

1954—2007年云南农业气候变化研究

黄中艳 朱 勇

(云南省气候中心, 昆明 650034)

提 要: 为弄清主要农业气候要素和农业气候年型变化规律和特征。基于多站点气候资料,对表征云南农业气候特点的17个初选气候因子,进行经验正交(EOF)分解提取主成分因子,再应用系统聚类法划分农业气候年型。结果得到7个相互独立的主成分因子和6种农业气候年型,可客观表述云南主要农业气候变化特征。1954年以来云南农业主要生长季气候变暖趋势明显;降水量和日照时数比气温年际波动大,日照变化又比降水量明显;春旱强度有减弱的趋势,阴雨寡照逐渐加重;1990年代中期以来气候变暖明显加剧,同时日照时数波动振幅大、夏季雨量有递减趋势;1995年以来云南主要受两种农业气候年型影响,1999—2007年的主要气候年型在1950年代、1960年代和1970年代均未曾出现。气候变化对农业的利弊影响都十分显著。

关键词: 农业气候变化 EOF分析 系统聚类

Research on Staple Agro-climate Changes for Recent 54 Years in Yunnan

Huang Zhongyan Zhu Yong

(Yunnan Climate Center, Kunming 650034)

Abstract: The features of changes for agro-climatic elements and agro-climatic matching types in Yunnan were investigated. On the basis of historical climatic data from observed stations, orthogonal expansion method was used to extract staple components from 17 climatic factors for three periods amid anniversary denoting local agro-climatic features. And hierarchical cluster method was employed to divide agro-climatic matching classes of Yunnan. As the results of this research, the principal changes of agro-climatic elements and annual agro-climatic types were summarized by 7 principal components independent of each other and 6 annual agro-climatic types.

The research shows that there was a trend of climate warming during the principal season of Yunnan agriculture among the recent 54 years and it has been reinforced since 1990s. On the other hand, the annual changes of precipitation and sunshine duration were more

conspicuous than air temperature; the amplitude of sunshine duration was at least equivalent to one of precipitation; the drought strength in spring was decreasing; successive raining and shortened sunshine duration have an aggravated trend. With the reinforcement of climate warming since 1995, the precipitation in summer has a decreasing trend whilst the amplitude of sunshine duration is large. From 1954—2007, only the minority of years has the agro-climatic type analogous to their previous years. Moreover, there are only 2 agro-climatic types mainly affecting Yunnan region since 1995. And the dominating agro-climatic type arisen since the end of last century did not occur in 1950s, 1960s and 1970s, which has distinctive climatic traits. The effects of these climate changes on agriculture in Yunnan are worth paying close attention. This research is very helpful to evaluating climatic influence, predicting agricultural production and undertaking meteorological services.

Key Words: agro-climate change orthogonal expansion analysis hierarchical cluster method

引 言

气候变化是当前热点问题,众多学者对区域气候变化进行过深入研究,如刘裕禄等^[1]应用 EOF 进行降水时空分布研究,效果很好。但现有相关文献大多是针对单一气候要素气温或降水进行的^[1-6],而关于光、温、水三者相结合的农业气候变化研究报道甚少。地处低纬高原的云南是南亚和东亚季风影响的过渡区,它立体气候突出,干湿季分明,冬夏半年日照差异大^[7]。在全球气候变化背景下,云南气候变化特点鲜明。植物生态学研究 and 生产实践认为,气候对植物生长、产量形成和农业的影响包括光、温、水总量的匹配,气候要素的时段变化和气象灾害的综合作用^[8-9],而非仅仅单一要素的影响。云南大部农业生产一年两熟(与干、雨季对应),秋收农业产量和产值占全年总产的 80%以上^[10],雨季 5—10 月还是森林等植物的主要生长期。分析研究云南农业主要生长季气候变化规律,对生产实践和气象服务意义重大。作者基于 3 个时段光、温、水匹配和农业气候主成分逐年变化的深入分析,研究云南农业主要生长季气候变化特征,揭示其主要农业气候变化规律和影响。

1 应用资料和农业气候因子的选取

1.1 资料

选择数据完整性和连续性最好,分布于滇中、滇东北、滇东南、滇西北和滇西南的 8 个站点(昆明、昭通、沾益、蒙自、丽江、大理、思茅、腾冲),使用 1954—2007 年逐年月、旬和候平均气温、降水量和日照时数进行分析研究。

1.2 因子的选择

云南主要农业气候影响时段为 3—10 月(秋收作物生长季)。其中 3—5 月为播种移栽和幼苗期,6—8 月为作物营养生长中后期和生殖生长中期,7—8 月为产量形成关键期,9—10 月为经济产量形成期(和晚秋作物重要生长期)。因作物各生育阶段对气候要求不同^[8-9]以及气候的季节性变化,不同阶段气候对作物的利弊影响差异大。根据相关研究^[7],云南农业气候主要问题可归结为:3—5 月春旱、短时低温冷害和部分地区 3—4 月热量较差;6—8 月低纬高原气温偏低、日照偏少、雨量偏多同时部分区域受旱涝影响;9—10 月常受阴雨寡照、热量强度不足和短时低温困扰。本研究以反映此 3 个时段光、温、水总量和上述农业气候主要问题为依据,在分

析各时段光温水常规要素与阶段性农业气候问题相关性基础上,筛选17个因子来共同表征云南作物主要生长期的农业气候。选定的气候因子3—5月时段为:3—4月平均气温(T_{3-4})、3—4月最小候平均气温($T_{h3-4min}$)、4月至5月中旬雨量(R_{4-5})、4—5月日照时数(S_{4-5})、4—5月2旬滑动平均日照时数最小值($S_{4-5s2min}$);6—8月时段为:总雨量(R_{6-8})、3旬滑动平均雨量最小值($R_{6-8s3min}$)和最大值($R_{6-8s3max}$)、总日照时数(S_{6-8})、2旬滑动平均日照时数最小值($S_{6-8s2min}$)、7—8月平均气温(T_{7-8})、7—8月最小候平均气温($T_{h7-8min}$);9—10月时段为:平均气温(T_{9-10})、最小候平均气温($T_{h9-10min}$)、总雨量(R_{9-10})、日照时数(S_{9-10})、2旬滑动日照时数最小值($S_{9-10s2min}$)。

在初选气候因子中,最小候平均气温反映短时低温,连续2旬滑动平均日照时数表示寡照阴雨,连续3旬滑动平均雨量最小值和最大值分别指示干旱和洪涝。3月日照充足,5—6月气温较高,三者对农作物产量影响很小,不予考虑。云南雨季一般5月中下旬开始,5月下旬降雨普遍陡增量大,选用4月至5月中旬雨量更能反映春旱影响程度。云南夏秋季降水充沛、日照较少,2旬滑动日照和3旬滑动雨量最小值与同期干旱相关性极小;其余月段日照时数、平均气温和降水量均代表3个特定时段或作物敏感时段的光、温、水总量。限于篇幅和研究主题,各初选气候因子的物理意义不予详述。

数据预处理先统计8站点逐年各因子值,再分别对各因子求8站点逐年平均值,最后应用17个变量、54年的样本序列,分析研究云南主要农业气候变化。

2 研究方法

2.1 应用 EOF 分析研究 3 个时段农业气候变化特征

主成分分析(EOF)是从多原始变量的样本序列中归纳提炼出潜在的、相互独立的、少数不同类别“公共因子”的一种统计学方法^[11-12],每个“公共因子”都由少数原始变量组成并具有一定物理意义。EOF分析是研究变量场主要和次要变化规律的有效方法。分析流程^[11-12]可简述为:

使用变量数为 m 、样本数为 n 的原始变量序列,构建 $\mathbf{X}_{n \times m}$ 阶矩阵;求其标准变量场的方差协方差阵 $\mathbf{Lxx} = \mathbf{X}^T \mathbf{X}$ 及其所有特征根和特征向量矩阵;提取特征根 > 1 的前 k 个主成分因子^[11](即“公共因子”),特征根值越大,其主成分因子方差对原始变量场总方差的解释度越大;用前 k 个主成分的特征根和其特征向量构造新矩阵;根据 $\mathbf{F}_{n \times k} = \mathbf{X}_{n \times m} \mathbf{A}_{m \times k}$ 得到前 k 个主成分因子表达式,即使用原始变量可计算得到逐年各主成分因子值。根据变量场的主成分因子构成、各主成分特征根大小和主成分因子值的逐年变化,可分析提炼出变量场的时间或空间变化特征。

2.2 应用系统聚类法研究农业气候匹配年型及其年际变化

气候对农业的影响不是多个气候因子影响的简单叠加,而是相同时段多气候因子匹配的综合作用和多个时段不同气候匹配的共同影响^[8-9],即不同的农业气候年型具有不同的农业效应。系统聚类法适用于农业气候的年型划分,是对多变量(或样本)按照相似程度(以距离表示)进行客观分类或归类的一种成熟统计方法^[11-13]。在此以 EOF 分析得到的3时段所有主成分因子作为新变量组,经对历年新变量样本标准化处理后,针对多个主成分因子历年值的匹配进行系统聚类和年份归类。依据划分的年型种类和各分类的主成分因子多年平均值可确定主要农业气候匹配年型的标准参照系,而某个农业气候年型的物理意义可由其主成分因子物理意义和因子值来解释。按照农业气候匹配年型划分和

逐年归类结果,可分析关注年份和各年代农业气候特点或评判其对农业的影响。

3 结果和分析

3.1 6—8 月时段 EOF 分析

经分析,EOF 对 6—8 月时段 5 个变量

可提取 84%~95% 的原始信息,对另外 2 变量(3 旬滑动平均雨量最大值和最小值)可分别提取 77.8% 和 68.2% 的原始信息;提取的 3 个主成分因子(见表 1)其特征根对原始变量场总方差的贡献率分别为 46.37%、22.33% 和 15.89%,三者累计贡献率为 84.58%。

表 1 6—8 月各成分因子特征根及对原始变量场总方差的解释度

主成分	原始特征根			前 3 个主成分的特征根			最大方差化旋转后特征根		
	特征根值	占总方差%	累计占总方差%	特征根值	占总方差%	累计占总方差%	特征根值	占总方差%	累计占总方差%
F1	3.246	46.365	46.37	3.246	46.37	46.37	2.433	34.75	34.75
F2	1.563	22.328	68.69	1.563	22.33	68.69	1.828	26.11	60.86
F3	1.112	15.887	84.58	1.112	15.89	84.58	1.660	23.72	84.58
F4	0.552	7.893	92.47						
F5	0.306	4.376	96.85						
F6	0.165	2.351	99.20						

表 2 为 6—8 月时段 EOF 分析得到的两个矩阵,主成分因子负荷矩阵表示 3 个主成分因子对各原始变量(标准化值)变异的解释

度,而主成分因子得分系数矩阵反映各原始变量(标准化值)对 3 主成分的贡献大小。

由于变量经标准化处理后消除了量纲的

表 2 6—8 月主成分因子特征向量负荷矩阵和因子得分系数矩阵

初选气候因子	主成分因子负荷矩阵			主成分因子得分系数矩阵		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
ZR ₆₋₈	-0.841	0.378	0.318	0.440	0.039	0.112
ZR _{6-8s3max}	-0.760	0.398	0.204	0.381	0.085	0.037
ZR _{6-8s3min}	-0.743	0.208	0.295	0.356	-0.039	0.111
ZS ₆₋₈	0.563	0.740	-0.214	0.007	0.533	-0.084
ZS _{6-8s2min}	0.486	0.795	-0.132	0.075	0.537	-0.032
ZT ₇₋₈	0.694	-0.152	0.581	0.028	-0.118	0.560
ZTh _{7-8min}	0.611	0.127	0.693	0.178	0.005	0.632

注: F1、F2、F3 分别表示第 1、2、3 主成分因子;ZR₆₋₈表示 6—8 月雨量的标准化处理值,其余类推;表中所有数值均为无量纲系数。

影响,故表 2 中主成分因子得分系数绝对值越大表示相应变量对其主成分因子的影响越大。根据 EOF 分析和表 2,6—8 月第 1 主成分因子可简化表达为:

$$ZF_{1-6-8} \approx 0.440ZR_{6-8} + 0.381ZR_{6-8s3max} + 0.356ZR_{6-8s3min} + 0.178ZT_{7-8min} \quad (1)$$

式中各变量代号前加 Z 表示为变量标准化处理值(以下相同),等式(1)右边项系数值大的前 3 项均为雨量项。可见,第 1 主成分因

子主要反映 3 个雨量项的贡献,即雨量越大,第 1 主成分因子得分越高,洪涝越重;反之,夏旱影响越明显。同样,第 2 主成分因子表达式可列出(略),F2 主要表示 2 个日照项的变化,日照项越大,F2 因子得分越高,说明夏季光照条件越好。同理,第 3 主成分因子表示热量条件,6—8 月平均气温和最低候平均温度越高,F3 得分越高,代表夏季热量条件越好。

3.2 3—5 月和 9—10 月两时段 EOF 分析

EOF 分析提取了 3—5 月 5 个变量原始信息的 78.6%~90.2%，和 9—10 月 5 个变量原始信息的 78.5%~86.6%。对 3—5 月提取了 2 个主成分因子，其特征根对总方差贡献率分别为 49.01%、31.952%，两者累计贡献率 80.96%。对 9—10 月提取的 2 个主成分因子，其特征根贡献率分别为 53.51% 和 27.811%，累计贡献率为 81.32%。

3—5 月时段第 1 主成分因子表达式为：

$$ZF_{1-3-5} \approx 0.385ZS_{4-5,2\min} + 0.379ZS_{4-5} - 0.341ZR_{4-5} \quad (2)$$

即 3—5 月 F1 综合反映日照和雨量的变化，其中日照项和雨量项分别为正、负效应；F1 值大，表示 3—5 月光照好、阴雨寡照影响小；因春季属云南气候干旱最重季节，F1 值大也意味着春季旱情偏重。第 2 主成分表达式为：

$$ZF_{2-3-5} \approx 0.556ZT_{3-4} + 0.554ZT_{h3-4\min} \quad (3)$$

根据式(3)，3—5 月 F2 表征春季热量条件和低温影响，F2 值大表示春季气温较高、低温影响小。

9—10 月时段第 1 主成分因子表达式为：

$$ZF_{1-9-10} \approx 0.435ZS_{9-10} + 0.384ZS_{9-10,2\min} - 0.344ZR_{9-10} \quad (4)$$

显然，9—10 月 F1 主要反映秋季阴雨寡照影响，两个日照项为正效应，雨量项为负效应，F1 值大，说明 9—10 月光照条件好、阴雨寡照影响小。9—10 月第 2 主成分表达式为：

$$ZF_{2-9-10} \approx 0.551Th_{9-10\min} + 0.549ZT_{9-10} - 0.141ZS_{9-10} \quad (5)$$

即 9—10 月 F2 主要反映秋季热量条

件，虽然有日照项，但其负效应小；F2 值大，表示 9—10 月气温较高、低温影响不明显。

3.3 三个时段各主成分因子的逐年变化

根据各主成分因子逐年值，绘制了其逐年变化图(图 1)。图中还给出了由正交多项式模拟的变化趋势线。

根据 EOF 理论，云南农业气候 7 主成分因子是相互独立的。同时图 1 说明：

(1) 图 1(b)、(e)、(g)反映 3 时段云南气温的逐年变化。三者都有增温变暖的趋势，夏、秋季变暖较显著；进入 1990 年代中期后各时段气温均进入快速上升期，这与全球气候变暖趋势相呼应；温度的低值区春季出现在 1990 年代中期、夏季为 1970 年代中期，而 9—10 月多出现于 1950 年代末期。

(2) 根据图 1(a)，1960 年代以来春旱强度有缓慢减弱的趋势，1960 年代春旱最重，1990 年代春旱次重；1999—2007 年春旱强度最弱。图 1(c) 显示夏季雨量有减少之势，1990 年代后期以来递减趋势尤为显著。

(3) 根据图 1(d)，1960 年代以来夏季日照时数逐渐递减趋势明显，1960 年代和 1970 年代前期为峰值期，1990 年代为低谷期，近几年有所回升。图 1(c) 和 (d) 比较，夏季日照时数年代际振幅大于雨量的。

(4) 图 1(f) 说明，进入 1970 年代以来 9—10 月阴雨寡照逐渐加重，1960 年代前期和 1970 年代影响最小，1980 年代中期至 1990 年代初期影响最重，近年仍处于比常年偏重期。

3.4 系统聚类分析

对 7 个主成分因子历年值进行农业气候匹配年型的系统聚类分析，结果见表 3。

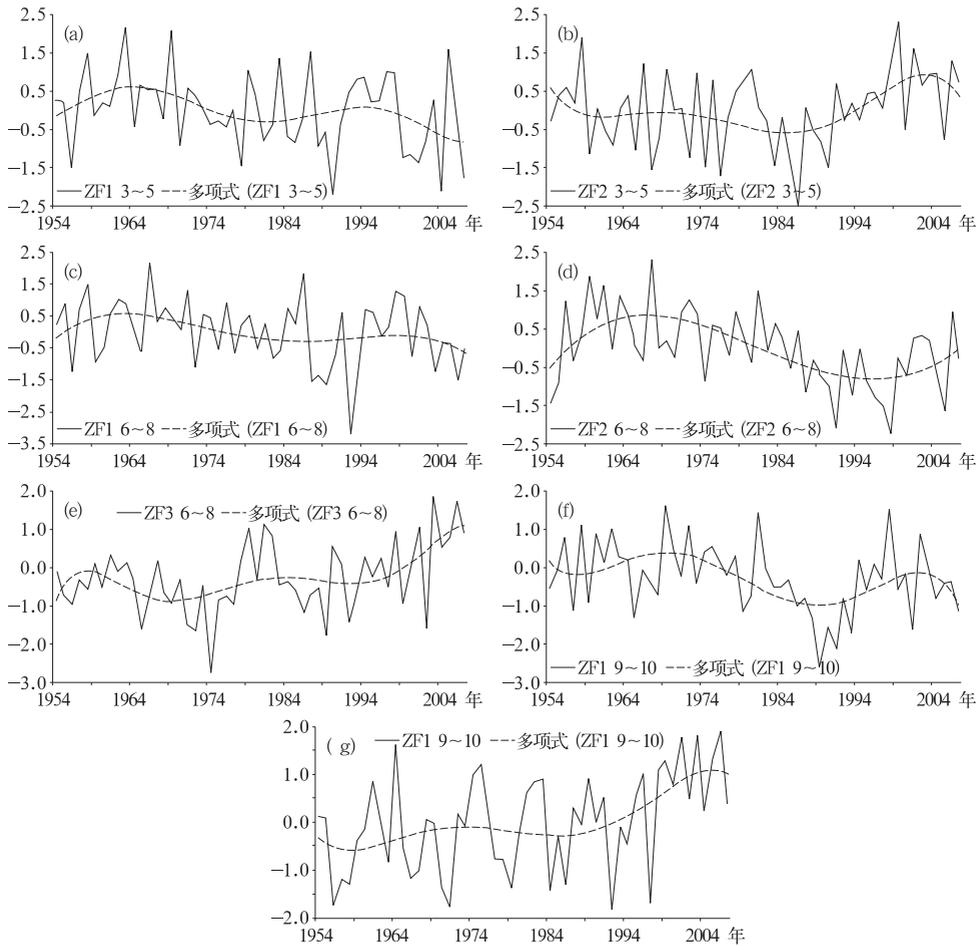


图 1 云南 3—10 月农业气候主成分因子得分逐年变化

(a) 3—5 月第 1 主成分(阴雨寡照和春旱), (b) 3—5 月第 2 主成分(春季低温);
 (c) 6—8 月第 1 主成分(夏季雨量和涝旱), (d) 6—8 月第 2 主成分(光照); (e) 6—8 月第 3 主成分(气温),
 (f) 9—10 月第 1 主成分(阴雨寡照); (g) 9—10 月第 2 主成分(气温)

表 3 3—10 月云南农业气候匹配年型划分及其主成分因子平均值

气候 年型	3—5 月		6—8 月		9—10 月		年份分类	
	ZF1	ZF2	ZF1	ZF2	ZF3	ZF1		ZF2
Type1	-0.330	0.146	0.197	0.025	-1.049	0.745	0.884	1955,1964,1974,1975,2002
Type2	-0.166	0.057	-0.636	0.632	-0.357	0.962	-0.650	1956,1960,1969,1970,1972,1977,1978,1981,1992
Type3	0.775	0.358	0.919	0.181	-0.009	0.170	-1.020	1957,1958,1962,1963,1966,1971,1973,1979,1984,1994,1997
Type4	0.020	-1.295	0.074	0.646	-0.398	-0.530	-0.060	1959,1961,1965,1967,1968,1976,1983,1985,1986,1989
Type5	0.621	0.329	-0.116	-1.365	0.313	-0.376	0.512	1954,1980,1987,1991,1993,1995,1996,1998,2005
Type6	-1.118	0.481	-0.506	-0.198	0.972	-0.558	0.864	1982,1988,1990,1999,2000,2001,2003,2004,2006,2007

根据表 3, 云南农作物主要生长季有 6 类农业气候匹配年型, 各年型气候特点鲜明。

比如第 1 类 (Type1), 春季雨量正常稍多旱情略轻、气温正常稍高, 夏季雨量稍多旱涝正

常、日照接近常年但热量条件特差(有夏季低温),9—10月光热条件好(气温偏高突出)。第 5 类,春季少雨多光照旱情重、低温影响小,夏季雨量稍少、日照特少、气温略偏高,9—10月阴雨寡照典型偏重、热量条件较好。第 6 类,春季雨量偏多日照特少干旱不明显、低温影响小,夏季雨量典型偏少、日照略偏差、热量条件好,9—10月阴雨寡照典型突出、热量条件优越。其余各类年型略述。

基于表 3,最近 54 年云南有 10 个年份主要生长季农业气候年型与其上年相似,但连续 3 年年型相似的只出现过 1 次(1999—2001)。1960 年代以第 4、3、2 类为主,1970 年代以第 2、3 类为主,1980 年代以第 4、5、6 类为主,1995 年后以第 5、6 类为主(概率为 11/13);2001—2007 年代主要为第 6 类。

4 讨论

(1) 基于气候变化的农业和生物学意义,针对区域农业气候特点来划分研究时段和选定分析要素项,所选 17 个因子考虑了 3 时段气候三因素的总量,主要不利短期气候和中等时段要素值 3 个方面。

(2) 3 个时段都分析了气候三因素总量,代表了整个农业生长季的光温水总量;又根据文献[14],云南各气候要素全生长季的相对变异比各月段的明显要小,故在因子选择上不必单独考虑全生长季气候要素总量。另一方面,不但分 3 个时段提取相互独立主成分因子,而且从主成分因子的不同匹配上进行了研究。因子选择和研究方法具有合理性和科学性。

(3) 进入 1990 年代中期后,第 5、6 类云南农业气候年型出现概率很高,根据植物生态学原理,此二类气候年型的农业效应差异大^[15];进入 21 世纪后,第 6 类农业气候年型出现的概率达 3/4,其气候特点不仅是温度

高,而且春旱特轻,夏季雨量典型偏少、秋季阴雨寡照重。说明云南农业主要生长季气候变化加剧了,或许正进入一个与 1950—1980 年代时期偏差大的阶段。

(4) 3 个时段提取的第 1 主成分反映的都不是温度,而是日照或雨量;春、秋季日照对第 1 主成分的影响大于雨量,即光照和降水的变化比气温变化更显著,很值得关注。

(5) 关于农业气候匹配年型的划分及其变化特点,具有明确的农业和生物学意义,对做好云南气候影响评价、产量预测和农业年景展望,具有重要指导意义。

5 结论

基于前面的分析研究,可得到如下主要结论:

(1) 云南农业气候变化问题复杂,其主要生长季农业气候变化特征可用 7 个相互独立的主成分因子描述。夏季降水变化最显著,气温相对变化较小;春、秋季日照年际变化最明显。

(2) 云南农业主要生长季各时段都有气候变暖趋势,夏、秋季变暖特征比春季明显;进入 1990 年代中期后气候变暖加剧,同时日照变幅大、降水量夏季雨量递减显著。

(3) 1960 年代以来云南春旱强度有缓慢减弱的趋势,1999—2007 年为最近 54 年春旱最弱期。1960 年代以来夏季日照递减趋势明显;1970 年代以来 9—10 月阴雨寡照影响逐渐加重。

(4) 夏季雨量年际波动比日照显著,但日照时数年代际变幅大于雨量的;春、秋季日照年际变化都比雨量显著。

(5) 作物主要生长季云南农业气候有 6 种年型。只有少数年份的农业气候年型与其上一年相似;进入 1990 年代后云南农业气候变化明显加剧,主要出现两种农业气候年型;

1999—2007 年云南农业气候年型独特: 各时段气温高、低温影响小; 夏季雨量典型偏少; 春季干旱影响小; 秋季阴雨寡照突出。

参考文献

- [1] 刘裕禄, 许柏林, 许剑勇. 黄山地区汛期(5—9月)降水时空特征[J]. 气象, 2007, 33(8): 47-51.
- [2] 刘燕, 程正泉, 叶萌. 广州市气温的气候变化特征及其成因分析[J]. 气象, 2008, 34(2): 52-60.
- [3] 罗伯良, 张超, 林浩. 近 40 年湖南省极端强降水气候变化趋势与突变特征[J]. 气象, 2008, 34(1): 80-85.
- [4] 姚愚, 李晓鹏, 闫丽萍, 等. 近 44 年云南年平均气温的时空变化特征[J]. 气象, 2006, 32(10): 81-87.
- [5] 尤卫红, 傅抱璞, 林振山. 云南近百年气温变化与 8 月低温冷害天气[J]. 高原气象, 1997, 16(1): 63-72.
- [6] 段玮, 肖子牛. 近 33 年云南降水及其构成的气候变化[C]. 中国气象学会 2006 年年会“首届研究生年会”分会场论文集: 32-36.
- [7] 王宇. 云南省农业气候资源及区划[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 10-12.
- [8] 韩湘玲, 曲曼丽. 作物生态学[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 27-39, 42-46, 51-63, 67-70.
- [9] 崔读昌. 世界农业气候与作物气候[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1994: 3-5, 8-9.
- [10] 云南省统计局. 云南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007: 239.
- [11] 张文彤. SPSS11 统计分析教程[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002: 171-177, 191-202.
- [12] 严华生, 王学仁. 多因变量及要素场统计预报[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 100-104.
- [13] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 102-118.
- [14] 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.
- [15] 冯秀藻, 陶炳炎. 农业气象学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 86-92, 189-191, 193-199.