

运用 DrainMod 模拟淮涟灌区不同排水系统的作物产量

王亚妮, 李 磊, 程华进

(淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001)

摘要: 农田排水措施对促进作物生长、防御涝渍灾害有一定的积极作用。合理的排水系统布置是保证农作物正常生长的关键。本文采用以水平衡为原理的 DrainMod 模型模拟淮涟灌区不同排水系统布置的水稻和小麦产量, 结果显示水稻产量受排水深度的影响较明显, 小麦产量受排水间距布置影响较明显, 干旱是影响水稻产量的主要因素, 涝渍胁迫是影响小麦产量的主要因素。

关键词: DrainMod 模型; 排水系统; 作物产量; 小麦; 水稻

中图分类号: [TV93] **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 10-0068-05

Simulation on the crop yield of different drainage systems by DrainMod in Huailian Irrigation District

WANG Yani, LI Lei, CHENG Huajin

(Huai'an Surveying and Design Institute of Water Resource Co., Ltd, Huai'an 223001, Jiangsu)

Abstract: Farmland drainage measures have a positive effect on promoting crop growth and preventing waterlogging disasters. Reasonable drainage arrangement is the key to ensure the normal growth of crops. The rice and wheat yield of different drainage arrangement in Huailian Irrigation District were simulated by DrainMod model based on water balance principle. The results showed that the yield of rice was obviously affected by the drainage depth, while the yield of wheat was significantly affected by drainage spacing arrangement. Drought was the main factor affecting rice yield, just as waterlogging stress was the main factor affecting wheat yield.

Key words: DrainMod model; drainage system; crop yield; wheat; rice

1 综述

近年来, 我国平原河网地区涝渍灾害频繁出现, 局部地区出现旱灾现象较严重, 灾害造成粮食减产较明显。这说明适宜的农田土壤水分是作物产量的保障。涝渍灾害的治理措施主要为修建田间排水系统, 及时排出田间多余水分。合理的排水系统对土壤保持合理的水环境起着决定性作用。农田排水的主要目的是排除田间地表和地下多余的水分, 使得土壤有一个适宜的生长条件, 平衡土

壤中的水、肥、气、热等, 来满足作物生长所需的最佳环境^[1]。此外, 农田排水系统是输出农药、化肥等农业非点源污染物的主要通道。研究排水系统布置及管理对提高作物产量和保护生态环境具有重要的意义。

DrainMod 模型是美国北卡罗来纳州立大学教授 R.W.Skags 等^[2]人研发的基于田间尺度下模拟水文过程的软件, 是美国农业部推荐使用的农田排水模型, 经过不断地研究和开发, 该模型也不断发展更新, 同时得到广泛的应用。近年来, 众多

收稿日期: 2017-07-13

作者简介: 王亚妮 (1987-), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事农田水利工程建设工作。

学者开展了一系列运用 DrainMod 模型模拟田间水文过程的研究工作。罗纨等人^[3]运用 DrainMod 模型模拟宁夏银南灌区水稻田的排水过程,模拟值与实测值比较吻合,说明模型能够反映水稻田排水情况。温季等人^[4-5]运用 DrainMod 模型模拟淮北平原地区不同排水管间距下的小麦和棉花的产量,这是 DrainMod 模型在作物产量方面的重要尝试。目前国内运用 DrainMod 模型模拟水稻产量的研究较少。本文运用 DrainMod 模型对江苏省淮安市淮涟灌区农田不同排水系统布置下水稻和小麦产量的模拟,探究水稻和小麦产量受排水系统的影响以及对灌区现状排水系统的评估。

2 DrainMod 模型的基本原理

2.1 水平衡原理

DrainMod 模型是基于田间尺度的以土壤中水平衡为原理模拟不同排水系统布置下的农田排水过程,衡量田间地下水位、地表径流量、地下排水量、作物产量等学术软件。DrainMod 模型在模拟作物产量的同时也可统计作物在每个生育阶段的地下水埋深小于 0.3m 的累计超标水位(SEW30 指标)和作物受旱天数等。该模型为二维模型,饱和区为二维垂直向和侧向土壤水分运动,非饱和区为一维垂直向土壤水分运动,如图 1 所示。图 1 是 DrainMod 模型的水量平衡原理图,所考虑的要素包括:降水量(P),地表径流量(RO),作物蒸腾及地表蒸发量(ET),地下排水量(D),深层渗漏量(DS)。设排水沟(暗管)之间田块上、下边界土壤表面均为不透水层,田块的两边均为排水沟(暗管),则经过 Δt 时间的土壤剖面水平衡方程为:

$$\Delta V=D+ET+DS-F$$
 (1)

式中:

- ΔV—土壤中的水量变化, cm;
- D—水平方向的排水量, cm;
- ET—腾发量, cm;
- DS—深层渗漏量, cm;
- F—地表入渗量, cm。

时段 Δt 内地面水的平衡方程为:

$$P=F+S+RO$$
 (2)

式中:

- P—降水量, cm;
- ΔS—土壤表面的储水量变化, cm;
- RO—地表径流量, cm。

2.2 作物产量原理

DrainMod 模型能够反映出不同排水系统布置的农作物产量情况,模型通过累计计算作物各生育阶段地下水埋深小于 0.3 m 的超标水位(SEW30 指标)和作物受旱天数,计算出作物相对产量值。模型中作物相对产量主要受土壤水分过多(涝渍胁迫)、水分不足(干旱胁迫)及种植延迟的影响。作物相对产量模型表示为:

$$R_y = \frac{y}{y_0} = R_{yw} \cdot R_{yp} \cdot R_{yd}$$
 (3)

式中:

- R_y—作物相对产量;
- y₀—作物计算年份在正常生长条件下的最高产量;
- y—作物计算年份的实际产量;
- R_{yw}—只受涝渍胁迫的作物相对产量;
- R_{yp}—只是推迟种植日期时的作物相对产量;
- R_{yd}—只受干旱胁迫的作物相对产量。

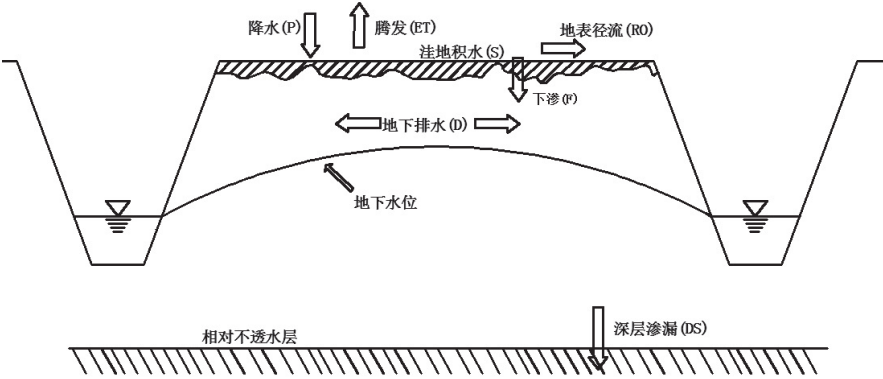


图 1 水平衡原理图

(1) 受涝渍胁迫的作物相对产量计算

$$R_{yw} = 109 \times 0.51 \times \left(\sum_{j=1}^n CS_{wj} \times (30 - X_i) \right) \quad (4)$$

式中:

CS_{wj} —第 j 天的涝渍敏感因子;

n —作物生长期的生长天数;

X_i —第 i 天的地下水埋深, cm。

(2) 受干旱胁迫的作物相对产量计算

$$R_{yd} = 100 \times 1.22 \times \left(\sum_{j=1}^n CS_{dj} \times \sum_{k=1}^m \left(1 - \frac{AET_k}{PET_k} \right) \right) \quad (5)$$

式中:

CS_{dj} —第 j 天生长期的干旱敏感因子;

n —作物生长期的生长天数;

AET_k —第 j 天生长期第 k 日的实际腾发量, cm/d;

PET_k —第 j 天生长期第 k 日的潜在腾发量, cm/d。

(3) 由于灌区不存在作物推迟种植情况, 因此, 模型参数输入时, 考虑作物种植天数对产量不产生任何影响。

3 灌区概况

3.1 灌区水文气象情况

淮涟灌区位于淮沭河以东、北六塘河以南, 盐河以北, 东张河以西, 北与宿迁市沭阳县、连云港市灌南县接壤, 东和涟水县的涟西灌区接壤。总控制面积 860 km^2 , 折合 8.6 万 hm^2 。二河(洪泽湖)为灌区的主要水源, 水质良好。灌区处于北亚热带和暖温带过渡气候区, 气候温和, 四季分明, 阳光充足, 雨量充沛。根据降雨量统计资料, 多年平均降雨量为 954.5 mm , 汛期平均降雨量 609 mm , 占全年降水量的 63% 。最大年降雨量 1313.5 mm (1956 年) 与最小年降雨量 577.4 mm (1978 年), 相差 736.1 mm 。降雨量年际变化大, 年内分配不均, 旱涝灾害多发, 一般每 4 年发生涝旱灾 1 次, 每 8 年发生大旱、大涝 1 次。

3.2 灌区排水系统布置

灌区排水系统主要分为田间毛沟、小沟、中沟、大沟。田间多余水由毛沟排入小沟, 再排入中沟, 最终汇集到大沟。其中中沟间距为 600 m 左右, 小沟间距为 200 m , 田间毛沟随责任田分布。排水系统布置如图 2 所示。

4 DrainMod 模型主要参数

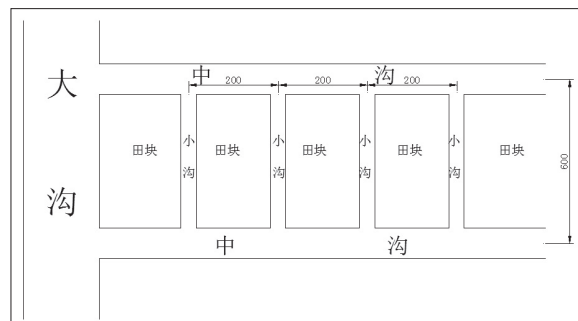


图 2 灌区排水系统布置示意图 (单位: m)

4.1 气象参数

模型输入的气象参数包括: 日最低气温, 日最高气温, 日降雨量, 日潜在腾发量。其中, 最高、最低气温和降雨量直接由气象站观测, 潜在腾发量根据 Penman-Monteith 公式计算所得, 公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)} \quad (6)$$

式中:

ET_0 —潜在腾发量, mm/d;

R_n —作物表层净辐射量, $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$;

G —土壤热通量, $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$;

T —日气温, $^{\circ}\text{C}$;

μ_2 —风速, m/s ;

e_s —饱和蒸汽压, kPa ;

e_a —实际水蒸汽压, kPa ;

Δ —蒸汽压力曲线, $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$;

γ —温度计算常数, $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 土壤参数

模型输入的土壤参数包括: 饱和状态水力传导系数, 土壤水分特征曲线, 土壤入渗参数, 不透水层深。主要土壤输入参数见表 1。

4.3 灌溉参数

灌溉输入参数主要包括: 灌溉日期, 灌溉周期, 每小时的灌水量。根据灌区实际灌水情况及模型参数输入要求, 水稻灌溉制度为: 灌水周期为 4 d, 灌水率为 $1.7 \text{ cm}/\text{h}$, 日灌水时间为早 8 点到晚 10 点, 全生育期灌水次数为 10 次。

4.4 排水参数

模型输入的排水参数主要包括地下排水参数和地表排水参数 2 个部分。地下排水参数包括: 排水沟深度、间距、排水沟折合有效半径、排水模数、不透水层深度、侧向饱和和导水率; 地表排水参数以地面平整程度为主。具体见表 2。

表 1 模型主要选用的土壤参数

参数类型	参数	取值						
土壤水分特征曲线	负压力 (cm)	0	-8	-92	-222	-940	-2250	-7030
	含水率 (cm ³ /cm ³)	0.36	0.29	0.26	0.22	0.14	0.12	0.09
土壤排水能力	水位埋深 (cm)	0	15	25	35	45	75	90
	排水量 (cm)	0	0.58	1.04	1.21	1.52	3.51	5.18
土壤蒸发能力	水位埋深 (cm)	0	15	25	35	45	75	90
	潜水上通量 (cm/h)	0.5	0.03	0.02	0.015	0.012	0.004	0.002
	水位埋深 (cm)	0	10	20	40	80	100	150
Green-Ampt 入渗	A (cm ² /h)	0	0.13	0.14	0.08	0.09	0.1	0.1
	B (cm ² /h)	2.08	2.08	2.08	1.14	1.14	1.14	1.14

表 2 模型主要选用的排水系统参数

参数	取值	参数	取值
排水沟深 (m)	0.5、0.8、1.2	排水模数 (cm/d)	1.13
排水沟间距 (m)	50、100、200	田埂高度, Sm (cm)	10
排水沟有效排水半径 (cm)	1.5	田面积水深度, Si (cm)	1
不透水层 (cm)	350	侧向饱和导水率 (cm/h)	2.06

4.5 作物参数

模型输入的作物参数包括: 作物种植日期、收获日期, 生育期内作物有效根深与时间的关系。见表 3。

同一排水间距下, 水稻产量随排水深度的增大而增加, 排水深度 1.2 m 比深度 0.5 m 的相对产量增加 28% 左右。说明, 水稻产量受排水间距布置影响较小, 受排水深度的影响较明显。

表 3 模型中输入的作物根系深度随时间的变化

参数类型	参数	选取值							
水稻根系深度变化	日期	6-15	7-10	8-10	8-25	9-10	9-20	10-10	10-15
	根深 (cm)	4	15	25	30	30	30	20	3
小麦根系深度变化	日期	10-25	11-10	12-25	2-15	3-20	4-25	5-20	6-10
	根深 (cm)	3	5	10	20	30	29	20	3

5 模拟结果及讨论

5.1 水稻的模拟结果

运用 DrainMod 模型模拟排水沟间距为 50 m、90 m、120 m、200 m、300 m, 排水深度为 0.5 m、0.9 m、1.2 m 时水稻产量的变化情况, 变化趋势如图 3 所示。图 3 显示, 同一排水深度下, 水稻产量随排水间距的增大而减小, 排水间距 50 m 比排水间距 300 m 的水稻相对产量高 12%, 减小幅度不明显。

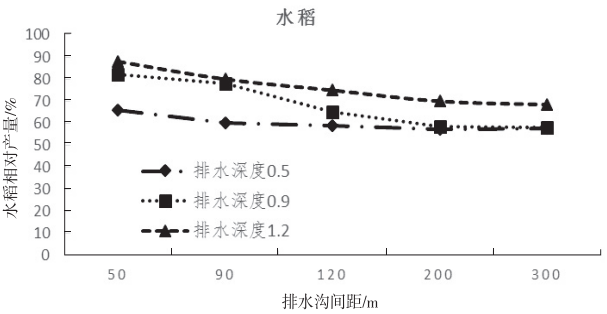


图 3 不同排水系统布置的水稻相对产量

运用模型模拟 2000 ~ 2014 年间灌区现状排水系统(排水间距 200 m, 排水深度 1 m)下水稻相对产量受降雨量的影响, 如图 4 所示。从图中可以看出, 水稻产量随降雨量的增加而增加, 2001 年降雨量为 124 cm, 水稻的相对产量为 88.9%, 2005 年的降雨量为 88.2 cm, 水稻的相对产量仅为 58.3%。干旱是影响水稻产量的主要因素, 水稻产量受涝渍胁迫影响较小。

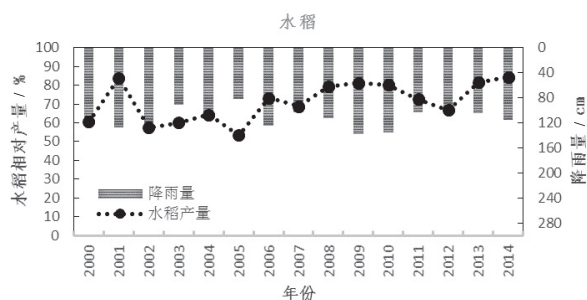


图4 灌区现状排水系统下水稻产量与降雨量的关系

5.2 小麦的模拟结果

模拟排水沟间距为 50 m、90 m、120 m、200 m、300 m, 排水深度为 0.5 m、0.9 m、1.2 m 时小麦产量的变化情况, 变化趋势如图 5 所示。图 5 显示, 同一排水深度下, 小麦产量随排水间距的增大而减小, 排水间距 50 m 比排水间距 300 m 的小麦相对产量高 28%, 变化幅度较明显。同一排水间距下, 小麦产量随排水深度的增加而增加, 排水深度 1.2 m 比深度 0.5 m 的相对产量增加 11% 左右, 增加幅度不明显。说明, 小麦产量受排水间距布置影响较明显, 受排水深度的影响较小。

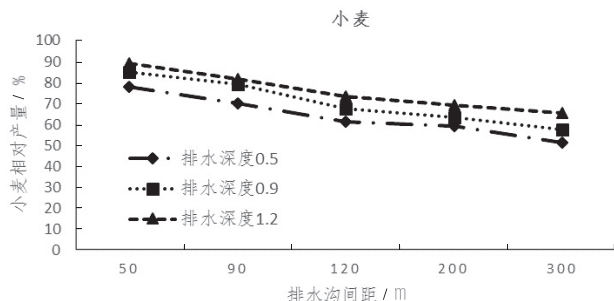


图5 不同排水系统布置的小麦相对产量

图 6 显示, 小麦产量随降雨量的增加而减小, 2001 年降雨量为 124 cm, 小麦的相对产量为 61.2%, 2012 年的降雨量为 97.6 cm, 小麦的相对产量仅为 89.6%。对小麦来说, 涝渍胁迫是影响其产量的主要因素, 受干旱胁迫影响较小。

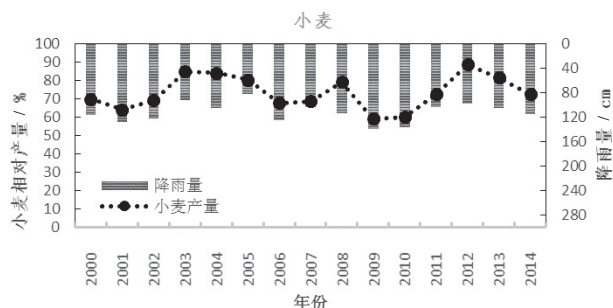


图6 灌区现状排水系统下小麦产量与降雨量的关系

5.3 结论与讨论

本文基于粮食产量讨论淮涟灌区排水系统布置情况, 寻求合理的排水系统。以作物产量为目标, 运用 DrainMod 模型模拟不同排水沟间距及不同排水深度下小麦和水稻的相对产量。结果显示, 水稻产量受排水间距布置影响较小, 受排水深度的影响较明显; 小麦产量受排水间距布置影响较明显, 受排水深度的影响较小。分析作物产量与降雨量关系, 干旱是影响水稻产量的主要因素, 涝渍胁迫是影响小麦产量的主要因素。

实际勘测和调查结果显示淮涟灌区现状排水沟间距为 200 m 左右, 排水深度为 1 m 左右。根据模型模拟结果, 项目区现状排水系统(间距 200 m, 深度 1 m)下水稻相对产量为 78%, 小麦相对产量为 82%。说明灌区现有的田间排水系统布置基本满足农业生产需求。建议在现有基础上对排水系统稍微调整, 产量会有所增加。

参考文献:

- [1] 赵家良, 尹晓蕾, 王兵. 淮北农田排灌与非工程节水技术探讨[J]. 地下水, 2006, 28(1): 56-58.
- [2] Skaggs R W. A Water management model for shallow water table soils[M]. University of North Carolina Water Resource. Res. Inst. Tech. Rep, 1978.
- [3] 罗纨, 贾忠华, R W Skaggs, 等. 利用 DRAINMOD 模型模拟银南灌区稻田排水过程[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 53-57.
- [4] 温季, 宰松梅, 郭树龙, 等. 利用 DRAINMOD 模型模拟不同排水管间距下的作物产量[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 53-57.
- [5] 韦松婷, 胡铁松. 利用 DRAINMOD 模型模拟水田旱地排水径流过程[J]. 水电能源科学, 2013, (06): 159-162+211.

(责任编辑: 王宏伟)