

不同气候情景下中国东北与华北作物 产量变化趋势模拟

张建平¹, 赵艳霞^{2*}, 王春乙², 王靖³

(1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要: 采用意大利 ICTP 中心的区域气候模式 RegCM3 输出的多情景加权平均值简称 REA 情景和英国 Hadley 中心的区域气候模式 PRECIS 输出的 A2 和 B2 情景, 结合 WOFOST 作物生长模拟模型, 模拟研究了未来 40 a (2011—2050 年) 气候变化对我国华北东北农作物产量的影响。模拟结果表明: 从 40 a 平均结果来看, 对于东北玉米区, 三种气候情景资料下可能减产区域主要是东北三省的偏西南地区, 其中减产高值区主要集中在吉林省的西部地区白城、通榆等地。对于华北冬麦区, REA 情景下可能减产区主要是河北省的东部和山东省的东部, 其中减产高值区主要集中在京津及其以东地区; A2 和 B2 情景下可能减产区主要是河北省的中部和东部、山东省的东部以及河南省的南部偏南地区, 其中减产高值区主要集中在天津及其以东地区和山东省的东部沿海地区。

关键词: 气候情景; 作物生长模型; 产量; 变化趋势; 模拟

中图分类号: S162.5*3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0262-05

全球气候变暖已成为一个不争的事实^[1-2]。未来气候变化对农业的影响因地而异并以负面影响为主。如果不采取任何措施, 到 2030 年, 中国种植业生产能力在总体上因气候变暖可能会下降 5%~10% 左右, 其中, 小麦、水稻和玉米三大作物以减产为主^[3-4]。我国在气候变化影响方面的研究已经有比较扎实的基础, 已根据不同的气候变化情景, 确定了农业主要作物生产能力的变化幅度^[5-7]。目前, 用于气候变化影响评估方法主要是开始采用气候模式输出的气候情景与作物模型相结合的研究方法, 来预估未来气候变化对我国农业生产的影响^[8,9]。这个领域的应用主要体现在以下几个方面: 一是作物模型与大气环流模式或区域气候模式结合用于评估预测未来气候变化情景下作物可能受到的影响; 二是作物模型与随机天气发生器结合; 还有根据历年平均气候条件插值得到未来气候情景, 然后加入到作物模型中用于未来的气候影响预测。本文拟采用意大利 ICTP 中心的区域气候模式 RegCM3 输出的多情景加权平均值简称 REA 情景^[10-11]和英国 Hadley 中心的区域气候模式 PRECIS 输出的 A2 和 B2 情景, 结合 WOFOST 作物生长模型, 模拟研究未来 40 a (2011—2050 年) 气候变化对我国华北东北主要农作物产量的变化趋势, 旨在探讨不同气候模式

与同一作物生长模型相结合用于模拟未来气候变化对农作物产量的影响, 以便减少各种模式的不确定性因素, 增强模拟结果的可靠性, 从而更好地为相关部门提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 研究区域

根据我国的气候特点以及农作物的生长分布特征, 分别选取东北 (120°~135°E, 40°~50°N)、华北 (111°~123°E, 35°~41°N) 为研究区域。东北区域主要包括黑龙江、吉林和辽宁三省, 总面积约为 80 万 km², 年均气温 -3℃~11℃, 年均降雨量为 400~1 000 mm, 气候类型属于温带季风气候。其中东北平原面积约 35 万 km², 地势平坦, 土壤肥沃, 大部分地区温度适宜, 日照充足, 适于种植玉米, 是中国玉米的主产区 and 重要的商品粮基地。华北区域主要包括北京、天津两市以及河北、山东、河南三省, 总面积约为 55 万 km²。气候类型属于温带季风气候, 年均气温 10℃~15℃, 年均降雨量为 400~1 100 mm。是我国冬小麦的主产区。

1.2 资料来源

研究中使用的资料有作物资料 (主要包括作物品种类型和品种熟性、发育期观测资料, 田间生物量

收稿日期: 2012-02-27

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2011BAD32B01); 农业部 948 计划重点项目 (2011-G9-01); 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201106021); 重庆市科技攻关项目 (CSTC, 2011AC1168)

作者简介: 张建平 (1975—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 博士, 高级工程师, 从事农业气象灾害与气候变化影响评估研究。E-mail: jeejohn@163.com。

* 通讯作者: 赵艳霞, 女, 研究员。E-mail: zyx@cma.gov.cn。

试验资料),大量的历史逐日气象资料和土壤参数资料。文中所用到的东北三省、华北区域的作物品种类型和品种熟性、发育期资料以及田间生物量试验资料均来自中国气象局国家气象信息中心气象资料室(全国农业气象观测记录报表、全国农业气象观测AB报资料)。

验证模式所用的平均气象数据由国家气象中心气候评价室提供,包括最高气温、最低气温、日照时数、水汽压、风速和降雨量(均为日值)。未来气候情景格点资料由国家气候中心和中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所提供。

1.3 研究方法

采用气候模式输出的未来气候情景格点数据驱动作物生长模拟模型的研究方法,未来气候情景数据有两套,一套来自意大利 ICTP 中心的区域气候模式 RegCM3 输出的多情景加权平均值简称 REA 情景,另一套来自英国 Hadley 中心的区域气候模式 PRECIS 输出的 A2 和 B2 情景,情景格点数据大小为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。然后利用各套气候情景数据驱动 WOFOST 作物生长模型,模拟未来 40 a(2011—2050 年)气候变化对我国华北东北主要农作物产量的影响。

1.4 作物生长模型简介

WOFOST(World Food Study)模型由荷兰瓦赫宁根大学 de Wit 等开发,起源于世界粮食研究中心(CWFS)组织的多学科综合的世界粮食潜在产量的研究项目^[12-13],旨在探索增加发展中国家农业生产力的可能性。该模型的主要模块有:发育期模块、光合生产模拟模块、维持呼吸模块、干物质积累与分配模块、叶的生长及衰老模块、土壤水分平衡模块。模型对作物发育进程的模拟采用“积温法”^[14-16],并施以光周期订正。将整个玉米生育期划分为出苗~开花和开花~成熟两个发育阶段,模型中作物到某时刻的发育阶段以数字表示,出苗期为 0,开花期为 1,成熟期为 2,每个阶段的有效积温为模型发育参数。模型的主要用途有:(1)作物产量的预测与评估;(2)土地资源的定量评价;(3)风险分析和年际间产量变化;(4)气候变化影响的量化评估等。

作物生长模型中作物参数的确定方法是首先根据作物品种熟型与积温的关系划分了整个区域的熟型分布,并依据品种熟型,采取“单元属性相似法”和“试错法”,对模型生长发育的作物参数进行区域化,依据各研究区多年的发育期观测资料来确定区域作物的各阶段发育参数。单元划分的基本原则是在整

个区域尺度上,首先根据气候、土壤和作物相似情况分若干个单元,然后以各单元的代表样点来调试模型参数;区域化的基本原理是假设在农作物种植区域尺度上,所有作物品种都同属一种生态型,以区域单元为空间尺度,使用多点同期的面上产量资料进行调试,从而建立了东北玉米和华北冬小麦影响评估模型。有关作物参数的调整和区域化以及模型的适宜性分析与检验详见文后参考文献^[9,17-18]。

2 结果与分析

2.1 气候模式模拟的未来温度和降水变化趋势

2.1.1 各种气候模式输出的未来 40 a 平均温度变化趋势 从各种气候模式输出的气温结果来看,与基准年(1961—1990 年 30 a 平均值,下同)相比,无论是东北区域还是华北区域,在未来 40 a 里,气温总体上均表现出上升的趋势,且东北区域升温幅度要高于华北区域。对于东北区域,REA 情景下未来气温平均距平值为 2.5°C ,A2 情景下未来气温平均距平值为 1.6°C ,B2 情景下未来气温平均距平值为 1.8°C ,可见,REA 情景下的气温距平要高于 A2 和 B2 情景下的气温距平(见图 1)。

2.1.2 各种气候模式输出的未来 40 a 年降水变化趋势 从各种气候模式输出的降水结果来看,降水年际变化比较大,区域分布不均。对于东北区域,REA 情景下未来降水平均距平值为 -5.9 mm ,A2 情景下未来降水平均距平值为 35.7 mm ,B2 情景下未来降水平均距平值为 13.1 mm (见图 2)。可见,与基准年相比,REA 情景下的降水距平要低于 A2 和 B2 情景下的降水距平,说明 REA 情景下的降水要偏少,而 A2 和 B2 情景下的降水要偏多。

2.2 未来气候变化情景下东北玉米产量变化趋势

从三种情景下玉米产量模拟结果来看(见图 3),与 1961—1990 年基准年相比,未来 40 a(2011—2050 年)东北三省玉米减产区主要集中在吉林省的中西部以及辽宁省的中部和西北部等地,东部和北部地区属于增产区。REA 情景下玉米产量变化幅度较大,变化范围在 $-30.72\% \sim 63.35\%$,从全区多年平均水平来看,减产约为 7.74% ;A2 情景下,玉米产量变化范围在 $-7.6\% \sim 77.5\%$,从全区多年平均水平来看,增产约为 19.8% ;B2 情景下,玉米产量变化范围在 $-19.2\% \sim 79.83\%$,从全区多年平均水平来看,增产约为 6.69% 。可见,从全区多年平均水平来看,REA 情景下玉米单产呈减产趋势,A2 情景和 B2 情景下玉米单产呈增加趋势。

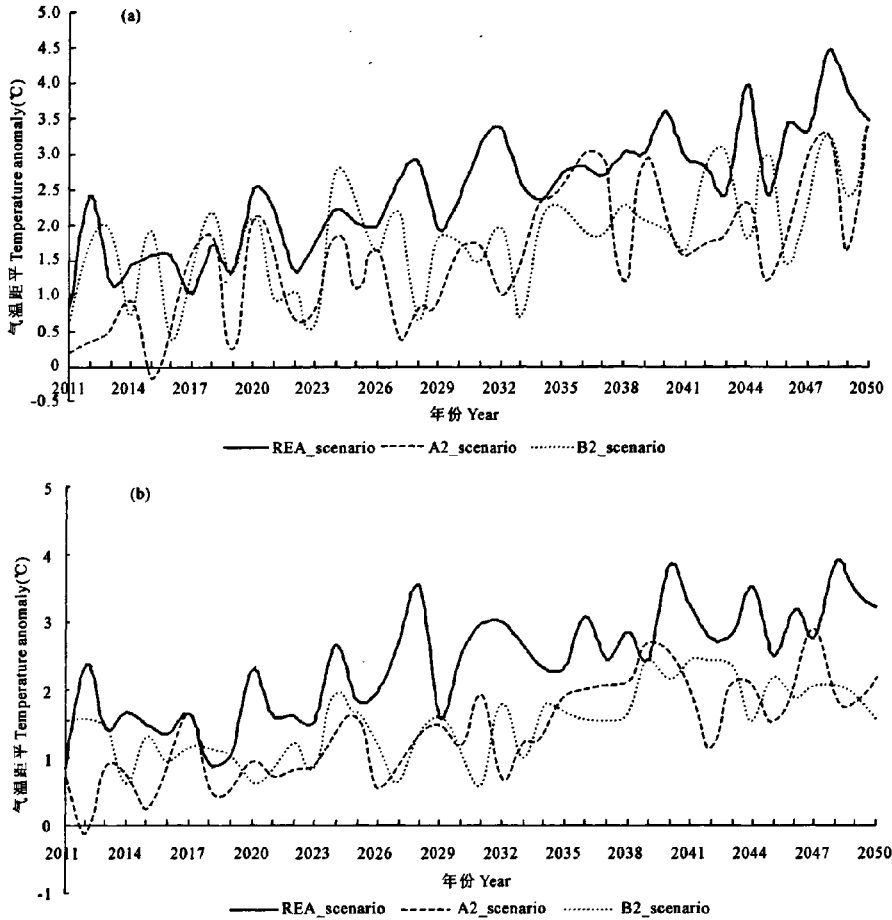


图 1 各种气候模式输出的东北(a)和华北地区(b)未来 40 a 气温距平逐年变化

Fig.1 Change trends of the average temperature in Northeast China(a) and North China(b) by different climatic models in the future 40 a compared with baseline

2.3 未来气候变化情景下华北冬小麦产量变化趋势

从三种情景下冬小麦产量模拟结果来看(见图 4),华北多数地区冬小麦表现为增产区,减产区主要集中在河北省的东部、天津、山东省东部沿海地区以及河南省的南部偏南地区,且增产区域和增产量都要大于减产区域和减产量。REA 情景下冬小麦产量变化范围在 $-16.11\% \sim 44.39\%$,从全区多年平均水平来看,增产约为 13.69% ;A2 情景下,冬小麦产量变化范围在 $-12.3\% \sim 64.53\%$,从全区多年平均水平来看,增产约为 11.31% ;B2 情景下,冬小麦产量变化范围在 $-7.51\% \sim 76.25\%$,从全区多年平均水平来看,增产约为 16.57% 。可见,从全区多年平均水平来看,三种情景下冬小麦单产都呈增产趋势。

3 讨论与结论

本文在引用国外作物生长模型的基础上,通过对模型的进一步修改和完善,结合气候模式输出的

气候结果,分析研究了未来 40 a 中国东北三省玉米和华北地区冬小麦的产量变化趋势,得出如下主要结论:

从三种情景下玉米产量变化情况来看,玉米减产区主要集中在吉林省的中西部以及辽宁省的中部和西北部一带,其中减产高值区主要在吉林省西部地区。东北三省的东部和北部地区属于增产区,其中增产高值区主要在黑龙江省东部地区。可见,未来气候变化情景下,吉林省西部地区可能是东北玉米减产高风险区。

从三种情景下冬小麦产量变化情况来看,华北多数地区表现为增产区,冬小麦产量变化自东北到西南大致表现为递增趋势。减产区主要集中在河北省的东部、天津、山东省东部沿海地区以及河南省的南部偏南地区,其中减产高值区主要在河北省东部地区。可见,未来气候变化情景下,京津以东地区以及山东省的东部一带可能是华北冬麦减产高风险区。

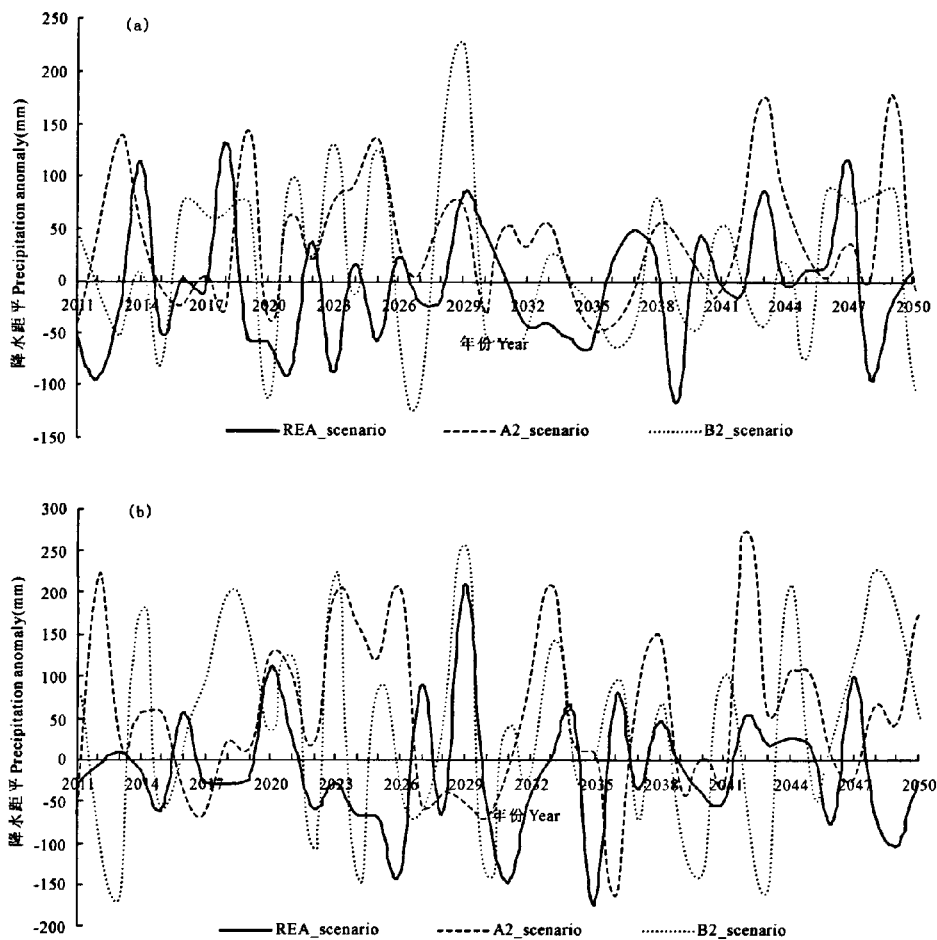


图 2 各种气候模式输出的东北(a)和华北地区(b)未来 40 a 降水距平逐年变化
Fig.2 Change trends of precipitation in Northeast China (a) and North China (b) by different climatic models in the future 40 a compared with baseline

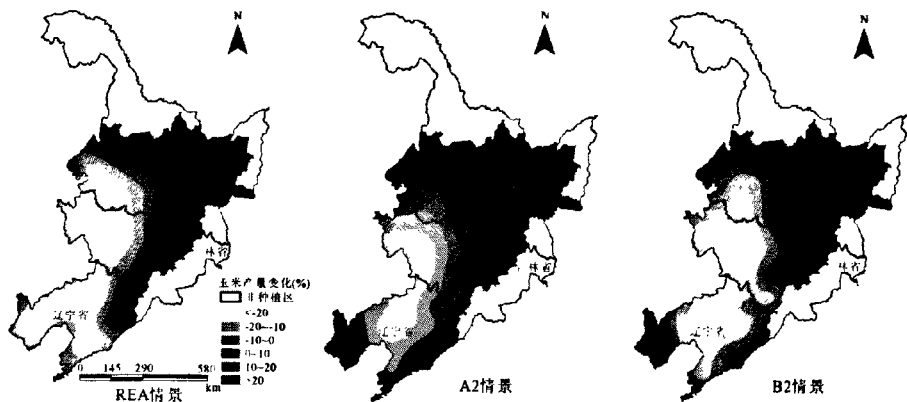


图 3 各种情景下玉米产量变化空间分布
Fig.3 Spatial distribution of maize yield in Northeast China in the future 40 a

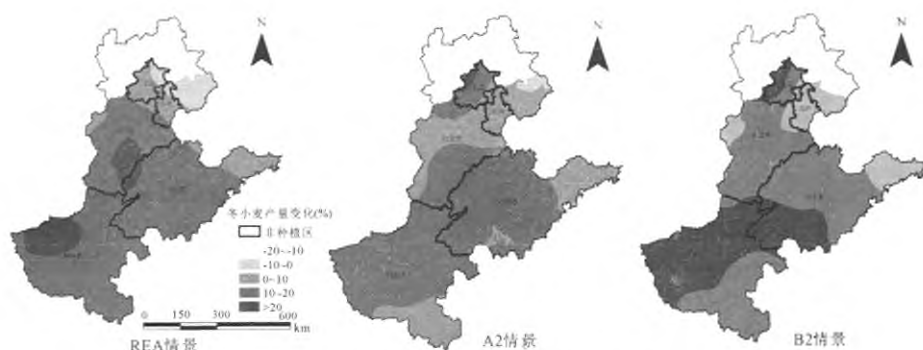


图 4 各种情景下冬小麦产量变化空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of winter wheat yield in North China in the future 40 a

综合以上模拟结果可以看出,各种气候情景驱动下东北玉米和华北小麦产量变化趋势虽然在减产区域和减产数值上各有差别,但总体变化趋势却大同小异,从一定程度上反映出未来我国东北与华北地区作物产量的一个指向性趋势。

已有研究成果多数是基于一种气候模式和作物生长模型相结合来评价不同气候背景下我国农作物产量的变化情况^[3-9],而本文的研究成果是基于两种气候模式输出的多种气候情景与同一作物生长模型相结合来预测未来气候变化对我国两大作物(冬小麦和玉米)产量的可能影响,这种方法的优点是可以减少气候模式的诸多不确定性因素,大大提高了模拟结果的可靠性和可信度,这也正是本文最初的设计思路,也是有别于其他研究的不同之处。

致谢:感谢中国气象局国家气候中心高学杰博士和中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所许吟隆博士提供的未来气候情景数据。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: synthesis report//Intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Working Group II, Climate Change 2001, Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers [M]. IPCC WG2 Third Assessment Report (TRA), 2001.
- [3] 王馥棠,赵宗慈,王石立,等.气候变化对中国农业生态的影响[M].北京:气象出版社,2003.
- [4] 林而达,张厚宣,王京华,等.全球气候变化对中国农业影响的模拟[M].北京:中国农业出版社,1997.
- [5] 张宇,王石立,王馥棠.气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究[J].应用气象学报,2000,1(4):264-270.
- [6] 金之庆,葛道阔,方娟,等.全球气候变暖对我国南方水稻生

产的影响及其适应性对策[J].南京农业大学学报,1991,(10):11-19.

- [7] 熊伟,杨婕,林而达,等.未来不同气候变化情景下我国玉米产量的初步预测[J].地球科学进展,2008,23(10):1092-1101.
- [8] 居辉,熊伟,许吟隆,等.气候变化对我国小麦产量的影响[J].作物学报,2005,31(10):1340-1343.
- [9] 张建平,赵艳霞,王春乙,等.气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量影响[J].应用生态学报,2006,17(7):1179-1184.
- [10] Filippo Giorgi, Linda O Mearns. Calculation of average, uncertainty range and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the 'Reliability Ensemble Averaging (REA)' method[J]. Journal of Climate, 2002, 15(10): 1141-1158.
- [11] Xu Ying, Gao Xuejie, Filippo Giorgi. Upgrades to the reliability ensemble averaging method for producing probabilistic climate-change projections[J]. Climate Research, 2010, 41, 61-68.
- [12] De Wit C T. Photosynthesis of leaf canopies[R]. Agricultural Research Report 63. Wageningen, The Netherlands: PUDOC, 1965:1-57.
- [13] De Wit C T. Dynamic concepts in biology[C]//Prediction and Management of Photosynthetic Productivity. Proceedings International Biological Program? Plant Production Technical Meeting. Wageningen, Netherlands: PUDOC, 1970:17-23.
- [14] De Wit C T. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops [M]. Wageningen, The Netherlands: Simulation Monographs, PUDOC, 1978.
- [15] Hijmans R J, Guiking Lens I M, van Diepen C A. User Guide for the WOFOST 6.0. Crop Growth Simulation Model [M]. Wageningen, The Netherlands: Technical document 12, DLO Winand Staring Centre, 1994.
- [16] I supit, Hooijer A A, Van Diepen C A. System Description the WOFOST 6.0. Crop Simulation Model Implemented in CGMS [M]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1994.
- [17] 张建平,王春乙,杨晓光,等.温度导致的我国东北三省玉米产量波动模拟[J].生态学报,2009,29(10):5516-5522.
- [18] 张建平.基于作物模型的农业气象灾害对东北华北作物产量影响评估[D].北京:中国农业大学,2010.

(英文摘要下转第 278 页)

- 筒性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 22-26.
- [5] 赵春花, 韩正晟, 曹致中. 育种小区手扶气吸脱粒清选式种子联合收获机的研制[J]. 中国农机化, 2010, (4): 64-67.
- [6] 张海军. 小区小麦种子联合收获机的研究与设计[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [7] 徐立章, 李耀明, 李洪昌, 等. 纵轴流脱粒分离-清选试验台设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 76-79, 134.
- [8] 敬志臣, 韩正晟, 高爱民, 等. 小区小麦联合收获机清选系统的仿真分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(3): 140-144.
- [9] 陈 魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [10] 李耀明, 李洪昌, 徐立章, 等. 短纹杆-板齿式轴流脱粒分离装置性能试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 88-92.
- [11] 李耀明, 徐立章, 杨秀景, 等. 油菜轴流脱粒滚筒性能对比试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 86-89.

Experiment on longitudinal axial conical cylinder threshing separation unit for plot breeding

DAI Fei, HAN Zheng-sheng*, ZHANG Feng-wei, GAO Ai-min, SUN Bu-gong

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In order to obtain the working parameters of longitudinal axial conical cylinder threshing separation unit for plot breeding, an experiment was conducted in the light of plot seed harvest mechanism, by changing 4 main operational parameters (feed quantity, rotate speed of cylinder, threshing clearance, rotate speed of gettinger fan) which influenced the unit performance indexes, with the residued rate of shell internal, the total loss rate, the trash content of cleaning rate and the broken rate as evaluating indicators. Through the orthogonal experiments, application overall rating method to obtain the optimal combination working parameters (feed quantity: 0.3 kg/s, rotate speed of cylinder: 1 600 r/min, threshing clearance: 8 mm, rotate speed of gettinger fan: 1 100 r/min) of the unit. Measured with the optimal combination of operational parameters, the experimental results showed that, the total loss rate was 0.45%, the trash content of cleaning rate was 16.16%, the residued rate of shell internal was 0.04%, and the broken rate was 0.46%, which could meet the demand of plot seed harvest.

Keywords: plot breeding; axial flow; threshing; separation; experiment

(上接第266页)

Simulation of change trend of crop yields under different climate change scenarios in Northeast and North China

ZHANG Jian-ping¹, ZHAO Yan-xia², WANG Chun-yi², WANG Jing³

(1. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China;

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

3. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The regional climate models PRECIS and RegCM3 and the crop growth model WOFOST were combined to simulate the changes in crop yields under different climate change scenarios in the future 40a. The preliminary results show that there is a decrease trend in maize yield at southwest part of Northeast China in view of the average values from 2011—2050, and the highest reduction was distributed at the areas of Baicheng, Tongyu in the west part of Jilin province under the three climate change scenarios. There is also a decrease trend in wheat yield in the east part of Hebei province and in the east part of Shandong province, and the highest reduction was distributed at Beijing and Tianjin and its east parts under the REA scenario. The reduction trend was also occurred at middle and east parts of Hebei province and in the east part of Shandong province and the south part of Henan province, and the highest reduction was distributed at Tianjin and the area east of it and the east part of Shandong province under the scenarios A2 and B2.

Keywords: climate change scenarios; crop growth model; yield; change trend; simulation