

基于 HYDRUS 模型灌区最优灌溉管理方案 及作物光合产量品质验证

李明秋, 路 成

(徐州市铜山区郑集水利站, 江苏 徐州 221000)

摘要:为得出灌区最优灌溉管理方案,基于 HYDRUS 模型的水盐运移模型,将处理分为喷灌、滴灌和漫灌 T1~T5 共 5 组处理,研究模拟了不同处理的水盐运移规律,同时为验证模型准确性,现场试验测得了不同处理小麦产量及水分利用效率,结果表明:T3 处理的土壤贮水量较高,而土壤含盐量较低,该处理下的产量、品质及水分利用效率最高,为灌区最优灌溉管理方案。

关键词:最优灌溉管理; HYDRUS 模型; 水盐运移模型; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S158 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839(2019)09-0031-05

Study on the optimal irrigation management scheme for irrigation area and the verification of photosynthetic yield and quality of crops based on HYDRUS model

LI Mingqiu, LU Cheng

(Zhengji Water Conservancy Station of Tongshan District, Xuzhou 221000, Jiangsu)

Abstract: In order to obtain the optimal irrigation management scheme for irrigation district, based on the water and salt transport model of HYDRUS model, the treatment was divided into five groups of sprinkler irrigation, drip irrigation and flood irrigation as T1~T5, and the water and salt migration laws of different treatments were simulated. In order to verify the accuracy of the model, wheat yield and water use efficiency of different treatments were measured by field test. The results showed that T3 treatment had higher soil water storage and lower soil salt content, and the yield, quality and water use efficiency under this treatment were the highest, which was the optimal irrigation management scheme for irrigation areas.

Key words: optimal irrigation management; HYDRUS model; water and salt transport model; production; water use efficiency

0 引言

土壤盐碱化一直是影响国内粮食作物产量的主要因素之一,土壤中可溶性盐含量过高,可极大程度抑制作物生长,严重危害作物发育^[1-2]。现如今,国内盐碱地面积较广,占全部耕地面积的四分之一左右,主要分布于青海、新疆、内蒙古等 19 个省区^[3]。同时,由于我国是世界上主要的缺水国家之一,其水资源总量仅为世界平均水平的 25%^[4]。

水资源总量的缺乏与土壤盐碱化面积的加剧严重程度制约了我国农业的发展,限制了我国经济的快速提升。

形成土壤盐碱化的主要因素之一是由于灌溉水量过大,造成水量流失严重。节水灌溉技术的应用在一定程度上可减轻土壤盐碱化的程度与危害,是防治土壤盐碱化,提高水资源利用率,提高粮食产量的主要解决方法之一^[5-6]。现如今,节水灌溉技术已逐渐应用于灌区建设当中,但不针对灌区实

收稿日期:2019-05-28

作者简介:李明秋(1976—),男,本科,工程师,研究方向为农田水利。

际情况找出最优的节水灌溉方式,可能造成气候改变、水量不均等生态问题,因此针对灌区需找出合理的方案。

土壤水盐运移规律可在一定程度上反映灌溉方式对作物的影响。目前针对水盐运移规律已有了部分研究。Bresler^[7]基于现场试验,建立了土壤的盐分运动模型,分析了土壤盐分运动的具体原理;张永宏等^[8]研究了不同灌溉方式对土壤水盐运移的影响,指出滴灌加覆膜的灌溉方式可有效抑制土壤盐碱化的形成;徐大为等^[9]研究了滴灌制度下的土壤水盐运移规律,指出建议在非生育期漫灌洗盐。

本文以徐州某灌区为研究对象,基于 HYDRUS 模型建立不同灌水方式下的土壤水盐运移模型,然后基于该模型模拟当地土壤水盐运移规律,从中找出灌区最优的灌溉方案,指导灌区生产。

1 试验设置

试验区主要设置的作物为小麦,灌溉方式主要分为漫灌、喷灌和滴灌,其中喷灌和滴灌中追加2种灌水和施肥方案,共5个处理,具体灌水施肥模式见表1。不同灌溉水量均用水表进行控制,施肥用水肥一体化系统进行施肥,每个处理各3个试验小区,作为重复处理使用。

表1 不同处理基本情况表

处理	灌溉方式	灌水期及灌水量(m ³ /hm ²)				施肥时期和施肥量(kg/hm ²)		
		越冬期	拔节期	开花期	灌浆期	基肥	拔节期	灌浆期
T1	喷灌	600	600	0	600	157.5	72.5	0
T2	喷灌	450	600	375	375	157.5	45	32.5
T3	滴灌	600	600	0	600	157.5	72.5	0
T4	滴灌	450	600	375	375	157.5	45	32.5
T5	漫灌	2200	1200	0	0	157.5	72.5	0

2 模型构建

2.1 基本方程

对于土壤水分运动模型可采用修正的 Richards 方程进行表示,具体形式如下:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial [D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x}]}{\partial x} + \frac{\partial [D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y}]}{\partial y} + \frac{\partial [D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z}]}{\partial z} - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} \quad (1)$$

式中, θ 为土壤含水率,%; t 为时间; x, y, z 为空间坐标; $K(\theta)$ 为非饱和导水率,cm/d。

对于模型的初始条件、边界条件以及土壤水力函数等基本问题可通过对上述方程的求解确定,函数方程表达式如下:

$$K(\theta) = K_s \theta_e [1 - (1 - \theta_e^{\frac{1}{m}})^m]^2 \quad (2)$$

$$\theta_e = (1 + (ah)^n)^{-m} \quad (3)$$

式中, K_s 为土壤饱和导水率,cm/d; θ_e 为土壤相对饱和度; a, m, n 为经验系数; h 取值为0.5。

对于土壤盐分运动模型,本文以土壤矿化度代表土壤盐分含量,采用非饱和-饱和土壤溶质运移数学模型,具体形式如下:

$$\frac{\partial \theta_c}{\partial t} = \frac{\partial (\theta D_x \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial (\theta D_y \frac{\partial c}{\partial y})}{\partial y} + \frac{\partial (\theta D_z \frac{\partial c}{\partial z})}{\partial z} - \frac{\partial (q_z c)}{\partial z} \quad (4)$$

式中, D_x, D_y, D_z 为弥散系数,cm²/d; q_z 为水流通量,cm/d; c 为溶液浓度,g/cm³。

2.2 HYDRUS 模型构建

HYDRUS 模型可对非饱和土壤中的多孔隙媒介内的水盐运移过程进行模拟,利用土壤物理参数,可对土壤中的水及溶质进行分析^[10]。

将0~100 cm范围内的土壤划分为5个部分,设定的最小、最大步长以及初始时间步长分别为5、0.01和0.1 d,模型参数取值见表2。

3 作物指标监测

3.1 光合作用测定

本试验光合作用测定仪器为LCPro+光合仪,利用LCPro+光合仪LED红蓝光源,通过模拟不同光强变化条件下光照强度与净光合速率(Pn)的关系,测定时给定CO₂浓度及空气相对湿度,温度控制

表 2 模型参数取值

土质类型	θ_r	θ_s	$A / (l \cdot cm^{-1})$	N	$K_s / (cm \cdot d^{-1})$
壤土	0. 0134	0. 5725	0. 0157	1. 3471	16. 7413

为 25℃, 设定光强梯度为 0、50、150、250、350、450、600、800、1000 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 每个光强下适应 5 min 后仪器自动采集数据。

3.2 作物果实品质测定

本研究硬度采用硬度计测定, 可溶性固形物采用糖度计测定, 干物质采用烘干法测定, 蔗糖和氨基酸均采用标准试剂盒测定, 测定方法为紫外分光光度计法^[11]。

4 结果与分析

4.1 不同处理土壤水分运移模拟情况

图 1 为不同处理下土壤水分运移模拟结果。由图中可以看出, 不同处理下的土壤含水率在小麦整个生育期的变化趋势基本一致, 而土层深度不同, 土壤含水率的变化趋势存在一定的差异。土层深度越大, 土壤含水率越高, 这可能是由于当土壤上层含水率接近饱和时开始释放水分, 由于在重力与土水势的作用, 向深层运动, 提高了深层土壤的含水率。不同处理在 0~20 cm 的土壤含水率基本在 20%~30% 之间, 而越深层土体, 其含水率变化趋势越平稳。

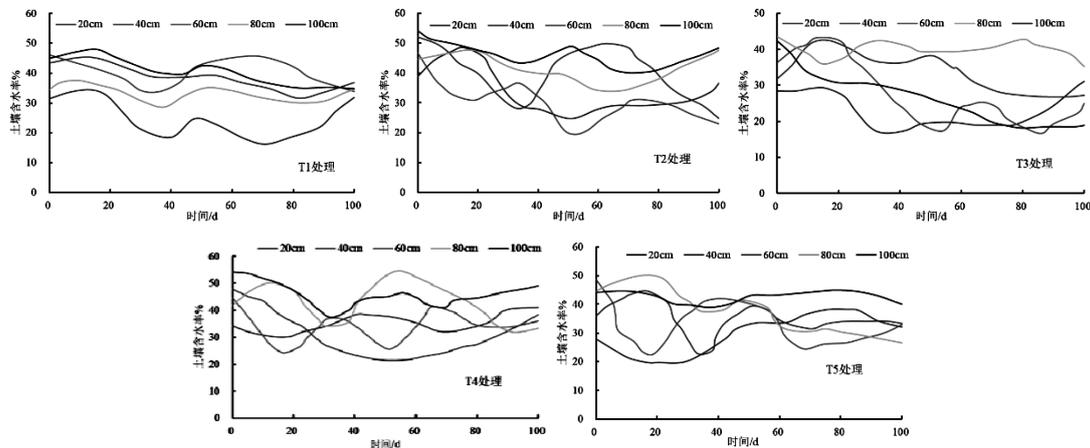


图 1 土壤水分运移模拟图

4.2 不同处理土壤盐分运移模拟情况

图 2 为不同处理下土壤盐分运移的模拟情况。由图中可知, 选择喷灌和滴灌的节水灌溉模式, 可较传统的漫灌有效降低土壤含盐量, 在相同灌水定额条件下, 3 种模式的含盐量表现为滴灌 < 喷灌 <

漫灌。这可能是由于节水灌溉模式的入渗作用优于漫灌模式, 加快了土壤盐分随水分运动的效果, 盐分的减少幅度在 0~40 cm 的表层土壤处更为明显。表明合理选择节水灌溉技术可有效缓解土壤盐碱化。

4.3 不同处理土壤盐分运移模拟情况

图 3 为不同处理下土壤一定土层范围内的贮水量及含盐量对比。由图中可以看出, 不同生育期土壤土层贮水量和含盐量均不同, 随着生育期的增加, 土壤贮水量呈现逐渐降低的趋势, 而含盐量呈现先减小后提高的趋势, 这可能是由于在成长过程中对必要养分的吸入, 而成熟后吸入养分速率有所降低。漫灌在不同生育期的贮水量较低, 表明其灌溉方式并不能使小麦根区很好地吸收水量, T3 处理在不同生育期的贮水量较高, 而其含盐量均维持在了较正常的标准, 表明 T3 处理为灌区最优的灌溉方案。

4.4 不同处理小麦产量、水分利用效率及品质的影响对比

为验证上述模拟结果的准确性, 本文实际计算了不同处理小麦的水分利用效率, 并实际测量了不

同处理小麦的产量, 结果见表 3。测得了不同处理下小麦光合速率, 结果见表 4。光合速率可很好地反映不同处理下小麦的活性, 找出最优灌溉方案, 由光合速率结果可知, T3 处理具有较高的最大净光合速率、较低的光补偿点和较高的光饱和点, 表明

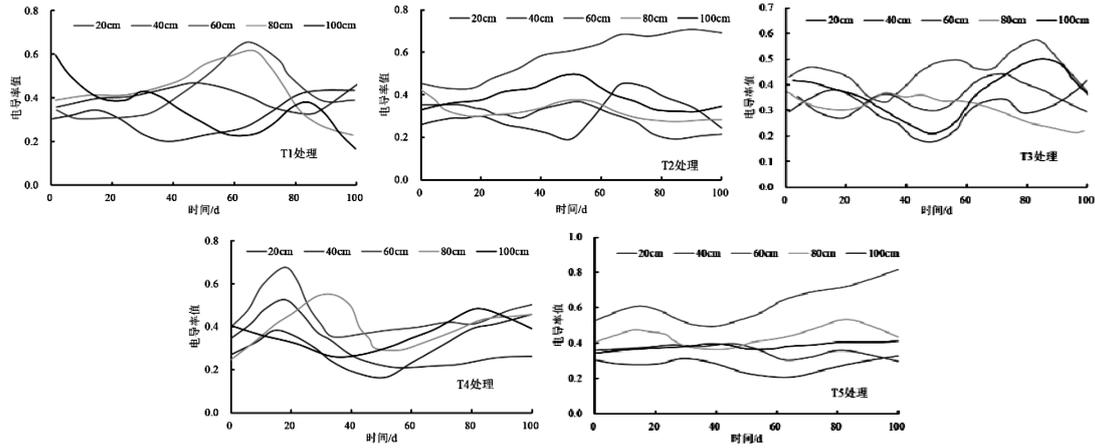


图2 土壤盐分运移模拟图

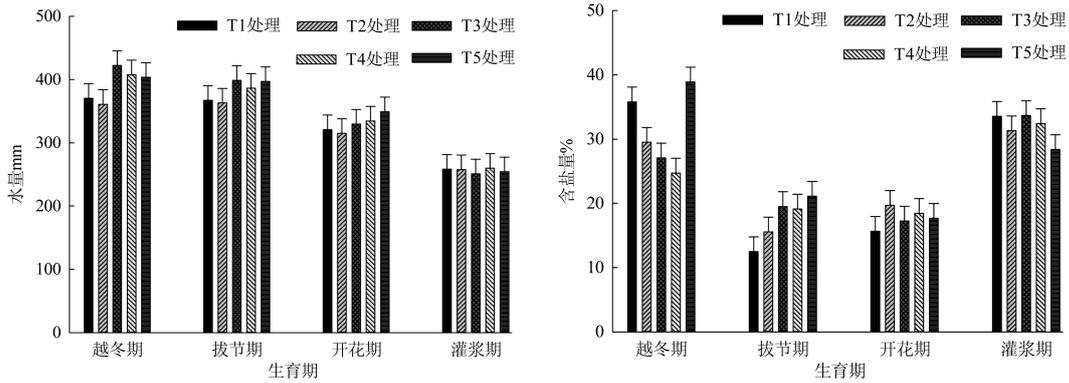


图3 不同处理不同生育期土层贮水量及含盐量对比

表3 不同处理产量及水分利用效率情况

处理组	产量 (kg/hm ²)	产量水分利用效率 WUE _{ET}	叶片瞬时水分利用效率 WUE _i
T1	7388.74c	3.01d	2.91c
T2	7492.84b	3.42c	3.23b
T3	7899.52a	3.80a	3.54a
T4	7611.97ab	3.74b	3.47a
T5	6569.28d	2.92e	2.71d

表4 不同处理光合速率特性分析

处理	最大净光合速率 (Pn _{max} , μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	光补偿点 (LCP, μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	光饱和点 (LSP, μmol · m ⁻² · s ⁻¹)
T1	6.98 ± 0.36d	35.19 ± 2.77a	830.78 ± 5.77c
T2	7.39 ± 0.19c	34.27 ± 3.34a	1000.08 ± 6.35ab
T3	9.18 ± 0.10a	22.33 ± 1.03b	1145.12 ± 8.66a
T4	8.48 ± 0.04b	23.20 ± 1.96b	1150.37 ± 4.61a
T5	8.85 ± 0.13ab	19.89 ± 1.55b	955.42 ± 9.81b

注:表中数值为平均值 ± 标准误,同一列不同字母表示同一项目达到显著水平 (P < 0.05), 下同。

该处理下小麦光合特性最好, 表明其生长特性最好。

由表 3 中产量及水分利用效率结果可以看出, 滴灌和喷灌较传统漫灌的水文利用效率均有一定程度的提高, 其中滴灌的水分利用效率要明显高于喷灌, 由小麦产量可以看出, 滴灌的产量要显著高于喷灌和漫灌, 漫灌产量最低。由表 5 中的品质数据可以看出, T3 处理的作物硬度适中, 而其所含的干物质、可溶性固形物 TSS 含量、蔗糖含量及氨基酸含量均最高。综上所述, 在该灌溉中滴灌是使小麦最优生长的灌溉方式, 而 T3 处理是小麦最优灌溉方案。

表 5 不同处理品质测定情况

处理	硬度(kgf/cm ²)	可溶性固形物 TSS(%)	干物质(%)	蔗糖(μmol/mg)	氨基酸(μmol/mg)
T1	0.91 ± 0.04a	12.65 ± 0.04b	15.32 ± 0.78a	1.95 ± 0.07b	5.62 ± 0.18b
T2	1.14 ± 0.06a	13.25 ± 0.15a	16.31 ± 0.72a	2.32 ± 0.01ab	6.38 ± 1.26ab
T3	0.92 ± 0.04a	13.5 ± 0.00a	16.84 ± 0.50a	3.64 ± 0.88a	9.47 ± 1.14a
T4	0.86 ± 0.07a	13.6 ± 0.00a	16.12 ± 0.49a	2.90 ± 0.24ab	7.94 ± 0.70ab
CK	0.70 ± 0.02a	12.29 ± 0.11c	16.91 ± 0.70a	2.26 ± 0.08ab	8.22 ± 1.43ab

5 结论

本文基于 HYDRUS 水盐运移模型研究了灌区最优方案, 得出以下结论:

1) 不同处理下的土壤含水率在小麦整个生育期的变化趋势基本一致, 土层越深, 土壤含水率越高; 滴灌和喷灌均可在一定程度上降低土壤含盐量。

2) 喷灌和滴灌可有效提高土壤贮水量, 降低土壤含盐量, 同时可提高小麦光合速率、产量、品质及水分利用效率。

3) 在灌区内采用滴灌, 同时灌水量为越冬期、拔节期和灌浆期 3 次灌水, 开花期不灌水, 施肥采用基肥和拔节期施肥, 其余时期不施肥的施肥方案, 为灌区种植的最优灌溉管理方案。

参考文献:

[1] 赵宣, 韩霖昌, 王欢元, 等. 盐渍土改良技术研究进

展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(08):113-116.

[2] 邹小阳, 刘涛, 杨以翠, 等. 滴灌条件下土壤水盐运移特征及影响因素研究综述[J]. 现代农业科技, 2018, (22):192-195.

[3] 王志坤. 基于不同灌水模式下 HYDRUS 模型土壤水盐运移模拟研究[J]. 水利技术监督, 2018, (06):39-42+118.

[4] 王媛, 连盛喜, 李科, 等. 中国水资源现状分析与可持续发展对策研究[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(3):10-14.

[5] 杨堂坤, 孟楠. 节水灌溉工程现状浅析[J]. 水资源开发与管理, 2017, (08):55-57.

[6] Zhuang Y H, Zhang L, Li S S, et al. Effects and potential of water-saving irrigation for rice production in China [J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 217(20):374-382.

[7] Bresler E. *Saline and Sodic Soils: Principles - Dynamics - Modeling*[M]. New York:Springer-Verlag, 1980.

[8] 张永宏, 田生昌, 杨建国, 等. 灌溉方式对土壤水盐运移及油葵产量的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(18):71-75.

[9] 徐大为, 魏占民, 杨黎, 等. 滴灌葵花不同灌溉制度下土壤水盐运移规律[J]. 节水灌溉, 2018, (11):86-93.

[10] 潘延鑫, 罗纨, 贾忠华, 等. 基于 HYDRUS 模型的盐碱地土壤水盐运移模拟[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(01):135-142.

[11] 李合生. *植物生理生化试验原理与技术*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.