

AquaCrop 模型在大葱生物量和土壤贮水量模拟中的应用和验证

李子忠¹ 徐洋¹ 卢宪菊¹ 胡克林¹ 江丽华² 徐钰²

(1. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193;

2. 山东省农业科学院 土壤肥料研究所, 济南 250100)

摘要 为评估 AquaCrop 模型在华北平原模拟大葱生长和农田水分的适用性,本研究利用实测的农民施肥方式的一个小区和增施氮肥处理的土壤水分、作物生长和产量数据,结合气象资料,获得了 AquaCrop 模型模拟大葱生长和土壤水分的模型参数,并利用实测的农民施肥方式的另外一个小区、减施氮肥、优化施氮和秸秆还田处理的土壤贮水量和生物量数据进行了模型验证。结果表明:在无水分胁迫条件下 AquaCrop 模型对大葱土壤贮水量及生物量的模拟结果是可以接受的。对土壤贮水量实测值与模拟值的 RMSE 为 19.4~24.9 mm 之间,相对误差为 3.9%~12.4%;大葱生物量实测值与模拟值的 RMSE 为 0.31~0.73 t/hm²,相对误差为 5.8%~12.8%。

关键词 大葱; 土壤水分; AquaCrop 模型; 参数化; 验证

中图分类号 S 126;S 633.1

文章编号 1007-4333(2011)04-0059-08

文献标志码 A

Evaluation of the AquaCrop model for simulating biomass for Chinese green onion and soil water storage

LI Zi-zhong¹, XU Yang¹, LU Xian-ju¹, HU Ke-lin¹, JIANG Li-hua², XU Yu²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Soil and Fertilizer Institution, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract The objective of this study was to evaluate the AquaCrop model for Chinese green onion for simulating the growth and soil water storage in North China Plain. AquaCrop model for Chinese green onion was parameterized using soil water data, crop growth and yield data from one plot of Farmer Practice and Heavy Nitrogen Application treatments and the weather data, and tested using data from another plot of Farmer Practice, reduced nitrogen application, optimized nitrogen application and straw returning treatments in 2009. The results showed that AquaCrop model simulated accurately the soil water storage and biomass without water stress condition. The RMSE between the simulated soil water storage values and measurements was 19.4 – 24.9 mm, the relative error 3.9% – 12.4%. The RMSE between the simulated biomass values and measurements was 0.31 – 0.73 t/hm², the relative error 5.8% – 12.8%.

Key words Chinese green onion; soil water; AquaCrop model; parameterization; evaluation

我国大葱种植历史长达 3 000 余年^[1]。山东省章丘市是我国长白型大葱的主产区之一,历来以大葱的品质优良和口感清脆闻名于世^[2]。目前,大葱的收益已成为章丘农民经济来源的重要组成部分。在章丘地区传统种植方式下,大葱栽培过程中不仅氮肥施用量过大,而且灌溉量偏高,水肥配比不合理,进而导致水分渗漏、土体硝态氮淋洗严重^[3],造

成水资源与肥料浪费和环境污染^[4-5],不易于增产创收。土壤含水率及运移情况是影响土体硝态氮含量及运移规律的重要因素,因此如何制定最优化的水肥管理措施成为关注的焦点。当前,农业研究中结合作物生长模型探讨大葱生育期内生理变化特点、水肥利用率成为优化田间管理的良好途径;然而,针对大葱特点利用模型研究的报道还较少。

收稿日期: 2010-12-31

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助(200803036)

第一作者: 李子忠, 副教授, 博士, 主要从事农业水土资源利用和土壤物理学研究, E-mail: zizhong@cau.edu.cn

作物模型根据驱动因子不同可分为碳驱动、辐射驱动和水分驱动3类^[6-7]。碳驱动模型的结构最复杂且需要的参数较多,如温度、辐射和大气CO₂含量等并会受到水分的限制;辐射驱动模型在碳驱动模型的基础上有了进一步的发展,可以通过一个简单的转换系数直接获得太阳辐射参数进行模拟;而水分驱动模型以另一种模拟方式,通过作物水分利用率与生物生产量呈线性关系达到模拟目的。与前2种作物模型相比,水分驱动模型结构简单且需要参数较少,在时间与空间上的实用性较大,可操作性均较强,更适用于研究精度相对较低的大田试验^[6,8-10]。AquaCrop是联合国粮农组织(FAO)最新研究提出的关于作物生长的水分驱动模型,通过水分生产率参数经过运算转化成作物生物量等,用冠层覆盖率代替原始模型中的叶面积指数(LAI),使得模型选取参数更简便、直观^[6,10-11]。AquaCrop模型将作物冠层生长率作为基础参数,计算了实际蒸腾量(T),然后利用计算的实际蒸发蒸腾量(W_{ET}),计算出土面蒸发量(E),实现了 E 和 T 的分离,从而保证了作物生物量的计算只与作物蒸腾量有关^[12]。AquaCrop是FAO通过在大量试验的基础上提出的准确性高、简捷易操作和计算模块健全的作物模型,建议可以广泛使用^[6]。国外很多学者在玉米、高粱^[13]和藜麦^[14]等作物管理中都运用此模型进行研究。

本研究利用不同施肥处理下大葱的田间试验数据,验证AquaCrop模型在华北平原模拟大葱生长和水分利用的适用性,为节省农业资源、减轻农业环境污染提供工具,同时为今后将作物生长模型对农田大葱的应用及研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 AquaCrop模型简介

AquaCrop属于水分驱动型模型,通过水分生产率(f_{WP})参数经过运算转化成作物生物量(B)等^[11]。

B 的计算基于水分生产力函数(f_{WP} ,单位蒸腾量产生的生物量),即

$$B = f_{WP} \times \sum T \quad (1)$$

其中, B 为单位面积的生物量(g/m^2), T 为作物蒸

腾(mm), f_{WP} 为作物蒸腾消耗的单位水量所产生单位面积的生物量($g/(m^2 \cdot mm)$)或者作物消耗的单位体积的水量所产生生物量的质量(kg/m^3)。为获得不受水分胁迫或者气象条件限制的水分生产力函数,可以应用气象参数对 f_{WP} 进行标准化,得到标准化的水分生产率(f_{WP}^*), f_{WP}^* 为仅与作物种类有关的恒定参数:

$$f_{WP}^* = B / \sum (T/W_{ET_0}) \quad (2)$$

f_{WP}^* 即为单位面积产生的干物质量(g/m^2), W_{ET_0} 为参考作物蒸散量(mm),通过FAO-Monteith等式计算^[15]。因而,每一天的生物量 B_i 有下面的等式:

$$B_i = f_{WP}^* \times (T_i/W_{ET_0,i}) \quad (3)$$

关于作物蒸腾 T 的计算,AquaCrop采用如下的等式:

$$T = K_{s_{sto}} \cdot T_x \quad (4)$$

$$T_x = K_{cb} \cdot W_{ET_0} \quad (5)$$

$$K_{cb} = f_{CC} \cdot K_{cbx} \quad (6)$$

其中, T_x 为作物潜在蒸腾(mm), $K_{s_{sto}}$ 为气孔关闭系数, K_{cb} 为作物蒸腾系数, K_{cbx} 为作物冠层覆盖为1时的作物系数,数值上与Allen等^[15]描述的基本作物系数相等。 f_{CC} 为作物冠层覆盖度。 $K_{s_{sto}}$ 受土壤有效含水量(W_{ASW})的影响,在0~1之间变化,当 $W_{ASW}=0$ 时, $K_{s_{sto}}=0$,当 W_{ASW} 达到一个上限($P_{upper}^* W_{TAW}$)时, $K_{s_{sto}}=1$ 。当 $0 < W_{ASW} < P_{upper}^* W_{TAW}$ 时,胁迫系数可由下式进行计算:

$$K_s = 1 - \frac{e^{D_{rel} \times f_{shape}} - 1}{e^{f_{shape}} - 1} \quad (7)$$

其中, D_{rel} 为相对水分亏缺 [$D_{rel} = (W_{TAW} - W_{ASW}) / W_{TAW}$], f_{shape} 为形状因子。

关于土面蒸发(E)的计算,AquaCrop采用如下的等式:

$$E = K_r \cdot E_x \quad (8)$$

$$E_x = K_e \cdot W_{ET_0} \quad (9)$$

$$K_e = (1 - f_{CC}) \cdot K_{ex} \quad (10)$$

其中, E_x 为不受水分胁迫时的土面蒸发(mm), K_r 为蒸发降低系数, K_e 为土面蒸发系数, K_{ex} 为土面潜在蒸发系数。 K_r 受土壤含水量的影响,在0~1之间变化,当土壤含水量处于风干含水量时, $K_r=0$,当土壤含水量到达FC时, $K_r=1$ 。具体的 K_r 可由下式进行计算:

$$K_r = \frac{e^{W_{rel} \times f_K} - 1}{e^{f_K} - 1} \quad (11)$$

其中, W_{rel} 为相对水分含量, f_K 为降低因子。

关于作物冠层覆盖度(f_{cc})的计算,是基于初始冠层大小(f_{cc_0})的指数函数:

$$f_{cc} = f_{cc_0} \cdot e^{K_{CGC} \cdot t} \quad (12)$$

其中, K_{CGC} 为冠层生长系数, f_{cc_0} 可以由种植密度进行估算。作物生长后期,当作物冠层生长到一定程度后,开始逐渐降低,此时有下面的公式:

$$f_{cc} = f_{cc_x} - (f_{cc_x} - f_{cc_0}) \cdot e^{-K_{CGC} \cdot t} \quad (13)$$

其中, f_{cc_x} 为作物最大冠层覆盖度。当作物处于水分胁迫条件时,相应的冠层生长系数受土壤有效含水量 W_{ASW} 的影响,可由下式进行计算:

$$f_{CGC'} = K_{S_{exp}} \times f_{CGC} \quad (14)$$

其中, $K_{S_{exp}}$ 为冠层胁迫系数,在 0~1 之间变化,当

W_{ASW} 处于一个下限($P_{lower} \cdot W_{TAW}$)时, $K_{S_{exp}} = 0$, 当 W_{ASW} 达到一个上限($P_{upper} \cdot W_{TAW}$)时, $K_{S_{exp}} = 1$ 。具体的计算方法同公式(7)。

关于土壤水分的模拟,采用农田土壤水分平衡,有关模型参数的调整及模型的具体应用等问题可以参见 Steduto 等^[6]、Hsiao 等^[10]和 Raes 等^[11]。

1.2 田间试验

1.2.1 试验地点

试验地点位于山东省章丘市宁家埠镇徐家村小麦-大葱轮作试验田(东经 117°27', 北纬 36°49', 海拔 22.8 m),属暖温带季风区的大陆性气候,年平均降水量 600.8 mm,相对湿度 65%,无霜期 192 d,年均日照时数 2 464.6 h,年均气温 12.8 °C,地下水埋深 1.5~2.0 m。土壤类型为潮褐土,具体土壤理化性质见表 1、2。

表 1 试验地土壤基本化学性质

Table 1 Primary soil chemical properties

土层/cm	有机质/(g/kg)	全氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	pH	电导率/(dS/cm)
0~35	16.58	880.17	16.88	85.47	8.10	0.18
35~55	9.88	575.86	5.83	78.77	8.22	0.18
55~110	7.12	482.88	2.12	101.54	8.06	0.19
110~150	6.05	416.64	0.75	101.54	8.04	0.19

表 2 试验地土壤基本物理性质

Table 2 Primary soil physical properties

土层/cm	容重/(g/cm ³)	黏粒/%	粉粒/%	砂粒/%	质地(美国制)	饱和导水率/(cm/d)	田间持水量/(m ³ /m ³)	萎蔫含水量/(m ³ /m ³)
0~35	1.38	25	54	21	粉质黏壤土	22.83	0.329	0.174
35~55	1.52	28	56	26	粉质黏壤土	3.27	0.366	0.210
55~110	1.57	35	21	46	砂质黏壤土	14.67	0.346	0.188
110~150	1.58	33	6	61	砂质黏壤土	8.62	0.394	0.232

1.2.2 试验处理

前茬为冬小麦,品种为‘济麦 22’,供试大葱为优良品种‘大梧桐’。试验从 2009 年 6 月 23 日大葱定植开始至 2009 年 11 月 24 日大葱收获为止。试验共设 5 个施肥处理,3 次重复,施肥管理按照大葱缓苗越冬期、旺盛生长期、假茎充实期和成熟期分 3 次进行,具体方案:1)农民习惯施肥处理(FP);2)优

化施肥处理,有机肥+优化化肥(OPT);3)减量施氮处理,有机肥+优化减氮 50%(-N);4)增量施氮处理,有机肥+优化增氮 50%(+N);5)秸秆还田处理,小麦秸秆堆沤还田+优化施肥(C/N)。

每个小区面积为 3 m×9 m,各小区之间筑有混凝土隔层防止水分侧渗,每组施肥处理的行间距 2 m,设有径流收集沟。各小区中按照试验需要安

表3 施肥处理表

Table 3 Treatment of fertilization

kg/hm²

试验处理	基肥			08-06			09-03			10-13		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
FP	59	150	30	30	75	30	193	60	60	112	0	30
OPT	23	60	75	23	60	75	137	0	75	97	0	0
-N	23	60	75	23	60	75	117	0	75	47	0	0
+N	23	60	75	54	60	75	222	0	75	111	0	0
C/N	23	60	75	23	60	75	137	0	75	97	0	0

装了部分测试仪器,定期维护。

1.2.3 测定项目和方法

1)气象资料。作物生育期内每日平均气温、最高气温、最低气温、风速、日照时数、辐射和相对湿度等资料,均从当地气象部门获取;试验期间降雨量用雨量筒测定。

2)土壤资料。在试验期间,对典型土壤的各层次进行剖面描述,测定各层容重、机械组成、质地、饱和导水率、有机质含量、全氮、速效磷、速效钾、pH及电导率等。其中,土壤容重是采用环刀取样法,即将容重环刀中的原状土放入105℃烘箱中烘24h至恒重,称重并计算单位体积烘干土样的重量。土壤粒径分析采用吸管法。土壤质地描述按照美国制分类法,黏粒(<0.002mm),粉粒(0.002~0.05mm),砂粒(0.05~2.00mm)。土壤饱和导水率采用定水头法。土壤水分特征曲线的测定中,低吸力(0、5、10、30、40、60和80hPa)用沙箱法测定,高吸力(100、300、500、1000、3000、5000和15000hPa)用压力板法测定。萎蔫含水量和田间持水量分别为15000和3000hPa土壤水吸力下的体积含水量^[16]。大葱生育期内土壤体积分含水量的测定是,前期用土钻法取土,烘干法测定0~15、15~30、30~60、60~90和90~120cm的土壤质量含水量后换算成体积含水量,每月测定3次;后期用时域反射仪Trime(IPH)测定同样土层的体积含水量,每周测定1次。

3)作物资料。对大葱生长过程的观测从2009年6月23日定植开始,在缓苗越夏期、旺盛生长期、假茎充实期和成熟期,定期测定生长及生理指标,至2009年11月24日收获。生物量测定是在生育期内每隔一个月对大葱的鲜重与干重进行测定,在每个小区内随机截取1m长的样段,取大葱样品用

1%天平测定鲜重;鲜重测定之后的植株样品进行烘干,1%天平测得重量即为干重,每月测定一次。种植密度是,随机截取田间1m长的样段测定。大葱产量的测定是,于2009年11月24日大葱收获,每个小区随机取4.5m²面积内的大葱,收获测产。

4)田间管理。定期除草及喷施农药等。

1.2.4 AquaCrop的参数获取

目前,对大葱的农田水氮模拟报道较少,这促使选定参数时缺少经验借鉴,只能进行初步探索。本试验不设置水分处理,所有小区均属充分供水;从5个施肥处理中选取FP₂(FP处理的一个小区)和+N对AquaCrop进行参数化,并用FP₃(FP处理的一个不同于FP₂的小区)、-N、OPT和C/N对既定参数进行验证。

2 结果与分析

2.1 模型参数的确定

全部小区均供水充足,不涉及水分胁迫限制,故不考虑水分影响因子。在模型运行中主要通过不同处理施肥的调控来达到预期的目的。模型需要的数据分为三类:1)经过数据收集整理,直接建成文档嵌入模型;2)经过田间观测即可确定的数据;3)田间无法得到的数据,需要经过估算、运行,达到与实际值相符。

经过收集整理,嵌入模型做基本资料的数据包括:气象数据(降雨量、CO₂浓度、W_{ET0}和温度);灌溉数据(灌溉时间及总量);土壤数据(剖面层次、田间持水量、萎蔫含水量、饱和含水量、饱和导水率等);初始资料(所测小区不同层次土壤体积分含水量、粒径分析)。

另一部分经过测定可以获得的数据各小区因地势、基础条件等差异略有不同,在模拟中会进行微调

整;由大葱的垄沟种植方式,考虑到起垄部分会对土面蒸发及土壤与植物对水分利用造成的影响,故将起垄部分考虑作为覆膜形式考虑以减小模拟中的误差。在 AquaCrop 中还会用到一个重要的参数 f_{WP}^* ,它是作物地上部分生物量与累积标准蒸散量的斜率。模型中认为,C3 作物的 f_{WP}^* 值一般在 13~18 g/m² 之间,C4 作物一般在 26~30 g/m² 之间, f_{WP}^* 对于某种特定作物来说是一个定值^[11]。大葱是 C3 作物,在模拟过程中通过对给定区间参数的逐一调试,找出与实测值最相符的 f_{WP}^* 值为 15 g/m²。

最后一部分数据是不能直接测定得到的,要通过经验或从大量实验数据中总结获得。大葱试验由于没有模型运算的基础,缺乏基础数据所以只能采用估计的方式取得冠层覆盖率(CC),它作为模型中

非常重要的参数,将叶面积指数等作用结合于一体变得更直观简单,使用者甚至可以用眼睛观测实际值,输入模型测定^[6]。观测到冠层覆盖最大值为 50%左右。不同施肥处理中,除秸秆还田的产量较高外,其它不同施肥并没有显示出产量的明显差异,而高肥力供给与空白处理之间也没有明显区别。这说明了:第一、施肥处理没有把握住大葱生长所需肥力范围,没显示出预期的差异效果;第二、各不同施肥处理下,养分随着大量水分流失,作物根际区剩余养分含量相差不大,没有在试验中对不同小区形成土壤肥效的差异。这也为参数的挑选提供了条件。

AquaCrop 模型中选用的各类参数及获得的来源,列于表 4。

表 4 AquaCrop 模型参数列表
Table 4 Parameters of AquaCrop

输入参数	参数取值或具体数据类型	来源
气象资料	W_{ET0} 、CO ₂ 浓度、日平均温度、湿度和降雨分布	m
土壤资料	剖面层次性质、水动力学参数和初始含水量	m
田间管理资料	灌溉量分布和施肥情况	m
GPS(单株覆盖度)	25 cm ² /株	m
PD(植株密度)	40 株/m ²	m
GD(生长时间)	154 d	m
f_{CC0} (初始冠层覆盖度)	10%	o
f_{CCmax} (最大冠层覆盖度)	48%~50%	o
$C_{Mulches}$ (田间覆膜率)	50%	e
K_{cb} (作物潜在蒸腾系数)	0.95	e
f_{WP}^* (标准化水分生产率)	15 g/m ²	e

注:m 表示实测值,o 表示观测值,e 表示估计值。

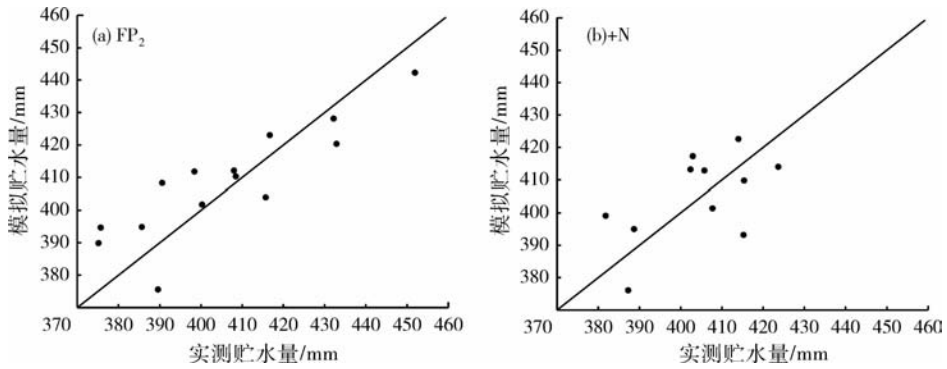
2.2 模型的验证

2.2.1 模拟土壤水分的交叉验证

调试参数的施肥处理分别为 FP₂ 和 +N,对土壤 0~120 cm 贮水量与生物量的模拟图如图 1。

AquaCrop 模型的主导因素是水分,而贮水量也是需要获得的重要结果,也是判断模型是否能够应用的关键。所有含水量的模拟都基于土壤初始含水量和气象资料。在 2009 年 6 月至 11 月间,土壤贮水量实测值与模拟值对比(图 1),在 FP₂ 处理中, RMSE 平均为 23.7 mm,相对误差 R 为 2.4%;对于

+N 处理, RMSE 平均为 18.5 mm,相对误差 R 为 2.8%。试验后期的 2 次实测贮水量值高于模拟值,是因为忽然降雪的原因,导致积雪层没有融化,使大量水分停留于土层中,而模型中没有降雪量换算成水分含量的运算方式,只能人工将降雪转换成水分数据输入,而人工输入的转换数据等于一次性注入农田的水分,实际中积雪慢慢融化会每一天渗入土层一部分,这也是导致比较差异的重要原因。模拟结果虽然不是十分完美,但基于大田试验的变异性较大,结果还是可以接受的。



FP₂ 为农民习惯施肥处理; +N 为增量施氮处理。下同。

图 1 土壤贮水量实测值与模拟值的对比

Fig. 1 Measured and simulated soil water storage (0~120 cm) under two treatments

2.2.2 模拟大葱地上部生物量的交叉验证

试验期间大葱地上部分生物量的实测值与模拟值对比中(图 2), FP₂ 与 +N 处理小区中模拟值与实测值对比效果较好, 2 个处理的 RMSE 分别为 0.31 和 0.47 t/hm², 相对误差 R 分别为 10.0% 和

17.1%; 其中, FP₂ 处理的实测值比模拟值低大约 16%, +N 处理的实测值比模拟值低大约 12%。模拟结果跟实测值有一定差异, 可能是实测的大葱生物量次数较少并且定植时葱苗大小不同而造成的误差, 但差异不大结果可以接受。

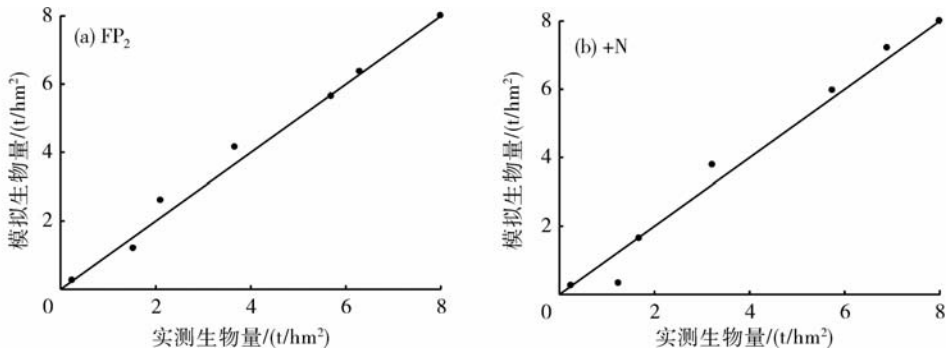


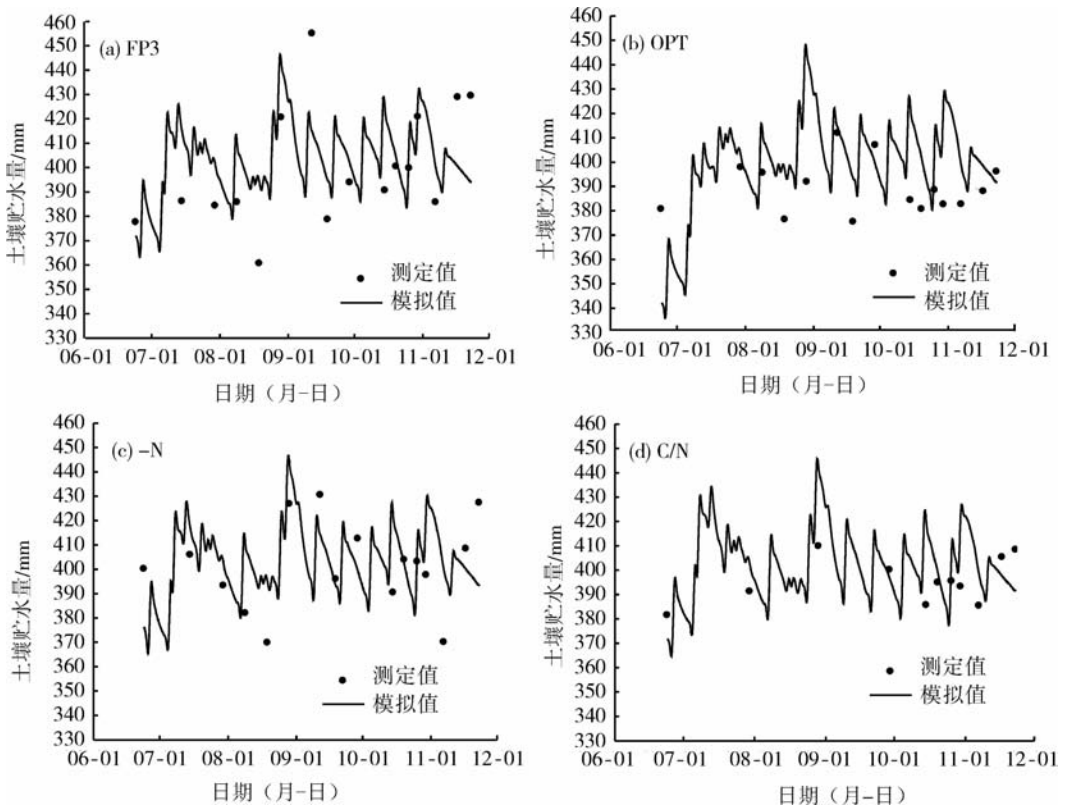
图 2 地上部生物量的实测值与模拟值对比图

Fig. 2 Measured and simulated aboveground biomass under two treatments

2.2.3 模型的验证

通过选取的参数对 2 种施肥处理的验证, 得出结果可以接受。大葱生育期贮水量没有明显波动变化, 因为田间没有设置水分处理, 所有小区基本处于接近水分饱和状态; 而生育期内地上部生物量随时间成直线上升趋势, 模拟中个别时段出现一定误差, 是因为移栽大葱时, 各小区葱苗品质不同, 同样处理小区各重复之间葱的高度、茎粗等差异较明显, 葱苗基础值不同; 同时农民对种植密度的把握也不十分准确, 也会导致一定的误差。总体来看选取的参数可以应用于 AquaCrop 模型对大葱的模拟中。

1) 土壤水分动态。选定施肥处理 FP₃、OPT、-N 和 C/N 对模型参数进行验证。模拟大葱农田土壤 0~120 cm 贮水量时, FP₃ 与 OPT 施肥处理中出现模拟值较实测值偏高的现象, FP₃ 处理中前期实测值低于模拟值约 4%~5%, 后期实测值高于模拟值约 10% 左右, RMSE 为 23.4 mm, 相对误差 R 为 5.1%; OPT 处理中整体实测值低于模拟值 6%~7% 左右, RMSE 为 24.9 mm, 相对误差 R 为 12.4%; -N 处理与 C/N 处理的模拟效果相对较好, RMES 分别为 20.7 和 19.1 mm, 相对误差 R 分别为 4.6% 和 3.9% (图 3)。



OPT 为优化施肥处理; -N 为减量施氮处理; C/N 秸秆还田处理。下同。

图 3 土壤贮水量(0~120 cm)实测值与模拟值对比图

Fig. 3 Measured and simulated soil water storage (0-120 cm) under four treatments

2) 大葱地上部生物量动态变化。由于 AquaCrop 模型主要结合水分的影响因素来模拟生物量,大葱田间供水充足,所有处理都不涉及水分胁迫的影响,因此对于生物量的模拟较好,但各处理中 2009 年 7 月底的实测值高于模拟值。其中,FP₃、OPT、-N 和 C/N 处理在 2009 年 7 月 30 日的实测值分别高于模拟值的 21%、67%、68% 和 73%,虽然模型对这一时期的模拟效果差异较大,但其他时期模拟效果较好,且生物量发展趋势表现一致(图 4)。FP₃、OPT、-N 和 C/N 4 个处理的 RMSE 分别为: 0.51、0.52、0.55 和 0.73 t/hm²,相对误差 R 分别为 6.8%、5.8%、8.0% 和 12.8%。对于 C/N 处理中,模拟生物量与实际测定生物量误差较大,可能是因为秸秆还田处理下,土壤结构与养分含量发生了一定的变化,促进土壤团粒结构形成,增强了土壤的水库容与氮库容能力,为微生物作用提供了适宜的生存环境,控制肥效释放速率,增加作物对肥料的利用率。

3 讨论

将 AquaCrop 作物水分生长模型首次在大葱上进行应用,得出模拟结果与实测值的拟合程度还有一定误差,但可以接受。正如 Sinclair 和 Seligman^[17]指出,没有一个作物模型是通用的,在今后的工作中,还需要针对 2009 年试验期间没有完全掌握或把握不够准确的作物参数进行测定、校准,并增加田间实地检测数据的频率,在更加充分地掌握各类数据资料之后,完善模型在大葱生长上的应用。另外,从试验数据可知,0~120 cm 土体土壤贮水量的变化范围为 350 到 450 mm 之间,相当于田间持水量(418 mm)的 84%~107%,作物没有受到水分胁迫。因此,该模型在无水分胁迫下得到了验证,如果考虑大葱生长季往往处于雨季和农民的灌溉实际,该研究结果在章丘大葱水分有关管理方面仍然具有一定的应用价值。当然,如果有不同土壤水分水平的验证结果,则对模型的评价更加全面。这也是需要在后续试验工作要考虑的,希望通过设

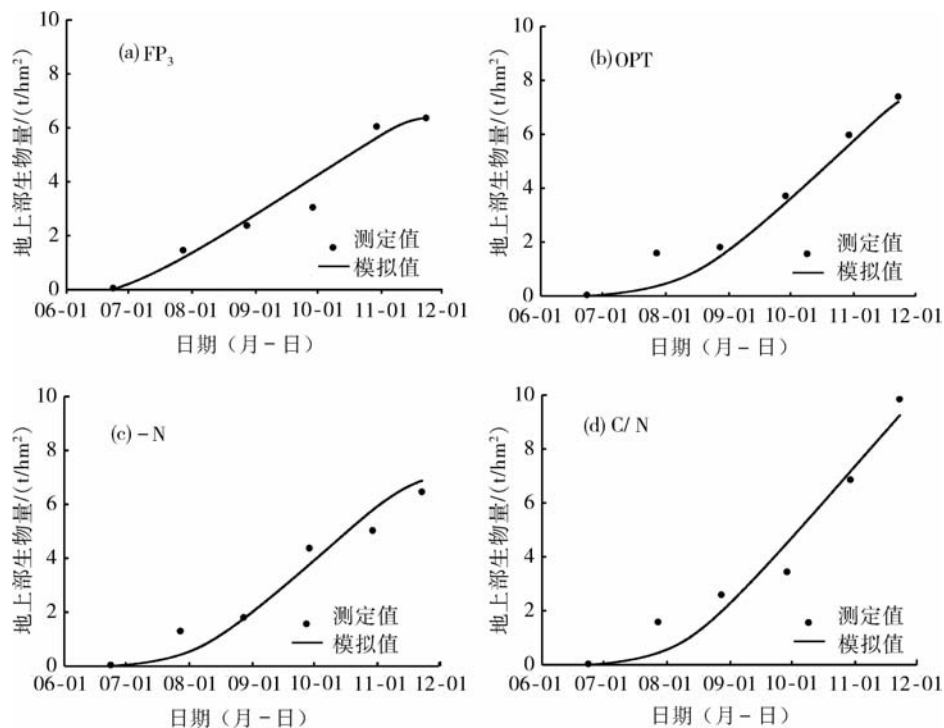


图4 地上部生物量实测值与模拟值对比图

Fig. 4 Measured and simulated aboveground biomass under four treatments

定不同灌溉处理获得具有不同水分胁迫水平的结果,从而更好地对模型的适用性进行评估,当前的结果还是有条件的。

参 考 文 献

- [1] 杨莉,朱君华,加米娜,等.无公害大葱高产栽培技术[J].新疆农业科学,2005,42(增):133-134
- [2] 江丽华,刘兆辉,张文君,等.高产条件下大葱干物质积累和养分吸收规律的研究[J].山东农业科学,2007(1):69-70
- [3] 张相松,隋方功,刘兆辉,等.不同供氮水平对大葱土壤硝态氮运移及品质影响的研究[J].土壤通报,2010,41(1):170-174
- [4] 江丽华,刘兆辉,张文君,等.2007.氮素对大葱产量影响和氮素供应目标值得研究[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):890-89
- [5] Liu S Z, He H J, Feng G, et al. Effect of nitrogen and sulfur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (*Allium fistulosum* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 121: 12-18
- [6] Steduto P, Hsiao T C, Raes D, et al. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles[J]. Agron J, 2009, 101: 426-437
- [7] Todorovic M, Albrizio R, Zivotic L, et al. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of Sunflower growth[J]. Agron J, 2009, 101: 509-521
- [8] Steduto P, Albrizio R. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. II. Water use efficiency and comparison with radiation use efficiency [J]. Agric Fore Meteorol, 2005, 130: 269-281
- [9] Steduto P, Hsiao T C, Fereres E. On the conservative behavior of biomass water productivity [J]. Irrig Sci, 2007, 25: 189-207
- [10] Hsiao T C, Steduto P, Fereres E. A Systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture [J]. Irrig Sci, 2007, 25: 209-231
- [11] Raes D, Steduto P, Hsiao T C, et al. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description [J]. Agron J, 2009, 101(3): 438-447
- [12] 王皓. 农牧交错带半干旱地区老芒麦人工草地的水分消耗规律及水资源优化管理[D]. 北京: 中国农业大学, 2009
- [13] Farre I, Faci J M. Comparative response of maize and sorghum to deficit irrigation in a Mediterranean environment [J]. Agric Water Manage, 2006, 83: 135-143
- [14] Geerts S, Rase D, Garcia M, et al. Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop [J]. Agron J, 2009, 101(3): 499-508
- [15] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements [M]. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: UN-FAO, 1998: 15-79
- [16] Panigrahi B, Panda S N. Field test of a soil water balance simulation model [J]. Agric Water Manage, 2003, 58: 223-240
- [17] Sinclair T R, Seligman N G. Crop modeling, from infancy to maturity [J]. Agron J, 1996, 88: 698-704