

西南地区主要农业气象灾害时空变化特征及趋势分析

杨 凡, 李谢辉

成都信息工程大学大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都
Email: 1249407011@qq.com

收稿日期: 2020年11月5日; 录用日期: 2020年11月18日; 发布日期: 2020年11月25日

摘 要

为了研究气象灾害对农业造成的影响, 本文选取了西南地区四种主要的农业气象灾害(旱灾、洪涝、风雹和冷冻灾)近40年的受灾面积、成灾面积、直接经济损失、受灾人口等数据, 通过对数据进行空间插值以及回归分析等, 对西南地区五个省市区的农业气象灾害进行了时空特征和趋势分析。结果表明: 1) 西南地区农业气象灾害的受灾率和成灾率具有一致性, 且从受灾率和成灾率总体来看, 存在旱灾 > 洪涝 > 风雹 > 冰冻。2) 重庆、四川、贵州和云南地区主要的气象灾害是旱灾和洪涝, 风雹和冷冻造成的灾害较弱, 而西藏的主要气象灾害是冷冻和洪涝, 风雹和旱灾次之。3) 多年来, 干旱、洪涝和风雹灾害大多分布于四川地区, 冷冻灾主要分布并影响云南省, 而西藏地区的气象灾害相对较少。4) 四川地区的受灾人口和直接经济损失是最多和最严重的, 而西藏的受灾人口和经济损失则是影响最小的。5) 近40年来, 旱灾和风雹灾对西南地区的农业损害呈现出较大速率地减弱趋势, 其中旱灾下降速率大于风雹, 而洪涝和冰冻灾害则呈慢速增加趋势, 其中洪涝上升速率大于冷冻灾害。

关键词

农业气象灾害, 时空变化特征, 线性趋势, 西南地区

Spatial and Temporal Change Characteristics and Trend Analysis of Main Agrometeorological Disaster in Southwestern China

Fan Yang, Xiehui Li

Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Email: 1249407011@qq.com

Received: Nov. 5th, 2020; accepted: Nov. 18th, 2020; published: Nov. 25th, 2020

Abstract

In order to study the impact of meteorological disasters on agriculture, this paper selected the area of crops covered and affected by natural disasters, direct economic loss, affected population and other data of four major agricultural meteorological disasters (drought, flood, wind and hail, and freezing disaster) in Southwestern China in recent 40 years. Through spatial interpolation and regression analysis, the agricultural meteorological disasters in five provinces and cities in Southwestern China were analyzed, and the spatio-temporal characteristics and trend analysis were carried out. The results showed that: 1) the disaster rate and hazard rate of agricultural meteorological disasters in Southwestern China were consistent, and the overall disaster rate and hazard rate were drought > flood > wind and hail > freezing disaster. 2) The main meteorological disasters in Chongqing, Sichuan, Guizhou and Yunnan were drought and flood. The disasters caused by wind and hail, and freezing disaster were relatively weak. The main meteorological disasters in Tibet were freezing and flood, followed by wind and hail, and drought. 3) For many years, drought, flood, wind and hail disasters were mostly distributed in Sichuan, while freezing disasters mainly affected Yunnan Province, and meteorological disasters in Tibet were relatively few. 4) The disaster-stricken population and direct economic losses in Sichuan were the largest and most serious, while those in Tibet were the least. 5) In the past 40 years, the agricultural damage caused by drought and hail disasters in Southwestern China had been weakened at a relatively high rate. The decline rate of drought disaster was greater than that of wind and hail, while the flood and freezing disasters were increasing slowly, and the rising rate of flood was greater than that of freezing disaster.

Keywords

Agrometeorological Disasters, Spatial and Temporal Change Characteristics, Linear Trend, Southwestern China

Copyright © 2020 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

近年来,越来越多的研究表明,气象灾害在农业方面的影响是难以忽视的,不仅对农业的生产有着重要危害,造成减产,还与人民的生命财产安全息息相关。我国农业产品种类多、产量大、分布广泛,以世界 7%的耕地面积养活了占世界 22%的人口[1]。农业气象灾害是指异常天气过程和不利气象条件在农业生产过程中导致作物减产甚至绝收的灾害[2]。极端气候事件的发生常引发农业气象灾害,给农业生产带来巨大损失,严重威胁粮食安全[3] [4]。西南地区是我国重要的农业生产之地和生态脆弱区,资源开发的潜力大,其农业在支撑西部大开发战略中占有重要作用,但在生产中,农业极易受到气象条件变化的影响,从而受灾减产。

我国是农业大国,农业分布广泛,农业气象灾害种类多、分布广、时空变化复杂。我国主要农业灾害(干旱、洪涝、风雹)受灾和成灾面积具有明显的年际和年代际变化特征,总体上旱灾和洪灾呈现增加趋势,旱灾从上世纪 70 年代之后,灾害面积明显增多[5]。据世界气象组织估计,气象灾害造成的损失约占各种自然灾

害总损失的 85%，而旱灾损失又占气象灾害损失的 50%左右[6]。虽然极端气候事件是一种发生概率较小的天气气候现象，但突发性很强[7] [8]。国内外有许多对农业气象灾害的研究。如，Xu 等研究发现干旱灾害对粮食生产系统的影响呈现出边际递减的基本规律[9]。Wang 等研究得出在相同的风险指数下，干旱比其他农业气象灾害更加危险严重，其余依次是霜冻、洪涝和风雹[10]。桑婧对于全国分区域进行分析，以受灾率、成灾率为指标，使用 EOF 方法对主要农业气象灾害进行时空变化的分析，得出了旱灾在气象灾害中对我国影响最大和洪涝成灾重灾区转移至长江流域和东北三省等结论[11]。王丹丹分析了 1978~2016 年全国各区农作物受灾、成灾数据，得出全国灾害面积呈减少趋势，旱灾在东北和西南地区受灾、成灾面积呈增加趋势等结论[12]。赵先丽分析了农业生产发达的辽宁省农业气象灾害时空分布特征[13]。姚清仿用贵州省 1998~2017 年农业气象灾害的数据用曲线拟合和灰度关联方法分析得出农作物受灾大小为旱灾 > 水灾 > 风雹 > 冷冻[14]。

西南地区主要的农业气象灾害为旱灾、洪涝、冷冻和风雹四种，这四种灾害均会对西南地区的人民及农业等造成不同程度的影响。目前，全国关于西南地区整体的灾害研究还较少，本文主要对西南地区以省市区为最小单位进行分析，用回归分析法对各灾害进行线性趋势分析。通过分析四种气象灾害 40 年来对农业影响的时空变化规律，进而对未来的气象灾害趋势有大致的预测，其研究结果在农业防灾减灾研究方面会有重要的意义和实际价值。

2. 资料与方法

2.1. 资料概况

主要使用西南地区 5 个省市区的 1978~2018 年四种主要气象灾害的受灾、成灾、直接经济损失以及受灾人口的资料。这些资料主要来自于国家数据库、各省的年鉴和中国水利、中国环境、中国社会统计年鉴[15]。其中由于重庆在 1997 年划为直辖市，所以重庆没有 1978~1996 年的数据。

2.2. 研究方法

用统计学方法对灾害的时间变化进行分析；用 ArcGIS 软件对灾害的空间分布进行分析；用回归分析法来分析农业气象灾害造成影响的主要线性趋势，并对回归方程进行显著性特征分析。

2.2.1. 时空特征分析方法

对于灾害随时间变化的特征，主要利用受灾率和成灾率的变化来展现。运用的公式为：

$$\text{受灾率} = \frac{\text{受灾面积}}{\text{播种面积}}, \quad \text{成灾率} = \frac{\text{成灾面积}}{\text{播种面积}} \quad (1)$$

对于灾害的空间分布主要通过 ArcGIS 软件对各灾害的受灾占比、受灾人口以及直接经济损失占比数据进行处理。

2.2.2. 线性趋势分析

建立时间变量与受灾/成灾面积的一元线性回归方程，并对所得方程进行显著性检验。

即建立受灾面积和成灾面积与时间序列之间的一元线性回归方程：

$$y = a + b * t \quad (2)$$

其中 y 为受灾/成灾面积， t 为年份， a 、 b 为参数，其中 b 为两者的线性相关系数， a 、 b 参数估计公式为：

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (3)$$

$$a = \bar{y} - b * \bar{t} \quad (4)$$

其中 t_i 对应 y_i , $i=1,2,3,\dots,n$; $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, n 为样本量。

由于取 40 年数据, 所以 $n=40$ 。且参数 b 能反映受灾/成灾面积随时间增减以及增减程度的关系, 所以可以得知各灾害随时间变化的大致线性趋势。对回归方程进行显著性检验, 用相关系数 R 的平方 R^2 判定 (R 可以查显著性水平表获得, 一定的显著性水平对应一个 R), R^2 是一个回归直线与样本观测值拟合程度的相对指标, 反映了拟合的好坏。其中 $0 < R^2 < 1$, 且 R^2 越接近于 1, 拟合的越好, 越能反映灾害受灾/成灾面积随时间变化的趋势。

3. 西南地区主要农业气象灾害时空变化特征分析

3.1. 时间变化特征分析

3.1.1. 各气象灾害造成的受灾率和成灾率分析

受灾率和成灾率在一定程度上可以反映出各灾害对农业的损害程度, 可以不用考虑因播种面积不同而造成的不同受灾和成灾面积。图 1 为西南地区四种农业气象灾害受灾率和成灾率随时间的变化情况。

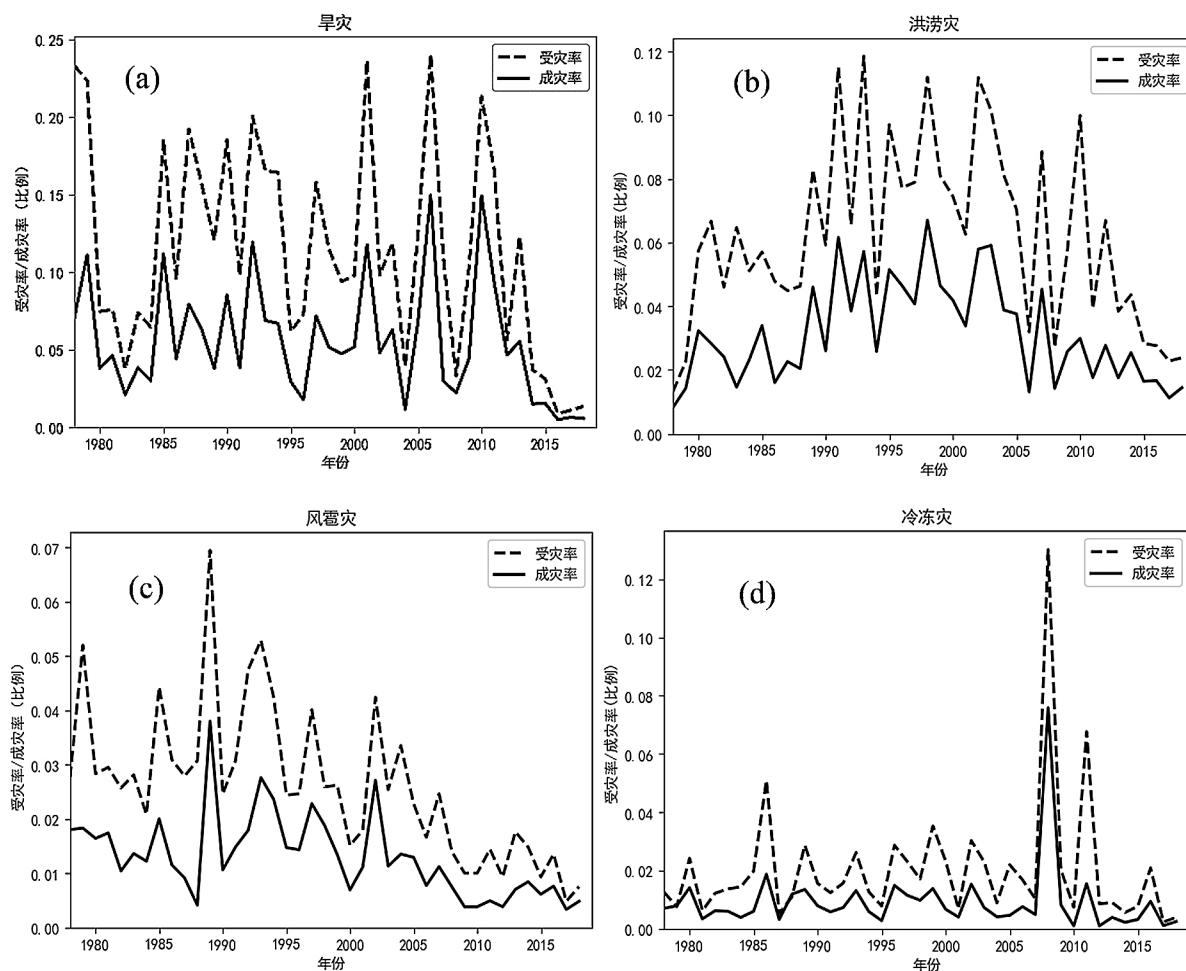


Figure 1. The change of disaster rate and hazard rate with time in Southwestern China (a) drought, (b) flood, (c) wind and hail disaster and (d) freezing disaster

图 1. 西南地区受灾率和成灾率随时间变化情况(a)旱灾、(b)洪涝灾、(c)风雹灾和(d)冷冻灾

分析可知, 四种主要气象灾害的受灾率和成灾率都有明显的同步性。对于旱灾(图 1a)来说, 其受灾率、成灾率同步性较好, 大都在同一年份取得峰值或谷值。在 1980~1995 年受灾率、成灾率为小波动时间段, 受灾率峰值大约在 19%、谷值约为 10%, 成灾率峰值大约在 9%、谷值大约在 4%。而在 1996~2015 年间, 受灾率、成灾率为周期约 5 年的大波动, 受灾率峰值约为 23%、谷值约为 6%, 成灾率峰值约为 14%、谷值约为 4%。2015~2018 年受灾率、成灾率呈明显的下降趋势, 所以在此期间旱灾造成的影响较小。

对于洪涝灾(图 1b), 其受灾和成灾的同步性在 1980~1983 年和 2005~2019 年间没有明显的同时增减, 之后的年份同步性较好, 在 1978~1992 年间, 洪涝灾的受灾、成灾均有波动上升的趋势。在 1992~2003 年为大波动, 受灾率的峰值和谷值分别约为 11%和 7%, 成灾率的最大和最小值约为 6%和 3%。在 2005 年之后受灾率波动范围较大, 而成灾率则小范围波动, 且均有稍微下降的趋势, 在此期间洪涝灾造成的农业灾害较轻。并且可以看出在 1991、1993、1998 和 2002 年洪涝的受灾和成灾率均到达峰值, 说明这几年的洪水灾害造成的损失尤其大。

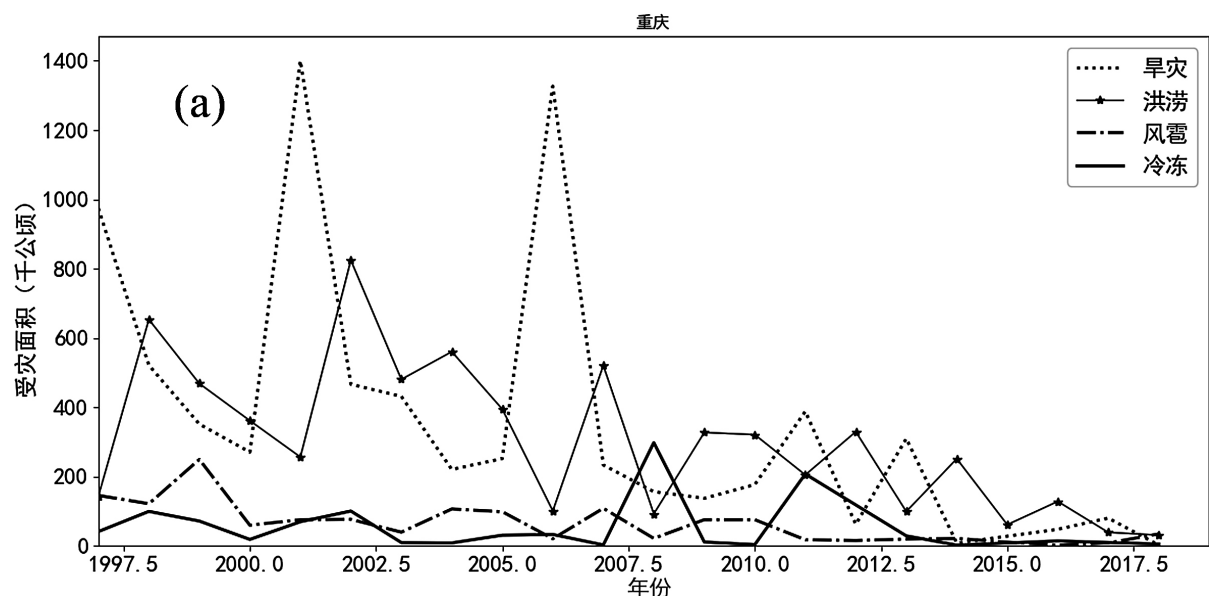
风雹灾, 是强对流天气, 包括冰雹和雷暴大风, 其特点是生成时间快、致灾性强且存在时间短, 极易给农业造成巨大损害。由图 1c 可知, 风雹灾在 1978~2002 年间有较大的波动, 受灾率峰值约为 5%, 谷值约为 3%, 成灾率的最值约为 3%和 1%, 其中在 1989 年受灾率和成灾率都达到 1978~2018 年间的最大值, 为 6.95%和 3.80%, 说明在 1989 年西南地区的超大风雹给农作物带来很大损害, 而 2003~2018 年间风雹灾的受灾和成灾率为弱的小幅度低值波动, 即这些年由于风雹而造成的农作物损失不大。

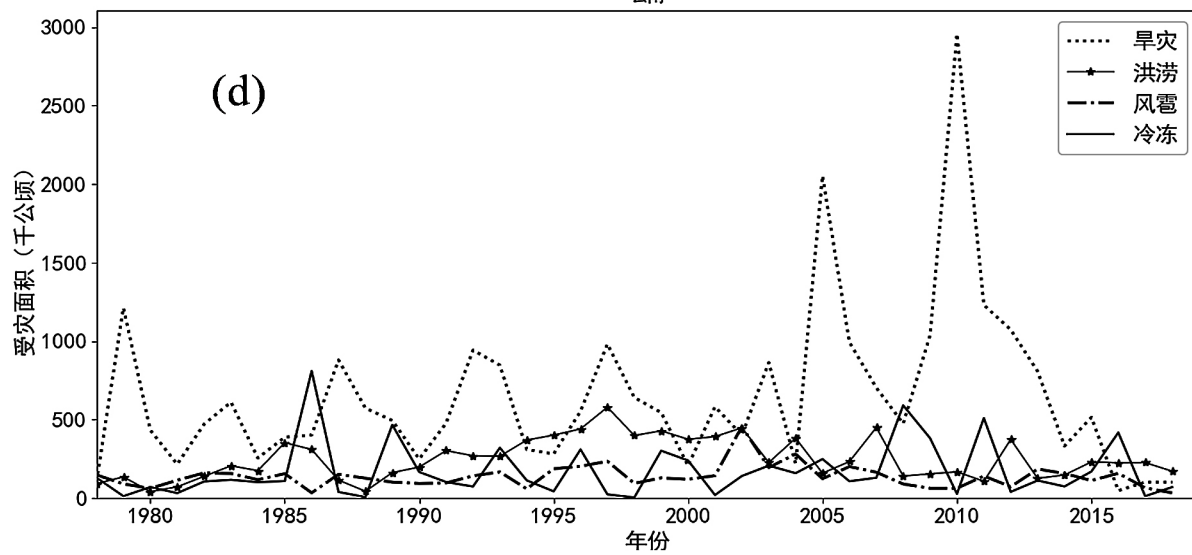
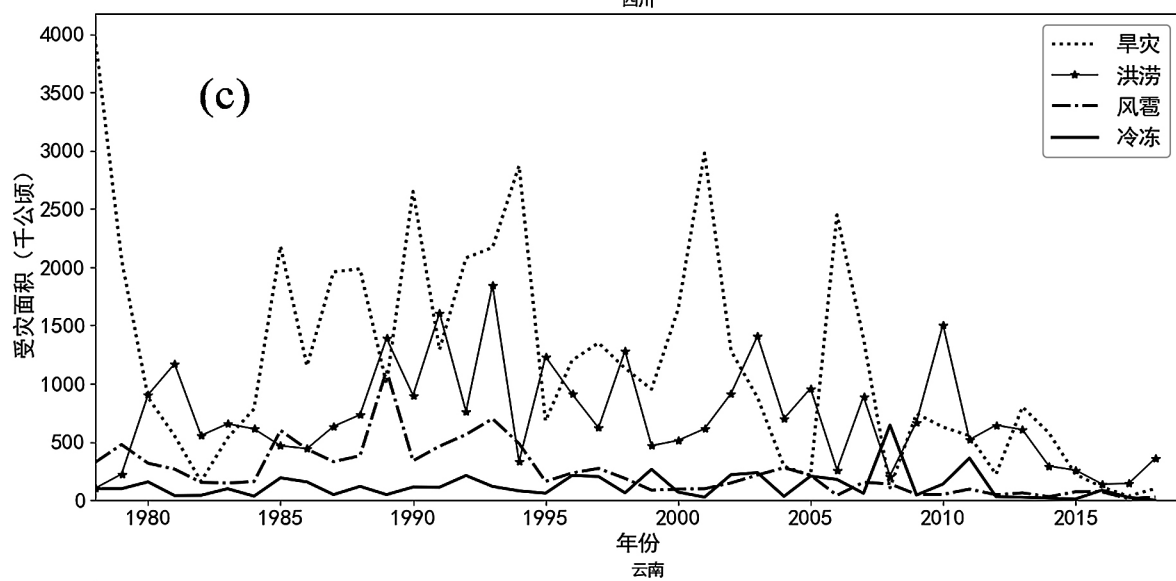
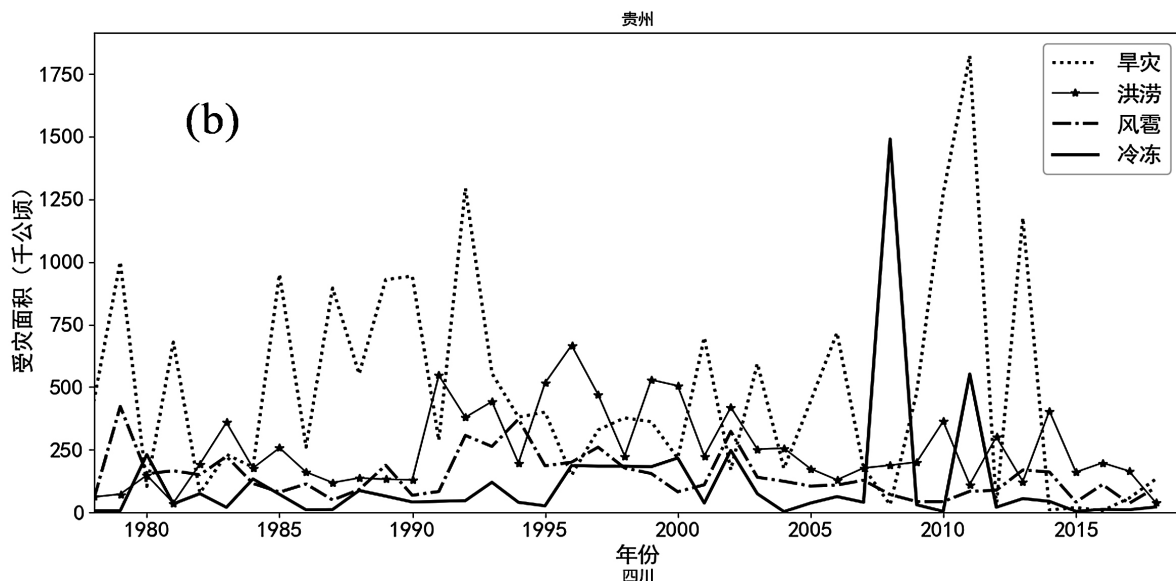
对于冷冻雪灾, 由图 1d 可知, 1978~2018 年间除 1986、2008 和 2011 年都为较小范围约 2%左右的波动外, 1986、2011 年的受灾率和成灾率较大, 受灾率约为 5.09%和 6.76%, 特别是在 2008 年, 可以明显看出其受灾率和成灾率为近 40 年的最大值, 分别为 13.01%和 7.58%, 由此可知 2008 年的雪灾冷冻对西南地区的农业造成了巨大的影响。

综合来看, 旱灾造成的西南地区农业气象灾害的影响量级最大, 洪涝次之, 其次是风雹灾和冷冻灾, 所以对旱灾进行更仔细全面和更深入的研究尤其重要。

3.1.2. 西南各省市区的灾情分析

图 2 为 1978~2018 年西南各省市区四种农业气象灾害受灾面积(其中重庆市数据为 1997~2018 年)随时间变化的折线图。





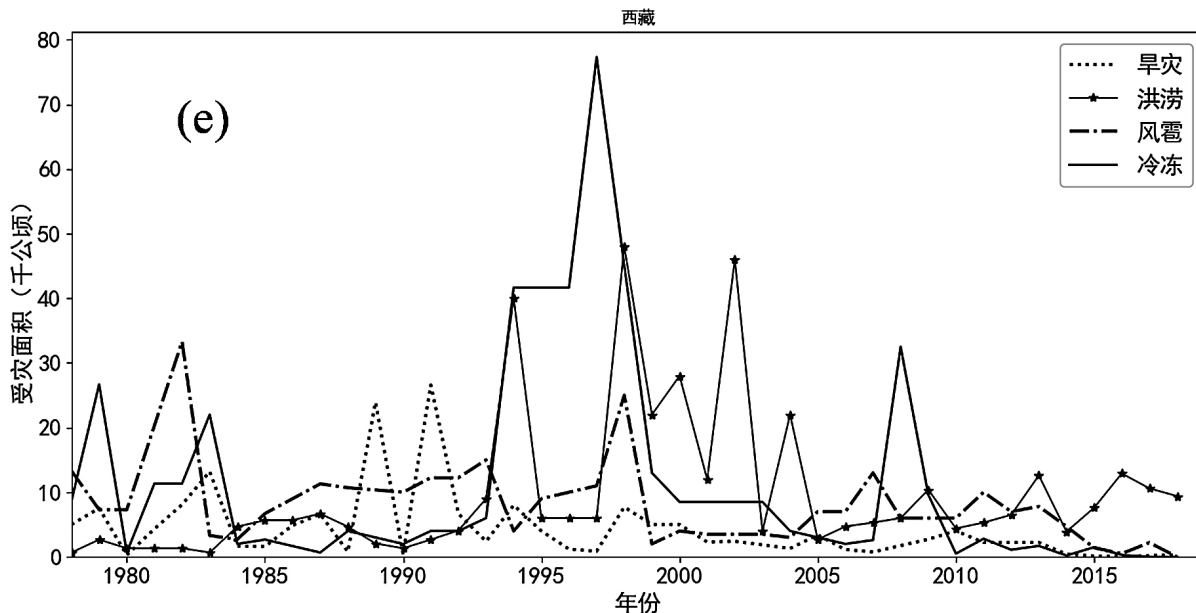


Figure 2. The change on area of crops coverer by natural disasters caused by meteorological disasters with time in five provinces and cities of Southwestern China

图 2. 西南五省市各气象灾害造成的受灾面积随时间变化情况

由图 2a 可以看出, 重庆市 1978~2007 年中对其农业影响最大的气象灾害为旱灾, 洪涝灾次之, 而风雹和冷冻对重庆的农业影响很小, 并且可以看出在 1997、2001 和 2006 年旱灾对此地区的受灾面积达到峰值。而 2007~2018 年内主要的影响灾害为旱灾、洪涝和冷冻, 旱灾在 2007~2014 年受灾面积在小幅度地波动, 而 2005~2018 年间旱灾造成的受灾面积很小, 几乎不影响重庆; 洪涝灾也在小范围地波动且近几年有下降趋势。除了 2008 和 2001 年冷冻灾造成一些大的伤害外, 近 40 年间风雹和冷冻均对重庆地区产生很小的损害, 由此可知近几年的四种灾害对重庆造成的受灾面积呈下降的趋势。

由图 2b 可知, 贵州省近 40 年间造成的受灾面积最多的是旱灾, 其次是洪涝灾, 随后是风雹和冷冻灾。旱灾在 1978~1994 年间造成的受灾面积呈较大幅度的波动, 其波峰和波谷处的值约为 1250×10^3 ha 和 250×10^3 ha, 在 1994~2008 年间造成的损害较少, 约在 500×10^3 ha 上下波动, 2009~2015 年中的 2010、2011 和 2013 年贵州遭遇了影响面积非常广的特大旱灾, 而在 2004~2018 年中贵州地区受旱灾影响较小。洪涝灾在 1991~2003 年间对贵州地区的影响较大, 其余年份则在 200×10^3 ha 上下小幅度波动, 尤其是洪涝灾在 1996 年对贵州影响为 40 年来最大, 受灾面积达 666.53×10^3 ha。由图还可明显看出除了 2008 和 2011 年的冰冻灾, 40 年来风雹和冰冻灾对贵州地区产生的损害较小, 风雹造成的农作物受灾面积稍大于冰冻灾, 在 2008 和 2011 年, 由资料可知, 贵州地区遭受了雪灾, 分别造成了 1489.7×10^3 ha 和 552.2×10^3 ha 的受灾面积。

由图 2c 可知, 四川省 1978~2018 年间旱灾对该省造成的灾害最多, 洪涝第二, 随后是风雹和冷冻灾。1978~2008 年之间, 旱灾对四川造成的受灾面积一直是在较大范围内波动, 特别是 1978 年造成了 3976×10^3 ha 受灾面积的超大损害, 而在 1982 年造成了最低值 161.33×10^3 ha 的受灾, 随后一直以峰值 3000×10^3 ha、谷值 1000×10^3 ha 的大范围内波动, 但在 2009~2018 年间旱灾在四川地区造成的损害较小, 呈小幅度的波动下降趋势。洪涝灾对四川的影响也一直较大, 40 年来为中等幅度的波动, 从 2011 年开始至 2018 年受灾面积为较小值, 为 250×10^3 ha 左右, 同时也可以看出四川在 1993、2003、2010 年遭受了较大的洪涝灾。相比之下, 风雹和冷冻灾对四川的农作物损害较弱, 但可以看出, 风雹灾在 1985~1995 年之间造成的损害很大, 特别是在 1989 年特大风雹造成了农作物 1114×10^3 ha 的受灾面积, 冰冻灾在 2008 和

2011年分别造成了 644.2×10^3 ha 和 361.2×10^3 ha 的受灾面积。

由图 2d 可知, 总的来看, 云南省近 40 年来, 旱灾造成的受灾面积最严重, 其次是洪涝和冷冻, 最后是风雹灾。旱灾在 1978~2004 年间造成的农作物受灾面积在较大范围内波动, 峰值约为 900×10^3 ha、谷值约为 200×10^3 ha, 而在 2005~2014 年间旱灾对云南地区造成的损害极其大, 在 2015~2018 年旱灾造成的灾害逐渐减弱至 100×10^3 ha 左右。洪涝灾在 1978~1990 年和 2003~2018 年间造成的灾害在较小幅度范围内波动, 而在 1991~2003 年造成较大的损害, 此期间的峰值为 1997 年造成云南地区 579.33×10^3 ha 的受灾面积。风雹和冷冻灾造成的受灾较小, 但在个别年份造成大的损害, 如 2002 年的风雹受灾面积为 456×10^3 ha, 1986 和 2008 年的冷冻雪灾给云南带来了 810×10^3 ha 和 590.9×10^3 ha 的受灾面积。

对于西藏自治区, 由图 2e 可以看出, 与其他省不同, 给该地区带来严重农作物受灾的是冷冻和洪涝灾, 其次是风雹, 旱灾最弱。冷冻灾在 1978~1984、1993~2000 和 2008 年给西藏造成了严重损害, 特别是在 1997 年造成了 77.33×10^3 ha 的受灾面积, 而在其余年份冷冻灾给农业带来的影响较小。洪涝灾在 1993~2005 年造成的受灾面积较大且有大幅度的波动, 峰值约为 48×10^3 ha、谷值约为 10×10^3 ha, 其余年份的洪涝造成的损害比较平稳并且受灾面积较低, 即其给西藏的影响较小。风雹和旱灾总体相比其他两种灾害给西藏农作物带来的影响较弱, 只是有一些年例外, 如 1982 和 1998 年的风雹, 分别造成了 33.3×10^3 ha 和 25×10^3 ha 的受灾面积, 1989 和 1991 年的旱灾造成的受灾面积分别为 23.93×10^3 ha 和 26.60×10^3 ha。

3.1.3. 受灾人口和直接经济损失随时间变化特征

气象灾害在给农业带来巨大损害的同时, 也会给人类自身带来严重的影响。图 3 为 1981~2018 年自然灾害受灾人口变化情况以及 1991~2018 年气象灾害带来的直接经济损失变化图。

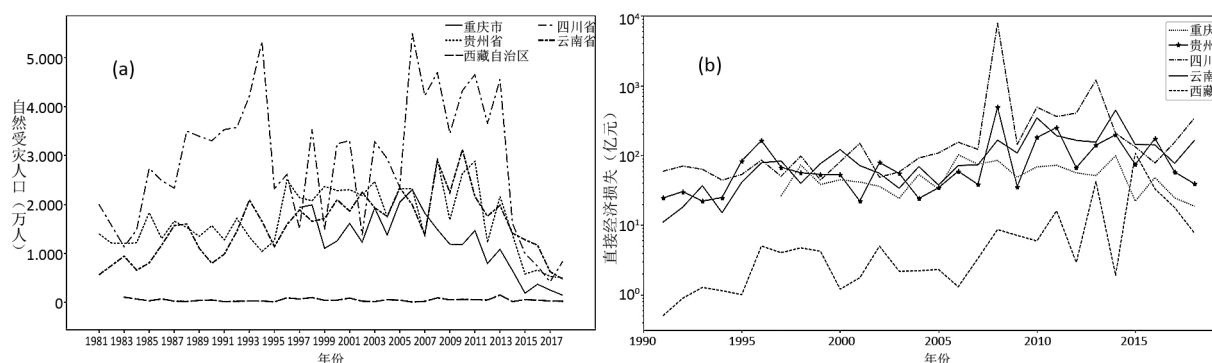


Figure 3. The change on natural disaster population and direct economic loss over time in five provinces and cities of Southwestern China

图 3. 西南五省市自然受灾人口和直接经济损失随时间变化图

对于 1981~2018 年来的自然受灾人口, 由图 3a 可以看出, 四川省受灾人口最多, 量级最大, 然后是贵州、云南和重庆, 这三省市量级相当, 西藏受灾人口最少。四川省受灾人口在 1987~1995 年和 2005~2013 年间处于较大值, 并伴有较大幅度波动, 而 1981~1986 和 1996~2004 年间年均受灾人口相对较少, 且有小幅度的波动; 贵州省在 1981~1995 年受灾人口较少, 约在 1500 万人上下小幅度波动, 在 1996~2018 年间受灾人口较多, 波动也大; 云南省在 1981~1993 和 2007~2011 年间为上升趋势的较大幅度波动, 在 1994~2007 年为在 1700 万人上下的小幅度波动, 在 2012~2018 年为大幅度下降趋势; 重庆市在 1997~2007 年中为较大幅度波动, 随后在 2008~2018 年为大幅下降趋势; 西藏受灾人口则在 1981~2018 年间一直保持 100 万人以下的小幅度波动趋势。也可以看出近年来西南地区自然灾害人口呈下降趋势, 说明人民对

自然灾害灾害的防御措施已有一些成效, 但仍然会对当地人民的生命造成威胁, 所以还是要警惕自然灾害灾害的影响。

在图 3b 中, 由于四川 2008 年经济损失与其他省市及年份的量级均相差巨大, 所以纵坐标刻度采用 log 进行标注, 从而可以兼顾高低两极。结果表明, 四川省在 2008 年经济损失巨大, 达 7865 亿元, 查阅资料知是 2008 年的超大雪灾造成的, 在 2013 年四川省的直接经济损失也较大, 约为 1202.6 亿元。贵州、云南和重庆经济损失量级相当, 趋势平稳, 都约在 10~100 亿元以内, 而西藏经济损失相对较少, 在 10 亿元以内, 且近几年有上升的趋势。总的来看, 气象灾害带来的经济损失也会达到很大, 特别是四川地区, 一定要提高警惕, 采取一定的防御措施来减少损失。

3.2. 空间分布特征分析

3.2.1. 四种气象灾害的受灾占比空间分布

图 4 为将 1978~2018 年的各个气象灾害的年平均受灾面积五个省市区的比例用 ArcGIS 软件处理成的空间分布图。

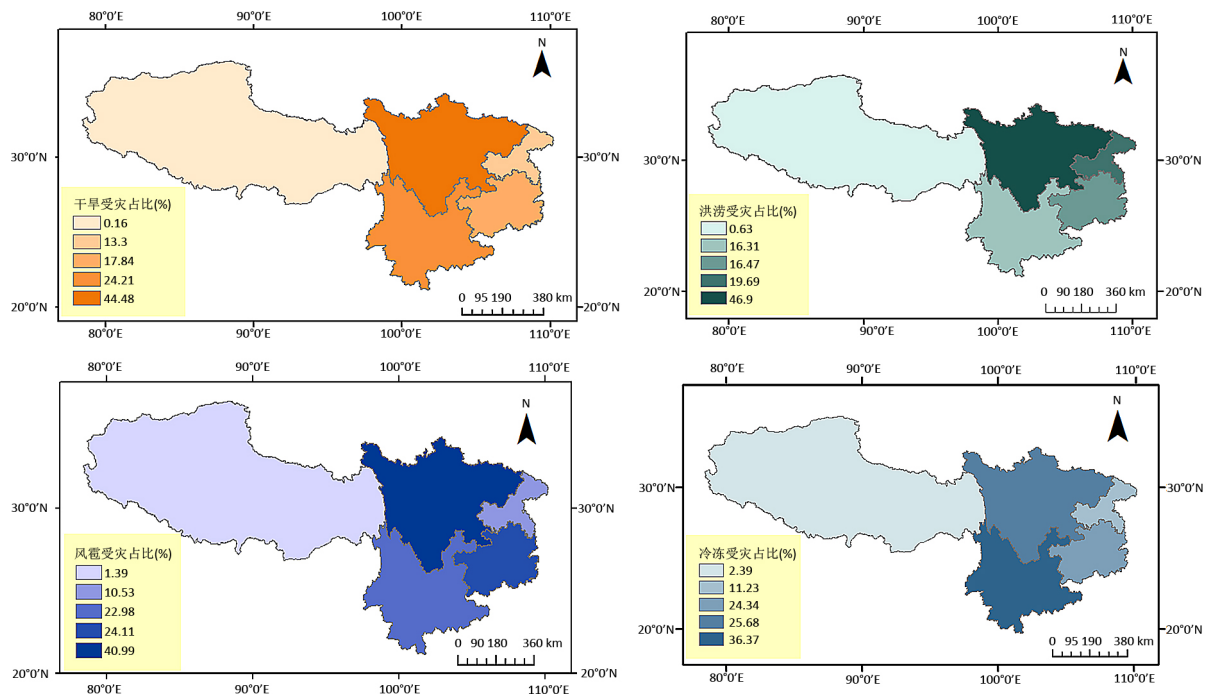


Figure 4. Spatial distribution of four main agrometeorological disasters

图 4. 四种主要农业气象灾害的空间分布

综合可知, 干旱对西南地区的影响最大, 西南地区的农业生产一直深受其害。图 4a 可知, 四川省的农业受灾最重, 其年平均受灾面积达 1190.94×10^3 ha, 受灾占比约 44.48%。云南省受旱灾影响为第二, 年均受灾面积约为 648.19×10^3 ha, 受灾占比为 24.21%, 受灾程度约为四川省的一半。贵州省受灾较云南省稍弱一些, 其年均受灾面积为 477.78×10^3 ha, 占比 17.84%, 重庆市受旱灾影响也较大, 年均受灾面积为 356.13×10^3 ha, 占比 13.3%。但旱灾对西南地区的西藏农业几乎不太影响或影响很弱, 其年均受灾面积为 4.22×10^3 ha, 占比约为 0.16%。四川地区的旱灾已经是该地区进行农业生产面临的最重要问题之一, 四川地区的播种面积大, 受灾面积多, 农业的损失大, 所以一定要重视旱灾带来的影响, 采取一定的防灾减灾措施来减小其危害。

洪涝仅次于旱灾, 是对西南地区农业损害第二的气象灾害, 洪涝不仅能使农业受灾减产, 还能使人民的生命财产安全受到很大的威胁。由图 4b 可知, 受洪涝灾影响最重的是四川省, 年平均受灾面积是 718.56×10^3 ha, 受灾占比约为 46.9%, 其次是重庆市, 该市年平均受灾面积 301.73×10^3 ha, 受灾占比 19.69%, 然后是贵州省和云南省, 这两省的受灾程度相当, 受灾占比为 16.47%和 16.31%, 西藏农作物受洪涝灾损害最小, 年均受灾面积约为 9.68×10^3 ha, 占比 0.63%。故洪涝灾大多发生在西南地区的东北部即川渝地区, 极少发生在西藏地区, 川渝地区农业播种量多且人口密度大, 洪涝极容易给该地带来巨大的损失, 所以对洪涝的监控和防御是必要的。

由图 4c 可知, 西南地区受风雹灾最严重的是四川地区, 该省由于风雹造成的年平均受灾面积是 246.41×10^3 ha, 占西南地区约 40.99%。其次是贵州省, 年均受灾面积约为 144.93×10^3 ha, 占比 24.11%, 云南和贵州省的受风雹灾程度相当, 其年均受灾面积 137.9×10^3 ha, 占比 22.98%。重庆市的受灾程度较云南和贵州弱一些, 其年均受灾面积为 63.31×10^3 ha, 占比为 10.53%, 大约占云南受灾的一半。而西藏地区农作物受风雹影响最弱, 年均受灾面积 8.34×10^3 ha, 占比 1.39%。总的来说, 风雹由于与西南急流相联系, 大多分布在西南地区的偏东部, 主要影响四川盆地, 其次是云贵高原。

西南地区的冷冻雪灾, 从以上多年数据分析来看, 一般对农作物造成的影响不大, 但个别年份, 如 2008 年, 冷冻雪灾给西南地区农业造成了极大损害。由图 4d 可知, 云南省多年来受冷冻灾害最严重, 年平均受灾面积为 173.74×10^3 ha, 受灾占比约为 36.37%。四川省和贵州省受灾弱于云南, 两省受灾量级相当, 占比为 25.68%和 24.34%。然后是重庆市, 该地年均受灾面积 53.66×10^3 ha, 受灾占比 11.23%。西藏农作物受冷冻灾损坏最小, 受灾面积约为 11.39×10^3 ha, 占比 2.38%。所以冷冻灾多发于西南地区的中南部, 少数发生在西藏地区。

3.2.2. 受灾人口和直接经济损失的占比空间分布

气象灾害不仅会对农业生产造成损害, 还会对人民的生命及财产安全造成极大的影响。所以选取 1981~2018 年的年平均自然受灾人口比例以及 1991~2018 年的年平均直接经济损失作如图 5 的空间分布, 并进行分析。

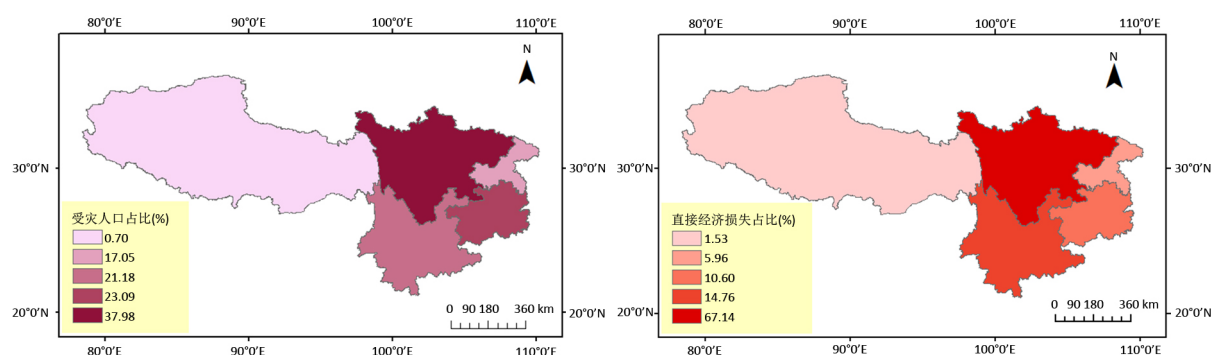


Figure 5. Spatial distribution of disaster related indicators
图 5. 灾害相关指标的空间分布

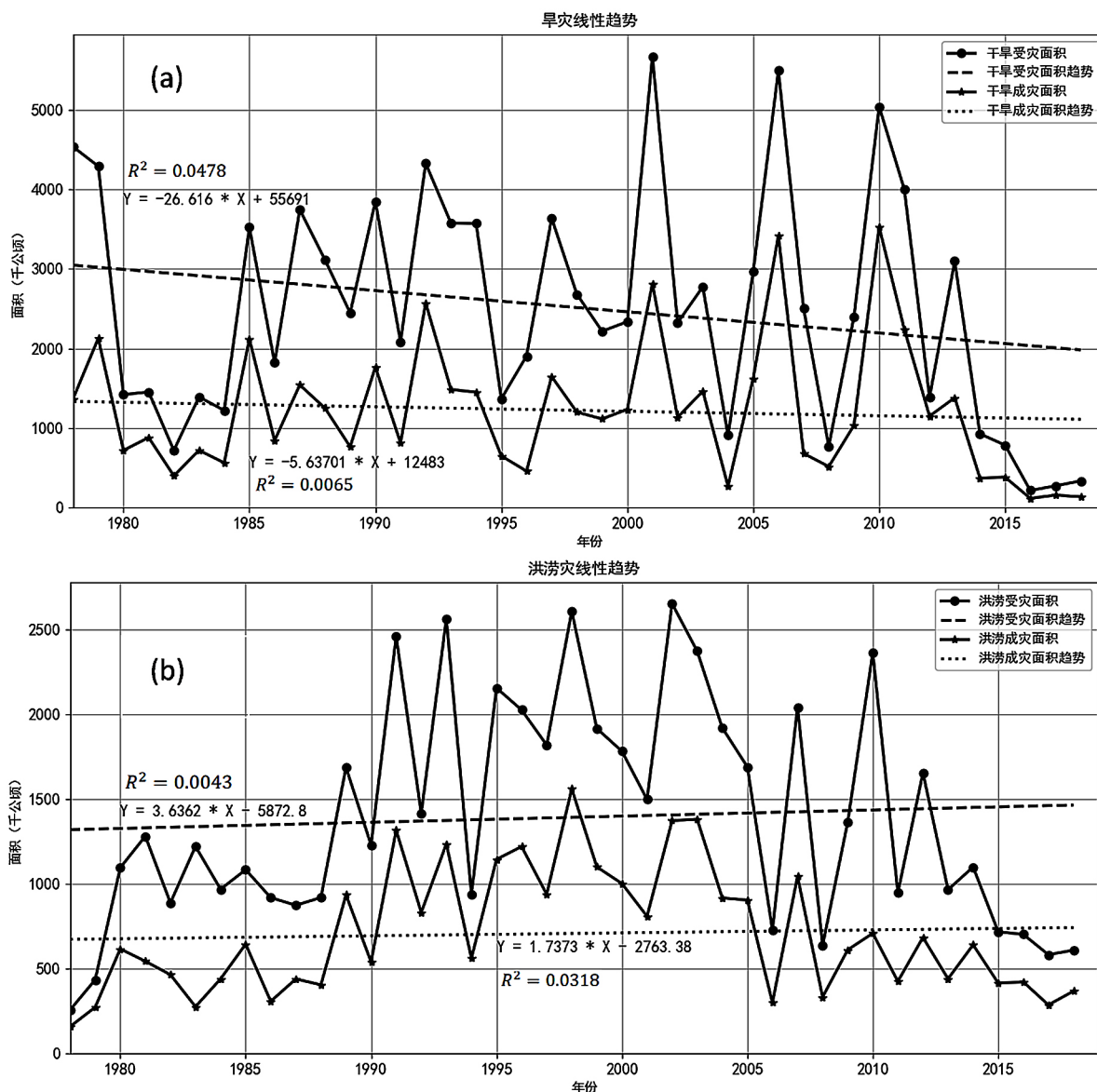
西南地区人口密度大, 占地面积广, 受灾人口也多, 由图 5a 的受灾人口占比可知, 四川省的受灾人口最多, 多年来平均每年约 2778.35 万人受灾, 占西南地区受灾总人口的 37.98%, 其次是贵州省和云南省, 这两省年平均受灾人口相当, 分别为 1688.92 和 1549.62 万人, 占比为 23.09%和 21.18%, 然后是重庆市, 该市年均受灾 1246.94 万人, 占比 17.05%, 西藏受灾人口最少, 每年平均约 51.23 万人受灾, 占比 0.7%。由此得知, 西南地区受灾人口主要分布在四川和云贵地区, 而西南地区的西部则较少, 所以四

川地区的人民一定要防御监测各种气象灾害, 合理从事农业活动, 从而减少受灾。

气象灾害带来的直接经济损失也是巨大的, 经济损失不仅是对个人, 对当地的经济也有很大的损害, 并且西南地区的农业是西南地区经济收入的重要来源。由图 5b 的直接经济损失占比可知, 经济损失最重的是四川省, 其年均损失 585.47 亿元, 占西南地区平均直接经济损失的 67.14%, 云南经济损失为第二, 年均损失 128.69 亿元, 占比约 14.76%, 贵州省第三, 年均经济损失约 92.46 亿元, 占比约 10.6%, 重庆市和西藏经济损失量级相当, 年均损失分别为 51.98 和 13.38 亿元, 占比约 5.96% 和 1.53%。由此可知西南地区的中南部, 即四川和云南地区经济损失惨重, 气象灾害给当地人民的收入带来很大影响, 而西部西藏地区灾害对经济影响较小。

4. 西南地区主要农业气象灾害线性趋势分析

由以上分析可知 4 种气象灾害对西南地区造成的伤害损失都很严重, 所以有必要对各种灾害进行大致的趋势分析, 结果如图 6 所示。



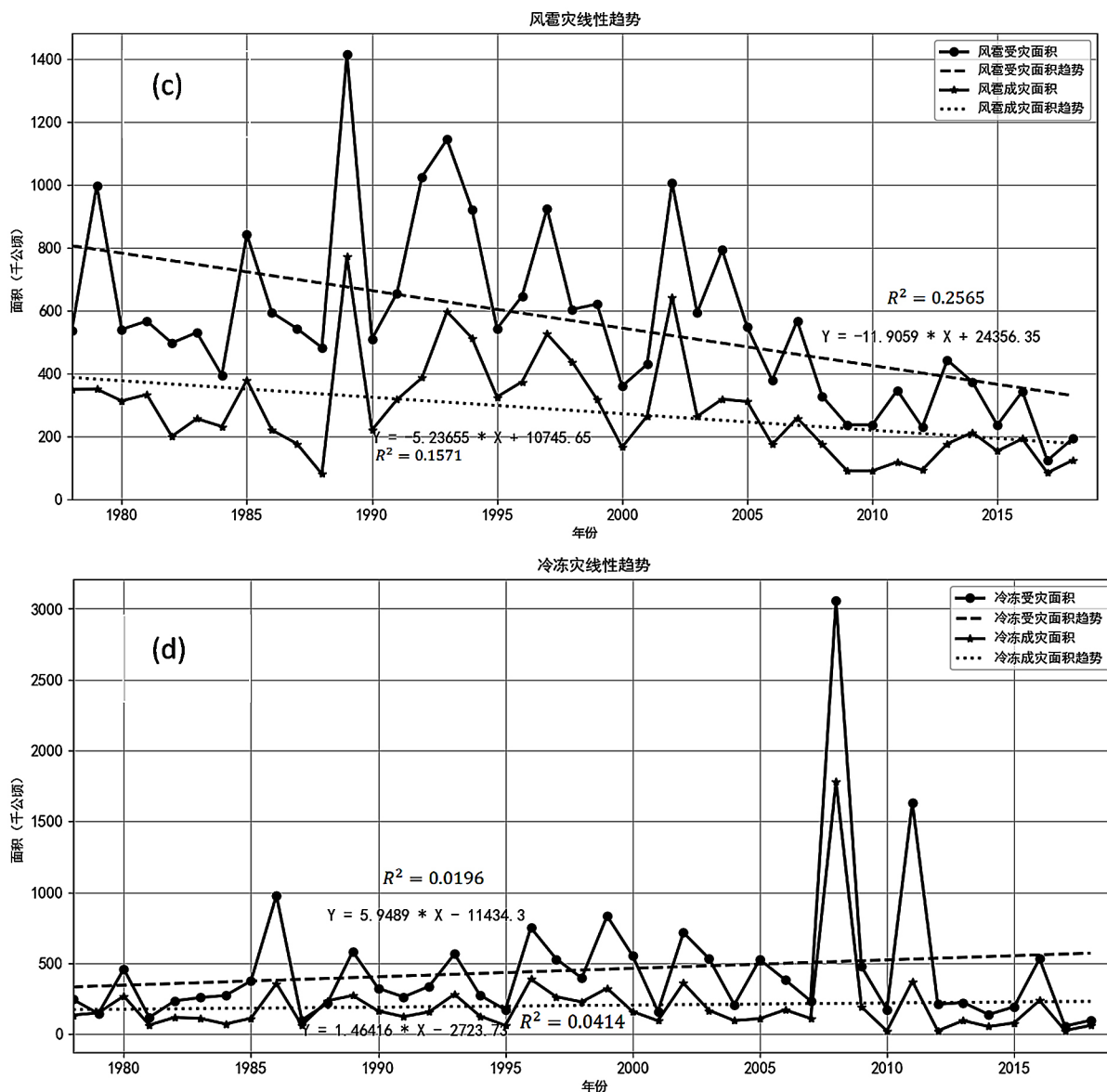


Figure 6. Linear trend on area of crops covered and affected by natural disasters of four major agrometeorological disasters
图 6. 四种主要农业气象灾害受灾面积和成灾面积的线性趋势

通过使用回归分析方法, 对四种主要的气象灾害进行线性趋势分析, 然后对回归方程进行显著性分析。结果可知: 对于旱灾(图 6a)可知, 旱灾受灾面积和成灾面积总体呈下降趋势, 且受灾面积下降速度快于成灾面积。受灾面积的下降幅度为 -26.62×10^3 ha/a, 成灾面积的下降幅度为 -5.63×10^3 ha/a, 并且由 2013~2018 年的折线图可以看出, 旱灾的受灾/成灾均呈逐年减小的趋势, 说明旱灾对西南地区农业产生的影响越来越小, 造成农业减产与往年相比更少了。

对于洪涝灾可知(图 6b), 洪涝灾在西南地区造成的受灾和成灾面积多年来总体均为上升趋势, 上升速度都很缓慢, 成灾面积增速小于受灾面积。由回归方程得知, 受灾面积的上升幅度为 3.63×10^3 ha/a, 成灾面积的上升幅度为 1.73×10^3 ha/a, 并且也可以看出洪涝灾在 2010~2018 年造成的灾害面积呈大幅度减小, 然后逐渐趋于平缓的趋势。所以近年来洪涝灾对农业造成的灾害面积较往年小且更平稳, 但仍会给农业带来损害。

对于风雹灾可知(图 6c), 风雹对西南地区农业造成的灾害总体呈较大速率的下降, 且受灾面积的下降速率快于成灾面积。由两者的回归方程可以很容易得到受灾面积下降幅度为 $-11.9 \times 10^3 \text{ ha/a}$, 而成灾面积下降幅度为 $-5.24 \times 10^3 \text{ ha/a}$, 风雹灾在 2007~2018 年间对农业造成的影响较小, 呈缓慢波动的趋势, 特别在 2017 年受灾和成灾面积达最小, 说明风雹灾在西南地区产生的农业损失较少, 但仍需警惕。

对于冷冻灾可以看出(图 6d), 近 40 年来冷冻灾对西南地区的农业灾害总体呈慢速增加的趋势, 其中受灾面积的增速快于成灾面积, 且受灾面积的上升幅度为 $5.95 \times 10^3 \text{ ha/a}$, 成灾面积为 $1.46 \times 10^3 \text{ ha/a}$ 。除了个别年份, 如 2008 年损害突然加大, 冰冻灾近 40 年来总体一直在增速, 但很缓地小幅度波动, 近几年来看也是小范围较平稳的趋势, 故可以得出冰冻灾一般不对西南地区农业造成特别严重的影响, 但还是要警惕以防如 2008 年的特大灾害发生。

5. 结论与展望

5.1. 主要结论

由以上的时空变化特征及线性趋势分析可以得出以下结论:

1) 由灾害随时间变化的特征来看, 总的来说四种主要气象灾害的受灾率和成灾率是有一定同步性的, 旱灾和洪涝灾的受灾和成灾率有较大幅度地波动, 而风雹灾和冷冻灾波动幅度较小。

2) 对于西南地区, 旱灾造成的损害最严重, 其次是洪涝灾, 最后是风雹灾和冷冻灾, 其中 2008 年的冷冻灾造成的特大灾害是一个特例。

3) 由于各地区的地形影响, 不同的农业气象灾害在不同地区造成影响的数量不同, 重庆、四川、贵州和云南主要的气象灾害是旱灾和洪涝, 风雹和冷冻造成的灾害较弱, 而西藏的主要气象灾害是冷冻和洪涝, 风雹和旱灾次之。所以西南地区开展农业生产时, 一定要注意旱灾带来的影响。

4) 由以上对灾害以及其他相关指标的空间分布情况可知, 多年来干旱、洪涝和风雹大多分布于四川地区, 并对该地区农业产生不同程度的影响, 冷冻灾主要分布并影响云南省, 而西藏地区的气象灾害较少, 农业受的影响也较少。

5) 四川地区受灾人口和经济损失是受损最严重的, 而西藏的受灾人口和经济损失则是影响最小的。

6) 旱灾和风雹灾在近 40 年来对西南地区农业影响呈较大速率地减弱趋势, 其中旱灾下降速率大于风雹; 洪涝和冰冻灾则对西南地区造成的农业损失呈慢速增加趋势, 其中洪涝上升速率大于冷冻灾。

5.2. 存在的问题与展望

此次的主要西南地区农业气象灾害的时空分布和线性趋势分析由于数据资料的缺乏, 只以年为时间尺度和以省市区为单位进行分析, 做出来的空间分布不够细致, 若有以地市级和县的受灾数据, 则可以使用插值的方法进行更精细化的处理和分析。同时由于时间分辨率较粗, 时间尺度相对较短, 没有对未来西南地区气象灾害的趋势进行预测, 以上这些不足都有待后续随着数据资料的进一步补充来进行完善。

基金项目

第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0105); 风云三号(02 批)气象卫星地面应用系统工程项目(ZQC-J19193)。

参考文献

- [1] 刘玲, 沙奕卓, 白月明. 主要农中国业气象灾害区域分布与减灾对策[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 92-97.
- [2] 朱晓华. 我国农业气象灾害减灾研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 139-140.

- [3] Tao, F. and Zhang, Z. (2013) Climate Change, High-Temperature Stress, Rice Productivity and Water Use in Eastern China: A New Super-Ensemble-Based Probabilistic Projection. *Journal of Applied Meteorology & Climatology*, **52**, 531-551. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0100.1>
- [4] Zhang, Z., Wang, P., Chen, Y., *et al.* (2014) Global Warming over 1960-2009 Did Increase Heat Stress and Reduce Cold Stress in the Major Rice-Planting Areas across China. *European Journal of Agronomy*, **59**, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.05.008>
- [5] 姚亚庆. 1950-2015 年我国农业气象灾害时空特征研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016.
- [6] 钱正安, 吴统文, 宋敏红, 等. 干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题[J]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 28-38.
- [7] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [8] 杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 75-83.
- [9] Lei, X.U., Zhang, Q., Zhang, J., *et al.* (2017) Extreme Meteorological Disaster Effects on Grain Production in Jilin Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*, **16**, 486-496. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61285-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61285-0)
- [10] Wang, Y., Zhang, Q., Wang, S.P., *et al.* (2017) Characteristics of Agro-Meteorological Disasters and Their Risk in Gansu Province against the Background of Climate Change. *Natural Hazards*, **89**, 899-921. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2999-8>
- [11] 桑婧. 近 30 年中国主要气象灾害典型场时空格局及干旱风险评估[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [12] 王丹丹, 潘东华, 郭桂祯. 1978-2016 年全国分区农业气象灾害灾情趋势分析[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 114-121, 145.
- [13] 赵先丽, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 辽宁主要农业灾害时空分布特征[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(5): 130-135.
- [14] 姚清仿. 贵州省农业气象灾害的变化特征及其对主要农作物的影响[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(1): 52-54.
- [15] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1983-2018.