

文章编号: 0254-5357(2008)02-0108-05

河套灌区地下水临界深度的确定及其意义探讨

赵锁志^{1,2}, 刘丽萍³, 王喜宽^{1,2}, 李世宝², 朱锁⁴, 张青², 王忠²
(1. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 内蒙古地质矿产勘查院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 4. 内蒙古国土资源勘查开发院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 针对河套地区土壤盐渍化严重的实际情况, 通过实测及参考前人研究成果, 确定了河套地区地下水临界深度值为 2.0 m, 并讨论了临界深度的确定对于防治土壤盐渍化、合理利用水资源和提高农作物产量的实际意义。

关键词: 地下水位; 土壤盐渍化; 临界深度

中图分类号: P641.3 文献标识码: A

Confirming on Critical Depth of Groundwater Level in Hetao Irrigation Area and Discussion on It's Significance

ZHAO Suo-zhi^{1,2}, LIU Li-ping³, WANG Xi-kuan^{1,2}, LI Shi-bao²,
ZHU Suo⁴, ZHANG Qing², WANG Zhong²

(1. School of Water Resources & Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Huhhot 010020, China; 3. Geological & Mineral Survey Institute of Inner Mongolia, Huhhot 010020, China; 4. Inner Mongolia Land & Resource Exploration and Development Institute, Huhhot 010020, China)

Abstract: Directing at the serious soil salinization situation in Hetao Irrigation Area and through field survey and consulting the predecessors' research results, a groundwater critical depth value of 2.0 m has put forward. The significance on conforming of critical depth in prevention and remediation of soil salinization, as well as in reasonable use of water resource and promoting agriculture are discussed.

Key words: groundwater level; soil salinization; critical depth

土壤盐渍化是一个世界性的生态环境地质问题。根据联合国粮农组织(FAO)统计(1996), 全世界 60% 的灌溉土地已不同程度的盐渍化^[1]。

目前, 我国有盐渍化土壤 2.667×10^5 km², 其中农田约占 6.67×10^4 km², 占我国耕地面积的 7%。潜在盐渍土面积 1.733×10^5 km², 大面积开荒、兴修水利和引用地表水灌溉以及采用浪费水资

源的大面积漫灌方式, 改变了干旱、半干旱区的盐分循环规律, 加之排灌系统不配套, 引起灌区地下水位升高, 土壤发生了大规模的次生盐渍化^[2]。干旱、半干旱地区农业灌溉引起的土壤次生盐渍化已成为制约该地区农业发展的主要障碍, 即使已取得治理土壤盐渍化巨大成就的黄淮海平原, 也仍然存在潜在的土壤盐渍化和盐害^[3]。因此, 需进一

收稿日期: 2007-08-08; 修订日期: 2007-11-09

基金项目: 国土资源地质大调查——内蒙古河套农业经济区生态地球化学调查项目资助(200414200005)

作者简介: 赵锁志(1964-), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 在读博士, 高级工程师, 从事水文地质环境地质工作。

E-mail: zhaoszl964@sohu.com。

步加强干旱、半干旱区农业灌溉引起的土壤次生盐渍化研究,以保证我国干旱、半干旱地区灌溉农业的可持续发展。

土地盐渍化又称土壤盐碱化,是指土壤层中可溶盐含量向增高的方向发展成为盐渍土地过程。一般将土壤层0.2 m厚度内可溶盐含量(质量分数 w 表示)0.1%的土壤称为盐渍土^[4]。天然条件下,土地盐渍化主要有两种形成模式:①雨中盐分造成的土壤积盐;②潜水埋深小于潜水临界埋深的细土平原^[5]。

地下水临界深度(Critical Depth)是针对土壤次生盐渍化问题提出的,是土壤改良业已使用了数十年的一个重要概念,是控制地下水埋深的重要指标。自从原苏联土壤学家波勒诺夫于1931年提出“地下水临界深度”概念以来,国内外许多学者对其进行了试验研究,但地下水临界深度至今仍没有一个统一的定义,有的学者定义为“在一定的自然条件和农业技术措施条件下,为了保证土壤不产生盐渍化和作物不受盐害所要求保持的地下水最小埋藏深度”^[6],有的学者定义为“保证作物根层土壤不发生盐渍化所要求的地下水最小埋藏深度”^[7],也有学者定义为“在干旱季节,根层土壤积盐不致危害作物生长的最浅的地下水埋藏深度”^[8]。尽管各种定义的字面表达不完全一致,但它们有一个共同点,这就是“不引起土壤严重积盐、且不危害作物生长的最小地下水埋深”。

“地下水临界深度”不同于“极限蒸发强度”,后者是指地下水蒸发强度接近于零时的深度。它是判断潜水面是否产生蒸发排泄和计算潜水蒸发量的重要参数,也是研究表层接受入渗水之后补给潜水量多少的一项重要指标,其数值要大于支持毛细水最大上升高度。

临界深度不是一个常数,影响临界深度的因素很多,主要有气候、土壤(质地、特别是土壤的毛细性能)、水文地质(特别是地下水矿化度)和人为措施。这些因素综合影响土壤的水盐运行和积盐状况。一般来说,气候越干旱,蒸发和降水之比就越大。地下水矿化度越高,临界深度越大。

土壤次生盐渍化是指土壤以前不受盐渍化的影响,或仅轻微地受到盐渍化的影响,但在灌溉一定时期以后变成了盐渍化土壤。通常是由于各种人为因素或自然条件变化引起的,而不合理的灌溉制度及引排水工程不健全是导致土壤次生盐渍化

的主要原因。在引水及灌溉过程中提高了灌区的潜水位,并超过了临界深度,使潜水不断蒸发,盐分大量聚集地表。因而,控制灌区潜水位是防治土壤次生盐渍化的有效措施。本文在参考前人研究成果^[9]基础上,通过实测资料,对河套地区的地下水临界深度进行探讨,以期为治理河套灌区土壤盐渍化治理提供科学依据。

1 河套灌区概况

研究区位于内蒙古河套灌区,总土地面积1190 km²,现灌溉面积574 km²。灌区地处干旱半干旱气候带,降水稀少,年降水量130~220 mm;蒸发强烈,年蒸发量为1900~2500 mm^[10]。

河套灌区地下水水分运移属“垂直入渗蒸发型”。地下水的补给主要是灌水入渗,每年约 17.7×10^8 m³,占总补给量的76.5%;其次是降水入渗,每年约 5.33×10^8 m³,占总补给量的23.1%。地下水侧向补给极少,浅层地下水的年蒸发量约为 22.80×10^8 m³,大体与垂直补给量相平衡^[10]。

研究区内土壤盐渍化严重。根据表1中国划分盐渍土的标准,其中轻度盐渍化的面积约为284 km²,占耕地总面积49.5%;中度盐渍化面积92 km²,占耕地总面积16.04%;重度盐渍化面积17.9 km²,占耕地总面积3.11%^[10]。

表1 土壤盐渍化划分标准^[6]

Table 1 Criteria for classification of soil salinization

分级	非盐渍化土	轻盐渍化土	中盐渍化土	重盐渍化土	盐土
$w_{\text{盐}}/\%$	<0.1	0.1~0.3	0.3~0.5	0.5~0.7	>0.7

据资料^[9]统计,河套灌区土壤盐渍化发展演化状况大体可分为4个阶段:

(1) 1950—1957年,灌区开发初期。盐渍化面积占耕地面积的12%~14%。

(2) 1963—1973年,引黄灌溉大发展阶段。由于排水不配套,土地盐渍化发展迅速,盐渍化面积占耕地面积的31%~58%。

(3) 1978—1983年,盐渍化初步控制阶段。据调查,1983年盐渍化面积占耕地面积的47%,其中轻度盐渍化面积占盐渍化面积的53%。

(4) 1990年至今,盐渍化减轻期。由于排水设施逐年配套并发挥作用,地下水位下降,水质也

有所淡化,中重度盐渍化土壤的面积大幅下降。在灌区上游由29%降至14.5%;灌区中游由40.4%降至26.4%;下游由43.6%降至31.1%,但轻度盐渍化土壤仍占耕地面积(574 km²)的49.5%,而且灌区内仍有209 km²的盐荒地尚未开发利用。

土壤盐渍化对农业、畜牧业、基础设施、生态环境均有影响,是导致本地区生态恶化、限制经济发展的重要因素,是影响河套灌区土地资源和光热水利等自然资源充分发挥经济和生态效应的主要矛盾,影响灌区的农业发展和群众生活的提高。灌区土壤次生盐渍化的防治与改造,是河套灌区灌溉农业持续发展必须面对的重大课题。

土壤盐渍化导致天然植物的退化和农作物减产甚至绝收,土地撂荒。研究区内盐渍土的农业产量低,据调查,土壤全盐量为0.5%~1%的盐化土的缺苗率为10%~50%,而当土壤全盐量大于1%时,缺苗率会大于70%^[11]。

2 临界深度的确定

2.1 临界深度的理论计算值

在潜水浅埋深条件下,潜水和土壤水分强烈蒸发作用,使表层盐分不断积累。较大的降水和灌溉使包气带土壤水分下渗,盐分向下运移,部分盐分进入潜水,这样包气带就获得了一段时间脱盐过程。其后,土壤水分运动又转向蒸发,使包气带和表层土壤逐渐积累盐。上述水盐运动的规律启示:在土壤盐渍化地区,地下水位不宜过深也不宜过浅,以零通量面最大发育深度加上毛细管上升高度为宜。一般砂性土地下水位为3 m左右,黏性土为5 m左右^[12]。

造成土壤盐渍化的直接原因是地下水位埋深浅,蒸发强烈,浓缩作用使潜水矿化度升高,毛细作用将潜水中的盐分带到包气带上部,盐分在土壤表层积聚而形成。研究表明^[12],西北地区潜水位埋深小于2.0 m时,就会出现明显的土壤盐渍化现象。

维持一个适合的地下水位埋深,是防治土壤盐渍化的关键。这一水位埋深称为地下水最佳生态环境埋深,它是一区间值。当地下水位在此区间内,生态环境良好,反之,生态环境将遭破坏。一般情况下,地下水水位埋深小于2 m时,蒸发量大,地下水矿化度高,容易发生盐渍化土壤。地下水位埋深大于5 m时,土壤含水量很小,以至于植物无法得到维持其正常生长所需的水分,造成旱生植物开始凋萎,同时发生土壤沙化。文献^[12]提出西北

干旱地区地下水最佳生态环境埋深为2~5 m,而研究区也正处于西北干旱地区。

张蔚榛等^[13]也提出了地下水临界深度(H_k)的取值范围(见表2)。

表2 地下水的临界深度

Table 2 Critical depth values of groundwater

土壤质地	H_k/m			
	<2 ^①	2~5	5~10	>10
砂壤、轻壤	1.8~2.1	2.1~2.3	2.3~2.6	2.6~2.8
中壤	1.5~1.7	1.7~1.9	1.8~2.0	2.0~2.2
重壤、黏土	1.0~1.2	1.1~1.3	1.2~1.4	1.3~1.5

① 此行数据为地下水矿化度(g/L)。

Bodtani等^[14]给出的有代表性地下水临界深度(H_k)数值为:砂(粗砂细砂)50~75 cm;壤质砂、砂壤土100~150 cm;细砂壤、粉砂壤土150~200 cm;壤土、黏壤土、黏土100~150 cm。

文献^[15]通过研究,提出西北内陆灌区地下水临界深度的取值范围(见表3)。

表3 新疆南疆平原区和北疆平原区的地下水临界深度
Table 3 Critical depth values of groundwater in the Southern Plain and the Northern Plain of Xinjiang

项目	土壤质地						平均
	粉砂壤土		中壤土		黏质土		
地下水矿化度 ($g \cdot L^{-1}$)	<5	5~30	<5	5~30	<5	5~30	<5 5~30
H_k/m 南疆	2.6	3.0~3.4	2.3	2.9~3.0	2.0	2.2~2.6	2.3 2.8
H_k/m 北疆	2.3		2.0	2.3~2.7	1.8	2.0~2.4	2.0 2.5

关于临界深度的确定方法,国内外有许多研究,其中以毛细管上升高度法应用较广。

根据文献^[16]介绍的方法,临界深度可由下式确定:

$$H_k = H_r + \Delta \quad (1)$$

式中 H_k —地下水临界深度(m); H_r —毛细管上升高度(m); Δ —安全超高(m)。

安全超高多采用经验值:当地下水矿化度较高(大于10 g/L)时,则采用容根层0.5~0.6 m;当地下水矿化度小于10 g/L,则可采用耕作层0.2 m^[17]。

前人在研究区曾进行大量针对临界深度的研究工作。根据长胜试验站1978—1979年的观测资料^[18]在包气带岩性为轻壤(夹薄层黏土)、黏性土(夹薄层壤土和轻壤)和地下水矿化度2~4 g/L的条

件下,其毛细管上升高度分别为1.9~2.2 m和1.74~1.94 m,则其临界深度分别为2.1~2.4 m和1.94~2.14 m,平均为2.15 m。另据三湖河研究报告^[19]在地下水矿化度小于3 g/L的条件下,黏性土和黏砂土的临界深度在1.6~2.0 m,平均为1.8 m。

全区0~2.5 m包气带的岩性统计结果为^[20]:研究区内以黏砂土和砂黏土分布面积最大,其中黏砂土占48%,粉砂质土占14%,砂黏土占27%,黏土占11%。全区地下水矿化度以小于3 g/L为主。

根据实际情况,本研究区地下水矿化度为小于3 g/L,安全超高 Δ 取0.2 m,岩性以黏砂土(轻壤)为主,故毛细管上升高度(H_r)取1.95 m。

根据公式(1)计算得地下水临界深度:

$$H_k = H_r + \Delta = 1.95 \text{ m} + 0.2 \text{ m} = 1.97 \text{ m} \approx 2.0 \text{ m}$$

根据以上众多学者的研究成果,确定本区地下水临界深度为2.0 m。

2.2 临界深度的计算值讨论

研究区实行井渠结合、井灌井排为主的灌排方案。考虑到灌区不同发展阶段的建设标准,可以分期确定地下水位的合理控制深度。

根据研究区控制土壤积盐的关键因素是调控秋浇后的高水位这一水盐动态规律^[21],近期地下水控制深度以秋浇后控制水位在临界深度以下作为标准,即以井间最小降深达到2.0 m,则大部分地区水位埋深在2.0~2.5 m。考虑到作物生育期灌溉,土壤处于脱盐状态,可以暂时高于临界深度。随着排灌工程建设和灌区建设标准的提高,可进一步控制全年水位临界深度在2.0~2.5 m以下。按方形布井方案,如井间最小降深控制在2.0 m,则大部分地区水位埋深在2.0~2.5 m,占井区面积的78%,水位埋深大于2.5 m的面积占22%,以井区附近水位降深最大。根据不同计算区不同距离计算点水位降深算得区域平均水位埋深在2.7 m左右,区域水位是一个小漏斗组成的波状小丘。

另外,文献[15]根据在西北地区的研究成果,提出地下水临界深度不能一成不变,应该针对不同时段土壤积盐的特点,采用“地下水动态临界深度”。因为在一年当中,气象条件和下垫面条件是不断变化的,气象条件的变化包括气温的变化、蒸发度的变化、风速的变化等,下垫面的变化包括作物是否覆盖、田间是否灌溉、土壤表层冻土层是否形成、地表是否积雪等。显然,随着气象条件和下垫面条件的变化,地下水临界深度也应该是变化

的,在年内采用地下水动态临界深度,这就意味着在年内不同阶段要控制不同地下水埋深,增大了地下水的调控力度。采用地下水动态临界深度,一方面可以避免非灌溉期严重积盐,保持土地可持续发展,另一方面可以联合利用地表水和地下水,相互调剂余缺,对水资源持续利用和生态环境保护都是有利的。

限于工作精度和时间,本次研究工作未能按岩性和时段给出不同地区不同时段临界深度。实际上,在未来开采条件下,不同地区、不同时段临界深度不可能是一个值,而应该是一个区间。实际应用时,不同地区、不同时段就有不同的临界深度值,其区间大致在2.0~2.7 m。

3 确定临界深度的意义

3.1 改变水循环条件 防治土壤盐渍化

确定了临界深度后,在地下水开采过程中,由于地下水埋深大于毛细带强烈上升高度,可以切断水盐沿毛细管上升的通道,从而有效地防止返盐和土壤积盐。同时,由于水位埋深加大,腾出了调节库容,可以容纳灌水和降水的入渗,随着井灌井排的进一步完善,地下水由灌溉-蒸发型动态特征逐步过渡到灌溉-蒸发-开采型动态特征。蒸发强度显著减弱,从而改变水盐运动方向和动态特征,使水盐向下运动,有利于包气带水土盐分淡化,防止潜水因蒸发而浓缩和使盐分向土壤表层累积,对从根本上防治土壤盐渍化有重要意义。

3.2 可充分利用水资源

由于蒸发强度减弱,可以有效地节约水资源,防止地下水消耗于无益蒸发,而人为地夺取这部分水量,变为可以利用的水资源。据初步估算^[22],在目前地下水埋深条件下,每年地下水蒸发量达 $22.80 \times 10^8 \text{ m}^3$,这就是说在目前引进的 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 黄河水中有一半以上的水量通过转化为地下水而又耗于蒸发。如果地下水位控制在2.0 m,则每年消耗于地下水蒸发量为 $17.79 \times 10^8 \text{ m}^3$;如果地下水位进一步控制在2.7 m左右,则每年消耗于地下水蒸发量仅为 $10.47 \times 10^8 \text{ m}^3$;可以减少很大一部分引黄量,对合理利用水资源是有益的。

3.3 有利于作物生长

控制合理地下水位,可改变土壤的水、气、热等物理状况,增大土壤中空气的含量,改善通气性,同时减少土壤中过多的水分,有利于提高地温,对促

进作物生长十分有利。特别是在常出现“倒春寒”的河套地区,提高地温对保证稳产高产更具有重要意义。由于水、气、热条件的改善,也促使土壤中微生物活动加强,从而改变土壤结构,增加土壤肥力,保证稳定高产。目前研究区内几个高产村中,作物生育期内的地下水位埋深均在2.0 m左右^[23]。

研究表明^[23],地下水位埋深与粮食产量关系密切(见表4),地下水位越浅,土壤盐渍化越重,粮食产量越低。说明只要地下水位埋深大于临界深度,作物就会增产。

表4 不同时期地下水位埋深与粮食产量关系

Table 4 Relationship between groundwater level depth and crop production in different period

粮食单产 (kg/hm ²)	水位/m			
	低水平期	生育期	秋浇后	年平均
3000	>3	1.8~2.0	>1.5	>2.3
1500~3000	2~2.4	1.2~1.5	0.5~1.0	1.7
1500	<2	1.0~1.4	0.3~0.8	<1.5

另外,研究区内还有许多靠天然排水和人工排水获得高产的典型经验,充分说明降低地下水位、控制临界深度在改土治碱的制约作用。

3.4 有利于保护工程设施

临界深度因其接近于毛细带和冻结深度之和,因此,有利于冬季消除土壤浅部的冰冻层,从而对控制春季土壤返盐和减缓道路翻浆以及由于水位过高对建筑物的损坏等也有意义。

4 结语

本文通过实测资料和参考前人研究成果,确定了河套地区的地下水临界深度值,并讨论了临界深度的确定对于防治土壤盐渍化、合理利用水资源和提高农作物产量的实际意义。由于资料和时间所限,本次研究工作未能按岩性和时段给出不同地区、不同时期的临界深度,有待今后继续补充这方面的研究工作。

5 参考文献

[1] 甘师俊. 可持续发展——跨世纪的抉择[M]. 广州: 广东科技出版社, 1997: 297-300.
[2] 魏由庆. 从黄淮海平原水盐均衡谈土壤盐渍化的现状和未来[J]. 土壤学进展, 1995, 23(2): 18-24.
[3] 尤文瑞. 临界潜水蒸发量初探[J]. 土壤通报, 1994,

25(5): 201-205.

- [4] 汤洁, 林年丰. 中国干旱半干旱区农业生态地质环境系统工程研究[J]. 长春地质学院学报, 1996, 26(1): 54-58.
[5] 徐恒力, 万新南, 王增银, 等. 水资源开发与保护[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 222-223.
[6] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 65-67, 89-92.
[7] 张明炷. 土壤学与农作学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1994: 45-50.
[8] 方生, 陈秀玲. 防治灌区土壤盐碱化与水资源开发利用[J]. 水利规划与设计, 1997(4): 23-27.
[9] 内蒙古农业大学农水系. 关于巴盟河套灌区防治盐碱基本途径的探讨[R]. 2003: 18-25.
[10] 张俊兰. 河套灌区节水改造工程环境浅析[J]. 内蒙古水利, 2005(2): 40-41.
[11] 汪林, 甘泓, 于福亮, 等. 西北地区盐渍土及其开发利用中存在问题对策[J]. 水利学报, 2001(6): 90.
[12] 崔亚莉, 邵景力, 韩双平. 西北地区地下水的地质生态环境调节作用研究[J]. 地质前缘, 2001, 8(1): 191-195.
[13] 张蔚榛, 张瑜芳. 对灌区水盐平衡和控制土壤盐渍化的认识[J]. 中国水利, 2003, 8(16): 23-26.
[14] Bodtani A A, Savaghebi G H. The investigation of effect of culture history on potassium in soils under sugarcane crop in Khuzestan Province of Iran[C]// Collection of Extent Abstracts of 2004 CIGR International Conference 2004, (6): 25-30.
[15] 郭占荣, 刘花台. 西北内陆灌区土壤次生盐渍化与地下水动态调控[J]. 农业环境保护, 2002, 21(1): 45-48.
[16] 羊锦忠, 李凤岭, 郝孝文, 等. 土壤积盐与地下水的关系[J]. 水利学报, 1965, 6(2): 74-80.
[17] 王葆芳, 杨晓晖, 江泽平. 引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 139-143.
[18] 内蒙古水文地质观测总站河套水文地质分站. 河套平原后套黄灌区1978—1979年潜水动态研究报告[R]. 1980: 23-27.
[19] 内蒙古水文地质观测总站三湖河水文地质站. 三湖河灌区1960—1964年潜水动态研究报告[R]. 1965: 52-55.
[20] 王喜宽, 黄增芳, 王忠, 等. 内蒙古河套农业经济区多目标区域地球化学报告[R]. 2007: 15-17.
[21] 内蒙古水文地质队. 内蒙古自治区地下水资源评价[R]. 2002: 50-53.
[22] 杨路华, 刘玉春, 夏辉. 内蒙古河套地区水资源利用探讨[J]. 机遇·挑战·创新, 2001(1): 11-13.
[23] 巴盟水利科学研究所. 乃日排水试点短沟小站、深沟扬排试验阶段报告[R]. 2003: 23-25.