

自然通风单栋温室内流场的 CFD 模拟

孟凡英, 刘 美

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:基于 CFD 模拟技术,采用标准 $K-\epsilon$ 湍流模型和 Do 辐射模型对自然通风温室在 3 种通风型下的室内气流分布进行了 2-D 求解,并对 3 种模拟结果进行了比较和分析。结果表明:在温室两侧开有侧窗、顶部开有天窗的通风情况下,温室内部的通风状况最好,而且风速适中,适宜作物生长。

关键词:温室;通风;CFD;速度场

中图分类号:S625.5⁺3

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2012)02-0128-03

中国大多数地区的气候都属于温带大陆性气候,夏季气温时常高达 35~40℃。进入温室的空气,进一步吸收太阳辐射热量,常常产生使得作物难以承受的高温。在这种情况下,应采取必要的降温措施。温室在夏季常用的降温措施有温室通风、遮阳、湿帘风机降温、喷雾降温甚至热泵降温等。温室通风的作用是促进室内外环境之间的质热交换。一般来说,有效的通风应该能够满足 3 个基本要求^[1]:(1)向温室提供足够量的交换空气;(2)使温室内部空气与外部空气能够充分混合,调节温室内温度、浓度等环境因素;(3)促进温室内空气流动,加强植物与空气之间的热量交

换。常用的通风方式有自然通风和机械通风。从节约能源、降低温室运行费用、提高农业产出等方面考虑,对温室内部的环境因素进行控制时,应该尽量通过自然通风来实现,这就需要经常打开温室的通风窗^[2-3],通过通风来影响植物生长的各种因素。

自然通风是依靠室外风力造成的风压和室内外空气的温度差所引起的热压,促使空气流动,使得温室内外进行空气交换,主要包括热压通风和风压通风两种形式。根据通风开窗方式,又分为底窗通风、天窗通风、底窗加天窗通风 3 个类型^[4-6]。研究温室通风的方法通常有示踪气体法、能量平衡法、热压风压作用效果模型法和风洞法等^[7]。随着计算机硬件技术的发展及 CFD 在通风问题研究中的优势,用 CFD 软件包对温室通风问题的研究越来越多。目前国内许多学者运用 CFD 对不同通风方式、不同通风窗结构和防虫

收稿日期:2011-09-22

第一作者简介:孟凡英(1961-),女,辽宁省本溪市人,教授,从事热能与动力工程专业的相关理论的教学和科研工作。
E-mail:liumeigirlwan@163.com.

Application Research of New Seedlings Automation Transplant Equipment in Agricultural Greenhouse

HAO Zhi-yong, DENG Zuo-peng, LIU Wei, YAN Chuang, YUAN Shuai

(Mechanical Engineering College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract:Owing to the rapid development of greenhouse planting technology,aiming at the low efficiency of artificial seedlings greenhouse transplantation of breeding and seedlings destruction,a kind of automatic plug seedlings transplant was designed,and theoretical calculation and experiment on the transplant machine mixing, transportation organization, cutting soil institutions and its power consumption were conducted. The results showed that the spiral extrusion institution was fit for article mud generated quick-moving, cut into parts. Automatic plug seedlings transplant could reduce the labor intensity of the farmers, improve the survival rate of seedlings. Prototype test showed that the theoretical analysis and the prototype test were identical, that the structure was reasonable of this whole equipment, had very good transplantation effect, achieved the expected design goal.

Key words:greenhouse; seedlings transplantation; cutting soil mechanism; screw conveyer

网等因素对典型温室内流场和温度场进行了模拟研究。现基于 CFD 数值方法,以流体三大守恒方程和标准湍流模型为理论基础,对不同通风型进行了二维模拟和预测,得出了不同通风型下温室内部气体的流场分布,并对每种情况进行了比较分析。

1 模型和计算条件

1.1 基本控制方程

温室内空气流动过程中产生的瑞利数 Ra 一般大于 1×10^7 [8],具有较高的湍流特性。该文在数值计算时认为温室内气体为连续、稳定、不可压缩牛顿流体,在此假设的基础上,整个计算域内的空气求解流动及传热问题时,控制方程满足连续性方程、动能方程、能量方程、湍流能量耗散方程和湍流能量耗散率方程。

(1)连续性方程

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(2)动量方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho uu)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vu)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho wu)}{\partial z} \\ &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu_{eff} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ &+ \rho g \beta (T - T_{ref}) \frac{\partial(\rho \varphi)}{\partial t} \end{aligned}$$

(3)能量方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho u T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w T)}{\partial z} \\ &= \frac{q}{C_p} + \frac{\lambda_{eff}}{C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

湍流能量耗散方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho u K)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v K)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w K)}{\partial z} \\ &= \Gamma_K \left(\frac{\partial^2 K}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 K}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 K}{\partial z^2} \right) + S_K \end{aligned}$$

湍流能量耗散率方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho u \epsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \epsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w \epsilon)}{\partial z} \\ &= \Gamma_\epsilon \left(\frac{\partial^2 \epsilon}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial z^2} \right) + S_\epsilon \end{aligned}$$

(4)控制方程的通用形式为

$$\frac{\partial(\rho \varphi)}{\partial t} + \text{div}(\rho U \varphi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \varphi) + S_\varphi$$

式中 φ 为通用传输量, ρ 为流体密度, t 为时间, U 为速度矢量, Γ 为广义扩散系数, S_φ 为广义源项 [9]。

选取标准 $K-\epsilon$ 湍流模型与控制方程构成封闭方程组,通过对方程的数值求解获得温室内气流流动的空间分布模式。

1.2 流场模拟

选择华东地区典型的镀锌钢管骨架塑料温室为研究对象,南北走向,跨度 7.5 m,长度 18 m,脊高 3 m,顶高 4.6 m,通风口宽 0.8 m。采用非结构化网格对温室的研究面进行划分,出入口进行了网格加密,对温室靠近壁面区域也适当加密,通过加密可以在求解中捕捉到由于巨大的变化梯度对流动造成的显著影响。假设近壁面处气流的流动符合壁面函数法分布规律,由于温室保温功能,给定墙体和地面的对外传热条件为绝热。温室覆盖层、地面和侧墙设为漫灰体表面,覆盖层和侧墙加载太阳辐射,利用 Do 模型计算室外太阳辐射对室内环境的影响,入口条件为速度入口,入口风速为 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,出口条件为压力出口。

2 数值模拟结果与分析

2.1 不同通风方式下温室内部流场

分别模拟了 3 种通风型下温室内部的流场分布,得出了速度分布图(见图 1),并对其进行了比较和分析。

第一种通风型为温室两侧开有侧窗的情况。其温室内部流场分布情况见图 1(a),左侧为进风口,右侧为出风口。可以看出气流在进口出口形成“喷射流”,速度最大;主流线在两侧窗之间,大部分气体在出风口流出,少部分由于棚壁的阻挡出现回旋现象,向温室棚壁两侧和顶棚回转,在温室上半部分形成逆时针的回流区,速度较小且平缓;可以看出温室上部速度较小,下部速度较大且分布均匀,所以温室内部大部分气体没有得到充分地混合,不能很好地调节温室内部的温度、湿度和 CO_2 浓度等环境因素,还容易造成屋内积热、积湿现象;温室下部形成较大速度的空气流,容易对作物造成危害,影响作物的成长。

第二种通风型为两侧开有侧窗、屋顶开有天窗的情况。由图 1(b)可以看出气流在进风口速度最大,温室中间区域气流速度较小且分布均匀,出风口速度变大;在温室上部和下部都有逆时针的回流区,室内气体可以混合均匀,能更加有效地调节温室内的环境因素(温度、湿度等),加强了植物与空气之间的热量交换,适宜植物生长。

第三种通风型为温室一侧开有侧窗、屋顶开有天窗的情况,由图 1(c)看出气流在进风口和出

风口形成“射流”，速度最大；气流主流线在侧窗和天窗之间；在温室左上角有逆时针的回流区，增加了温室上部的空气流动；但是温室右端的气流速

度几乎为零，因此通风效果不好，使得室内外空气不能进行及时的交换，室内空气质量变差，不利于作物的生长。

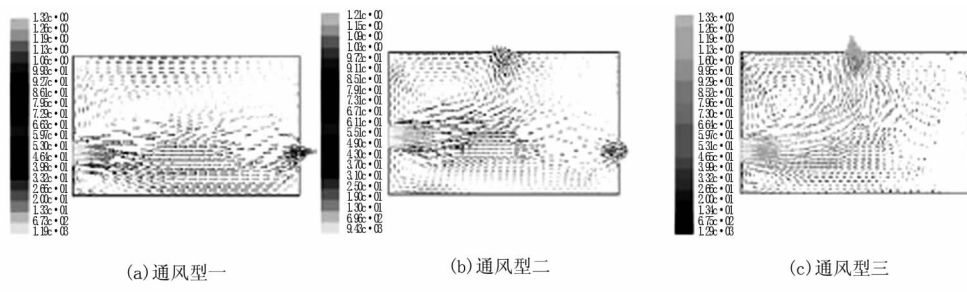


图1 不同通风型的温室内部流场

Fig.1 Internal airflow distribution of different ventilation greenhouse

2.2 温室内部平均风速变化比较

图2为3种通风布局下，取距地面高度1.5 m的水平线(作物高度)，用CFD模拟出风速沿长度方向的变化曲线。由此可以看出，在进风口附近，风速都有增大的趋势，在作物区布局1风速范围为0.446~1.238 m·s⁻¹，平均风速为0.842 m·s⁻¹；布

局2的风速范围为0.254~0.962 m·s⁻¹，平均风速为0.608 m·s⁻¹；布局3的风速范围为-0.036~1.224 m·s⁻¹，平均风速为0.594 m·s⁻¹。由此可见，第二种通风型不但能保证温室通风，而且风速适中，气流对作物的破坏相对较小。

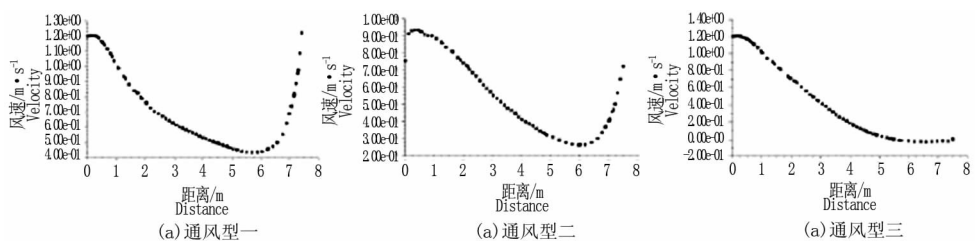


图2 距地面1.5 m高度的水平线上速度分布图

Fig.2 Velocity distribution chart on the height of 1.5 m above ground

3 结论

对不同的通风布局情况下，温室内部的流场进行了CFD模拟，不同的通风布局得到了不同的流场分布。第一种布局(两侧开有侧窗)的温室内部空气混合不够均匀，且下部有较大速度的气流，对作物造成伤害；第三种布局(一侧开有侧窗、顶棚开有天窗)的温室右端气流速度几乎为零，且在作物高度上的平均风速偏小，通风效果不好，不能及时更换室内气体，不适宜作物生长；第二种通风布局(两侧开有侧窗、棚顶开有天窗)的温室内部空气混合均匀，且作物高度上气流速度适中，通风效果较好，这也是大多数温室采用这种布局的原因。

参考文献：

[1] 黄万欣. 自然通风温室及通风量研究[J]. 农机化研究, 2004(4): 53-54.

[2] 蔡龙俊. 农业温室通风的研究与设计[J]. 建筑热能通风空调, 2001(1): 49-51.
[3] 鲁纯养. 农业生物环境原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
[4] 王莉温. 室天窗位置的设置及开窗机构[C]. 北京: 全国工厂化农业可持续发展研讨会, 2009.
[5] 张跃峰, 张书谦. 现代温室开窗机构的选择[J]. 温室园艺, 2003(1): 18-20.
[6] 王健, 汪小岳, 丁为民. 风压通风的单栋温室内部立场的ANSYS CFD模拟[A]. 农业机械学报, 2007(3): 114-116.
[7] 程秀花, 毛罕平, 伍德林. 温室自然通风研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 37(8): 3803-3805, 3806.
[8] Mistrìo A, Arcidiacono C, Picuno P, et al. Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero-and-wind-speeds[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 88: 121-135.
[9] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

美国玉米科研生产实践对黑龙江玉米发展的启示

张树权¹, 张世煌², 陈新平³, 谢瑞芝², 董志强², 张文英⁴, 王荣焕⁵

(1. 黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院/国家玉米产业技术体系齐齐哈尔综合试验站, 黑龙江齐齐哈尔 161006; 2. 中国农业科学院 作物所, 北京 100081; 3. 中国农业大学, 北京 100083; 4. 河北省农业科学院, 河北 石家庄 050051; 5. 北京市农林科学院, 北京 100098)

摘要:美国是世界上玉米种植面积及产量最多的国家,在玉米的生产、科研及推广等方面的研究都非常的先进和科学,学习借鉴他们的先进技术和经验,对指导中国玉米生产,特别是黑龙江玉米生产具有重要的现实意义。通过对美国中部大平原 Iowa 和 Nebraska 玉米的种植、科研和推广等方面的考察与交流,归纳出美国玉米生产情况是:美国玉米耕作与栽培体系更科学,农艺农机结合更紧密,应用综合抗性强的转基因玉米品种和科学合理的肥水管理等,同时,全面向智能化方向发展和提升。从中得出对我国农业及玉米种植的启示是:农机与农艺结合要切合实际,加大保护性耕作推广力度和中低产田改造,培肥地力增加土壤有机质,开展精准农业研究并运用于实践指导生产,加强转基因技术、节水增效技术研发与应用,推动黑龙江土地规模经营,加强农民培训以提高素质,加强对玉米增产潜力和实际产量差异影响因素研究。

关键词:美国;玉米;生产;科研;推广;启示

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2012)02-0131-04

美国是世界上玉米种植面积及产量最多的国家^[1]。2010年播种面积达到3 357万hm²,平均产量达到10 200 kg·hm⁻²以上,其总产占世界玉米总产的40%以上^[2]。因此,学习美国玉米的生产、科研及推广经验,对指导中国玉米生产,特别是黑龙江玉米生产具有重要的现实意义。为此,由国家玉米产业体系首席专家张世煌组织,由中国

农业大学陈新平教授任团长的玉米栽培农机专家一行12人,于2011年10月8~18日,对美国玉米最大产区中西部的Illinois州和Iowa州、Nebraska州及3个州之间位于80号公路两侧的玉米带进行了全程考察。该区域位于N35°~40°,与中国的河南、河北、甘肃、宁夏处于同一纬度。考察期间听取了Iowa州和Nebraska州2个州立大学有关介绍和学术报告,参观了2个世界知名育种与农药研发公司即先锋公司和先正达公司,列美国100强第96名的大型农机具制造公司John Deere公司的Jensen Farms,美国农业部中北部地区植物引进站(NCRPIS)的种子资源库,Iowa州立大学的世界上第一个完成玉米B73和

收稿日期:2011-11-19

基金项目:国家玉米现代产业技术体系专项资助项目(CARS-02)

第一作者简介:张树权(1965-),男,黑龙江省安达市人,硕士,从事耕作栽培与旱作节水农业研究,现为国家玉米现代产业技术体系齐齐哈尔综合试验站站长。E-mail:zsqlij@126.com。

CFD Simulation of Airflow Distribution in A Tunnel Greenhouse under Natural Ventilation

MENG Fan-ying, LIU Mei

(Mechanical Engineering College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract: The 2-D simulation of airflow field under three kinds of ventilated type was done based on the CFD technique for the natural ventilation greenhouse. The standard $K-\epsilon$ model and Do model were used for the process of simulation. The three kinds of simulation results were compared and analyzed. The results showed that the configuration of both sides and roof ventilation was the best pattern for ventilation. The wind speed was moderate and suitable for the growth of crops.

Key words: greenhouse; ventilation; CFD; velocity filed