

昆明市烤烟大田生育期气温降水的变化特征分析

邓祥¹, 鲁敏^{2*}, 杨燕妮³, 耿琼¹

¹寻甸县气象局, 云南 昆明

²南华县气象局, 云南 南华

³五华区气象局, 云南 昆明

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月9日; 发布日期: 2025年4月16日

摘要

本文基于昆明市烟叶主种植县(区、市)烤烟种植实际, 用气候倾向变化趋势、相关性和距平分析等统计方法, 首次对昆明市烟叶主种植区近63年(1961~2023年), 烤烟大田生育期(4月下旬至9月上旬)的气温和降水, 分各不同生育期做气温和降水的历史演变及变化趋势分析。结果表明, 昆明市烤烟主种植区气温呈显著的上升趋势变化, 上升变化倾向率 $0.018^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 通过了($P > 0.01$)相关性检验, 降水量总体呈微减少趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验; 年代降雨日数呈显著性减少趋势变化, 一般性降雨日数的变化不显著, 1981~1990降水日数最少。最近30多年大雨、暴雨的降水日数呈较明显增多变化, 降水强度和极端性倾向突出。气温距平和K-M曲线突变交汇分析, 突变出现的2007年以后, 突变发生后气温上升变化显著; 降水量K-M曲线出现了5次交汇, 2008年后, 变化显著; 气温“两头低、中间高”, 降水前期少, 中间适当多, 后期少雨的变化特征与清香云烟对气候生境的要求高度吻合。

关键词

昆明市, 烟叶主种植区, 烤烟大田生育期, 变化倾向率, 降水日数

Analysis on the Variation Characteristics of Temperature and Precipitation during the Growth Period of Tobacco Fields in Kunming City

Xiang Deng¹, Min Lu^{2*}, Yanni Yang³, Qiong Geng¹

¹Xundian County Meteorological Station, Kunming Yunnan

*通讯作者。

文章引用: 邓祥, 鲁敏, 杨燕妮, 耿琼. 昆明市烤烟大田生育期气温降水的变化特征分析[J]. 农业科学, 2025, 15(4): 401-411. DOI: 10.12677/hjas.2025.154048

²Nanhua County Meteorological Station, Nanhua Yunnan³Wuhua District Meteorological Bureau, Kunming YunnanReceived: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 9th, 2025; published: Apr. 16th, 2025

Abstract

Based on the actual tobacco cultivation in the main tobacco-growing counties (districts and cities) of Kunming City, this paper uses statistical methods such as climate tendency change trends, correlation analysis, and anomaly analysis to conduct a historical evolution and change trend analysis of temperature and precipitation during the field growth period of flue-cured tobacco (from late April to early September) in the main tobacco planting areas of Kunming City over the past 63 years (1961~2023). The results show that the temperature in the main tobacco planting areas of Kunming City has shown a significant upward trend, with an increasing trend rate of $0.018^{\circ}\text{C}/\text{a}$, which has passed the ($P > 0.01$) correlation test. The total precipitation shows a slightly decreasing trend, but the change is not significant and has not passed the ($P > 0.10$) correlation test. The number of days with rain has shown a significant decreasing trend, while the number of days with general rainfall has not changed significantly. The number of days with precipitation was the least during 1981~1990. In the past 30 years or so, the number of days with heavy rain and rainstorms has increased significantly, with a prominent tendency towards increased precipitation intensity and extreme weather. The anomaly analysis and K-M curve intersection analysis of temperature and precipitation show that a significant mutation occurred after 2007. After the mutation, the temperature increase was significant, and the K-M curve of precipitation intersected five times. After 2008, the change was significant. The temperature pattern of "low at both ends and high in the middle", and the precipitation pattern of "less in the early stage, appropriate in the middle stage, and less in the late stage" are highly consistent with the climatic habitat requirements of the fragrant Yunnan tobacco.

Keywords

Kunming City, Main Tobacco Planting Area, Field Growth Period of Flue-Cured Tobacco, Change Tendency Rate, Number of Precipitation Days

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

昆明市位于东经 $102^{\circ}10'$ ~ $103^{\circ}40'$, 北纬 $24^{\circ}23'$ ~ $26^{\circ}33'$, 是云南省的政治文化中心。境内地势切割深, 山谷间分布着多个山间盆地, 地势总体呈北高南低阶梯状分布, 除北部东川、禄劝的高寒山区外, 大部分区域海拔约 1500~2800 m。市辖有烤烟主种植区禄劝、富民、嵩明、宜良、石林、晋宁、安宁、寻甸 8 个县(区、市)烤烟种植的历史久远, 是云南省内知名的传统烤烟种植区之一, 烟草产业收入已成为昆明市地方重要的经济支柱。在昆明市烤烟主种植区, 烟农的烤烟种植技术和种植积极性高, 烟叶种植收入已成为烟农家庭的主要经济收入来源之一。受高原季风气候的影响, 昆明市辖的 8 个烤烟主种植县(区、市)烤烟生长季内光照、热量和降水条件适中, 大田区时段平均日照时数合计为 739.1 h, 平均气温为 20.3°C ,

平均降水量合计为 656.7 mm。市域主烟区气候除北部高山及少数高寒山区外, 绝大部分区域气候温暖, 日照充足, 夏无酷暑, 降水适中的气候条件均能满足云南优质烤烟生长的需求, 黄中艳等[1]-[3], 邵岩等[4]研究成果。云南是中国知名的优质烤烟种植区, 云烟独特的清香型吸味与云南气候对烤烟品质的影响效应及云南烤烟种植的气候适宜性研究, 在诸多参考文献和研究成果中已有报导, 其中贺升华认为云南烤烟种植的适宜性主要是受制于海拔高度的影响, 大田生长期区光照的成分对成就优质烟叶影响突出[5], 鲁永新等[6]认为云南烤烟种植的适宜性主要受制于热量条件和降水, 云南优质烟叶品质主要受制于烤烟大田生长期的热量、日照和降水的耦合影响效应, 其中对烤烟种植影响最大的气候因素主要突出在热量和降水的区域性和阶段性分布。翟盘茂等[7]近年来, 因受全球气候变暖的大气候背景影响, 气候及气候变化对云南烤烟种植的影响越来越受到广泛重视。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告指出, 近年来, 升温幅度大, 2011~2020 年平均温升相比工业化前(1850~1900 年)增高了 1.09℃, 2001~2020 年较工业化前增暖 0.99℃。可见, 气候正在迅速变暖, 而且这种增暖是全球性的, 气候变化范围广、速度快、强度大、数千年未见。受全球气候变化的影响, 昆明市最近几十年, 特别是 2009 年以来, 极端干旱、暴雨洪涝、强寒潮、大风冰雹等极端天气气候事件多发生。受气候及气候变化的影响, 昆明得天独厚的优质烟叶种植气候生境也发生了相应变化。气候变化对农业的影响的相关研究报导较多, 窦小东等[8], 云南烤烟适种质心向东北延伸, 面积呈增加趋势变化, 但就气候变化对昆明烤烟种植技术的影响研究尚未见报导。气候变化对传统烤烟种植技术提出了更大的挑战, 为应对气候变化的挑战, 最大限度地避免因气候及气候变化给昆明市烤烟种植造成的风险, 提升烤烟种植的精细化生产技术, 稳定优质烟叶产量、质量和烟农收入, 本文以旬为单位划分烤烟大田生育期, 即移栽成活期、伸根期、旺长期、成熟采收期时段, 详尽分析了昆明市烤烟主种植区 8 个县(区、市)1961~2023 年烤烟大田生长期各时段近 63 年气温和降水系列演变, 旨在为昆明市各级政府、烟草部门做烤烟种植、防灾减灾规划、决策和烤烟种植技术升级服务等提供更为可靠、详实的依据, 同时也为气象为烟草种植服务能力的提升和积极防御自然灾害提供了科学依据。

2. 资料与方法

2.1. 气象资料来源及研究时段划分

本文所用气象资料全部来源于云南省气象台开发的(WFOIS)气象服务平台数据库查询, 部分数据来自天擎系统平台和云南省气象台(MDIS)气象资料管理系统地面气象报表文件及昆明市自主研发的气候资源管理、咨询与评价系统分析软件平台。

2.2. 时段划分和因子选取[9] [10]

本文在参阅诸多云南烤烟气候研究成果和文献的基础上, 结合昆明市主烟区近年气候及其变化特征, 首次提出将以旬为单位, 将 4 月下旬至 9 月上旬划分烤烟大田生长期时段, 其中将 4 月下旬至 5 月下旬划分为烤烟移栽成活期、6 月上旬和中旬划分为烤烟伸根期、6 月下旬至 7 月中旬划分为烤烟旺长期、7 月下旬至 9 月上旬划分为烤烟成熟采收期; 文中依次选取了对烤烟种植大田生育期影响突出的热量(气温)和水分(降水)两个气象因子展开分析。

2.2.1. 气候倾向率[9] [10]

气温及其气象要素的长期系列变化, 可采用线性回归方程: $y(x) = a + bx$ 来分析气温及其气象要素的变化率。其中 b 为某气象要素序列的趋势变化率, $b > 0$ 表示呈上升趋势, $b < 0$ 表示呈下降趋势, b 值绝对值的大小可以衡量其趋势上升、下降的幅度。 b 值可由最小二乘法计算得到。计算公式如下:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

2.2.2. 气候趋势系数[9] [10]

气温和降水等气象要素的序列都可看作符合正态分布的随机变量, 其中, 逐年时间是递增序列, 即 $1, 2, 3, 4, \dots, n$ 。如果 n 时刻所对应的要素序列与自然数列相关显著, 表示该要素气候趋势明显, 存在增加(减少)趋势。气象要素与自然序列的相关系数 r_{xy} 可表示为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

r_{xy} 称作气候趋势系数。根据回归理论, 气候趋势系数 r_{xy} 与气候倾向率 b 有如下关系: $b = r_{xy} (\sigma_y / \sigma_x)$ 。其中: σ_y , σ_x 分别是某气象要素(如气温)序列与自然数列的均方差。可以使用通常的相关系数统计检验方法, 检验气候趋势 r_{xy} 是否显著。由于 r_{xy} 是无单位的, 所以可以根据它的数值大小比较不同的气象要素的长期趋势大小。因此, 特别适合用于大范围气象要素场长期趋势的空间分布特征研究。

2.2.3. 距平分析[11]

在气候变化趋势分析中, 运用距平曲线分析方法对某个气象要素的变化趋势分析, 即对某一要素距平值序列 $T_{dx} (x = 1, 2, 3, \dots, n)$, 在样本中某一时刻 x 的距平值为:

$$T_{dx} = T_{(x)} - T_{(v)} \quad (3)$$

式中 $T_{(v)}$ 要素列的平均值。

2.2.4. 年际变化分析[12] [13]

对气温、降水和日照的 10 年变化分段统计, 分析近 63 年要素 X_i (X 为气温、降水等某气象要素, $i = 1, 2, 3, \dots, 10$) 在第 n 统计时段的平均值 $X_{(n)} (n = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

$$X_{(n)} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i \quad (4)$$

2.2.5. K-M 检验法(Mann-Kendall) [12] [13]

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^n \alpha_{ij} \quad (k = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \quad (5)$$

其中, $\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leq x_j \end{cases}$, $1 \leq j \leq I$ 定义统计变量

$$UF_k = \frac{|S_k - E(S_k)|}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad (k = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \quad (6)$$

式中 $E(S_k) = k(k+1)/4$, $\text{Var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72$

UF_k 为标准正态分布, 给定显著水平 a ($a = 0.05$, $u_{0.05} = 1.96$), 若 $|UF_k| \geq Ua/2$, 则表明系存在明显的趋势变化。将时间系列按逆系排列, 再按照上式计算, 同时使

$$\begin{cases} UB_k = -UF_k, & (k=1,2,3,4,\dots,n) \\ k = n+1-k \end{cases}$$

通过分析统计量 UF_k 和 UB_k 可进一步分析系列 X 的趋势变化, 并明确突变时间, 指出突变的区域。若 UF_k 值大于 0 则表示系列呈上升趋势, 小于 0 则表示呈下降趋势; 当它们超过临界值时, 表示上升或下降趋势显著。若 UF_k 和 UB_k 这两条曲线出现交点, 且交点在临界值线之间, 则交点对应的时刻就是突变开始时刻。

3. 结果与分析

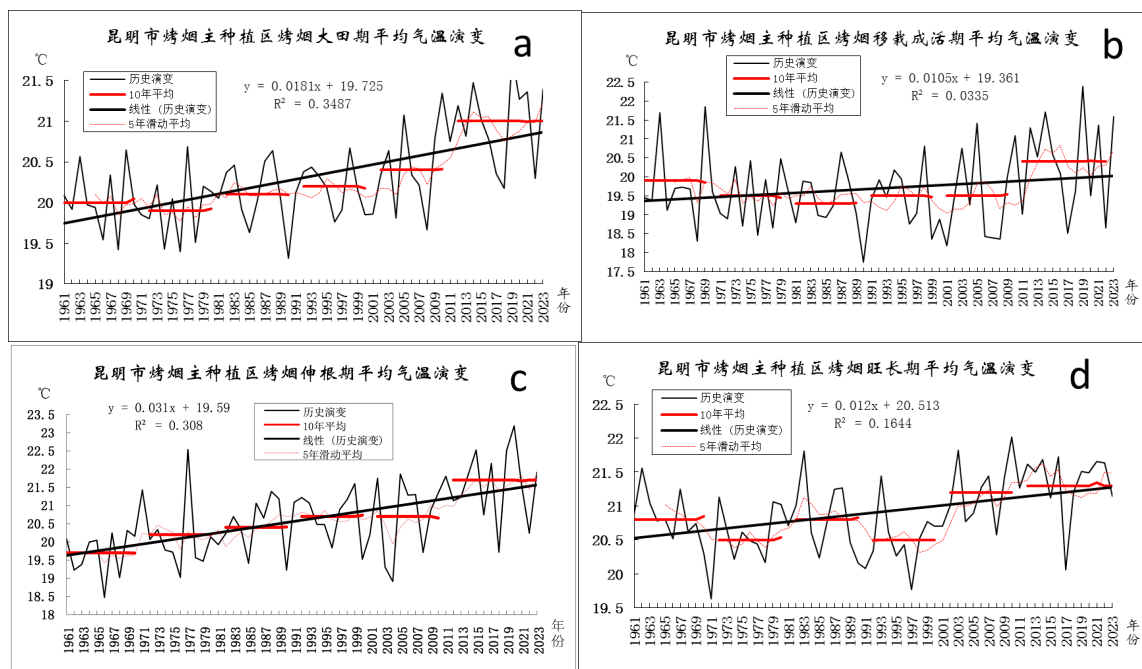
3.1. 气温变化分析

3.1.1. 烤烟大田期气温的年际变化趋势分析

近 63 年(1961~2023 年), 昆明市 8 个烟叶主种植县(区、市)烤烟大田生育期平均气温总体呈上升趋势变化, 变化趋势显著, 通过了($P > 0.01$)相关性检验, 上升变化倾向率 0.018°C/a , 见图 1(a); 移栽成活期平均气温年际间呈上升趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验, 上升变化倾向率 0.011°C/a , 见图 1(b); 伸根期平均气温年际间呈上升趋势变化, 变化趋势显著, 通过了($P > 0.01$)相关性检验, 上升变化倾向率 0.031°C/a ; 见图 1(c), 旺长期平均气温年际间呈上升趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.01$)相关性检验, 上升变化倾向率 0.012°C/a , 见图 1(d); 成熟采烤期平均气温年际间呈上升趋势变化, 变化趋势显著, 通过了($P > 0.01$)相关性检验, 上升变化倾向率 0.02°C/a , 见图 1(e)。距平分析显示, 烤烟大田生育期气温变化在 2010 年后呈持续上升的极显著变化, 2009 年前, 除少数年份正距平外, 绝大多数年份为负距平; 近 14 年中, 除 2018 年为负距平外, 其余各年全部为正距平见图 1(al)。

3.1.2. 烤烟大田期气温的突变特征分析

昆明市烟叶主种植区烤烟大田期气温的正序列曲线 UF 显示(图 2)。1966~2023 年 UF 曲线总体呈上升趋势变化, 其中 1978 年~2001 年 UF 曲线呈波动上升趋势变化, 2002 年~2023 年, UF 曲线呈显著的上升趋势变化, UF 曲线在置信区间与 UB 曲线交汇点出现在 2007 年, 通过了 0.05 的信度检验。



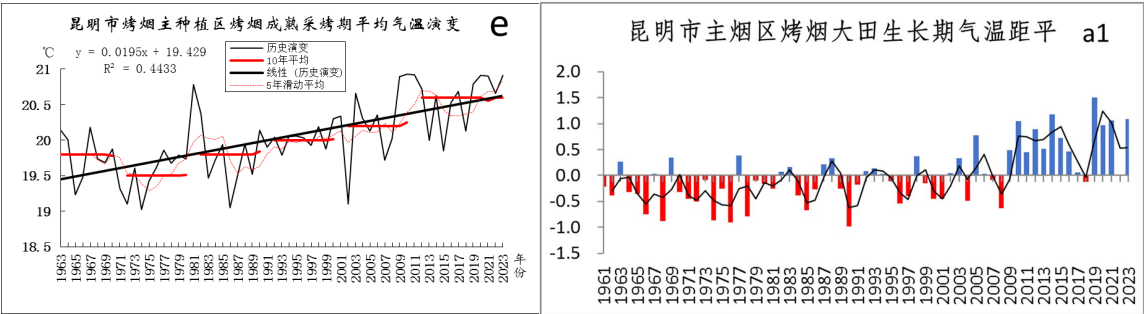


Figure 1. Change of average temperature during each growth period in the main tobacco planting area of Kunming City from 1961 to 2023, (a) The temperature change during the growing period in the main planting area of Kunming flue-cured tobacco; (b) Temperature change of flue-cured tobacco transplanting period in the main planting area of Kunming; (c) Temperature change during the root-elongation period in the main planting area of Kunming; (d) Long-term temperature change of flue-cured tobacco in the main planting area of Kunming; (e) The temperature change during the ripe picking and roasting period in the main planting area of Kunming; (a1) The temperature anomaly of flue-cured tobacco during field period in the main planting area of Kunming

图 1. 1961~2023 年昆明市烟叶主种植区各生育期平均气温变化, (a) 昆明市烤烟主种植区大田生育期气温变化; (b) 昆明市烤烟主种植区烤烟移栽成活期气温变化; (c) 昆明市烤烟主种植区烤烟伸根期气温变化; (d) 昆明市烤烟主种植区烤烟旺长期气温变化; (e) 昆明市烤烟主种植区烤烟成熟采收期气温变化; (a1) 昆明市烤烟主种植区烤烟大田期气温距平变化

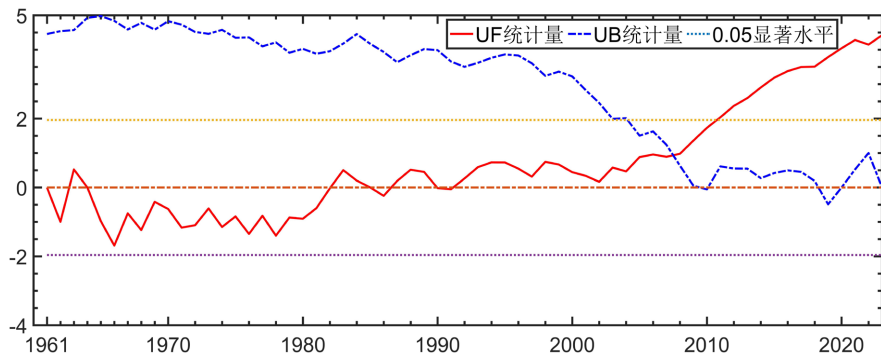


Figure 2. (K-M) test of temperature mutation during the growing period of flue-cured tobacco in the main planting area of Kunming

图 2. 昆明市烤烟主种植区烤烟大田生育期气温突变的(K-M)检验

3.1.3. 烤烟大田期气温的年代纪变化特征分析

烤烟大田期平均气温从 1960 年代的 20.0℃ 呈逐年上升变化, 至 2020 年代和近 10 年达 21.0℃, 升幅达 1.0℃, 其中 2020 年代上升变幅最大, 10 年间, 增幅达 0.6℃。烤烟伸根(蹲苗)期平均气温年代纪间的变幅在各生育中最大, 从 1960 年代的 19.7℃ 逐年上升变化至 2020 年代和近 10 年的 21.6℃, 上升变化增幅达 1.9℃, 烤烟大田各生育期变幅最小的是旺长期, 平均气温从 1960 年代的 20.8℃ 逐年上升变化至 2020 年代的 21.4℃、增幅 0.5℃。见表 1。

Table 1. Statistical units of the average temperature in each growth period of flue-cured tobacco fields in the main tobacco planting area of Kunming (Unit: °C)

表 1. 昆明市烟叶主种植区烤烟大田各生育期平均气温年代纪统计表(单位: °C)

年纪平均	全生育期	移栽成活	伸根期	旺长期	成熟采收期	移栽伸根期
1961~1970	20.0	19.9	19.7	20.8	19.8	19.8
1971~1980	19.9	19.5	20.2	20.5	19.5	19.8

续表

1981~1990	20.1	19.3	20.4	20.8	19.8	19.9
1991~2000	20.2	19.5	20.7	20.5	20.0	20.1
2001~2010	20.4	19.5	20.7	21.2	20.2	20.1
2011~2020	21.0	20.4	21.6	21.4	20.6	21.0
近 10 年	21.0	20.4	21.6	21.3	20.6	21.0

3.2. 降水变化分析

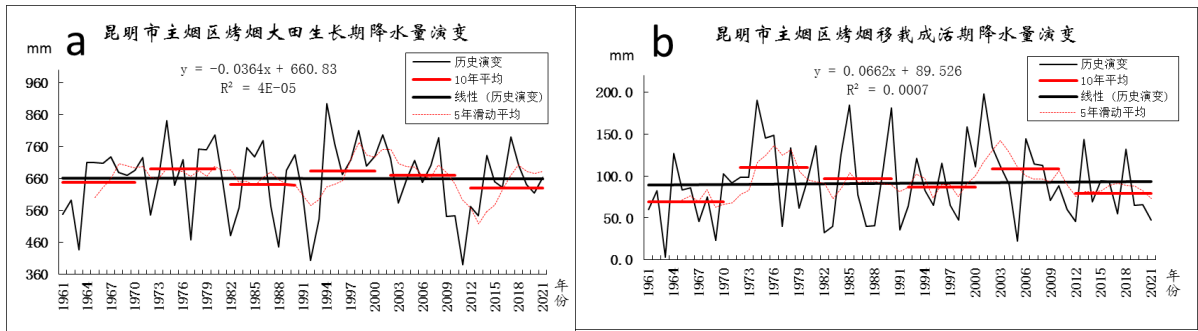
3.2.1. 烤烟大田期降水量的年际变化趋势分析

昆明市 8 个烟叶主种植县(区、市)近 63 年(1961~2023 年)烤烟大田生育期平均降水量年际间, 总体呈微减少趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验, 减少变化倾向率 -0.036 mm/a , 见图 3(a), 移栽成活期平均降水量年际间, 呈微增加趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验, 变化倾向率 0.07 mm/a , 见图 3(b); 伸根期平均降水量年际间, 总体呈微减少趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验, 变化倾向率 -0.1 mm/a , 见图 3(c); 旺长期平均降水量年际间呈微增加趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验, 增加变化倾向率 0.53 mm/a , 见图 3(d); 成熟采烤期平均降水量年际间呈微减少趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验, 减少变化倾向率 -0.53 mm/a , 见图 3(e)。距平分析显示, 烤烟大田生育期降水变化, 1994~2008 年为显著的多雨时段, 2009~2023 年为较明显的少雨时段, 其中 1994~2002 年呈显著的连续多雨年, 2009~2014 年呈显著的连续少雨干旱年, 2015~2018 年降水明显呈稍偏多, 2019~2023 年降水明显呈稍偏少, 其余年份, 降水的正负距平年变化持续时间较短。见表 2、图 3(a1)。

Table 2. Statistical table of precipitation in each growth period of flue-cured tobacco fields in Kunming main tobacco planting area (Unit: mm)

表 2. 昆明市烟叶主种植区烤烟大田各生育期降水量年代纪统计表(单位: mm)

年代纪	大田生育期	移栽成活期	伸根期	旺长期	成熟采烤期
1961~1970	646.9	69.0	112.4	177.3	288.2
1971~1980	690.9	110.4	110.8	165.3	304.5
1981~1990	640.0	96.6	96.6	155.5	291.2
1991~2000	683.4	86.7	114.6	195.5	286.6
2001~2010	670.0	108.7	117.7	186.0	257.6
2011~2020	620.1	79.6	100.6	173.6	266.3
近 10 年	598.2	70.1	111.9	140.7	275.5



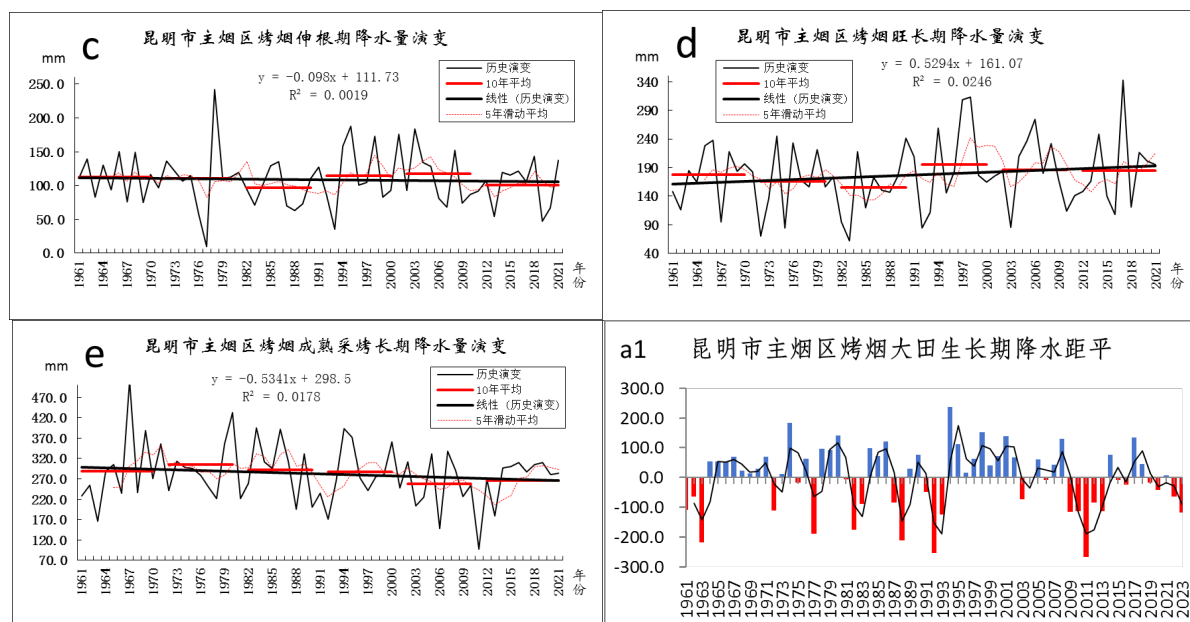


Figure 3. Precipitation changes at different growth periods in the main tobacco planting areas of Kunming City from 1961 to 2023, (a) Changes of precipitation during the growing period in the main planting area of Kunming flue-cured tobacco; (b) The change of flue-cured tobacco transplanting precipitation in the main planting area of Kunming; (c) Changes of precipitation during root elongation period in the main planting area of Kunming; (d) Long-term precipitation changes of flue-cured tobacco flourishing in the main planting areas of Kunming; (e) Changes of precipitation during the ripe picking and roasting period in the main planting area of Kunming; (a1) Variation of precipitation anomaly during field period in the main planting area of Kunming flue-cured tobacco

图 3. 1961~2023 年昆明市烟叶主种植区各生育期降水量变化, (a) 昆明市烤烟主种植区大田生育期降水变化; (b) 昆明市烤烟主种植区烤烟移栽成活期降水变化; (c) 昆明市烤烟主种植区烤烟伸根期降水变化; (d) 昆明市烤烟主种植区烤烟旺长期降水变化; (e) 昆明市烤烟主种植区烤烟成熟采收期降水变化; (a1) 昆明市烤烟主种植区烤烟大田降水距平变化

3.2.2. 烤烟大田期降水量的突变特征分析

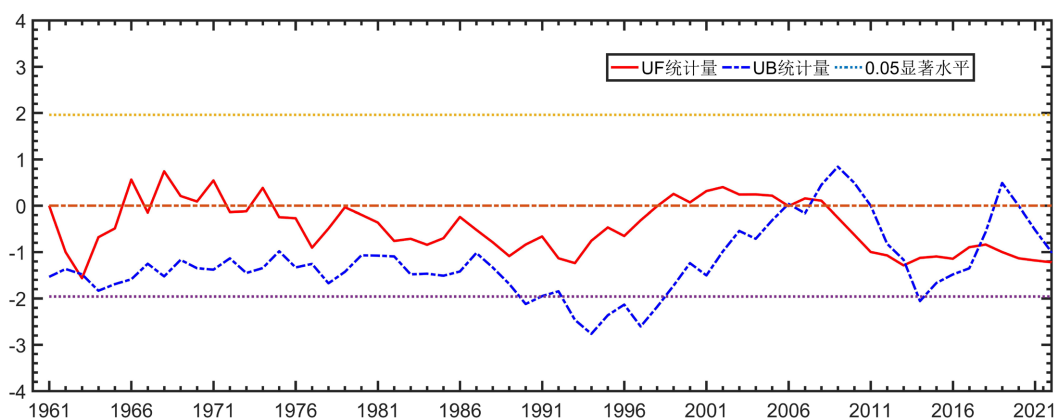


Figure 4. (K-M) test of precipitation mutation in flue-cured tobacco field during growth period in the main planting area of Kunming

图 4. 昆明市烤烟主种植区烤烟大田生育期降水量突变的(K-M)检验

昆明市烟叶主种植区烤烟大田生育期降水的序列曲线 UF 显示(图 4), 1961~1963 年 UF 曲线呈明显下降变化, 1963 年~1968 年 UF 曲线呈明显下降跳跃式上升变化, 1968~2008 年 UF 曲线总体变化不明

显, 其中 1968~1993 年 UF 曲线呈阶梯式下降变化, 1993~2008 年 UF 曲线呈阶梯式上升变化, 2008~2023 年 UF 曲线呈明显的下降变化。 UF 曲线在置信区间与 UB 曲线共有 5 个交汇点, 分别出现在 1963 年、2005 年、2008 年、2013 年和 2018 年, 其中 2008 年和 2013 年突变显著, 通过了 0.05 的信度检验。

3.2.3. 降水日数的变化特征分析

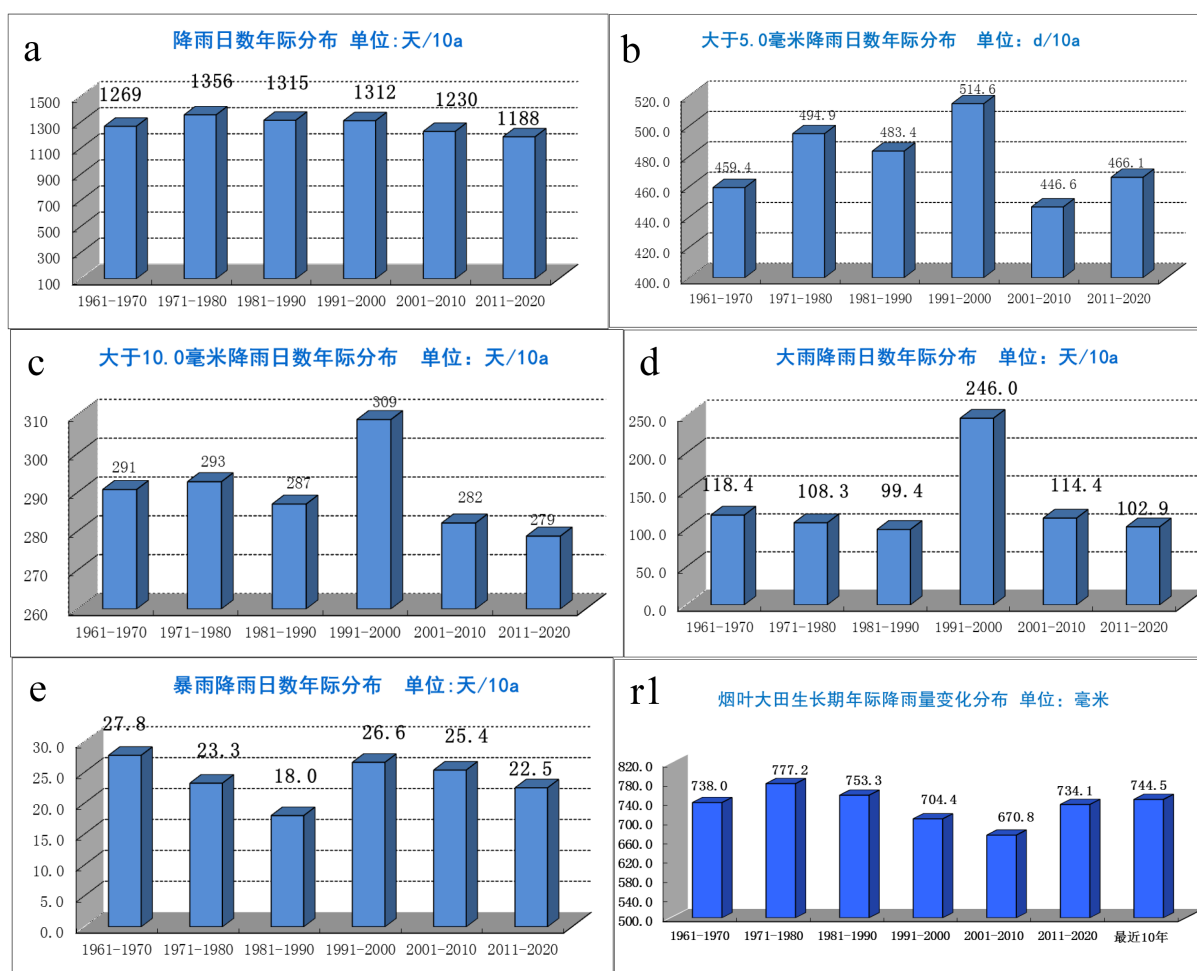


Figure 5. Precipitation changes at different growth periods in the main tobacco planting areas of Kunming City from 1961 to 2023, (a) Interannual variation of precipitation days in the main planting area of Kunming; (b) Interannual variation of precipitation days ≥ 5 mm in the main planting area of Kunming flue-cured tobacco; (c) Interannual variation of precipitation days ≥ 10 mm in the main planting area of Kunming; (d) Interannual variation of the number of heavy rain days in the main planting area of Kunming flue-cured tobacco; (e) Interannual variation of rainstorm precipitation days in the main planting area of Kunming; (r1) Interannual variation of precipitation during field period in Kunming flue-cured tobacco main planting area

图 5. 1961~2023 年昆明市烟叶主种植区各生育期降水量变化, (a) 昆明市烤烟主种植区降水日数的年际变化; (b) 昆明市烤烟主种植区 ≥ 5 mm 降水日数的年际变化; (c) 昆明市烤烟主种植区 ≥ 10 mm 降水日数的年际变化; (d) 昆明市烤烟主种植区大雨降水日数的年际变化; (e) 昆明市烤烟主种植区暴雨降水日数的年际变化; (r1) 昆明市烤烟主种植烤烟区大田期降水量年际变化

在全球气候变化背景下, 局地气候变化异常的表现分异性特征突出, 就某一地区而言, 年际间降水变化, 除降水量随年际(时间)变化外, 还有降水强度的年际变化。昆明市烟叶主种植区 8 县(区、市)属季风气候影响区, 近 63 年(1961~2023 年)间, 各量级降雨日数的年际间变化呈现出年降水量、特别是较强降水日数, 基本上都出现在烤烟大田生育期间(4 月下旬至 9 月上旬), 其它季节强降水天气(日数)较少出

现, 因此, 在较大程度上年际降水日数的变化就能较客观地反映出昆明市辖区烤烟大田期各相应量级降水日数的变化。日降水量 ≥ 0.1 mm 的降水日数, 自 1970 年代至 2023 年, 总体呈显著减少倾向变化; 一般性降雨日数最少值出现在 1981~1990 间; 近 30 多年大雨、暴雨日数呈较明显增多倾向变化, 即一般性或有效降水日数(即日降水量 ≥ 5.0 mm 日数、日雨水量 ≥ 10.0 mm 降水日数)在最近 20 来呈明显减少倾向变化, 而日雨水量 ≥ 25.0 mm (大雨)、日雨水量 ≥ 50.0 mm (暴雨)和日雨水量 ≥ 100.0 mm (大暴雨)的短时强降水日数在最近的 30 年来, 呈现出较明显的增多倾向变化。统计结果进一步验证了在全球气候变暖的背景影响下, 昆明市烟叶主种植区 8 县(区、市)大田期降水强度变率增大, 致干旱、洪涝等极端强降水事件出现的概率增大, 气象灾害风险随之增加。降水日数年际分布见图 5(a)~(r1)、表 3。

Table 3. Statistical table of time and period changes of precipitation days at all levels in the main tobacco planting area of Kunming City (Unit: d/10 a)

表 3. 昆明市烟叶主种植区各级降水日数的年代纪变化统计表(单位: 天/10 a)

年代	≥ 0.1 mm (小雨)	≥ 5.0 mm (小雨)	≥ 10.0 mm (中雨)	≥ 25.0 mm (大雨)	≥ 50.0 mm (暴雨)	≥ 100.0 mm (大暴雨)
1961~1970	1269	459.4	290.8	118.4	27.75	8
1971~1980	1356	494.9	292.8	108.3	23.25	7
1981~1990	1315	483.4	287.0	99.4	18	3
1991~2000	1312	514.6	308.8	246.0	26.625	10
2001~2010	1230	446.6	282.1	114.4	25.375	8
2011~2020	1188	466.1	278.8	102.9	22.5	6

4. 讨论与结论

4.1. 讨论

1) 本文以旬为单位划分了昆明市烟叶主种植区烤烟大田生育期, 划分结果更贴近实际, 在诸多文献中尚属首次。用气象要素趋势变化分析, 年代纪统计分析和距平分析法, K-M 突变检验法, 对烤烟大田生育期间各不同生育阶段的气温和降水及年际间各级降水日数进行年际变化特征分析, 进一步提示了受全球气候变化的影响, 昆明主烟叶主种植区烤烟大田生育期间各生育阶段气温的年际变化在 2010 年代以后的最近年代逐年呈显著上升变化。

2) 分析结论, 昆明烟叶主种植区烤烟大田期气温最高时段出现在烤烟旺长期(约 21.0°C)、次高时段出现在伸根(蹲苗)期(约 20.6°C)和成熟采烤期(约 20.1°C)、最低时段出现在移栽成活期(约 19.8°C)的大田生育气温变化及分布, 与云烟典型清香型烟叶栽培对气温“两头低、中间高”和降水前期(伸根期)少, 中间(旺长期)适当多, 成熟采烤后期(成熟采烤期)要少雨的气候生境需求高度吻合; 降水日数的年际间变化分析, 在一定程度上解释了在全球气候变化背景影响下, 昆明烟叶主种植区烤烟大田生育期可能遭受强降水致极端天气事件干旱、洪涝、大风冰雹等自然灾害的风险在最近 30 年明显增加。

3) 本文分析结论、特别是烤烟大田各生育期的划分与传统划分在时间上有了一定的提前量, 更接近烤烟生产现状与实情高度吻合, 致大田生育期提前的原因主要是受全球气候变暖的影响。上述对气温、降水和大田生育期变化几方面的分析结论, 能为昆明市烟叶种植、生产技术修订、种植结构调整等工作及烤烟气象服务工作、烤烟气象防灾减灾工作提供更充分、详实、可靠的基础理论数据。

4.2. 结论

1) 受全球气候变暖的影响, 昆明市烟叶主种植区 8 县(区、市)气温呈显著的上升趋势变化, 上升变

化倾向率 $0.018^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 通过了($P > 0.01$)相关性检验, 成熟采烤期平均气温年际间呈显著的上升趋势变化, 上升变化倾向率 $0.02^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 通过了($P > 0.01$)相关性检验; 验证了昆明烤烟大田期气温“两头低、中间高”的变化特征与云南优质清香型烟叶气候生境高度吻合; 气温距平和 K-M 曲线突变交汇分析突变出现的 2007 年以后, 突变发生后气温上升变化显著。

2) 昆明市烟叶主种植区 8 县(区、市)近 63 年烤烟大田区降水量总体上呈微减少趋势变化, 变化趋势不显著, 未通过($P > 0.10$)相关性检验; 降水日数自 1970 年代至 2023 年, 总体呈显著减少趋势变化, 一般性降雨日数变化不显著, 其中 1981~1990 降水日数最少, 最近 30 多年间大雨、暴雨日数呈较明显增多变化, 降水的强度和极端倾向特点突出; UF 曲线在置信区间与 UB 曲线共有 5 个交汇点, 分别出现在 1963 年、2005 年、2008 年、2013 年和 2018 年, 其中 2008 年和 2013 年突变显著, 通过了 0.05 的信度检验。

基金项目

云南省高原特色农业气象服务体系建设项目“基层气象服务能力提升 2018”(Gy2016); 中国气象局-成都信息工程大学人工影响天气联合研究中心开放课题(2024GDRY014)。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 黄中艳. 云南烤烟大田生长中后期气候变化及其影响[J]. 作物杂志, 2009(5): 14-18.
- [3] 黄中艳, 张明达. 云南烤烟种植气候变化及其影响研究[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(7): 107-112.
- [4] 云南省烟草农业科学研究院, 邵岩. 云南烤烟[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 54-155.
- [5] 贺升华, 任炜, 陈建刚, 等. 烤烟气象[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2001: 107-112.
- [6] 鲁永新, 王恩超, 张映翠, 等. 楚雄州烤烟的种植生态区划[J]. 烟草科技, 2009, 42(2): 57-60.
- [7] 翟盘茂, 周佰铨, 陈阳, 等. 气候变化科学方面的几个最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(6): 629-635.
- [8] 窦小东, 侯胜芳, 李蒙, 等. 云南烤烟适宜种植区对气候变化的响应[J]. 高原气象, 2024, 43(4): 1076-1086.
- [9] 程纯枢, 冯秀藻, 高亮之, 等. 中国的气候与农业[M]. 北京: 气象出版社, 1992: 105.
- [10] 鲁永新, 田侯明, 李宏波, 等. 元谋干热气候评价及特征分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(9): 103-112.
- [11] 徐飞, 贾仰文, 牛存稳, 等. 横断山区气温和降水年季月变化特征[J]. 山地学报, 2018, 36(2): 171-183.
- [12] 杜军, 黄志诚, 和已阳, 等. 近 40 年西藏昼夜降水量时空变化特征[J]. 气象, 2024, 50(10): 1161-1174.
- [13] 季宗虎, 孙栋元, 牛最荣, 等. 疏勒河流域降水变化特征研究[J]. 干旱区研究, 2023, 40(10): 1583-1594.