的地下水埋深为适宜埋深,因此以 149.5 m 作为中间位置满足条件。从而斗排间距为 $149.5 \times 2 = 298\text{ m}$ 。

图 10 是第 2 次灌水后,距 4 斗排不同处的地下水埋深图。按上述方法得到斗排间距为 337.6 m。

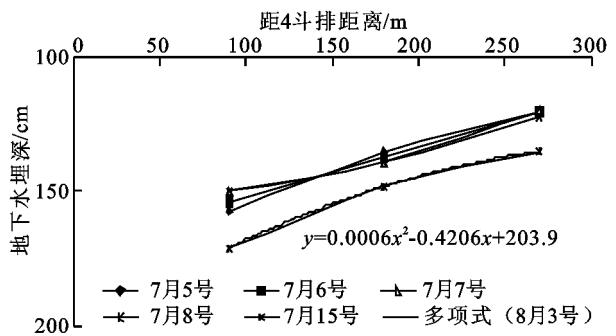


图 10 第 2 次灌水后地下水水面线变化

3.2.2 通过计算得到斗排间距 由于示范区只有地下水位的资料,因此采用控制地下水位的田间排水沟的间距计算方法,即田间排水沟非恒定流间距的计算公式如式(1),(2)。

$$L = \frac{\sqrt{K H t}}{\sqrt{\ln \frac{4 h_0}{h_1}}} \tag{1}$$

计算。其中,计算过程中,我们认为:地下水运动只受斗排作用影响,即只考虑地下水的一维运动;斗排的影响范围为斗排间距的一半。

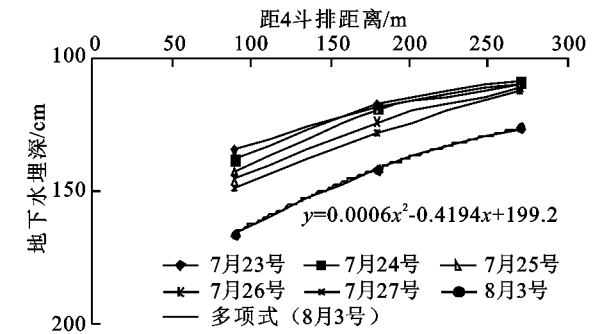


图 9 地下水水面线变化

$$= \frac{1}{1 + \frac{8 H}{L} \ln \frac{2 H}{D}} \tag{2}$$

式中: L ——田间排水沟间距; μ ——非完整沟修正系数; K ——土壤渗透系数,根据对实地土壤的颗粒分析,该地区基本属于壤土类,渗透系数取 2.6 m/d ; μ ——土壤给水度;项目区土壤性质一般为 $0.02 \sim 0.04$,本次计算取为 0.03 。 H ——透水层平均厚度; $\tilde{H} = H_0 + h_c/2$:其中 H_0 为排水沟沟底与不透水层间的距离; h_c ——剩余水头高度,一般取 $0.2 \sim 0.3\text{ m}$,本文取 0.2 m ; t ——灌溉停止后地下水位回落时间; d ; h_0 ——灌溉停止地下水位至排水沟水位的高差; h_1 ——灌溉停止后经过 t 时间地下水位与排水沟水位高差; D ——排水沟水面宽,经过试验观察,水深基本不变,水面宽为 0.8 m 。

由于中间位置的地下水埋深得到控制更为重要,因此我们考虑地下水位时用中间位置处的地下水资料。由地下水资料,我们知道灌溉后中间位置的地下水位至排水沟水位的高差为 71.1 cm ,而灌溉停止 10 d 后地下水位至排水沟水位高差为 33.1 cm 。因此,上述的 $t = 10\text{ d}$, $h_0 = 0.711\text{ m}$, $h_1 = 0.331\text{ m}$ 。而透水层厚度一般大于 10 m ,却无法精确知道透水层厚度,因此我们分别采用 $10, 15, 20\text{ m}$ 三个透水层厚度进行计算,再将计算值平均。得出斗排间距最终的计算值。

计算出的间距分别为 $236.67, 285.01, 320.5\text{ m}$ 。考虑到当透水层厚度为 10 m 时,非完整沟修正系数 过高,因此将透水层为 10 m 时的结果舍去。保留透水层分别为 15 m 和 20 m 的计算结果。最终取平均值得出斗排间距为 302.8 m 。

通过分析实测地下水资料,得出斗排间距为 298 m 和 337.6 m 。通过非稳定流的计算算得间距为 302.8 m 。但在分析过程中,我们只考虑了平面水平

斗排对地下水的影响,认为地下水在水平面内作一维运动;且整个计算过程没有考虑蒸发因素;因此必然会导致计算值偏小。因此,结合分析计算值和当地的实际状况,确定出斗排间距为 300~350 m。

4 小结

(1) 滴灌系统的合理设计和地下水盐分运移理论密切相关,由于不同质地的土壤其排水能力不同,特别是不同程度的盐渍化土壤,因此盐分的动态变化也必然不同,需进一步研究。

(2) 通过对土壤盐分变化的观测分析,可以知道何时需要灌水何时不需要灌水,一定程度上避免了水资源的浪费,达到高效用水的目的,同时也为农业灌溉做出指导,具有一定的现实意义。

(3) 地下水位埋深变化,可预示农田盐渍化的演变,对调整灌溉定额采取预防措施具有指导意义。

(4) 在排水沟间距的合理确定及排水系统的优化布局设计计算中,应当考虑不同地下水位埋深与降雨入渗补给强度之间的关系。

参考文献:

- [1] 张书兵,王俊,姜卉芳,等.干旱内陆河灌区灌溉条件下土壤水盐运移规律分析[J].水土保持研究,2008,15(2):151-153.
- [2] 王水献,周金龙,董新光.地下水浅埋区土壤水盐试验研究[J].新疆农业大学学报,2004(3):52-56.
- [3] 吕殿青,王全九,王文焰,等.膜下滴灌土壤盐分特性及影响因素的初步研究[J].灌溉排水,2001(3):28-31.
- [4] 李毅,王文焰,王全九.论膜下滴灌技术在干旱半干旱地区节水抑盐灌溉中的应用[J].灌溉排水,2001(6):42-46.
- [5] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.

(上接第 233 页)

研价值为 1.38×10^8 元;栖息地功能的价值 0.92×10^8 元;合计为 34.6×10^8 元。梁子湖湿地降解污染价值最大,占总价值的 36%;N、P、K 养分循环的价值最小,占总价值的 2%。我们传统的物质生产价值仅占 18%,生态系统具有巨大的其它服务功能。因此,湿地生态系统的各项服务价值要平衡发展不能一味的追求资源价值而忽视了其他价值。发挥湿地各项功能,不仅有助于维持湿地生态系统的环境,更有助于达到持续发展的目的。

生态系统服务价值的评估方法有待于进一步完善。由于受科学技术水平、数学计量方法和研究手段的限制,目前仍然无法对湿地生态系统服务功能价值评估进行十分确切的评估,其价值体现仍然不十分完善。如湿地水分蒸发、植被叶面的蒸腾作用,可降低空气的温度,提高空气的相对湿度,从而改善周边人居环境小气候,创造宜人的生活条件。这也是一项调节气候的服务功能,在湿地生态系统服务功能价值评估中需要考虑。

参考文献:

- [1] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 386:253-260.
- [2] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas [J]. Ecological Economics, 1999, 29:293-301.
- [3] 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值[J].科学通

报,2000,45(1):17-22.

- [4] 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,1999,19(5):636-640.
- [5] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等.中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].自然资源学报,2003,18(4):443-452.
- [6] 谢高地,张锦锂,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):47-53.
- [7] 崔丽娟.鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J].生态学杂志,2004,23(4):47-51.
- [8] 吴玲玲,陆健健,董春富.长江口湿地生态系统服务功能价值的评估[J].长江流域资源与环境,2003,12(5):411-416.
- [9] 庄大昌.洞庭湖湿地生态系统服务功能价值评估[J].经济地理,2004,24(3):391-394.
- [10] 辛琨,肖笃宁.盘锦地区湿地生态系统服务价值估算[J].生态学报,2002,22(8):1345-1349.
- [11] Richard T W, Yong-Suhk Wui. The Economic Value of Wetland Services: a Meta-analysis [J]. Ecological Economics, 2001, 37:257-270.
- [12] 葛继稳,蔡庆华,刘建康,等.梁子湖湿地植物多样性现状与评价[J].中国环境科学,2003,23(5):451-456.
- [13] 《中国生物多样性国情报告》编写组.中国生物多样性国情报告[M].北京:中国环境科学出版社,1998.
- [14] 熊汉锋,廖勤周,吴庆丰,等.梁子湖湿地土壤养分的分布特征和相关性研究[J].湖泊科学,2005,17(1):93-96.