

冬小麦微咸水灌溉制度的研究

叶海燕^{1,2}, 王全九², 刘小京³

(1. 西华大学能源与环境学院, 成都 610039; 2. 西安理工大学水资源研究所, 西安 710048; 3. 中科院石家庄农业现代化研究所, 石家庄 050000)

摘要: 通过中科院南皮生态试验站冬小麦微咸水灌溉试验, 研究不同灌溉定额对土壤水分利用效率、盐分运移规律以及作物产量的影响, 并进一步探讨灌区适宜的灌溉制度。研究结果表明, 从水分利用效率大小、年内盐分平衡以及作物需水规律综合考虑, 小麦生育期适宜灌溉定额为 $120\text{ m}^3/667\text{ m}^2$ 。该研究结果为灌区地下微咸水的合理开发利用提供了依据。

关键词: 微咸水灌溉; 水分利用效率; 土壤含盐率; 灌溉定额

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6819(2005)09-0027-06

叶海燕, 王全九, 刘小京 冬小麦微咸水灌溉制度的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 27- 32

Ye Haiyan, Wang Quanjiu, Liu Xiaojing Slight saline water irrigation systems for winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9): 27- 32 (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着水资源的日趋紧张, 非充分灌溉正在世界很多干旱地区应用。为了弥补有限淡水资源的不足, 开发和利用劣质水, 包括微咸水, 进行灌溉已势在必行。未来的挑战之一将是用少量的水, 包括劣质水来维持甚至增加作物产量^[1]。利用微咸水灌溉, 灌溉定额太小, 不能满足作物需水要求; 灌溉定额太大, 带入的盐分可能造成土壤的次生盐碱化, 其中灌溉水的矿化度、灌溉次数及水量将决定土壤盐分增加的多少^[2-4]; Oster^[5]指出微咸水灌溉应根据作物种类、土壤特征确定合理灌水制度; 前苏联学者认为, 咸水灌溉时, 采用高定额灌溉, 有利于土壤溶液含盐量的降低; 对于一直用咸水灌溉的地区, 为了降低土壤溶液的浓度以及淋洗土壤中的盐分, 应加大咸水灌溉定额, 尤其是一次灌水量; Shainberg 和 Shalhevet 研究了咸水灌溉频率对作物产量的影响, 研究结果表明高频导致高产; A. Tedeschi 和 M. Menenti 认为, 高频灌水决定了土壤剖面较高水分含量和较低的盐分积累; 低频灌水由于每次灌水量较大使得有更多的盐分淋洗出根区^[3,6]。总之, 微咸水灌溉成功与否关键在于能否控制盐分在根系土层的累积。有效控制根区的土壤溶液浓度, 特别是作物敏感时期的土壤溶液浓度对提高作物产量至关重要。

本试验在中科院南皮生态试验站进行。该试验站位于河北沧州市地区, 该地区干旱缺水, 淡水资源严重不足。但浅层地下咸水分布广, 储量大, 且易于开采。其中矿化度为 $2\sim 3\text{ g/L}$ 的地下微咸水分布面积为 2527 km^2 , 总储量 2.78 亿m^3 , 多年平均可开采量 2.14 亿m^3 ^[7]。本试验主要是研究微咸水灌水量对土壤水分利用效率、盐分运移以及产量的影响, 从而确定本地区适宜的微咸水灌溉制度。

1 试验方法

1.1 试验区概况

中科院南皮生态试验区地处北纬 $38^{\circ}06'$, 东经 $116^{\circ}40'$ 之间, 位于黄淮海低平原的东部, 东近渤海, 属河北省沧州市南皮县。该地区最高气温 31°C , 最低气温 -19°C , 多年平均降水量 550 mm , 平均日照 2318 h , 水面蒸发 $1025\sim 1218\text{ mm}$, 地下水埋深 $5\sim 7\text{ m}$, 其水质分析结果如表1所示。小麦试验期年总降水量为 450 mm , 降水主要集中在7、8月份, 约占总降雨量 60% 。耕地土壤为轻壤质潮土, 土壤含盐率为 $0.8\sim 1.5\text{ g/kg}$, 土壤容重 1.42 g/cm^3 , 田间持水量为 24.1% , 土壤有机质含量为 $1.0\sim 1.2\%$, 水解氮 98.3 mg/kg , 速效磷 15 mg/kg , 速效钾 100 mg/kg , 土壤的基本物理、化学性质如表2和表3所示。

表1 地下水水质分析表

Table 1 Analysis of the underground water quality

EC / $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$	pH 值	HCO_3^- / $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	Cl^- / $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	SO_4^{2-} / $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	Ca^{2+} / $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	Mg^{2+} / $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ / $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	矿化度 / $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	SAR / $\text{mmol}^{1/2}\cdot\text{L}^{-1/2}$
3.5	7.85	15.1	9.2	5.6	2.4	6.6	17.5	2.45	5.8

收稿日期: 2004-09-23 修订日期: 2005-08-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40371057); 国家“863”项目(2002AA 2Z4061); 西华大学青年基金(Q 0520403)

作者简介: 叶海燕, 主要从事土壤水盐运移研究。成都市 西华大学能源与环境学院, 610039。Email: petrelye@163.com



表2 土壤基本物理性质

Table 2 Soil physical properties and classification

土层深度/cm	各级颗粒含量百分数/%			国际制土壤质地分类
	d > 0.02 mm	0.002 mm < d < 0.02 mm	d < 0.002 mm	
0~67	60	22.5	17.5	砂质黏壤土
67~120	52	20.7	27.3	壤质黏土

表3 原始土壤化学性质

Table 3 Chemical properties of the original soil

土层深度/cm	HCO ₃ ⁻ /g · kg ⁻¹	Cl ⁻ /g · kg ⁻¹	SO ₄ ²⁻ /g · kg ⁻¹	Ca ²⁺ /g · kg ⁻¹	Mg ²⁺ /g · kg ⁻¹	Na ⁺ + K ⁺ /g · kg ⁻¹	含盐率/g · kg ⁻¹
0~20	0.34	0.14	0.17	0.06	0.10	0.05	0.86
20~40	0.40	0.16	0.12	0.05	0.04	0.17	0.94
40~60	0.40	0.16	0.22	0.03	0.05	0.23	1.09
60~80	0.43	0.25	0.24	0.04	0.06	0.28	1.30
80~100	0.40	0.32	0.36	0.03	0.06	0.38	1.55

1.2 试验设计和方法

灌溉试验在南皮生态试验站内进行, 布设了24个面积为6.6 m² (2.0 m × 3.3 m) 的无底混凝土小区, 小区用1.5 m深的塑料板隔开。小麦品种是9402, 每个小区试验播量为150 g, 播9行, 行距25 cm。播种日期是2002年10月24日, 收割日期是2003年6月10日, 生育期220 d。试验设有8个处理, 每个处理设3个重复。本试验采用地下水灌溉, 具体灌水时节和灌水定额如表4所示。

表4 微咸水灌溉试验灌水方案

Table 4 Scheme of slight saline water irrigation

处理	全年灌水	生育期内灌水	m ³ · (667 m ²) ⁻¹			
			底墒水	拔节水	抽穗水	灌浆水
1	40	0	40	0	0	0
2	120	80	40	80	0	0
3	160	120	40	80	40	0
4	130	90	40	30	30	30
5	160	120	40	40	40	40
6	190	150	40	50	50	50
7	120	80	40	30	0	50
8	130	90	40	40	50	0

底墒水灌水时间: 2002年10月18日; 拔节水灌水时间: 2003年4月5日; 抽穗水灌水时间: 2003年5月4日; 灌浆水灌水时间: 2003年5月21日。

小麦播种前、麦收后、生育期内灌水前后以及第二年播前通过田间取土方法进行水盐观测。取土深度为1 m, 共分为7层。观测项目主要包括质量含水率、土壤pH值、电导度(EC)、全盐量和八大盐分离子含量(Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺ + K⁺)等。小麦生物性状监测包括每次灌水前后植株株高、植株鲜重、干重和作物产量等生理指标。植株株高用直尺测量, 每个处理测定10株, 然后取其平均值; 植株鲜重和干重、穗鲜重和干重用百万分之一天平称量。试验站有常规的气象及地下水观测。

2 结果与分析

2.1 灌水量对水分利用效率的影响

冬小麦是当地最主要的粮食作物, 在生育期内干旱少雨, 主要依靠灌溉来维持作物正常生长, 其灌溉用水量占农田灌溉用水量的70~80%。因此, 研究冬小麦耗水量和水分利用效率是缓解灌水供需矛盾与提高农业用水效率的重要方面。水分利用效率计算公式如下^[8,9]

$$E = Y/C \quad (1)$$

$$C = P_0 + I + \Delta W + V - R - D \quad (2)$$

$$\Delta W = 0.667hY(W_0 - W_1)/10 \quad (3)$$

式中 E ——水分利用效率, kg/m³; Y ——冬小麦籽粒产量, kg/667 m²; C ——小麦生育期总耗水量, m³/667 m²; P_0 ——生育期有效降水量(2.5 mm降水), m³/667 m²; I ——生育期内灌水量, m³/667 m²; ΔW ——土壤水盈亏量, m³/667 m²; W_0 ——播前土壤含水率, %; W_1 ——收割时土壤含水率, %; V ——地下水毛细管水上升量, m³/667 m²; R ——径流量, m³/667 m²; D ——渗漏量, m³/667 m²; h ——土壤水计算深度, cm; Y ——土壤容重, g/cm³。计算结果如表5所示。

由表5可知, 旱作虽产量较低, 但总耗水量也低, 故水分利用效率最高; 生育期内灌一次水的处理2的水分利用效率较高, 其灌水时节为拔节期。灌水量与之相同的处理7却水分利用效率最低, 其灌水时节为拔节和灌浆期。这说明如果仅灌水一次, 应优先考虑拔节水; 灌两水的处理3和处理8的水分利用效率较高, 其灌水时节都为拔节和抽穗期; 而处理7水分利用效率最低, 这表明灌浆后期灌水增产不显著, 一般在5月15日以后灌水易造成贪青晚熟, 粒重降低, 遇干热风发生倒伏, 严重减产等后果^[9]; 灌三水的各处理的灌水时节都为拔节、抽穗和灌浆期, 但灌水定额有所不同。其中处理5的水分利用效率较高, 处理4次之, 处理6的水分利用效率最低。这说明高灌水量并不意味着水分利用效率高, 因此在微咸水灌溉条件下, 需确定适宜灌水定额, 达到节水增产的效果。

从以上分析来看, 灌一水以拔节期为最佳灌水期; 灌两水应优先考虑拔节水和抽穗水; 灌三水时, 拔节期灌水定额应最大, 而灌浆后期宜采用小定额灌水, 即节省水量又提高产量; 一般情况, 高灌溉定额带来高产量, 但水分利用效率却不一定高。所以在水资源短缺的地

区, 实际灌溉定额的实施既要考虑作物的产量高低, 又要考虑水分利用效率的大小。特别是微咸水灌溉条件下, 还要结合土壤积盐情况、土壤结构和土壤质量等方面进行综合评定。

表5 不同处理冬小麦水分利用效率

Table 5 Water use efficiency of winter wheat under different treatments

参数	三水			两水			一水	旱作
	处理4	处理5	处理6	处理3	处理7	处理8	处理2	处理1
降水量/ $m^3 \cdot (667 m^2)^{-1}$	57.7	57.7	57.7	57.7	57.7	57.7	57.7	57.7
生育期内灌水量/ $m^3 \cdot (667 m^2)^{-1}$	90	120	150	120	80	90	80	0
土壤水盈亏量/ $m^3 \cdot (667 m^2)^{-1}$	106	102	105	107	111	108	109	117
总耗水量/ $m^3 \cdot (667 m^2)^{-1}$	254	280	313	284	249	256	247	175
产量/ $kg \cdot (667 m^2)^{-1}$	284	314	334	330	254	307	312	230
水分利用效率/ $kg \cdot m^{-3}$	1.119	1.123	1.067	1.160	1.020	1.201	1.263	1.314

2.2 土壤盐分运移规律

1) 土壤平均含盐率变化过程

微咸水灌溉成功与否关键在于能否控制盐分在根系土层的累积, 因此有必要对1年内土壤含盐率情况进行分析。根据当地灌溉实践和大量微咸水研究结果表明, 冬小麦生育期内最佳灌溉次数为3次^[7-9]。故本文重点对生育期内灌三水的处理4、处理5和处理6的土壤含盐率变化情况进行了分析, 分析结果如表6所示。总的来看, 年内土壤含盐率在1‰~2‰变化, 按半干旱区土

壤盐渍化分级标准, 该土壤属于轻度盐渍化土^[10]。小麦播前土壤含盐率较低, 拔节期由于气温升高, 强烈蒸发导致土壤含盐率明显升高, 小麦生长后期盐分变化比较平稳, 至麦收含盐率有所下降, 到第二年播前与头年比较, 相差不大。但随着灌水定额的增大, 土壤含盐量有所增加, 本年小麦生育期内总降水量为95 mm, 为平水年。随着降雨量的变化, 土壤1 m层含盐率也将随之变化, 总变化趋势仍是: 微咸水灌溉定额越高, 带入的盐分越多, 土壤积盐越严重。

表6 3种不同处理下1m土层土壤平均含盐率变化

Table 6 Change of soil average salt content in 0~100 cm soil layer under three different treatments $g \cdot kg^{-1}$ 土

测定时间/年-月-日	02-10-13	03-04-01	03-04-09	03-05-03	03-05-08	03-05-20	03-05-24	03-06-09	03-10-07
处理4	1.15	1.55	1.32	1.61	1.53	1.63	1.49	1.20	1.10
处理5	1.22	1.57	1.43	1.55	1.52	1.47	1.49	1.17	1.25
处理6	1.02	1.50	1.31	1.58	1.29	1.41	1.21	1.15	1.07

2) 土壤剖面盐分分布

图1显示了处理4、处理5和处理6在小麦播前、麦收和第二年播前3个时期土壤盐分的垂直分布。从图1可知, 3种不同处理有着相似的盐分分布特征, 即上层含盐率较低, 60 cm以下含盐率偏高。这可能是由于存在一黏土层, 有滞水托盐, 阻碍水盐向下移动的作用, 同时上层盐分向下淋洗使下层含盐率增加。从图1a可知, 处理4播前与第二年播前相比较, 经过7、8月雨水的淋

洗, 土层60 cm以上处于脱盐状态, 而60 cm以下含盐率有所增加; 从图1b可知, 处理5播前与第二年播前相比较, 土层约42 cm以上处于脱盐状态, 而42 cm以下含盐率有所增加; 但从图1c来看, 处理6第二年播前整个土层均高于头年播前。由此可见, 灌水量越高带进的盐分更多, 土壤盐分不仅难于淋洗, 而且可能造成土壤剖面积盐。

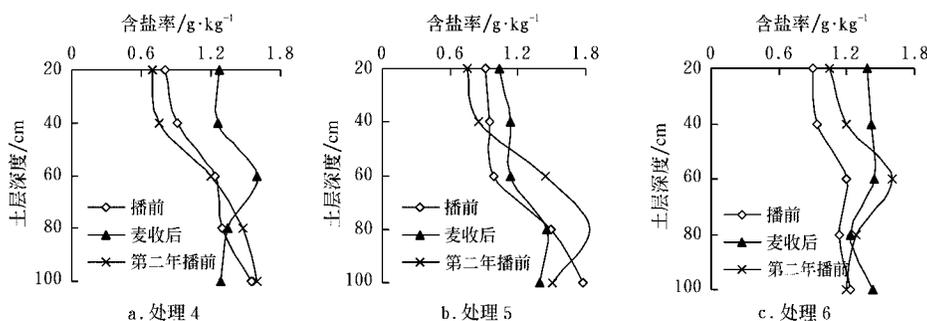


图1 3种不同处理下土壤剖面含盐率分布

Fig. 1 Soil salt vertical distributions under three different treatments

3) 1 m 土层平均盐分浓度变化过程

利用微咸水进行灌溉, 作物受水盐联合胁迫。一般惯用土壤含盐率这一指标评价土壤盐害情况。土壤含盐率是指每 1kg 干土中含有可溶性盐分的克数。即使土壤含盐率相同, 盐害程度并非一致, 因为土壤含水率不同, 导致土壤溶液浓度的不同, 从而作物的吸水能力也存在差别。因此, 利用土壤溶液浓度对水盐联合胁迫进行综合评定, 可以比较真实反映土壤盐害情况。根据土壤含盐率和相应的质量含水率就可以得到土壤溶液浓度, 具体的计算公式如下

$$c = s/\theta_q \quad (4)$$

式中 c ——土壤溶液浓度, g/L ; s ——土壤含盐率, g/kg 土; θ_q ——质量含水率, g/g 土。

图 2 显示了 3 个处理在生育期内 3 次灌水前、后以及麦收后, 1 m 层土壤平均盐分浓度变化情况。由图 2 可知, 不同处理具有相似的浓度变化规律, 即灌前土壤溶液浓度较高, 灌后土壤溶液浓度明显降低。这是因为灌水前土壤含水率较低, 使得土壤溶液浓度相对较高, 且远远大于灌溉水矿化度。经过低矿化度灌溉水淋洗后, 带走了部分盐分, 导致盐分浓度下降。而且灌水量越大, 淋洗越充分, 灌后土壤盐度越低。且到下一个灌水时节, 高灌水定额处理的灌前土壤溶液盐度仍维持最低。

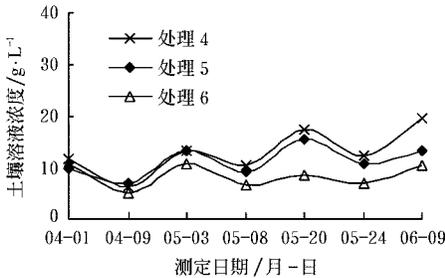


图 2 3 种不同处理下 1 m 土层土壤平均溶液浓度变化(2003 年)
Fig 2 Changes of soil average salt concentration in 0~ 100 cm soil layer under three different treatments

2.3 灌溉定额对作物产量的影响

1) 灌溉定额对小麦干物质积累的影响

图 3 显示了 3 个处理的植株干物质积累过程。由图可知, 不同处理的干物质积累曲线变化趋势相同, 即随时间干物质积累量增大。不同灌溉定额相比较, 灌溉定额越大, 干物质积累越大。

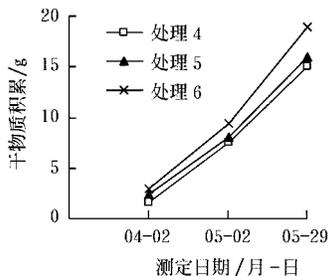


图 3 不同处理下植株干物质积累
Fig 3 Changes of wheat dry substance accumulation under different treatments

2) 灌溉定额对小麦株高的影响

图 4 显示了不同处理下, 植株株高的变化过程。由图 4 可知, 从拔节至抽穗期, 植株株高增长较快, 抽穗后期植株生长较慢, 但保持增长趋势。对不同灌溉定额的株高进行比较, 灌溉定额越大, 则株高越高。

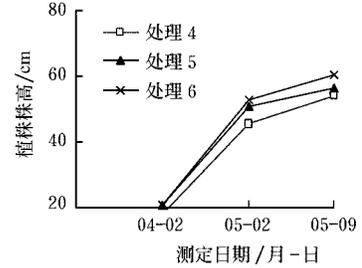


图 4 不同处理下植株株高的变化
Fig 4 Changes of wheat height under different treatments

3) 灌溉定额与小麦产量关系

图 5 显示了处理 4、处理 5 和处理 6 生育期灌溉定额与小麦产量的关系。由图可知, 随着微咸水灌溉定额的增加, 产量也增加。因为灌溉定额越大, 灌后土壤溶液浓度越低, 减轻了盐分胁迫, 降低了盐害程度。

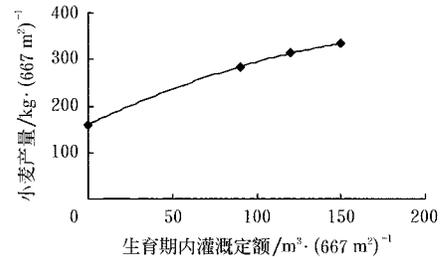


图 5 生育期灌溉定额与小麦产量的关系
Fig 5 Relationships between the quota of salt water and wheat yields

对生育期灌溉定额与小麦产量关系进行拟合, 结果如下

$$y = - 0.0044x^2 + 1.813x + 159.98 \quad (5)$$

$$R = 0.9999$$

式中 y ——小麦产量, $kg/667 m^2$; x ——小麦生育期内灌溉定额, $m^3/667 m^2$; R ——相关系数。由生育期灌溉定额与小麦产量的关系可以看出, 小麦产量先随灌溉定额的增加而增加, 当产量达到最高点以后, 反而随灌溉定额的增加而下降。对上式求导, 并令其等于零, 确定小麦产量达到最高点时相应的生育期灌溉定额为 $206 m^3/667 m^2$ 。将此灌溉定额再代入上式, 得到相应的最高产量, 即 $347 kg/667 m^2$ 。这是矿化度为 $2.45 g/L$ 微咸水进行生育期内灌溉所能达到的最高产量值。不同矿化度的微咸水灌溉, 应有不同的最高产量。

4) 土壤溶液浓度与作物产量关系

作物产量与土壤溶液浓度密切相关。图 6 为小麦主根区 (0~ 40 cm) 平均溶液浓度与小麦产量的关系。由于土壤溶液浓度受含水率和含盐率的影响, 一直处于变化之中。各个生育期的土壤溶液浓度都会不同程度的影响

作物产量,因此,图6显示了抽穗期、灌浆期灌水后平均土壤盐分浓度与小麦产量的关系。由图6可知,2个生育期的土壤溶液浓度均与产量呈负相关关系。

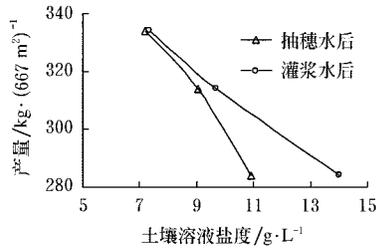


图6 主根区平均溶液浓度与小麦产量关系

Fig 6 Relationships between soil average salt concentration of taproot area and wheat yield

对抽穗期、灌浆期的土壤溶液浓度和产量关系进行拟合,结果如下

1) 抽穗水后

$$y = -13.467x + 432.61 \quad (6)$$

$$R = 0.9876$$

式中 x —— 抽穗水后土壤 0~40 cm 平均溶液浓度, g/L; y —— 小麦产量, kg/667 m²; R —— 相关系数。

2) 灌浆水后

$$y = -7.4035x + 387.34 \quad (7)$$

$$R = 0.9966$$

式中 x —— 灌浆水后土壤 0~40 cm 平均溶液浓度, g/L; y —— 小麦产量, kg/667 m²; R —— 相关系数。

从以上 2 个方程式可知,作物产量均随着生育期土壤平均浓度的降低而增加。但各个生育期对土壤盐分浓度的敏感性是不一样的。在相同的高土壤溶液浓度下 ($x > 7.5$ g/L), 抽穗期对应的产量比灌浆期对应的产量要低; 在土壤溶液浓度为 7.5 g/L 时, 两个时期对应的产量相同; 在较低土壤溶液浓度下 ($0 < x < 7.5$ g/L), 抽穗期对应的产量比灌浆期对应的产量要高。这说明抽穗期较灌浆期对盐分浓度更为敏感, 因此抽穗期的盐分浓度应控制得更低。

3 结论与讨论

本文微咸水灌溉试验设计了 8 个不同的处理, 且对其中 3 个处理的土壤水、盐以及产量情况进行了重点分析, 得到以下结论:

1) 不同灌溉定额的水分利用效率不同。从灌水次数和时间的分配上比较, 水分利用效率的大小排列为: 一水(拔节水) > 两水(拔节水、抽穗水) > 三水(拔节水、抽穗水和灌浆水)。在水资源严重短缺的情况下, 水分应优先分配到拔节期, 其次为抽穗期, 灌浆期为最后。

2) 土壤含盐率的变化与灌溉定额有关。高灌溉定

额下, 灌后土壤溶液盐分浓度降低, 但土壤含盐率会有所增加。且在 120 m³/667 m² 的灌溉定额下, 试验年年内 1 m 层盐分基本处于平衡状态。

3) 一般随着灌溉定额的增大, 作物生理指标, 如株高、干物质积累和产量等均会不同程度的增加。但从灌溉定额与小麦产量的相关关系来看, 当灌溉定额超过一定值时, 其产量反而会下降。

4) 在水资源较充足的情况下, 应考虑三水灌溉。因为较高灌溉定额下产量较高。但微咸水灌溉定额太大, 带入的盐分可能造成土壤积盐。因此从盐分平衡角度考虑, 适宜灌溉定额为 120 m³/667 m², 且此灌溉定额下, 水分利用效率较高; 从作物需水规律以及对盐分的敏感性分析, 各时期灌水定额的大小应为: 拔节期 > 抽穗期 > 灌浆期; 结合当地的灌溉实践以及抽取地下水所需人力、物力等考虑, 灌浆期最小灌水定额宜为 30 m³/667 m², 因此将生育期各时节灌水定额初步定为: 拔节水: 50 m³/667 m²、抽穗水: 40 m³/667 m²、灌浆水: 30 m³/667 m²。由于灌溉制度的制定还要考虑降水量的大小、气候条件的变化、多年盐分变化情况以及当地一些具体情况, 所以还需进一步观测和考察。

[参 考 文 献]

- [1] Shani U, Dudley L M. Field studies of crop response to water and salt stress[J]. Soil Sci Am J, 2001, 65: 1522-1528
- [2] 俞仁培. 土壤水盐动态和盐碱化防治[M]. 北京: 科学出版社, 1985
- [3] Wang X F, Wu R You, Zhang Q W. Salt water dynamics in highly salinized top soil of salt-affected soil during water infiltration[J]. Pedosphere, 1991, (1): 315-323
- [4] 刘昌明, 魏忠义. 华北平原农业水文及水资源[M]. 北京: 科学出版社, 1989
- [5] Oster J D. Irrigation with poor quality water[J]. Agric Water Manage, 1994, 25: 271-297
- [6] 张永波, 王秀兰. 表层盐化土壤区咸水灌溉试验研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(1): 53-58
- [7] 王洪彬. 沧州地区地下微咸水灌溉分析[J]. 河北水利水电技术, 1998, (4): 4-5
- [8] Zhang X Y, Peng Dong, Chen S Y, et al. Effects of deficit irrigation on yield, yield components and water use efficiency of winter wheat [M]. In: water-saving agriculture and sustainable use of water and land resources. 西安: 陕西科学出版社, 247-255
- [9] 王新元, 刘孟雨. 近滨海缺水盐渍区冬小麦耗水量和水分利用效率的试验研究[R]. 南皮近滨海缺水盐渍区综合治理配套技术研究论文选编, P185-193
- [10] 李学垣. 土壤化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003

Slight saline water irrigation systems for winter wheat

Ye Haiyan^{1,2}, Wang Quanjiu², Liu Xiaojing³

(1. College of Energy Sources and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2 Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

3 Institute of Agriculture Modernization Research, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract Experiment of slight saline water irrigation was carried out to analyze the impacts of different irrigation quotas on water use efficiency, salt water transfer and wheat yield at the ecological experiment station of Nanpi in Hebei Province. The results indicated that the suitable quota of saline water irrigation was $120\text{ m}^3/667\text{ m}^2$ considering the water use efficiency, salt balance and crop water requirement as a whole. The study supplies a basis for reasonable exploitation and utilization of underground slight saline water irrigation.

Key words: saline water irrigation; water use efficiency; soil salt content; irrigation quota