

陈雅子, 申双和. 江苏省水稻高温热害保险的天气指数研制[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 461–464.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.133

江苏省水稻高温热害保险的天气指数研制

陈雅子¹, 申双和²

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044; 2. 南京信息工程大学气象灾害预警预报与评估协同创新中心, 江苏南京 210044)

摘要:利用江苏省近 50 年来的气象数据及水稻关键生育期数据, 结合实际情况, 确定夏季水稻高温热害指标, 通过对产量数据的分析, 得到产量的时空分布特点, 并运用 Copula 函数计算可知夏季高温与水稻产量具有显著的相关性。根据风险指标 f 将全省划分为 2 个风险区域, 在受灾风险较高的 I 区和较低的 II 区免赔额分别设为 10% 和 5%, 在此基础上计算出 2 个区域的保险费率。对比发现, 保险费率的分布与风险指标的分布相似, 表明天气指数保险的设计有效地减小基差风险, 具有可行性。

关键词:水稻; 高温热害; 天气指数保险; Copula 函数; 风险指标; 基差风险

中图分类号: F840.66 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0461-04

近几十年来, 气候变化尤其是全球气候变暖对自然环境、农业生产和社会经济等方面造成了巨大的影响, 高温热害也呈强度增大、频次增多的趋势, 对水稻生长发育及产量的影响得到人们的关注^[1]。水稻是江苏省主要粮食作物之一^[2-3], 以一季稻种植为主, 通常在 5 月下旬播种, 10 月收获, 生长期长, 易遭受高温、洪涝、病虫害等影响^[4-5], 其中以高温热害危害较重。由于夏季高温与水稻的高温敏感期经常相遇, 高温胁迫的概率高, 高温热害风险大, 也是影响整个长江流域及其以南地区水稻生产的主要气象灾害之一^[6]。近 30 年来, 江苏省整体平均气温呈上升趋势, 20 世纪 90 年代后变暖趋势更加显著^[7]。夏季 7、8 月受副热带高压控制, 常出现异常高温天气, 此时全省大部分地区水稻正处在高温敏感期, 即孕穗、抽穗扬花期^[8]。高温热害会导致水稻产量降低, 不稳定性增大^[9]。以 2013 年夏天为例, 我国南方大范围地区出现超过 10 d 38℃ 以上高温, 而江苏省许多地区则出现约 45 d 的持续高温天气, 对水稻生产带来严重威胁。

针对高温对水稻产量的影响, 前人提出了多种热害指标, 一般认为水稻花期的致害温度为 35℃, 因此提出日平均气温 30℃ 且日最高气温 35℃ 作为自然高温的致害指标^[10-12]。水稻在孕穗—抽穗扬花期内对温度最敏感, 日平均温度大于 30℃ 对开花结实有明显伤害, 日最高温度连续 3 d 大于 35℃ 为抽穗开花期的热害指标。有关研究表明, 若水稻开花遇到连续 7 d 大于 35℃ 的高温, 空壳率升高 10 倍^[13], 王前和等将抽穗开花期日最高气温持续 5 d 以上 37℃ 作为造成大田空壳率发生的热害指标^[14]。

天气指数保险作为新兴的农业保险, 具有分散农业气象

灾害风险, 提高作物种植的防灾、减灾和灾后恢复能力, 减少自然风险对农业生产的负面影响的特点, 因此应用天气指数保险在当前背景下具有重要意义。天气指数保险的模式是在既定区域内, 以既定气象事件或变量为基础, 以指定的农业气象指标作为触发机制, 若超出制定值, 保险公司即对农户负责赔偿, 这种模式有效克服了信息不对称导致的逆选择和道德风险的问题, 降低了理赔和定损成本, 在全球气候变暖的背景下, 各种气象灾害呈现多发、频发、重发的态势, 天气指数保险存在全球新兴气象风险和再保险市场, 天气指数具有较强的风险控制能力, 可与其他金融服务捆绑组合, 构筑多元化农业风险控制体系^[15-16]。国外自 20 世纪 90 年代开始研究天气指数, 目前其产品已得到广泛应用。加拿大、印度、美国 and 墨西哥等国家分别将天气指数保险应用于玉米、花生、烟草种植和制冷取暖等行业。同时, 美国、墨西哥、南非和阿根廷采用气象指数保险来规避高温热害、低温冻害、暴雨等极端天气事件给农业、畜牧业、种植业、金融业等造成的风险^[17-19]。我国近些年关于天气指数农业保险的研究中, 既有粮食作物, 又有多种经济作物。娄伟平等设计了浙江水稻农业气象指数, 降低暴雨对水稻产量及农民收入的影响^[20-22]; 娄伟平等设计了浙江柑橘天气指数, 以反映低温冻害和高温热害对柑橘产量的影响, 为保险费率的厘定提供依据^[23-26]。目前, 对水稻高温热害天气指数保险的研究鲜有报道。本研究采用 Copula 函数来度量江苏省夏季高温与水稻产量之间的关系, 在风险区划的基础上, 实现保险费率的厘定。

1 资料及方法

1.1 研究资料

本研究使用的资料包括气象资料和产量资料。气象资料为江苏省 57 个气象台站的观测数据, 主要包括逐日平均气温、日最高气温、相对湿度等。产量资料包括该 57 个县(市、区)夏季水稻产量和主要生育期起止时间。资料年限均为 1961—2010 年。

1.2 研究方法 with 模型

本研究采用 Copula 函数来度量近 50 年来江苏省高温热

收稿日期: 2015-08-23

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(编号: GYHY201506018)。

作者简介: 陈雅子(1991—), 女, 江苏扬州人, 硕士研究生, 研究方向为农业气象灾害风险区划和天气指数保险。E-mail: chenyaizi0618@163.com。

通信作者: 申双和, 博士, 教授, 研究方向为农业气象与生态环境气象。E-mail: yqzhr@nuist.edu.cn。

害与水稻产量之间的关系,对采用的 2 种 Copula 函数进行相关性计算并进行显著性检验,这为天气指数保险中费率的厘定提供了基础。

1.2.1 Copula 函数及变量相关性度量 常见的 Copula 联合函数的构造有椭圆型、二次型和 Archimedean 型 3 种,本研究采用构造简单、使用方便的 Archimedean Copula^[27-28]。

设 x, y 为连续的二维随机变量,则存在唯一的 Copula 函数 C_θ ,使得

$$F(x, y) = C_\theta(u, v), \forall x, y. \quad (1)$$

式中: u, v 分别是变量 x, y 的边缘分布函数, $F(x, y)$ 表示边缘分布为 u 和 v 的联合分布函数,参数 C_θ 用于度量 2 个变量之间的关系。Copula 函数是用来描述变量之间相关性的函数,因此在用于建立模型前需度量变量间的相关关系。度量变量间相关性的方法有多种,如 Kendall 秩相关系数 τ 、Gini 关联系数 γ 、Spearman 秩相关系数 ρ 等。本研究采用 Kendall 秩相关系数 τ ,既可以用来描述变量间的线性相关关系,也适用于非线性相关关系,其计算如下:

$$\tau = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \text{sign}(x_i - x_j)(y_i - y_j). \quad (2)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, n$ 为随机变量 (x, y) 的 n 个样本, $\text{sign}(x)$ 为符号函数,即:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}. \quad (3)$$

1.2.2 模型参数估计及拟合检验 常用的 Archimedean Copula 有以下几种类型:Gumbel - Hougaard Copula、Clayton Copula、Frank Copula 等。本研究采用相关性指标法求解 Gumbel - Hougaard 与 Clayton 等 2 种 Copula 函数的参数(表 1)。

表 1 Copula 函数形式及参数估计公式

Copula 函数	$C(u, v)$	τ 和 θ
Gumbel - Hougaard	$C(u, v) = \exp \{ - [(-\ln u)^\theta + (-\ln v)^\theta]^{-1/\theta} \}$	$\tau = 1 - \frac{1}{\theta}$
Clayton	$C(u, v) = (u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{-1/\theta}$	$\tau = \frac{\theta}{2 + \theta}$

为检验模型能否很好地模拟变量的实际分布,须对其进行拟合检验。本研究采用 Kolmogorov - Smirnov (K - S) 法。统计变量 D_n 表示经验分布函数与理论分布函数样本点上偏差的最大值,计算如下:

$$D_n = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \left| F(x_i, y_i) - \frac{m(i) - 1}{n} \right|, \left| F(x_i, y_i) - \frac{m(i)}{n} \right| \right\}. \quad (4)$$

式中: $F(x, y)$ 是 x, y 的联合分布, $m(i)$ 是样本中满足条件 $x \leq x_i, y \leq y_i$ 的样本个数。若 D_n 表示置信水平 α 下的 D 的临界值,则当 $D_n < D_\alpha$ 时,接受原假设,即认为 2 个独立样本的分布无显著差异。

2 结果与分析

2.1 风险区划

气象要素存在明显的空间差异,江苏省各个地区水稻遭受高温热害的强度、持续时间等存在明显差异,因此应用天气指数保险的前提是要进行风险区划。根据省内水稻的历史天

气及受灾状况,采用风险指标 f 进行风险区划^[29],计算如下:

$$f = S \times P \times (1 + V). \quad (5)$$

式中: f 表示风险指标, S 表示损失量, P 表示风险出现概率, V 表示产量变异系数。据前人的研究,实际产量可分离成气象产量和趋势产量,若 y 表示实际产量, y_t 表示趋势产量, y_w 表示气象产量,则相对气象产量则表示为:

$$y_w' = \frac{y_w}{y} = \frac{y - y_t}{y} \times 100\%. \quad (6)$$

当相对气象产量为负值时,表示当时的气象条件不利于作物的生长,造成作物减产,则可用其绝对值表示该年减产率。趋势产量的计算,采用五点平滑法。

根据前人对水稻减产的研究,可将水稻减产率分为 5 个等级:Ⅰ, $S \leq 5\%$; Ⅱ, $5\% < S \leq 15\%$; Ⅲ, $15\% < S \leq 25\%$; Ⅳ, $25\% < S \leq 35\%$; Ⅴ, $35\% < S \leq 45\%$ 。水稻产量自身存在一定的波动,此波动不一定由天气条件造成,可能是由其他人为等因素造成。因此,当减产率小于 5% 时,产量没有受到气象灾害的影响;仅当减产率大于 5% 时,该年作物出现减产。损失量 S 用平均减产率表示,定义为受灾年减产率的平均值 ($S_i > 5\%$)。

S 可用来分析灾害强度分布的地域差异, S 值越大,表示该地区历史上遭受灾害的强度越大,反之越小。风险概率 P 用多年高温热害的受灾频率表示。 P 值越大,表示该地区遭受气象灾害的风险越大。产量变异系数 V 计算如下:

$$V = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum (\bar{Y} - \hat{Y})^2 \right)}. \quad (7)$$

式中: n 为序列年数, Y_i 为历年水稻实际产量, \hat{Y} 为 5 年滑动平均计算所得趋势产量, \bar{Y} 为多年平均产量。 V 值越大,表明该地区产量波动越大,可间接反映出该地区受气象灾害影响的频率和强度越大,反之越小。

江苏省平均减产率 S 、风险概率 P 、产量变异系数 V 及风险指标 f 分布如图 1 所示。由图 1 可知,4 个变量的分布在一定程度上均呈沿西北—东南轴线走向的趋势,轴线附近变量值较大,向两侧递减。损失量 Q 在江苏省启东市存在极大值中心,超过 40%;其后依次在丰县、邳州市、宝应县、海安县、海门市存在次大值中心,超过 15%,全省其他地区 Q 值较小,分布较为均匀,无显著差异。风险概率 P 的极大值中心位于海门市、宝应县,均达到 30%,次高值中心位于泗阳县、如皋市,达到 26%;江苏东北及西南地区出现频率较低。变异系数 V 位于宝应县,最高值超过 30%,在启东市、泗洪县存在 2 个次高值中心,达到 20%,其余地区分布较均匀,但仍存在显著差异。根据图 1 - d 可知,风险指标 f 的分布比损失量、风险概率和产量变异系数的分布更均匀,仅存在丰县、泗洪县、泗阳县、金湖县、宝应县、高邮市、淮安市、泰兴市、靖江市、启东市、海门市和太仓市等 12 个风险指标较高的区域,其中最大值位于启东市,达到 2.5%,因此将江苏省划分为 2 个风险区域,即风险Ⅰ区,包括上述 12 个风险指标较高的区域,剩余地区划分为风险Ⅱ区。

产量受作物在不同的生长发育期内不同灾害共同影响,对于某些年份,水稻的减产率可能是由病虫害等其他灾害造成的。以 2006 年为例,入夏以来,由于雷阵雨天气、台风多,

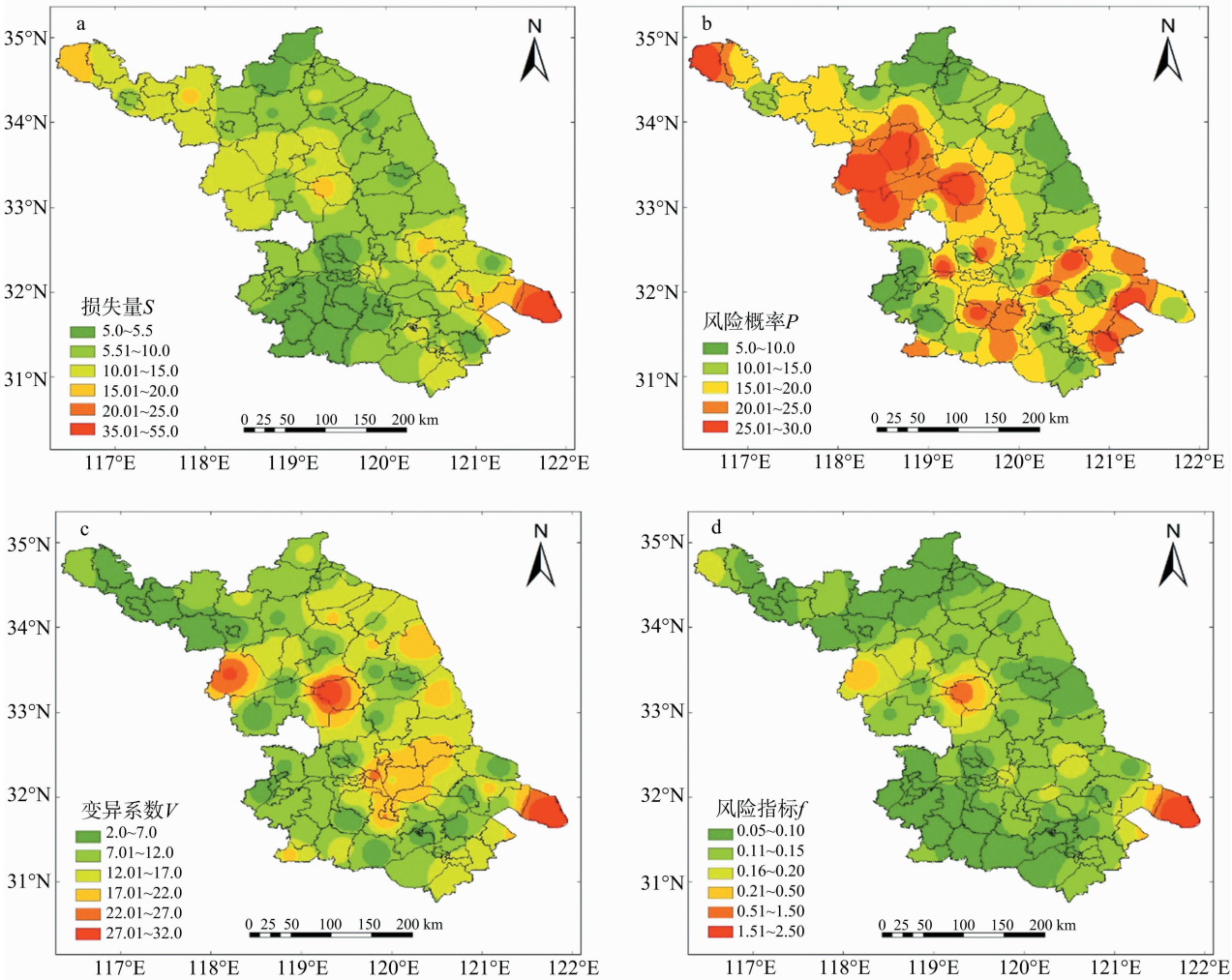


图1 江苏省水稻高温热害风险区划分布

有利于水稻病害发生发展和害虫迁入繁殖,江苏省水稻生长后期病虫害防治形势严峻,病虫害发生种类多,病虫发生基数大。当时水稻已进入拔节孕穗期,是水稻对多种病虫最敏感时期。但是,对最终产量分析发现,用产量差异 D 表示 2006 年的水稻产量与 2005 年产量的差值,在统计的全省 75 个县(市、区)中,仅滨海县、淮安市、丰县、沛县和启东市 5 个地区的 D 值为负,其他地区均为正,表明全省绝大部分县(市、区)的水稻产量仍呈增长趋势,严重的病虫害未对水稻产量造成显著影响。原因可能是全省范围内及时发布了病虫害预警,并采取了治理措施,从而保证了全省水稻的最终产量。因此,可以认为夏季高温热害是威胁江苏省水稻产量的主要灾害。

2.2 水稻高温热害的天气指数设计

根据前人的研究,本研究采用日平均温度大于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,且日最高气温高于 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温日数作为高温指标 I 。根据江苏省 8 个代表台站水稻孕穗期和抽穗扬花期的起止时间,统计各台站在相应生育期内的高温指标,并由表 1 统计出 8 个台站在对应生育期内的高温指标与减产率的 Copula 参数并进行显著性检验,结果如表 2 所示。对于 Gumbel - Hougaard 函数,除徐州市外,剩余 7 个台站的 θ 值均大于 1,由此可见,高温热害与水稻减产率具有良好的相关关系,在此基础上进行显著性检验,8 个台站均满足 $D \leq D_a$,因此采用的高温热害

表 2 Copula 参数的计算及检验

台站名	τ	θ		D	D_a
		Clayton	Gumbel - Hougaard		
常州市	0.175 8	0.426 7	1.213 3	0.528 6	0.616 1
溧阳市	0.012 8	0.026 0	1.013 0	0.485 7	0.639 4
南通市	0.051 3	0.108 1	1.054 1	0.446 2	0.639 4
东台市	0.549 5	0.439 0	1.219 5	0.557 1	0.616 1
盱眙县	0.305 6	0.880 0	1.440 0	0.777 8	0.777 8
射阳县	0.033 0	0.068 2	1.034 1	0.485 7	0.616 1
徐州市	-0.054 5	-0.103 4	0.948 3	0.448 6	0.727 3
赣榆区	0.127 3	0.291 7	1.145 8	0.518 2	0.727 3

指标 I 能合适地度量高温热害,适用于天气指数保险的设计。

2.3 保险费率厘定

纯保险费率是天气指数保险中关键的要素之一。本研究中纯保险费率的厘定采用较简单、最常用的经验费率法,通常以农作物的平均损失率作为农作物保险的纯保险费率。多年平均减产率具有较好的稳定性,具有参考价值,因此得到纯保险费率。

$$R = S(1 + \Phi).$$
 (8)

式中: Φ 为稳定系数,用来反映多年平均减产率的离散程度。

$$\Phi = \frac{\sigma}{S} \times 100\%, \text{ 其中 } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (S_i - S)^2}.$$
 (9)

根据前人的研究,若对全省设置单一免赔额,易造成较大的基差风险,保险赔付的原则即为风险越大,保险费率越高,因此本研究对不同的风险区域采用不同费率。对江苏省风险Ⅰ区而言,风险指标 f 值较大,夏季水稻出现高温热害的风险大,因此设定该区的免赔额大,为10%;对风险Ⅱ区,设置免赔额为5%。即对2种风险区域,仅当产量损失率大于10%或5%时,才进行赔付。计算得到江苏省各县(市、区)保险费率,结果如图2所示。对比图1-d与图2可知,保险费率的分布与风险指标 f 的分布相似,认为对全省施行差别费率纯保险费率能很好地代表风险指标,有效减小基差风险。

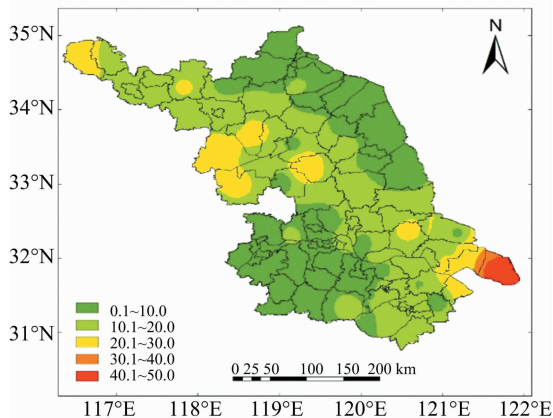


图2 江苏省水稻高温热害保险费率分布

3 结论与讨论

本研究采用 Copula 函数来度量夏季高温与水稻产量之间的非线性相关关系,避免采用简单的线性相关系数带来的基差风险较高的问题,并成功检验了水稻高温热害指标的合理性,验证了夏季高温热害指标与水稻减产之间的相关关系,为天气指数保险的设计提供基础。出于减小基差风险的原则,在厘定保险费率之前首先对江苏省进行风险区划,将全省分为2个区域,并在各区域内设置不同的免赔额,计算出最终的保险费率。保险费率的分布与风险指标的分布相似,可见本研究设计的天气指数保险具有可行性。本设计目前仅处于探索阶段,仍存在许多问题有待解决:第一,江苏省内虽以平原为主,但江南地区仍有许多山地存在,且有长江、淮河2条主要河流经过,造成各地小气候差异显著,采用相同的天气指数可能会带来误差,因此天气指数保险的设计不能完全脱离实地考察,须在勘察定损的基础上不断完善;第二,天气指数设计时采用的气象数据,其观测地点与参保地块之间存在一定的距离,两者之间的环境差异也可能产生误差;第三,存在气候周期如厄尔尼诺、微观气候等系统性风险,投保周期会影响其施行效果。

参考文献:

- [1] 秦大河. 影响我国的主要气象灾害及其发展态势[J]. 中国应急救援, 2008(6): 4-6.
- [2] 艾玉春, 董摇月, 汪吉东, 等. 水稻产量主要养分限制因子及养分运筹应对技术研究[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 558-563.
- [3] 刘红江, 蒋银涛, 陈留根, 等. 不同播栽方式对水稻根系生长及产量形成的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 310-316.
- [4] 宋伟丰, 陶波. 不同除草剂对水稻旱播田杂草的防效[J]. 杂草科学, 2015, 33(1): 65-66.
- [5] 左娇, 王雪君, 郭运玲, 等. 南繁区转基因水稻田杂草种类调查[J]. 杂草科学, 2014, 32(4): 40-44.
- [6] 田小海, 松井勤, 李守华, 等. 水稻花期高温胁迫研究进展与展望[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2632-2636.
- [7] 朱珠. 江苏省水稻产量对气候变化的响应特征[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2013.
- [8] 任义方, 高苹, 王春乙. 江苏高温热害对水稻的影响及成因分析[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(5): 101-107.
- [9] 包云轩, 刘维, 高苹, 等. 气候变暖背景下江苏省水稻热害发生规律及其对产量的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 289-296.
- [10] 柳军, 岳伟, 邓斌. 江淮地区一季稻高温热害指标及其特征研究[J]. 农业灾害研究, 2011(1): 63-66.
- [11] 嘉兴地区农科所调研组. 高温对早稻开花结实的影响和预防措施[J]. 浙江农业科学, 1978(2): 21-25.
- [12] 谭中和, 蓝泰源, 任昌福, 等. 杂交水稻开花期高温危害及其对策的研究[J]. 作物学报, 1985, 11(2): 103-108.
- [13] 陶炳炎, 汤志成, 彭钊安, 等. 江苏杂交水稻气候分析和区划[J]. 南京气象学院学报, 1981(1): 65-73.
- [14] 王前和, 潘俊辉, 李晏斌, 等. 武汉地区中稻大面积空壳形成的原因及防止途径[J]. 湖北农业科学, 2004(1): 27-30.
- [15] 曹前进. 农业保险创新是解决农业保险问题的出路[J]. 财经科学, 2005(3): 155-160.
- [16] 杨天明, 刘布春, 孙喜波, 等. 安徽省冬小麦种植保险天气指数设计与应用[J]. 中国农业气象, 2013(2): 229-235.
- [17] Barnett B J, Mahul O. Weather index insurance for agriculture and rural areas in lower-income countries[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2007, 89(5): 1241-1247.
- [18] 陈盛伟. 农业气象指数保险在发展中国家中的应用及在我国的探索[J]. 保险研究, 2010(3): 82-88.
- [19] Skees J R. Developing rainfall-based index insurance in Morocco[M]. World Bank Publications, 2001.
- [20] 姜伟平, 吴利红, 姚益平. 水稻暴雨灾害保险气象理赔指数设计[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3): 632-639.
- [21] 吴利红, 姜伟平, 姚益平, 等. 水稻农业气象指数保险产品——以浙江省为例[J]. 中国农业科学, 2010, 43(23): 4942-4950.
- [22] 吴利红, 毛裕定, 苗长明, 等. 浙江省晚稻生产的农业气象灾害风险分布[J]. 中国农业气象, 2007, 28(2): 217-220, 230.
- [23] 姜伟平, 吴利红, 邱新法, 等. 柑橘农业气象灾害风险评估及农业保险产品的设计[J]. 自然资源学报, 2009, 24(6): 1030-1040.
- [24] 姜伟平, 吴利红, 倪沪平, 等. 柑橘冻害保险气象理赔指数设计[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1339-1347.
- [25] 姜伟平, 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.
- [26] 毛裕定, 吴利红, 苗长明, 等. 浙江省柑橘冻害气象指数保险参考设计[J]. 中国农业气象, 2007, 28(2): 226-230.
- [27] 郭生练, 闫宝伟, 肖义, 等. Copula 函数在多变量水文分析计算中的应用及研究进展[J]. 水文, 2008, 28(3): 1-7.
- [28] 储小俊, 曹杰. 基于 Copula 方法的天气指数保险产品——以南通棉花降水指数保险为例[J]. 生态经济, 2014, 30(10): 34-37.
- [29] 扈海波, 董鹏捷, 潘进军. 基于灾损评估的北京地区冰雹灾害风险区划[J]. 应用气象学报, 2011, 22(5): 612-620.