

全国主粮作物减产风险评估与保险费率厘定研究

叶 涛 陈 说 刘苇航 牟青洋 史培军 张兴明

[摘要] 《关于加快农业保险高质量发展的指导意见》对开展农业保险风险区划提出了具体要求。本研究针对水稻、小麦、玉米三大主粮作物,利用作物模型集合模拟器、配合县级历史单产统计数据,使用单产时空融合方法还原了 1991~2016 年全国 10 km 栅格水平的单产损失率,厘定了保险纯风险损失率和大灾风险附加费率。结果显示,在 100% 保障水平下,10 km 栅格尺度上的水稻纯风险损失率的均值为 3.8%、标准差为 3.1%;小麦纯风险损失率的均值为 5.9%、标准差为 3.7%;玉米纯风险损失率的均值为 5.8%、标准差为 3.4%。全国范围内统一分散大灾风险的前提下,20 年一遇大灾风险附加因子分别为 0.85(水稻)、0.64(小麦)和 0.7(玉米)。本文的评估方法有效解决了时间序列插补和空间降尺度的问题,可提供较高空间分辨率的评估结果、支撑各级行政单元的费率厘定,且具有较强的原生性、可配合实际需求计算不同保障水平的费率。本文的研究结果可为新一轮农业保险区划工作提供重要量化依据和技术支撑。

[关键词] 减产风险评估;纯风险损失率;大灾风险附加费率;费率厘定

[中图分类号] F842.6;F224 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1004-3306(2021)02-0003-14

DOI: 10.13497/j.cnki.is.2021.02.001

一、引言

开展农业生产风险评估与保险费率区划,制定区域差别化的农业保险费率,是有效保障农业保险公平性、效率性及可持续性的重要基础。我国农业保险试点已有近 40 年的历史(Shi et al. 2008),然而,受到基础数据、模型方法、政策实施等多方面因素的影响,在很长的时期内一直沿用“一省、一作物、一费率”的定价方式(Zhou et al. 2015)。这一方式已成为制约农业保险可持续和高质量发展的重要问题,引起了有关部门的高度重视。2012 年,原保监会提出应“加强农业保险风险区划的研究,提高农业保险产品定价的科学化水平”(周延礼 2012)。2016 年财政部印发的《中央财政农业保险保费补贴管理办法》指出“经办机构应当公平、合理地拟订农业保险条款和费率”。2019 年,四部委联

[基金项目] 国家重点研发计划“全球变化人口与经济系统风险全球评估(2016YFA0602404)”资助。

[作者简介] 叶涛,北京师范大学地理科学学部灾害风险科学研究院、应急管理部-教育部减灾与应急管理研究院教授、博士,研究方向:农业风险与灾害保险;陈说、刘苇航、牟青洋,北京师范大学地理科学学部灾害风险科学研究院硕士研究生,研究方向:全球变化与灾害风险;史培军(通讯作者),青海师范大学高原科学与可持续发展研究院教授,北京师范大学地理科学学部灾害风险科学研究院、应急管理部-教育部减灾与应急管理研究院教授、博士,研究方向:环境演变与自然灾害,E-mail: spj@bnu.edu.cn;张兴明,中国银行保险信息技术管理有限公司,博士,研究方向:灾害风险与保险。

感谢中国银行保险监督管理委员会财产保险监管部(再保险监管部)和首都经济贸易大学唐国柱教授对本研究的指导。感谢北京师范大学刘晓燕、刘轶青、杨婷婷、战宁和华东师范大学李梓桐等同学在年鉴数据录入整理中的贡献。

合出台的《关于加快农业保险高质量发展的指导意见》(以下简称《指导意见》)中明确提出,要“加强农业保险风险区划研究,构建农业生产风险地图,发布农业保险纯风险损失费率,……,实现基于地区风险的差异化定价”。开展农业灾害风险评估,制定基于减产风险水平的区域差异化保险费率,编制完成新一代中国农业保险风险和费率地图成为当前一项重要任务。

农业保险风险评估、区划与费率厘定研究属于典型的多学科交叉问题,兼具基础性和应用性。美国对该问题的探讨可追溯至20世纪50年代(Botts and Boles, 1958)。国内最早于1994年提出了农作物保险风险分区和费率分区的问题(虞国柱等, 1994a; 1994b),并引出一系列后续研究(邓国等, 2002; 周玉淑等, 2003; 邢鹏, 2004)。2007年新一轮政策性农业保险试点开始后,原保监会先后设立了“全国到省”和“省到区县”两级尺度上的种植业保险区划研究课题(史培军等, 2010; 史培军等, 2013a; 史培军等, 2013b),形成了以《全国种植业保险区划方案》为代表的研究成果,供农业保险经营主体在实践工作中参考。顺应中国农险市场的发展,多家知名境外风险模型公司和再保险经纪公司也先后研发了中国农业风险模型(Zuba, 2011; 王薇, 2011; Stojanovski et al., 2015)。

上述探索奠定了农业保险区划的四大主流方法(叶涛等, 2014; 叶涛等, 2017):依据历史保险赔案数据的经典非寿险精算方法;依据历史单产统计数据进行统计建模,获取减产(率)概率分布的“单产仿真法”;基于农作物生长模型,利用随机天气事件集或重现期情景对农作物单产进行模拟,并相应获取减产(率)概率分布的“作物生长模拟法”;以及通过对灾害事件建模和随机事件仿真,计算不同灾害情景下农业生产损失(率)的“灾害事件模拟法”。然而,或因保险赔案数据积累不足,地块水平的历史单产数据缺失,或因各类典型模型方法自身的缺陷,前期的研究探索未能在全国范围系统地完成区县一级乃至更高空间分辨率和精度的风险评估与费率厘定。

2019年《指导意见》的发布再次掀起了行业和学界对农业保险区划工作的新一轮高潮。2020年6月,中国农业科学院率先发布了基于详尽的历史县级单产数据、依托单产仿真方法完成的《中国农业生产风险区划地图册》(中国农业科学院农业信息研究所, 2020)。2020年11月,中国精算师协会等机构联合发布了依托详尽的赔案数据、使用经典精算方法完成的《稻谷、小麦、玉米成本保险行业基准纯风险损失率表(2020版)》。两项重量级成果依托各自数据源和方法上的优势,对全国范围主粮作物的生产风险和费率水平进行了科学评估。

风险评估的本质是依托历史损失对近期未来不确定性的估计;使用多源数据、多模型方法集合评估以获得更稳健的认识是当前气候变化和自然灾害风险评估的主流趋势。为此,本研究从作物生长模拟的角度出发,通过对水稻、小麦、玉米单产实现多作物模型集合模拟与单产时空融合,生成历史时期全国范围10 km分辨率的单产数据集,在此基础上估算了像元尺度不同保障水平下的减产风险、纯风险损失率,以及省级和全国尺度的典型重现期的大灾损失风险,以期进一步完善农业保险区划的相关技术方法,丰富本轮区划的成果,为行业实施基于风险区划的差异化定价提供支撑。

二、研究方法

(一) 总体框架

一直以来,农业保险区划工作所面临的关键问题是地块级别的历史单产数据的缺失:直接使用县级以上行政区划的统计单产数据会因尺度差异造成风险和费率的低估(叶涛等, 2014)。破解尺度差异、还原行政单元内部的差异性为解决上述问题的关键。在本研究中,主要采用了作物模型集合模拟

结合历史统计单产的时空融合方法(图 1):首先,利用作物模型集合模拟手段,生成较高空间分辨率的模拟单产数据,获取单产的空间差异信号。其后,使用历史统计单产数据获取单产的时间变异信息。开展时空融合,利用模拟单产插补统计单产,生成 1991~2016 年全国范围较高空间分辨率(10 km)的单产数据。最后,在此基础上,应用单产仿真方法,进行减产风险评估、纯风险损失率和大灾风险附加费率厘定。

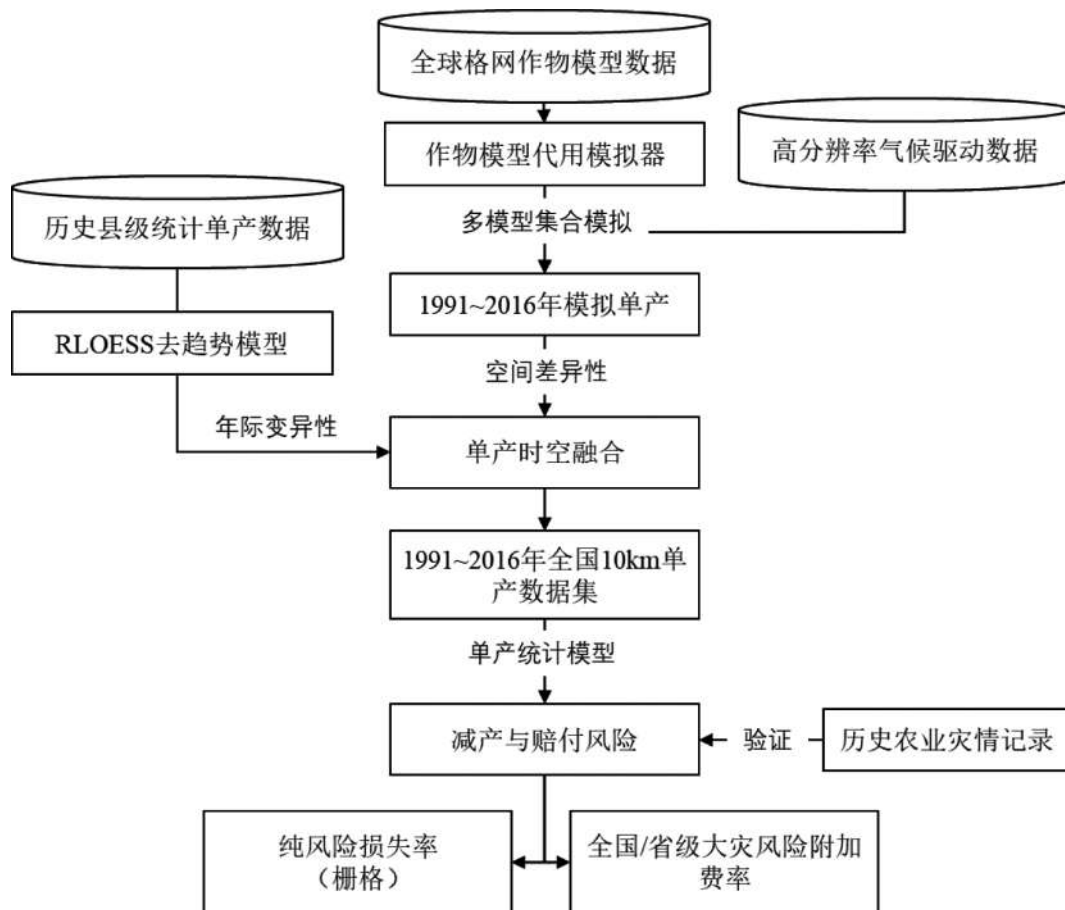


图 1 基于作物模型模拟结合时空融合方法的农作物保险损失风险评估与费率厘定技术框架

(二) 全国水稻、小麦、玉米历史单产模拟与时空融合

1. 历史(1991~2016年)单产多模型集合模拟

对全国范围水稻、小麦、玉米历史单产的集合模拟,使用了北京师范大学依托全球格网作物模型(Müller et al. 2017 2019)训练的水稻、小麦、玉米模拟器(Liu et al. 2020)。该模拟器使用极限梯度提升树(Folberth et al. 2019)模拟了四种全球格网作物模型(pDSSAT、pAPSIM、GEPIC和EPIC-IIA-SA)在雨养和灌溉两种条件下的输入-输出关系。在仅使用15~20个变量的前提下,仍可实现对原有作物模型较高的还原度,且计算效率极大提升。小麦模拟器与原模型之间的 R^2 达到83%,玉米模拟器达到86%,水稻模拟器则达到82%。所有模拟器预测单产平均误差均在1 t/ha之内。

使用历史时期(1991~2016年)全国范围高分辨率(25 km)格点化逐日气象数据(CN05.1)(吴

佳等 2013) 驱动作物模型模拟器, 模拟生成了全国三大主粮作物的雨养和灌溉单产。模拟过程中, 假定土壤和肥料施用条件保持不变。将模拟得到的雨养和灌溉单产依据 10 km 的作物种植面积数据 (You and Wood 2006) 在格网上完成加权平均, 最终得到三大主粮作物在历史时期的模拟单产。

2. 单产数据时空融合

时空融合是遥感领域用于解决遥感影像无法兼顾时间和空间分辨率, 在高时间分辨率和高空间分辨率的两类数据之间进行融合从而提升时空分辨率的方法 (Gao et al. 2006)。借用此理念, 本研究对县级统计单产和模型模拟单产之间进行时空融合, 以充分利用模拟单产在空间分辨率上的优势, 兼顾县级统计单产在年际变异性上的准确性, 从而达到在较高空间分辨率上还原单产年际波动的目标。融合依据的县级统计单产来源于《中国统计年鉴》、各省(市、自治区)统计年鉴、农村统计年鉴以及各类农业统计资料, 来源因省区不同略有差异。

在融合过程中, 首先对年鉴统计数据进行质量控制: 删除超过单产能够到达范围的异常单产; 删除正负三倍标准差范围外的单产; 只采用单产记录超过 9 年的县级统计数据。时空融合包含时间维插补和空间降尺度两部分。在时间维度, 首先分别对县级统计单产和模拟单产进行趋势和距平计算。假定 y_{cit}^m 是栅格单元 i 在 t 年的模拟单产, A_{ci} 是栅格 i 落在县域 c 内的面积, 模拟得到的县级平均单产 Y_{ct}^m 即为 y_{cit}^m 关于 A_{ci} 的加权平均值。依据文献 (Ye et al. 2015) 的建议, 使用稳健局部加权回归 (RLOESS) 对县级的模拟单产 Y_{ct}^m 和统计单产 Y_{ct}^{yb} 分别进行去趋势处理, 采用相对离差法 (Deng et al. 2007) 将原时间序列转换为无时间趋势的平稳序列以及对应的距平值 $\delta Y_{ct} = Y_{ct} / Y_c$ 。

对统计单产序列的缺失值进行时间序列插补的过程借助了气候变化预估数据偏差校正中常用的分位数校正方法 (Hempel et al. 2013): 对模拟和统计单产距平均有数据的年份, 分别建立各自的排序集 $\{\delta Y_c\}$, 并建立两类距平的排序值之间的回归关系:

$$\delta Y_c^{yb} = a \cdot \delta Y_c^m + b + \varepsilon \quad (1)$$

式中 a 和 b 是需要估计的回归系数, ε 是随机误差。在此基础上, 可反向应用该关系对统计单产缺失的年份进行插补, 从而获得完整的统计单产序列 Y_{ct}^o 。

最后, 即可对县级数据进行空间降尺度。假设第 t 年 c 县有 $i=1, 2, \dots, N$ 个栅格, 其中第 i 个栅格的模拟单产为 y_{cit}^m , 时空融合后该栅格的单产 y_{cit} 为:

$$y_{cit} = y_{cit}^m \cdot \frac{Y_{ct}^o}{Y_{ct}^m} \quad (2)$$

(三) 风险评估与费率厘定

1. 减产风险评估与纯风险损失率厘定

在完成时空融合后, 可利用经典的“单产仿真法” (叶涛等 2014) 对逐个栅格计算保额损失率并厘定纯风险损失率。假定 y_{cit} 是县 c 内栅格单元 i 在 t 年的单产水平, \bar{y}_{ci} 为与之对应的多年平均单产。在任意预设保障水平 θ 下, 因气候年际波动造成的保额损失率相应为 (高瑜等 2017):

$$lcr_{cit} = \max \left[0, \frac{y_{cit} - \theta \cdot \bar{y}_{ci}}{\theta \cdot \bar{y}_{ci}} \right] \quad (3)$$

此时, 纯风险损失率即为保额损失率在所有年份 T 内的期望值:

$$E[lcr_{cit}] \approx \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \max \left[0, \frac{y_{cit} - \theta \cdot \bar{y}_{ci}}{\theta \cdot \bar{y}_{ci}} \right] \quad (4)$$

相应地,县级水平的纯风险损失率则为辖区内所有承保单元的纯风险损失率的面积加权平均值:

$$LCR_{ct} = \frac{\sum_i A_{ci} \cdot lcr_{cit}}{\sum_i A_{ci}} \quad (5)$$

式中 A_{ci} 是栅格 i 落在县域 c 内的面积。

2. 大灾风险评估与大灾风险附加费率厘定

依据文献中的定义,大灾风险评估是针对较高重现期的保额损失率的估计(虞国柱等 2013),是特定区域内总保险赔付的尾部特征。为此,本文仅在省和全国两级尺度上评估大灾风险。给定任意区域(省或全国)的历年保额损失率,特定重现期 RP 对应的保额损失率可表达为(高瑜等 2017):

$$LCR^{RP} = \arg \left\{ X: \Pr\{LCR > X\} = \frac{1}{RP} \right\} \quad (6)$$

对应重现期下的大灾风险附加费率则是重现期保额损失率与纯风险损失率之差(Ye et al., 2020):

$$\lambda^{RP} = LCR^{RP} - E[LCR] \quad (7)$$

大灾风险附加费率与纯风险损失率的比值通常被称为“大灾风险附加因子”(Wang and Zhang, 2003),是衡量风险分散效率的标准之一;比值越小,区内风险的相关性越小、分散效率越高;农户缴纳的保费中用于应对自身损失的部分越多,而用于应对集体性风险的部分越少。在本研究中,使用最优窗宽高斯核密度估计方法对省级和全国保额损失率的概率密度进行了估计。由于模拟期间长仅为 26 年,为此,在结果中只取 10 年一遇和 20 年一遇两档重现期的大灾水平。

三、结 果

(一) 纯风险损失率厘定结果

图 2~4 中分别列出了全国范围水稻、小麦和玉米 10 km 栅格尺度、100% 保障水平的纯风险损失率厘定结果。在三种作物中,小麦的纯风险损失率均值较高,且空间差异最大。水稻的纯风险损失率结果中同时包括了单季稻、双季稻区的纯风险损失率。由于统计口径变更等问题,多数双季稻种植区的统计年鉴无法保证在长时间序列上分别提供早稻、晚稻的统计单产。因此,在本文的结果中只能笼统地称为“水稻”,可视作早稻和晚稻的平均纯风险损失率。

水稻(图 2)的中高风险区(纯风险损失率 $> 3\%$)主要集中在东北一季稻种植区与贵州一季稻种植区,以及淮河流域上游的一季稻种植区。此外,新疆、西藏、内蒙古和陕西北部的一季稻零星种植区风险也较高。中高风险区中,东北三省是我国优质水稻的主产区,但主要受到水资源短缺(高世伟等 2020)和干旱、冰雹等气象灾害频发(王秋京等 2020)的影响,生产风险高于全国其他地区。贵州等地的水稻种植受干旱等影响较大(宋艳玲等 2014)。渭河流域的一季稻种植区属于面积较大的中等风险区,纯风险损失率可到 5% 左右。除上述区域外,我国其他一稻季种植区和双季稻种植区的纯风险损失率均在 3% 以下,减产风险相对较小。

小麦(图 3)的高风险区(纯风险损失率 $> 9\%$)主要集中在东北春麦区、北部春麦区,以及黄土高原小麦种植区(覆盖西北春麦区、北部冬麦区和黄淮冬麦区的交界地带)。安徽北部、云南东部、贵州北部的冬麦种植区为次高风险区,纯风险损失率介于 $6\% \sim 12\%$ 之间。在这些区域中,东北春

麦区和北部春麦区的小麦生产主要受春季干旱和收获期阴雨的影响(卢布等,2010),而黄土高原小麦种植区主要受干旱等影响(包阿茹汗等,2019;宋晴晴等,2019)。在小麦的主要优势产区,东北春麦优势区中,三江平原区的纯风险损失率为4%~14.6%,嫩江上游地区的纯风险损失率约为6.1%~16.6%。松辽平原北部的风险(6%~12%)则略低于西部和南部地区(>12%)。黄淮海冬麦优势产区的风险为南高北低、西高东低的总体特点。安徽北部和渭河流域风险较高,其余大部分为中低风险区(纯风险损失率<6%),冀南、鲁西北和豫北交界地区为最低(<3%)。此外,四川盆地东部、重庆等地的冬小麦纯风险损失率也属全国最低。

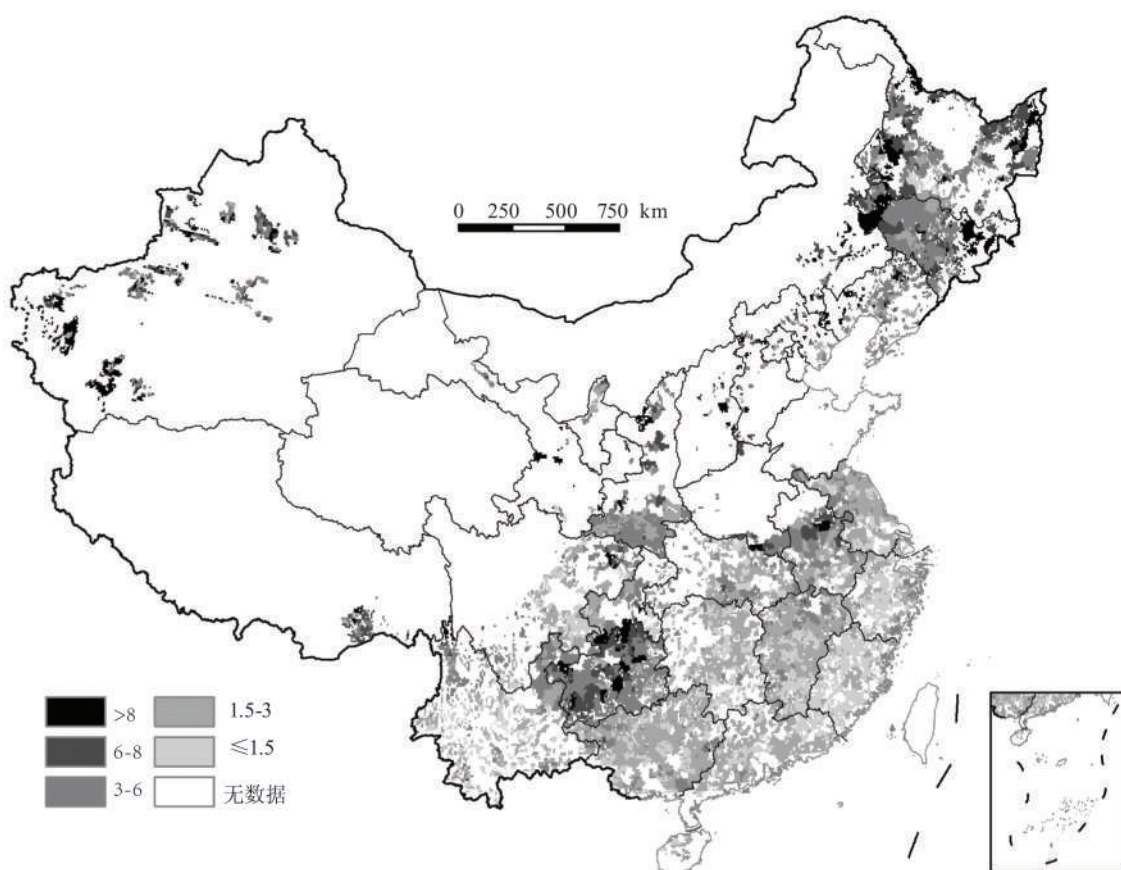


图2 全国10 km 栅格尺度的水稻保险纯风险损失率(100%保障水平;单位:%)

注:无数据指未种植该作物或无相关种植资料。

玉米(图4)的中高风险区(纯风险损失率>9%)主要集中在北方春播玉米区的松辽平原-辽西-燕山-山西大同盆地区,零星分布在黄淮海夏播玉米区的南阳盆地、汉中盆地以及黄河三角洲周边的盐碱地区。高风险区中的辽宁,由于异常天气频发、管理措施不当、种植密度偏低和栽种模式单一等,生产风险较高(孙成韬等,2015)。玉米生产风险相对较低的区域(<3%)主要集中在黄淮海夏播玉米区的中北部地区,西南山地玉米区的西南部、以云南为主。此外,西北灌溉玉米区的风险总体也较低。

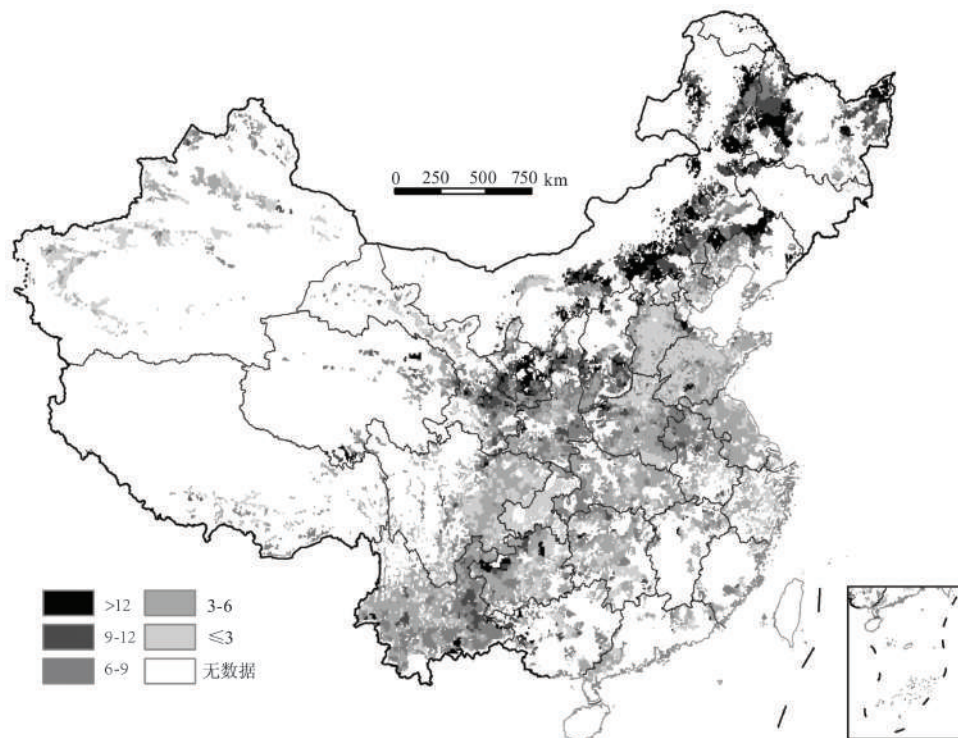


图 3 全国 10 km 栅格尺度的小麦保险纯风险损失率(100%保障水平;单位:%)

注: 无数据指未种植该作物或无相关种植资料。

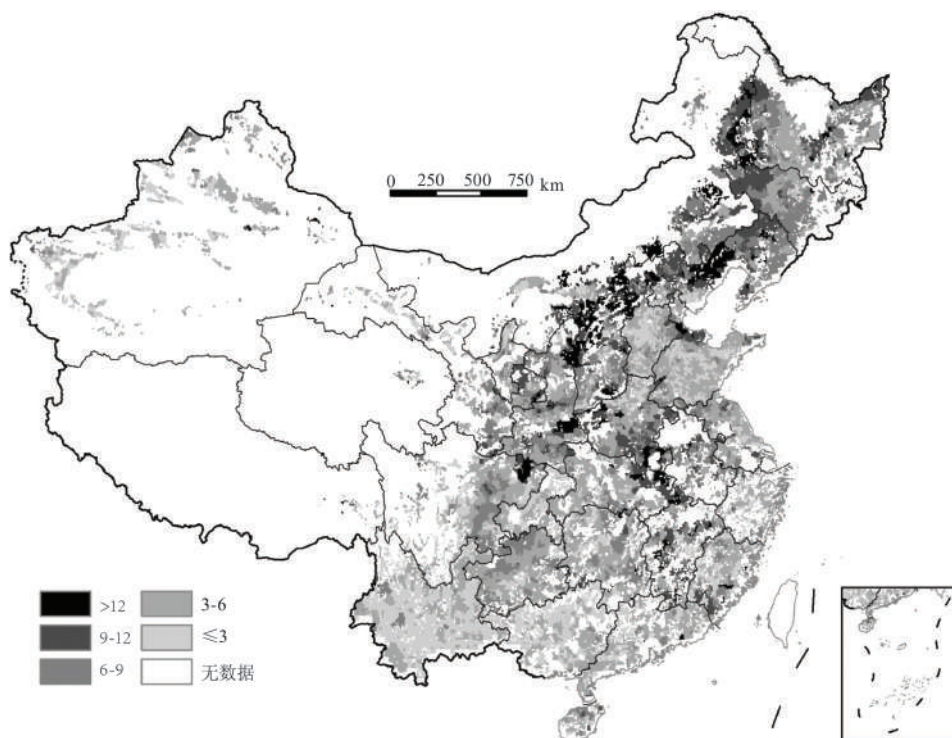


图 4 全国 10 km 栅格尺度的玉米保险纯风险损失率(100%保障水平;单位:%)

注: 无数据指未种植该作物或无相关种植资料。

(二) 大灾风险附加费率厘定结果

省级尺度上,水稻 20 年一遇的大灾风险附加费率介于 2% ~ 27.7% 之间。最高的为山西 (27.7%)、贵州 (21.3%) 和西藏 (20.5%)。大灾风险附加费率的高值与历史时期曾出现过的大灾损失密切相关。例如,在 1991 ~ 2016 年间,贵州水稻单产总体维持较高水平(约 6 t/ha),但是在 2002 年遇低温阴雨天气和严重的病虫害、又在 2011 年遇西南地区大旱(宋艳玲等 2014),均出现了明显减产,平均减产率分别达到了 24% 和 29.5%。从大灾风险附加因子来看,全国约为 0.85; 各省级单位介于 0.6 ~ 4.2 之间,最高的省份(直辖市)为海南(4.2)、重庆(4) 和河南(3.8)。

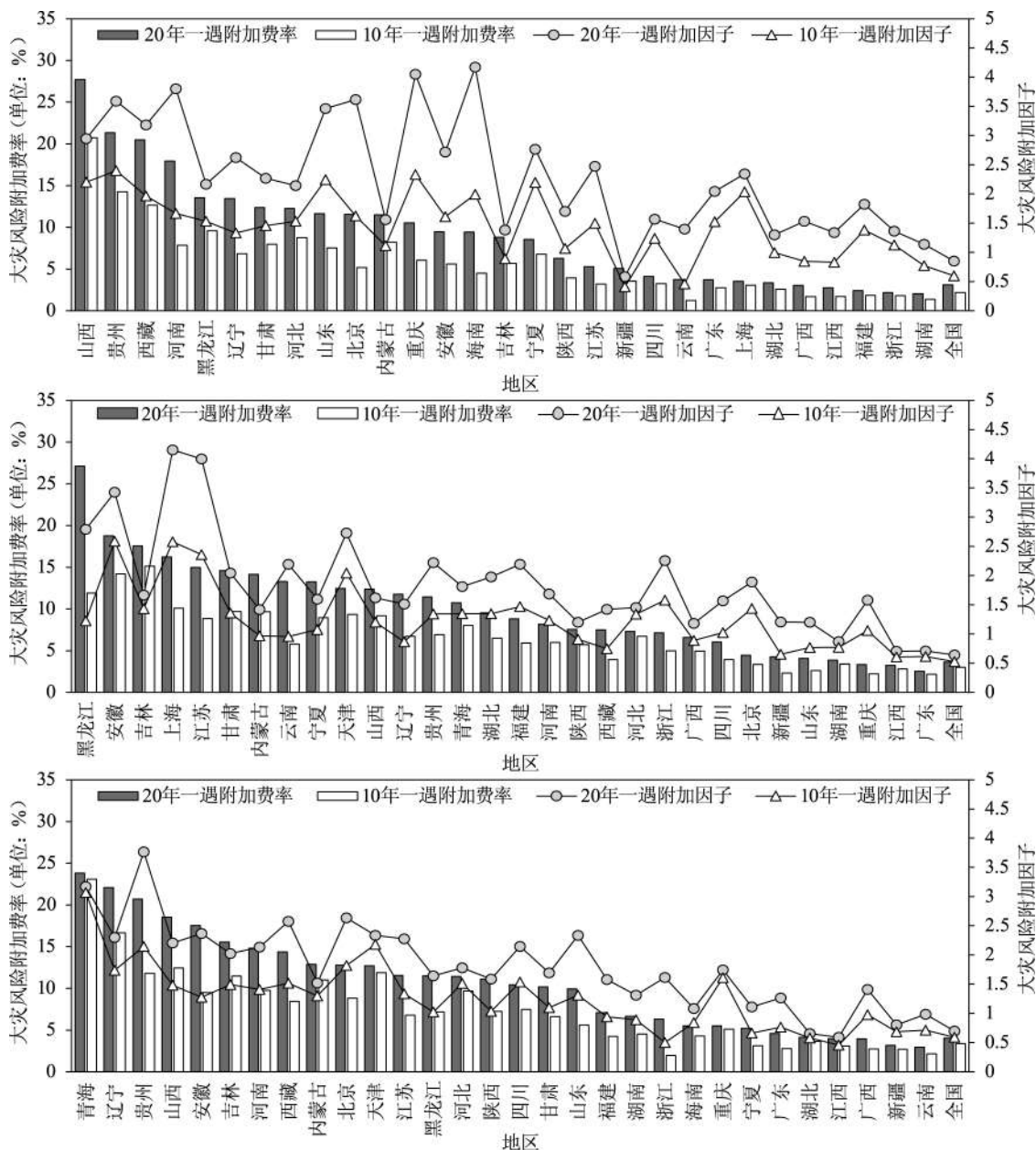


图 5 各省 10 年一遇和 20 年一遇大灾风险附加费率厘定结果

注: 自上而下依次为: 水稻、小麦、玉米; 香港、澳门、台湾资料暂缺。

小麦 20 年一遇的大灾风险附加费率介于 2.5% ~ 27.1% 之间。最高的省份为黑龙江(27.1%)、安徽(18.8%)和吉林(17.6%)。其中,黑龙江在 2000 年和 2003 年全省平均减产率分别达到了 38.6% 和 36.1%。安徽的小麦生产在 1991 年和 1998 年受到特大水灾的影响(张爱民等 2007),全省平均减产率分别达 26.8% 和 21.4%。吉林的小麦单产自 2006 年以来总体呈稳定上升的趋势,但在 2009 年受夏季旱灾影响出现了明显减产(梅旭荣 2011),当年平均减产率达 20.6%。就大灾风险附加因子来看,全国约为 0.64; 各省级单位介于 0.7 ~ 4.2 之间,附加因子最高的省份(直辖市)为上海(4.2)、江苏(4)和安徽(3.4)。

玉米 20 年一遇的大灾风险附加费率介于 3% ~ 23.8% 之间。最高的省份为青海(23.8%)、辽宁(22.1%)和贵州(20.7%)。其中,2000 和 2001 年,青海旱情严重(杨斐,2019),减产率分别达 30.3% 和 31.3%。辽宁在 2009 年的夏季旱灾中受到严重影响,辽西玉米产区减产严重(Ye et al., 2012)。贵州受 2011 年西南地区大旱的影响,当年减产率达 31%。就大灾风险附加因子来看,全国约为 0.7; 各省级单位介于 0.6 ~ 3.8 之间,最高的省份(直辖市)为贵州(3.8)、青海(3.2)和北京(2.6)。

四、讨 论

(一) 纯风险损失率

本研究依托多作物模型集合模拟还原了历史时期单产的空间差异性,实现了对历史统计单产的时空融合,利用经典单产仿真方法评估了全国范围栅格尺度水稻、小麦和玉米的期望减产率/纯风险损失率,并厘定了省级和全国尺度的大灾风险附加费率。

从期望减产率/纯风险损失率来看,空间降尺度的结果准确揭示了三大粮食作物减产风险的空间差异性,与已有文献中关于中国主要粮食作物生产风险的认识相近(张峭等 2007; 王克等 2008; 史培军等 2010); 与《中国农业生产风险区划地图册》的结果相比,无论在省一级尺度或在县一级尺度也保持了高度的一致性。本研究也将模拟获得的历年栅格水平的减产率,依据农业自然灾害灾情统计的相关标准,分别统计为各省历年受灾和成灾面积,并与中国农业统计资料上记录的对应指标进行了相关分析。结果显示,受灾和成灾面积的相关系数(R^2)分别为 0.34 和 0.33。该对比说明,基于单产集合模拟与时空融合的方法在一定程度上抓住了农业自然灾害的损失情况。但因本研究只涉及到三大主粮作物,而农业灾情统计资料中则包含了所有类型的农作物,因此对比结果显示还有较大的不确定。

相比于现有研究结果,本文基于 10 km 栅格尺度的结果,空间分辨率可大幅度细过县界,进一步揭示了减产风险在县域内部的空间差异性(图 6)。与此同时,该方法又有效解决了传统的利用行政单元统计单产进行农户级别保险定价中面临的尺度置换问题(叶涛等 2014),有效还原了真实的纯风险损失率水平。如直接在县级单产数据上进行纯风险损失率测算,将比本文的结果偏低 26.3% (水稻)、27.1% (小麦)和 13.8% (玉米)。从实践应用的角度而言,本文的研究结果进一步证明,在更细的粒度上执行基于风险水平的区域差异化费率是必须的。即使在县一级行政区划内,减产风险水平仍然存在显著的差异。

(二) 大灾风险附加费率

从大灾风险附加费率来看,本研究的结果提供了首个全国范围自下而上的省级尺度估计结果。

与前人研究中直接使用省级历史单产估计的结果相比(梁来存等,2018),本文的结果在数值上更高。但从历史时期实际的大灾损失记录与省级单产的年际波动来看,本文20年一遇的保额损失率结果与所模拟的历史时期(26年)中各省曾经发生过的大灾损失率记录相吻合。

从大灾附加因子来看,本文的结果在全国尺度上是0.64~0.85。这与美国全国范围的0.6(小麦)和1.4(玉米)数量级相当(Wang and Zhang,2003)。在国土疆域面积相当的情况下,作物减产风险在空间上的分散效率也较相近。这一结果对农业保险费率厘定和大灾风险准备金的计提规模提供了重要的量化依据。与此同时,全国尺度的大灾风险附加费率显著地低于分省的结果,充分说明农业大灾风险在更大的空间范围内可以得到较为有效的分散。因此,建立跨省区乃至全国统一的农业保险大灾风险基金,是进行大灾风险有效分散的重要途径。

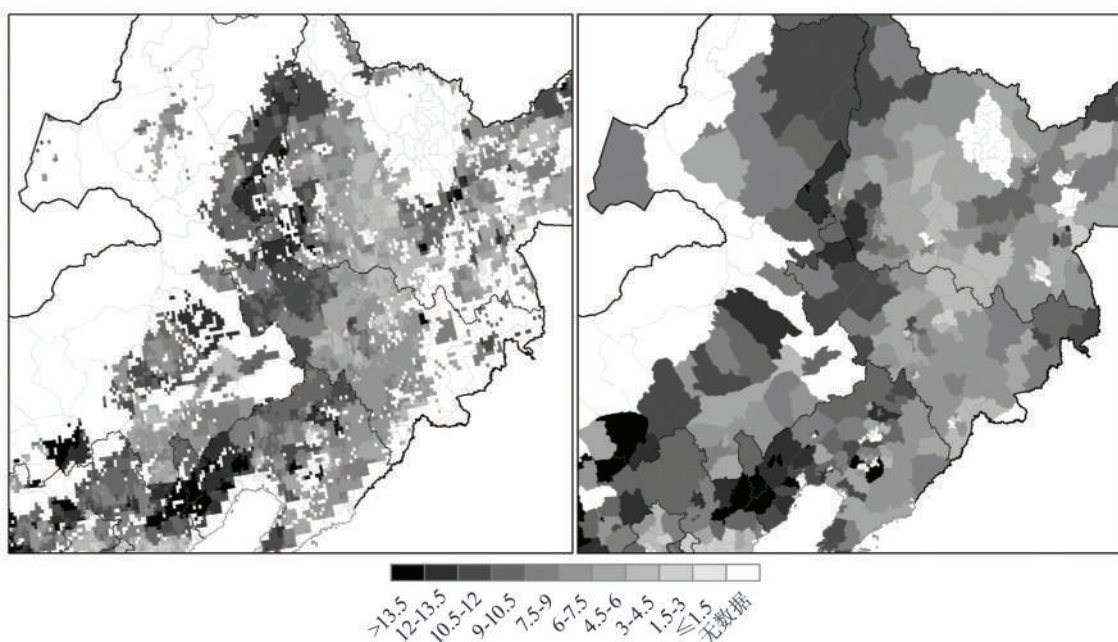


图6 东北地区10 km 栅格(左)和县级(右)尺度的玉米保险纯风险损失率局部对比图(100%保障水平;单位:%)

注:无数据指未种植该作物或无相关种植资料。

(三) 研究结果的实践应用

本研究的上述量化结果已具备了指导定价实践的条件,风险费率=纯风险损失率+大灾风险附加费率(Wang and Zhang,2003)。在具体应用过程中,需要根据费率制定的基本空间单元和保障水平进行重新计算。受到论文篇幅的限制,本文仅给出了100%保障水平下栅格尺度的厘定结果。但本文还原的历史时期较高分辨率单产数据集具有很强的原生性特征,可灵活计算不同保障水平和赔付办法的保额损失率。如将保障水平调低至70%,全国总体上纯风险损失率将下降89.4%(水稻)、86.1%(小麦)和84.9%(玉米),而20年一遇大灾风险附加费率将下降71.9%(水稻)、61.4%(小麦)和69.9%(玉米),20年一遇大灾风险附加因子由原来的0.85(水稻)、0.64(小麦)和玉米(0.7)依次变更为2.3(水稻)、1.8(小麦)和1.4(玉米)。此时,如使用全国分散大灾风险的机制,水稻、小

麦和玉米在 10 km 栅格尺度的风险费率水平分别为 0.9% ~ 9.7% (水稻) , 1.4% ~ 10.3% (小麦) 和 1.3% ~ 11.2% (玉米) , 与当前执行的费率差异并不明显。^①

(四) 不足

本研究工作沿着既定框架实施的过程中, 由于受到了若干数据上的限制, 导致研究仍存在一些不足之处。主要包括如下两个方面:

1. 受到数据限制, 纯风险损失率结果仍存在不确定性。一方面, 统计数据的缺失和不连续给结果带来了一定的不确定性。特别是不同类型水稻的细分数据, 统计口径变化很大, 无奈放弃了分类型的评估与测算, 在双季稻区只能笼统地给出稻谷的结果。对此类数据限定性问题的解决需要进一步开辟新的高空间分辨率产量监测数据, 利用遥感与数据同化等方法制备更好的历史单产, 以支撑从单产年际变率出发的风险评估与费率厘定工作。另一方面, 本研究未能获得更详细的赔案数据, 在地市、县级尺度上对模拟得到的保额损失率进行验证。解决这一问题需要解决行业赔案数据的共享机制, 使较为细致的赔案数据在具有行业性指导意义的研究中发挥更积极的作用。与此同时, 赔案数据要从量的积累向质的提升方向转变。理赔规范化、口径一致化、记录标准化, 是使赔案数据更好地反映保险损失风险水平的前提。

2. 大灾风险估计仍有不足。本研究关于大灾风险的估计, 采用了基于精细空间单元保险损失“自下而上”累加的方式获得。尽管在使用历史时期气候驱动数据的过程中已经包含了空间相关性的影响, 但是真正的大灾事件如大尺度的旱涝灾害还未被明确地纳入到分析框架中, 可能造成低估。与此同时, 26 年的时间序列对于解读和重建大灾风险仍显得捉襟见肘。在后续的工作中, 应从抓住可能引起大范围减产的大尺度环流异常(如厄尔尼诺等)和重大灾害事件出发, 做好“最坏”情景的模拟, 以更充分地考虑大灾可能造成的严重损失。

五、结论与展望

农业生产风险评估与保险费率厘定是农业保险迈向高质量发展过程中信息基础设施建设的核心工作之一。本文针对全国水稻、小麦、玉米的减产风险评估与保险费率厘定问题, 发展了一种有机结合农作物多模型集合模拟、单产时空融合与经典单产统计模型的方法, 实现了对 1991 ~ 2016 年全国 10 km 分辨率下的水稻、小麦、玉米减产率的降尺度重建, 并在此基础上厘定了三种作物在 100% 保障水平下 10 km 栅格水平的纯风险损失率和省/国家尺度 10 年一遇和 20 年一遇的大灾风险附加费率。与已发布的结果相比, 本研究在方法上更注重多源数据融合和多模型集合估计, 所获得的结果拥有更高的空间分辨率、灵活性和可拓展性, 后续可为农业保险行业的实践应用和可持续发展提供重要的技术方法和量化依据。

为了进一步做好以农作物减产风险评估和保险费率厘定为重要基础的农业保险区划工作, 后续应在如下方面更进一步:

1. 打破数据壁垒, 引入更多源的数据融合。本轮区划工作所取得的阶段性成果中, 或依赖县级统计数据, 或依赖历史赔案数据, 多源数据之间还未真正实现交叉验证和融合。充分共享和融合作物模拟、遥感反演、田间观测、核损理赔等数据, 准确掌握较高空间分辨率上的农作物单产和损失水平,

^① 典型保障水平下像元、县级和地市尺度的纯风险损失率结果可联系作者另行获取。

是进一步提升减产风险评估与费率厘定精度的前提。

2. 建立费率动态更新机制。信息时代增加了数据获取的方式、加快了数据更新的节奏; 气候变化也正逐步改变农业生产的风险水平。充分利用年度新数据动态更新减产风险的评估结果, 提升对极端减产和大灾风险预估的可靠性, 并兼顾气候变化带来的风险动态变化, 将是下一步工作的一个重点。

[参考文献]

- [1] 包阿茹汗, 覃志豪, 高懋芳, 等. 宁夏玉米和小麦干旱风险评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019 (4): 70-84+92.
- [2] 邓国, 王昂生, 周玉淑, 等. 中国省级粮食产量的风险区划研究[J]. 南京气象学院学报, 2002 (3): 373-379.
- [3] 高世伟, 聂守军, 刘晴, 等. 黑龙江省水稻产业现状分析及未来发展思路[J]. 中国稻米, 2020 (2): 104-106.
- [4] 高瑜, 叶涛, 王季薇, 等. 种植业多灾种综合险与区域产量指数保险中的大灾风险比较研究[J]. 农业现代化研究, 2017 (5): 827-833.
- [5] 梁来存, 皮友静. 粮食作物巨灾保险的纯费率厘定[J]. 统计与决策, 2018 (21): 90-93.
- [6] 卢布, 丁斌, 吕修涛, 等. 中国小麦优势区域布局规划研究[J]. 中国农业资源与区划, 2010 (2): 6-12+61.
- [7] 梅旭荣. 为什么大灾之年我国粮食再获丰收? [EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/ztlz/lswdzcxd/gzdt/201110/t20111013_2356405.htm, 2011-10-13.
- [8] 史培军, 王静爱, 叶涛, 等. 全国种植业保险区划研究报告与图册[R]. 北京: 北京师范大学, 2010.
- [9] 史培军, 王静爱, 张兴明, 等. 内蒙古自治区省到区县一级种植业保险区划试点研究报告与图册[R]. 北京: 北京师范大学, 2013a.
- [10] 史培军, 叶涛, 王静爱, 等. 湖南省省到区县一级种植业保险区划试点研究报告与图册[R]. 北京: 北京师范大学, 2013b.
- [11] 宋晴晴, 高树棠, 李强. 基于干旱风险的甘肃省小麦保险费率厘定研究[J]. 农业科学研究, 2019 (1): 15-22.
- [12] 宋艳玲, 蔡雯悦, 柳艳菊, 等. 我国西南地区干旱变化及对贵州水稻产量影响[J]. 应用气象学报, 2014 (5): 550-558.
- [13] 孙成韬, 王延波. 辽宁省玉米生产现状、主要问题及解决途径[J]. 农业经济, 2015 (3): 15-17.
- [14] 虞国柱, 丁少群. 论农作物保险区划及其理论依据——农作物保险区划研究之一[J]. 当代经济科学, 1994a, (3): 64-69+41.
- [15] 虞国柱, 丁少群. 农作物保险风险分区和费率分区问题的探讨[J]. 中国农村经济, 1994b (8): 43-47+61.
- [16] 虞国柱, 王克, 张峭, 等. 中国农业保险大灾风险分散制度及大灾风险基金规模研究[J]. 保险研究, 2013, (6): 3-15.
- [17] 王克, 张峭. 我国东北三省主要农作物生产风险评估[J]. 农业展望, 2008 (7): 23-29.
- [18] 王秋京, 马国忠, 朱海霞, 等. 黑龙江省主要农业气象灾害演变特征及对水稻产量的影响[J]. 灾害学, 2020 (1): 76-83.
- [19] 王薇. 用更强大更精准数据模型把脉中国农作物保险——访怡安奔福再保顾问有限公司及法国再保险公司专家[N]. 中国保险报, 2011-09-06.
- [20] 吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比[J]. 地球物理学报, 2013 (4): 44-53.
- [21] 邢鹏. 中国种植业生产风险与政策性农业保险研究[D]. 南京: 南京农业大学博士论文, 2004.
- [22] 杨斐. 21世纪初青海省春季大气干旱变化新特征[J]. 青海气象, 2019 (2): 15-20+29.
- [23] 叶涛, 史培军, 王静爱. 种植业自然灾害风险模型研究进展[J]. 保险研究, 2014 (10): 12-23.
- [24] 叶涛, 史培军, 王俊, 等. 综合风险防范: 农业自然灾害保险区划[M]. 北京: 科学出版社, 2017.

- [25] 张爱民, 马晓群, 杨太明, 等. 安徽省旱涝灾害及其对农作物产量影响[J]. 应用气象学报, 2007, (5): 619 – 626.
- [26] 张峭, 王克. 中国玉米生产风险分析和评估[A]. 中国农学会科技情报分会、中国农学会农业图书馆分会、中国农学会计算机农业应用分会. 中国农业信息科技创新与学科发展大会论文汇编[C]. 中国农学会科技情报分会、中国农学会农业图书馆分会、中国农学会计算机农业应用分会: 中国农学会, 2007: 11.
- [27] 中国农业科学院农业信息研究所. 中国农业生产风险区划地图集[R]. 北京: 中国农业科学院农业信息研究所, 2020.
- [28] 周延礼. 我国农业保险的成绩、问题及未来发展[J]. 保险研究, 2012, (5): 3 – 9.
- [29] 周玉淑, 邓国, 齐斌, 等. 中国粮食产量保险费率的订定方法和保险费率区划[J]. 南京气象学院学报, 2003, (6): 804 – 814.
- [30] Botts R R and Boles J N. Use of Normal – Curve Theory in Crop Insurance Ratemaking[J]. Journal of Farm Economics, 1958, 40(3): 733 – 740.
- [31] Deng X, Barnett B J and Vedenov D V. Is There a Viable Market for Area – Based Crop Insurance? [J]. American Journal of Agricultural Economics, 2007, 89(2): 508 – 519.
- [32] Folberth C, Baklanov A, Balkovič J, et al. Spatio – temporal Downscaling of Gridded Crop Model Yield Estimates Based on Machine Learning[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 264: 1 – 15.
- [33] Gao F, Masek J, Schwaller M, et al. On the Blending of the Landsat and MODIS Surface Reflectance: Predicting Daily Landsat Surface Reflectance[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(8): 2207 – 2218.
- [34] Hempel S, Frieler K, Warszawski L, et al. A Trend – preserving Bias Correction – the ISI – MIP Approach[J]. Earth System Dynamics, 2013, 4(2): 219 – 236.
- [35] Liu W H, Ye T, Liu X Y, et al. Climate Change Increases Future Global Wheat Yield Variability[J]. Environmental Research Letters, 2020, under review.
- [36] Müller C, Elliott J, Chryssanthacopoulos J, et al. Global Gridded Crop Model Evaluation: Benchmarking Skills, Deficiencies and Implications[J]. Geoscientific Model Development Discussions, 2017, 10: 1403 – 1422.
- [37] Müller C, Elliott J, Kelly D, et al. The Global Gridded Crop Model Intercomparison Phase 1 Simulation Dataset[J]. Scientific Data, 2019, 6: 1 – 22.
- [38] Shi P J, Tang D, Liu J, et al. Natural Disaster Insurance: Issues and Strategy of China[M]// Scawthorn C and Kobayashi. Asian Catastrophe Insurance. London: FIAGSTONERE, 2008: 79 – 93.
- [39] Stojanovski P, Dong W M, Wang M, et al. Agricultural Risk Modeling Challenges in China: Probabilistic Modeling of Rice Losses in Hunan Province[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2015, 6(4): 335 – 346.
- [40] Wang H H and Zhang H. On the Possibility of a Private Crop Insurance Market: A Spatial Statistics Approach[J]. Journal of Risk & Insurance, 2003, 70: 111 – 124.
- [41] Ye T, Hu W, Barnett B J, et al. Area Yield Index Insurance or Farm Yield Crop Insurance? Chinese Perspectives on Farmers' Welfare and Government Subsidy Effectiveness[J]. Journal of Agricultural Economics, 2020, 71: 144 – 164.
- [42] Ye T, Nie J L, Wang J, et al. Performance of Detrending Models for Crop Yield Risk Assessment: Evaluation with Real and Hypothetical Yield Data[J]. Stochastic Environmental Research & Risk Assessment, 2015, 29(1): 109 – 117.
- [43] Ye T, Shi P J, Wang J, et al. China's Drought Disaster Risk Management: Perspective of Severe Droughts in 2009 – 2010[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2012, 3(2): 84 – 97.
- [44] You L and Wood S. An Entropy Approach to Spatial Disaggregation of Agricultural Production[J]. Agricultural Systems, 2006, 90(1 – 3): 329 – 347.
- [45] Zuba G. AIR China Agricultural Risk Model[C]. Keyote Presentation at the Sixth AIR Beijing Seminar, May 5, 2011,

Beijing ,China.

[46] Zhou X H ,Wang Y B ,Zhang H D ,et al. Empirical Study on Optimal Reinsurance for Crop Insurance in China from an Insurer's Perspective [J]. Journal of Integrative Agriculture 2015 ,14:2121 –2133.

Risk Assessment of Yield Loss and Insurance Premium Rating for Staple Crops in China

YE Tao ,CHEN Shuo ,LIU Wei - hang ,MU Qing - yang ,SHI Pei - jun ,ZHANG Xing - ming

Abstract: The Guiding Opinions on Accelerating the High - quality Development of Agricultural Insurance put forward specific requirements on the agricultural insurance risk regionalizing. Focusing on three major staple crops in China ,namely rice , wheat and maize ,this study reconstructed historical yield records (1991 -2016) at finer scales (10km) by spatial - temporal fusion of county - level statistical yield and simulation yield derived from crop model emulator ensembles. From the yield data-set ,this study computed the pure risk loss ratio and the loading for catastrophes. Our results shows that at the 100% coverage level ,the average pure risk loss ratios at the 10 - km grids are 3. 8% (rice) ,5. 9% (wheat) and 5. 8% (maize) ,and the standard deviations are 3. 1% (rice) ,3. 7% (wheat) and 3. 4% (maize) ,respectively. If setting up insurance pools at the national level ,the catastrophic loading factors are 0. 85 (rice) ,0. 64 (wheat) and 0. 7 (maize) ,respectively ,for catastrophes rare in 20 years. The method developed in this paper effectively solves the problems of time series interpolation and spatial downscaling ,and can provide the results with the finer spatial resolution to support the rate making at different administrative level. This method has strong flexibility that can be used to calculate the rates of any coverage level according to practical requirements. The results of this paper can provide an important quantitative basis and technical support for the new round of agricultural insurance risk regionalization.

Key words: assessment of yield loss risk; pure risk loss ratio; loading for catastrophes; rate making

[编辑: 李 慧]