

冬小麦节水灌溉 及其对土壤水盐动态的影响

肖 振 华 王 学 锋 尤 文 瑞

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文研究了黄淮海平原盐渍土地地区节水灌溉对冬小麦产量和土壤水盐动态的影响。结果表明,在保证小麦的需水关键期的供水的前提下,适当减少灌水次数和降低灌溉定额仍可获得较高产量,并且有利于土壤水盐动态的调节;提出了不同条件下的最佳节水灌溉方案,可以节水 40—75%。

长期以来,旱涝盐碱灾害是黄淮海平原中低产地区农业生产发展的主要限制因子。近十几年来,由于实行综合治理,各种灾害已大为减轻,但是干旱缺水和潜在的盐渍化威胁仍未得到根本解决,特别是灌溉水源短缺问题日益突出。在它的大部分地区灌溉水源不足与灌溉用水浪费并存,因此推行节水灌溉是缓解农业用水紧缺的现实措施^[1]。冬小麦是黄淮海平原的主要灌溉作物,研究冬小麦节水灌溉,对于解决干旱缺水地区灌溉水源不足及增加粮食产量具有重要意义;对合理调控土壤水盐状况,防止土壤次生盐碱化发生和发展,建立良好的土壤生态环境也是有利的。一些研究者从不同角度对冬小麦节水灌溉问题进行了研究。陆景文等应用土壤水盐运动基本方程建立节水灌溉模型,从而计算出节水防盐害和经济效益最优的灌溉方案^[2]。陈之鹏对 3 个地区冬小麦的节水灌溉制度进行过 4 年试验研究,提出了相应的灌溉方案^[3]。陈志雄从节水出发,对雨养麦田水分平衡进行了较深入的研究^[4],通过耗水过程分析,得出土壤湿度动态曲线,并提出一个节水灌溉模型。本文主要研究在该平原的盐渍土地地区实行节水灌溉对冬小麦产量及土壤水盐动态的影响,从中选出最优节水灌溉方案。

一、试验区自然概况

研究于 1990—1991 年(冬小麦生长期)在中国科学院封丘农业生态实验站(应举)进行。试验区气候温和、热量光照充足,年平均无霜期长达 214 天,多年平均降雨量 615mm,降雨年内分配不均,干湿季分明,年均蒸发量 1831mm,蒸降比约 3.0^[5]。该试验年度冬小麦全生育期降雨量 235.2mm,蒸发量 411.7mm,降雨量较常年同期多 37.1mm。这样的气候条件既适宜于冬小麦种植,也较易引起旱涝盐碱灾害。

本区地下水位 4—5m,为微碱性低矿化水,含盐量 1.0g/L 左右,可以用于灌溉。地下水盐分状况见表 1。

表 1 地 下 水 盐 分 状 况

pH	EC _w (dS/m)	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
		(cmol/L)							
8.01	1.28	—	0.859	0.201	0.179	0.064	0.169	0.746	0.008

试验地区土壤为黄河泛滥沉积物上发育的盐碱性潮土,以轻壤质地为主,在剖面 40—60cm 深处有厚度不等的粘土夹层,土壤物理性质列于表 2。

表2 试 验 区 土 壤 物 理 性 质

采样深度 (cm)	颗 粒 组 成(g/kg)				容 重 (g/cm³)
	1—0.25mm	0.25—0.05mm	0.05—0.01mm	<0.01mm	
0—5	6.0	140.0	557.0	297.0	1.38
5—10	6.0	158.0	555.0	281.0	1.47
10—20	—	186.0	526.0	288.0	1.56
20—40	—	156.0	587.0	257.0	1.53
40—60	—	61.0	600.0	339.0	1.46

试验区为老盐碱土地地区,土壤剖面盐分组成列于表 3。1m 土层含盐量虽然不高,但土壤潜在盐渍化的危险并未根除,如遇大的涝灾或长期过量引黄灌溉,地下水位仍然可以上升到 2—1m 以上,盐分表聚引起土壤次生盐渍化^[6],同时,呈微碱性的地下水用以灌溉,易发生土壤次生碱化^[7]。

表3 试 验 地 区 土 壤 剖 面 盐 分 组 成

深 度 (cm)	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	EC _e (dS/m)
	(cmol/kg)									
0—3	0	0.438	0.059	0.138	0.063	0.109	0.202	0.237	0.037	0.183
3—5	0	0.517	0.023	0.002	0.024	0.076	0.169	0.134	0.029	0.134
5—10	0	0.597	0.025	0.008	0.020	0.088	0.173	0.161	0.034	0.138
10—20	0	0.617	0.025	0.016	0.024	0.108	0.197	0.204	0.021	0.135
20—40	0	0.716	0.025	0.005	0.029	0.104	0.076	0.296	0.021	0.140
40—60	0	0.935	0.018	0	0.039	0.058	0.202	0.592	0.016	0.187
60—100	0	1.532	0.014	0.008	0.073	0.054	0.231	1.165	0.025	0.292

* 1:5 土水比浸提液电导率。

二、试验设计及试验方法

(一)试验设计

冬小麦全生育期的总需水量与可利用的天然水量包括有效降雨、土壤储水以及地下水量之间的差值,即为所需要的灌溉定额,其计算公式为:

M=E-aP-W₀+W_t-G₀

式中,M 为小麦全生育期灌溉定额;E 为田间需水量;a 为降雨有效利用系数,河南省沿黄地区一般取值为 0.71^[8];P 为降雨量;W₀ 为小麦播种时计划土层储水量;W_t 为小麦收割时计划土层储水量;G₀ 为小麦所利用的地下水量。单位以 mm 计。

确定灌溉定额时,冬小麦全生育期需水量采用邻近的开封地区根据实测资料由 Penman 法计算的多年平均值(409.0mm)^[8];试验地区小麦生育期多年平均有效降雨量为 130mm;灌溉计划湿润层深度为 60cm,播种时加权平均含水量为 22.2%,收割时加权平均含水量估计值为 14.0%,计算得自计划土层的供水量为 73.3mm。因为当地地下水位常年在 4—5m 以下,故不考虑作物利用的地下水量。由此利用上述公式估算常规灌溉定额为 230mm。

根据当地习惯,冬小麦全生育期一般需灌水 4 次,分别为越冬水、返青水、拔节水和灌浆水,每次灌水量 75—90mm,灌溉定额约 300—360mm,这个数值远大于上述计算出的灌溉定额。为节水考虑,试验确定的灌溉定额小于计算值和传统值。

设计的灌水量与灌水次数见表 4。另外,在执行灌溉计划中,同样的灌水次数又有不同的灌水时间。4 个适宜的灌水时间分别为:越冬水,1990 年 12 月 15 日;返青水,1991 年 3 月 18 日;拔节水,1991 年 4 月 25 日;灌浆水,1991 年 5 月 15 日。每个试验小区面积为 $3.55 \times 3.87\text{m}^2$ 。为了防止土壤水分的侧渗影响,小区之间用涂有沥青的混凝土板隔开,埋深 80cm。

表 4 冬小麦的灌水量与灌水次数

试验处理	灌水定额 (mm)	灌水次数	灌溉定额 (mm)
1	30	2	60
2	30	3	90
3	30	4	120
4	45	2	90
5	45	3	135
6	45	4	180
7	60	1	60
8	60	2	120
9	60	3	180
10	75	1	75
11	75	2	150
12	75	3	225
13	0	0	0

(二)试验方法

1. 播前灌水与施肥:为了使试验开始时各小区具有相同和充足的土壤含水量,播前灌水定额为 75mm,播种时 0.6m 土层加权平均含水量为 22.2%。同样,为了避免肥力不均,各小区以同样的标准施肥,分别施堆肥 18750kg/ha,氮磷复合肥 750kg/ha,磷酸氢二铵 225kg/ha。灌返青水前施尿素 225kg/ha。

2. 播种与收获:采用条播方式。小麦品种为当地推广的“白正引”,1990 年 10 月 19 日播种,播种量 150kg/ha。1991 年 6 月 5 日收割,各小区单打单收。

3. 试验观测:为准确控制灌入水量,由抽水井安装输水管道至田间,用水表计量灌水量。在不同处理的小区中,分别埋设一组土壤水分张力计和土壤盐分传感器,原位测定土水势变化和土壤溶液电导率变化,在小麦全生长期逢 4、9 日进行张力计和传感器观测。在灌水前后,定期采集土样,用烘干法测定土壤含水量,用 1:5 土壤浸提液测定土壤盐分电导率变化。

三、结果与讨论

(一)节水灌溉对冬小麦产量的影响

影响作物产量的因素很多,但在各种条件基本一致的情况下,耕层土壤水分状况对作物生长和产量具有重要作用,而灌水就成为一个重要的调节和影响因素。图 1 说明了不同灌溉处理对小麦产量的影响。

1. 灌水次数对产量的影响

(1)灌 1 次水的处理:灌水量为 75mm 和 60mm 的产量分别为 5869.5kg/ha 和 5829.0kg/ha,灌水量大者产量较高。

(2)灌 2 次水的处理:灌水量为 60mm 的产量最高,达到 6114.0kg/ha,其次是灌水量为 75mm 和 45mm 者,产量分别为 5911.5 和 5887.5kg/ha,灌水量为 30mm 的产量只有 5689.5kg/ha。

(3)灌 3 次水的处理:灌水量为 60mm 的产量最高,其次是灌水量为 45 和 75mm 者,产量

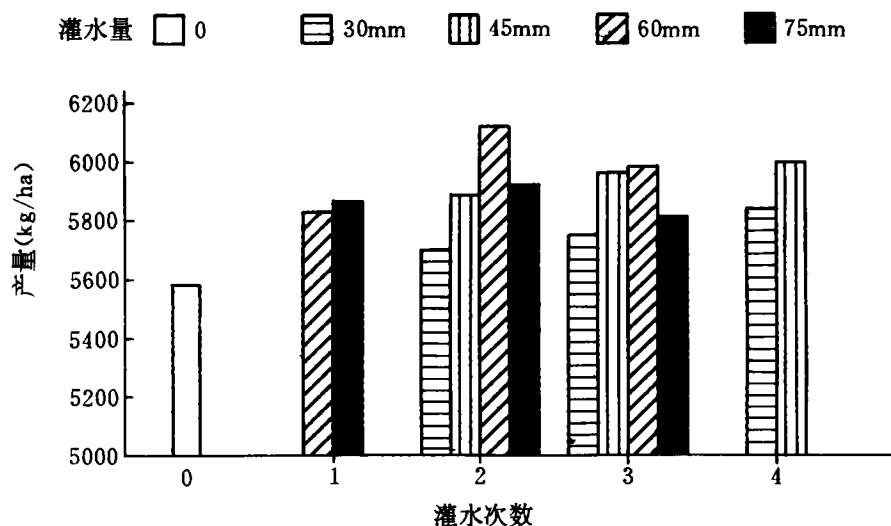


图1 不同灌溉处理对冬小麦产量的影响

分别为 5985、5965.5 和 5808.0kg/ha, 灌水量为 30mm 者, 产量只有 5748.0kg/ha。

(4) 灌 4 次水的处理: 以灌水量为 45mm 者产量较高, 灌水量为 30mm 者产量较低, 分别为 5997 和 5838.0kg/ha。

(5) 不灌水处理: 在各处理中产量最低, 只有 5590.0kg/ha。

2. 灌溉定额和每次灌水量对产量的影响

灌溉定额在 75—180mm 时都可以获得较高产量, 一般情况下, 每次灌水量(即灌水定额)为 75mm 者灌水 1—2 次, 或 60mm 灌 2—3 次乃至 45mm 灌 3—4 次, 都可以得到高产, 其中以每次灌水量 60mm 灌 2 次水的产量最高, 而灌水量为 30mm 灌 3 次, 45mm 灌 2 次和 60mm 灌 1 次者产量较低, 灌水量为 30mm 灌 2 次者产量与不灌水处理相近。

3. 灌水时间对小麦产量的影响

由于冬小麦各生长期的需水量不同, 因此, 灌水时间对小麦产量有一定影响, 同样的灌溉定额, 如果灌水时间及灌水时间组合不同, 对产量将产生不同的影响。

(1) 灌 1 次水的处理, 以大定额(75mm)灌拔节水和较大定额(60mm)灌灌浆水产量较高, 分别为 5967.0kg/ha 和 5911.5kg/ha。其他处理产量较低。

(2) 灌 2 次水的处理以大定额(75mm)在拔节和灌浆期灌水的产量较高; 较大定额(60mm)以灌越冬水和拔节水产量较高; 而中等灌水定额(45mm)和小灌水定额(30mm)以灌返青水和灌浆水的产量较高, 其他处理产量较低。

(3) 灌 3 次水处理的 4 种灌水定额, 均以灌越冬水, 拔节水和灌浆水为最佳灌水时间组合。

上述结果表明, 冬小麦并不是灌水次数愈多, 灌水量愈大产量愈高, 适当减少灌水次数和降低灌溉定额仍然可以获得较高产量, 而灌水次数过多, 灌水量过大可能影响产量。

(二) 节水灌溉对土壤水盐动态的影响

1. 作物田间需水量与供水量

我们将根据实测资料用 Penman 法计算邻近的开封地区冬小麦多年平均需水量^[8], 作为试验地区冬小麦田间需水量。小麦全生长期内的降雨量见表 5。计划土层(0—60cm)土壤的供水量列于表 6。由于地下水位较深, 由地下水供应的水量可以忽略不计。因此, 小麦全生育期供

表 5 试验区在冬小麦全生育期内的降雨量(mm)										
当年	月 份									
	10	11	12	次年	1	2	3	4	5	总 计
	4.9	46.0	3.1		3.8	5.2	51.3	21.3	99.6	235.2

表 6 各试验处理计划土层土壤供水量													
试 验 处 理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
播前土壤含水量(%)	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2
收割时土壤含水量(%)	14.4	13.4	14.5	14.6	13.5	14.9	12.6	14.0	15.2	13.2	15.3	16.2	11.8
土壤供水量(mm)	70.2	79.5	69.2	68.4	77.9	65.6	94.9	73.8	62.9	80.6	62.3	54.0	93.1

表 7 冬小麦全生长期需水量与各试验处理供水量比较										
试 验 处 理	生 长 期 (月 份)									
	当年	10	11	12	次年	1	2	3	4	5
	累 计 需 水 量 (mm)									
	36.9	56.0	69.1	81.3	98.5	154.4	255.6	409.0		
	累 计 供 水 量 (mm)									
1	73.7	106.4	108.6	113.3	115.0	151.4	196.6	297.3		5689.5
2	83.0	115.7	117.9	120.6	124.3	190.7	235.9	336.6		5748.0
3	72.7	105.4	137.6	140.3	144.0	210.4	255.6	356.3		5838.0
4	71.9	104.6	106.8	109.5	113.2	194.6	209.8	325.5		5887.5
5	81.4	114.1	161.3	164.0	167.7	204.1	264.3	380.0		5965.5
6	69.1	101.8	149.0	151.7	155.4	236.8	297.0	412.7		5997.0
7	98.4	131.1	133.3	136.0	139.7	176.1	191.3	322.0		5829.0
8	77.3	110.0	172.2	174.9	178.6	215.0	290.2	360.9		6114.0
9	66.4	99.1	161.3	164.0	167.7	204.1	279.3	410.0		5985.0
10	84.1	116.8	119.0	121.7	125.4	161.8	252.0	322.7		5869.5
11	65.8	98.5	100.7	103.4	107.1	143.5	233.7	379.4		5911.5
12	57.5	90.5	167.4	170.1	173.8	210.2	300.4	446.1		5808.0
13	96.6	129.3	131.5	134.2	137.9	174.3	189.5	260.2		5589.0

水量只包括有效降水量,计划土层减少的水量和灌溉水量。作物田间需水量与不同灌溉处理供水量累计值及产量见表 7。可以看出,由于播前灌水充足和土壤含水量较高,以播种到次年 3 月中旬这段时间,供水量均大于或接近田间需水量。这期间由于天气寒冷蒸发微弱,田间需水量小,可以不灌越冬水或返青水,土壤储水和降水可以满足小麦生长需要。3 月下旬之后,由于气温升高,蒸发量逐渐增加,田间需水量变大,4 月份需要灌拔节水才能满足小麦生长需水要求,5 月份作物田间需水量达到 153.4mm,是冬小麦全生育期中需水量最大的时期,一般情况下都需要灌溉,否则会影响产量。图 1 及表 7 显示,较大灌水定额(60mm)灌 2 次和 3 次,中等定额(45mm)灌 3 次和 4 次,以及大定额(75mm)灌 1 次和 2 次,在全生育期供水量均大于或接近田间需水量,能够获得较高产量,分别达到 6114.0,5985.0,5967.5,5997.0,5869.5 和 5911.5kg/ha,而 30mm 灌 2 次和 3 次,45mm 灌 2 次和 60mm 灌 1 次,由于 4、5 月份是小麦需水关键时期,供水不足必将影响产量,特别是 30mm 灌 2 次和 60 灌 1 次的处理,小麦产量接近

于不灌水处理。值得注意的是,灌水定额为 75mm 灌 3 次的处理,小麦全生育期供水量均大于需水量,累计供水量比需水量多 37.0mm,而产量却低于灌水量较少的处理。可见,只要供水量接近作物田间需水量,土壤能够提供必需的水分,作物即可获得高产量,而供水量过低或过高都会影响作物生长和产量。由于在小麦全生育期降雨相对较多,因而不灌水处理仅比最高产量低 525.0kg/ha。表明在小麦播前灌水充足和春季降雨较多的情况下,不灌溉亦可获得较高产量。

2. 土壤含水量的变化

在冬小麦生长期,土壤含水量的变化特点是,在小麦拔节期以前整个土壤剖面的含水量较高,其后土壤含水量逐渐降低,其中以表层含水量变化较大,底土层较稳定。以灌水定额 60mm(灌 2 次水)为例,80cm 土层的加权平均含水量,在灌越冬水前为 17.6%,灌返青水前为 20.3%,灌拔节水前为 16.4%,灌灌浆水前为 14.4%。总之灌水量多的土壤含水量高些,反之则低。小麦全生育期不同灌水处理的土壤(10—20cm)的含水量见表 8,从中可以看出,无论何种处理,小麦在拔节期前的土壤含水量一般在 15%以上,都能满足冬小麦生长需要,只是从拔节期开始,由于作物田间需水量骤增,土壤含水量明显下降,除灌水定额 75mm 灌水 3 次者外,其他各处理含水量都在 10—14%之间,到灌浆期,则下降为 10%左右。这种变化与上述需水量和供水量的变化相一致。冬小麦在灌浆期的土壤剖面含水量,不同试验处理存在一定差异,灌水定额 75mm(灌 3 次)的土壤含水量最高,其次是灌水 45mm(灌 3 次)和 60mm(灌 2 次),不灌水的土壤含水量最低。

表 8 小麦不同生育期土壤(10—20cm)含水量(%)

试验处理	越冬期 (12 月 15 日)	返青期 (3 月 17 日)	拔节期 (4 月 24 日)	灌浆期 (5 月 19 日)
2	17.1	18.0	12.2	9.2
5	17.7	19.0	11.2	10.6
8	17.0	16.8	14.6	10.2
12	17.6	19.4	16.7	12.7
13	16.9	16.6	11.0	8.9

3. 节水灌溉对土壤盐分动态的影响

由土壤盐分传感器原位测定的不同试验处理的土壤盐分的变化是:表层 10cm 土壤电导率较高(EC4—6dS/m),20cm 的次之(EC2.5—3.0dS/m),30—50cm(EC1.0—2.0dS/m)及 80cm 土层(EC2.0—3.0dS/m)较低。由于受降雨和灌溉的影响,在小麦全生育期中,表土层盐分呈稍向下淋洗的趋势,其中以 0—10cm 土层最为明显,EC 下降 2—3dS/m,而底土层盐分逐渐累积,特别是在 80cm 土层,盐分增加较为显著,不同处理的 EC 平均增加 0.5—1.0dS/m。取土样用 1:5 浸提液测得的电导率(EC)与盐分传感器原位测定的 EC 的变化规律相一致。其共同结论是表土层脱盐和底土层积盐。土壤盐分的这种变化,说明降雨和灌溉引起表层土壤盐分逐渐向下淋洗,由于降雨和灌溉水入渗的深度一般为 50—80cm,较少达到 100cm 以下,所以 30 或 50cm 以下土层接受自表层土壤淋洗的盐分和灌溉水带来的盐分,并且随灌溉时间和次数的增加而增加,以 80cm 深处盐分增加最为明显。在长期节水灌溉条件下,可以根据盐分累积的情况,隔一定时期采用一次加大灌水定额的方法,将过量累积的盐分淋洗到 100cm 以下的深层。

由于试验地区地下水位在 4—5m 以下,为盐分淋洗创造了条件,所以冬小麦全生育期表层土壤处于脱盐状态。不同试验处理根系活动层土壤溶液 EC 一般都低于 4dS/m,不会对作物生长造成明显危害^[9]。因此,在试验地区实行节水灌溉一般不会引起土壤次生盐渍化问题。

(三)最佳节水灌溉方案

节水灌溉对冬小麦产量和土壤水盐动态的影响表明,只要选择适当的灌水时间,保证关键

需水期供水,就能用较低的灌水定额和较少的灌水次数而获得较高产量。由于试验地区土壤盐分含量不高和地下水位较深,各种节水试验处理都没有发生灌溉水下渗补给地下水和盐分危害作物生长现象。当然,对于盐分在底土层累积应当予以重视。因此,在黄淮海平原盐渍土地地区,实行节水灌溉同时监测土壤盐分和水份动态,对于防止发生土壤次生盐碱化是非常必要的。从节水高产和防止盐害的角度考虑冬小麦生育期最佳节水灌溉方案分3种情况:

1. 播前灌水充足冬旱不严重的情况下,可用大定额(75mm)在小麦拔节期灌水1次,或用中等定额(45mm)在小麦拔节期及灌浆期各灌水1次。

2. 播前灌水不足或冬旱严重情况下,可用较大定额(60mm)灌溉2至3次,灌溉时间可分别在小麦越冬期、拔节期及灌浆期。

3. 在遇冬春旱时,可用较大定额(60mm)灌溉3次或用中等定额(45mm)灌溉3—4次,可分选在小麦越冬期、拔节期、灌浆期或返青期、拔节期和灌浆期灌溉。

试验表明,在试验区冬小麦以拔节期和灌浆期为关键性灌水期。由于冬小麦根系90%以上分布在50cm土层以内,因此,灌水定额一般控制在45至75mm为宜。

表 9 最佳节水灌溉方案的节水效益

传 统 灌 溉			节 水 灌 溉			节 水 效 益
灌水次数	灌水定额(mm)	灌溉定额(mm)	灌水次数	灌水定额(mm)	灌溉定额(mm)	(mm)
4	75	300	2	75	150	150
			1	75	75	225
			3	60	180	120
			2	60	120	180
			4	45	180	120
			3	45	135	165

与传统灌溉相比,节水灌溉的节水效益是明显的(表9),平均可节水40—75%,同样的水源,可将灌溉面积扩大1倍左右。因此,在灌溉水源短缺地区,在保证作物正常生长和关键期需水情况下,适当减少灌水次数和降低灌水定额,可以提高灌溉水的有效利用率和灌溉效益。对于灌溉水源不足以及经过治理与改良的老盐渍土地地区指导冬小麦灌溉有一定参考价值。

参 考 文 献

[1] 中国农业科学院华北水资源研究组,缓解华北地区农业用水紧缺对策的探讨,灌溉排水,第6卷,第3期,1987。
[2] 陆景文等,黄淮海平原盐渍化土壤在有限水源下小麦节水灌溉方案的研究,国际盐渍土动态学术讨论会论文集,南京,1989。
[3] 陈之鹏,冬小麦节水灌溉制度的试验研究,农田水利与小水电,第2期,1990。
[4] 陈志雄等,封丘地区浅水位条件下的雨养麦田水分平衡研究,黄淮海平原区域治理技术体系研究,科学出版社,1990。
[5] 河南省封丘县农业区划委员会,封丘县综合农业区划,1984。
[6] 王遵亲等,天然文岩渠流域农业发展战略和综合治理研究,科学出版社,1987。
[7] 俞仁培,土壤次生碱化问题,黄淮海平原治理与开发研究文集:土壤水盐动态和盐碱化防治,科学出版社,1987。
[8] 潘鸣钟,城乡计划用水,河南省科学技术出版社,1986。
[9] L. A. 理查兹主编(厉兵译),盐碱土的鉴别与改良,科学出版社,1965。