

Analysis on Climatic Characteristics and Influence of Interplanting Pea after Growing Tobacco in Yunnan

Zhongping Zhang¹, Min Lu², Yonghai Sun¹, Yongxin Lu^{3*}, Xuehui Wang¹, Xiaorong Li¹, Yinghu Fan¹

¹Chuxiong Academy of Agricultural Sciences in Yunnan, Chuxiong Yunnan

²Chuxiong Technician College, Chuxiong Yunnan

³Chuxiong State Meteorological Observatory, Chuxiong Yunnan

Email: *cxm44lyx@126.com

Received: May 9th, 2018; accepted: May 23rd, 2018; published: May 30th, 2018

Abstract

There are 91 counties in Yunnan province where tobacco is grown, accounting for 35%~40% of the whole country in terms of planting area and purchasing quantity. Interplanting beans in tobacco fields has become an important part of Yunnan plateau characteristic planting. In order to make effective use of the late autumn climate resources with sufficient light and moderate dry heat after smoking in Yunnan tobacco-growing areas and develop the characteristic planting of interplanting rice peas after smoking, this paper takes the analysis of climate characteristics in the growing period of interplanting late autumn peas after smoking in Yaoan tobacco-growing areas in central and northern Yunnan as an example, and uses empirical orthogonality, climate tendency, Mann-Kendall mutation test and wavelet periodic analysis to analyze the comprehensive climate influence and precipitation and temperature change characteristics of climate factors such as temperature, precipitation, sunshine and freezing days in Yaoan from 1961 to 2014 (August to December). The results show that: during the growing period of interplanting beans after smoking, light in recent 56 years and the precipitation from August to December showed a significant decreasing trend of 21.2/10a, and the trend of change was significant, with abrupt changes in 1977 and 2002 respectively. The accumulated temperature showed a significant increasing trend of 23.0/10a d, and there was a mutation in 1997. The decreasing trend of frost days is 1.1°C/10a with the most significant change, and mutations occurred in 1964, 1966 and 1976. The average minimum air temperature in cold period showed no obvious upward trend of 0.2°C/10a. The main oscillation periods influenced by main components of comprehensive climate impact index, dry and wet factors and heat factors are 17a, 16a and 7a respectively. The main oscillation period 29a and the sub-oscillation period 16a of the precipitation in the period are the most obvious after 2 - 4 years. Accumulated temperature main oscillation period is 7a; the average minimum air temperature in the later growth stage of pea has a main oscillation period of 11a and a sub-oscillation period of 7a. There are 19a, 3a parallel main oscillation periods and 7a sub-oscillation periods in the frost days of the critical period of pea yield formation.

Keywords

Yaoan County, Interplanting Pea after Growing Tobacco, Principal Component Analysis,

*通讯作者。

文章引用: 张中平, 鲁敏, 孙永海, 鲁永新, 王学辉, 李晓荣, 樊应虎. 云南烟后套种豌豆的气候特征及影响分析[J]. 气候变化研究快报, 2018, 7(3): 174-186. DOI: 10.12677/ccrl.2018.73020

云南烟后套种豌豆的气候特征及影响分析

张中平¹, 鲁 敏², 孙永海¹, 鲁永新^{3*}, 王学辉¹, 李晓荣¹, 樊应虎¹

¹云南省楚雄州农业科学院, 云南 楚雄

²楚雄技师学院, 云南 楚雄

³云南省楚雄州气象局, 云南 楚雄

Email: *cxm44lyx@126.com

收稿日期: 2018年5月9日; 录用日期: 2018年5月23日; 发布日期: 2018年5月30日

摘 要

云南省有91个县种植烟草, 种植面积和收购量占全国的35%~40%, 烟田套种菜豆已成为云南高原特色种植的重要组成部分。为有效利用云南烟区烟后(8~12月)光照充足、干热适中的晚秋气候资源, 发展烟后套种食米豌豆的特色种植, 本文以云南中北部烟区姚安县烟后套种晚秋豌豆生育期气候特征分析为例, 用EOF经验正交、气候倾向、Mann-Kendall突变检验和小波周期法分析了姚安县1961~2014年(8~12月)气温、降水、日照、结冰日数等气候因子的综合气候影响及降水和温度变化特征, 结果得出: 烟后套种豌豆生育期间, 光日照因子成分、湿因子成分和热量因子成分对豌豆生长影响呈正贡献、结冰日数影响呈负贡献; 近56年8~12月降水量呈21.2/10a减少趋势, 且变化趋势显著, 1977、2002年分别发生突变; 积温呈23.0/10a d增加变化趋势显著, 1997年产生突变; 霜日数呈1.1°C/10a减少趋势变化最显著, 1964、1966和1976年发生突变; 冷时段平均最低气温呈0.2°C/10a上升趋势不明显; 综合气候影响指数、干湿因子和热量因子主成分影响主振荡周期分别为17a、16a和7a; 时段降水量主振荡周期29a、次振荡周期16a, 00年以后2~4a左右周期最明显; 积温主振荡周期7a; 豌豆生长后期平均最低气温存在11a的主振荡周期和7a的次振荡周期; 豌豆产量形成关键期霜日数存在19a、3a的并联主振荡周期和7a的次振荡周期。

关键词

姚安县, 烤烟后套种豌豆, 主成分分析, Mann-Kendall突变检验, 小波分析

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 前言

云南是我国烟草面积最大、产量最高的省份, 种植面积稳定在 36.7 万 hm^2 左右, 全省现有 618.7 hm^2 耕地面积中, 有次适宜以上烤烟种植面积达 497.1 万 hm^2 占 80.34% [1]。图 1 哀牢山及以东以北的大理、楚雄、昆明、玉溪、曲靖、红河、文山等地区海拔 1300~2000 m 的大部分区域是云南烤烟种植的适宜区和最适宜区[2]。

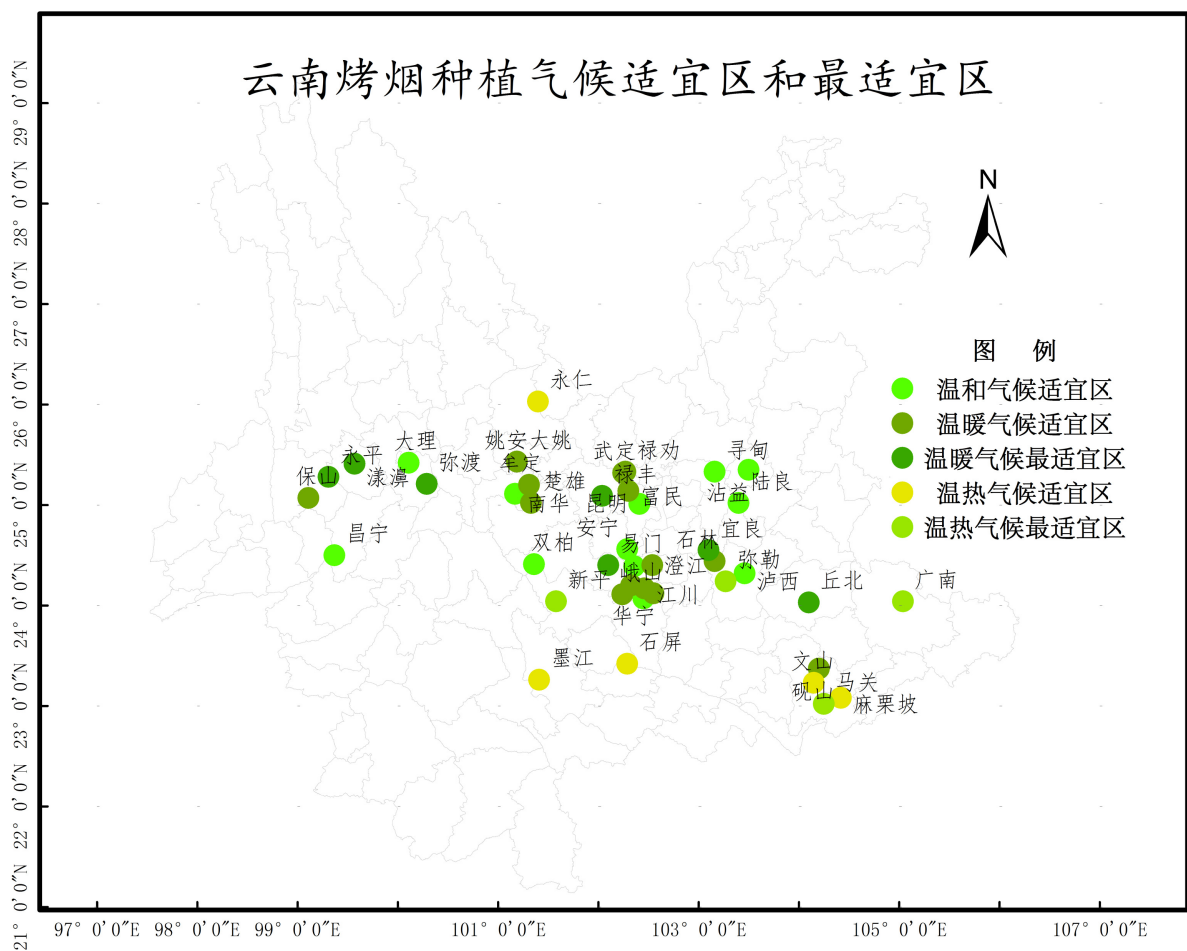


Figure 1. Tobacco planting suitable climatic zones and the most suitable climate zone in Yunnan
图 1. 云南烤烟种植的适宜气候区和最适宜气候区分布

为调整传统农业种植结构，带动农民致富，云南各地积极探索以烤烟后套种秋白菜、青豌豆、马铃薯等为主的烟后晚秋作物种植让农民得到了实惠[3]-[8]。姚安县地处云南省中北部烟区，东经 $100^{\circ}56' \sim 101^{\circ}34'$ 、北纬 $25^{\circ}13' \sim 25^{\circ}45'$ 之间的山间坝子，平均海拔 1870 m，面积 119 km^2 ，是云南省 1650~2000 m 高原山间盆地、坡地烤烟种植区中典型的代表地区。气候温暖，干湿分明，日照丰富，年平均气温 15.2°C ，最热月平均气温 20.8°C ，最冷月平均气温 8.0°C ，极端最高气温 34.0°C ，极端最低气温 -8.4°C ；全年无霜期 240 d，稳定通过 10°C 的积温 $4987^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ；年降雨量 776 mm，雨季降水占全年降水量的 89%，干季降水量占全年降水量的 11%，雨季开始期介于 5 月 5 日至 6 月 26 日之间，结束于 10 月中旬；年日照时数 2400 h；干旱、局地洪涝和低温冻害是主要的气象灾害[9]。2009~2014 年连续 5 年姚安县按集成品种、种植时间、种植密度、水肥管理、病虫害综合防治措施统一的种植技术在全县烤烟、玉米后套种长寿仁食米豌豆实现了平均纯收入 53,580 元/ hm^2 。其中 2013 年烤烟(玉米)后套种长寿仁食米豌豆 1466.67 hm^2 ，实现经济收入 1.1 亿元，2014 年套种 2200 hm^2 ，实现经济收入 1.65 亿元，仅栋川镇清河村委会烟后套种 100.97 hm^2 ，实现总产 1073 t、总产值 813 万元，按 7.58 元 / kg 均价计算，平均产值 80,590.5 元/ hm^2 。姚安县合理利用气候资源，优化烤烟、玉米后套种长寿仁青豌豆种植模式，在云南省楚雄州、玉溪市、临沧市、昭通市等多地的烤烟、玉米后套长寿仁食米豌豆种植推广中，推广种植规模和经济效益影响突出[6] [7] [8]，推广潜力巨大，种植模式正规化逐步向周边地区辐射，并向云南全省烤烟种植区辐射。

为合理、充分利用烟后晚秋气候资源、推广烤烟、玉米后套种豌豆，深入分析烟后套种豌豆生育期的气候、气候变化特征和气象灾害发生规律，科学引导云南烤烟种植区推广烟后套种，本文以姚安县烟后套种食米豌豆生育期气候特征分析及影响为例，用经验正交 EOF 分析、小波周期分析、气候倾向分析和 Mann-Kendall 趋势突变检验方法对姚安县 1961~2014 年食米豌豆生育期(晚秋 8~12 月)的气温、降水、日照、结冰日数等多气候因子拟合的综合气候影响指数、期间降水和温度变化特征和影响进行分析。基于云南省烤烟种植区，特别是适宜种植区和最适宜种植区，高原季风气候特征高度相似的特点，分析结论适用于云南除滇东北、滇东和滇南湿热区以外的绝大部分烟区。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

云南全省近 30 年(1981~2010 年)平均值资料来源于云南省气候中心统计数据，姚安县 1961~2014 年 8~12 月合计降水量、5 毫米以上降水日数、日照时数、积温、晴天日、结冰日数，低温时段气温，照百分率资料来源于楚雄州气候资源管理与查询系统。

2.2. 分析时段和因子的选取

根据姚安县连续 5 年烤烟、玉米后套种长寿仁食米豌豆种植试验结论，选取了 8~12 月时段降水量、积温，11 月 20 日至 12 月 20 日结冰日数、时段平均最低气温，11~2 月平均气温，12 月上旬至 2 月上旬时段平均气温，年相对湿度，日照时数和日照百分率。适当的降水量和时段积温是晚秋作物能否正常生长的必要条件、晚秋作物生长后期结冰日数的多少和最冷时段平均最低气温的年际变化直接影响着烟后套种豌豆食米青豆采收期长短，最终影响总产量。

2.3. 分析方法

2.3.1. 主成分分析法的计算[10]-[15]

主成分分析原理是以降维的思想，把众多变量转化为少数几个综合指标，这几个综合指标均为原始变量的线性组合；综合指标保留了原始变量的主要信息，彼此之间又不相关，从而使复杂的问题简单化，使原始变量的信息集中到几个主要指标因子上进行分析。步骤如下：

数据的标准化处理：

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X_j}}{S_j}, \quad i=1,2,\dots,I; j=1,2,\dots,J$$

式中 X_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标的原始数据； $\overline{X_j}$ ， S_j ，分别为第 j 个指标原始数值的平均值和标准差。

计算相关矩阵(R)；

求 R 的第 j 个特征值 $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j)$ 及对应的特征量 $(U_1, U_2, \dots, U_j)$ ；

计算主成分：主成分分量个数通过累积方差贡献率 E 确定；

$$E = \sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{j=1}^J \lambda_j$$

一般当 $E > 85\%$ 时的最小 m ，可得主超平面维数 m ，对 m 个主成分进行综合分析，得到主分量 Z_k ：

$$Z_k = \sum_{j=1}^J U_{kj} X_j, \quad j=1,2,\dots,J; k=1,2,\dots,m$$

式中 U_{jk} 为特征量 U_k 的第 j 个分量； X_j 为评价的综合指数所选的评价指标。

求主成分权重 e_k : $e_k = \lambda_k / \sum_{j=1}^j \lambda_j, k=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, j$ 。
 综合评价指数 Z : $Z = \sum_{k=1}^m e_k Z_k$ 。

2.3.2. 小波分析基本原理[16]-[20]

小波分析的基本思想是用一簇小波函数系来表示或逼近某一信号或函数。因此, 小波函数是小波分析的关键, 它是指具有震荡性、能够迅速衰减到零的一类函数, 即小波函数 $\psi(t) \in L^2(R)$ 且满足:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (1)$$

式中 $\psi(t)$ 为基小波函数, 它可通过尺度的伸缩和时间轴上的平移构成一簇函数系:

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \text{ 其中, } a, b \in R, a \neq 0 \quad (2)$$

式中 $\psi_{a,b}(t)$ 为子小波; a 为尺度因子, 反映小波的周期长度; b 为平移因子, 反应时间上的平移。若 $\psi_{a,b}(t)$ 是由(2)式给出的子小波, 对于给定的能量有限信号 $f(t) \in L^2(R)$, 其连续小波变换(Continue Wavelet Transform, 简称为 CWT)为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

式中 $W_f(a, b)$ 为小波变换系数; $f(t)$ 为一个信号或平方可积函数; a 为伸缩尺度; b 平移参数; $\bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 为 $\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 的复共轭函数。地学中观测到的时间序列数据大多是离散的, 设函数 $f(k\Delta t)$, ($k=1, 2, \dots, N$; Δt 为取样间隔), 则式(3)的离散小波变换形式为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \bar{\psi}\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right) \quad (4)$$

由式(3)或(4)可知小波分析的基本原理, 即通过增加或减小伸缩尺度 a 来得到信号的低频或高频信息, 然后分析信号的概貌或细节, 实现对信号不同时间尺度和空间局部特征的分析。将小波系数的平方值在 b 域上积分, 就可得到小波方差, 即

$$Var(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (5)$$

小波方差随尺度 a 的变化过程, 称为小波方差图。由式(5)可知, 它能反映信号波动的能量随尺度 a 的分布。因此, 小波方差图可用来确定信号中不同种尺度扰动的相对强度和存在的主要时间尺度, 即主周期。

2.3.3. K-M 检验法(Mann-Kendall) [21] [22]

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

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

$$UF_k = \frac{|S_k - E(S_k)|}{\sqrt{V_{\alpha\gamma}(S_k)}} \quad (k=1, 2, 3, 4, \dots, n)$$

式中 $E(S_k) = k(k+1)/4$; $V_{\alpha\gamma}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72$ 。

UF_k 为标准正态分布, 给定显著水平 $\alpha(\alpha = 0.05, u_{0.05} = 1.96)$, 若 $|UF_1| \geq U_{\alpha/2}$, 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

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

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。

2.3.4. 气候趋势(倾向)分析方法[23] [24]

气候趋势(倾向)分析方法是分析气象要素随时间变化趋势倾向和变化幅度特征, x_i 为样本量为 n 的气象要素变量, t_i 为 x_i 所对应的时间, 用一元一次回归方程描述

$$x_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n)$$

其中, a 为回归常数, b 为回归系数, a 和 b 可用最小二乘法进行估计, 趋势系数用相关系数进行显著性检验。

3. 结果与分析

3.1. 姚安县烤烟后套种豌豆生育期间气候特征分析

3.1.1. 综合气候影响指数的主成分(EOF)分析

根据姚安县连续 5 年的烤烟、玉米后套种长寿仁食米豌豆种植试验结论, 对烤烟后套种豌豆生长时段(8~12 月)的多个气候影响因子做综合气候影响的主成分分析, 分析了姚安县近 54 年(1961~2014 年)的热量(时段积温、结冰日数、最低气温)、光照(日照时数、日照百分率)、干湿(时段降水量和降水日数)气候因子(见表 1)的主分量和气候资源综合影响指数; 确定主成分指标因子个数的因子荷载率(见表 2); 针对每个主成分指标因子与标准变量线性组合关系的表达式, 以权重较大的多个标准变量(对应表 2 中的影响因子)来综合解释主成分指标因子的物理意义[19] [20] (见表 3)。因子荷载率绝对值大小反映因子与主成分的相关程度, 一般当因子 | 荷载率 | ≥ 0.6 时主为该气象因子与主成分相关程度足够大, 表 3 中列出的主成分 $Y_{7 \times 54}$ 的前 3 个特征向量的累积方差已达 84.52%, 即用前 3 个主成分因子就可以解释 54 年 7 个

Table 1. Selected climate factors and codes in the study
表 1. 本研究选取的气候影响因子及代号

代号 Code	因子 Factor	代号 Code	因子 Factor
X_1	8~12 月积温 Accumulated temperature for August to December	X_5	11 月 21 日~12 月 10 日平均最低气温 The average minimum temperature for November 21th to December 10th.
X_2	11 月 20 日~12 月 20 日结冰日数 Total ice days for November 20th to December 20th	X_6	8~12 月 ≥ 5 mm 的降水日数 August to December during precipitation days of ≥ 5 mm
X_3	8~12 月合计降水量 Total precipitation for August to December	X_7	8~12 月平均日照百分率 The sunshine percentage for August to December
X_4	8~12 月合计日照时数 Total sunshine hours for August to December		

Table 2. X_{pn} eigenvalues of the correlation matrix and contribution rate of variance
表 2. X_{pn} 相关矩阵特征值及方差贡献率

主成分 Principal component	特征值 Eigen value	方差贡献率 Contribution rate of variance (%)	累计方差贡献率 Contribution rate of cum-variance (%)
1	2.215	31.637	31.637
2	2.040	29.138	60.775
3	1.662	23.743	84.517

Table 3. Eigenvectors of the correlation matrix (Vmp matrix)
表 3. 样本相关矩阵的特征向量(Vmp 矩阵)

气候因子 Climate factor	主成分 Principal			气候因子 Climate factor	主成分 Principal		
	1	2	3		1	2	3
X_1	-0.059	-0.428	0.709	X_5	-0.032	-0.016	0.843
X_2	0.044	-0.176	-0.840	X_6	-0.113	0.939	-0.104
X_3	0.070	0.929	0.077	X_7	0.998	-0.017	-0.052
X_4	0.998	-0.012	-0.054				

气候因子变量的总方差, 故只需计算 3 个主成分因子的得分值 Z_1 , Z_2 , Z_3 和综合评价指数得分值 Z 即可做姚安烤烟后套种豌豆生长发育期的综合气候影响指数演变特征的客观分析, Z 值计算表达式略[19]。

表 3 中第 1 主成分表达式中荷载率较大的气候影响因子变量依次是 X_4 , X_7 共 2 个影响因子, 它们反映了姚安县烤烟后套种豌豆生育期间光照质量资源的周期变化, 即光照因子, 其中 X_4 是(8~12 月)期间逐年的日照时数分布, X_7 是(8~12 月)期间逐年的日照百分率分布, 这 2 个气候影响因子集中反映了姚安县烤烟后套种豌豆生育期综合气候影响指数中光因子的贡献; 因子荷载率为正说明各年间光照对烤烟后套种豌豆的影响呈正比。第 2 主成分中荷载率较大的影响因子依次是 X_6 , X_3 共 2 个气候影响因子, 主要反映了姚安县烤烟后套种豌豆生育期间(8~12 月)湿度条件的逐年分布, 即降水影响因子; 其中 X_6 是姚安县(8~12 月)期间逐年 ≥ 5 mm 的降水日数分布, X_3 是姚安县烤烟后套种豌豆生育期间(8~12 月)期间逐年的合计降水量分布, 因子的荷载率均为正说明姚安县各年间湿度(降水)对烤烟后套种豌豆的影响呈正比。第 3 个主成分中荷载率较大的气候影响因子依次是 X_5 , X_2 , X_1 这 3 个因子, 即热量因子, 它们分别反映了姚安烤烟后套种豌豆生育期间(8~12 月)热量条件的逐年分布, 其中 X_5 为烤烟后套种豌豆生长期最冷时段平均最低气温, X_2 为 11 月下旬至 12 月中旬结冰日数, X_1 为烤烟后套种豌豆生育期间的总积温; X_5 和 X_1 的子贡献率为正, 说明期间总积温和最冷时段气温高对烤烟后套种豌豆的影响呈正贡献。 X_2 的因子贡献率为负, 说明烤烟后套种豌豆生长后期霜日多会造成采收期缩短、总产减产或受损等。

3.1.2. 时段降水量、积温和气温的气候变倾向及气候突变检验分析

烤烟后套种豌豆生育期间时段(8~12 月)降水量呈 21.2/10a 减少趋势明显, 趋势系数 0.365 (通过了 0.01 的信度检验), 变化趋势显著, 降水量 UF 曲线总体呈波动下降, 其中 1977 产生一次突变, 并在 1990 年通过 0.05 信度检验, 2002 年又产生第二次明显的波动下降突变, 在 2011 年通过 0.05 信度检验; 积温呈 23.0/10a·d 增加趋势明显, 趋势系数 0.479 (通过了 0.01 的信度检验), 变化趋势显著, 积温 UF 曲线呈明显的波动上升, 1997 年产生突变并通过 0.05 信度检验, 气温上升变化显著(见图 2)。

姚安县烤烟后套种豌豆生育期后期时段有霜日数呈 1.1°C/10a 减少趋势明显, 趋势系数 0.349 (通过了 0.01 的信度检验), 变化趋势显著, 有霜日数 UF 曲线呈波动下降, 其中 1964、1966 和 1976 年发生突变,

1976年后下降变化明显 1980年通过 0.05 信度检验；最冷时段 11月下旬至 12月上旬平均最低气温呈 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 上升趋势不明显，趋势系数 0.221 (未通过 0.05 信度检验)，最冷时段气温 UF 曲线波动变化趋势不明显，未通过 0.05 信度检验(见图 3)。

3.1.3. 主成分综合气候影响指数、干湿因子分量、热量因子分量的周期变化特征

烤烟后套种豌豆生育期间时段(8~10月)综合气候影响指数在不同时间尺度上振荡周期分析(图 4)，图 4(a)、图 4(b)表明期间成分综合气候影响指数存在 3a、17a、29a 左右的周期振荡，以 17a 左右的振荡周期最强，为第一主周期，其次依次为 29a、3a，3a 左右周期在 60~80 年代与 17a 左右周期相叠加，80 年代以 3a 左右周期最明显；图 4(c)、图 4(d)表明干湿因子(期间降水量)存在 2a、4a、8a、16a、31a 左右的周期振荡，以 16a 左右的振荡周期最强，为第一主周期，其次依次为 31a、8a、4a、2a，16a 左右周期在 60~90 年代与 31a 左右周期相叠加，00 年以后 2~4a 左右周期最明显；图 4(e)、图 4(f)表明热量成分因子存在 3a、7a、24a、45a 左右周期振荡，以 7a 左右振荡周期最强，为第一主周期，其次依次为 45a、3a、24a，7a 左右周期在 60~70 年代与 24a 左右周期相叠加，90 年代以后 2~4a 左右周期最明显。

3.1.4. 烤烟后套种豌豆生育时段积温、降水、最冷时段气温和结冰日数的周期变化特征

烤烟后套种豌豆生育期间时段(8~10月)积温在不同时间尺度上的振荡周期分析(图 5)，图 5(a)、图 5(b)表明时段积温存在 3a、7a、14a、25a、45a 左右的周期振荡，以 7a 左右的振荡周期最强，为第一主周期，其次依次为 45a、3a、25a、14a，14a 左右周期在 90~00 年代与 25a 左右周期相叠加，70 年代以 3a 左右周期最明显；图 5(c)、图 5(d)表明烤烟后套种豌豆生育期间时段(11月21日~12月10日)平均最低气温存

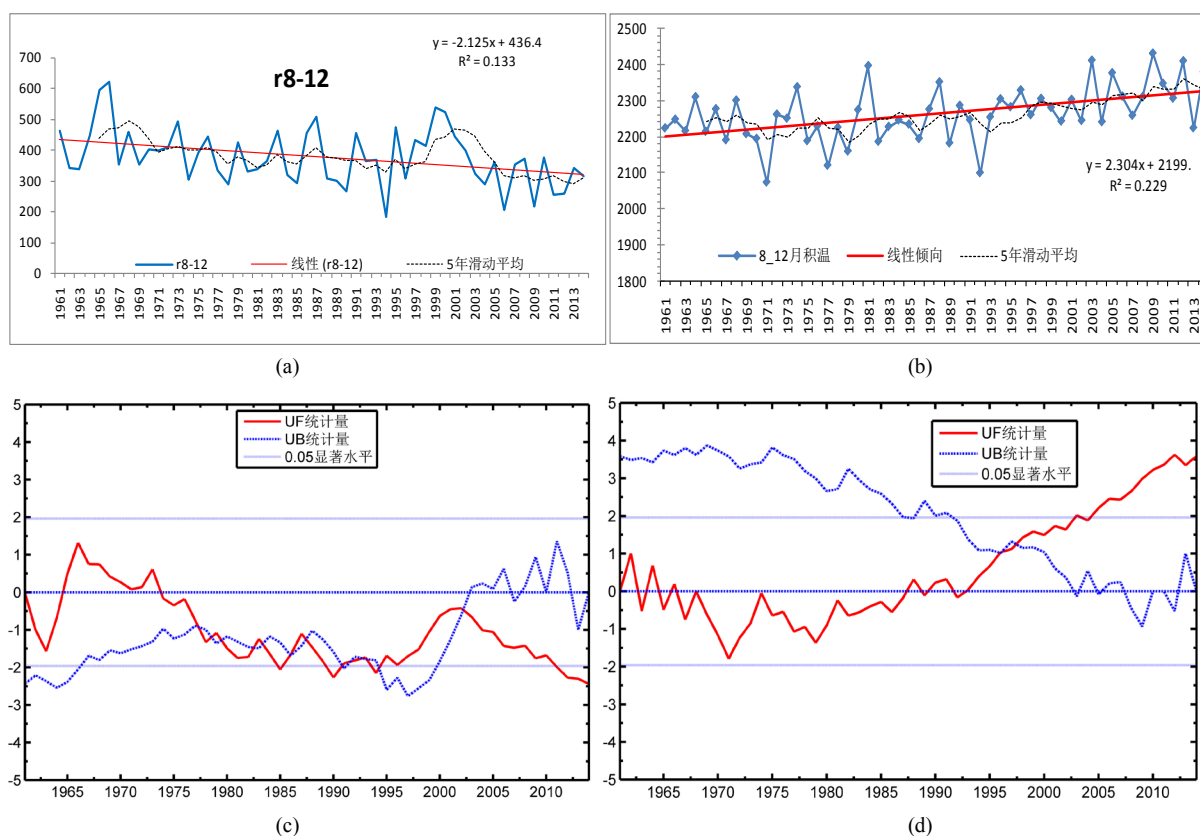


Figure 2. Characteristics of precipitation and temperature and accumulated temperature

图 2. 降水量、积温、气温变化特征分析

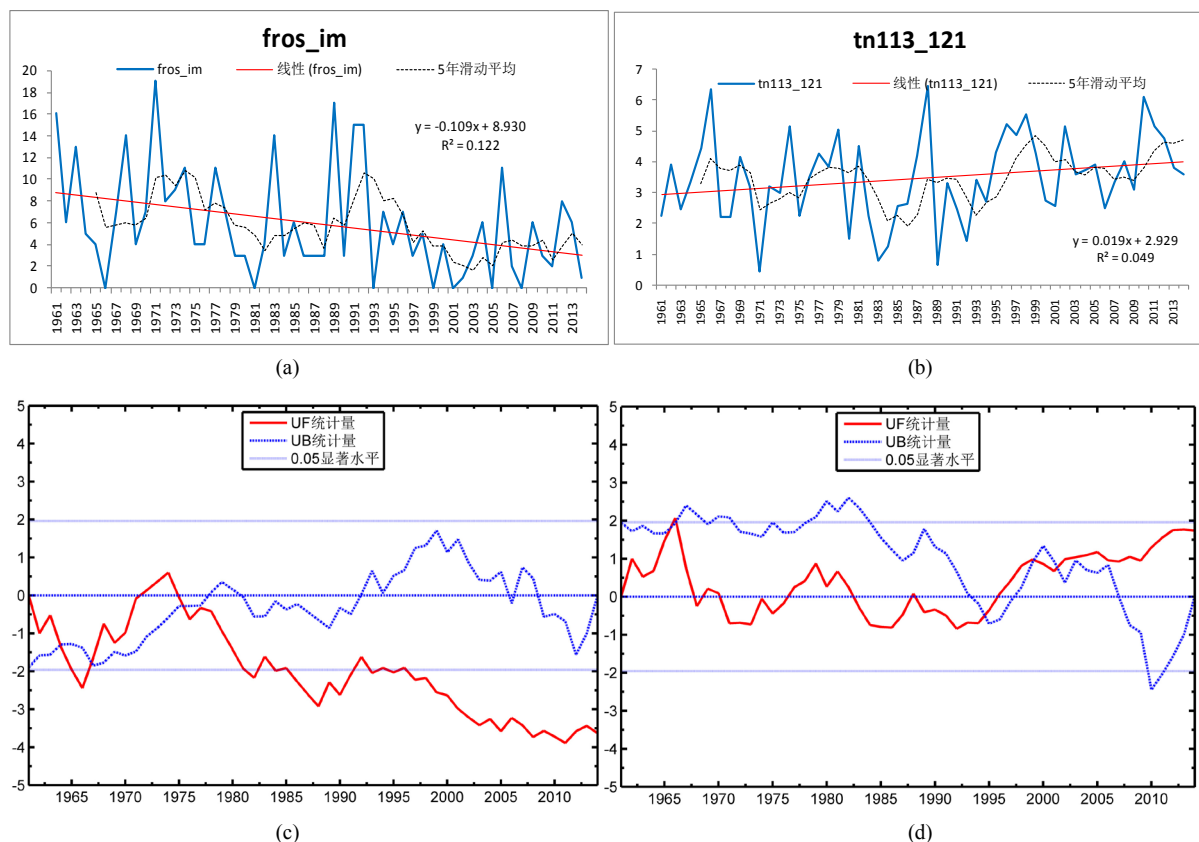


Figure 3. Number of freezing days and coldest time minimum temperatures

图 3. 结冰日数和最冷时段平均最低气温

在 3a、7a、11a、17a、44a 左右的周期振荡，以 11a 左右的振荡周期最强，为第一主周期，其次依次为 7a、17a、3a、44a，11a 左右周期在 80 及 00 年代与 44a 左右周期相叠加，80 年代以 17a 左右周期最明显；图 5(e)、图 5(f)表明烤烟后套种豌豆生育期间时段(8~10 月)降水量存在 2a、4a、8a、16a、29a 左右的周期振荡，以 29a 左右的振荡周期最强，为第一主周期，其次依次为 16a、4a、8a、2a，16a 左右周期在 70~00 年代与 29a 左右周期相叠加，00 年以后 2~4a 左右周期最明显；图 5(g)、图 5(h)表明烤烟套种豌豆生育期内产量形成关键期间霜冻日数存在 3a、7a、10a、19a 左右的周期振荡，以 19a、3a 左右的振荡周期最强，可并联第一主周期，其次依次为 7a、10a，7a 左右周期在整个研究时段内多与 19a 左右周期相叠加。

4. 讨论与结论

云南烤烟种植区分布广，种植适宜区和最适宜区绝大部分分布在哀牢山及以东、以北的大理、楚雄、昆明、玉溪、曲靖、红河、文山等地海拔 1300~2000 m 地带，滇中及以西的烤烟种植区晚秋气候及特征度高相似，雨季基本结束期于 10 月中下旬。烤烟后(8~12 月)降水适中，气候温凉，日照丰富，秋后气温下降速度慢，霜期稍偏晚，适宜豌豆生长。姚安县属云南省烤烟种植适宜气候区内纬度较高、海拔较高(1650~2000 m)的典型代表区，干湿分明的北亚热带季风气候及特征在一定程度能代表云南省大部分烤烟种植区的平均气候状况[25]。云南滇中以西烟区因地形和昆明静止锋的阻挡作用，烟区内西部受冷空气侵袭次数和强度低于东部[24] [26] [27]，霜冻天气危害风险小于东部。姚安县充分利用烤烟后(8~12 月)日照丰富、干热适中的温凉气候套种豌豆，获得连年丰产、农民增收效益明显，在云南中部烟区具有很好的推广前景，发展潜力大。

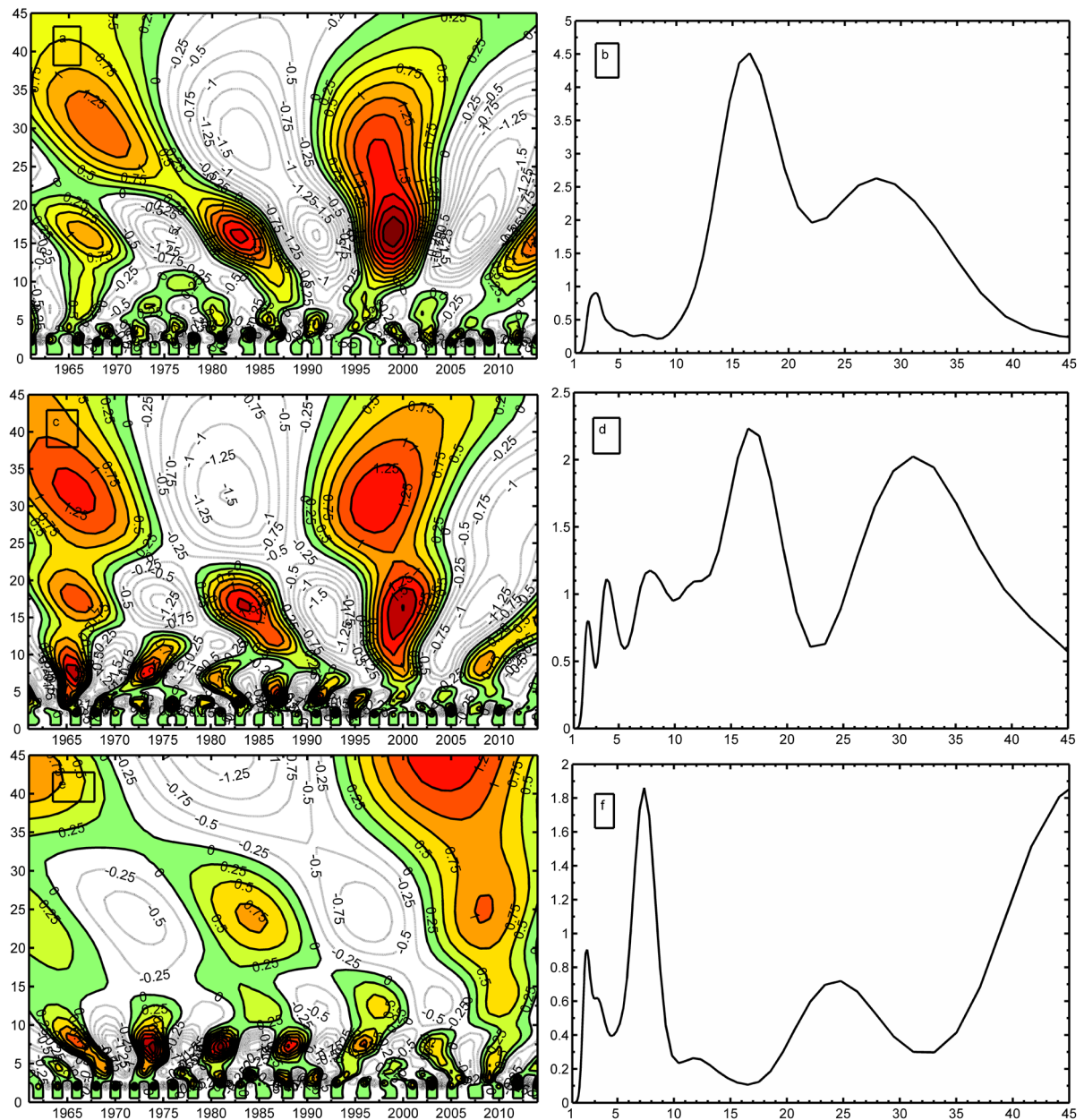


Figure 4. After tobacco intercropping peas during the reproductive period (August-October), comprehensive climate index, dry and wet factor, heat cycle of wavelet and wavelet variance

图 4. 烟后套种豌豆生育期间时段(8~10 月)综合气候指数、干湿因子、热量因子的小波周期和小波方差

本文用经验正交 EOF 分析、气候倾向分析、Mann-Kendall 趋势突变检验和小波周期分析法分析了姚安县 1961~2014 年烤烟后套种食米豌豆生育期间(8~12 月)气温、降水、日照、结冰日数等气候因子拟合的综合气候影响指数及期间降水量、积温和气温的年际变化特征。基于云南烟集中种植区气候特征相似度高、姚安县地理和晚秋气候特征在云南植烟区处于纬度偏北、气温偏低、降水偏少、霜日数偏多的特点及烟后套种食米豌豆主要的气候风险是晚秋季干旱和收获期重霜冻,透过对姚安烟后套种豌豆生育期间的气候特征分析,可以清晰地了解云南省烤烟种植区烤烟后套种豌豆的气候可利用资源和气候风险,分析结论可应用于云南省绝大多数烤烟种植区推广烟后套种食米豌豆,研究结论还在一定程度上提高了

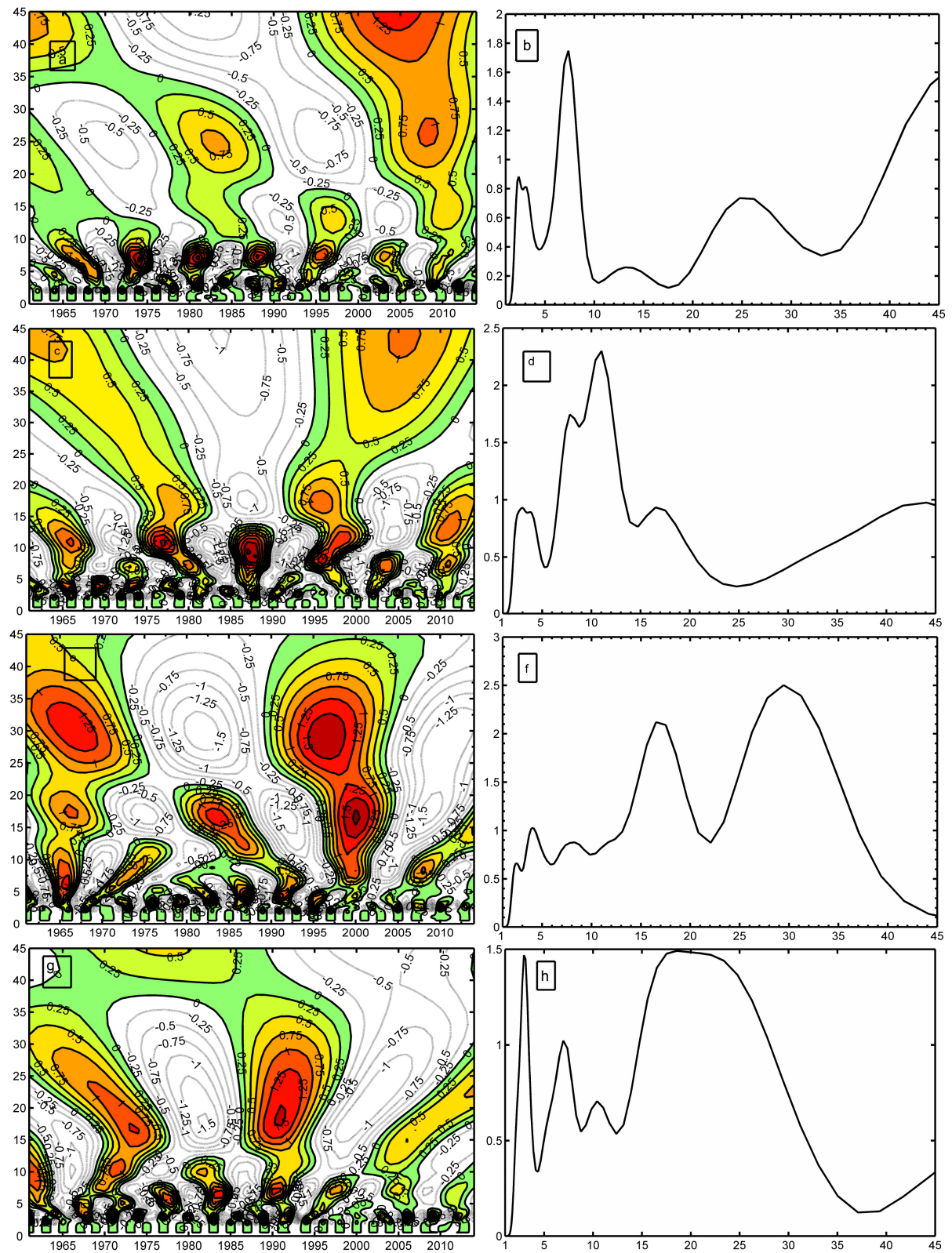


Figure 5. After Tobacco intercropping peas birth-time temperature, precipitation and cold temperatures and icy day wavelet variation and wavelet variance

图 5. 烟后套种豌豆生育时段积温、降水、最冷时段气温和结冰日数的小波周期变化和小波方差

云南烤烟集中种植区内烟后套种豌豆的抗风险信度检验标准。

本文用气候因子对比法分析了姚安县烤烟后套种食米豌豆生育期间气候与全省烤烟集中种植的适宜气候区和最适宜气候区相同时段主要气象影响因子的差异性,论证了以姚安的烟后套种豌豆生育期间气候及变化做云南省烤烟集中种植区烤烟后套种豌豆生育期间气候及变化特征分析的可行性。用经验正交 EOF 分析、气候倾向分析、Mann-Kendall 突变检验、小波周期分析方法分析了姚安县 1961~2014 年(8~12 月)气温、降水、日照、结冰日数等气候因子的气候倾向变化趋势分析、突变分析、气候因子主成分的综合气候影响指数和期间降水和温度的周期变化特征分析,结论如下:

姚安县地处哀牢以东、以北的云南省烤烟集中种植区中的气候适宜区,地理纬度和海拔高度较高,烟后套种食米豌豆生育期间(8~12 月)属有霜日数多,时段积温较低、平均气温偏低、降水量偏少区域,豌豆生育期间气候风险高于云南烤烟集中种植气候适宜区的其它县市,以姚安县为例分析云南烟后套种豌豆生育期间时段气候及变化特征分析可行。

主成分分析结论,烟后套种食米豌豆生育期间(8~12 月)光照因子对豌豆生育期间综合影响呈正贡献,即光日照越长对豌豆生长越有利;湿度(降水量和降水日数)因子对豌豆生育期间综合影响呈正贡献,即降水量越多、降雨日数越多,对豌豆生长越有利;热量因子中,积温和最冷时段平均气温对豌豆生育期间综合影响呈正贡献、结冰日数呈负贡献,即期间积温和最冷时段平均气温越高对豌豆生长越有利、霜日数越多对豌豆生长越不利。

烤烟后套种豌豆生育期间时段(8~12 月)降水量呈 21.2/10a 减少趋势明显,变化趋势显著,通过了 0.01 的信度检验;降水量下降趋势明显,1977、2002 年分别发生突变;积温呈 23.0/10a·d 增加趋势明显,变化趋势显著,1997 年产生突变;有霜日数呈 1.1°C/10a 减少趋势最明显,变化趋势显著,1964、1966 和 1976 年发生突变;冷时段平均最低气温呈 0.2°C/10a 上升趋势不明显,变化趋势不显著。

烤烟后套种豌豆生育期间时段(8~10 月)综合气候影响指数、干湿因子和热量因子主成分分别存在 17a、16a 和 7a 的主振荡周期变化。

烤烟后套种豌豆生育期间时段(8~10 月)降水量存在 29a 主振荡周期和 16a 的次振荡周期变化,00 年以后 2~4a 左右周期最明显;时段积温存在 7a 的主振荡周期变化;豌豆生育期间时段(11 月 21 日~12 月 10 日)平均最低气温存在 11a 的主振荡周期,7a 的次振荡周期;豌豆生育期内产量形成关键期间霜冻日数存在 19a、3a 的并联主振荡周期和 7a 的次振荡周期。

基金项目

国家现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-3);云南省优质麦类新品种选育及示范推广项目。

参考文献

- [1] 邵岩,王树会,邓云龙,等.基于 GIS 的云南烤烟种植区划研究[M].北京:科学出版社,2009:2-19.
- [2] 胡雪琼,黄中艳,朱勇,等.云南烤烟气候类型及其适应性研究[J].南京气象学院学报,2006,29(4):563-568.
- [3] 吴景云,杜志贵,华云峰.浙中地区菜豌豆翻秋栽培的气候适宜性[J].中国农业气象,1997,18(1):30-33.
- [4] 殷吉虎,高廷科,唐余贵,等.楚雄州烤烟套种主要模式及栽培技术[J].云南农业科技,2009(5):42-47.
- [5] 李明福,李洪民,徐宁生,等.云南烤烟套种紫甘薯最佳栽培期试验[J].西南农业学报,2013,44(9):1455-1458.
- [6] 王鹏.双柏县长寿仁豌豆山地栽培技术[J].云南农业科技,2013(3):43-44.
- [7] 马品芬.仁和镇烟后种植长寿仁豌豆现状及发展思考[J].云南农业,2014(7):50-51.
- [8] 陈春泉.楚雄州烤烟后种植硬壳甜脆豌豆技术[J].中国农技推广,2013,29(7):27-28.

- [9] 鲁永新, 杨永生. 楚雄州农业产业结构调整与气候[M]. 昆明: 云南民族出版社, 2004: 10-15.
- [10] 彭贵芬, 刘瑜, 张一平. 云南干旱的特征及变化趋势研究[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 40-44.
- [11] 起树华, 王建彬. 元谋干热河谷气候生态环境变化的初步分析[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(s1): 125-127.
- [12] 鲁永新, 田侯明, 杨海抒, 等. 云南省野生食用菌气候生境特征与评价[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 748-757.
- [13] 穆佳, 赵俊芳, 郭建平. 近 30 年东北春玉米发育期对气候变化的影响[J]. 应用气象学报, 2014, 25(6): 680-689.
- [14] 邢旭光, 史文娟, 张译丹, 等. 基于主成分分析法的西安市地下水资源承载力评价[J]. 水文, 2013, 33(2): 35-38.
- [15] 解明恩, 张万成. 云南短期气候预测方法与模型[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 69-81.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 106-112.
- [17] 董旭光, 顾伟宗, 孟祥新, 等. 山东近 50 年来降水事件变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(5): 661-671.
- [18] 彭贵芬, 刘盈曦. 云南年降水的多周期叠加与连续特大气象干旱关系及趋势预估研究[J]. 云南大学学报, 2014, 36(4): 530-537.
- [19] 龙卫红, 段旭, 杞明辉. 连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用[J]. 高原气象, 1999, 18(1): 1-9.
- [20] 张代青, 梅亚东, 杨娜, 等. 中国大陆近 54 年降水量变化规律的小波分析[J]. 武汉大学学报, 2010, 43(3): 278-287.
- [21] 曹洁萍, 迟道才, 武立强, 等. Mann-Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J]. 农业科技与装备, 2008(5): 35-40.
- [22] 简虹, 骆云中, 谢德体. 基于 Mann-Kendall 法和小波分析的降水变化特征研究[J]. 西南师范大学学报, 2011, 36(4): 217-222.
- [23] 田海峰, 秦耀辰, 李国栋, 等. 基于小波和 M-K 的豫东农区近 60 年气温变化的多尺度分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(35): 329-338.
- [24] 鲁永新, 杨永生. 楚雄州气候变化与气象灾害[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2010: 86-87.
- [25] 陶云, 樊风, 段旭, 等. 云南不同气候带气温变化特征[J]. 云南大学学报, 2013, 35(5): 652-660.
- [26] 王宇. 云南山地气候[M]. 云南科技出版社, 2006: 14-48.
- [27] 赫维人, 陈永生, 杨明, 等. 云南农业地理[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1981: 86-94.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org