

陈永快,黄语燕,王 涛,等. 基于有效积温的 NFT 栽培小白菜生长模型[J]. 江苏农业科学,2020,48(17):229-233.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.17.046

基于有效积温的 NFT 栽培小白菜生长模型

陈永快,黄语燕,王 涛,廖水兰,钟陈声,赵 健

(福建省农业科学院数字农业研究所,福建福州 350003)

摘要:为明确用营养液膜栽培技术(NFT)栽培的小白菜生长模型,以春油5号小白菜为试验材料,在中以示范农场2个薄膜温室内开展4次栽培试验,采用营养液膜栽培技术进行栽培,每隔1~3 d采集小白菜的生长指标。根据小白菜对温度的响应,以有效积温为自变量,用 Logistic 方程构建 NFT 栽培小白菜生长模型,包括地上部鲜质量和干质量、地下部鲜质量和干质量、株高、叶片数、叶面积等模型,所建立模型的决定系数在0.881~0.993之间。经重复试验数据检验,小白菜地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、株高、叶片数、叶面积等模型的预测值与实际值之间基于1:1直线的决定系数(R^2)分别为0.990、0.990、0.985、0.986、0.963、0.935、0.985,回归估计标准误差(RMSE)分别为10.01 g、0.46 g、0.80 g、0.05 g、1.28 cm、1.25 张、74.81 cm²。因此,构建的小白菜生长模型精度较高,可为温室 NFT 栽培小白菜生长管理调控、产量预测和经济效益分析等提供理论依据和决策支持。

关键词:营养液膜;有效积温;小白菜;模型

中图分类号:S634.301 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)17-0229-04

小白菜为十字花科植物,原产于中国,别称青菜、油菜、不结球白菜等,是我国长江流域及以南地区分布最广、种植面积及复种指数最大的蔬菜之一,约占长江中下游大中城市蔬菜年总产量的30%~40%^[1-2]。

营养液膜栽培技术(nutrient film technique,简称 NFT)是一种无土栽培技术,将植株定植在栽培槽内,营养液在栽培槽的底部做薄层间歇流动,为植株生长提供充足的养分和水分^[3]。NFT 可有效避免土传病害,减少农药使用,是蔬菜标准化和规模化生产的重要方式,因此,近几年来温室 NFT 发展较为迅速。

作物生长模型为作物栽培管理、环境调控优化、效益分析等提供了强有力的理论依据^[4]。目前,国内外众多学者已在温室作物中,以有效积温为预测指标,建立了有效积温与温室作物生长发育的相关模拟模型,对温室作物的栽培具有理论指导

意义。Heuvelink 等用有效积温法建立了番茄的生长模拟模型^[5-6]。徐刚等利用有效积温建立了温室番茄长季节栽培生长发育模型,模型精度高、预测性好^[7]。李立昆等基于有效积温建立了厚皮甜瓜果实发育进程模拟模型^[8]。李书钦等基于有效积温构建了冬小麦返青后株高、叶位高度、叶长、最大叶宽等模拟模型,可较好地预测冬小麦返青后叶片生长状态,实现了小麦生长模型和形态模型的有机结合^[9]。李世娟等以有效积温和干物质量为参数,构建了小麦茎秆、叶片、穗等器官的几何特征模型,这些模型以干物质量为参数输入,能够生成小麦主茎各器官的三维形态特征参数^[10]。目前,我国对于作物模型的研究主要集中在番茄、甜瓜、小麦等作物上,关于 NFT 下小白菜生长模型的研究比较少。本研究基于经验模型,以有效积温为变量,采用 Logistic 曲线方程,建立 NFT 下小白菜生长模型,将产量、株高和叶片数等与环境因子之间的关系直接用函数关系表达出来,对温室环境和小白菜生长的优化控制、生长期的定量化管理以及提高温室利用效率等具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验在中以示范农场2个薄膜温室中进行,试验品种为春油5号,由京研益农(北京)种业科技有

收稿日期:2020-06-16

基金项目:福建省农业科学院科技创新团队项目(编号:STYT2017-2-12);福建省农业科学院自由探索项目(编号:AA2018-26、ZYTS2019029)。

作者简介:陈永快(1981—),男,福建宁德人,硕士,助理研究员,主要从事设施农业研究。E-mail:86467897@qq.com。

通信作者:赵 健,博士,研究员,主要从事农业信息化研究。E-mail:423886245@qq.com。

限公司生产。采用为 NFT 栽培,共进行 4 次重复试验,第 1 次至第 3 次试验在温室 1 中进行,第 2 次至第 4 次试验在温室 2 中进行,其中第 2 次和第 4 次试验数据用于建立模型,第 1 次和第 3 次试验数据用于模型验证。在试验过程中采集小白菜生长环境参数、表型数据。

供试品种在 4 叶 1 心时期前后,地上部鲜质量约 1 g 时,定植于 NFT 栽培槽中,栽培密度为 312 000 株/hm²。每次重复试验的灌溉量和栽培管理措施均按中以示范农场小白菜 NFT 的栽培规范进行。栽培期间使用的营养母液分为 A、B 液,100 L 的 A 液配方为硝酸钙 8 kg、硝酸钾 3 kg,100 L 的 B 液配方为磷酸二氢钾 1.5 kg、硫酸镁 5 kg、乙二胺四乙酸铁钠 230 g、硫酸锰 60 g、硫酸锌 30 g、硫酸铜 2 g、钼酸铵 0.75 g、硼酸 30 g^[12]。营养液在小白菜定植至采收期间 pH 值控制在 6.0~6.5 之间,定植 10 d 内电导率(EC)值控制在 1~1.5 mS/cm 之间,定植 10 d 至采收期间 EC 值控制在 1.5~1.8 mS/cm 之间。

1.2 测定项目与方法

第 1 次试验时间为 2019 年 4 月 24 日至 2019 年 5 月 20 日,第 2 次试验时间为 2019 年 10 月 27 日至 2019 年 11 月 22 日,第 3 次试验时间为 2019 年 12 月 11 日至 2020 年 1 月 16 日,第 4 次试验时间为 2020 年 2 月 19 日至 2020 年 3 月 23 日。

试验期间每隔 1~3 d 测量 1 次生长指标,每次选取长势较均匀的 3 株小白菜进行测量,测量指标包括单株小白菜地上及地下部鲜质量、地上及地下部干质量、株高、叶片数、总叶面积。鲜质量用电子天平进行称量。干质量是将材料放在 105 ℃烘箱中杀青 20 min,75 ℃烘干至恒质量后称量。株高用游标卡尺进行测量。叶片数用计数法统计。叶面积用叶形纸称质量法计算^[11]。3 株小白菜各参数的数据取平均值后进行分析。

用自主研发的环境数据采集装置对小白菜生长过程中的环境数据进行采集,主要采集温度、湿度、光照度等环境数据,数据每隔 15 min 保存 1 次。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2013、IMB SPSS Statistics 19 软件进行统计和分析。用模拟值和实际值之间的决定系数(R^2)和标准误差(RMSE)来评价模型的精度。 R^2 越接近 1, RMSE 越接近 0 时,模型的模拟

效果越好^[12]。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{n}} \quad (1)$$

式中: n 为样本容量; OBS_i 为实际测量值; SIM_i 为模型预测值。

2 结果与分析

2.1 有效积温计算

常用有效积温来反映作物对热量的需求。高于生物学最低温度的日平均温度与生物学下限温度之差称为有效温度,作物某一生育时期或整个生长发育过程中有效温度的总和称为有效积温(简称 GDD)^[13]。计算方法如下:

$$GDD = \sum_{t=t}^h (T_{\text{mean}} - T_b) \quad (2)$$

式中: GDD 为某一生育时期(t 到 h d)的有效积温; T_b 为生物学下限温度,这里取 $T_b = 7$ ℃^[1]; T_{mean} 为日平均温度。

2.2 模型建立

以 4 次栽培试验的累积有效积温为自变量,小白菜地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、株高、叶片数、叶面积等为因变量作图,从图 1 可以看出,在小白菜生长过程中,随着累积有效积温的增加,小白菜地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、株高、叶片数、叶面积等大致呈“慢—快—慢”的增加趋势。因此,本研究采用 Logistic 曲线方程进行拟合。Logistic 曲线方程在植物生长发育的研究中被广泛应用,曲线特点是开始缓慢增长,在之后某一范围内迅速增长,达到一定限度后,增长变缓慢。Logistic 曲线方程表达式为 $y = A/[1 + Be^{(-k)}]$,其中 A 、 B 、 k 为曲线系数^[14]。

采用第 2 次和第 4 次试验数据建立模型,利用 SPSS 软件对试验数据进行回归分析,得到小白菜地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、株高、叶片数、叶面积等 Logistic 曲线模型及曲线决定系数(R^2)见表 1。

2.3 模型验证

采用第 1 次和第 3 次的试验数据对各模型进行验证。结果表明,小白菜地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、株高、叶片数、叶面积的预测值与实际值之间相关性较好,从图 2 可以看出,基于 1:1 直线的决定系数(R^2)分别为

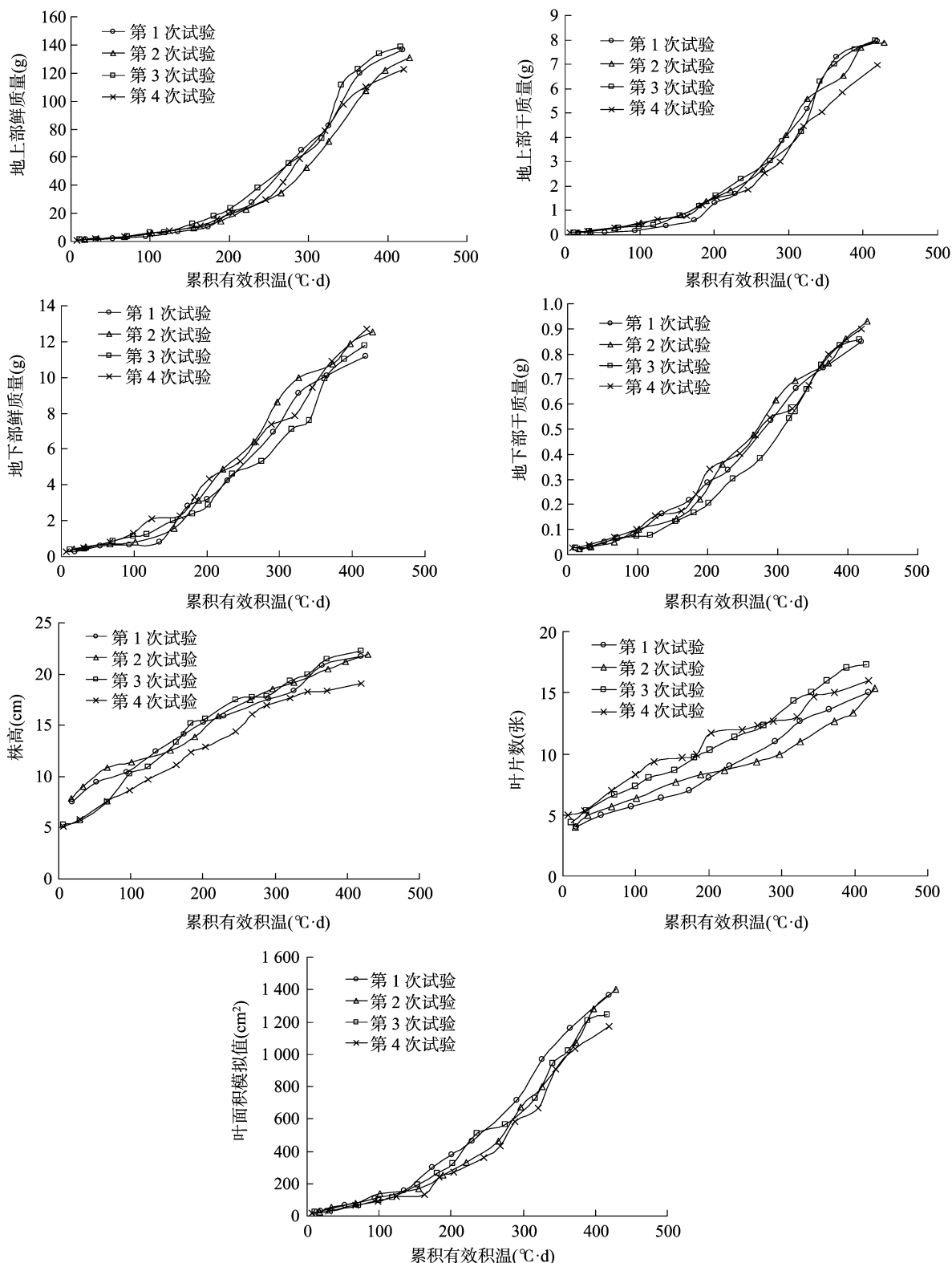


图1 NPT 栽培小白菜生长性状

0.990、0.990、0.985、0.986、0.963、0.935、0.985, 模型 $RMSE$ 分别为 10.01 g、0.46 g、0.80 g、0.05 g、1.28 cm、1.25 张、74.81 cm^2 , 表明所建立模型预测效果较好。

3 讨论与结论

根据小白菜对温度的响应,以有效积温为自变量,用 Logistic 方程构建小白菜 NFT 栽培生长模型,

表 1 模型关系式及决定系数

模型	关系式	决定系数 (R^2)
地上部鲜质量	$y = 170 / (1 + 146.20e^{-0.015x})$	0.993
地上部干质量	$y = 10 / (1 + 95.69e^{-0.014x})$	0.990
地下部鲜质量	$y = 14.5 / (1 + 44.36e^{-0.013x})$	0.989
地下部干质量	$y = 1 / (1 + 41.77e^{-0.014x})$	0.987
株高	$y = 26 / (1 + 3.07e^{-0.006x})$	0.933
叶片数	$y = 22 / (1 + 3.52e^{-0.005x})$	0.881
总叶面积	$y = 1\,800 / (1 + 64.60e^{-0.012x})$	0.982

包括地上部鲜质量和干质量、地下部鲜质量和干质量、株高、叶片数、叶面积等模型,模型决定系数在

0.881~0.993 之间。经重复试验数据检验,小白菜地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、株高、叶片数、叶面积等模型的预测值与实际值之间基于 1:1 直线的决定系数(R^2)分别为 0.990、0.990、0.985、0.986、0.963、0.935、0.985,回归估计标准误差(RMSE)分别为 10.01 g、0.46 g、0.80 g、0.05 g、1.28 cm、1.25 张、74.81 cm²。表明所建立的小白菜营养生长模型精度较高,可为温室利用 NFT 栽培小白菜的生长管理提供理论依据和决策支持。

本试验是用 1 个小白菜品种,在水肥充足,栽培管理规范的条件下去进行的,形成的模型尚未考虑水

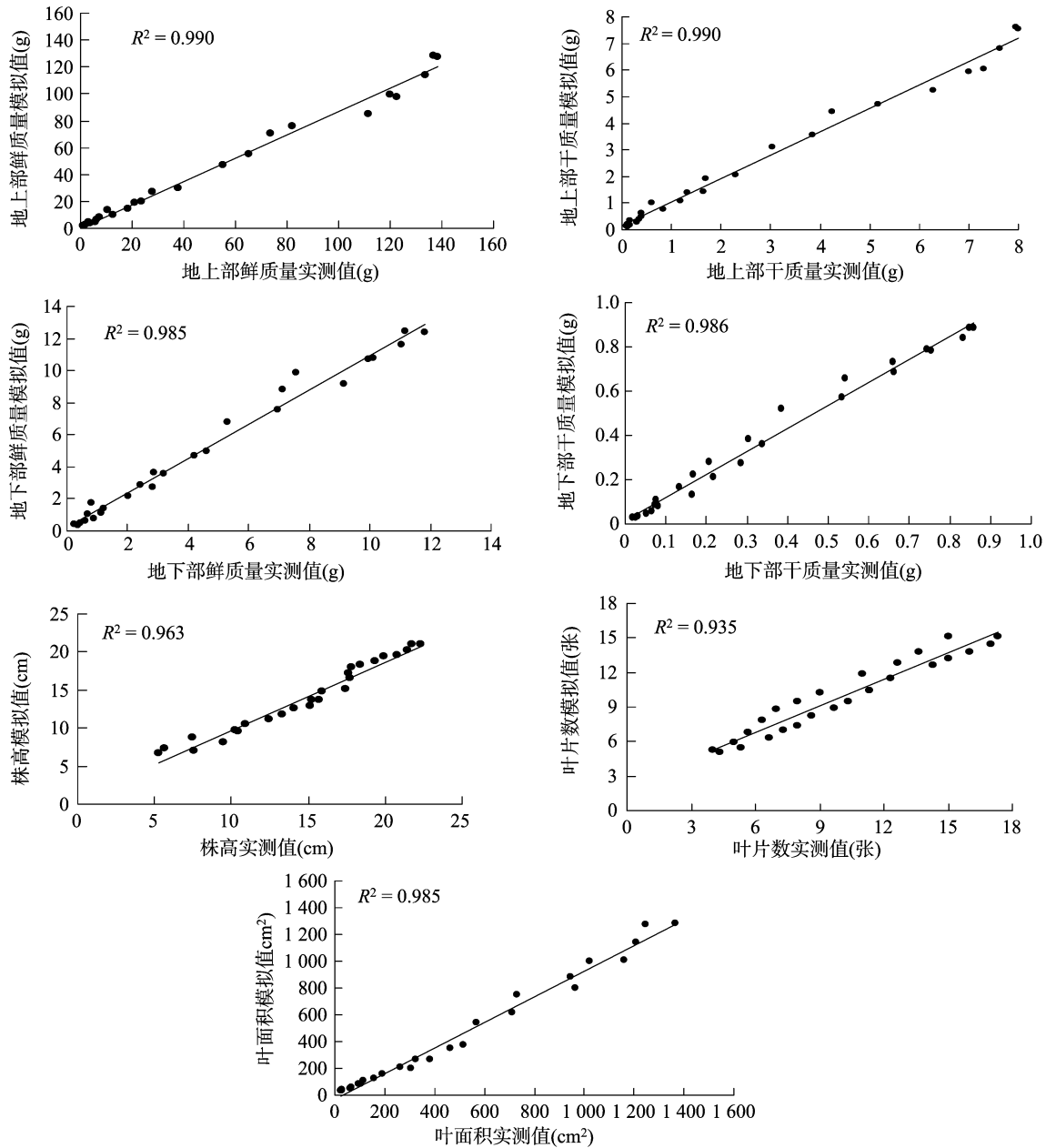


图2 NPT 栽培小白菜生长模型模拟值和实测值比较

潘兴家,董子钰,李 骅,等. 水稻螺旋槽式排种器的设计及优化[J]. 江苏农业科学,2020,48(17):233-239.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.17.047

水稻螺旋槽式排种器的设计及优化

潘兴家,董子钰,李 骅,李 超,白明超,杨 松

(南京农业大学工学院,江苏南京 210031)

摘要:针对江淮地区的水稻直播作业要求,为解决播种成穴精度的问题,以外槽轮排种器为基础,设计一款水稻精量直播螺旋槽式排种器。以南粳 5055 为试验材料,先对槽孔形状、槽孔螺旋角和行进速度进行单因素试验,去掉不理想参数,再通过三因素三水平正交试验得出最优组合,并通过矩阵分析法计算行走速度、槽孔形状、槽孔螺旋角对排种性能影响的大小。结果表明,当机具行走速度为 0.4 m/s,槽孔形状为勾形,槽孔螺旋角为 20°时合格率最高,穴粒数合格率为 95.62%,穴径合格率为 91.58%。机具行走速度对排种性能的影响大于槽孔形状,槽孔形状对排种性能的影响大于槽孔螺旋角。说明通过试验得到的最优组合,满足排种器性能要求。

关键词:水稻芽种;直播;螺旋槽式排种器;排种轮;槽孔;试验分析

中图分类号: S223.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)17-0233-07

水稻是我国的主要粮食作物之一,常年种植面积有 3 000 万 hm^2 ,在耕、收阶段机械化程度已经分别达到 99.3% 和 87.1%,但是在播种阶段机械化程度只有 44.5%^[1]。美国水稻的播种已经完全实现机械化,日韩等国家也逐渐向水稻直播靠拢^[2-3]。

收稿日期:2019-11-11

作者简介:潘兴家(1996—),男,浙江温岭人,硕士,主要从事农业装备智能化研究。E-mail:2018112018@njau.edu.cn。

通信作者:李 骅,博士,主要从事精准种收装备和生物质转化技术和设备研究。E-mail:lihua@njau.edu.cn。

对此目前国内各地水稻直播、机插秧、撒播等播种方式,直播水稻虽然有易倒伏、杂草难除等缺点,但是面对如今劳动力人口短缺的问题,其经济效益优势明显^[4-8]。

目前水稻的机械直播技术所用排种器主要分为气力式和机械式排种器,气力式排种器虽然能保证成穴精度,但是结构复杂、成本相对较高,若能将机械式排种器优化至满足农艺的要求,将会大大降低成穴成本^[9]。华南农业大学设计的组合型孔排种器^[10]同时满足对常规稻和杂交稻的播种需求,但大

肥和栽培管理措施对 NFT 栽培小白菜生长的影响,今后需在模型中加入水肥亏缺和管理措施影响因素,从而提高模型的普遍适用性。

参考文献:

- [1] 谭 文,杨再强,李 军. 基于温光效应的小白菜营养品质模拟模型研究[J]. 中国农业气象,2016,37(1):59-67.
- [2] 薛思嘉,杨再强,李 军. 高温对小白菜品质的影响及模拟研究[J]. 中国生态农业学报,2017,25(7):1042-1051.
- [3] 吴敬才,郑回勇,吴 燕,等. 叶菜类蔬菜营养液膜无土栽培技术[J]. 福建农业科技,2015(10):48-50.
- [4] 杨靖民,杨靖一,姜 旭,等. 作物模型研究进展[J]. 吉林农业大学学报,2012,34(5):553-561.
- [5] Heuvelink E. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development[J]. Annals of Botany,1999,83(4):413-422.
- [6] Wolf S, Rusieh J. Predicting harvesting data of processing tomato by

a simulation model[J]. Journal of American Society Horticulture Science,1984,111(1):11-16.

- [7] 徐 刚,张昌伟,李德翠,等. 温室长季节栽培番茄发育动态模拟模型的研究[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊2):243-246.
- [8] 李立昆,李玉红,程智慧,等. 基于有效积温早春设施厚皮甜瓜果实发育模拟模型[J]. 北方园艺,2010(6):97-100.
- [9] 李书钦,诸叶平,刘海龙,等. 基于有效积温的冬小麦返青后植株三维形态模拟[J]. 中国农业科学,2017,50(9):1594-1605.
- [10] 李世娟,诸叶平,张红英,等. 整株干物质质量分配指数模型模拟冬小麦各器官形态参数[J]. 农业工程学报,2019,35(9):155-164.
- [11] 谭一波,赵仲辉. 叶面积指数的主要测定方法[J]. 林业调查规划,2008,33(3):45-48.
- [12] 马万征,毛罕平,倪纪恒. 不同果实负载下温室黄瓜干物质分配的模拟[J]. 农业工程学报,2010,26(10):259-263.
- [13] 李书钦,诸叶平,刘海龙,等. 冬小麦返青后叶片高度模型构建及三维可视化[J]. 中国农业科技导报,2017,19(11):59-67.
- [14] 董江水. 应用 SPSS 软件拟合 Logistic 曲线研究[J]. 金陵科技学院学报,2007,23(1):21-24.