

刘勇军,邢卓冉,时向东,等.基于多元统计分析的茄衣烟叶生产气候资源配置[J].华中农业大学学报,2024,43(3):167-175.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.03.017

## 基于多元统计分析的茄衣烟叶生产气候资源配置

刘勇军<sup>1</sup>,邢卓冉<sup>2</sup>,时向东<sup>2</sup>,丁松爽<sup>2</sup>,刘旭东<sup>3</sup>,罗小红<sup>3</sup>,欧波涛<sup>4</sup>

1. 湖南省烟草科学研究所,长沙 410004; 2. 河南农业大学烟草行业烟草栽培重点实验室,郑州 450002;  
3. 湖南省烟草公司怀化市公司麻阳苗族自治县分公司,麻阳 419400;  
4. 湖南省烟草公司怀化市公司,怀化 418000

**摘要** 为探究茄衣烟叶生产中的气候资源配置情况,以“云雪1号”品种为试验材料,通过调整移栽期以改变烟株生育期内的气候指标,采用多元统计分析法研究茄衣烟叶的气候资源配置及其对烟株农艺性状及发酵后烟叶化学成分的影响。相关性分析结果显示,烟株大田期的积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温、总降水量与总温差对烟株农艺性状各指标的影响较大,其相关系数分布范围为0.478~0.939,而积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温、平均气温对烟叶总糖、烟碱、总氮、蛋白质含量影响较大,其相关系数分布范围为-0.955~-1.000。采用因子分析的方法在8项气候指标中提取出气候积累因子与湿度因子2个主因子,进一步通过灰色关联分析得出上述二者分别是影响烟株农艺性状和烟叶常规化学成分的主因子。以上结果表明,确定茄衣烟株移栽期的主要气候因子依据为大田生育期的气温、降水量和相对湿度的综合配置。

**关键词** 气候资源配置; 茄衣烟叶; 多元统计分析; 因子分析; 灰色关联度分析

**中图分类号** S572 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)03-0167-09

雪茄是由经过干燥及发酵的烟叶制作而成的一种烟草制品,因具有香气浓郁、劲头大、焦油量低等特点被消费者所接受<sup>[1]</sup>。近年来,国产雪茄销售额保持快速增长,然而同国外优质雪茄原料相比,我国雪茄原料存在香气不足、灰色较差、油分偏少等问题<sup>[2]</sup>。这些短板限制了优质国产雪茄原料的供给,已然成为制约中式雪茄发展的关键因素。

气候是优质雪茄烟叶形成的关键因素<sup>[3]</sup>,烟株大田生长阶段各气象因子的大小、分配与组合都与优质雪茄烟叶品质的形成密切相关<sup>[4]</sup>。陶健等<sup>[5]</sup>研究表明,古巴产区气候资源的时空配置是优质茄衣品质形成的关键因素。王会青等<sup>[6]</sup>研究表明,在湖南各雪茄烟种植区中,怀化麻阳县的气候条件与古巴优质茄衣产区较为相似,可以作为茄衣生产潜力区。相较于茄芯烟叶,茄衣烟叶的种植对于气候的要求更为苛刻<sup>[7]</sup>。目前,我国针对茄衣烟叶栽培技术的研究主要集中于种植环境、耕作方式、施肥用量等方面<sup>[8]</sup>。因此,合理安排烟草的大田生育期,配置烟叶生长发育过程中的光、温、水供应,降低自然条件的

限制对于促进烟株的生长发育及烟叶品质的形成至关重要。齐飞等<sup>[9]</sup>研究发现,通过调整移栽期以改变烟株生育期内的气象条件可以使成熟烟叶的栅栏组织与海绵组织厚度减小,且显著影响了烟叶烟碱与致香性物质含量;吴疆等<sup>[10]</sup>研究表明,四川达州白肋烟移栽期的调整会显著影响其大田期的气候条件,进而改变烟株的发育进程。目前关于大田期气候条件对烟草生长发育以及内在品质的影响研究多集中于烤烟与白肋烟,而关于雪茄烟方面的报道较少,且影响优质茄衣生产的主导气候因子仍不明确。

本试验以茄衣品种“云雪1号”为试验材料,通过调整移栽期以改变其大田生育期内的气候条件,采用多元分析法探究气候配置及其对雪茄烟生长发育及烟叶品质的影响,以为优质茄衣烟叶生产提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2022年在湖南省怀化市麻阳苗族自治县

收稿日期: 2023-10-13

基金项目: 中国烟草总公司湖南省公司重点研发项目(HN2022KJ02); 湖南省烟草公司怀化市公司科技计划项目(怀烟叶技2020001号)

刘勇军, E-mail: 437962268@qq.com

通信作者: 欧波涛, E-mail: zobt@163.com

石羊哨乡洞溪村(109°39'E、27°54'N,海拔300 m)进行。试验地年平均气温16.4℃,年降水量1200~1500 mm,无霜期为265~290 d,年日照时数在962~1452 h。供试茄衣品种云雪1号,试验地前茬作物为水稻。试验田土壤为粉黏壤土,土壤理化性质为pH 4.98、速效钾48.87 mg/kg、碱解氮189.00 mg/kg、速效磷25.23 mg/kg、有机质32.09 g/kg、交换性钙57.63 mg/kg、交换性镁411.88 mg/kg。

## 1.2 试验设计

本试验通过设置不同移栽期处理以改变烟株田间生长的气候资源配置,共设置4个处理,T1:4月5日移栽,T2:4月15日移栽,T3:4月25日移栽,T4:5月5日移栽。采用随机区组设计,行株距均为120 cm×40 cm,每个处理设置3次重复,共12个小区。每个小区采用2行区种植,每行栽烟50株。移栽方式采用常规膜上移栽,肥料用量分别为N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 360 kg/hm<sup>2</sup>。全部的磷肥和50%的氮肥、钾肥于移栽前条施,50%的

氮肥、钾肥于移栽后10、30 d分2次溶水灌根追施。田间管理依据当地《雪茄烟叶生产技术规程》进行。中部叶采收后,按照优质雪茄烟晾制工艺于晾房中进行晾制。中部叶晾制结束后,置于温度45℃、相对湿度80%的恒温恒湿箱中进行发酵,发酵时间为30 d,发酵结束后将烟叶取出待测。

## 1.3 大田生育期气象数据

怀化市麻阳苗族自治县气象数据由湖南省气象局提供,基础气象数据包括30 a(1991—2020年)逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量、相对湿度、日照时数等气候指标。结合当地生产实际,依上述数据计算不同移栽期处理下烟株大田生长各时段(烟株大田生长时段移栽后30 d内,S1;移栽后45 d内,S2;移栽后60 d内,S3;移栽至中部叶采收,S4)的积温、≥10℃有效积温、总温差、总降水量、平均昼夜温差、平均气温、平均日照时数、平均相对湿度等气候指标的配置结果,计算方法参照文献[11-12]。

表1 2022年不同移栽期处理下烟株大田生长各时段

Table 1 Growth periods of tobacco plants under different transplanting periods in 2022

| 时段编号<br>Period number | 对应大田期<br>Corresponding field period             | 生长时段(月/日)<br>Growth periods(month/day)                               |
|-----------------------|---|--|
| S1                    | 移栽后30 d内<br>Within 30 d after the transplanting | T1(04/05—05/05); T2(04/15—05/15)<br>T3(04/25—05/25); T4(05/05—06/04) |
| S2                    | 移栽后45 d内<br>Within 45 d after the transplanting | T1(04/05—05/20); T2(04/15—05/30)<br>T3(04/25—06/04); T4(05/05—06/18) |
| S3                    | 移栽后60 d内<br>Within 60 d after the transplanting | T1(04/05—06/04); T2(04/15—06/14)<br>T3(04/25—06/23); T4(05/05—07/03) |
| S4                    | 移栽至中部叶采收<br>Transplant to harvest               | T1(04/05—07/03); T2(04/15—07/13)<br>T3(04/25—07/23); T4(05/05—08/02) |

## 1.4 烟株农艺性状观察与测定

每个移栽处理标记10株生长一致烟株进行观察,参照YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查测量方法》于移栽后30、45、60 d测定各处理农艺性状。具体指标包括株高、茎围、最大叶长、最大叶宽、有效叶数和节距。

## 1.5 烟叶常规化学成分

不同移栽处理烟叶发酵后进行常规化学成分(总氮、蛋白质、烟碱、总糖、还原糖、钾、氯)的测定。按照YC/T 160—2002、YC/T 161—2002方法测定烟叶中的总氮和烟碱含量,YC/T 249—2008方法测定蛋白质含量,YC/T 159—2019方法测定总糖和还原糖含量,YC/T 162—2011方法测定氯含量,YC/T 217—2007方法测定钾含量。

## 1.6 数据处理

采用Microsoft Excel 2021进行平均值与标准差的计算;采用SPSS 25.0进行Duncan's差异显著性分析与因子分析,因子分析中综合因子的计算方法参照文献[13];采用Python 3.9进行相关性分析和灰色关联度分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 茄衣烟株不同生育期气候资源配置情况

为明确不同移栽期下茄衣烟株大田生育期的气候配置情况,研究了1991—2020年4—7月的平均气温、平均降水量、平均相对湿度、平均日照时数、平均昼夜温差5个气候指标的变化(表2)。由表2可知,怀化地区在4—7月的平均气温和平均日照时数逐渐

上升,与4—6月相比,7月上述2个气候指标与4—6月相比均显著升高( $P<0.05$ ),增长幅度分别为11.71%~61.42%和67.19%~88.66%;平均降水量、平均相对湿度呈先增高后降低趋势,分别在6月和5月达到最高;平均昼夜温差在4—6月逐渐降低,而7月的平均昼夜温差较6月显著升高。

表2 1991—2020年4—7月气候指标变化

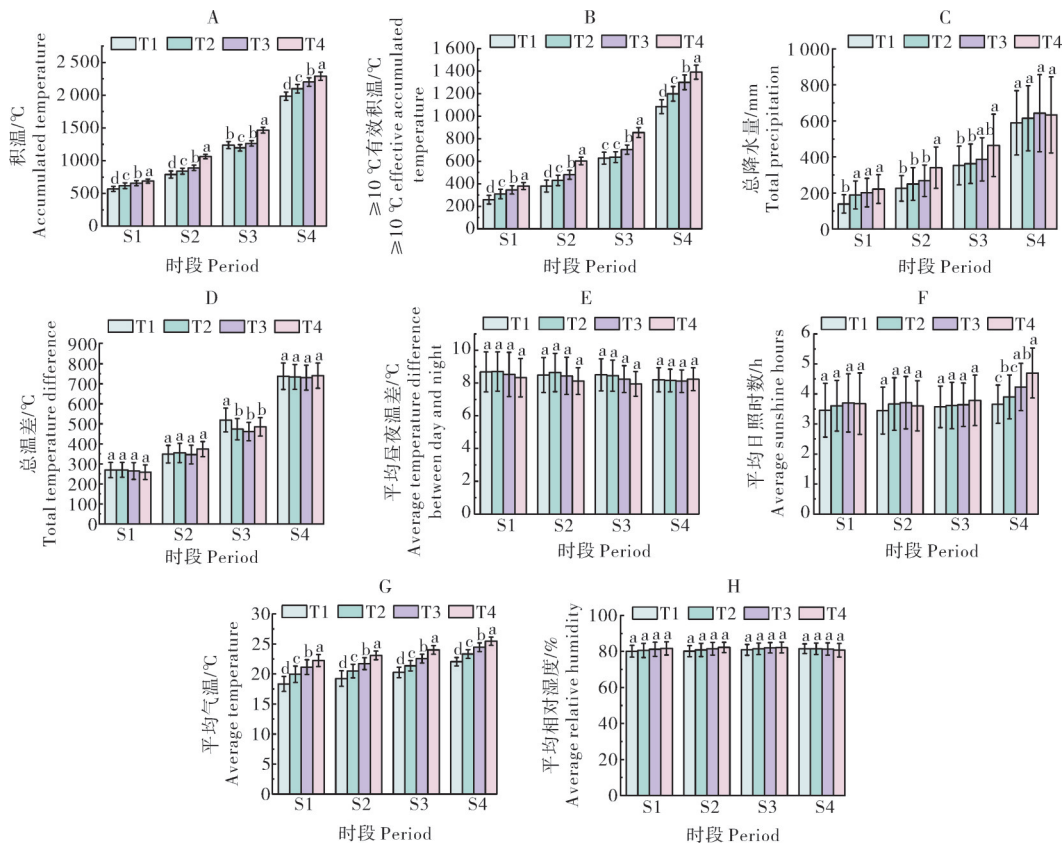
Table 2 Change in climate indicators from April to July, 1991 to 2020

| 月份<br>Month | 平均气温/℃<br>Average temperature | 平均降水量/mm<br>Total precipitation | 平均相对湿度/%<br>Average relative humidity | 平均日照时数/h<br>Average sunshine hours | 平均昼夜温差/℃<br>Average temperature difference between day and night |
|-------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|
| 4月 April    | 17.55±0.22d                   | 4.27±0.34b                      | 77.98±1.21b                           | 3.35±0.20b                         | 8.59±0.26a   |
| 5月 May      | 21.86±0.14c                   | 6.63±0.45a                      | 83.01±0.51a                           | 3.66±0.19b                         | 8.45±0.24a   |
| 6月 June     | 25.36±0.19b                   | 8.38±0.76a                      | 80.93±0.78ab                          | 3.78±0.19b                         | 7.65±0.15b   |
| 7月 July     | 28.33±0.25a                   | 6.28±0.85ab                     | 79.53±0.73b                           | 6.32±0.27a                         | 8.56±0.19a   |

注:同列不同小写字母表示不同气候指标内差异显著( $P<0.05$ ),下同。Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different climate indicator ( $P<0.05$ ), the same as follows.

为进一步研究气候配置结果,计算各移栽处理下的烟株大田生长各个时段的积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温、总温差、总降水量、平均昼夜温差、平均气温、平均日照时数、平均相对湿度等气候参数的30 a长期变化(图1)。由图1可知,随移栽期推迟烟株生长不

同时段内的积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温、平均气温逐渐升高,以T4处理最高,与T1相比,增长幅度分别为13.37%~25.73%、21.99%~37.00%、13.37%~17.56%;进一步分析发现,各处理S3—S4时段内积温和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温较S1—S2时段内增长较多,增



A: 积温 Accumulated temperature; B:  $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温  $\geq 10^\circ\text{C}$  effective accumulated temperature; C: 总降水量 Total precipitation; D: 总温差 Total temperature difference; E: 平均昼夜温差 Average temperature difference between day and night; F: 平均日照时数 Average sunshine hours; G: 平均气温 Average temperature; H: 平均相对湿度 Average relative humidity.

图1 1991—2020年麻阳县烟株不同大田生育期内各时段的气候指标变化

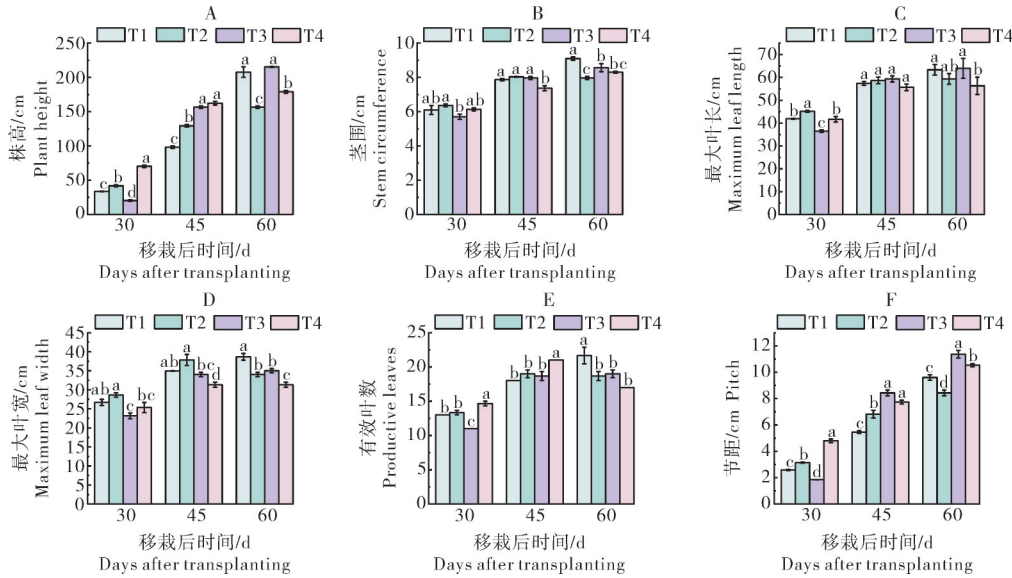
Fig. 1 The change of climate indicators in different fields of tobacco plants in Mayang County from 1991 to 2020

长幅度分别为6.53%~56.13%、12.74%~71.48%。各处理总降水量除S4时段外均以T4处理最高,且显著高于T1处理;就平均日照时数而言,S1-S3时段内各处理均无显著差异,S4时段内T4处理显著高于T1、T2处理;而各处理的平均昼夜温差与平均相对湿度在不同时段内均无显著差异。

2.2 气候资源配置对茄衣烟株农艺性状的影响

由图2可知,在移栽后30 d,不同处理烟株的株高、有效叶数、节距均表现为T4>T2>T1>T3,最

大叶长与最大叶宽表现为T2>T1>T4>T3;移栽后45 d,各移栽处理的株高与有效叶数均表现为T4高于或显著高于其他3个处理;移栽后60 d,T1与T3的株高与最大叶长均高于或显著高于其他2个处理。进一步研究发现,T3处理的株高、最大叶长、节距在移栽后30~45 d增长幅度较大,分别为670.49%、62.56%、172.04%,表明T3处理在该时段内的气候条件下更适于雪茄烟株的生长发育。



A: 株高 Plant height; B: 茎围 Stem circumference; C: 最大叶长 Maximum leaf length; D: 最大叶宽 Maximum leaf width; E: 有效叶数 Productive leaves; F: 节距 Pitch.

图2 不同移栽期处理雪茄烟的农艺性状

Fig. 2 Agronomic traits of cigar tobacco under different transplanting period treatments

2.3 气候资源配置对茄衣烟叶常规化学成分含量的影响

由表3可知,各移栽期处理发酵后烟叶的化学成分及其比值差异较大。其中发酵后烟叶的总糖、烟碱、总氮、蛋白质含量均随移栽期的推迟而降低,降幅分别为41.48%~64.76%、15.61%~45.09%、

7.33%~15.67%、10.85%~24.41%,相较于烟碱含量而言,总氮与蛋白质含量随移栽期推迟降低较少,因此,氮碱比随移栽期推迟而升高,增长幅度为25.26%~52.56%。钾含量与钾氯比随移栽期推迟均呈先升高后降低的趋势,且以T3处理最高,分别为46.81 mg/g和8.07。

表3 不同移栽期处理下发酵后烟叶常规化学成分含量

Table 3 Content of conventional chemical components of fermented tobacco leaves under different transplanting period treatments

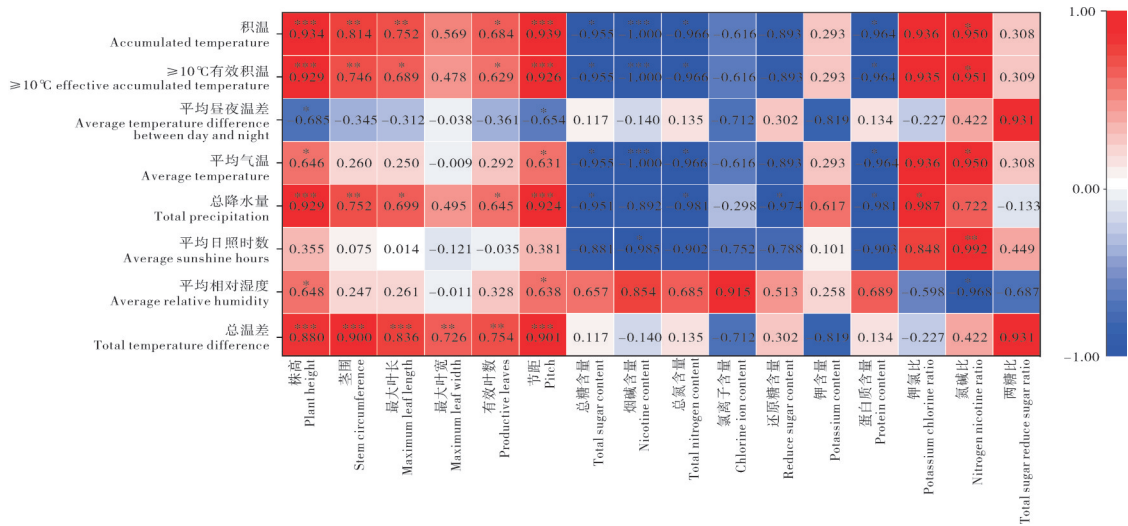
| 处理<br>Treatment | 总糖含量/<br>(mg/g)<br>Total sugar<br>content | 烟碱含量/<br>(mg/g)<br>Nicotine<br>content | 总氮含量/<br>(mg/g)<br>Total<br>nitrogen<br>content | 氯离子含量/<br>(mg/g)<br>Chlorine ion<br>content | 还原糖含量/<br>(mg/g)<br>Reduce<br>sugar content | 钾含量/<br>(mg/g)<br>Potassium<br>content | 蛋白质含量/<br>(mg/g)<br>Protein<br>content | 钾氯比<br>Potassium<br>chlorine<br>ratio | 氮碱比<br>Nitrogen<br>nicotine<br>ratio | 两糖比<br>Total sugar<br>reduce<br>sugar ratio |
|-----------------|---|--|---|---|---|--|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| T1              | 15.72                                     | 29.54                                  | 22.91   | 5.71  | 8.61  | 28.96                                  | 69.11                                  | 5.10                                  | 0.78                                 | 1.82  |
| T2              | 9.20                                      | 24.93                                  | 21.23   | 6.72  | 3.92  | 46.01                                  | 61.61                                  | 6.87                                  | 0.85                                 | 2.33  |
| T3              | 6.65                                      | 20.30                                  | 19.42   | 5.80  | 1.81  | 46.81                                  | 52.57                                  | 8.07                                  | 0.95                                 | 3.64  |
| T4              | 5.54                                      | 16.22                                  | 19.32   | 4.31  | 2.45  | 34.22                                  | 52.24                                  | 7.96                                  | 1.19                                 | 2.26  |

2.4 气候指标与烟株农艺性状和烟叶常规化学成分的相关性和特征因子分析

为探究不同气候资源配置的影响。分别对烟株生育期内的8个气候指标与对应时期的烟株农艺性状及烟叶常规化学成分进行相关性分析(图3)。由图3可知,烟株大田期的积温、≥10℃有效积温均与田间烟株的株高、茎围、节距呈极显著( $P<0.01$ 或 $P<0.001$ )正相关,与最大叶长和有效叶数呈显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.01$ )正相关;总温差与烟株农艺性状的所有指标均呈极显著( $P<0.01$ 或 $P<0.001$ )正相关;总降水量与烟株株高和节距呈极显著

( $P<0.001$ )正相关;平均昼夜温差与株高和节距呈显著( $P<0.05$ )负相关。

发酵后烟叶的总糖、烟碱、总氮、蛋白质含量与烟株整个大田生育期内的积温、≥10℃有效积温、平均气温、总降水量呈显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.001$ )负相关;氮碱比与积温、≥10℃有效积温、平均气温、平均日照时数呈显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.01$ )正相关,与平均相对湿度呈显著( $P<0.05$ )负相关;钾氯比和还原糖含量分别与总降水量呈显著( $P<0.05$ )正相关和负相关关系。



红色和蓝色分别代表各指标的正负相关,\*表示0.05水平上显著相关,\*\*表示0.01水平上显著相关,\*\*\*表示0.001水平上显著相关。Red and blue represent a positive and negative correlation for each indicator,\* indicates a significant correlation at 0.05 level,\*\* indicates a significant correlation at 0.01 level,\*\*\* indicates a significant correlation at 0.001 level.

图3 气候指标与烟株农艺性状及发酵后烟叶化学成分相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis between climatic indexes and agronomic traits of tobacco plants and chemical composition of fermented tobacco leaves

在相关性分析的基础上,为提取气候指标中的特征因子,对烟株大田生育期内8项气候指标进行因子分析,提取出气候指标中特征值大于1.000的2个特征因子,贡献率分别为62.761%和29.168%,包含大田生育期气候指标的91.929%(表4)。

由表5可知,除平均气温与平均日照时数外,公因子方差均大于0.9,表明模型可信度较高。积温、≥10℃有效积温、总降水量均对于第一因子 $X_1$ 有较大正载荷值,而总温差对于第一因子 $X_1$ 具有较大的

负载荷值,由于这些气候指标均是某段时间气候因子的加和,故 $X_1$ 可称为气候积累因子,表达式为 $X_1=0.215T_{ac}+0.209T_{ea}+0.043T_{dn}+0.048T_a+0.184T_p+0.233T_s-0.233H_r+0.230T_d$ ;平均相对湿度对于第二因子 $X_2$ 有较大的正载荷值,故 $X_2$ 可称为湿度因子,平均昼夜温差与湿度因子有较大的负载荷值,表达式为 $X_2=-0.065T_{ac}-0.049T_{ea}-0.383T_{dn}+0.235T_a-0.001T_p-0.166H_s+0.612H_r-0.144T_d$ 。根据两因子得分与贡献率可构建综合因子 $F$ 计算数学模型, $F=$

表4 烟株大田生育期内气候指标所提取公因子的特征值、方差贡献率和累计贡献率

Table 4 The characteristic value, variance contribution rate and cumulative contribution rate of the common factors extracted from the climate indexes during the growth period of cigar plants in the field

| 因子 Factor | 特征值 Eigenvalue | 方差贡献率/% Variance contributionrate | 累计贡献率/% Cumulative contributionrate |
|-----------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| $X_1$     | 6.013          | 62.761                            | 62.761                              |
| $X_2$     | 1.314          | 29.168                            | 91.929                              |

$0.682X_1 + 0.371X_2$ 。

## 2.5 气候指标与烟株农艺性状和烟叶常规化学成分的灰色关联分析

将烟株农艺性状指标与发酵后烟叶的化学成分作为参考序列,3个气候指标特征因子作为比较序列,对各指标进行标准化缩放后分别进行灰色关联度分析,以消除量纲影响。由表6可知,3个气候指标特征因子与茎围、最大叶长、最大叶宽关联度较高,

说明这些气候因子是烟株茎围与叶片大小的增长关系密切。根据灰色关联度排序可以发现,8个气候指标所提取出的3个特征因子与除节距外的其他烟株农艺性状指标与的灰色关联顺序均为 $X_1 > F > X_2$ ,而与节距的灰色关联顺序为 $F > X_1 > X_2$ 。由此可知,在怀化烟区烟株大田生长阶段,气温与降水量适当增加可以促进烟株与叶片的生长。

表5 烟株大田生育期内气候指标得分公因子载荷矩阵与得分系数矩阵

Table 5 Common factor load matrix and score coefficient matrix during the fertility period of tobacco field

| 气候指标<br>Climate indices   | 因子载荷矩阵<br>Factor load matrix |        | 得分系数矩阵<br>Score coefficient matrix |        | 公因子方差<br>Variance of main factors |
|---|------------------------------|--------|------------------------------------|--------|-----------------------------------|
|   | $X_1$                        | $X_2$  | $X_1$                              | $X_2$  |                                   |
| 积温 Accumulated temperature ( $T_{ac}$ )   | 0.954                        | 0.258  | 0.215                              | -0.065 | 0.976                             |
| $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温 $\geq 10^\circ\text{C}$ effective accumulated temperature ( $T_{ea}$ ) | 0.955                        | 0.285  | 0.209                              | -0.049 | 0.994                             |
| 平均昼夜温差<br>Average temperature difference between day and night ( $T_{dn}$ )                         | 0.515                        | -0.810 | 0.043                              | -0.383 | 0.921                             |
| 平均气温 Average temperature ( $T_a$ )  | 0.692                        | 0.640  | 0.048                              | 0.235  | 0.889                             |
| 总降水量 Total precipitation ( $T_p$ )  | 0.921                        | 0.348  | 0.184                              | -0.001 | 0.970                             |
| 平均日照时数 Average sunshine hours ( $H_s$ )   | 0.852                        | 0.058  | 0.233                              | -0.166 | 0.729                             |
| 平均相对湿度 Average relative humidity ( $H_r$ )  | -0.001                       | 0.982  | -0.233                             | 0.612  | 0.964                             |
| 总温差 Total temperature difference ( $T_d$ )  | -0.939                       | 0.175  | 0.230                              | -0.114 | 0.911                             |

表6 气候指标与烟株农艺性状的灰色关联度

Table 6 Gray associations of climatic indicators and agronomic traits in tobacco plants

| 项目<br>Items              | 气候积累因子<br>Climatic accumulation factor<br>( $X_1$ ) | 湿度因子<br>Humidity factor<br>( $X_2$ ) | 综合因子<br>Comprehensive factor<br>( $F$ ) | 关联顺序<br>Order of degree of grey incidence |
|--------------------------|---|--------------------------------------|---|---|
| 株高 Plant height          | 0.613 02  | 0.609 21                             | 0.611 81                                | $X_1 > F > X_2$                           |
| 茎围 Stem circumference    | 0.889 04  | 0.840 25                             | 0.884 14                                | $X_1 > F > X_2$                           |
| 最大叶长 Maximum leaf length | 0.817 64  | 0.814 07                             | 0.816 12                                | $X_1 > F > X_2$                           |
| 最大叶宽 Maximum leaf width  | 0.846 60  | 0.843 43                             | 0.845 51                                | $X_1 > F > X_2$                           |
| 有效叶数 Productive leaves   | 0.807 22  | 0.799 01                             | 0.804 21                                | $X_1 > F > X_2$                           |
| 节距 Pitch                 | 0.731 54  | 0.729 03                             | 0.754 53                                | $F > X_1 > X_2$                           |

由表7可知,3个气候特征因子对于发酵后烟叶的总氮、蛋白质含量关联度较高,关系密切。根据灰色关联度排序可以发现,总糖、烟碱、氯含量的关联顺序表现为 $X_2 > X_1 > F$ ;总氮、还原糖、蛋白质含量、氮碱比、两糖比的关联顺序表现为 $X_2 > F > X_1$ 。这说明湿度因子对于发酵后烟叶的化学成分含量及比值影响较大,而气候积累因子与综合因子影响相对较小。因此,烟株大田生育期内平均相对湿度的改变对于发酵后烟叶的各项化学成分含量及比值的协调性影响较大。

## 3 讨论

本研究通过多元统计分析探究了不同气候资源

配置对于茄衣烟株大田生长及发酵后烟叶品质的影响,明确了对于影响茄衣烟株大田长势及发酵后烟叶化学成分的主要气候因子分别为气候积累因子(积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温、总温差、总降水量)与湿度因子(平均相对湿度)。

气候是烟草栽培最基础的生态条件,是优质烟叶生产的决定性因素,更是植烟地域选择的主导因素<sup>[14]</sup>。刘好宝<sup>[15]</sup>的研究发现,相较于土壤因素,气候因素对于烤烟清甜香型的质量特征贡献率较大。易建华等<sup>[16]</sup>的研究表明,湖南烟区气候是影响烟叶还原糖、烟碱与总氮的主要生态因素。大田生育期内,各气象因子的分配和组合都与烟株生长发育与

表7 气候指标与发酵后烟叶化学成分的灰色关联度

Table 7 Gray correlation degree of climatic indicators and the chemical composition of post-fermented tobacco leaves

| 项目<br>Items                        | $X_1$    | $X_2$    | $F$      | 关联顺序<br>Order of degree of grey incidence |
|------------------------------------|----------|----------|----------|---|
| 总糖含量 Total sugar content           | 0.706 38 | 0.767 37 | 0.548 25 | $X_2 > X_1 > F$                           |
| 烟碱含量 Nicotine content              | 0.708 37 | 0.889 54 | 0.653 03 | $X_2 > X_1 > F$                           |
| 总氮含量 Total nitrogen content        | 0.729 87 | 0.920 91 | 0.778 60 | $X_2 > F > X_1$                           |
| 氯离子含量 Chlorine content             | 0.730 78 | 0.842 36 | 0.695 50 | $X_2 > X_1 > F$                           |
| 还原糖含量 Reduce sugar content         | 0.586 20 | 0.706 28 | 0.638 27 | $X_2 > F > X_1$                           |
| 钾含量 Potassium content              | 0.715 16 | 0.806 62 | 0.847 83 | $F > X_2 > X_1$                           |
| 蛋白质含量 Protein content              | 0.818 03 | 0.915 32 | 0.887 24 | $X_2 > F > X_1$                           |
| 钾氯比 Potassium chlorine ratio       | 0.862 76 | 0.823 80 | 0.844 92 | $X_1 > F > X_2$                           |
| 氮碱比 Nitrogen nicotine ratio        | 0.668 60 | 0.834 18 | 0.773 19 | $X_2 > F > X_1$                           |
| 两糖比 Total sugar reduce sugar ratio | 0.736 34 | 0.807 83 | 0.736 75 | $X_2 > F > X_1$                           |

烟叶品质的形成密切相关<sup>[17]</sup>,即便是在同一地区,由于移栽时期的改变,烟草各生长发育阶段所处的光、水、热等气候条件也会产生显著性差异<sup>[3]</sup>。本研究结果表明,怀化烟区平均气温与平均日照时数在4—7月逐月升高,平均昼夜温差在4—6月降低,7月升高。进一步对各移栽期处理下烟株生长各时段的8项气候指标分析发现,随着移栽期的改变,各处理不同时段内气候指标差异较大,这是由于烟株生育期随着移栽期的推迟而整体延后。这与吴疆等<sup>[10]</sup>对于四川白肋烟在不同移栽期下的气候指标研究结果一致。

本研究通过相关性分析发现烟株生育期内气候指标与烟株农艺性状及发酵后烟叶化学成分的关系。结果显示,对于烟株田间生长与叶片发育而言,移栽后60 d内的积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温、平均气温、总温差、平均昼夜温差均对烟株农艺性状各指标有着不同程度的影响。这是由于温度对于烟草生长至关重要,生长前期适当低温有利于茎秆生长发育,随后温度升高有助于光合产物的转运与积累,同时夜间气温的降低可使叶片呼吸效率减弱,较大的昼夜温差对于其干物质的积累起到促进作用<sup>[18-20]</sup>;对于发酵后烟叶化学成分而言,移栽至中部叶采收前的积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温、平均气温及日照时数与烟碱及总氮含量呈现较强的负相关性,而氮碱比则与上述气候指标呈显著正相关性。这可能是由于日照时数增多至一定程度,降低了氮代谢相关的硝酸还原酶活性,从而导致含氮物质的减少所致<sup>[20]</sup>。

因子分析的目的是找到怀化烟区各气候指标中具有主导作用的因子,本研究通过对烟株大田生育期内8个气候指标进行因子分析,提取出怀化烟区各气候指标中具有主导作用的气候积累因子与湿度因子,并基于此对关键气候因子与烟株农艺性状及发

酵后烟叶化学成分进行灰色关联分析,根据参考序列(烟株农艺性状及发酵后烟叶化学成分)与比较序列(8项气候指标所提取出的特征因子)曲线几何形状的相似程度来测量各因素间的影响程度。结果表明,积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温、总温差、总降水量对于气候积累因子贡献较大,且该因子对于烟株农艺性状中除节距外其它指标关联度最高,说明烟株大田生长过程中气候指标积累值对于烟株田间长势影响较大,这与王硕立等<sup>[21]</sup>对于遮荫栽培下茄衣烟株生长发育的研究结果类似;另外,平均相对湿度对于湿度因子贡献较大,且该因子与发酵后烟叶化学成分的相关度最高(钾含量和钾氯比值除外)。这可能是由于环境湿度的改变使烟株叶片的气孔开闭程度发生改变,间接影响叶片光合作用强度,进而使烟叶化学成分发生改变<sup>[22]</sup>。

因此,在茄衣烟株在移栽期的选择上,应更加注重大田生育期内气温、降水量以及相对湿度的综合配置,以满足茄衣烟株大田生长过程中对于气候条件的要求,达到提升烟叶质量的目的。尽管本研究明确了对茄衣烟株生长及烟叶品质起主导作用的气候因子,但本研究仅针对单一雪茄烟产区的气候条件进行研究,未来应进一步扩大研究范围,综合国内外雪茄烟产区的气候条件,对影响雪茄烟叶品质的关键气候指标进行深入挖掘。此外,不同气候资源配置下的烟株动态生长模型及分子调控机制仍需进一步研究。

## 参考文献 References

- [1] TRIPATHI S N, BHATTACHARYA B. Physical and chemical quality characteristics of cigar wrapper varieties (*N. tabacum* L.) [J]. Indian agriculturist, 1986, 30(3): 205-212.

- [2] 李爱军,秦艳青,代惠娟,等. 国产雪茄烟叶科学发展刍议[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 112-114. LI A J, QIN Y Q, DAI H J, et al. On scientific development of China's cigar leaf[J]. *Acta tabacaria sinica*, 2012, 18(1): 112-114 (in Chinese with English abstract).
- [3] 彭新辉. 土壤和气候及其互作对湖南优质烟区烤烟品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009. PENG X H. Effects of soil and climate and its interaction on quality of flue-cured tobacco in hunan high-quality tobacco regions [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [4] 唐远驹. 试论特色烟叶的形成和开发[J]. 中国烟草科学, 2004, 25(1): 10-13. TANG Y J. Formation and development of tobacco characteristics[J]. *Chinese tobacco science*, 2004, 25(1): 10-13 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陶健,刘好宝,辛玉华,等. 古巴Pinar del Rio省优质雪茄烟种植区主要生态因子特征研究[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(4): 62-69. TAO J, LIU H B, XIN Y H, et al. Research on characteristics of major ecological factors in growing areas for premium cigar tobacco in Pinar del Rio Province of Cuba [J]. *Acta tabacaria sinica*, 2016, 22(4): 62-69 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王会青,彭曙光,时向东,等. 基于气候条件的湖南雪茄烟叶种植区分类研究[J]. 南方农业学报, 2023, 54(8): 2228-2235. WANG H Q, PENG S G, SHI X D, et al. Classification of cigar tobacco leaf planting areas in Hunan based on climatic conditions[J]. *Journal of southern agriculture*, 2023, 54(8): 2228-2235 (in Chinese with English abstract).
- [7] 秦艳青,李爱军,范静苑,等. 优质雪茄茄农生产技术探讨[J]. 江西农业学报, 2012, 24(7): 101-103. QIN Y Q, LI A J, FAN J Y, et al. Discussion on production technology of high-quality cigar wrapper[J]. *Acta agriculturae Jiangxi*, 2012, 24(7): 101-103 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王浩雅,左兴俊,孙福山,等. 雪茄烟外包叶的研究进展[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(5): 71-76. WANG H Y, ZUO X J, SUN F S, et al. Advance in cigar wrapper tobacco[J]. *Chinese tobacco science*, 2009, 30(5): 71-76 (in Chinese with English abstract).
- [9] 齐飞,刘国顺,史宏志,等. 移栽期对烤烟化学成分及成熟烟叶组织结构的影响[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(3): 37-41. QI F, LIU G S, SHI H Z, et al. Effects of transplanting timing on chemical composition and tissue structure in ripe flue-cured tobacco leaves [J]. *Acta tabacaria sinica*, 2011, 17(3): 37-41 (in Chinese with English abstract).
- [10] 吴疆,杨兴友,靳冬梅,等. 调节移栽期对四川达州白肋烟生育期气候指标的影响[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(2): 83-87. WU J, YANG X Y, JIN D M, et al. Effects of adjusting transplanting dates on climatic indices of growth stages of burley tobacco in Dazhou [J]. *Chinese tobacco science*, 2014, 35(2): 83-87 (in Chinese with English abstract).
- [11] 林丽燕,陈正洪,李建平,等. 影响鄂西烤烟品质的关键气候因子与关键期的诊断分析[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(3): 60-64. LIN L Y, CHEN Z H, LI J P, et al. Analysis of key climatic factors affecting quality of flue-cured tobacco in western Hubei Province [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(3): 60-64 (in Chinese with English abstract).
- [12] 武云霞,郭长春,孙永健,等. 水氮互作下直播稻结实期冠层小气候与米质的关系[J]. 中国水稻科学, 2021, 35(3): 269-278. WU Y X, GUO C C, SUN Y J, et al. Relationship between canopy microclimate at grain filling stage and rice quality of directly seeded rice under water and nitrogen interaction [J]. *Chinese journal of rice science*, 2021, 35(3): 269-278 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张帆,秦志翔,郝文琴,等. 不同光质下外源硒对水培生菜生长和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2024, 33(2): 245-255. ZHANG F, QIN Z X, HAO W Q, et al. Effect of exogenous selenium on growth and quality of hydroponic lettuce under different light qualities [J]. *Acta agriculturae boreali-occidentalis sinica*, 2024, 33(2): 245-255.
- [14] 杨园园,史宏志,杨军杰,等. 基于移栽期的气候指标对烟叶品质风格的影响[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(6): 21-26. YANG Y Y, SHI H Z, YANG J J, et al. Effect of climate indices based on different transplanting date on tobacco quality and style [J]. *Chinese tobacco science*, 2014, 35(6): 21-26 (in Chinese with English abstract).
- [15] 刘好宝. 清甜香烤烟质量特色成因及其关键栽培技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012. LIU H B. Study on the quality characteristics and key cultivation techniques of flue-cured tobacco [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012 (in Chinese with English abstract).
- [16] 易建华,彭新辉,邓小华,等. 气候和土壤及其互作对湖南烤烟还原糖、烟碱和总氮含量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4467-4475. YI J H, PENG X H, DENG X H, et al. The impact of climate, soil and their interactions on reducing-sugar, nicotine and total nitrogen contents of flue-cured tobacco in Hunan high-quality tobacco region [J]. *Acta ecologica sinica*, 2010, 30(16): 4467-4475 (in Chinese with English abstract).
- [17] 刘德玉,李树峰,罗德华,等. 移栽期对烤烟产量、质量和光合特性的影响[J]. 中国烟草学报, 2007, 13(3): 40-46. LIU D Y, LI S F, LUO D H, et al. Effects of transplanting timing on yield, quality, and photosynthesis characteristics in flue-cured tobacco [J]. *Acta tabacaria sinica*, 2007, 13(3): 40-46 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. LIU G S. Tobacco cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese).
- [19] 邹凯,肖志翔,邓小华,等. 邵阳主产烟县气候生态适宜性研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2014, 29(2): 278-284. ZOU K, XIAO Z X, DENG X H, et al. Study on climate-ecology suitability of Shaoyang's main tobacco-growing counties in Hunan [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (natural science edition)*, 2014, 29(2): 278-284 (in Chinese with English abstract).



- [20] 文建川,景元书.烟草化学成分与气象因子关系研究进展[J].河南农业科学,2019,48(4):1-8.WEN J C, JING Y S. Research progress on the relationship between tobacco chemical composition and meteorological factors [J]. Journal of Henan agricultural sciences, 2019, 48(4): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王硕立,薛子钟,丁松爽,等.遮荫栽培条件下茄衣烟田微气候特征及其对烟株生长发育和烟叶质量的影响[J].南方农业学报,2023,54(8):2218-2227. WANG S L, XUE Z Z, DING S S, et al. Field microclimate characteristics and their effects on the growth and development and quality of wrapper tobacco leaf under shading cultivation [J]. Journal of southern agriculture, 2023, 54(8): 2218-2227 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张增林,杨杰,郭常江,等.设施生菜光合和蒸腾速率影响因素分析与预测模型构建[J].农业机械学报,2024,55(1):339-349. ZHANG Z L, YANG J, GUO C J, et al. Analysis and model construction of factors affecting photosynthesis and transpiration rates in facility lettuce [J]. Transactions of the CSAM, 2024, 55(1): 339-349.

## Climate resource allocation for production of tobacco leaves for cigar wrapper based on multivariate statistical analysis

LIU Yongjun<sup>1</sup>, XING Zhuoran<sup>2</sup>, SHI Xiangdong<sup>2</sup>, DING Songshuang<sup>2</sup>,  
LIU Xudong<sup>3</sup>, LUO Xiaohong<sup>3</sup>, OU Botao<sup>4</sup>

1. Hunan Provincial Institute of Tobacco Science, Changsha 410004, China; 2. Key Laboratory of Tobacco Cultivation in Tobacco Industry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

3. Mayang Miao Autonomous County Branch of Huaihua Tobacco Company of Hunan Province, Mayang 419400, China;

4. Huaihua Tobacco Company of Hunan Province, Huaihua 418000, China

**Abstract** “Yunxue 1” variety and the multivariate statistical analysis was used to study the climate resource allocation basis of tobacco leaves for cigar wrapper and its impact on the agronomic traits of tobacco plants and the chemical composition of fermented tobacco leaves by changing the climate indicators during the growth period of tobacco plants through adjusting the period of transplanting to study the basis of climate resource allocation for the production of tobacco leaves for cigar wrapper. The results of correlation analysis showed that the accumulated temperature, effective accumulated temperature  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , total precipitation, and total temperature difference during the field stage of tobacco plants had a significant impact on every indicator of agronomic traits, with correlation coefficient ranging from 0.478 to 0.939. The accumulated temperature, effective accumulated temperature  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and average temperature had a significant impact on the content of total sugar, nicotine, total nitrogen, and protein in tobacco leaves, with correlation coefficient ranging from  $-0.955$  to  $-1.000$ . Two principal factors including climate accumulation factor and humidity factor were extracted from eight climate indicators with factor analysis. The results of grey correlation analysis showed that the two factors mentioned above were the main factors affecting the agronomic traits of tobacco plants and the conventional chemical components of tobacco leaves. It is indicated that the main climatic factors for determining the transplanting period of tobacco plants for cigar wrapper are based on the comprehensive configuration of temperature, precipitation, and relative humidity during the period of field growth.

**Keywords** climate resource allocation; tobacco leaves for cigar wrapper; multivariate statistical analysis; factor analysis; grey relational analysis

(责任编辑:葛晓霞)