

农作物收入保险产品设计与 县域分区定价研究

——以海南省天然橡胶保险产品为例

申家宁 王芳* 张德生 黄英峻

(海南大学国际商学院 海南海口 570228)

摘要: 基于风险区划与费率分区的收入保险是帮助提高天然橡胶产业抗风险能力、稳定胶农收入的重要政策性工具。借鉴国际成熟收入保险产品,设计天然橡胶收入保险产品方案,运用聚类分析、Copula函数等方法完成海南省18个天然橡胶种植市(县)的区域收入保险定价,相应提出“同一风险分区,统一保险费率”和“一市(县)一费率”两种费率方案。研究发现,海南省可以被划分为4类风险区,收入保险的“风险对冲”优势发挥不佳,全省统一费率往往低估了各市(县)真实风险,区域收入保险相较于个体收入保险更容易低估较高风险区的实际风险,建议加快推广风险区划与费率分区动态结合的收入保险运行模式,对低风险区新型农业经营主体优先试点个体收入保险。

关键词: 收入保险; 产品设计; 风险区划; 费率分区

Research on Crop Income Insurance Product Design and County Subdivision Pricing ——Taking the Natural Rubber Insurance Product in Hainan Province as an Example

SHEN Jianing, WANG Fang*, ZHANG Desheng, HUANG Yingjun

(International Business School, Hainan University, Haikou 570228, Hainan)

基金项目: 海南省自然科学基金高层次人才项目“基于Copula方法的海南天然橡胶收入保险定价及效果模拟研究”(2019RC011); 国家天然橡胶产业技术体系产业经济岗位(CARS-33); 海南省研究生创新科研课题“基于Copula方法的海南天然橡胶县域级收入保险费率厘定研究”(Qhys2022—36); 中国人民财产保险股份有限公司海南省分公司委托项目—民营橡胶价格保险项目评估(2020.12—2021.6)。

作者简介: 申家宁(1999—),女,硕士研究生,研究方向为农业保险。E-mail: s458335759@163.com

***通信作者:** 王芳(1979—),女,博士,副研究员,研究方向为产业经济、农业保险。E-mail: 992018@hainanu.edu.cn

Abstract: Income insurance based on risk zoning and rate zoning is an important policy tool to help improve the risk resistance of natural rubber industry and stabilize the income of rubber farmers. Drawing on mature international income insurance products, this paper designed a natural rubber income insurance product plan, completed the regional income insurance pricing for 18 cities or counties in Hainan Province using cluster analysis and Copula function, and accordingly proposed two rate plans which would be called as "the same risk zone with uniform insurance rate" and "one city (county) with one rate". The study found that Hainan Province could be divided into 4 risk zones, and the advantage of "risk hedging" of income insurance was not well played. The uniform rate of the whole province often underestimated the real risk of each city and county, and regional income insurance was more likely to underestimate the actual risk of higher-risk zones than individual income insurance. It was recommended to speed up the promotion of the income insurance operation model that dynamically combined risk zoning and rate zoning, and to give priority to pilot individual income insurance for new agricultural business entities in low-risk zones.

Keywords: income insurance; product design; risk zoning; rate zoning

海南省是我国三大天然橡胶种植区之一，天然橡胶产业不仅是全省的支柱性产业，割胶收入也是当地农民增收的重要来源。然而，在我国天然橡胶价格持续低迷的背景下，由自然灾害和胶价波动导致的天然橡胶产量损失和产值下跌给农户收入带来巨大风险。2018—2021年中央一号文件提出探索、推进、扩大稻谷、小麦、玉米三大粮作物的收入保险试点工作，近年来也出现了一些具有地方特色经济作物的收入保险试点，例如广西的糖料蔗、新疆的棉花和四川的油菜籽收入保险。农作物收入保险整合了中国农业灾害补贴和价格补贴两个领域的政策功能^[1]，同时符合WTO“绿箱”政策^[2]，是保障农业生产能力、提高农业抗风险能力、保障农民收入的重要政策性工具^[3]，受到政府部门的高度重视^[4]。风险区划与费率分区是实现农作物收入保险高质量发展的应有之义，2019年财政部、农业农村部、银保监会、国家林草局联合发布的《关于加快农业保险高质量发展的指导意见》中明确指出：“建立科学的保险费率拟订和动态调整机制，实现基于地区风险的差异化定价”。目前，绝大多数天然橡胶保险费率仍然是“一省一费率”的定价模式，普遍存在一省内低风险区农户承担费率偏高、高风险区农户风险保障不足的情况，阻碍了我国农业保险朝着“扩面、增品、提标”的高质量方向发展。

因此，开发并试点天然橡胶收入保险这类创新型险种，基于风险区划结果进行海南省天然橡胶收

入保险的分区定价研究，从而探索一省范围内地区风险和费率水平的差异性，对于宏观上促进我国天然橡胶产业可持续发展、提升我国天然橡胶自给水平和微观上持续契合农户的风险防范需求、稳定农户收益意义重大且影响深远。

一、文献回顾

在农作物收入保险产品的险种设计方面，美国联邦作物保险公司（FCIC）最早研发了收入保险，从最初大多保障单一农场单一品种作物收入风险的收入保险产品逐渐转变为目前农业保险市场的主流产品——收入保护（Revenue Protection，RP）收入保险^[5]。RP项目依据标的的差异划分为以农场为标的和以作物为标的两大类产品，前者又按照产量数据统计口径的差异划分为以农场平均单位面积产量为基础的收入保障保险（Farm Revenue Protection，FRP）和以区域平均单位面积产量为基础的区域收入保障保险（Average Revenue Protection，ARP），同时农户拥有了选择是否以较高的收获期价格替代预期价格的权利，形成了附加收获期价格期权条款的收入保险（Revenue Protection—With Harvest Price Option Clause，RP—HPO）和剔除收获期价格期权条款的收入保险（Revenue Protection—Harvest Price Option Clause Excluded，RP—HPE）。近年来，我国政策性农业保险市场规模迅速发展，据财政部2023年的公开数据显示，2022年我国农业保险保费收入达1219亿元，规模创历史新高，继续维持农险规模

世界第一的地位，但同时我国农险市场产品结构单一、设计简化、管理粗放等问题也越加凸显。国内不少学者都聚焦于分析国际成熟农业保险市场中收入保险的实施经验、产品概况及影响因素，并据此对开展符合我国国情的收入保险提出借鉴方向。魏加威和杨沛华^[6]通过比较中美两国收入保险产品的具体设计和运作，指出相较于我国在农业保险设计、运行上的单一和简化，美国收入保险实现最大限度地供给多样化的风险管理。目前，我国农业保险缺乏创新，国内学者对于收入保险产品设计的研 究仍以RP—HPE产品为主，主要在标的农作物和保险定价风险单元的选择上存在差异，鲜有文献针对不同类型农户详细设计农作物收入保险产品条款。

在细分农作物保险产品的风险定价单元方面，目前我国绝大多数农业保险产品仍然对一省实施同一费率，多数研究也以省级为风险定价单元进行收入保险的产品设计与定价研究^[7]。但随着我国农业保险市场的进一步发展，国内学者们逐渐意识到细分风险单元至省级以下地市级、县级对收入保险可持续发展与科学化定价的必要性。田菁等^[8]以辽宁省玉米、大豆为例，对辽宁省及地市级完成收入保险的定价研究，建议以地市作为承保单元进行收入保险试点工作展业。我国应该多借鉴美国在农作物收入保险上的做法，细分收入保险产品的保障水平和承保单元，加大对收入保险产品的创新力度，为农业生产提供真正符合我国需求的农业保险产品^[9]。如何细分保险产品的风险定价单元，国内学者们大致构建了3类农作物风险区划指标体系，以实现一省范围内同质性风险地块的聚合：第1类风险指标体系综合考虑各项与农业生产相关的指标，如产量、气候、地形地貌、受灾情况等^[10]，完成农作物生产风险区域划分；第2类风险指标体系以农作物产量变化这一视角围绕单位面积产量和面积两方面建立农作物风险评价指标体系；第3类风险指标体系将定性分析与定量分析相结合，选取单位面积产量变异系数、专业化指数、效率指数和农作物成灾概率（或减产概率）为4个主导指标评估农作物生产风险^[11]。3类风险区划指标体系特点不一、各有优劣，均得到了学者们的广泛应用。

在农作物收入保险产品定价研究方面，Cole和

Gibson^[12]全面系统地提出了农作物收入保险定价的风险分析法，遵循“序列去趋势—边缘分布拟合—构建联合分布—风险模拟”的步骤，从农作物期货价格序列、单位面积产量序列出发，分离出序列波动后估计二者的边缘分布及其相关性，随后用Copula函数构建联合分布函数，这也是目前学术界最基础、最普遍的定价方法。其中，国内外学者就序列去趋势和边缘分布拟合方法的选择上存在差异。为了保障模拟数据的可靠性，国内学者们主要运用H-P滤波法^[13]、直线滑动平均法^[14]、差分法^[15]对原始的产量、价格序列去趋势化处理达到平稳以后进行下一步拟合。关于边缘分布函数的参数估计，则主要有参数法^[16]、非参数法^[17]、期权定价模型等。早期学者们大多采用参数法进行估计，但参数法通过事先预设分布的做法带有主观性，可能会导致信息遗漏和拟合偏差，进而引起估计偏差。非参数法可以避免参数法预先选择分布引起的缺陷^[18]，互联网技术的发展也为其在保险定价中的应用带来助力，使其逐渐得到了学者们的关注和重视^[19]，成为当前收入保险定价的主流方法。虽然非参数法能够充分考虑产量风险的厚尾性，但当样本数据量较少时（ $< 30 \sim 40$ 个），使用参数法进行估计的稳定性更高^[20]。得到产量、价格序列各自的边缘分布后，Copula函数可以方便地求得产量与价格之间的耦合关系，并得到收入损失分布的合理估计，被广泛应用于构建单位面积产量和价格之间的联合分布函数^[21]。有学者在对农业收入保险定价研究中发现，之所以农业收入保险费率低于其他类型的农业保险，是由于农作物产量与价格之间存在负相关关系，而期货价格的对冲效应比现货价格更明显^[22]。

鉴于此，本文以天然橡胶为例，尝试针对不同类型农户对农作物收入保险产品进行设计，基于第3类风险指标体系和风险分析法范式，使用聚类分析法和Copula函数等对海南省18个天然橡胶种植市（县）实施风险区划，对农作物收入保险产品设计与县域费率分区相结合展开系统研究。本文的边际贡献在于：第一，在农作物收入保险产品方案中分别考虑了适合小农户、散户的区域收入保险，以及适合新型农业经营主体的个体收入保险，旨在农业

经营主体多元化的新环境下，创新收入保险类型，为各类农业经营主体提供强有力的农业风险保障；第二，通过实施风险区划将风险定价单元从省级细化至县域层面，打破全省统一费率的收入保险定价方式，完成分区费率测算，实现地区风险程度与费率水平的对等，进一步发挥农业保险的风险防范功能，推动农业保险高质量发展。

二、研究设计与测算方法

（一）数据来源

本文研究区域涉及海南省及其下辖的18个天然橡胶种植市（县），海南省及各市（县）的热带作物年末面积、天然橡胶年末面积、天然橡胶收获面积、天然橡胶产量来源于2003—2022年的《海南省统计年鉴》，其中天然橡胶2002—2021年单位面积产量序列由天然橡胶的收获面积和总产量数据计算得出，价格数据选取从2002—2021年上海期货交易所天然橡胶期货合约日收盘价。

（二）天然橡胶收入保险的产品设计方案

本文讨论的收入保险仅指将自然风险和市场风险统一核算的完全意义上的收入保险。如表1，以国际市场上较为成熟的收入保险——美国收入保护收入保险（RP）为例，以作物为标的的保险产品依据产量数据口径的不同，划分为以农场平均单位面积产量和以区域平均单位面积产量为基础的产品。其中，附加收获期价格期权条款的收入保险与剔除收获期价格期权条款的收入保险之间唯一的区别是前者计算赔偿金额时选取目标价格和实际收割价格的最大值，而后者计算赔偿金额时使用的是目标价格。

考虑到目前国内价格发布机制不完善，较难动

态监控或收集收获期价格数据，理赔难度较大，故本文以天然橡胶为例，尝试完成剔除收获期价格期权的农作物收入保险产品方案设计，产品包含区域收入保险与个体收入保险，并对区域收入保险方案进行定价研究。农作物收入保险的产品设计方案重点在于产品核心——主条款的设计上，通常涵盖了保险标的、保险费率、保险金额、保险责任等，具体的收入保险产品框架设计方案如表2所示。

比较天然橡胶个体收入保险和区域收入保险可以发现，两类保险的保额确定方式和费率测算公式相同，差别在于个体收入保险采用的是个体单位面积产量数据，在发生农业灾害时能够依据自身损失进行定损，适用于拥有长期较高精度农作物历史单位面积产量数据的新型农业经营主体；而区域收入保险采用的是区域内平均单位面积产量数据进行定损，适用于农作物单位面积产量数据较为粗糙、缺乏长期连续性的小农户，存在较大的基差风险。因此，研究依据海南省18个市（县）2002—2021年天然橡胶历史生产单位面积产量数据实施风险区划，基于风险区划完成天然橡胶区域收入保险的费率测算，力求在定价过程中实现地区间同质性风险的聚合，从而降低基差风险，为个体收入保险定价提供可参考范式。另外，本研究风险区划研究范围除了并未拥有天然橡胶种植历史的三沙，且由于海南省实施省直辖县，故未将县归于市下进行区划。

（三）风险指标的选择与计算

通过主导指标法对地区天然橡胶生产风险进行定量分析，再运用聚类分析法实施风险区域的划分。由于影响天然橡胶种植和生长的单个风险因素难以具体测量和量化，因此使用单位面积产量变异系数衡量天然橡胶种植的综合风险程度，使用灾害

表1 美国以作物为保险标的的RP类收入保险

划分依据	以农场平均单位面积产量为基础	以区域平均单位面积产量为基础
以作物为保险标的	附加收获价格期权条款的收入保险（RP-HPO）	附加收获期价格期权的区域收入保险（ARP-HPO）
	剔除收获价格期权条款的收入保险（RP-HPE）	剔除收获期价格期权的区域收入保险（ARP-HPE）

表2 天然橡胶收入保险产品的设计框架

设计要素	个体收入保险	区域收入保险
保险标的	天然橡胶	天然橡胶
保险责任	在保险期间内，因自然灾害、意外事故以及市场价格波动造成的天然橡胶生产主体实际平均收入低于保险合同约定的目标收入时，视为保险事故发生，保险人按照保险合同约定负责赔偿	
保险期限	涵盖产量责任期限和价格责任期限	
保险金额	保障收入 = 保障产量 × 预期价格 × 保障水平 保障产量：参照投保新型经营主体个体历史年度产量平均值 预期价格：参考保险作物历史期货收盘价平均值 实际收入 = 实际产量 × 实际价格 实际产量：实际个体产量 实际价格：市场监测价格	保障收入 = 保障产量 × 预期价格 × 保障水平 保障产量：参照投保农户所在地区区域历史年度产量平均值 预期价格：参考保险作物历史期货收盘价平均值 实际收入 = 实际产量 × 实际价格 实际产量：实际区域平均产量 实际价格：市场监测价格
赔偿处理	天然橡胶实际收入低于保险合同约定的保障收入时，保险人按保险合同约定赔偿投保人实际收入低于目标收入的差额部分	
保险费率	$RP = \frac{E[\max\{\lambda E(Y) \cdot E(P) - Y \cdot P\}]}{\lambda E(P) \cdot E(Y)}$ Y：个体天然橡胶产量 P：天然橡胶价格 λ：保障水平	$ARP = \frac{E[\max\{\lambda E(Y) \cdot E(P) - Y \cdot P\}]}{\lambda E(P) \cdot E(Y)}$ Y：区域天然橡胶平均产量 P：天然橡胶价格 λ：保障水平

损失率衡量天然橡胶种植的自然风险程度。同时，种植专业化程度和生产效率也会影响产量损失程度，因此选取专业化指数和效率指数两个指标反映天然橡胶种植的经济社会风险程度。

1. 单位面积产量变异系数 X_1 ：衡量各市（县）天然橡胶单位面积产量年际波动幅度的综合性指标。运用H-P滤波法将天然橡胶实际单位面积产量值 Y_t 分为趋势项 \tilde{Y}_t 和随机波动项 e_t ，用去趋势的单位面积产量数据计算天然橡胶单位面积产量变异系数，可以反映单位面积产量偏移平均值的程度。生产越稳定，单位面积产量变异系数越小，则生产风险越小。其计算公式为：

$$X_1 = \sqrt{\frac{\sum (Y_{it} - \tilde{Y}_{it})^2 / (n-1)}{\bar{Y}_{it}}} \quad (1)$$

式中， i 表示不同市（县）， t 表示年份， Y_{it} 表示 i 市（县） n 年天然橡胶单位面积产量均值。

2. 效率指数 X_2 ：地区天然橡胶生产的效率水平是通过单位面积产量水平的高低来反映。单位面积产量水平越高，意味着遭受同等程度的自然灾

害，单位面积产量下降的幅度会更显著，生产风险也越大。因此，选用不同地区天然橡胶单位面积产量的相对水平来衡量生产风险。其计算公式为：

$$X_2 = \frac{CAP_{ij}}{CAP_j} \quad (2)$$

式中， CAP_{ij} 为 i 市（县）天然橡胶平均单位面积产量， CAP_j 海南省天然橡胶平均单位面积产量。

3. 灾害损失率超过10%的概率 X_3 、灾害损失率超过20%的概率 X_4 ：反映天然橡胶生产所面临的自然风险程度。风害和寒害是海南省天然橡胶种植和生长过程中面临的主要自然灾害，由于自然风险因素难以准确的度量 and 量化，参照以往学者李琴英^[23]的做法，在对海南省天然橡胶生产的综合风险因素评估时使用单位面积产量减产率这一综合指标代替灾害损失率，进而采用非参数信息扩散模型对产量损失的概率进行估计。将H-P滤波法分解出的历年单位面积产量趋势项视为相应年份的单位面积产量理论值，由此计算单位面积产量减产率：

$$x_{it} = \max(\tilde{Y}_{it} - Y_{it}, 0) / \tilde{Y}_{it} \quad (3)$$

式中, x_{it} 为*i*市(县)第*t*年的天然橡胶单位面积产量减产率。

根据18个市(县)天然橡胶2002—2021年的单位面积产量减产率,运用非参数信息扩散模型进行天然橡胶灾害损失率的概率估计。

假设某地区天然橡胶单位面积产量减产率为*l*,且 $l \in [0, 1]$,该地区第*t*年单位面积产量减产率的样本数据为 $x_t (t=1, 2, 3, \dots, T)$ 。假设 x 按正态分布规律扩散给单位面积产量减产率样本空间 $[0, 1]$ 里的所有样本点*l*,则其信息扩散模型为:

$$g_{x_t}(l) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left[-\frac{(x_t-l)^2}{2h^2} \right] \quad (4)$$

$$h = 1.4208 \times (b-a) / (n-1) \quad (5)$$

式中, h 是信息扩散系数, b 和 a 分别是单位面积产量减产率样本数据中的最大值和最小值, n 为单位面积产量减产率样本个数。

在本文中,为简化计算流程,将单位面积产量减产率*l*的样本空间 $[0, 1]$ 均分成20等份,即令 $m = 21, 0 = l_1 < l_2 < \dots < l_m = 1$,则原连续风险损失分布概率密度函数被离散化为:

$$g_{x_t}(l_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left[-\frac{(x_t-l_i)^2}{2h^2} \right] (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (6)$$

$$\mu_{x_t}(l_i) = \frac{g_{x_t}(l_i)}{\sum_{i=1}^m g_{x_t}(l_i)} \quad (7)$$

式中, $\mu_{x_t}(l_i)$ 将第*t*期样本 x_t 归一化信息分布,再对*t*求和可得到所有 x_t 扩散到*l_i*上的个数:

$$m(l_i) = \sum_{t=1}^T \mu_{x_t}(l_i) \quad (8)$$

式中, $m(l_i)$ 为产量损失率样本 l_i 经过信息扩散后取值为*l*的样本数。

$$M = \sum_{i=1}^m m(l_i) \quad (9)$$

式中, M 为信息扩散区间内所有样本的总和,理论上 $M = T$,最终得到单位面积产量减产率为*l*时的概率分布:

$$P(l_i) = \frac{m(l_i)}{T} \quad (10)$$

将产量损失率*l*的样本空间 $[0, 1]$ 平分成20份, $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{21}$ 分别为0, 0.05, 0.1, \dots , 1,利用Excel即可得出18个市(县)的天然橡胶灾害损失率。考虑到天然橡胶单位面积产量减产率超过10%是较为普遍的现象,单位面积产量减产率超过20%能够更好地体现市(县)间的差异性,故选择灾害损失率超过10%和20%的概率作为风险区划的两个指标。

4. 专业化指数 X_5 :通常地区天然橡胶生产规模的大小一定程度上可以反映地区专业化水平的高低。专业化水平越高的地区其天然橡胶种植的管理能力越高、降低单位面积产量损失的能力越高。其计算公式为:

$$X_5 = \frac{CS_{ij} / CS_i}{CS_j / CS} \quad (11)$$

式中, CS_{ij} 为*i*市(县)天然橡胶年末面积, CS_i 为*i*市所有热带作物的年末面积, CS_j 为全省天然橡胶年末面积, CS 为全省所有热带作物的年末面积。如果 $X_5 > 1$,表明与全省平均水平相比,*i*市(县)天然橡胶生产的专业化水平较高,生产风险相对较低;反之则较高。海南省18个天然橡胶种植市(县)风险指标计算值详见表3。

三、海南省天然橡胶收入保险县域分区定价实证研究

(一) 风险区划实证分析

农作物风险区划坚持风险一致性原则,即将风险相似性较高的地区聚合成一类,本研究使用SPSS 26.0软件,对以上5个风险指标标准化处理后,选择系统聚类分析法对样本市(县)进行分类。由于风险区划是依据地区多年来面临的综合生产风险评估出的结果,而费率测算是天然橡胶在某一地区实际受灾损失的反映,可能会出现高风险不对应高费率的情况。因此,在实际中需要将两者结合,相互调整。通过观察聚类谱系图的分类结果,结合18个市(县)风险指标计算值,拟将海南省天然橡胶种植区域分为低、中、中高、高4类风险区域(表4)。

本研究风险区划分与前人不同。申家宁等^[24]选取了10个风险指标,数据年限跨度为2002—2020

表3 海南省18个天然橡胶种植市（县）风险指标计算值

市（县）	单产变异系数	效率指数	灾害损失率超过某一阈值的概率		专业化指数
			$P(I \geq 10\%)$	$P(I \geq 20\%)$	
儋州	0.1013	1.1011	0.2271	0.0516	1.2421
琼海	0.1493	1.1961	0.2314	0.0568	0.6392
万宁	0.1139	0.8289	0.2569	0.0000	0.6693
澄迈	0.1035	1.2110	0.0695	0.0500	1.1285
临高	0.1397	1.1090	0.1523	0.0651	1.2580
乐东	0.1512	0.7469	0.2323	0.1060	1.0326
琼中	0.1059	0.9749	0.0661	0.0500	1.0033
保亭	0.0640	0.9743	0.0725	0.0500	0.9542
白沙	0.0850	1.1188	0.1416	0.0958	1.2184
屯昌	0.1351	1.0734	0.1716	0.0556	0.9144
定安	0.1186	1.0158	0.1490	0.0501	0.7858
陵水	0.2965	1.0362	0.4083	0.3135	0.3965
昌江	0.2769	1.2063	0.2996	0.1636	1.1341
三亚	0.2397	1.1770	0.4925	0.2891	0.7453
五指山	0.1882	1.0972	0.2291	0.0987	1.0943
海口	0.1982	1.0462	0.2884	0.2343	0.8136
东方	0.1934	0.7280	0.4400	0.1850	0.8461
文昌	0.1883	0.9497	0.4650	0.2124	0.2869

表4 海南省18个种植市（县）风险区划结果

风险等级	地区
低风险区域	儋州、琼海、澄迈、临高、琼中、保亭、白沙、屯昌、定安、五指山
中风险区域	东方、万宁、乐东
中高风险区域	昌江、海口
高风险区域	陵水、文昌、三亚

年，选择15个样本市（县），这两方面与本文均不同，故风险区划结果有所差异。此外，考虑到天然橡胶种植受台风等气象灾害影响较大，而陵水、三亚属于风灾严重区域，表5中风险指标计算值表明区域产量灾损概率大，故将三亚、陵水列为高风

险区。

表5给出了反映各区域风险程度的指标数据，以便更直观地对比不同风险区域的风险状况差异。可以看出，随着风险等级增加，天然橡胶单位面积产量波动性增大，单位面积产量变异系数越高，发

表5 各风险区的风险指标数据

风险等级	单产变异系数	效率指数	$P(I \geq 10\%)$	$P(I \geq 20\%)$	专业化指数
低风险区	0.2443	0.7151	0.2204	0.1989	0.7589
中风险区	0.3821	0.0827	0.5714	0.3094	0.5792
中高风险区	0.7465	0.8245	0.5345	0.6346	0.7074
高风险区	0.7634	0.6756	0.9127	0.8666	0.1950

表6 海南省18个市(县)天然橡胶单产波动序列最优分布

市(县)	最优分布	市(县)	最优分布
儋州	Log-Logistic (3P)	白沙	Cauchy
琼海	Cauchy	屯昌	Cauchy
万宁	Frechet (3p)	定安	Cauchy
澄迈	Cauchy	陵水	Normal
临高	Cauchy	昌江	Cauchy
乐东	Burr (4p)	三亚	Gen. Pareto
琼中	Cauchy	五指山	Cauchy
保亭	Cauchy	海口	Cauchy
东方	Gen. Extreme Value	文昌	Gen. Pareto

生减产概率性越大。高风险区的单位面积产量变异系数最大、灾害损失率最大、专业化指数最小,意味着高风险区历年产量波动大、遭受自然灾害导致减产概率高、降低单位面积产量损失的能力弱,面临的天然橡胶种植风险大。

(二) 数据的处理与拟合

1. 去趋势化处理。受多种农业生产条件的影响,天然橡胶单位面积产量序列存在长期趋势项,使用Eviews 11.0分别对海南省18个市(县)2002—2021年天然橡胶单位面积产量序列进行ADF单位根检验,结果显示均不平稳。因此,采用H-P滤波法将天然橡胶单位面积产量分解为趋势项和随机波动项,对处理后的数据序列再次进行ADF单位根检验,结果显示平稳。

考虑到通货膨胀会给天然橡胶价格序列带来明显的趋势性,使用以2021年为基期的CPI指数对天

然橡胶2002—2021年期货价格序列去通胀化处理,单位根检验去通胀处理后的价格序列,结果显示序列不平稳。再次利用H-P滤波法对去通胀后的价格序列进行去趋势化处理,结果显示处理后的价格波动序列平稳。

2. 参数法估计天然橡胶单位面积产量波动、价格波动的边缘分布:对处理后的天然橡胶单位面积产量波动、价格波动序列使用Easyfit 5.6软件,以A—D检验、K—S检验以及卡方统计量为标准^[25],确定最优的边缘分布函数。海南省天然橡胶价格波动序列的最优拟合为Gumbel Max分布,18个市(县)天然橡胶单位面积产量波动序列的边缘分布估计结果如表6所示,较多地区单位面积产量波动的最优分布为Cauchy分布。

3. 最优Copula函数的选择:通过参数估计法得到18个市(县)天然橡胶产量和价格的边缘分

布函数后，运用Matlab 2021b软件，调用Copulafit程序、Copulastat程序分别计算5种常见Copula函数在拟合中的参数值 α 、Kendall秩相关系数 τ 和Spearman秩相关系数 ρ ，通过比较常见Copula函数与经验分布函数间的平方欧式距离，依据平方欧式距离最小原则确定最优的Copula函数形式。如表7所示，由18个市（县）最优Copula函数的参数及秩相关系数可以发现，大部分地区的天然橡胶单位面积产量波动与价格波动呈现正相关性，仅保亭县、白沙县、昌江县和东方市4个地区的天然橡胶单位面积产量波动与价格波动为负相关。

（三）海南省18个市（县）天然橡胶收入保险费率测算结果

基于最优Copula函数所建立的单位面积产量与价格之间的联合分布耦合关系，调用Matlab 2021b软件中的Copularnd函数，采用蒙特卡洛随机模拟

一万组天然橡胶单位面积产量风险和价格风险的随机数，将还原化处理后的产量数据与价格数据相乘得到天然橡胶收入样本，代入纯费率计算公式：

$$r = \frac{\text{prob}(Y < \lambda \hat{Y}) [\lambda \hat{Y} - E(Y < \lambda \hat{Y})]}{\lambda \hat{Y}} \quad (12)$$

其中， λ 为保障水平， \hat{Y} 为期望收入，取收入样本均值，求得不同保障水平下的收入保险纯费率。同样的，可根据收入样本中的天然橡胶期望单位面积产量和期望价格求得产量险、价格险纯费率。

不同市（县）间天然橡胶收入险费率差异较大。如表8所示，以80%保障水平为例，低风险区天然橡胶收入保险纯费率范围为8.17%（白沙）~ 10.54%（五指山），中风险区天然橡胶收入保险纯费率范围为8.89%（东方）~ 10.79%（乐东县），中高风险区天然橡胶收入保险纯费率范

表7 海南省18个市（县）最优Copula函数估计结果

市（县）	Copula选择	参数 α	Kendall- τ	Spearman- ρ	平方欧式距离
儋州	Gumbel	1.0873	0.0803	0.1200	0.0139
琼海	T	0.0202	0.0129	0.0179	0.0349
万宁	T	0.1942	0.1244	0.1648	0.0175
澄迈	T	0.0404	0.0257	0.0342	0.0183
临高	T	0.1319	0.0842	0.1117	0.0120
乐东	Clayton	1.4509e ⁻⁰⁶	7.2543e ⁻⁰⁷	1.0922e ⁻⁰⁶	0.0129
琼中	T	0.1038	0.0662	0.0879	0.0133
保亭	Frank	-2.7193	-0.2823	-0.4140	0.0094
白沙	T	-0.3779	-0.2467	-0.3497	0.0280
屯昌	Gumbel	1.0000	1.3575e ⁻⁰⁶	2.0510e ⁻⁰⁶	0.0242
定安	Gumbel	1.0540	0.0512	0.0769	0.0105
陵水	Frank	0.7660	0.0846	0.1267	0.0117
昌江	Frank	-2.1768	-0.2313	-0.3418	0.0251
三亚	T	0.3256	0.2112	0.2884	0.0060
五指山	Clayton	1.4509e ⁻⁰⁶	7.2543e ⁻⁰⁷	1.0922e ⁻⁰⁶	0.0267
海口	Clayton	0.7479	0.2722	0.3962	0.0111
东方	T	-0.2569	-0.1654	-0.2368	0.0222
文昌	T	0.4106	0.2694	0.3679	0.0206

表8 海南省18个市(县)天然橡胶保险纯费率测算结果

保障水平	儋州			琼海			万宁		
	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险
100%	4.38%	16.95%	17.80%	4.86%	16.72%	17.68%	4.82%	16.45%	17.65%
90%	1.07%	13.00%	13.88%	1.68%	12.73%	13.62%	0.49%	12.46%	13.63%
80%	0.19%	9.28%	10.06%	0.59%	9.03%	9.81%	0.00%	12.71%	9.78%
保障水平	澄迈			临高			乐东		
	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险
100%	2.09%	15.48%	15.46%	2.91%	16.61%	17.08%	7.21%	16.96%	18.34%
90%	0.74%	11.71%	11.75%	0.93%	12.72%	13.22%	4.00%	13.02%	14.49%
80%	0.28%	8.22%	8.35%	0.38%	9.06%	9.59%	2.05%	9.33%	10.79%
保障水平	琼中			保亭			白沙		
	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险
100%	3.03%	16.32%	16.62%	1.45%	16.69%	16.29%	2.28%	16.38%	15.77%
90%	0.95%	12.33%	12.68%	0.09%	12.79%	12.39%	0.52%	12.39%	11.81%
80%	0.39%	8.57%	8.95%	0.00%	9.10%	8.73%	0.06%	8.68%	8.17%
保障水平	屯昌			定安			陵水		
	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险
100%	4.09%	16.73%	17.49%	2.78%	16.84%	17.53%	7.99%	16.77%	19.20%
90%	1.56%	12.81%	13.58%	1.10%	12.82%	13.52%	4.27%	12.86%	15.36%
80%	0.62%	9.12%	9.85%	0.49%	9.06%	9.75%	1.65%	9.15%	11.62%
保障水平	昌江			三亚			五指山		
	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险
100%	5.81%	16.93%	16.66%	14.06%	16.68%	23.59%	5.28%	17.13%	18.21%
90%	3.12%	12.99%	12.66%	10.07%	12.78%	19.74%	2.50%	13.20%	14.31%
80%	1.84%	9.29%	8.98%	5.34%	9.13%	15.88%	1.37%	9.46%	10.54%
保障水平	海口			东方			文昌		
	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险	产量保险	价格保险	收入保险
100%	4.74%	16.74%	18.45%	8.80%	16.45%	16.53%	9.13%	16.22%	20.00%
90%	1.62%	12.79%	14.63%	4.98%	12.45%	12.56%	5.17%	12.30%	16.22%
80%	0.46%	9.06%	10.94%	2.43%	8.73%	8.89%	2.13%	8.61%	12.47%

围为8.98%（昌江）~10.94%（海口），高风险区天然橡胶收入保险纯费率范围为11.62%（陵水）~15.88%（三亚）。费率测算结果基本符合“同一保障水平下，风险越大费率越高”的保险定价原则，即与初步风险区划结果一致，无需进行

调整。

从不同险种间的对比来看。三亚的天然橡胶产量波动损失值最大，产量保险纯费率水平最高，保亭县的产量损失波动值最小，产量保险纯费率水平最低；五指山的价格波动损失值最大，价格保险纯

费率水平最高，澄迈的价格损失波动值最小，价格保险纯费率水平最低。其中，仅保亭、白沙、昌江收入保险纯费率低于价格保险纯费率，产量波动风险与价格波动风险实现对冲效果，其余市（县）则由于产量、价格风险的累积，使得收入保险纯费率高于产量保险、价格保险纯费率。

（四）省级收入保险费率测算

同样使用市（县）收入保险纯费率测算方法，基于2003—2021年《海南省统计年鉴》中2002—2021年天然橡胶单位面积产量数据及天然橡胶期货价格数据，测算海南省天然橡胶收入保险纯费率，得到海南省天然橡胶单位面积产量、价格分布拟合结果，如表9所示。同时，基于18个市（县）天然橡胶产量权重测算市（县）加权损失率，与直接使用省级数据测算出的费率相比较，从而更好地检验市（县）级与省级的损失风险差异。由表10可以看出，天然橡胶在全省范围内产量分布较为集中，市（县）加权损失率略低于使用省级数据计算所得费率，数值相差不大，但省级损失率无法真实体现各市（县）之间风险的差异性。

（五）区域收入保险费率测算

直接使用省级单位面积产量数据计算得出的海南省收入保险费率低于市（县）加权收入保险费率，这是由于海南省全省统一费率的做法低估了各市（县）的风险水平。因此，本文基于风险区划结

果，尝试对具有风险相似性的市（县）统一天然橡胶收入保险费率，测算海南省天然橡胶区域收入保险费率，相应地提出“同一风险分区，统一的保险费率”（方案1）和“一市（县）一费率”（方案2）两种方案进行比较。4类风险区天然橡胶单位面积产量、价格分布拟合结果如表11所示。由表12中区域收入保险定价结果来看，同一保障水平下天然橡胶收入保险费率随着风险等级的增加而提高。在80%的保障水平下，以低风险区天然橡胶区域收入保险费率为基准，中风险区、中高风险区、高风险区的风险差异率分别为1.05、1.10、1.32，这也证明了全省统一费率的局限性。

对比表13中两种天然橡胶收入保险方案的费率测算结果可以发现，对于生产风险较高的地区，方案1的费率往往低于方案2的费率。这是由于计算区域收入保险费率所用单位面积产量数据是聚类平均的结果，往往低估了较高风险地区的实际风险。

四、结论与相关建议

本文借鉴美国农业保险市场上的主流保险产品——RP项目，完成对天然橡胶区域收入保险和个体收入保险的产品设计，并以县级行政区为最小区划单元，运用聚类分析和Copula函数等完成海南省天然橡胶保险纯费率的差异化测算以及收入保险的分区定价研究，相应提出“同一风险分区，统一

表9 海南省天然橡胶单位面积产量、价格分布拟合结果

序列	边缘分布	Copula函数	参数 α	Kendall- τ	Spearman- ρ	平方欧氏距离
海南	单位面积产量 Gen. Extreme Value	距离	1.0575	0.0544	0.0816	0.0090
	价格 Gumbel Max					

表10 天然橡胶收入保险省级与市（县）加权结果比较

保障水平	海南省收入保险费率	市（县）加权收入保险费率
100%	17.46%	17.96%
90%	13.63%	14.06%
80%	9.91%	10.35%

表11 4类风险区天然橡胶单产、价格分布拟合结果

区域	边缘分布	Copula函数	参数 α	Kendall- τ	Spearman- ρ	平方欧氏距离	
低风险区	单位面积产量	Cauchy	T-Copula	-0.0115	-0.0073	-0.0100	0.0112
	价格	Gumbel Max					
中风险区	单位面积产量	Burr(4p)	T-Copula	0.0584	0.0372	0.0535	0.0091
	价格	Gumbel Max					
中高风险区	单位面积产量	Cauchy	Clayton-Copula	0.4598	0.1869	0.2764	0.0118
	价格	Gumbel Max					
高风险区	单位面积产量	Burr(4p)	Frank-Copula	2.1140	0.2251	0.3330	0.0150
	价格	Gumbel Max					

表12 天然橡胶区域收入保险定价结果

保障水平	低风险区	中风险区	中高风险区	高风险区
100%	16.45%	17.24%	17.31%	19.65%
90%	12.59%	13.26%	13.36%	15.76%
80%	8.98%	9.50%	9.58%	11.89%

表13 80%保障水平下天然橡胶收入保险两种费率方案的比较

市(县)	方案1	方案2	市(县)	方案1	方案2
儋州	8.98%	10.06%	东方	9.50%	8.89%
琼海	8.98%	9.81%	万宁	9.50%	9.78%
澄迈	8.98%	8.35%	乐东	9.50%	10.79%
临高	8.98%	9.59%	昌江	9.58%	8.98%
琼中	8.98%	8.95%	海口	9.58%	10.94%
保亭	8.98%	8.73%	陵水	11.89%	11.62%
白沙	8.98%	8.17%	文昌	11.89%	12.47%
屯昌	8.98%	9.85%	三亚	11.89%	15.88%
定安	8.98%	9.75%	五指山	8.98%	10.54%

的保险费率”（方案1）与“一市（县）一费率”（方案2）相比较。

（一）结论

第一，从全省范围来看，天然橡胶单位面积产

量风险与价格风险对冲效果不佳，海南省18个市（县）中仅保亭、白沙、昌江收入保险纯费率低于价格保险纯费率，收入保险的保障优势和费率优势没有充分发挥。

第二，全省统一费率的做法并不能真实地反映各地区间存在的风险差异。使用省级天然橡胶单位面积产量数据计算得到的海南省天然橡胶收入保险费率往往低估了各市（县）的真实风险状况，数值上低于市（县）加权收入保险费率。

第三，海南省18个市（县）依据天然橡胶种植风险水平被划分为低风险区、中风险区、中高风险区和高风险区，不同风险区域间收入保险纯费率存在显著差异，对于天然橡胶种植风险较高的地区，“同一风险分区，统一的保险费率”（方案1）的收入保险费率往往低于“一市（县）一费率”（方案2）。这是由于方案1的费率结果是基于风险区划下的区域天然橡胶单位面积产量数据计算得出，低估了实际风险；而方案2的费率结果是基于市（县）个体单位面积产量数据计算得出，提高了定价精准性，有效降低了基差风险。

（二）讨论

在产量数据的选取上，本文在厘定天然橡胶保险费率时所使用的单位面积产量数据，是由《海南省统计年鉴》的产量和收获面积数据计算得出，虽然是法定数据，但考虑到现实中存在弃割面积因素，其数据和实际情况可能有偏差。但由于缺乏更权威的数据，因此参考大部分文献仍然使用统计年鉴数据作为费率厘定基础。

在价格数据的选取上，由于计算时限较长，无法获取完整权威的田间收购价格，所以本文以具备价格发现功能的期货价格作为天然橡胶保险费率厘定的基础数据。在制定实际保险方案中，还需考虑期货价格与田间收购价格间的关系传递问题，对期货价格进行贴水，使费率测算结果更具现实意义。

天然橡胶产业作为海南省的支柱产业，是众多胶农的主要收入来源。为推动天然橡胶产业持续健康发展，海南省已针对天然橡胶种植开发多个保险产品，大致分为“产量保险”（橡胶树火灾保险、橡胶树综合保险）和“价格保险”（目标价格保险），并于2017年起陆续实施了天然橡胶“天气指数保险”“保险+期货”“收入保险”等创新型险种的试点工作。但原有单一的产量保险和价格保险对风险的保障具有局限性，前者只涵盖物化成本，后者只覆盖价格波动风险。而近年来试点的准收入

保险产品，将产量波动和价格波动分别核算后相加，并未有效发挥收入保险利用产量与价格二者风险对冲降低费率的优势，不算真正意义上的收入保险，且并未考虑不同地区间的生产风险差异。

当前，海南省根据财政部、农业农村部、金融监管总局《关于实施天然橡胶综合保险政策的通知》要求，于2024年4月7日印发《海南省天然橡胶综合保险实施方案》（下文简称《方案》），并组织实施。因此，在实际中推行基于风险区划的天然橡胶收入保险时，除差异化设定保险费率外，可采用《方案》中关于收入保险保额的确定方法，以15元/kg为公允价格，分档设置最低产量标准，实现区域风险水平与收入保险定价结果的精准匹配。

（三）建议

1. 发展收入保险的同时重视价格保险。从18个市（县）产量保险、价格保险、收入保险的定价结果来看，价格波动风险远高于产量波动风险对胶农收入产生的影响，胶农对保障天然橡胶价格风险的险种市场需求大。尤其在当前绝大多数地区收入保险费率高于产量保险和价格保险的情况下，部分胶农为节省成本更趋于购买费率低于收入保险的价格保险。可通过实现多品类险种间的互补，充分满足不同农业生产主体个性化的农业保险需求，提高农户的投保积极性，为天然橡胶规模化种植保驾护航。

2. 在实践中进一步推广风险区划与费率分区动态结合的收入保险运行模式。在“因地制宜”测算收入保险费率的同时，注意收集精确至县级乃至新型农业经营主体的农作物产量及单位面积产量波动数据，及时依据实际生产风险的变化调整风险区划结果，动态修正费率分区方案。其次，提高收入保险覆盖面，不断扩大涉及的农作物种类，使得一省范围内不同风险条件下的农业生产主体，不论是小农户或是农业企业，均能通过适当的投保获得与自身种植风险与种植规模相适应的风险保障。

3. 考虑对低风险区域的新型农业经营主体优先试点个体收入保险，对较高风险区内缺乏长期且连续单位面积产量数据的小农户优先试点区域收入保险。与区域收入保险依据区域内平均产量定损不同的是，个体收入保险依据个体产量定损。低风险

区种植风险低、收入损失概率小，在区域平均产量没有损失的情况下新型农业经营主体可以通过购买个体收入保险来依据自身天然橡胶单位面积产量数据定损，增加收入保险的赔付可能性，实现相较于区域收入保险更高的保障水平。值得一提的是，由于区域收入保险存在基差风险，实际中往往低估了风险使得费率较低，在现实中试点并推行区域收入保险时有必要适当提高费率，来保护农业保险公司的保险产品组合免受逆向选择的威胁，一定程度上减轻保险公司亏损经营的风险。☞

参考文献

- [1] 展凯,孙钰祥.农作物收入保险产品设计与定价机制研究——以大豆收入保险为例[J].金融经济研究,2021,36(6):68-81.
- [2] 王泽平,江生忠.农业高质量发展背景下推进收入保险的必要性研究[J].中国保险,2021(4):36-40.
- [3] 宋建国,刘莉.我国农业收入保险的发展思路[J].中国金融,2022(10):62-64.
- [4] 王国栋,庞楷.基于Copula函数的经济作物收入保险费率测算——以甘肃苹果为例[J].金融理论探索,2019(3):62-70.
- [5] 彭建林.美国农作物收入保险的运营体系及其对我国的启示[J].云南农业大学学报(社会科学),2019,13(5):87-92.
- [6] 魏加威,杨纳华.中美农作物收入保险产品:比较与启示[J].农业现代化研究,2020,41(4):608-617.
- [7] 何青洋.湖南省水稻收入保险产品的设计[D].大连:东北财经大学,2022.
- [8] 田菁,张琅,袁佳子.农作物收入保险省及地市级定价研究——以辽宁省玉米、大豆为例[J].保险研究,2019(3):103-115.
- [9] 齐皓天,彭超.美国农业收入保险的成功经验及其对中国的适用性[J].农村工作通讯,2015(5):62-64.
- [10] 周县华.我国种植业保险风险区划与分级费率定价研究——以吉林省玉米种植保险为例[J].保险研究,2018(2):72-84.
- [11] 邢鹏,钟甫宁.粮食生产与风险区划研究[J].农业技术经济,2006(1):19-23.
- [12] Cole JB, Gibson R. Analysis and feasibility of crop revenue insurance in China[J]. Agriculture and Agricultural Science Procedia,2010,1:136-145.
- [13] 杨馥,仲璇.我国油料作物收入保险定价研究——基于Copula模型对河南省花生作物保险定价的分析[J].价格理论与实践,2020(1):119-122.
- [14] 李琴英,王世保,吕雅晴.优质小麦收入保险费率厘定及保费补贴研究——以河南省为例[J].金融理论与实践,2020(5):95-102.
- [15] 刘素春,刘娟,刘昕怡.基于Copula方法的大豆收入保险定价研究——以山东省为例[J].保险职业学院学报,2019,33(4):85-89.
- [16] Classen R, Just RE. Heterogeneity and distributional form of farm-level yields[J]. American Journal of Agricultural Economics,2011,93(1):144-160.
- [17] Ali M, Deo RC, Downs NJ, et al. Cotton yield prediction with Markov Chain Monte Carlo-based simulation model integrated with genetic programming algorithm: A new hybrid copula-driven approach[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2018,263:428-448.
- [18] Ahmed O, Serra T. Economic analysis of the introduction of agricultural revenue insurance contracts in Spain using statistical copulas[J]. Agricultural Economics,2015,46(1):69-79.
- [19] 李桂伟,赵明清.基于非参数核密度估计与Copula方法的山东省小麦收入保险定价研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2019,38(5):81-86.
- [20] Goodwin BK, Hungerford A. Copula-based models of systemic risk in U.S. agriculture: Implications for crop insurance and reinsurance contracts[J]. American Journal of Agricultural Economics,2015,97(3):879-896.
- [21] Duarte GV, Ozaki VA. Pricing crop revenue insurance using parametric copulas[J]. Revista Brasileira de Economia, 2019,73(3):326-327.
- [22] Mateos-Ronco A, Ricardo J, Sever I. Risk management tools for sustainable agriculture: A model for calculating the average price for the season in revenue insurance for citrus fruit[J]. Agronomy,2020,10(2):198.
- [23] 李琴英.小麦区域产量保险费率厘定实证研究——以河南省为例[J].郑州大学学报(哲学社会科学版),2016,49(3):67-72.
- [24] 申家宁,王芳,黄英峻,等.综合风险区划下的海南省天然橡胶县域收入保险定价研究[J].林业经济,2023,45(5):5-29.
- [25] 陈燕,林乐芬.主粮作物市县级农业综合风险区划与收入保险定价研究[J].农业经济问题,2022(8):92-113.