

张桂珍,朱耀福,罗晓亮,2023.建德市茶叶气象灾害风险区划[J].气象与减灾研究,46(2):156-161.

Zhang Guizheng, Zhu Yaofu, Luo Xiaoliang, 2023. Risk zoning of tea meteorological disasters in Jiande City[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 46(2): 156-161.

建德地区茶叶气象灾害风险区划

张桂珍¹, 朱耀福², 罗晓亮¹

1. 建德市气象局, 浙江 杭州 311600

2. 杭州市气象局, 浙江 杭州 310000

摘要: 基于 2010—2022 年浙江省建德市区域自动气象站的逐日数据和茶叶种植数据, 将早春霜冻、夏季高温热害和冬季冻害作为评价指标, 利用层次分析和加权综合评价方法, 构建茶叶气象灾害综合风险评估模型。将建德市茶叶气象灾害风险划分为高、中、低 3 个风险等级。结果表明: 建德市茶叶气象灾害综合高风险区主要集中在乾潭、杨村桥、下涯镇西北部和乾潭、三都镇东部区域。中风险区主要集中在莲花、乾潭大部、钦堂中南部、下涯、三都镇中部、大洋镇、梅城镇东部、李家西南部和大同镇北部。低风险区主要集中在杨村桥镇中南部、梅城镇中西部、乾潭镇中部和建德市中南部区域。

关键词: 茶叶气象灾害, 风险, 区划, 评估模型

中图分类号: P429

文献标识码: B

文章编号: 1007-9033(2023)02-0156-06

DOI: 10.12013/qxyjzjy2023-022

Risk Zoning of Tea Meteorological Disasters in Jiande City

Zhang Guizheng¹, Zhu Yaofu², Luo Xiaoliang¹

1. Jiande Meteorological Bureau, Hangzhou 311600, China

2. Hangzhou Meteorological Bureau, Hangzhou 31000, China

Abstract: Based on the daily meteorological data and agricultural data statistics from the regional automatic meteorological station in Jiande City from 2010 to 2022, the early spring frost, summer high temperature heat damage, and winter frost damage were considered as evaluation indicators according to the mechanism of natural disaster risk formation, and a comprehensive risk assessment model for tea meteorological disasters was constructed by using Analytic Hierarchy Process and Weighted Comprehensive Evaluation methods. The risk of tea meteorological disasters in Jiande area was divided into three levels: high risk, medium risk, and low risk. The results indicated that the comprehensive high-risk areas of tea meteorological disasters in Jiande area were mainly concentrated in the northwest of Qiantan, Yangcunqiao, Xiaya Town, and the eastern areas of Qiantan and Sandu Town. The medium risk areas included Lianhua, most of Qiantan, central and southern Qintang, Xiaya, central Sandu Town, Dayang Town, eastern Meicheng, southwestern Lijia, and northern Datong Town. Low risk areas were mainly distributed over the central and southern parts of Yangcunqiao Town, the central and western parts of Meicheng Town, the central part of Qiantan Town, and the central and southern township areas of Jiande City.

Key words: tea meteorological disasters; risk; zoning; evaluation model

0 引言

茶叶作为建德市名优农产品, 具有较大的种植

规模, 2022 年建德市茶树种植面积 6.3×10^4 hm², 产值效益可观。而气象灾害是制约茶叶安全生产的重要因素之一。温度、湿度是影响茶树生长和品质

收稿日期: 2023-01-15; 修订日期: 2023-03-07.

基金项目: 杭州市农业与社会发展科研引导项目(编号: 20211231Y203).

作者简介: 张桂珍, 硕士, 工程师, 主要从事应用气象研究, E-mail: 2783234337@qq.com.

的主要气象因子(张璠和肖斌,2018;唐俊贤等,2021)。低温霜冻会使茶树的顶芽受损或停止生长,减产降质(李仁忠等,2016;陶瑶等,2019)。高温会使土壤、茶树的水分流失速度加快,芽叶生长受到抑制(林江,2017)。这些高、低温气象灾害严重影响茶叶的品质和产量。如,2010年3月上旬末的早春霜冻使浙江省60%的茶叶受损,直接经济损失高达17亿元(金志凤等,2011)。2013年7—8月,浙江大部分地区出现了持续晴热高温天气,茶园遭受高温热害损失达17.2亿元(罗列万,2013)。国内学者对中国部分地区的气象灾害风险评估及区划研究取得了一定进展(王春乙等,2015)。金志凤等(2014)对浙江省茶叶开展了气象灾害风险评价;李柏贞等(2015)研究了江南茶叶气候灾害风险区划,鹿翔等(2022)分析了金华地区茶树种植气象灾害特征。

文中基于2010—2022年建德市逐日气象观测和茶叶种植数据,考虑早春霜冻、夏季热害和冬季冻害对茶叶生产的影响,建立茶叶气象灾害风险评估模型,制定茶叶气象灾害风险区划,以期为防御灾害风险和茶叶种植生产提供科学参考依据。

1 数据

使用2010—2022年建德市国家气象站和52个区域气象站观测数据,气象要素包括最高温度、最低气温、日平均气温和日平均相对湿度。高程数据来自中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站,分辨率为30 m。2010—2022年建德市茶叶种植面积及产量数据来源于浙江省统计年鉴。2022年建德市茶叶种植面积 $6.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,各乡镇茶叶种植面积分布如图1所示。

2 方法

自然灾害风险的主要影响因素包括致灾因子危险性(H)、孕灾环境暴露性(E)、承灾体脆弱性(V)和防灾减灾能力(张继权和李宁,2007)。致灾因子主要考虑茶叶早春霜冻、夏季高温热害和冬季冻害

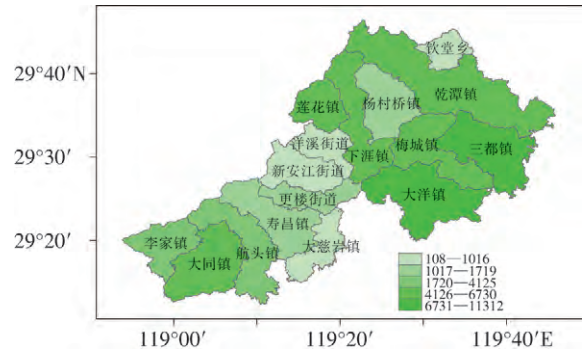


图1 2022年建德市茶叶种植面积(单位:hm²)

Fig. 1 Tea planting area of Jiande City in 2022 (unit: hm²)

的年平均发生天数(A_1);孕灾环境主要考虑承灾体海拔高程(A_2)和坡向(A_3);承灾体脆弱性主要考虑茶叶种植面积(A_4);防灾减灾能力主要考虑农民人均收入(A_5)。

2.1 茶叶主要气象灾害指标的确定

影响浙江茶叶的主要气象灾害包括早春霜冻、夏季热害和冬季冻害,农业气象灾害指标参考金志凤等(2014)的定义(表1)。

2.2 气象灾害影响因子的标准化处理

为消除气象灾害影响因子的不同量纲对评价指标的影响,对所有的影响因子进行极差标准化处理:

$$B_i = (X_i - X_{i_{\min}}) / (X_{i_{\max}} - X_{i_{\min}}) \quad (1)$$

式中, B_i 为第*i*项影响因子的标准化值, $0 \leq B_i \leq 1$; X_i 为第*i*项影响因子的数值; $X_{i_{\max}}$ 和 $X_{i_{\min}}$ 分别为第*i*项影响因子的最大值和最小值。

2.3 茶叶气象灾害风险指数模型

基于自然灾害风险表达式(张继权和李宁,2007;章国材,2010),综合考虑致灾因子危险性、孕灾环境暴露性、承灾体脆弱性因素和防灾减灾能力,构建茶叶主要气象灾害风险指数模型:

$$I_{DR} = (H \cdot W_H)(E \cdot W_E)(V \cdot W_V)[a + (1-a)(1-R)] \quad (2)$$

式中, I_{DR} 为主要气象灾害风险指数; H 为致灾因子的危险性指数; E 为孕灾外部环境暴露性指数,

表1 茶叶主要气象灾害指标

Table 1 Main meteorological disaster indexes of tea

气象灾害	农业气象灾害指标	指标说明
早春霜冻	$T_{\min 3-4} \leq 4 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\min 3-4}$ 为3—4月日最低气温
夏季热害	$T_{\text{avg}7-8} \geq 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 和 $T_{\text{max}7-8} \geq 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ 和 $R_{H7-8} \leq 60\%$, 且连续3 d以上	$T_{\text{avg}7-8}$ 为7—8月日平均气温 $T_{\text{max}7-8}$ 为7—8月日最高气温 R_{H7-8} 为7—8月日平均相对湿度
冬季冻害	$T_{\min 12-2} \leq -5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\min 12-2}$ 为上年12月至2月日最低气温

$E=A_2 \cdot A_3$, A_2 为海拔高程量化指数, A_3 为坡向指数; V 为承灾体脆弱性指数; W_H 、 W_E 、 W_V 分别为各自然灾害风险影响因子对应权重, 影响因子权重取值(表 2)参考金志凤等(2014)在浙江省茶叶农业气象灾害风险评价中的研究。 a 为灾害不可防御部分的百分率, 参考金志凤等(2014)的研究, 此处 $a=80\%$; R 为防灾减灾能力指数。 防御完全得当, $R=1$, 能有效减少 $H \cdot E \cdot V \cdot (1-a)$ 对应部分的风险, 从而降低茶叶气象灾害风险; 假如不采取任何防御措施, $R=0$, 茶叶气象灾害损失为 $H \cdot E \cdot V$ 。

表 2 茶叶气象灾害(综合)风险评价因子权重
Table 2 Weight of tea meteorological (comprehensive) disaster risk assessment factors

气象灾害	W_H	W_E	W_V	综合权重
早春霜冻	0.62	0.23	0.15	0.58
夏季热害	0.60	0.25	0.15	0.11
冬季冻害	0.60	0.22	0.18	0.31

在气象灾害研究中, 致灾因子是指可以引发灾害发生的气象事件, 即气象因子异常状况的危险性程度(徐雅, 2014), 其考量的因素主要有灾害的发生频率和强度, 一般灾害发生的强度越大, 频次越高, 灾害所带来的损失越严重, 灾害风险越大。 孕灾环境暴露性是指暴露于灾害风险下的承灾体数量, 承灾体暴露性越大, 所遭受自然灾害损失的可能性越大(章国材, 2010)。 不同的气象灾害对茶叶的影响不同, 比如早春霜冻和冬季冻害, 坡向朝北, 海拔越高, 茶树暴露性越大, 风险性越大。 而夏季热害, 坡向朝北, 海拔越高, 茶树暴露性越小, 其风险性越小。 即不同坡向茶叶种植受气象灾害影响不同, 因此对灾害风险的坡向指数(A_3)进行分类赋值(表 3)。

表 3 茶叶气象灾害坡向指数(A_3)
Table 3 Aspect index of tea meteorological disasters (A_3)

坡向/(°)	早春霜冻	冬季冻害	夏季热害
0—45	1.0	1.0	0.7
45—90	0.8	0.8	0.7
90—180	0.6	0.6	1.0
180—225	0.6	0.6	1.0
225—270	0.8	0.8	1.0
270—360	1.0	1.0	0.7

承灾体脆弱性指数(V)是指茶叶承灾体遭受气象灾害影响的容易程度。 一般来说茶树种植的规模化程度越高, 即种植的面积越大, 其脆弱性指数越高, 文中采用等差赋值法依据茶树的种植面积进行承灾体脆弱性指数赋值(表 4)。

表 4 承灾体脆弱性指数(V)

Table 4 Vulnerability index (V) of disaster bearing body

茶叶种植面积/ hm^2	V
<2 400	0.2
2 400—4 800	0.4
4 800—7 200	0.6
7 200—9 600	0.8
9 600—12 000	1.0

2.4 茶叶气象灾害综合风险评估模型

基于各气象灾害对茶叶的影响程度, 建立气象灾害综合风险评估模型:

$$I_{\text{DRC}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{DR}_i} \cdot W_i \quad (3)$$

式中, I_{DRC} 为茶叶气象灾害综合风险评估指标; n 为评价因子(分别为冬季冻害、早春霜冻和夏季热害)的个数, $n=3$; I_{DR_i} 为第 i 项气象灾害风险指数; W_i 为第 i 项气象灾害在风险影响中对应的综合权重系数, 其满足 $W_i > 0$, $\sum_{i=1}^n W_i = 1$, 综合权重系数取值(表 2)参考金志凤等(2014)的研究。

3 茶叶气象灾害频次分析

3.1 早春霜冻

分析 2010—2022 年建德市早春霜冻年平均发生日数空间分布(图 2)发现, 早春霜冻年平均发生日数为 2.1—14.1 d, 发生日数最多的为乾潭镇大珠村 14.1 d, 其次为狮峰村 12.2 d。 年平均发生日数最多的 2 个大值区分别位于北部乡镇乾潭镇与杨村桥镇的西北部、三都镇与乾潭镇东部区域, 2 个小值区分别位于梅城镇姜山村和城区新安江附近。

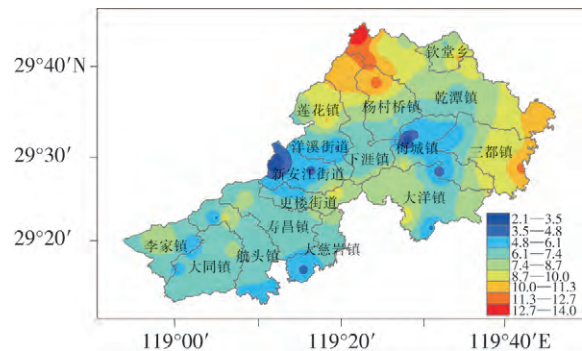


图 2 2010—2022 年建德市早春霜冻年平均发生日数(单位: d)空间分布

Fig. 2 Average annual occurrence days (unit: day) of early spring frost in Jiande City from 2010 to 2022

3.2 夏季热害

分析 2010—2022 年建德市夏季热害日数时间序列(图略)发现,仅 2013 年 8 月和 2022 年 8 月建德市发生了高频次的热害现象,其他年份夏季发生热害的现象很少。

3.3 冬季冻害

分析 2010—2022 年建德市冬季冻害年平均发生日数(图 3)发现,冬季冻害年平均发生日数为 0.5—7.9 d,发生天数最多的为乾潭镇大珠村 7.9 d,其次杨村桥镇徐坑村 7.5 d。年平均发生日数最多的 2 个大值区分别位于乾潭镇与杨村桥镇的西北部、三都镇与乾潭镇东部区域,2 个小值区分别位于梅城镇葛家村和城区新安江附近。

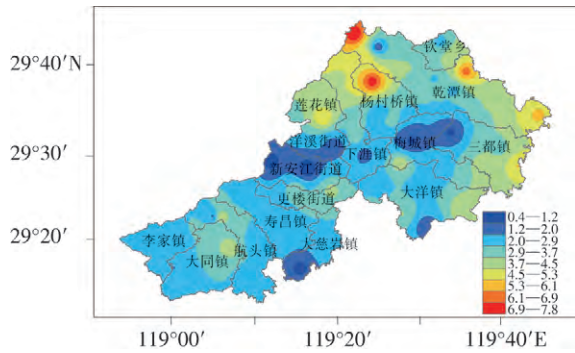


图 3 2010—2022 年建德市冬季冻害年平均发生日数(单位:d)空间分布

Fig. 3 Annual average occurrence days (unit: day) of winter frost damage in Jiande from 2010 to 2022

4 建德市茶叶气象灾害风险区划

应用 ArcGIS 软件中的空间分析模块,以 30 m × 30 m 空间网格为基本评价单元,按照式(1)—(3)对各茶叶气象灾害风险指标分别进行处理,计算得到各评价单元不同灾种的茶叶气象灾害风险指数,采用自然断点分级法将建德市茶叶气象灾害风险划分为低、中和高 3 个风险区等级。

4.1 早春霜冻风险区划

建德市茶叶早春霜冻高、中、低风险区面积分别为 6 020、18 306、38 674 hm²。分析建德市茶叶早春霜冻风险区划(图 4)可见,高风险区主要位于乾潭、下涯镇西北部和乾潭、三都镇最东部区域,这些地区海拔高,受北方冷空气影响的机率大,早春最低气温低,发生早春霜冻的风险最大。中风险区主要位于乾潭镇西北部与东部、杨村桥镇西北部、下涯镇西北部与南部、莲花镇北部、大洋镇西部与东部、三

都镇中部、梅城镇东部和李家镇西南部区域,这些区域茶叶的种植面积较大,地势较低,孕灾环境的暴露性较高,受冷空气影响较大。建德市大部分地区为低风险区,主要集中在建德市中、南部和钦堂乡北部、乾潭镇中部、杨村桥镇中南部、梅城镇、大洋镇中部区域。中南部区域因种植面积小,孕灾环境的暴露性小,同时受冷空气的影响弱,所以为低风险区。北部钦堂乡、杨村桥镇因种植面积少,孕灾环境的暴露性小,其他地区处于地势低洼和海拔低的区域,发生早春霜冻的机率低,所以为低风险区。

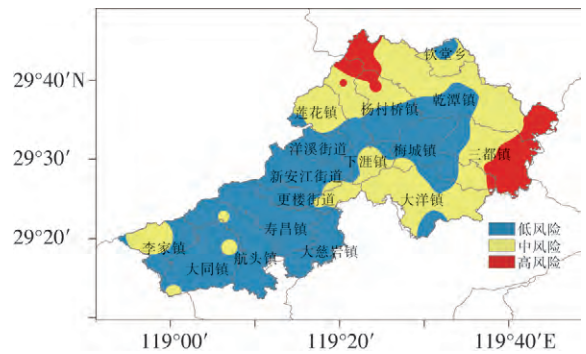


图 4 建德市茶叶早春霜冻风险区划

Fig. 4 Early spring frost risk zoning map of tea in Jiande City

4.2 夏季热害风险区划

分析建德市茶叶夏季热害风险区划(图 5)可见,高风险区主要集中在梅城镇中部、大洋镇北部、洋溪街道新安江城区附近,这些地区夏季高温热害发生天数较多,梅城、大洋镇茶叶种植面积较大,承载体的脆弱性高,导致热害风险高。低风险区集中在乾潭镇、钦堂乡、杨村桥镇、三都镇、李家镇和大同镇西北部区域,这些地区地势海拔高,气温低,发生热害的天数少,为低风险区。其他区域为中风险区,

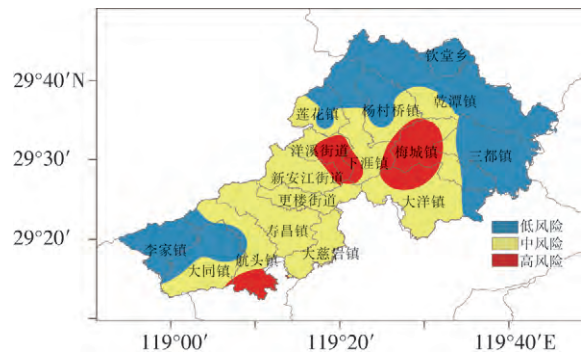


图 5 建德市茶叶夏季热害风险区划

Fig. 5 Risk zoning map of tea heat damage in summer in Jiande City

北部的下涯、大洋镇茶叶种植面积较大,承载体的脆弱性较高,中南部的新安江、寿昌、大慈岩地区地势低,夏季气温偏高,发生热害的天数多,致灾风险较高,为中风险区。

4.3 冬季冻害风险区划

建德市茶叶冬季冻害高、中、低风险区面积分别为 9 460、20 580、33 931 hm^2 。分析建德市茶叶冬季冻害风险区划(图 6)可见,高风险区主要集中在乾潭镇西北部与东部、杨村桥镇西北部、下涯镇西北部、莲花镇北部、三都镇东部、大洋与梅城镇东部高海拔地区,这些区域地势海拔高,由于冷空气和寒潮路径一般自北向南,北部高海拔地区冬季低温低,遭受冻害的风险机率大,冬季冻害年平均发生的天数多,同时这些区域茶叶种植面积比较大,孕灾环境的暴露性较高,受冬季冻害影响的风险最高。中风险区主要在乾潭镇中部大部分地区、三都镇中部、莲花镇中南部、下涯镇中北部与南部、大洋镇东部与西部、大同镇中北部地区,这些地区发生冬季冻害天数较高,大部分地区为丘陵山地,茶叶的种植面积较多,孕灾环境的暴露性较高。建德市大部分地区为低风险区,冬季受冷空气和寒潮的影响较弱,发生冻害的概率低。建德市中南部因茶叶种植面积较少,承灾体脆弱性低,为低风险区。

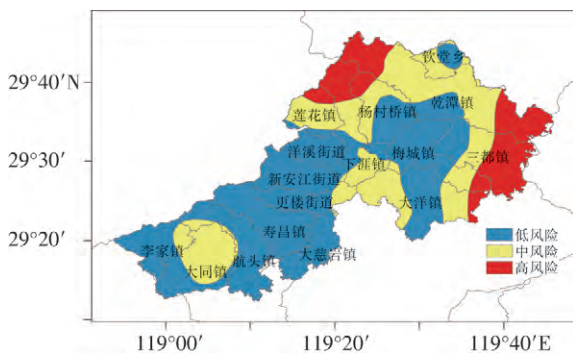


图 6 建德市茶叶冬季冻害风险区划

Fig. 6 Winter frost damage risk zoning map of tea in Jiande City

4.4 综合风险区划

茶叶气象灾害综合风险是指茶叶受早春霜冻、夏季热害、冬季冻害综合影响的结果。在茶叶种植中,最易发生的是早春霜冻,其次是冬季冻害,不易的是夏季热害。利用 ArcGIS 中的自然断点分级法对茶叶气象灾害综合风险等级进行划分(表 5)。

建德市茶叶气象灾害综合高、中、低风险区面积分别为 8 608、26 714、28 647 hm^2 ,分别占评价面积

表 5 建德市茶叶气象灾害综合风险等级划分

Table 5 Comprehensive risk classification of tea meteorological disaster in Jiande City

风险等级	I_{DR_i}
低风险	≤ 0.31
中风险	0.31—0.43
高风险	> 0.43

的 13.4%、41.8%、44.8%。分析建德市茶叶气象灾害综合风险区划(图 7)可见,高风险区主要集中在乾潭、杨村桥、下涯镇西北部和乾潭、三都镇东部地区,这些区域海拔地势高,冬、春季气温低,发生冬季冻害和早春霜冻风险的天数较多,同时茶叶的种植面积较大,承灾体的暴露性高,发生灾害的综合风险高。中风险区集中在莲花镇、乾潭镇大部、钦堂乡中南部、下涯镇、三都镇中部、大洋镇、李家镇西南部、大同镇北部。建德市北部区域发生冬季冻害和早春霜冻风险的天数较多,承灾体的脆弱性指数较高,导致灾害发生风险较高,为中风险区。低风险区主要集中在杨村桥镇中南部、梅城镇中西部、乾潭镇中南部。梅城镇、杨村桥与乾潭镇中南部低风险区域地势低,冬、春季低温较高,发生冬季冻害和早春霜冻的天数少,同时杨村桥镇中南部区域茶叶种植面积少,承灾体的暴露性指数低,为低风险区。

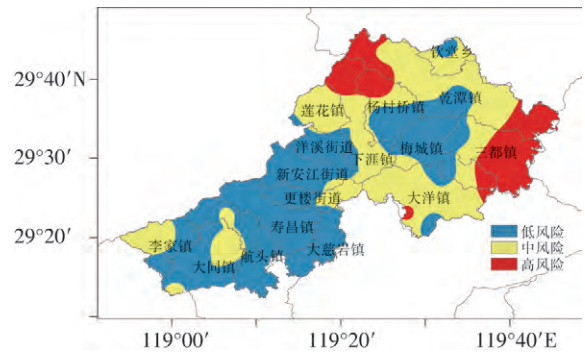


图 7 建德市茶叶气象灾害综合风险区划

Fig. 7 Comprehensive risk zoning map of tea meteorological disasters in Jiande City

5 结束语

基于 2010—2022 年气象观测和茶叶种植数据,构建茶叶气象灾害综合风险评估模型,对建德市茶叶气象灾害风险进行区划。2010—2022 年建德市早春霜冻年平均发生天数 2.1—14.1 d,大值区位于北部乡镇乾潭与杨村桥镇西北部、三都与乾潭镇东部区域;早春霜冻高、中、低风险区面积占评价面积

的9.5%、29.1%、61.3%。夏季热害发生频次较少,仅2013、2022年发生严重高温热害现象。冬季冻害年平均发生天数为0.5—7.9 d,大值区位于北部乡镇乾潭镇与杨村桥镇西北部、乾潭镇与三都镇东部区域;冬季冻害高、中、低风险区面积占评价面积的14.8%、32.2%、53%。茶叶气象灾害综合高风险区主要集中在乾潭、杨村桥、下涯镇西北部和乾潭、三都镇东部区域,占评价面积的13.4%;中风险区主要集中在莲花、乾潭大部、钦堂中南部、下涯、三都镇中部、大洋镇、梅城镇东部、李家西南部和大同镇北部,占评价面积的41.8%;低风险区主要集中在杨村桥镇中南部、梅城镇中西部、乾潭镇中部和建德市中南部区域,占评价面积的44.8%。

开展茶叶气象灾害风险评价对于提高茶叶生产气象服务保障和防灾减灾能力具有重要意义。加强倒春寒天气的精细化预报,在早春霜冻高风险区域向茶农等发送精细化低温预报,引导茶农适时抓住有利天气,及时分批采摘茶叶,减少冻害损失;夏季应加强高温热害预报,在夏季热害高风险区域,及时引导茶农采取疏松土壤、喷雾灌溉等。对于综合高风险区域适度减少茶叶种植面积,以减少灾害风险。

文中对于综合风险评价中各灾种权重的确定是参考前人已有的研究成果,在今后的研究中,可进一步加强茶叶灾情实际调查,优化指标权重,完善综合评估模型,使结果更为可靠。

参考文献 (References)

金志凤,黄敬峰,李波,等,2011.基于GIS及气候—土壤—地形因子的浙江省茶树栽培适宜性评价[J].农业工程学报,27(3):231-236. Jin Z F, Huang J F, Li B, et al, 2011. Suitability evaluation of tea cultivation in Zhejiang Province based on GIS and climate-soil-terrain factors[J]. Trans Chinese Soc Agric Eng, 27(3):231-236. (in Chinese)

金志凤,胡波,严甲真,等,2014.浙江省茶叶农业气象灾害风险评价[J].生态学杂志,33(3):771-777. Jin Z F, Hu B, Yan J Z, et al, 2014. Risk assessment of tea agro-meteorological disaster in Zhejiang Province[J]. Chinese J Ecol, 33(3):771-777. (in Chinese)

李柏贞,谢佳杏,孔萍,等,2015.江南茶叶农业气象灾害风险区划[J].干旱气象,33(6):1017-1023. Li B Z, Xie J X, Kong P, et al, 2015. Risk regionalization of tea agrometeorological disaster in Jiangnan[J]. Arid Meteor Res, 33(6):1017-1023. (in Chinese)

李仁忠,金志凤,杨再强,等,2016.浙江省茶树春霜冻害气象指标的修订[J].生态学杂志,35(10):2659-2666. Li R Z, Jin Z F, Yang Z Q, et al, 2016. Revision of meteorological index of spring frost damage of tea tree in Zhejiang Province[J]. Chinese J Ecol, 35(10):2659-2666. (in Chinese)

林江,2017.茶叶生产气象要素分析及气象灾害防御[J].农业与技术,37(11):124-125. Lin J, 2017. Analysis of meteorological elements in tea production and prevention of meteorological disaster[J]. Agric Technol Res, 37(11):124-125. (in Chinese)

鹿翔,韩芙蓉,吴天贻,等,2022.金华地区茶树种植气象灾害时空分布特征[J].气象与减灾研究,45(1):53-58. Lu X, Han F R, Wu T Y, et al, 2022. Temporal and spatial distribution characteristics of meteorological disasters in tea planting in Jinhua area [J]. Meteor Disaster Reduction Res, 45(1):53-58. (in Chinese)

罗列万,2013.2013年浙江省夏季茶园高温干旱受灾情况调查评估[J].中国茶叶,35(9):17. Luo L W, 2013. Investigation and assessment of high temperature and drought disaster in summer tea plantations in Zhejiang Province in 2013[J]. China Tea Res, 35(9):17. (in Chinese)

唐俊贤,王培娟,俄有浩,等,2021.中国大陆茶树种植气候适宜性区划[J].应用气象学报,32(4):397-407. Tang J X, Wang P J, E Y H, et al, 2021. Climatic suitability regionalization of tea planting in Chinese Mainland[J]. J Appl Meteor Sci, 32(4):397-407. (in Chinese)

陶瑶,杨爱萍,段里成,等,2019.2018年春霜冻对江西省北部茶叶生产影响的定量评估[J].气象与减灾研究,42(1):70-74. Tao Y, Yang A P, Duan L C, et al, 2019. Quantitative assessment of the impact of spring frost on tea production in northern Jiangxi Province in 2018[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 42(1):70-74. (in Chinese)

王春乙,张继权,霍治国,等,2015.农业气象灾害风险评估研究进展与展望[J].气象学报,73(1):1-19. Wang C Y, Zhang J Q, Huo Z G, et al, 2015. Research progress and prospect of agrometeorological disaster risk assessment[J]. Acta Meteor Sinica, 73(1):1-19. (in Chinese)

徐雅,2014.基于GIS技术的主要气象灾害风险评估技术研究[D].桂林:广西师范学院:6-7. Xu Y, 2014. Research on main meteorological disaster risk Assessment Technology based on GIS technology[D]. Guilin: Guangxi Normal University: 6-7. (in Chinese)

张璠,肖斌,2018.茶叶产量与气象因子的灰色关联度分析——以陕南茶区为例[J].西北农业学报,27(5):735-740. Zhang F, Xiao B, 2018. Grey relational degree analysis of tea yield and meteorological factors: take tea area in southern Shaanxi as an example [J]. Acta Agric Boreali-Occidentalis Sinica, 27(5):735-740. (in Chinese)

章国材,2010.气象灾害风险评估与区划方法[M].北京:气象出版社:20-21. Zhang G C, 2010. Meteorological disaster risk assessment and regionalization methods[M]. Beijing: China Meteorological Press: 20-21. (in Chinese)

张继权,李宁,2007.主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M].北京:北京师范大学出版社:40-50. Zhang J Q, Li N, 2007. Quantitative methods for risk assessment and management of major meteorological disasters and their applications [M]. Beijing: Beijing Normal University Press: 40-50. (in Chinese)