

高温热害气象指标对成熟期烟叶的影响评估

赵东杰¹, 赵喆¹, 毛亚博¹, 赵铭钦^{1*}, 秦言敏², 万应发², 周国旺², 张蕊²

(1.河南农业大学烟草学院, 郑州 450002; 2.江西省烟草公司抚州市公司, 江西 抚州 344000)

摘要: 为探究产生高温热害烟叶的主要气象因素, 明确高温热害烟叶发生程度, 运用主成分回归法分析江西省抚州地区 2014—2016 年 6 月中旬至 7 月上旬的相关气象指标与高温热害烟叶品质的关系, 建立了热害烟叶等级评估模型, 并根据烟叶实际品质进行回归分析检验。结果表明, 产生高温热害烟叶的主要气象因素是热害期间最高温度、最大升温幅度、光合有效辐射和热害持续时间, 高温热害烟叶等级评估模型分为 3 个等级: 0.75 热害指数 (DHI) < 0.97 时, 为 1 级, 轻度热害; 0.97 DHI < 1.13 时, 为 2 级, 中度热害; DHI ≥ 1.13 时, 为 3 级, 重度热害。模型评估结果与烟叶实际质量评分呈极显著负相关, 相关系数为 -0.93, 模型评估准确度较高达到 83.3%。研究结果可为高温热害烟叶的监测预警和风险评估提供科学依据。

关键词: 烤烟; 高温热害; 气象因子; 等级评估; 主成分回归

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119 (2017) 05-0062-07

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2017.05.011

Assessment on Meteorological Indexes of High Temperature Damage to Tobacco Leaves at Maturity Stage

ZHAO Dongjie¹, ZHAO Zhe¹, MAO Yabo¹, ZHAO Mingqin^{1*}, QIN Yanmin², WAN Yingfa²,
ZHOU Guowang², ZHANG Rui²

(1. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Fuzhou City Tobacco Company of Jiangxi Province, Fuzhou, Jiangxi 344000, China)

Abstract: In order to investigate the main meteorological factors of high temperature damage to tobacco leaves and determine the degree of occurrence of high temperature damage to tobacco leaves, the relationship between the meteorological indexes and the quality of high temperature damage to tobacco leaves from mid-June to early July in Fuzhou, Jiangxi Province during 2014-2016, were analyzed by using the principal component regression analysis. The assessment grade model of high temperature damage to tobacco leaves was established and verified by the component regression analysis testing. The results showed that the main impact meteorological factors were the maximum temperature, the increasing extent of temperature during heat damage, the solar radiation, and the duration of high temperature. The three grades of evaluation index system for high temperature damage tobacco leaf: 0.75 DHI < 0.97, grade 1, mild heat damage; 0.97 DHI < 1.13, grade 2, moderate heat damage; DHI ≥ 1.13, Grades 3, severe heat damage. The model evaluation results had a negative correlation with the score of tobacco leaves quality, and the correlation coefficient was -0.93, which passed the significant test at 1% level. The accuracy achieved up to 83.3%. The results can provide scientific basis for monitoring, warning and risk assessment of high temperature damage to tobacco leaves.

Keywords: flue-cured tobacco; high temperature damage; meteorological factor; assessment grade; principal component regression

赣南烟区作为江西烟叶的核心产区, 属中亚热带湿润季风气候, 地貌多以山地、丘陵为主, 生态环境对烟叶质量影响明显^[1]。近年来, 在江西烟叶生长后期, 常出现高温、强光辐射等对烤烟生长不利的气象灾害, 导致中上部烟叶“高温逼熟”现象时

有发生, 随着全球温室效应的加剧, 这种情况日趋严重。烤烟生长期温度高于 30 °C, 特别在 35 °C 时, 干物质消耗大于积累, 对烟叶质量造成明显影响^[2]。烟叶成熟期适宜温度在 20~28 °C, 温度过高不利于优质烟叶生产^[3]。在烟叶成熟阶段, 太阳辐

基金项目: 中国烟草总公司江西省公司项目“烤烟‘高温逼熟’形成机制及代谢调控技术研究”(201401006)

作者简介: 赵东杰(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事烟草化学与质量评价。E-mail: 18749492822@163.com。*通信作者, E-mail: zhaomingqin@126.com

收稿日期: 2017-04-18

修回日期: 2017-07-18

射较强,对烟叶水溶性总糖、还原糖、烟碱和氮含量造成较大影响^[4]。由于内含物没有充分转化,烟叶易烤青,导致烤后烟叶质量差、等级低。目前,水稻高温热害研究较多,烟草方面研究相对较少,黄国文等^[5]研究认为,导致烤烟“高温逼熟”现象除了温度因素外,太阳辐射强度、“火南风”也是重要影响因素,但就各因素具体影响程度和相关性没有明确表述,高温热害对烟叶品质影响程度也还未见报道。本研究以江西抚州地区为例,选取 2014—2016 年烟叶产区的气象因素作为研究对象,通过分析高温热害天气过程中,温度、太阳辐射强度对烟叶主要经济性状的影响,探讨高温热害烟叶发生的严重程度与主要气象指标的关系,利用主成分回归分析建立高温热害烟叶评估计算模型,为防范烟叶高温热害和农事气象预警提供参考。

1 材料与方法

1.1 烟叶样品采集

1.1.1 试验点基本信息 将抚州市的广昌、宜黄、黎川、乐安、崇仁和资溪等 6 个主要植烟县作为本研究试验点(表 1)。烟苗由抚州市烟草公司统一提供,

大田管理措施均按当地优质烟生产规范进行。

1.1.2 热害烟叶形态等级划分 高温热害天气常导致日灼烟现象的发生,根据当地实际情况,各试验点选取 3 块历年热害高发区烟田,每块烟田面积不小于 2 hm²,共计 18 块烟田,下部叶采收完毕后一周内进行高温热害形态特征等级调查(表 2)。

田间不同热害烟叶形态特征等级划分:

形态 I 级:主脉、侧脉变白发亮,叶片淡黄,叶片中上部侧脉边缘发黄,全叶发黄面积比例 10%。

形态 II 级:主脉、侧脉变白发亮,叶片淡黄,叶片中上部侧脉附近发黄,全叶发黄面积比例 10%~20%。

形态 III 级:主脉变白发亮,侧脉浅绿色,叶片淡绿,叶片中上部侧脉附近发白,全叶发白面积比例 20%~30%,出现少量日灼斑,病斑(直径 2 mm)不超过 15 个,大病斑(直径 > 2 mm)不超过 2 个。

形态 IV 级:主脉变白,侧脉浅绿色,叶片淡绿,叶片中上部侧脉附近发白,全叶发白面积比例 30%~40%,出现较多日灼斑,即小病斑 50 个以内,大病斑 2~10 个。

形态 V 级:主脉、侧脉浅绿,叶片淡绿,叶片

表 1 试验点基本信息

Table 1 The basic information of test sites

试验点	经度	纬度	海拔高度/m	品种	地形地貌
广昌	116°22'20.6"	26°53'35.2"	143	云烟 87	山地
宜黄	116°17'54.84"	27°29'46.56"	126	云烟 87	山区小盆地
黎川	117°59'56.6"	27°16'39.3"	145	云烟 87	丘陵
乐安	115°54'12.32"	27°11'23.6"	121	云烟 87	山区小盆地
崇仁	116°13'44.5"	27°40'13.5"	86	云烟 87	盆地
资溪	116°58'57.62"	27°37'43"	289	云烟 87	山地

表 2 2014—2016 年高温热害烟叶形态特征等级调查(3 年平均值)

Table 2 The questionnaire of the morphological character of high temperature damage tobacco in 2014-2016 (3 year average)

试验点	形态 I 级	形态 II 级	形态 III 级	形态 IV 级	形态 V 级	发生率/%	烟田面积/m ²
	株数/发病叶片数	株数/发病叶片数	株数/发病叶片数	株数/发病叶片数	株数/发病叶片数		
广昌	12/18	10/10	6/9	3/6	2/5	33	1542
宜黄	19/26	11/13	5/7	2/2	0	37	1652
黎川	16/21	10/12	6/8	3/4	1/3	36	1532
乐安	21/29	7/8	4/4	0	0	32	1784
崇仁	20/27	13/14	5/5	1/2	0	39	1546
资溪	22/35	8/10	2/3	0	0	32	1654
对照烟田	17/21	7/7	0	0	0	24	1872

注:各试验点以 100 株烟为调查样本。

中上部侧脉附近发白,全叶发白面积比例 40%,日灼斑中量到多量,即小病斑 50 个以上,大病斑 20 个以上,个别叶片枯焦卷缩。

1.1.3 高温热害烟样选取 取各试验点总体等级发生率最高烟田的中上部烤后烟叶,每部位3 kg,重复3次,产值达到当地平均水平烟田的烟叶作为对照烟田。3年烟样共计126个,并统计取样烟田的经济性状指标。

1.1.4 质量评价标准烟样选取 根据5个形态等级发生情况,每个等级取6个试验点中发生率最高的3个试验点的中上部烤后烟混匀后作为一个取样单位,每个部位取1 kg,重复3次,3年烟样共90个。

1.2 气象资料

从江西省气象中心抚州市气象局获取各试验点 2014—2016 年 6 月中旬至 7 月上旬气象观测站的逐日观测资料,具体包括日最高温度、太阳辐射量等。

1.3 热害天气定义

参考水稻热害温度指标,定义高温热害天气是日最高温度高于 35 °C,且持续 3 d 以上的高温过程^[6-7],江西烟叶大田生育期出现高温热害现象主要集中在成熟中后期,即为 6 月中旬至 7 月上旬。据此热害天气定义如下:在 6 月中旬至 7 月上旬期间,日最高气温 35 °C 且持续 3 d 时为高温热害过程开始,当日最高温 < 35 °C 时,为高温热害过程结束。

1.4 气象指标选取

根据前人研究^[8-10]和 GB/T 21985—2008 标准中的参考指标。选定 4 个指标作为研究对象:日最高气温(指热害天气过程中日最高气温);升温幅度(指热害天气过程中日最高气温的最大值与最小值的差值);日光合有效辐射(指热害期间大田烟叶每日所受的有效光辐射);持续时间(指热害天气过程中每日最高气温持续 3 d 以上 35 °C 的天数)。

1.5 天气数据标准化

由于气象指标与烟叶主要经济性状的量纲不同,在进行数据分析前需要进行无量纲化处理,采

用极值法,公式如下:

$$S_i^* = (S_i - S_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min}) \quad (1)$$

S_i 为原始观察值。

1.6 样品测定与评吸

常规化学成分测定工作在河南农业大学进行。采用连续流动分析仪对烟叶常规化学成分进行测定,并在此基础上计算出糖碱比、氮碱比、钾氯比,检测方法按文献^[11-12]测定。

烤烟平衡水分后切丝,卷制成单料烟,感官评吸工作在江西省抚州市烟草公司技术中心进行。评价方法参考文献^[13]中烤烟化学成分指标和感官质量评价指标体系。

1.7 数据处理方法

数据结果采用 Excel 和 SPSS 19.0 进行分析。

2 结果

2.1 高温热害烟叶主要经济性状分析

由表 3 可知,黎川试验点产值最低,与其他试验点差异极显著,乐安、崇仁和资溪 3 个试验点的产值较高,两两比较差异较小。乐安和资溪上等烟比例都在 60% 以上,广昌和黎川上等烟比例不足 50%,上等烟比例各试验点之间差异达极显著水平,中上等烟比例之间的差异不明显。各试验点烟田的主要经济性状都与对照烟田有显著差异。

2.2 高温热害气象指标统计分析

通过对抚州 6 个试验点 3 年热害天气过程中的

表 3 高温热害烟叶主要经济性状

Table 3 The statistical analysis of main economic traits of high temperature damage tobacco

试验点	产值/(元·667m ²)	上等烟/%	中上等烟/%
广昌	3293.19C	47.32D	91.54B
宜黄	3239.88C	56.50C	92.60B
黎川	2424.54D	43.65D	91.98B
乐安	3471.40B	61.59B	92.27B
崇仁	3454.89B	57.93C	92.24B
资溪	3527.48B	61.47B	92.31B
对照烟田	3997.12A	65.24A	94.34A

注:同列不同大写字母表示差异达到 0.01 显著水平。

日最高气温 (S_1)、升温幅度 (S_2)、日光合有效辐射 (S_3) 和持续天数 (S_4) 等 4 项指标统计分析的结果 (表 4) 表明, 当天气处于高温热害阶段, 抚州地区日最高气温平均值为 $35.3\text{ }^\circ\text{C}$, 其中黎川、乐安和崇仁试验点的最大值都处在 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 宜黄点日最高气温变异系数最大 (20%), 相较其他点稳定性差。全区平均升温幅度为 $2.0\text{ }^\circ\text{C}$, 宜黄点最大值

可达 $5.0\text{ }^\circ\text{C}$, 变异系数最小为黎川试验点 33.3%, 最大为资溪试验点 54.2%。抚州市日光合有效辐射平均值为 10.2 MJ/m^2 , 除黎川和乐安外, 其余试验点平均值都在 10.0 MJ/m^2 以上, 最大值达到 13.4 MJ/m^2 , 最小值仅为 5.5 MJ/m^2 。高温热害持续天数各试验点基本一致, 主要在 3.5~3.8 d, 平均变异系数为 21.8%。

表 4 高温热害期间日最高气温 (S_1)、升温幅度 (S_2)、日光合有效辐射 (S_3) 和持续天数 (S_4)

Table 4 The statistical analysis of maximum temperature (S_1), temperature rise range (S_2), solar radiation (S_3) and high temperature days (S_4) during high temperature heat disaster

试验点	日最高气温(S_1)/ $^\circ\text{C}$				升温幅度(S_2)/ $^\circ\text{C}$				日光合有效辐射(S_3)/($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)				持续天数(S_4)/d			
	最大值	最小值	平均值	变异系数/%	最大值	最小值	平均值	变异系数/%	最大值	最小值	平均值	变异系数/%	最大值	最小值	平均值	变异系数/%
广昌	36.1	35.1	35.4	17.4	4.0	1.0	2.2	39.5	12.6	8.7	10.4	11.4	5.0	3.0	3.8	20.8
宜黄	36.2	35.2	35.3	20.0	5.0	1.0	2.5	46.9	12.4	6.9	10.3	15.8	5.0	3.0	3.6	22.0
黎川	37.3	35.0	35.2	12.4	3.0	1.0	2.0	33.3	11.2	5.5	8.9	18.5	6.0	3.0	3.9	21.3
乐安	37.7	35.2	35.6	15.3	3.0	1.0	1.8	39.1	10.5	8.3	9.7	17.4	5.0	3.0	3.7	22.3
崇仁	37.3	35.1	35.3	17.9	3.0	1.0	1.7	44.4	13.4	9.8	11.0	11.7	5.0	3.0	3.7	20.4
资溪	35.7	35.0	35.4	18.8	3.0	1.0	1.6	54.2	12.1	6.1	10.0	17.9	5.0	3.0	3.5	23.9
平均	36.7	35.1	35.3	16.4	3.5	1.0	2.0	42.9	12.0	7.6	10.2	15.4	5.2	3.0	3.7	21.8

2.3 高温热害气象指标与主要经济性状相关性

将气象指标与主要经济性状进行相关分析后发现 (表 5), 主要经济性状与 4 项热害指标均呈现显著或极显著负相关, 说明所选取的 4 个气象指标对高温热害烟叶经济性状有重要影响。

表 5 气象指标与高温热害烟叶主要经济性状相关系数

Table 5 Correlation coefficients between meteorological factor and main economic traits of high temperature damage tobacco

热害指标	产值	上等烟比例	中上等烟比例
S_1	-0.559**	-0.457*	-0.566**
S_2	-0.868**	-0.563**	-0.884**
S_3	-0.609**	-0.601**	-0.607**
S_4	-0.623**	-0.419*	-0.640**

注: *和**分别表示 0.05 和 0.01 水平差异显著。

2.4 高温热害等级评估模型建立

2.4.1 因子共线性诊断和 KMO、Bartlett 检验 因子共线性可从条件数和方差比两方面度量。条件数是指各维数中最大特征根与最小特征根之比 $k=\lambda_1/\lambda_p$, 当 $k>100$ 则认为存在共线性; 若最大条件指数 10 且相应的最大方差比大于 0.5, 也可认为自变量间存在共线性^[14]。由表 6 可见, 条件数

3.686/0.031 \approx 118.90, 维数 5 的条件指数大于 10, 且 S_1 和 S_2 的方差比大于评判标准 (0.5)。上述结果表明, 所选的 4 个因子间存在共线性, 需要采用主成分回归分析。在进行主成分分析前, 先进行 KMO 和 Bartlett 球形检验^[15]。检验结果表明, KMO 值为 0.764, 大于 0.6, Bartlett 球形检验 χ^2 统计值的显著性概率为 0.000 1, 远远小于 0.05, 所选指标适宜做主成分分析。

表 6 共线性诊断指标

Table 6 Collinearity diagnostic index

维数	特征值	条件指数	方差比例				
			常量	S_1	S_2	S_3	S_4
1	3.686	1.000	0.017	0.005	0.005	0.008	0.017
2	0.888	2.038	0.100	0.007	0.018	0.005	0.253
3	0.301	3.501	0.724	0.001	0.004	0.001	0.664
4	0.082	6.722	0.029	0.101	0.156	0.986	0.062
5	0.031	14.172	0.130	0.888	0.817	0.012	0.003

2.4.2 4个气象指标的主成分分析 4个气象指标按照式 (1) 进行标准化处理后, 利用SPSS软件进行主成分分析可得到4个主成分的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率 (表7)。第1成分和第2成分的特征值分别为63.709%和15.833%, 累积贡

献率达到79.542%。故选取前2个成分作为主成分分析的对象,分析可得因子载荷矩阵,结合特征值(λ)和因子载荷矩阵,计算出因子的特征向量 R 值,结果见表8。

表7 各成分特征值和方差贡献率
Table 7 Eigenvalues and contribution rates of principal components

成分	特征值(λ)	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	2.548	63.709	63.709
2	0.633	15.833	79.542
3	0.470	11.746	91.288
4	0.348	8.712	100.000

表8 因子1、因子2的特征向量值

Table 8 Eigenvectors of the component 1 and the component 2

影响指标	R_1	R_2
S_1	0.4724	0.7026
S_2	0.5312	-0.2262
S_3	0.5024	0.2074
S_4	0.4924	-0.6423

由表8可得出主成分因子方程:

$$F_1=0.4724S_1+0.5312S_2+0.5024S_3+0.4924S_4 \quad (2)$$

$$F_2=0.7026S_1-0.2262S_2+0.2074S_3-0.6423S_4 \quad (3)$$

2.4.3 线性回归分析 参照陈斐等^[16]研究方法,将2个主成分作为自变量,以上等烟比例作为因变量进行回归分析,建立高温热害评估模型(Damage of High Temperature Index, 简写作DHI),为方便计算将常数项省略:

$$Y=0.536F_1-0.317F_2 \quad (4)$$

将公式(2)和(3)代入式(4),经转换后得出

$$\begin{aligned} \text{DHI}=0.2724S_1+0.6389S_2+0.5379S_3+0.4163S_4 \\ (R^2=0.816, p < 0.01) \end{aligned} \quad (5)$$

S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 代表4个气象指标经过标准化处理后的无量纲化数值,由(1)式计算可得。从(5)式中可以看出,DHI与4个气象指标都呈正比。 S_2 的系数最大,其次是 S_3 和 S_4 ,最小是 S_1 ,对DHI的影响作用依次减弱。

2.4.4 高温热害烟叶质量评价 分别对高温热害形态特征划分的5个等级烟叶进行化学成分评价和感官质量评价,二者综合即为烟叶质量评价总得分,其中化学成分指标占比为25%,感官评价指标占比75%,加权计算结果见表9。形态I级烟叶总得分均在25分以上,形态II级与III级得分范围出现重叠

部分,分布在22.12~24.84,形态IV级与V级得分也出现重叠情况,得分范围在19.25~22.08。为了便于比较不同热害烟叶质量差异,依据得分情况将热害烟叶质量划分成3个等级。评价得分在25分以上为1级,得分在22~25为2级,19~22为3级。同理,再对历年各试验点热害烟样进行评价打分,根据得分结果划分等级。

表9 不同高温热害形态等级烟叶质量评价

Table 9 Quality evaluation of high temperature damage tobacco leaves at each test sites

项目	I	II	III	IV	V
总得分	25.01~26.41	23.78~24.84	22.12~23.86	21.54~22.08	19.25~21.72

2.4.5 高温热害烟叶等级评估结果 将各个试验点的观测值代入式(5)计算各等级对应的DHI值。根据DHI值分布情况,各等级有90%以上的值落在0.75~0.97、0.97~1.13和1.13等3个区间段,据此可对DHI进行等级划分(表10)。

表10 高温热害评估等级划分

Table 10 Grading standard of high temperature damage

项目	发生程度	热害等级
0.75 DHI<0.97	轻度	1
0.97 DHI<1.13	中度	2
1.13 DHI	重度	3

2.4.6 高温热害等级评价标准检验 为验证高温热害等级评估模型的准确性,参考吉奇^[17]方法,对高温热害烟叶质量的实际评价得分和DHI分值进行回归分析检验。由图1可知,回归系数为-17.41,相关系数达到-0.93,并通过了0.01水平的显著性检验,两者相关性极显著。通过比较实际等级和评估等级(图2)后发现,评估等级与实际等级基本吻合,其中3级评估效果较好,准确率为100%,2级准确率为85.7%,1级准确率稍低为75%。

3 讨论

本研究在明确热害烟叶田间农艺性状的基础上,对热害烟叶进行初步定性,并分析了气候条件对烟叶品质的影响,较以往仅从烟叶内在品质的研究^[18-19]入手更具有科学依据。通过主成分回归分析

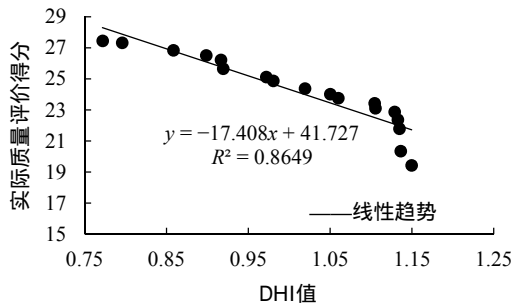


图 1 实际质量评价得分与 DHI 值线性回归检验
Fig. 1 Actual evaluation score and DHI value linear regression test

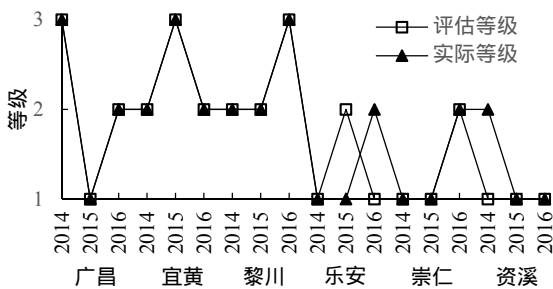


图 2 各试验点历年评估等级与实际等级比较
Fig. 2 Comparison of the evaluation level and the actual level of each test sites

法，建立的高温热害等级评估模型通过了显著性检验，复相关系数为0.816，较好地反映了各项指标的综合信息。经检验，广昌、宜黄和黎川试验点的评估结果与实际结果完全相符，乐安（2015年）、乐安（2016年）和资溪（2014年）的评估结果与实际结果相差一个等级，整体评估结果准确率达到83.3%。在不符的结果中，评估等级大部分比实际等级低一级，且热害指数DHI普遍较低，资溪（2014年）仅为0.772，低热害情况可能影响评估结果准确性。此外，评估模型所使用的数据均能从气象中心得到，便于在生产实践中推广应用。

关于“高温逼熟”现象以往研究往往只考虑了温度因素^[5,20]，但在大田环境下，伴随高温而来的还有强辐射，强辐射会使叶片变厚且粗糙，主脉突出，形成“粗筋暴梗”，致使烟碱含量过高，刺激性增强，吃味辛辣，烟叶品质变差^[18]。从评估模型的 DHI 计算公式可看出，光合有效辐射指标系数为 0.538 9，仅次于升温幅度系数 0.638 9，说明高温热害烟叶的

出现，不仅仅是高温造成的，还与与其同时出现的强辐射有关，这与黄国文等^[5]研究结果相一致。有研究指出高湿度并不是造成高温逼熟烟叶的必要因素^[21]，湿度条件较光温条件的敏感性不强^[22]，因此没有将湿度纳入研究范围。多数研究只是阐述高温强光会对烟叶品质造成不良影响^[23-24]，而缺少高温热害影响的定性及定量分析。目前热害评估常以温度为评价因子^[25-26]，也有研究引入了土壤条件、降水量和风速等作为评判条件^[27-29]。在前人研究基础上，本文仅就热害期间日最高气温、升温幅度、日光合有效辐射和持续时间等指标进行评估，目的是使关于烟叶热害评估更科学，更实用。

4 结 论

研究与验证结果表明，江西抚州烟区烟叶主要热害影响指标是高温热害天气持续期间的日最高气温、升温幅度、日光合有效辐射强度和高温持续天数。通过线性回归检验，DHI 值与实际热害烟叶品质得分存在极显著负相关，相关系数为-0.93，热害期间温度越高，升温幅度越大，光合有效辐射越强，高温持续时间越长，DHI 就越高，热害等级也随之增加，烟叶品质就越差。高温热害评估等级指数在 0.75~0.97 时，热害 1 级，属轻度热害；等级评估指数在 0.97~1.13 时，热害 2 级，属中度热害；等级评估指数在 1.13 以上时，热害 3 级。建立的模型能够全面准确地对热害烟叶进行评估，并通过了模型验证，具有一定的理论意义和实际指导价值，今后还应将抗热烤烟品种的选育和烟叶热害耐受程度纳入研究，进一步完善评估模型。

参考文献

[1] 徐庆凯,张正扬,王能如,等. 江西省烟区气候特征分析比较[J]. 中国农学通报, 2013, 29 (34) : 44-49.
[2] 程林仙,王安柱. 渭北旱作区干旱对烤烟产量和品质的影响及覆盖抗旱栽培技术[J]. 中国农业气象, 1996, 17 (2) : 18-21.
[3] 辜尊荣,谢金水,申昌优,等. 赣南单季稻区烟稻轮作的生态环境及其配套技术研究[J]. 中国烟草科学, 2000, 21 (3) : 33-36.

- [4] 查宏波,付修廷,李晓燕,等. 昭通烟区田间小气候类型及与烟叶化学成分的相关性[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(2): 88-92.
- [5] 黄国文,陈良碧. 高温对烟叶品质的影响[J]. 生命科学, 2002, 6(4): 362-366.
- [6] 郭月清. 烤烟栽培技术[M]. 北京:金盾出版社,1992: 992.
- [7] 钟楚,张明达,胡雪琼,等. 温度变化对烟草光合作用光响应特征的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(2): 337-341.
- [8] 周米良,吴志科,卿湘涛,等. 湘西山区主要气候事件对烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8293-8298.
- [9] 吴启侠,苏荣瑞,刘凯文,等. 江汉平原四湖流域近50年高温热害及热涝相随特征[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 609-614.
- [10] 黄中艳,朱勇,王树会,等. 云南烤烟内在品质与气候的关系[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 83-90.
- [11] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社, 2003.
- [12] 王瑞新,韩富根,杨素勤. 烟叶化学品质分析[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1990: 50-66.
- [13] 王彦亭,谢剑平,李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京:科学出版社, 2009: 3-5.
- [14] 丁元林,孔丹莉,毛宗福. 多重线性回归分析中的常用共线性诊断方法[J]. 数理医药学杂志, 2004, 17(4): 299-300.
- [15] 赵瑞蕊,何结望,王海明,等. 基于主成分和聚类分析的湖北烤烟物理质量指标综合评价[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(4): 90-94.
- [16] 陈斐,杨沈斌,申双和,等. 基于主成分回归法的长江中下游双季早稻相对气象产量模拟模型[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 522-528.
- [17] 吉奇. 基于 Logistic 和灾减率方法制作玉米产量的预测[J]. 中国农学通报, 2012, 28(6): 293-296.
- [18] 彭新辉,易建华,周清明. 气候对烤烟内在质量的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(1): 68-72.
- [19] 周米良,吴志科,卿湘涛,等. 湘西山区主要气候事件对烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8293-8298.
- [20] 胡国松,傅建政,张丙孝,等. 目前我国烤烟烟叶质量的若干限制因子[J]. 中国烟草科学, 1999, 20(4): 12-15.
- [21] 陈颐,周清明,杨虹琦,等. 湘南典型浓香型烟叶产区烤烟大田生育期气候特征分析[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(4): 56-62.
- [22] 曹雯,申双和,段春锋. 西北地区近49年生长季参考作物蒸散量的敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 375-381.
- [23] 杨恕良,黄肇玉,唐远驹. 贵州烤烟品质与气候关系的研究[J]. 中国农业气象, 1987(2): 7-10.
- [24] 王太忠. 气候与烤烟品质关系的探讨[J]. 烟草科技, 1982(3): 28-31.
- [25] 田俊,聂秋生,崔海建. 早稻乳熟初期高温热害气象指标试验研究[J]. 中国农业气象, 2013, 34(6): 710-714.
- [26] 高素华,王培娟,万素琴. 长江中下游高温热害及对水稻的影响[M]. 北京:北京气象出版社, 2009: 106-134.
- [27] 张倩,赵艳霞,王春乙. 长江中下游地区高温热害对水稻的影响[J]. 灾害学, 2011, 36(4): 57-62.
- [28] 杨炳玉,申双和,陶苏林. 江西省水稻高温热害发生规律研究[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 615-622.
- [29] 张倩,赵艳霞,王春乙. 我国主要农业气象灾害指标研究进展[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(6): 40-54.