中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

基于危险性评估的福建省茶叶寒冻害保险费率厘定

陶红超，陈家金，陈志彪，黄川容，孙朝锋，吴立

引用本文:
陶红超, 陈家金, 陈志彪, 等. 基于危险性评估的福建省茶叶寒冻害保险费率厘定[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(11): 1778−1788.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200190

(向下翻页，阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于GIS的台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性区划

Climate suitability regionalization for Taiwan green jujube introduction and expansion in Fujian Province using GIS

中国生态农业学报. 2017, 25(1): 47−54 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160641

基于GIS的福建农田氮磷地表径流流失与污染风险评估

GIS−based pollution risk assessment of nitrogen and phosphorus loss in surface runoff in farmlands in Fujian Province

中国生态农业学报. 2018, 26(12): 1887−1897 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180118

基于能值的专业化茶叶种植农业生态系统分析−−以福建省安溪县为例

Emergy−based agricultural ecosystem analysis for specialized tea planting:A case study of Anxi County, Fujian Province

中国生态农业学报. 2016, 24(12): 1703−1713 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160206

黄淮海地区夏玉米干旱风险评估与区划

Risk assessment and zoning of drought for summer maize in the Huang−Huai−Hai Region

中国生态农业学报. 2015(1): 110−118 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.140667

水足迹视角下陕西省种植业水资源利用评价及经济发展脱钩分析

Decoupling analysis on water resources utilization of planting industry and economic development in Shaanxi Province from the perspective of water footprint

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(1): 153−162 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180447

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200190

陶红超, 陈家金, 陈志彪, 黄川容, 孙朝锋, 吴立. 基于危险性评估的福建省茶叶寒冻害保险费率厘定[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(11): 1778−1788
TAO H C, CHEN J J, CHEN Z B, HUANG C R, SUN C F, WU L. Determination of premium rates for tea cold-frost damage in Fujian Province based on risk assessment[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(11): 1778−1788

基于危险性评估的福建省茶叶寒冻害保险费率厘定*

陶红超[1], 陈家金[2,3**], 陈志彪[1], 黄川容[2], 孙朝锋[2], 吴　立[2]

(1. 福建师范大学湿润亚热带生态地理过程教育部重点实验室/福建师范大学地理科学学院　福州　350007; 2. 福建省气象服务中心　福州　350001; 3. 福建省灾害天气重点实验室　福州　350001)

摘　要: 为了提高福建省复杂地形下不同风险区的茶叶寒冻害保险费率设计的合理性, 首先利用福建省历年气象数据、茶叶产量和灾情资料, 计算茶叶不同寒冻害等级的减产率和出现概率, 以此确定不同县域的茶叶寒冻害保险纯费率及基准费率, 再结合寒冻害危险性区划, 确定不同风险区域不同触发条件下的区域保险费率。结果表明: 福建省茶叶在极端低温 4 ℃以下的保险触发条件下, 西北部区域海拔 200 m 以下、200~600 m、600~900 m 和 900 m 以上地域保险费率分别为 1.4%、4.5%、7.2%和 10.2%; 东北部区域海拔 200 m 以下、200~600 m、600~900 m 和 900 m 以上的地域保险费率分别为 0.9%、2.6%、4.8%和 6.4%; 西南部区域海拔 300 m 以下、300~700 m、700~1 100 m 和 1 100 m 以上的地域保险费率分别为 0.5%、2.3%、4.0%和 5.5%; 东南部区域海拔 300 m 以下、300~700 m、700~1 100 m 和 1 100 m 以上的地域保险费率分别为 0.5%、1.9%、3.9%和 5.4%。总体上看, 区域保险费率随着地理位置北移和海拔高度的增加而增加, 研究成果可为福建省茶叶寒冻害指数保险产品的设计提供费率精算的技术支持。

关键词: 茶叶保险; 寒冻害; 危险性区划; 差异费率

中图分类号: F840.66　　开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Determination of premium rates for tea cold-frost damage in Fujian Province based on risk assessment*

TAO Hongchao[1], CHEN Jiajin[2,3**], CHEN Zhibiao[1], HUANG Chuanrong[2], SUN Chaofeng[2], WU Li[2]

(1. Key Laboratory for Humid Subtropical Eco-geographical Processes of the Ministry of Education, Fujian Normal University / College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Fujian Meteorological Service Center, Fuzhou 350001, China; 3. Fujian Key Laboratory of Severe Weather, Fuzhou 350001, China)

Abstract: The aim of this study was to improve the rationale of the premium damage insurance rate design for cold-frost damage in tea plants from different risk areas in Fujian Province. In doing so, we first calculated the tea yield decrement rate, both grade and probability of cold-frost damage occurrence by using historical data, so as to determine the pure rate and benchmark rate of cold-frost damage insurance for tea within each county of Fujian Province. Then, we determined the regional premium damage insurance rates for the conditions of each risk area and different triggers, combined with the cold-frost damage risk zoning area. The results showed that under the trigger condition for tea plants damage in Fujian Province, i.e., extremely low temperatures below 4 ℃, the regional

* 福建省科技计划项目(2018Y0002, 2019Y01010202)资助
** 通信作者: 陈家金, 主要从事农业气象灾害风险研究。E-mail: cjj8284@163.com
陶红超, 主要从事自然地理研究。E-mail: 463687964@qq.com
收稿日期: 2020-03-15　接受日期: 2020-07-02

* This study was supported by the Science and Technology Project of Fujian Province (2018Y0002, 2019Y01010202).
** Corresponding author, E-mail: cjj8284@163.com
Received Mar. 15, 2020; accepted Jul. 2, 2020

premium damage insurance rates were 1.4%, 4.5%, 7.2%, and 10.2%, respectively, in the northwest area for <200 m, 200–600 m, 600–900 m, and >900 m altitudes. At the same time, the regional premium damage insurance rates were 0.9%, 2.6%, 4.8%, and 6.4%, respectively, in the northeast area for <200 m, 200–600 m, 600–900 m, and >900 m altitudes. The regional premium damage insurance rates were 0.5%, 2.3%, 4.0%, and 5.5%, respectively, in the southwest area for <300 m, 300–700 m, 700–1 100 m, and >1 100 m altitudes. Moreover, the regional premium rates were 0.5%, 1.9%, 3.9%, and 5.4%, respectively, in the southeast area for <300 m, 300–700 m, 700–1 100 m, and >1 100 m altitudes. In general, the regional premium damage insurance rate increased with latitude and altitude. These results can provide technical support for the actuarial calculation of the premium damage insurance rate in relation to the design of insurance products for the cold-frost damage index of tea plants in Fujian Province.

Keywords: Tea insurance; Cold-frost damage; Risk division; Differential rate

茶叶(*Camellia sinensis*)是福建省的主要经济作物，除沿海的两个县外，其余各县均有茶叶种植，2018 年茶叶种植面积 21.09 万 hm^2，产量 41.83 万 t，居全国第一位，茶产业已成为福建千亿元产业链，是农民收入和地方经济的主要来源之一[1-2]。但是，寒冻害常造成茶叶生产的巨大损失，如 2010 年 3 月受强冷空气影响，福建省约 6 万 hm^2 的茶园遭受不同程度的寒冻害，尤其是高海拔茶区新长出的芽、叶严重受冻，几乎无春茶可采，导致许多茶农遭受巨大损失；同时由于缺乏茶叶保险，茶农无法得到损失补偿[3-5]。因此开展茶叶寒冻害保险势在必行，但传统农业保险存在逆向选择、道德风险、理赔效率低、灾损评估误差大等问题[6-8]，而农业气象指数保险是农业保险的一种创新性产品，它以客观的气象观测资料为依据，以特定的农业气象指标作为触发机制，把天气气候条件对农作物损害程度指数化，克服了信息不对称问题，有利于减少逆选择，防范道德风险。目前亟需开展茶叶寒冻害保险费率等关键技术研究，这将为指数保险创新产品设计奠定基础。

在农业气象指数保险研究与应用方面，目前国外主要集中在气象指数保险理论方法、天气指数保险产品设计、应用与评估等方面，一些国家开展了气象指数保险研究，如墨西哥、美国等国开展了农业旱涝灾害的降水指数保险研究与应用，南非开展了苹果(*Malus domestica*)霜冻的气象指数保险，印度农业保险公司开展了咖啡(*Coffea arabica*)、芒果(*Mangifera indica*)等经济作物干旱的降水指数保险等[9-10]。在农作物保险费率厘定方法方面，主要采用经验费率法和单产分布模型法[11-12]：Ozaki 等[13]以县级数据为单位，使用参数法和非参数法计算巴拉那州农作物的保险费率；Turvey 等[14]运用蒙特卡罗模型估计对葡萄(*Vitis vinifera*)产量有主要影响的天气指数保险费率，不考虑海拔、地理位置等因素；Marletto 等[15]利用 Wofost 模型对意大利小麦(*Triticum aestivum*)产量进行实证研究；Lu 等[16]通过检验 Johnson 分布的灵活性精算保险费率。国内农业气象指数保险研究开始较晚，一些学者采用统计历年作物产量资料，选取拟合程度较好的分布模型(如信息扩散模型、非参数核密度估计等)[17-21]，分析作物歉年减产率与气象灾害之间的关系，最终确定出合理的指数保险费率；杨太明等[22]、王春乙等[23]、娄伟平等[24-25]、陈盛伟等[26]、孙擎等[27]、杨平等[28]分别开展了安徽冬小麦气象灾害、海南芒果寒害、浙江茶叶霜冻、山东苹果低温冻害、江西水稻(*Oryza sativa*)热害、黄淮海玉米(*Zea mays*)干旱的研究，但厘定的保险费率大多是以县域为单元的统一费率，未能体现县域内不同地形下的区域费率差异。

因此，本文以福建茶叶寒冻害指数保险为研究对象，通过分析各种植县茶叶主要品种的生长发育期和寒冻害主要致灾时段，将极端最低气温作为寒冻害气象保险指数，确定茶叶寒冻害气象条件与减产率之间的量化关系，计算茶叶不同等级寒冻害减产率和出现概率，厘定不同区域不同触发条件下的寒冻害指数保险纯费率和基准保险费率，并引入寒冻害风险评估指数，确定出区域风险系数，修订保险费率，得到差别费率，使保险费率更准确地反映具体区域的茶叶寒冻害受灾情况，改变省内不同等级风险区使用相同费率的现状，实现不同海拔、不同地理位置、不同地形条件下福建省茶叶种植区保险费率的科学厘定，以期为福建复杂地形下的茶叶寒冻害指数保险产品设计提供关键技术支撑。

1　资料与方法

1.1　研究区概况

福建省地处我国东南沿海，跨中、南亚热带，属亚热带海洋性季风气候，境内地形复杂，多山、丘陵起伏，地形气候多样[29]。同时福建是我国茶叶主产区，有着适宜茶树生长的自然条件，但受气候、地理位置和地形等综合影响，在春茶萌芽至采摘期间，常遭受强冷空气影响，导致茶树芽、叶等组织器官遭受寒冻害，造成茶叶生产遭受巨大损失，而茶叶

寒冻害保险的缺失，也使茶农开展茶叶灾后恢复生产及政府扶持茶叶救灾受到不同程度影响。

1.2 资料来源

气象资料来源于福建省气象局提供的地面观测数据，极端最低气温数据采用全省 63 个县(区)1971—2018 年春茶萌芽至采摘期(3 月 1 日至 5 月 10 日)的历年观测数据；气象灾害资料来源于福建省气候公报及历年灾情调查数据；茶叶种植面积和产量数据来源于历年《福建省农村统计年鉴》，单产量数据采用 63 个县(区)1991—2018 年统计数据；DEM、行政边界等地理信息资料来源于“数字福建”提供的 1∶250 000 基础地理背景资料。

1.3 研究方法

1.3.1 寒冻害减产率和出现概率

由于茶树树体本身较为耐寒，福建除极少数冬季严寒年份造成茶树受灾外，大部分年份的冬季寒冻害对树体影响有限，而寒冻害对福建茶叶危害最大的是春季晚霜冻，主要危害春茶萌芽至采摘期间的幼芽、嫩叶等组织器官，会造成茶青受害，甚至绝收。因此，根据福建茶叶主栽品种，即中晚熟品种的物候期，将茶叶寒冻害保险时段界定在 3 月 1 日至 5 月 10 日，并根据指数保险指标简单且易为保户理解接受的原则，以保险时段的极端最低气温作为寒冻害保险触发指标，同时考虑茶树不同品种的幼芽、嫩叶等组织器官寒冻害气象指标差异性不大的情况，设计 4 ℃以下每隔 1 ℃区间的寒冻害保险气象等级。

采用气象产量序列分离法模拟计算历年茶叶趋势产量和相对气象产量(y_w)[30]，利用正交多项式方法计算趋势产量，再根据式(1)计算出相对气象产量，筛选出歉年($y_w \leqslant 0$)年份，并剔除其他气象灾害(如干旱、连阴雨等)影响的年份，将寒冻害影响年的相对气象产量作为茶叶减产率，建立各县茶叶减产率与极端最低气温之间的回归模型，进而应用该模型计算各等级指标的区间减产率和平均减产率。

$$y_w = \frac{y - y_t}{y_t} \times 100\% \tag{1}$$

式中：y 为茶叶实际单产量，y_t 为趋势产量，y_w 为相对气象产量。

根据茶叶寒冻害保险气象等级，统计各县历年茶叶萌芽至采摘期出现的频次，按照式(2)计算福建省各县茶叶不同等级寒冻害出现的概率，确定不同茶叶种植县不同等级茶叶寒冻害的出现概率。

$$\pi_i = n/N \times 100\% \tag{2}$$

式中：π_i 为不同寒冻害等级的出现概率，n 为不同等级低温出现年数，N 为统计样本的总年数。

1.3.2 致灾危险性指数

首先，根据茶区历年气象资料，计算春茶萌芽至采摘期间(3 月 1 日至 5 月 10 日)不同等级的寒冻害发生频次，并基于不同县域单元不同等级寒冻害发生频次，构建茶叶寒冻害危险性评估的特征矩阵，采用熵权法和层次分析法融合计算权重的方法，确定出不同寒冻害等级指标的综合权重[31-33]。

$$\sigma_i = (a_i \times \omega_i) \sum_{i=1}^{m} (a_i \times \omega_i) \tag{3}$$

式中：a_i 为熵权重，ω_i 为层次分析权重，σ_i 为综合权重。

其次，采用加权系数法计算不同评估单元的寒冻害危险性指数。

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^{m} (\sigma_i \times P_{ij}) \tag{4}$$

式中：λ_j 为寒冻害危险性指数，i 是评价指标个数，j 是评估单元数，σ_i 为第 i 个等级指标的综合权重，P_{ij} 为寒冻害轻度、中度、重度和严重 4 个等级评价指标 i 在第 j 个评估单元出现的特征值。

1.3.3 保险费率的厘定方法

首先，根据确定的茶叶寒冻害不同等级指标区间，将不同等级的平均减产率及出现概率相乘，再将各等级的纯费率进行累加，得出各县域的茶叶寒冻害保险纯费率。

纯费率计算公式：

$$R = E(\text{Loss}) = \sum_{i=1}^{m} (x_i \times \pi_i) \tag{5}$$

式中：R 为纯费率，E(Loss)为产量损失的数学期望(预期损失)，i 为寒冻害等级数量，x_i 为某等级平均减产率，π_i 为某等级指标出现概率。

其次，结合考虑保险公司在开展保险业务时需要的费用、利润及风险附加，按照式(6)计算得出各县域不同触发条件下的基准保险费率。

$$P_{T_d \leqslant m_i} = \frac{\sum R_{T_d \leqslant m_i}}{1 - E - M} \tag{6}$$

式中：P 为基准保险费率，R 为不同触发条件下纯费率，E 为费用附加，M 为风险及利润附加，T_d 为极端最低气温，m_i 为保险不同触发条件下的极端低温指标阈值。

最后，根据计算得出不同触发条件下的基础保险费率，按照茶叶寒冻害致灾危险性区划结果，统计区域不同海拔区间的危险性指数，并以区域气象观测站点所处海拔区间为基准，计算不同海拔高度区间的“区域风险系数”，订正出不同县域不同触发

条件不同海拔高度茶园的区域保险费率。

$$R_g=P\times(i_h/i_b) \quad (7)$$

式中: R_g为区域保险费率, i_h为区域某海拔区间的寒冻害危险性指数, i_b为区域气象基准站点海拔区间的寒冻害危险性指数。

2　结果与分析

2.1　茶叶不同等级寒冻害减产率和出现概率

按照农业气候相似原则, 将福建茶叶种植区分为西北部、东北部、西南部和东南部 4 个区域, 并建立区域各县茶叶寒冻害歉年减产率和极端低温值之间的线性回归模型, 同时结合茶叶萌芽展叶期寒冻害气象指标[5], 将极端最低气温 4 ℃作为茶叶寒冻害指数保险起始触发指标, 并按照间隔 1 ℃划分 7 个等级, 统计出各县不同等级寒冻害的平均减产率和出现概率(表 1)。

从表 1 各县茶叶平均减产率分析可知, 全省茶叶种植区不同等级寒冻害平均减产率介于 2.6%~6.6%, 4 ℃以下每隔 1 ℃区间的平均减产率分别为 2.6%、3.3%、4.1%、4.8%、5.5%、6.2%、6.6%。总体上看, 随着极端最低气温的降低, 平均减产率呈现逐渐增加的趋势, 各寒冻害等级的减产率总体呈现为西北部>东北部>东南部>西南部。

利用 1971—2018 年的极端气温资料, 统计福建省各县不同等级茶叶寒冻害出现概率。由表 1 分析可知, 全省不同等级寒冻害的平均发生概率介于 3.3%~10.7%, 寒害(0 ℃<T_d≤4 ℃)平均发生概率占 34.1%, 冻害(T_d≤0 ℃)平均发生概率占 13.5%; 其中西北部不同等级寒冻害平均发生概率介于 4.9%~13.9%, 尤以三明市西北部和南平市北部寒冻害发生概率高; 东北部不同等级寒冻害发生概率介于 5.6%~13.0%, 尤以屏南、寿宁、周宁和柘荣 4 个高海拔县寒冻害发生概率高; 西南部不同等级寒冻害发生概率介于 1.9%~12.0%; 东南部不同等级寒冻害发生概率介于 0~4.6%, 其沿海低平地区几乎未出现茶叶冻害。总体上看, 除高海拔和西北部部分县市外, 随着极端最低气温的降低, 不同区域寒冻害发生概率呈下降趋势, 各寒冻害等级的发生概率总体呈现西北部>东北部>西南部>东南部。

表 1　茶叶不同等级寒冻害的平均减产率及出现概率

Table 1　Average yield reduction rates and occurrence probabilities of different grades of tea cold-frost damage

区域 Region	站点 Station	平均减产率 Average yield reduction rate (%)							寒冻害出现概率 Probability of cold-frost damage (%)						
		极端最低温度 Extreme minimum temperature (℃)													
		(3, 4]	(2, 3]	(1, 2]	(0, 1]	(−1, 0]	(−2, −1]	(−∞, −2]	(3, 4]	(2, 3]	(1, 2]	(0, 1]	(−1, 0]	(−2, −1]	(−∞, −2]
西北部 Northwest	建瓯 Jian'ou	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	16.7	22.9	8.3	12.5	4.2	2.1	6.3
	建阳 Jianyang	0.6	1.0	1.4	1.8	2.3	2.7	2.9	18.8	12.5	10.4	10.4	14.6	4.2	6.3
	延平 Yanping	5.5	6.4	7.4	8.3	9.2	10.2	10.7	6.3	6.3	10.4	2.1	0.0	4.2	0.0
	邵武 Shaowu	0.6	1.7	2.9	4.0	5.2	6.3	6.9	14.6	10.4	10.4	10.4	14.6	10.4	10.4
	顺昌 Shunchang	0.9	1.4	1.9	2.4	3.0	3.5	3.8	27.1	10.4	4.2	10.4	8.3	2.1	4.2
	沙县 Shaxian	1.7	2.4	3.2	3.9	4.7	5.4	5.8	22.9	2.1	14.6	4.2	4.2	2.1	4.2
	永安 Yong'an	4.4	4.8	5.2	5.6	6.1	6.5	6.7	16.7	4.2	8.3	4.2	6.3	0.0	4.2
	三明辖区 Sanming District	3.8	5.9	7.9	9.9	12.0	14.0	15.0	16.7	4.2	8.3	4.2	6.3	2.1	0.0
	浦城 Pucheng	1.1	1.5	1.8	2.1	2.4	2.8	2.9	6.3	16.7	14.6	20.8	20.8	2.1	10.4
	松溪 Songxi	1.0	2.4	3.7	5.1	6.5	7.9	8.6	6.3	16.7	20.8	14.6	14.6	2.1	8.3
	武夷山 Wuyishan	2.9	3.4	4.0	4.5	5.0	5.5	5.8	8.3	12.5	25.0	16.7	8.3	4.2	8.3
	政和 Zhenghe	3.3	4.7	6.1	7.5	8.9	10.3	11.0	7.0	23.3	20.9	11.6	7.0	4.7	2.3
	建宁 Jianning	0.9	1.8	2.8	3.7	4.6	5.6	6.1	10.4	14.6	6.3	16.7	18.8	2.1	27.1
	明溪 Mingxi	3.1	4.5	5.9	7.4	8.8	10.2	10.9	14.6	14.6	14.6	12.5	16.7	4.2	12.5
	宁化 Ninghua	2.6	3.3	4.0	4.7	5.4	6.1	6.4	12.5	10.4	14.6	18.8	10.4	14.6	10.4
	清流 Qingliu	0.7	1.1	1.5	1.9	2.3	2.7	2.9	12.5	12.5	22.9	6.3	12.5	2.1	12.5
	泰宁 Taining	4.1	5.1	6.1	7.0	8.0	9.0	9.5	16.7	14.6	16.7	12.5	6.3	14.6	12.5
	将乐 Jiangle	2.4	4.5	6.7	8.9	11.0	13.2	14.3	20.8	10.4	10.4	6.3	2.1	4.2	6.3
	光泽 Guangze	2.0	2.9	3.8	4.8	5.7	6.6	7.1	8.3	14.6	10.4	12.5	14.6	10.4	20.8
	均值 Average	2.2	3.1	4.1	5.0	5.9	6.8	7.3	13.9	12.3	13.3	10.9	10.0	4.9	8.8

续表 1

区域 Region	站点 Station	平均减产率 Average yield reduction rate (%)							寒冻害出现概率 Probability of cold-frost damage (%)						
		极端最低温度 Extreme minimum temperature (℃)													
		(3, 4]	(2, 3]	(1, 2]	(0, 1]	(−1, 0]	(−2, −1]	(−∞, −2]	(3, 4]	(2, 3]	(1, 2]	(0, 1]	(−1, 0]	(−2, −1]	(−∞, −2)
东北部 Northeast	连江 Lianjiang	4.3	5.3	6.2	7.1	8.0	8.9	9.4	20.8	4.2	8.3	2.1	4.2	0.0	0.0
	罗源 Luoyuan	3.9	4.8	5.7	6.6	7.6	8.5	9.0	20.8	6.3	6.3	6.3	2.1	0.0	0.0
	闽侯 Minhou	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.6	12.5	4.2	4.2	4.2	0.0	0.0	0.0
	闽清 Minqing	4.4	5.5	6.5	7.5	8.6	9.6	10.1	22.9	4.2	10.4	4.2	2.1	0.0	2.1
	永泰 Yongtai	2.4	3.1	3.9	4.6	5.3	6.1	6.5	16.7	18.8	4.2	10.4	2.1	2.1	2.1
	福安 Fu'an	4.2	5.4	6.7	8.0	9.3	10.6	11.2	8.3	14.6	10.4	4.2	2.1	0.0	2.1
	福鼎 Fuding	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	3.8	22.9	25.0	10.4	6.3	4.2	2.1	2.1
	蕉城 Jiaocheng	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.1	10.4	6.3	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
	霞浦 Xiapu	1.2	1.8	2.3	2.9	3.4	4.0	4.2	22.9	12.5	4.2	6.3	0.0	0.0	0.0
	古田 Gutian	2.2	3.1	4.0	4.9	5.8	6.7	7.1	16.7	18.8	14.6	8.3	2.1	6.3	2.1
	大田 Datian	3.5	4.3	5.0	5.8	6.6	7.3	7.7	18.8	16.7	8.3	2.1	4.2	2.1	4.2
	尤溪 Youxi	3.3	5.1	6.8	8.6	10.3	12.1	13.0	12.5	16.7	4.2	12.5	4.2	0.0	6.3
	德化 Dehua	1.6	2.7	3.9	5.0	6.2	7.4	7.9	12.5	18.8	14.6	8.3	4.2	6.3	2.1
	屏南 Pingnan	0.4	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	1.9	2.1	2.1	14.6	14.6	22.9	18.8	25.0
	寿宁 Shouning	0.1	0.7	1.3	1.9	2.5	3.1	3.4	0.0	0.0	14.6	14.6	25.0	20.8	25.0
	柘荣 Zherong	1.0	1.6	2.1	2.7	3.3	3.9	4.2	0.0	4.2	16.7	25.0	22.9	14.6	16.7
	周宁 Zhouning	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	0.0	2.1	10.4	25.0	18.8	22.9	20.8
	均值 Average	2.3	3.1	3.9	4.7	5.5	6.3	6.7	13.0	10.3	9.3	9.2	7.1	5.6	6.5
西南部 Southwest	华安 Hua'an	3.7	4.4	5.1	5.8	6.5	7.2	7.6	8.3	2.1	2.1	2.1	4.2	0.0	0.0
	南靖 Nanjing	3.3	3.8	4.3	4.8	5.3	5.9	6.1	6.3	4.2	4.2	4.2	0.0	0.0	0.0
	连城 Liancheng	5.8	6.4	7.0	7.7	8.3	8.9	9.2	18.8	20.8	12.5	2.1	4.2	6.3	2.1
	新罗 Xinluo	4.2	5.0	5.8	6.5	7.3	8.1	8.5	18.8	2.1	4.2	2.1	6.3	0.0	0.0
	上杭 Shanghang	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	10.4	6.3	6.3	2.1	4.2	2.1	0.0
	武平 Wuping	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.5	14.6	14.6	14.6	2.1	4.2	0.0	4.2
	永定 Yongding	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	3.8	10.4	10.4	2.1	4.2	4.2	4.2	0.0
	漳平 Zhangping	1.8	2.3	2.8	3.3	3.8	4.2	4.5	10.4	6.3	4.2	4.2	2.1	2.1	2.1
	长汀 Changting	2.7	3.5	4.4	5.3	6.2	7.1	7.5	10.4	14.6	16.7	12.5	12.5	2.1	8.3
	均值 Average	2.8	3.3	3.8	4.4	4.9	5.4	5.7	12.0	9.0	7.4	3.9	4.6	1.9	1.9
东南部 Southeast	福清 Fuqing	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	4.2	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
	长乐 Changle	2.4	3.1	3.8	4.5	5.2	5.9	6.2	14.6	2.1	2.1	0.0	2.1	0.0	0.0
	莆田 Putian	3.5	4.1	4.6	5.1	5.7	6.2	6.5	4.2	4.2	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
	仙游 Xianyou	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.2	8.3	4.2	2.1	0.0	0.0	0.0
	安溪 Anxi	4.1	4.8	5.5	6.1	6.8	7.5	7.9	4.2	2.1	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	南安 Nan'an	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.4	4.2	4.2	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	永春 Yongchun	1.4	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.5	6.3	4.2	4.2	6.3	0.0	0.0	0.0
	惠安 Hui'an	4.4	5.1	5.8	6.6	7.3	8.0	8.4	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	泉州辖区 Quanzhou District	5.8	6.6	7.4	8.2	9.1	9.9	10.3	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	厦门 Xiamen	3.8	4.7	5.5	6.4	7.2	8.1	8.5	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	平和 Pinghe	2.3	2.8	3.2	3.7	4.1	4.6	4.8	8.3	6.3	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0
	长泰 Changtai	3.4	4.1	4.7	5.4	6.0	6.7	7.0	2.1	4.2	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	诏安 Zhao'an	3.1	3.8	4.5	5.2	5.8	6.5	6.8	6.3	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	龙海 Longhai	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	云霄 Yunxiao	6.4	7.2	8.0	8.7	9.5	10.3	10.7	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	漳浦 Zhangpu	3.0	3.4	3.9	4.4	4.9	5.3	5.6	4.2	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	漳州辖区 Zhangzhou District	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.6	8.0	2.1	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	福州辖区 Fuzhou District	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	10.4	4.2	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	均值 Average	3.3	3.8	4.3	4.8	5.3	5.9	6.1	4.6	3.2	1.9	0.9	0.1	0.0	0.0

2.2　茶叶寒冻害指数保险纯费率和基准保险费率

根据式(5)计算各县极端最低气温低于 4 ℃触发条件下的茶叶寒冻害指数保险纯费率, 并将保险费用附加设定 20%, 风险及利润附加设定 10%, 依据式(6)计算得出各县基准保险费率。限于文章篇幅, 表 2 只列出 4 ℃触发条件下福建全省及 4 个区域的保险平均纯费率和基准保险费率。

由表 2 可见, 福建省各县平均纯费率为 1.83%, 其中西北部最高, 东南部最低; 全省各县平均基准保险费率为 2.62%, 整体上呈现从西北部内陆向东南部沿海、高海拔地区向低海拔地区减少的趋势。基准保险费率最高的是泰宁县, 达 9%, 最低的是厦门市, 只有 0.1%。究其原因, 西北部和东北部区域无论减产率和发生概率都较高, 因此, 纯费率和基准保险费率也高; 而西南部和东南部区域虽然寒冻害年的减产率也高, 但其发生频率较低, 尤其是东南部区域茶叶寒冻害发生几率更低, 沿海低平地区更是少有冻害出现, 其保险费率也相对较低。依此类推, 可计算不同极端低温触发条件下的福建省各县及区域保险纯费率和基准保险费率。

表 2　福建省各区域茶叶寒冻害保险平均纯费率及基准保险费率

Table 2　Average premium rate and benchmark premium rate for tea cold-frost damage insurance in Fujian Province

区域 Region	纯费率 Pure rate (%)	基准保险费率 Benchmark insurance rate (%)
西北部 Northwest	3.13	4.47
东北部 Northeast	2.08	2.98
西南部 Southwest	1.61	2.29
东南部 Southeast	0.34	0.49
福建省 Fujian Province	1.83	2.62

2.3　茶叶寒冻害危险性区划与评估

由于福建地形复杂, 每个县域内茶园的海拔高度差异大, 茶叶寒冻害保险产品的设计必须因地制宜, 需根据区域内不同风险区设计出对应的指数保险产品, 因此, 开展茶叶寒冻害危险性区划与评估, 确定不同风险区的寒冻害危险性指数, 修订区域保险费率显得至关重要。利用福建省茶叶种植区各县 1971—2018 年低温资料, 以极端最低气温作为寒冻害危险性区划指标, 采用 AHP-EWM 方法计算寒冻害不同风险等级的指标权重(表 3), 然后根据式(4)计算出各县国家气象观测台站的致灾危险性指数, 再基于 GIS 技术建立危险性指数与经度、纬度和海拔高度地理因子之间的地理推算模型, 制作精细化的茶叶寒冻害危险性区划图, 得到区域任意位置的危险性指数及风险精细分布情况[5,33]。

从福建省茶叶寒冻害危险性区划图可以看出(图 1), 寒冻害危险性呈现出从东南沿海向西北内陆递增的趋势, 海拔越高的茶叶种植区危险性越高。轻度寒冻害危险区分布在长乐以南沿海海拔 200 m 以下地区, 茶叶寒冻害危险性小, 危险性归一化指数小于 0.02; 中度寒冻害危险区主要集中在北部和南部内陆海拔 300~600 m 的地区, 危险性指数范围为 0.02~0.20; 重度寒冻害危险性区域主要集中在海拔 600~1 000 m 的中高海拔山区, 危险性指数为 0.20~0.55; 严重寒冻害危险性区域主要分布在武夷山脉、鹫峰山区、戴云山脉、博平岭和玳瑁山海拔 1 000 m 以上的地区, 危险性指数大都在 0.55 以上, 其中东北部鹫峰山区的屏南、周宁、柘荣、寿宁 4 个县的危险性指数分别达 0.95、0.79、0.76、0.97, 属于寒冻害高危险性区域。

表 3　福建省茶叶寒冻害风险等级指标及权重

Table 3　Index and weight of risk grade of tea cold-frost damage in Fujian Province

表征指标 Indicator	风险等级 Risk level			
	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe	严重 Most serious
极端最低气温 Extreme minimum temperature (T_d, ℃)	$2<T_d\leqslant 4$	$0<T_d\leqslant 2$	$-2<T_d\leqslant 0$	$T_d\leqslant -2$
指标权重 Index weight	0.108 9	0.173 4	0.269 2	0.448 5

2.4　不同区域不同触发条件下的茶叶寒冻害区域保险费率

根据福建省茶叶寒冻害危险性区划结果及指数保险产品精细化设计要求, 按照 4 个不同区域的轻度、中度、重度和严重寒冻害危险性区域的指数分布情况, 在精细区划图中找出 4 个不同区域轻度、中度、重度和严重危险性区域之间的海拔高度临界阈值, 作为不同海拔风险区保险的分类依据, 将西北部和东北部各县按照不同风险区所处的海拔高度范围, 划分为<200 m、200~600 m、600~900 m、>900 m 4 个寒冻害风险区, 将西南部和东南部各县划分为<300 m、300~700 m、700~1 100 m、>1 100 m 4 个寒冻害风险区, 来分别厘定不同区域不同海拔风险区的保险费率。

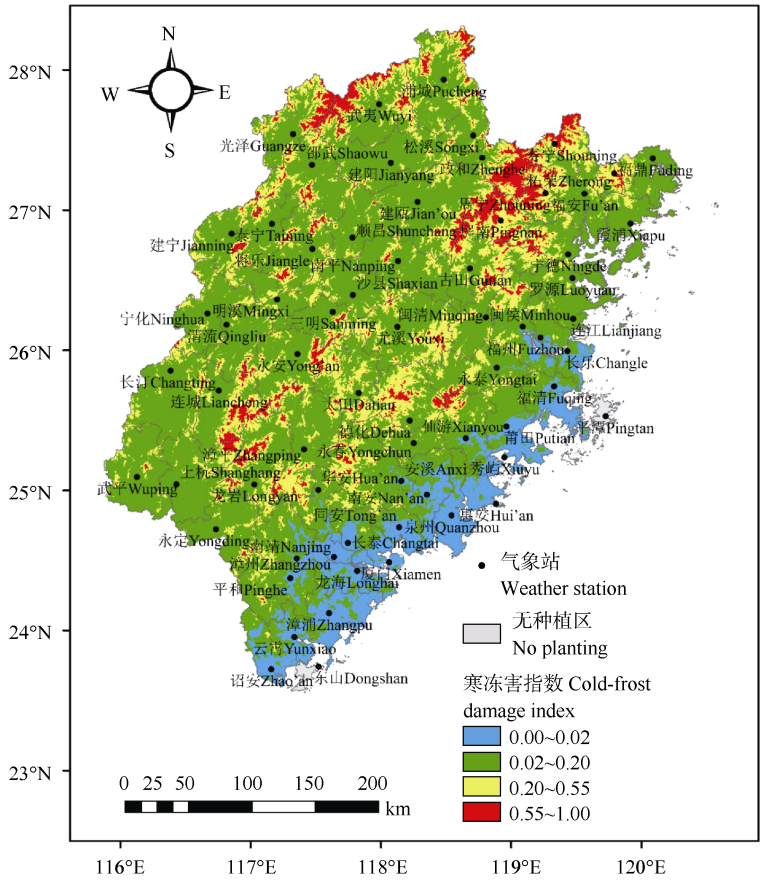

图 1 福建省茶叶寒冻害危险性区划

Fig. 1 Division of risk of tea cold-frost damage in Fujian Province

在寒冻害风险区划图中，统计出 4 个区域不同海拔高度地域的致灾危险性平均指数值，并以区域气象观测站点所处海拔区间为基准位置，修订其他海拔高度区域的费率。西北部以海拔 200~600 m 区域危险性平均指数为基准，东北部中低海拔县以 200~600 m、高海拔县以 600~900 m 区域指数为基准，西南部以 300~700 m 区域指数为基准，东南部以<300 m 区域指数为基准，通过计算其他不同海拔地域指数与基准海拔区域指数比值，确定出 4 个区域不同海拔高度的寒冻害风险订正系数(表 4)，并根据式(7)订正各县域不同海拔风险区的保险费率。限于篇幅，本文只列出福建省不同海拔不同触发条件下的区域保险费率(表 5)。

从表 5 福建省不同区域保险费率可以看出，随着海拔高度的增加，4 个区域茶叶寒冻害致灾危险性越大，保险费率就越高，同时保险触发的气温越低，保险费率也相应降低；在同一保险触发条件下，保险费率呈现出西北部>东北部>西南部>东南部的规律。以极端低温 4 ℃以下保险触发条件为例，西北部不同海拔区域保险费率介于 1.37%~10.24%，东北部区域在 0.87%~6.39%，西南部区域在 0.54%~5.52%，东南部区域为 0.49%~5.43%。可见不同区域不同海拔高度区域的寒冻害危险性不同，其厘定的区域保险费率存在较大差异。不同区域不同触发条件不同风险区的费率精算结果，可为科学设计茶叶寒冻害保险产品提供支撑。

目前，基于厘定的区域保险费率的茶叶寒冻害气象指数保险产品已在福建省寿宁县、清流县、漳平市和武夷山市等多地落地应用，2019—2020 年投保的茶叶面积达 2 800 hm^2，为茶叶提供了 4 200 万元的风险保障。2020 年 4 月 13 日，地处西北部的清流县苏福茶业有限公司投保茶园(海拔 400~500 m)附近自动气象站(海拔 494 m)观测的最低气温为 1.8 ℃，触发设定的 4 ℃保险理赔指标；同日地处西南部的漳平市永福镇投保茶园(海拔 700~800 m)附近区域自动气象站(海拔 822 m)观测的最低气温为 1.6 ℃；从两地的茶园寒害受灾调查来看，苏福茶业公司的茶园寒害总体损失程度略大于永福镇茶园，同时由表 5 可见，这两个投保茶园相应海拔区域触发的保险费率分别为 4.47%和 3.98%，与实际减产率的趋势吻合，符合高风险、高减产率与高费率之间的因果关系，一定程度说明了研究设置的区域保险费率具有合理性。

表 4　福建省茶叶寒冻害不同风险区危险性指数均值及区域风险订正系数

Table 4　Mean value of risk index and correction coefficient of regional risk in different risk areas of tea cold-frost damage of Fujian Province

项目 Project	区域 Region	海拔高度 Altitude (m) <200	200~600	600~900	>900	区域 Region	海拔高度 Altitude (m) <300	300~700	700~1 100	>1 100
指数均值 Average of index	西北部 Northwest	0.15	0.49	0.80	1.13	西南部 Southwest	0.11	0.46	0.80	1.10
订正系数 Correction coefficient		0.31	1.00	1.62	2.29		0.24	1.00	1.74	2.41
指数均值 Average of index	东北部 Northeast	0.15	0.45	0.81	1.08	东南部 Southeast	0.10	0.38	0.78	1.08
订正系数 Correction coefficient	中低海拔县 Middle and low altitude county	0.33	1.00	1.81	2.42		1.00	3.93	8.01	11.05
	高海拔县 High altitude county	0.18	0.55	1.00	1.34		—	—	—	—

表 5　福建省茶叶寒冻害不同区域不同触发条件下的区域保险费率

Table 5　Regional premium rates of tea cold-frost damage under different trigger conditions in different regions of Fujian Province　　%

触发条件 Trigger condition (T_d) (℃)	区域 Region	海拔高度 Altitude (m) <200	200~600	600~900	>900	区域 Region	海拔高度 Altitude (m) <300	300~700	700~1 100	>1 100
$T_d \leqslant 4$	西北部 Northwest	1.37	4.47	7.24	10.24	西南部 Southwest	0.54	2.29	3.98	5.52
$T_d \leqslant 3$		1.25	4.05	6.57	9.30		0.42	1.78	3.09	4.28
$T_d \leqslant 2$		1.09	3.55	5.76	8.15		0.32	1.33	2.32	3.21
$T_d \leqslant 1$		0.86	2.78	4.51	6.37		0.22	0.92	1.60	2.22
$T_d \leqslant 0$		0.64	2.08	3.37	4.76		0.16	0.67	1.16	1.60
$T_d \leqslant -1$		0.41	1.33	2.16	3.05		0.08	0.32	0.55	0.76
$T_d \leqslant -2$		0.25	0.83	1.34	1.90		0.04	0.16	0.28	0.39
$T_d \leqslant 4$	东北部 Northeast	0.87	2.64	4.78	6.39	东南部 Southeast	0.49	1.93	3.93	5.43
$T_d \leqslant 3$		0.70	2.12	3.84	5.13		0.30	1.19	2.42	3.35
$T_d \leqslant 2$		0.54	1.63	2.95	3.95		0.15	0.58	1.18	1.62
$T_d \leqslant 1$		0.39	1.19	2.16	2.88		0.05	0.20	0.41	0.57
$T_d \leqslant 0$		0.25	0.76	1.38	1.84		0.01	0.03	0.07	0.09
$T_d \leqslant -1$		0.16	0.48	0.87	1.17		0.00	0.00	0.00	0.00
$T_d \leqslant -2$		0.10	0.29	0.52	0.70		0.00	0.00	0.00	0.00

3　结论与讨论

以福建茶叶寒冻害指数保险为研究对象，通过确定茶叶寒冻害主要致灾时段，将极端最低气温作为寒冻害气象保险指数，量化茶叶减产率与极端低温之间的关系，分析茶叶不同等级寒冻害减产率和出现概率，厘定出不同触发条件下的寒冻害指数保险纯费率和基准保险费率，并基于 GIS 技术开展寒冻害危险性区划，确定出区域风险系数来修订保险费率，最终得到差别费率。研究采用的区域差别费率综合考虑了区域内灾害不同风险区的损失情况及发生概率等要素，能够更客观准确地反映具体地域的茶叶寒冻害实际受灾情况。传统农业保险及以往一些农业气象指数保险中采用一市或一县行政区为基本单元的单一费率，没有考虑市、县行政区内不同地域小气候、地形导致灾害风险差异和损失差异情况[34-36]。本研究解决了县域内不同风险区使用单一费率的问题，减少了基差风险，实现不同海拔、不同地理位置、不同地形条件下福建省茶叶种植区保险费率的科学厘定，显著提高了费率厘定的精细化程度，科学性和客观性大为增强，也容易得到茶企等投保对象及保险公司的认可，可为福建不同风险

区因地制宜地设计茶叶寒冻害指数保险产品提供技术支撑。

在同一保险触发条件下，福建茶叶寒冻害保险费率呈现出西北部>东北部>西南部>东南部的规律，每个区域随着海拔高度的增加，茶叶寒冻害致灾危险性越大，厘定的保险费率就越高，这与福建各区域历年茶叶寒冻害的平均损失率趋势相吻合；制定的寒冻害保险触发低温指标越低，保险费率也相应降低，与娄伟平等[37]、张京红等[38]的研究结果一致。福建地形复杂，县域内海拔高度差异大，小气候差异较大，茶叶寒冻害危险性存在差异，尤其需要针对不同灾害风险区制定相应的保险费率。因此，精算的不同区域不同触发条件下的不同风险区费率结果，可为科学设计保险产品奠定费率基础，以权衡保险公司和保户的权益。

在茶叶寒冻害保险纯费率计算过程中，涉及不同等级寒冻害的减产率计算，存在部分站点春茶寒冻害年样本较少的情况，同时由于茶园等区域自动气象监测站观测资料年代较短，分析寒冻害发生概率的代表性不够的原因，研究只采用县气象监测站点历年数据，未能全面反映复杂地形下的全县茶区极端低温情况，会导致建立的极端低温与茶叶减产率之间的量化关系存在一定偏差，不同程度影响部分县域平均减产率和纯费率的精算。为了降低这些影响，本研究采用了分区各县计算保险费率，以供区域保险产品设计应用，今后可随着区域自动监测站数据的不断累积，充分利用区域乡镇或茶园基地平行观测的气象和产量数据来计算纯费率，以提高费率厘定精度。

福建省茶叶品种众多，熟性不同，在界定寒冻害保险时段时，主要考虑了春茶主栽品种，即中晚熟茶树品种萌芽至采摘期的时间段，能基本覆盖福建春茶的寒冻害影响时期，但由于福建地形复杂，气候差异较大，不同区域不同茶叶品种的生长发育期有所不同，采用统一的致灾因子影响时段会导致寒冻害危险性指数评估结果出现一定偏差，进而导致不同区域厘定的保险费率也会存在一定误差；此外，在保险指标设定时考虑市场化应用需求，采用简易性设计原则，将极端最低气温值作为寒冻害保险触发指标，能基本反映茶叶受灾减产情况，但低温持续时间也不同程度影响茶叶寒冻害的受灾程度，只是目前尚缺乏持续时间对灾害的影响程度试验数据，故未考虑，今后可进一步深化茶叶寒冻害气象指数保险指标试验研究，针对不同区域不同茶树品种开展保险费率研究，为设计细分茶叶种类保险产品提供费率精算。

参考文献 References

[1] 赵慧. 福建茶产业发展现状与对策建议[J]. 发展研究, 2018, (6): 71–76
ZHAO H. Development status and countermeasures of Fujian tea industry[J]. Development Research, 2018, (6): 71–76

[2] 福建省统计局. 福建统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019
Fujian Bureau of Statistics. Fujian Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019

[3] 尤志明, 杨如兴, 张文锦, 等. 不同农艺措施对茶树冻害后产量恢复的影响初报[J]. 茶叶科学技术, 2010, (2): 1–2
YOU Z M, YANG R X, ZHANG W J, et al. Preliminary report on the effects of different agronomic measures on the yield recovery of tea trees after freezing damage[J]. Tea Science and Technology, 2010, (2): 1–2

[4] 王春乙, 张继权, 霍治国, 等. 农业气象灾害风险评估研究进展与展望[J]. 气象学报, 2015, 73(1): 1–19
WANG C Y, ZHANG J Q, HUO Z G, et al. Prospects and progresses in the research of risk assessment of agro-meteorological disasters[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2015, 73(1): 1–19

[5] 陈家金, 黄川容, 孙朝锋, 等. 福建省茶叶气象灾害致灾危险性区划与评估[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(1): 198–207
CHEN J J, HUANG C R, SUN C F, et al. Disaster-causing hazard division and evaluation of meteorological disasters for tea in Fujian Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2018, 27(1): 198–207

[6] 宋博, 穆月英, 侯玲玲, 等. 基于 CVW 的我国农业气象指数保险支付意愿分析——以浙江柑橘种植户为例[J]. 保险研究, 2014, (2): 54–63
SONG B, MU Y Y, HOU L L, et al. Analysis on willingness to pay for agricultural weather index insurance in China based on CVM: A case study on citrus growers in Zhejiang Province[J]. Insurance Studies, 2014, (2): 54–63

[7] 匡昕, 陈嵘徐. 油桃冻害气象指数保险设计[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(6): 1660–1666
KUANG X, CHEN R X. Design of weather-based index insurance contract for nectarine freezing[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2014, 26(6): 1660–1666

[8] 周军伟, 董放, 陈盛伟. 低温冻害气象指数保险研究综述[J]. 山东农业大学学报: 社会科学版, 2014, 16(1): 73–78
ZHOU J W, DONG F, CHEN S W. Review of research on cryogenic injury meteorological index insurance[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Social Science Edition, 2014, 16(1): 73–78

[9] 朱俊生. 中国天气指数保险试点的运行及其评估——以安徽省水稻干旱和高温热害指数保险为例[J]. 保险研究, 2011, (3): 19–25
ZHU J S. The pilot operation of the weather index insurance and its appraisal — Using Anhui rice drought and high temperature disaster index insurance as an example[J]. Insurance Studies, 2011, (3): 19–25

[10] TEIXEIRA E I, FISCHER G, VAN VELTHUIZEN H, et al. Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 170: 206–215

[11] CHEN S L, MIRANDA M J. Modeling Texas dryland cotton yields, with application to crop insurance actuarial rating[J]. Journal of Agricultural and Applied Economics, 2008, 40(1): 239–252

[12] 姜会飞. 农业保险费率和保费的计算方法研究[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(6): 109–117
JIANG H F. A new method for calculating fair crop yield premium rate and premium[J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(6): 109–117

[13] OZAKI V A, GOODWIN B K, SHIROTA R. Parametric and nonparametric statistical modelling of crop yield: Implications for pricing crop insurance contracts[J]. Applied Economics, 2008, 40(9): 1151–1164

[14] TURVEY C G, WEERSINK A, CELIA CHIANG S H. Pricing weather insurance with a random strike price: The Ontario ice-wine harvest[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2006, 88(3): 696–709

[15] MARLETTO V, VENTURA F, FONTANA G, et al. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 147(1/2): 71–79

[16] LU Y, RAMIREZ O A, REJESUS R M, et al. Empirically evaluating the flexibility of the Johnson family of distributions: A crop insurance application[J]. Agricultural and Resource Economics Review, 2008, 37(1): 79–91

[17] 曲思邈, 王冬妮, 郭春明, 等. 玉米干旱天气指数保险产品设计——以吉林省为例[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(2): 92–99
QU S M, WANG D N, GUO C M, et al. Insurance product design based on maize drought weather index: A case study in Jilin Province[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2018, 34(2): 92–99

[18] 屈振江, 周广胜. 中国产区苹果越冬冻害的风险评估[J]. 自然资源学报, 2017, 32(5): 829–840
QU Z J, ZHOU G S. The risk assessment of winter injury in main apple-producing regions of China[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(5): 829–840

[19] 王丽红, 杨汭华, 田志宏, 等. 非参数核密度法厘定玉米区域产量保险费率研究——以河北安国市为例[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(1): 90–94
WANG L H, YANG R H, TIAN Z H, et al. Maize GRP rate of premium deciding by nonprarametric kernel density: A case study on Anguo City, Hebei Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(1): 90–94

[20] 金志凤, 胡波, 严甲真, 等. 浙江省茶叶农业气象灾害风险评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(3): 771–777
JIN Z F, HU B, YAN J Z, et al. Agro-meteorological disaster risk evaluation of tea planting in Zhejiang Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(3): 771–777

[21] 陈超, 庞艳梅, 刘佳. 四川省水稻高温热害风险及灾损评估[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(4): 554−562
CHEN C, PANG Y M, LIU J. Assessment of risk and yield loss of rice in Sichuan Province due to heat stress[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(4): 554−562

[22] 杨太明, 孙喜波, 刘布春, 等. 安徽省水稻高温热害保险天气指数模型设计[J]. 中国农业气象, 2015, 36(2): 220–226
YANG T M, SUN X B, LIU B C, et al. Design on weather indices model for insurance of rice heat damage in Anhui Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2015, 36(2): 220–226

[23] 王春乙, 张亚杰, 张京红, 等. 海南省芒果寒害气象指数保险费率厘定及保险合同设计研究[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(1): 108–113
WANG C Y, ZHANG Y J, ZHANG J H, et al. Determination of the premium rate based on the weather indices of chilling injury in mangoes and contract design in Hainan Province[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2016, 39(1): 108–113

[24] LOU W P, QIU X F, WU L H, et al. Scheme of weather-based indemnity indices for insuring against freeze damage to citrus orchards in Zhejiang, China[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(11): 1321–1331

[25] 娄伟平, 吴利红, 陈华江, 等. 柑橘气象指数保险合同费率厘定分析及设计[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1904–1911
LOU W P, WU L H, CHEN H J, et al. Analysis and design of premium rates determined for weather-based index insurance contract of citrus[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(9): 1904–1911

[26] 陈盛伟, 李彦. 区域性苹果低温冻害气象指数保险产品设计——以山东省栖霞市为例[J]. 保险研究, 2015, (12): 78–87
CHEN S W, LI Y. Meteorological index insurance design for regional apple low temperature freezing disaster: With a case study of Qixia City in Shandong Province[J]. Insurance Studies, 2015, (12): 78–87

[27] 孙擎, 杨再强, 殷剑敏, 等. 江西早稻高温逼熟气象灾害指数保险费率的厘定[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 561–566
SUN Q, YANG Z Q, YIN J M, et al. Estimation of premium rates of high temperature disaster for early rice in Jiangxi[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2014, 35(5): 561–566

[28] 杨平, 张丽娟, 赵艳霞, 等. 黄淮海地区夏玉米干旱风险评估与区划[J]. 中国生态农业学报, 2015, 25(1): 110–118
YANG P, ZHANG L J, ZHAO Y X, et al. Risk assessment and zoning of drought for summer maize in the Huang-Huai-Hai Region[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 25(1): 110–118

[29] 陈家金, 王加义, 黄川容, 等. 福建省引种台湾青枣的寒冻害风险分析与区划[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(12): 1537–1544
CHEN J J, WANG J Y, HUANG C R, et al. Risk analysis and regionalization of cold and freezing damage to Taiwan-based Zizyphus mauritiana in Fujian Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12): 1537–1544

[30] 张宗军. 基于综合风险区划的农作物产量指数保险费率厘定——以大豆为例[J]. 东北农业大学学报: 社会科学版, 2016, 14(4): 1–6

ZHANG Z J. Determination of insurance premium rate of crop yield index based on comprehensive risk zoning: Taking soybean as an example[J]. Journal of Northeast Agricultural University: Social Science Edition, 2016, 14(4): 1–6

[31] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 224–250
XU J H. Mathematic Methods for Modern Geography[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 224–250

[32] 何超, 李萌, 李婷婷, 等. 多目标综合评价中四种确定权重方法的比较与分析[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2016, 38(2): 172–178
HE C, LI M, LI T T, et al. Comparison and analysis of the four methods of determining weights in multi-objective comprehensive evaluation[J]. Journal of Hubei University: Natural Science, 2016, 38(2): 172–178

[33] 陈家金, 王加义, 黄川容, 等. 基于 AHP-EWM 方法的福建省农业气象灾害风险区划[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(3): 58–66
CHEN J J, WANG J Y, HUANG C R, et al. Risk division of agro-meteorological disasters in Fujian Province based on AHP-EWM method[J]. Journal of Natural Disasters, 2016, 25(3): 58–66

[34] 曹雯, 成林, 杨太明, 等. 河南省冬小麦拔节-抽穗期干旱天气指数保险研究[J]. 气象, 2019, 45(2): 274–281
CAO W, CHENG L, YANG T M, et al. Study on weather index insurance of drought damage at jointing-heading stage of winter wheat in Henan Province[J]. Meteorological Monthly, 2019, 45(2): 274–281

[35] 吴荣军, 史继清, 关福来, 等. 基于风险区划的农业干旱保险费率厘定——以河北省冬麦区为例[J]. 气象, 2013, 39(12): 1649–1655
WU R J, SHI J Q, GUAN F L, et al. Agricultural drought premium ratemaking based on risk zoning for winter wheat region in Hebei Province[J]. Meteorological Monthly, 2013, 39(12): 1649–1655

[36] 刘凯文, 刘可群, 邓爱娟, 等. 基于开花期地域差异的中稻高温热害天气指数保险设计[J]. 中国农业气象, 2017, 38(10): 679–688
LIU K W, LIU K Q, DENG A J, et al. Weather index insurance design of middle-season rice heat damage based on regional difference of flowering stage[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2017, 38(10): 679–688

[37] 娄伟平, 吉宗伟, 邱新法, 等. 茶叶霜冻气象指数保险设计[J]. 自然资源学报, 2011, 26(12): 2050–2060
LOU W P, JI Z W, QIU X F, et al. Design of weather index insurance contact for tea frost[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(12): 2050–2060

[38] 张京红, 黄海静, 王春乙, 等. 基于产量风险的海南荔枝寒害保险费率研究[J]. 热带气象学报, 2015, 31(6): 862–868
ZHANG J H, HUANG H J, WANG C Y, et al. Study on insurance rates of litchi chilling injury based on production risk in Hainan[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2015, 31(6): 862–868