

马雯思,刘玮玮,赵 宁,等. 中国农牧交错带 30 年响应气候变异趋势分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(24):279-284.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.074

# 中国农牧交错带 30 年响应气候变异趋势分析

马雯思,刘玮玮,赵 宁,马 超

(河南理工大学矿山空间信息国家测绘与地理信息局重点实验室,河南焦作 454000)

**摘要:**农牧交错带是典型的生态脆弱区和环境变化敏感区,有气象-环境放大镜作用,及时准确地了解农牧交错带的气候时空变异状况,对环境响应全球气候变化具有重要的生态学意义。利用中国大陆 752 个站点 1982—2012 年的逐年降水、气温数据资料,运用反距离空间加权法、掩膜提取、变异系数运算等对中国北方和川滇农牧交错带降水、气温进行分区对比分析。结果表明:(1)除北方农牧交错带丘陵草原区(Ⅳ区)降水量增加外,其他 4 区均呈减少趋势,气候变化对北方农牧交错带草甸草原区(Ⅰ区)影响最大(降水量变异系数  $VC_p = 18\%$ ),川滇农牧交错带山地草原区(Ⅴ区)受其波动性最小( $VC_p = 7\%$ )。(2)1982—2012 年间,研究区总体增温速率为  $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ 年}$ ,总体变异系数达  $29\%$ ;30 年平均变异系数空间上存在差异性,表现为草甸草原区(Ⅰ区)(温度变异系数  $VC_t = 14\%$ ) > 丘陵草原区(Ⅳ区)( $VC_t = 12\%$ ) > 荒漠草原区(Ⅲ区)( $VC_t = 9\%$ ) > 灌丛草原区(Ⅱ区)( $VC_t = 7\%$ ) > 山地草原区(Ⅴ区)( $VC_t = 6\%$ )。(3)30 年来  $400\text{ mm}$  等雨量线有向东、向北发展趋势,空间动态变化范围( $102^{\circ} \sim 111^{\circ}\text{E}$ ,  $35^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$ )与北方农牧交错带区域( $105^{\circ}45' \sim 124^{\circ}42'\text{E}$ ,  $36^{\circ}01' \sim 49^{\circ}36'\text{N}$ )重合度达  $89\%$ ,且重合度有升高之势。

**关键词:**农牧交错带;变异系数;地形分区; $400\text{ mm}$  等雨量线;降水量;气温;增温速率;空间动态变化;重合度

**中图分类号:** S162 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)24-0279-06

我国农牧交错带是从半干旱区向干旱区过渡的广阔地带,该地带具有较强的过渡性和波动性,在一定程度上决定了人类活动方式的不稳定性,进而导致该区域生态环境容易受到冲击和破坏,而将潜在的自然环境脆弱性转化为现实的破坏。农牧交错带生态环境表现出敏感性强、退化趋势明显等脆弱特征<sup>[1]</sup>。因此,开展中国农牧交错带响应全球变化影响研究对于科学合理地利用、管理交错带,改善生态环境等具有重要的意义。

过去对北方农牧交错带,从土地利用<sup>[2-3]</sup>、边界判定与变化<sup>[4-8]</sup>、生态环境变化<sup>[9-13]</sup>等单方面进行研究,但对于不同植被类型交错带气候变化对比研究及对川滇农牧交错带研究

比较薄弱。既然农牧交错带是典型的生态脆弱区和环境变化敏感区,其对气候变化的响应程度必然与其他地区有所不同,因此把 2 个交错带统一起来,分析北方、西南生态脆弱地区对气候变化的响应更有意义。本研究综合利用反映气候变化特点的遥感数据信息,通过采用反距离加权空间插值方法以及变异系数运算,分析中国农牧交错带时空分布的气候变化状况及 30 年来研究区变异系数动态趋势,研究  $400\text{ mm}$  等雨量线在农牧交错带区域动态变化的地理空间格局特征。为该区土地利用、生态恢复等提供一定的指导依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

本研究的研究区域是依据杨秀春等所划分的范围<sup>[14-15]</sup>而确定的。农牧交错带既是地理分区,也是文化分区,更是生态分区。北方农牧交错带即北起大兴安岭西麓的呼伦贝尔,向西南延伸,经内蒙东南、冀北、晋北直到鄂尔多斯陕北,位于华北与内蒙的交界区上,跨越内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、河

收稿日期:2016-07-01

基金项目:国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目(编号:培育项目 U1261106)。

作者简介:马雯思(1993—),女,河南开封人,硕士研究生,主要从事遥感理论与应用研究。E-mail:969259520@qq.com。

通信作者:马 超,博士,教授,硕士生导师,主要从事遥感理论教学和遥感技术矿区地质灾害的监测研究。E-mail:d\_insar@126.com。

## 参考文献:

- [1]王 云,魏复盛. 土壤环境元素化学[M]. 北京:中国环境出版社,1995.
- [2]齐玉薇,史长义. 硒的生态环境与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2005,22(2):63-66.
- [3]张艳玲,潘根兴,李正文,等. 土壤-植物系统中硒的迁移转化及低硒地区食物链中硒的调节[J]. 土壤与环境,2002,11(4):388-391.
- [4]刘 铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1996.

- [5]黄开勋,徐辉碧. 硒的化学、生物化学及其在生命科学中的应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2009.
- [6]廖金凤. 海南省土壤中的硒[J]. 地域研究与开发,1998,17(2):65-68.
- [7]海南省农业厅土肥站. 海南土壤[M]. 海南:海南出版社,1993,12.
- [8]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [9]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [10]徐 文,唐文浩,邝春兰,等. 海南省土壤中硒含量及影响因素分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(6):3026-3027.

北、山西、陕西、甘肃、宁夏、青海等 10 个省(区),共包括 177 个县(旗)、4 个县级市、20 个市辖区,总面积 72.67 万  $\text{km}^2$ , 占国土面积的 7.57%,其中草地占研究区面积的 50% 左右,分布在 400 mm 等雨量线的两侧。川滇农牧交错带界定在海拔高度 2 500 ~ 4 500 m 之间,位于青藏高原东南缘,年均降水量可以达到 700 ~ 900 mm。地域划分与地形垂直变化有直接关系,行政区域上包括四川省阿坝藏族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州和云南省的迪庆藏族自治州、怒江傈僳族自治州和丽江地区。

## 1.2 数据来源

依据各省(市、区)气候资料处理部门逐月上报的《地面气象记录月报表》的信息化资料,统计整理出我国 752 个基本、基准地面气象观测站及自动站 1982 年以来气候资料年值

数据集。去除缺测和错误数据,转换为 Excel 文件,最后整理为 1982—2012 年共 30 个 Excel 表格数据(站点名、站点经纬度、年份、降水量年值、温度年值)。在 ArcGIS 中,对年均降水量、温度插值处理所使用的矢量文件为中国国界和省界线划图和面划图矢量文件,掩膜处理使用的矢量文件为中国农牧交错带省级矢量图以及农牧交错带草地类型分布矢量图。

## 1.3 研究方法

1.3.1 地域分区 根据前人研究的结果,为了定量对比不同产草量区域气候时空变化<sup>[14]</sup>,考虑到研究区气候、地形、土壤植被等,对北方农牧交错带进行分区,将川滇交错带作为独立研究带,形成五大区域:Ⅰ区为草甸草原区,Ⅱ区为灌丛草原区,Ⅲ区为荒漠草原区,Ⅳ区为丘陵草原区和Ⅴ区为山地草原区(图 1)。

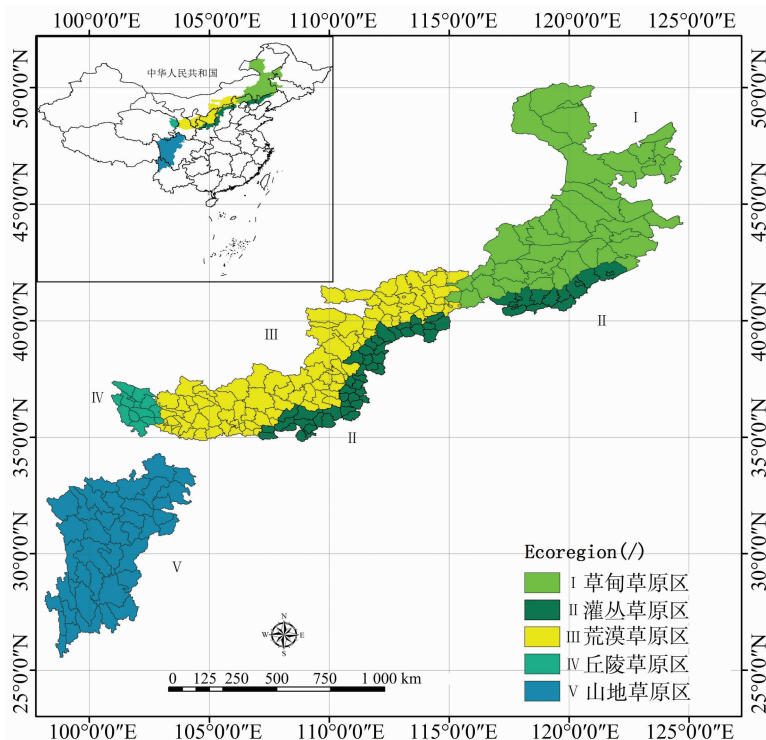


图1 农牧交错带分区

1.3.2 插值掩膜处理 将我国国界、省界和交错带省级 shp 矢量文件和每年的年降水量、温度 Excel 表格数据导入 ArcGIS,以每年降水量(温度)图层的降水量(温度)为插值对象,以中国国界与省界矢量文件中的面文件为插值范围,采用反距离加权法(IDW),插值出中国降水、温度分布栅格数据集,以 5 区交错带矢量文件为掩膜,进而获得中国农牧交错带降水、温度分布图(图 2)。

1.3.3 加权平均值提取 在全国降水量分布图中提取 400 mm 等值线,因含有多个弧段组成,须将等降水量线进行离散化处理,再执行操作,获取这些离散点的经向和纬向坐标求平均值,即可得到 400 mm 等降水量线加权平均位置,如图 3 所示。

1.3.4 变异系数运算 变异系数也称离均系数,是均方差(标准差)与平均值之比,可用百分数表示。与方差、标准差相比,变异系数既可用来反映某一观测值的变化程度,又能消除测量尺度和量纲的影响,以便进行客观比较。一般来说,变

量值平均水平高,其离散程度的测度值越大,反之越小。其计算公式为:  $VC = (SD/MN) \times 100\%$ 。式中:VC 表示变异系数,SD 为均方差(标准差),MN 为平均值。该研究中,通过分别计算降水量和温度变异系数  $VC_p$  和  $VC_t$ ,分析气候变化背景下 5 区降水量和气温变化程度。

## 2 结果与分析

### 2.1 五区降水量对比

结合农牧交错带降水分布(图 3),北方四区农牧交错带 30 年均降水量分别为 402、495、379、380 mm,川滇交错带 30 年均降水量在 755 mm 左右。30 年间,Ⅱ灌丛草原区、Ⅲ荒漠草原区、Ⅴ山地草原区降水量呈微弱减少趋势,而Ⅰ草甸草原区(减少)和Ⅳ丘陵草原区(增加)的变化幅度较大。

由中国农牧交错带地区年降水量及其变化情况分布(图 4)可知,降水量发生大于 100 mm 的突变均为显著增高:1991—1992 年Ⅳ区为 281 ~ 428 mm;1997—1998 年,Ⅰ区为

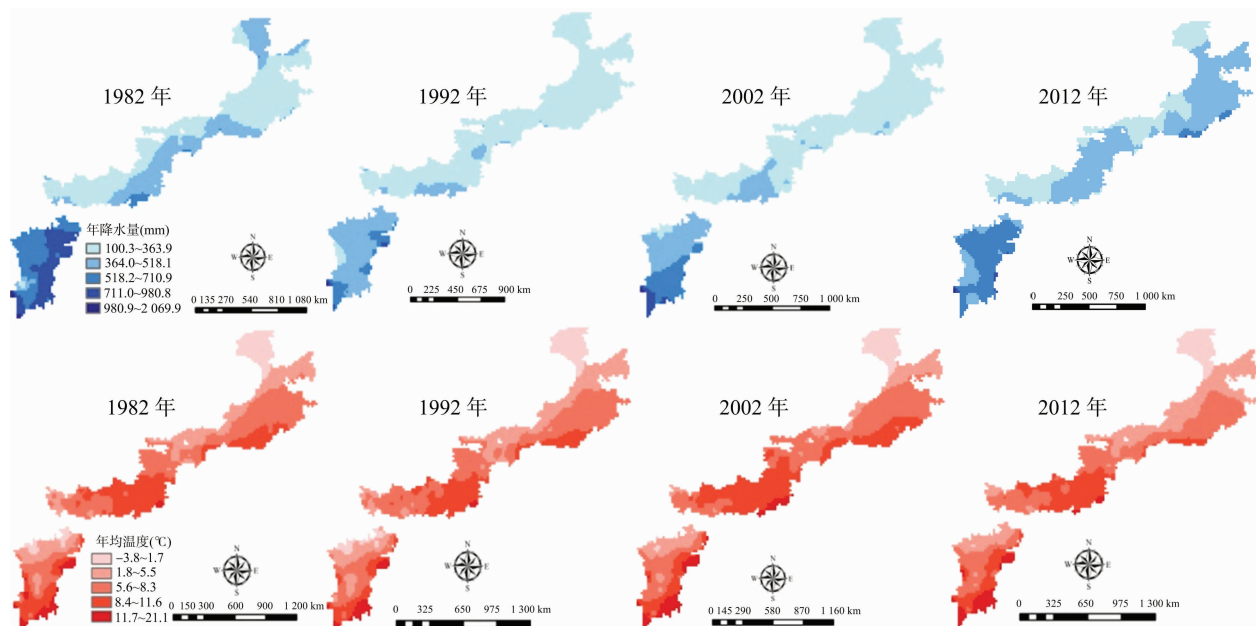


图2 农牧交错带时间序列降水、温度专题图

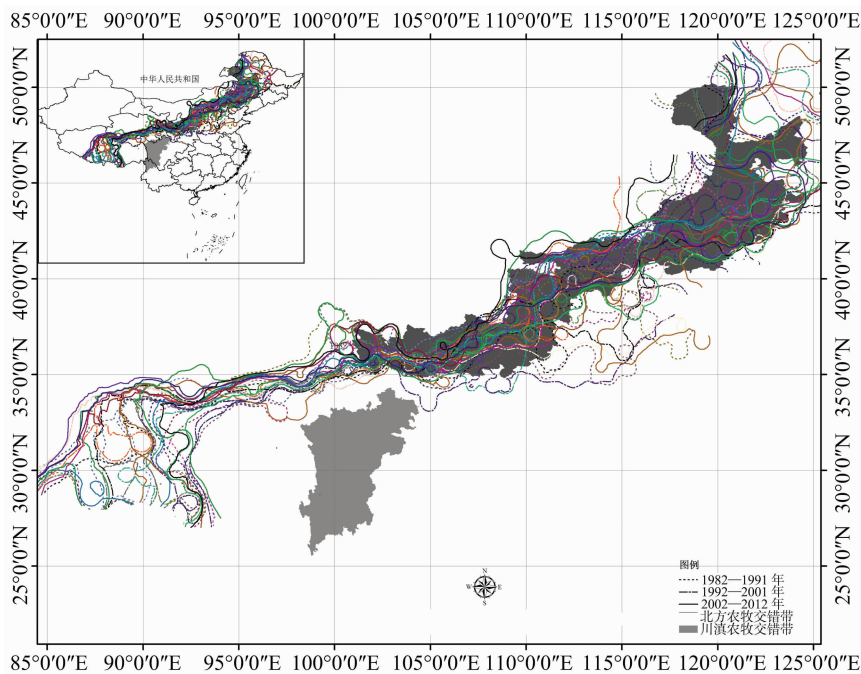


图3 400 mm 等雨量线加权平均位置

370 ~ 603 mm, II 区为 379 ~ 547 mm, V 区为 695 ~ 892 mm; 2002—2003 年 III 区(390 ~ 490 mm)。研究获得的 5 次异常降水变化,如 1992 年的洪涝灾害,1998 年长江流域特大洪水,2003 年的飓风、暴雨等,与 ENSO 或 La Nina 现象高度相关<sup>[16-17]</sup>,说明农牧交错带作为生态脆弱区对于全球的生态放大镜的作用是显著的。

根据 5 区降水量变异系数变化情况(图 5)可知,5 区降水量变异系数均呈波动性变化。草甸草原区(I 区)、灌丛草原区(II 区)和山地草原区(V 区)降水变异系数  $VC_p$  在 20 世纪 90 年代明显增高,其中 I 区增加了 78%,II 区增加 45%,V 区增加 50%,说明 3 区域降水量在 90 年代受气候变化影

响最大。2000 年之后,变异系数有所减小,但 3 区域变异系数仍处于升高趋势。荒漠草原区(III 区)和丘陵草原区(IV 区)在 90 年代显著降低,其中 III 区降低了 16%,IV 区降低 45%,说明在 90 年代的气候变化条件下 III 区和 IV 区降水量波动较小。近十几年来,2 区变异系数又有微弱增加趋势。

结合 5 个区域 30 年降水量平均变异系数(表 1)可知,近 30 年来,5 区降水量受气候影响的波动性呈现出 I 区(18%) > III 区(14%) > II 区(12%) > IV 区(11%) > V 区(7%)。

## 2.2 5 区温度变化比较

图 6 为农牧交错带 5 区年平均气温变化动态图,结合图

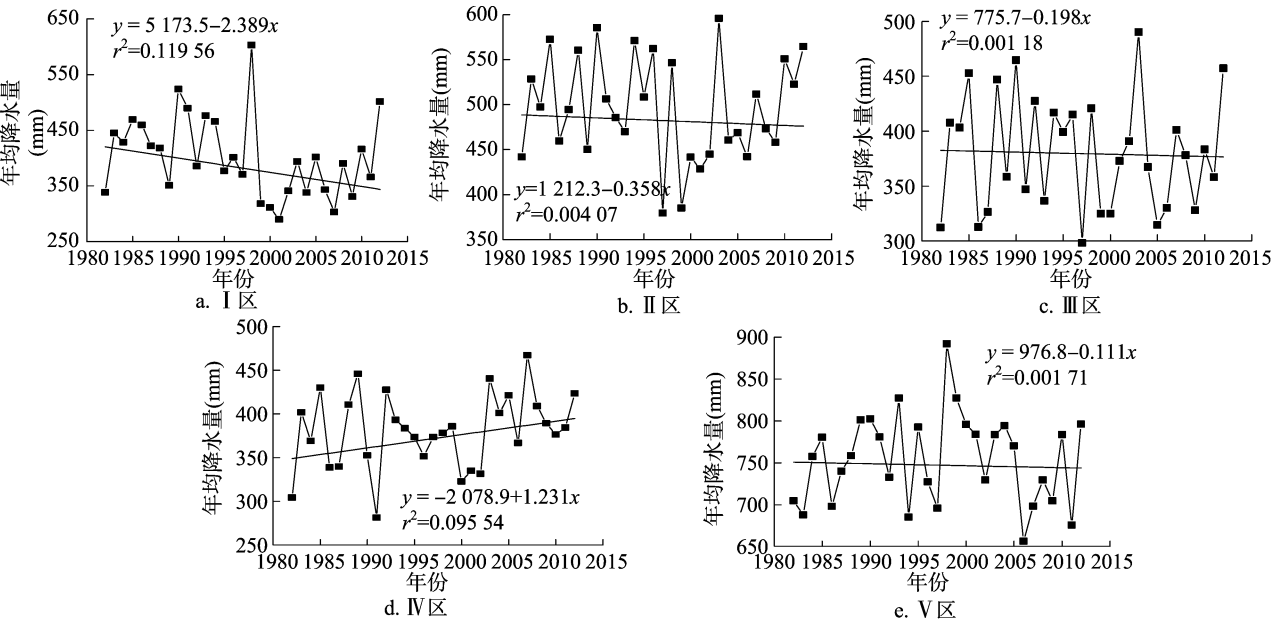


图4 5区降水量变化趋势

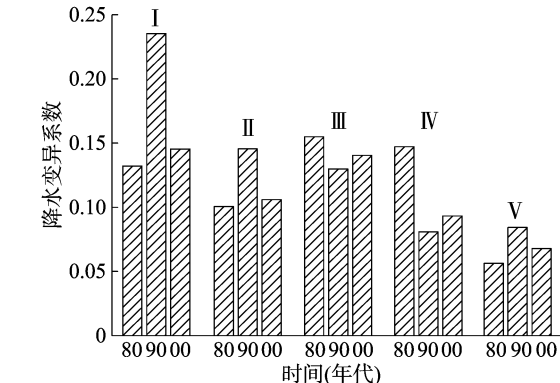


图5 农牧交错带降水量变异系数变化

表1 5区降水、温度30年平均变异系数

指标	变异系数(%)				
	I区	II区	III区	IV区	V区
降水	18	12	14	11	7
温度	14	7	9	12	6

3可知,30年5区平均气温分别为4.7、9.0、7.6、5.5、7.8℃。1998年,Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ区气温达到最高,其中Ⅱ区10.1℃、Ⅲ区和Ⅳ区都为8.8℃;2007年为Ⅰ区历史最热年,温度达到6.2℃;V区在2009年温度达到最高,为8.7℃。2000—2010年是最暖的10年,平均温度达7.4℃。近30年来,5区均有明显的增温趋势,南北农牧交错带年平均气温增长率为0.45℃/10年,明显高于同期全国和全球的气温增长率。虽

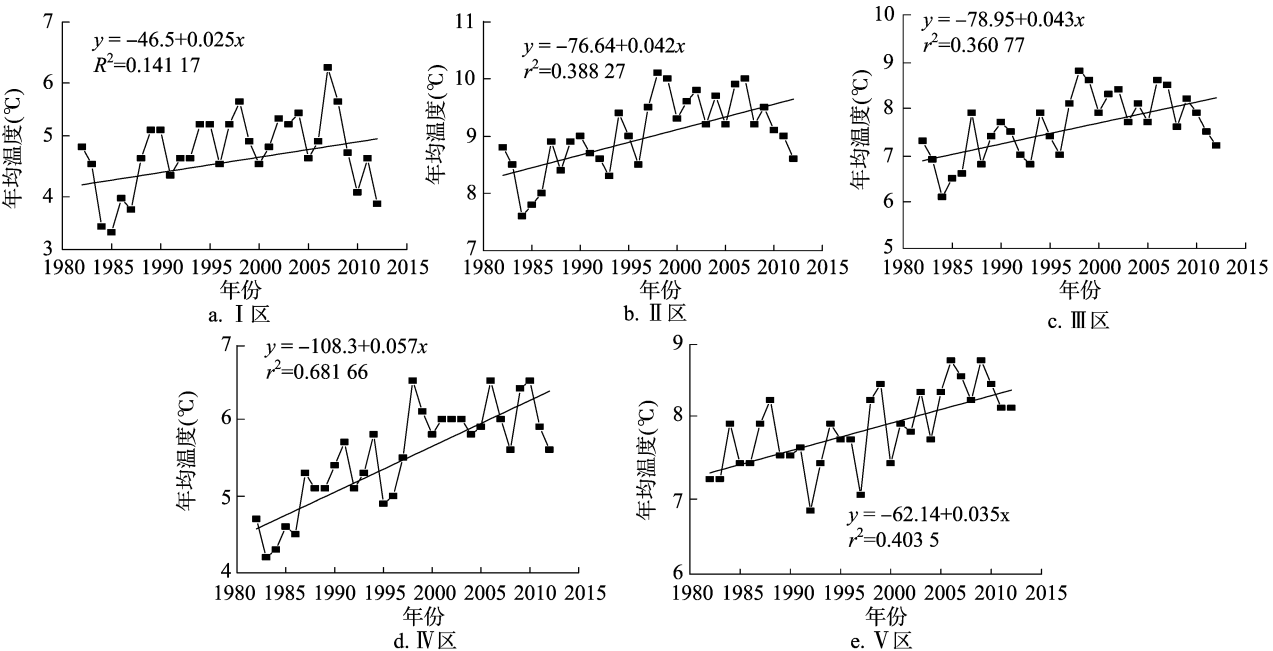


图6 5区温度变化趋势

然近 4~5 年出现了明显降温现象,但总体仍处于升温状态,这与全球平均气温变化的趋势一致<sup>[18]</sup>。

从交错带温度变异系数  $VC_t$  变化(图 7)中可以看到,1982—2012 年间所有区域的气温变异均呈下降趋势,总体变异系数下降了 29%。I 区在 90 年代气温变异系数下降了 50%,说明 I 区温度在 90 年代受气候影响较小,进入 21 世纪变异系数开始回归;II 区和 III 区变异系数呈低—高一低动态趋势,近 10 年与 80 年代相比分别下降了 18% 和 31%;IV 区变异系数呈阶梯式下降,30 年来下降幅度达到 51%,说明近 30 年,IV 区受气候变化的波动性越来越小。V 区在 90 年代气温波动性最大,与 80 年代相比升高了 56%。表 1 显示,5 区温度 30 年平均变异系数分别为草甸草原区(I 区,14%)>丘陵草原区(IV 区,12%)>荒漠草原区(III 区,9%)>灌丛草原区(II 区,7%)>山地草原区(V 区,6%)。

### 2.3 400 mm 等雨量线迁移与农牧交错带地理相关性分析

400 mm 等雨量线是中国西部干旱半干旱区与东部湿润半湿润区的分界线,全国 90% 左右的耕地和人口都分布在该线以东地区,也是中国北方农牧交错带区域的重要划分标准,因此,400 mm 等雨量线的空间位移会对中国北方农牧交错带产生巨大的资源环境及社会经济效应。

由图 3 可知,400 mm 等雨量线迁移在空间上与北方农牧

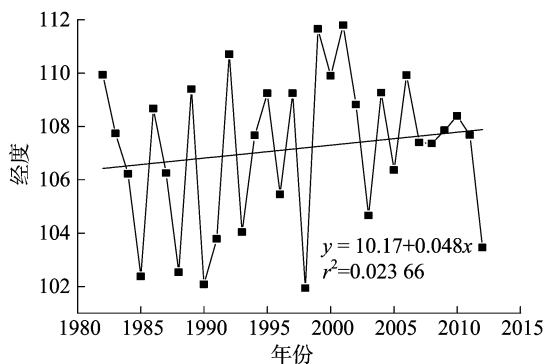


图8 400 mm 等雨量线在经、纬度上的迁移

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

农牧交错带 5 区的 30 年平均降水量分别为: I 区 402 mm、II 区 495 mm、III 区 379 mm、IV 区 380 mm、V 区 755 mm,30 年来 I 区、II 区、III 区、V 区年均降水量逐渐减少,而 IV 区呈增加之势。I 区、II 区和 V 区降水量变异系数在 90 年代分别增加了 78%、45%、50%,3 区波动性在 90 年代达到顶峰;III 区和 IV 区在 90 年代气候变化影响下变异系数降到最低,其中 III 区降低了 16%,IV 区降低 45%;近 12 年来,5 区降水量变异系数均有回落(I 区、II 区、V 区)和回升(III 区、IV 区)现象。在地域分区上,30 年平均降水变异系数最大值为 I 区(18%),最小值为 V 区(7%),说明在近 30 年的气候变化下 I 区为严重影响区,V 区波动性最低。

近 30 年来农牧交错带 5 区气温普遍升高,且气温变异系数均呈减少趋势。中国农牧交错带 30 年平均气温增长率(0.45 °C/10 年)明显大于全国同期的平均水平,是一个对全球变化非常敏感的区域。所有区域在 2000—2012 年间为最

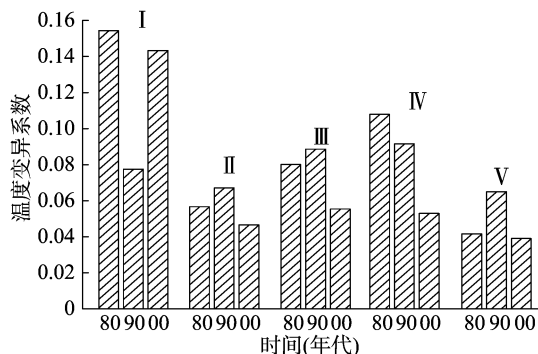
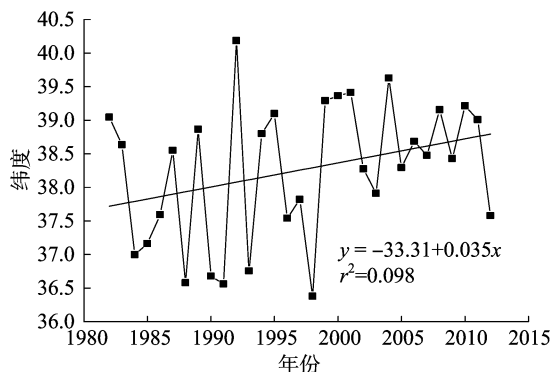


图7 农牧交错带温度变异系数变化

交错带相关性较大,与川滇农牧交错带(位于 800 mm 等雨量线)相关性不大。北方农牧交错带地理坐标范围为 105°45′~124°42′E、36°01′~49°36′N<sup>[7]</sup>。从图 8 中可以看出,等雨量线迁移具有方向性:经向迁移介于 102°~111°E,纬向迁移介于 35°~40°N。400 mm 等雨量线 30 年来的迁移范围一直在北方农牧交错带内,中段与东段甚至覆盖了整个北方农牧交错带区域。且 400 mm 等雨量线有向东和向北发生移动的趋势,纬度变化较大,向北推进了近 1 000 km,400 mm 等雨量线开始迁移到呼伦贝尔草原、内蒙古高原一带。周期性明显:1982—1999 年周期为 5~6 年,2000 年之后,周期缩短为 3~4 年。



暖期,1998 年为近 30 年来中国农牧交错带平均气温最高的一年,与全国气温变化趋势一致<sup>[18-20]</sup>。I 区在 90 年代气温变异系数下降了 50%,2000 年后有所回升。近 10 年与 80 年代相比,II 区、III 区、IV 区变异系数分别下降了 18%、31%、51%,30 年来 V 区变异系数仅下降了 6%,但在 90 年代变异系数升高了 56%,为 30 年间气温升高最快时期。30 年平均变异系数在空间上表现出一定的区域差异性,大致呈现为 I 草甸草原区(14%)>IV 丘陵草原区(12%)>III 荒漠草原区(9%)>II 灌丛草原区(7%)>V 山地草原区(6%)。I 草甸草原区对农牧交错带增温贡献率最大,该结论与已有的研究<sup>[11,21]</sup>基本一致。在全球变暖背景下,我国气候发生了相应变化,受降水量影响的 400 mm 等雨量线位置发生了改变,有向东、向北方向迁移之势,经向迁移介于 102°~111°E 之间,纬向迁移介于 35°~40°N 之间。30 年间 400 mm 中、东段迁移范围与北方农牧交错带(105°45′~124°42′E、36°01′~49°36′N)区域重合度达 89%,且重合度有升高之势。

### 3.2 讨论

基于前人采用植被指数和地面草原生物量数据建立 5 种

模型进行分区研究,本研究依据降水量、温度的变化对农牧交错带气候进行探讨,并未考虑风速、蒸发量及社会人文因素对农牧交错带的影响。

30 年间,五大农牧交错带温度明显升高,但近几年有明显降温现象,除丘陵草原区(Ⅳ区)降水量有所增加,其他 4 区降水量均有减少趋势。降水量减少,温度升高,将严重影响农牧交错带的旱作农业生产<sup>[7]</sup>,被开垦的农田处于一个不稳定的状态,并造成沙漠化的发展。草甸草原区(Ⅰ区)雨量适中、气候适宜,适于发展大牲畜,但是因其受气候因素影响最大,可能导致该区域植物生长受到影响,不利于畜牧业的发展。受气候变化影响最小的山地草原区(Ⅴ区),生态空间格局不会有太大变化。

我国农业生产大体以 400 mm 年降水量等值线为界,可分为 2 个大区:以东、以南是种植业为主的农区,以西、以北是畜牧业为主的牧区。由于近 30 年间 400 mm 等雨量线向东、向北迁移迅速,北方农牧交错带将大大减少畜牧业的发展,避免增加其生态脆弱性。

考虑针对不同植被区域类型采用不同的措施,有选择地对草地实行施肥、灌溉,增强防治风蚀沙化的能力,减轻草地畜牧业的压力,提高农牧交错带经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 罗承平,薛纪瑜. 中国北方农牧交错带生态环境脆弱性及其成因分析[J]. 干旱区资源与环境,1995,9(1):1-7.
- [2] 刘全友,童依平. 北方农牧交错带土地利用现状对生态环境变化的影响——以内蒙古多伦县为例[J]. 生态学报,2003,23(5):1025-1030.
- [3] 邓祥征,战金艳. 中国北方农牧交错带土地利用变化驱动力的尺度效应分析[J]. 地理与地理信息学,2004,20(3):64-68.
- [4] 肖鲁湘,张增祥. 农牧交错带边界判定方法的研究进展[J]. 地理科学进展,2008,27(2):104-111.
- [5] 李秋月,潘学标. 气候变化对我国北方农牧交错带空间位移的影响[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(10):1-6.

(上接第 275 页)

- [20] Ruan J Y, Zhang F S, Wong M H, et al. Effect of nitrogen and phosphorus sources on the growth, nutrient uptake and rhizosphere soil property of *Camella sinensis* L. [J]. Plant and Soil, 2000, 223: 63-71.
- [21] 石锦芹. 尿素和茶树落叶对荒地土壤元素迁移的影响[J]. 茶叶科学, 1999, 19(2): 125.
- [22] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244.
- [23] 孙继海, 吴子铭. 茶园土壤活性酸度动态: 土壤酸化及最适酸度的初步研究[J]. 土壤肥料, 1980(3): 16-23.
- [24] Noble A D, Zenneck I, Randall P J. Leaf litter ash alkalinity and neutralisation of soil acidity [J]. Plant and Soil, 1996, 179(2): 293-302.
- [25] Pocknee S, Sumner M E. Cation and N contents of organic matter determine its soil liming potential[J]. Soil Science Society America Journal, 1997, 61(1): 86-92.
- [26] Yuan J H, Xu R K, Qian W, et al. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their

- [6] 刘洪来, 王艺萌, 窦 潇, 等. 农牧交错带研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4420-4425.
- [7] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错带界定及其生态问题[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739-747.
- [8] 苏志殊, 马义娟, 刘 梅. 中国北方农牧交错带形成之探讨[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2003, 26(3): 269-273.
- [9] 赵凌玉, 潘志华, 安萍莉, 等. 北方农牧交错带作物耗水特征及其与气温和降水的关系[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 401-408.
- [10] 程 高, 张宝林, 常成虎. 浑善达克地区典型植被 NDVI 与温度、降水的相关性分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(6): 1298-1303.
- [11] 董满宇, 江 源, 任斐鹏, 等. 近 50 年来北方农牧交错带气温变化趋势及突变分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 926-932.
- [12] 裴国旺, 赵艳霞, 王石立. 气候变化对我国北方农牧交错带及其气候生产力的影响[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 23-28.
- [13] 蒋卫国, 陈云浩, 李 京, 等. 中国北方农牧交错带生态环境的空间格局演变[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 871-878.
- [14] 杨秀春, 徐 斌, 朱晓华, 等. 北方农牧交错带草原产草量遥感监测模型[J]. 地理研究, 2007, 26(2): 213-221.
- [15] 赵松乔. 内蒙古东、中部半干旱区——一个危急带的环境变迁[J]. 干旱区资源与环境, 1991, 5(2): 1-9.
- [16] 孙 娟, 林振山. 经验模态分解下中国气温变化趋势的区域特征[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1132-1141.
- [17] 龚道溢, 王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响[J]. 科学通报, 1999, 44(3): 315-320.
- [18] 张晶晶, 陈 爽, 赵昕奕. 近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 1-6.
- [19] 李 超, 刘亚南, 潘志华, 等. 北方农牧交错带气候变化的时空特征研究[C]//第 29 届中国气象学会年会论文集. 2012.
- [20] 王澄海, 李 健, 许晓光. 中国近 50 年气温变化准 3 年周期的普遍性及气温未来的可能变化趋势[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 126-136.
- [21] 范锦龙, 李贵才, 张 艳. 阴山北麓农牧交错带植被变化及其对气候变化的响应[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1528-1532.

- biochars[J]. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(5): 741-750.
- [27] 张小琴, 陈 娟, 高秀兵, 等. 贵州重点茶区茶园土壤 pH 值和主要养分分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(1): 286-291.
- [28] 韩文炎, 李 强. 茶园施肥现状与无公害茶园高效施肥技术[J]. 中国茶叶, 2002, 24(6): 29-31.
- [29] 宗良纲, 周 俊, 罗 敏, 等. 江苏茶园土壤环境质量现状分析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 61-64.
- [30] 童启庆. 茶树栽培学[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 213-216.
- [31] 黄意欢, 肖力争. 茶树的钙营养茶树营养生理与土壤管理[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1992: 65-70.
- [32] 吴 洵. 茶树的钙镁营养及土壤调控[J]. 茶叶科学, 1994, 14(2): 15-121.
- [33] 林 葆, 周 卫, 李书田, 等. 长期施肥对潮土硫、钙和镁组分与平衡的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(3): 126-128.
- [34] 刘小文, 高晓余, 何月秋, 等. 几种微量元素对茶树生理及茶叶品质的影响[J]. 广东农业科学, 2010, 37(6): 162-165.
- [35] 陆锦时. 茶树品种品质化学指标研究[J]. 茶业通报, 1989, 11(4): 16-18.