

# 川渝地区近 50 年干旱特征及该地区产业结构变动研究

杨春瑰, 张楚瑶

(南京信息工程大学经济管理学院, 南京 210044)

**摘要:**为了研究全球区域干旱背景下, 干旱气候对地区的经济影响, 本文从产业结构角度出发, 探讨了川渝地区的干旱经济问题, 根据标准化降水指数法, 归纳了川渝 50 年来干旱特征, 并通过分析干旱与宏观经济的相关性发现: 一方面, 50 年来川渝地区旱涝交错分布明显, 干旱爆发存在区域性、季节性特点, 导致旱灾与地区宏观经济的相关性微弱; 另一方面由于川渝地域间发展不平衡, 西部、中部、东部之间产业结构差异较大, 导致了第一产业所占比重较大的中部地区经济最容易受到干旱的影响。由此可认为, 虽然现阶段干旱对川渝地区经济影响较小, 但随着西旱东移趋势的加强, 对该地区干旱的研究与防御在现阶段仍然很有必要。

**关键词:**川渝地区; 干旱; 时空分布; 区域经济影响; 标准化降水指数; 产业结构

中图分类号: X43

文献标志码: A

文章编号: 2095-2783(2015)03-0342-06

## Analysis on drought characteristic of Sichuan and Chongqing region in recent 50 years and it's impact on regional economy

Yang Chungui, Zhang Chuyao

(School of Economics and Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** The effect of drought on the economic of Sichuan and Chongqing region was investigated based on the standardized precipitation index from the perspective of industrial structure. The drought characteristics of Sichuan and Chongqing regions in recent 50 years was induced. The correlation between drought and macroeconomic showed that drought and flood staggered distribution in this region. The regionality and seasonality characteristics of drought resulted in a low correlation between drought and macroeconomy. In addition, the difference of development and industrial structure between east, west and central region in Sichuan and Chongqing led to a significant drought impact to the central region where the first industry was rich. Therefore, it is necessary to improve the ability of drought control in this area.

**Key words:** Sichuan and Chongqing region; drought; spatial and temporal distribution; regional economic impact; standardized precipitation index; industrial structure

川渝地区为我国著名的农业区, 物产丰富、土地肥沃, 水稻为其主要农作物。然而作为自然灾害多发地段, 随着近年来气候变化明显, 川渝干旱频繁爆发, 严重影响了当地居民的生活和生产, 干旱与人类的矛盾也越发明显。因此, 笔者拟从宏观经济角度出发, 通过归纳川渝地区 50 年干旱时空分布特征, 将地区干旱与经济相联系, 研究干旱对经济的影响。

目前较为常见的干旱评估方法主要有: 标准化降水指数法(SPI)、Z 指数法、距平百分法、帕尔默尔(Palmer)干旱指数法、综合气象干旱指数法等<sup>[1-7]</sup>。不同的评估方法有不同的适用范围。张存杰等<sup>[8]</sup>认为 Z 指数更适用于西北地区地形复杂和降水分布不均匀的特点。而帕尔默尔指数的指标添加了土壤持水量指标, 细化了干旱的划分, 可以更全面地反应水份含有量。降水距平百分法是气象学者最常用的表征干湿特征的物理量, 其计算可行性较强, 理解性较好。SPI 是 McKee 于 2002 年提出的用于评估罗

拉多地区干旱状况的一款指标。该指标具有稳定的计算特性, 能消除降水的时空分布差异, 有效地反映旱涝状况<sup>[9]</sup>。同时, SPI 被认为相对于南方地区的降雨空间分布具有更好的适用性<sup>[10]</sup>。因此, 本文选取 SPI 来分析川渝地区的旱涝情况。

## 1 资料与方法

川渝地区指四川省和重庆市两地。选取两地区内 42 个气象观测站为观测点, 以 1961—2010 年间 50 年的逐日降水量为研究干旱的主要对象, 其中站点缺测和少测的降水值以选取其他站点当日的降水平均值来代替。

标准化降水指数是采用  $\Gamma$  分布概率来描述降水量的变化, 将偏态概率分布的降水量进行正态标准化处理, 最终用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级<sup>[11]</sup>。

首先假设某段时期的降水量为  $x$ , 且  $x \geq 0$ , 则  $\Gamma$  分布的概率密度函数  $f(x)$  为

收稿日期: 2014-09-10

作者简介: 张楚瑶(1989—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为气象经济学

通信联系人: 杨春瑰, 教授, 主要研究方向为气象经济学, sprose521@163.com

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{(\gamma-1)} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

式中:  $\Gamma$  是 gamma 函数、 $x$  为降水量、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别为尺度和形状参数。 $\beta$ 、 $\gamma$  的范围均大于零,并且两个最佳估计值可以用极大似然估计方法求得:

$$\hat{\gamma} = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A}; \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{x}{\hat{\gamma}} \quad (4)$$

$$A = \ln x - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (5)$$

式中:  $n$  为计算序列的长度。

于是,给定时间尺度的累积概率如下式:

$$F(x < 0) = \int_0^\infty f(x) dx \quad (6)$$

当降水量为 0 时的概率为

$$F(x = 0) = \frac{m}{n} \quad (7)$$

式中:  $m$  为降水量为 0 的样本数;  $n$  总样本数。

对  $\Gamma$  分布概率进行正态标准化处理,即

$$F(x > x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_0}^\infty e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (8)$$

对上式近似求解,得

$$SPI = s \left( t - \frac{2.52 + 0.8t + 0.01t^2}{1 + 1.43t + 0.19t^2 + 0.001t^3} \right) \quad (9)$$

其中

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{F^2}} \quad (10)$$

根据标准化降水指数,旱涝情况可分为 7 个等级(表 1)。

表 1 基于逐日降水量的标准化指数定义

等级	指数值
重度洪涝	>2.0
中度洪涝	1.5~1.99
轻度洪涝	1.0~1.49
正常	-0.99~0.99
轻度干旱	-1.0~-1.49
中度干旱	-1.5~-1.99
重度干旱	<-2.0

层次分析法是一种将复杂的系统层次化、简单化的一种分析方法。它通过对两两指标之间重要程度做出比较判断,以重要性程度来赋予权重。考虑到层次分析法具有简单实用、系统性较强、思路清晰等特点,本文选取该方法来界定各个指数的权重。根据 Saaty 教授提出的标度量化表<sup>[12]</sup>,通过判断两两要素之间的重要性,建立判断矩阵:

$$A = (a_{ij})_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

之后通过对矩阵归一化等处理,得到  $A$  的最大特征值  $\lambda_{\max} = 3.0385$ ,以及相应的特征向量  $W = (0.106, 0.26, 0.633)^T$ ,依据一致性指标检验公式

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \text{当 } CR \approx 0.033 < 0.1 \text{ 时,称判断矩阵}$$

通过了一致性检验。因此根据特征向量可对应得到轻旱的权重为 0.106,中旱的权重为 0.26,重旱的权重为 0.633。由于层次分析法在本文并非重点,所以具体计算过程省略,主要公式可参考文献<sup>[13]</sup>。

## 2 川渝地区干旱的区域特征及其规律

运用 SPI 指数法对川渝地区 50 年降水值进行计算,得到图 1。

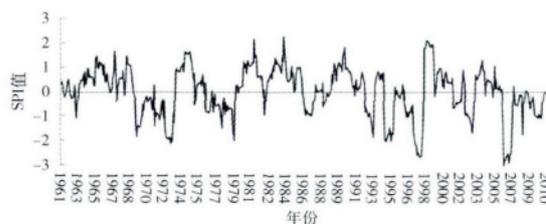


图 1 川渝地区 50 年旱涝时间分布

根据图 1 发现川渝地区 50 年中干湿交错分布明显,平均一次旱涝过程的周期在 5~9 年。其中,干旱总日数达 82 天,洪涝日数为 87 天,干湿总体平衡,同时干旱指数的最大值出现在 2006 年,与相关资料吻合<sup>[14]</sup>。

另一方面,根据表 2 发现地区近 30 年干旱趋势明显。在 1961—1991 年中总体气候较为湿润,洪涝的次数明显多于干旱,中级或以上强度的灾害少发。而后 30 年中川渝地区出现了明显的旱化,不仅干旱的次数有所增加,干旱的强度也大幅增加,相比之下洪涝发生的次数与强度都在普遍下降。

表 2 川渝地区 50 年干旱频率

天

区域特征	轻级灾害		中级灾害		重级灾害		总天数	
	前 30 年	后 30 年						
干旱	15	16	11	16	3	21	29	53
洪涝	58	41	11	10	2	6	87	57

### 2.1 干旱指数时间变化特征

为了便于分析川渝地区年干旱情况,通过运用层次分析法算出的轻旱、中旱和重旱的权值{0.106, 0.26, 0.633},将干旱灾害强度  $D$  的计算方法定义如下,并得到川渝地区干旱灾害强度的时间分布(图 2)。

$$D = 0.106 \times d_s + 0.26 \times d_m + 0.633 \times d_l \quad (12)$$

式中:  $d_s$  表示轻旱的天数;  $d_m$  表示中旱的天数;  $d_l$  表示重旱的天数。

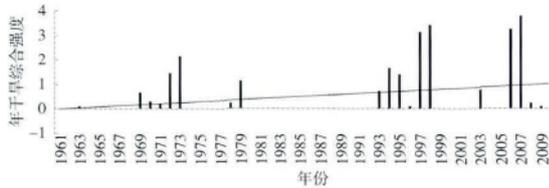


图 2 川渝地区干旱强度时间分布图

观察图 2 发现,川渝地区 50 年间干旱强度存在明显增强趋势。其中 1990 年之前干旱爆发频率小,强度低,30 年里仅发生了 7 次较小规模的干旱;而 1990 年之后干旱发生次数大幅增长,短短 20 年间有 12 年发生了干旱事件,频率涨幅达到了 2 倍多,50 年间较强干旱都发生在 90 年代中后期,并且重旱一般都会持续 2 年的时间,如 1997 年和 1998 年、2006 年和 2007 年。

综上所述,川渝地区随着时间的推移,有着明显的由湿润向干旱转化的趋势,这与前人研究结论<sup>[19-20]</sup>基本一致。

### 2.2 干旱空间变化分布

虽然川渝地区地处半湿润地区,但受高原季风、西太平洋副热带高压和南亚高压等影响,使得地区内部降水分布非常不均匀,通过计算,求得了 50 年各个区域干旱强度指数(图 3)。

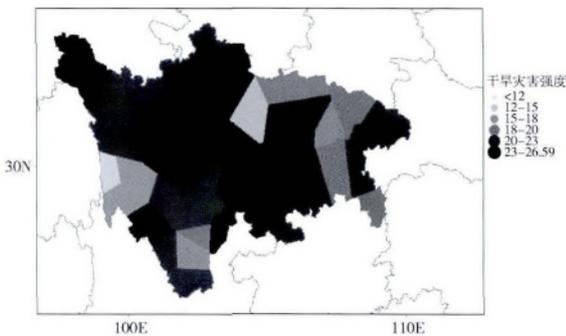


图 3 川渝地区干旱强度分布图

50 年中,川渝地区受灾程度较大地区主要集中在中心地带。其中遂宁市受灾程度最大,南充市位居第二,受灾程度最小的位于甘孜藏族自治州的巴塘县。同时,地区的中部、西部和西部高原地区重旱

发生频率高,东部重旱的天数最短。

为了更直观地了解干旱空间变化特征,通过综合地区每 10 年内轻旱、中旱、重旱发生的频次发现(图 4);20 世纪 60 年代,川渝地区干旱主要发生在川西高原地区,该地区不仅干旱受灾面积广而且受灾强度也最深,相比之下,地区中部和地区东部干旱少发,干旱受灾面积少、程度轻;20 世纪 70 年代,干旱分布与 60 年代相似,但是地区中部成都、遂宁和南充地区干旱增强明显;20 世纪 80 年代,川西高原地区旱灾减轻最明显,地区中部干旱密集度较高,东部的重庆北部干旱持续减少;20 世纪 90 年代,川渝地区干旱局部变化较大,川西高原地区干旱程度持续减轻,东部干旱有轻微加重趋势,地区中部旱情变化明显,遂宁、南充等地干旱强度达到了 1980—1990 年来的最大值;到了 21 世纪初期,川渝地区干旱格局仍以局部变化为主,总体干旱程度都有所加重,地区中、东部旱情明显增加。

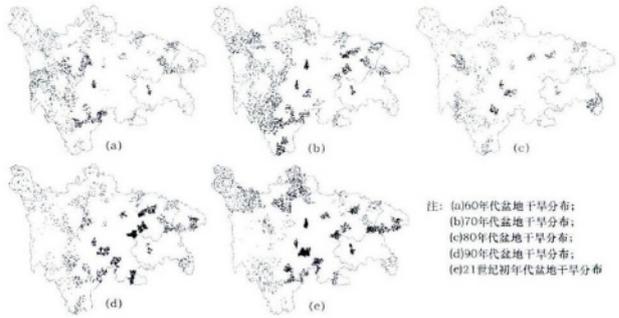


图 4 川渝地区年代干旱空间分布

总体发现近 50 年来川渝地区干旱呈现出由西向东转移的趋势。

## 3 干旱特征对川渝地区的经济影响

由于适宜的气候,自古川渝地区就有“天府之国”的美称。但是随着气候的变化,近年来地区旱化越发明显,干旱不仅影响第一产业,严重的干旱还影响到了川渝地区其他产业的正常发展。对于干旱与经济的关系,前人大多数从微观经济学角度出发,以粮食的减产来研究干旱给经济带来的影响<sup>[21-24]</sup>。笔者拟从宏观经济角度出发,探讨干旱与三大产业的关系以及对它们的影响,并提出相关建议,供决策参考。

### 3.1 干旱指数与地区经济发展的关系

笔者选取川渝两地 1993 年到 2010 年的经济数据,计算发现,其干旱指数与地区的经济仅有微弱的关系。考虑到影响 GDP 指数的因素众多,为了排除对地区间与干旱关系的差异性的忽略,将川渝分为川东、川中、川西和川西高原 4 块地区(表 3)。并分别统计了 4 块地区干旱与产业间的关系,见表 4。

表3 川渝地区区划分布

区划	区域
川东	重庆、达州、广安
川中	遂宁、广元、内江、南充、泸州、宜宾、资阳、自贡、巴中
川西	成都、德阳、绵阳、乐山、雅安、眉山
川西高原	阿坝州、甘孜州、凉山州、攀枝花

表4 川渝地区各区域与经济发展指数的相关性

指标	川东	川中	川西	川西高原
地区生产总值	相关性 $ r  < 0.1$ 显著性 $P > 0.5$	$r = 0.363$ $P = 0.073$	$ r  < 0.1$ $P > 0.5$	$r = -0.359$ $P = 0.144$
第一产业	相关性 $ r  < 0.1$ 显著性 $P > 0.5$	$r = -0.432$ $P = 0.124$	$ r  < 0.1$ $P > 0.5$	$r = -0.311$ $P = 0.21$
第二产业	相关性 $ r  < 0.1$ 显著性 $P > 0.5$	$r = -0.377$ $P = 0.094$	$ r  < 0.1$ $P > 0.5$	$r = -0.346$ $P = 0.159$
第三产业	相关性 $ r  < 0.1$ 显著性 $P > 0.5$	$r = -0.407$ $P = 0.139$	$ r  < 0.1$ $P > 0.5$	$r = -0.374$ $P = 0.126$

注:数据均来自《四川省统计年鉴》和《重庆市统计年鉴》。

结果显示,干旱指数与经济的相关性并不明显,这与本文初期的推论有着较大的差距。推测造成这种情况的主要原因是经济发展带动的产业结构变动造成的:根据统计,川东 GDP  $\approx$  川西 GDP  $>$  川中 GDP  $>$  川西高原 GDP,其中川西地区形成了以成都为经济中心,带动周边地区经济发展的联动经济体系,其公共基础设施完善,重视水利工程建设,依托都江堰灌溉条件优越、河渠稠密,保证了作物生长水分的充足,并且面对干旱有着较为全面的抗旱对策,使得川西地区从居民到政府都能充分应对干旱对其带来的影响;而川东地区地形以山地为主,其重庆市更是以“山城”著名,其地势导致了该地区农业不发达,主要发展第二和第三产业,又因为一般程度的干旱对种植业产生影响较大,对其他产业影响不明显,所以川东地区干旱的发生对当地经济的影响也较小。

### 3.2 干旱影响地区产业结构变动分析

对4块地区1993—2010年的地区产业数据进行分析,结果见表5。为了弥补数据过少造成的论证不足,又选取了川渝地区50年间农业总产值和地区总产值的数据,通过分析50年里农业总产值占地区总产值的比例,从侧面证明了该地区农业产业结构的变动。统计发现,在20世纪60年代农业总产值占国内生产总值的88%左右,这一时期主要以农业为主,随后的50年间,农业在总产值中所占的比重越来越少,到1993年时第一产业只占到三大产业总额的28%,之后仍持续下降,并在2010年降到总产值的12%,同时第二、三产业在近50年来飞速发展,尤其是第二产业,更是成为地区主要经济支柱。由此得出,川渝地区在50年中产业结构发生了较大的变化,其中第一产业在整个经济体中所占比例大幅下降,而二、三产业快速发展。

表5 川渝地区三产业比值分布

	川东	川中	川西	川西高原	总值
第一产业	1993 9.35% 2010 3.9% 增长率 -0.41	8.97% 4.18% -0.36	8.51% 3.38% -0.43	1.84% 0.98% -0.31	28.67% 12.44% -0.39
第二产业	1993 15.25% 2010 19.82% 增长率 0.13	7.92% 11.58% 0.19	16.97% 17.28% 0.01	3.47% 3.39% -0.01	43.6% 52.08% 0.09
第三产业	1993 10.81% 2010 12.87% 增长率 0.09	5.17% 5.94% 0.07	10.21% 14.87% 0.19	1.54% 1.79% 0.08	27.73% 35.47% 0.12

注:数据均来自《四川省统计年鉴》和《重庆市统计年鉴》。

由表5可知,1993年时川渝地区三大产业中第二产业在所占比重大,达到53.9%,第三产业位居第二占产值35.5%,而第一产业仅占10.6%。其中,川东地区的农业和第三产业最发达,川西的第二产业发展最快。可见在20世纪90年代初期,川渝地区的第一产业已经不是影响整个地区经济的主要要素。到了2010年,二、三产业产值稳步上升,第一产业比重继续下降。然而地区间的产业比重却有所变化,川中的农业产值超过川东,成为地区内第一产业产值最大的地区,川东的第二产业仍旧领先其他地区,而川西则第三产业发展较快。

可见在50年间,第一产业总的影响力在不断被弱化,所以当干旱影响种植业,带来产量下降的时候,随着第一产业在经济体中占比的下降,干旱对经济的影响力也会不断降低。可以说从宏观经济数据上,明显地体现出了干旱对川渝地区的经济影响微弱的原因,以及会越来越微弱的趋势。

另一方面,从种植角度来说,该地区作物的不断优化以及其本身的抗旱特性,也是导致干旱灾害对这一地区影响较小的原因。不少学者发现不同作物在不同的生长时期对干旱的敏感性存在差异<sup>[16-18]</sup>,这往往会造成干旱期并不等于种植期的现象。不仅如此,50年来通过不断的栽培研究,川渝地区作物的种植品种也在不断改革创新,大大提升了对外界灾害的抗性,这也导致了地区本身对干旱就有一定的承受能力。

然而,如果在此就做出结论认为干旱对川渝地区经济没有影响也太过片面,如表4所示,SPI指数与川中、川西高原的宏观经济数据仍存在大约0.35~0.43的相关性,其中川中的经济发展与旱涝指数关系最大。这主要与第一产业所占经济比重有关,虽然早期川东与川西都是主要农业区,但是随着近几年经济结构的转变,川东与川西第二产业迅速崛起,并体现出从第二产业向第三产业过渡的趋势。而川中的发展却并非如此,川中农业产值超过了川东与川西,成为川渝地区中新的“最大农业区”,这恰恰从侧面体现出川中经济发展速度慢、产业结构变化小,由于第一产业在地区产值所占比重较大,导致了在川中仍有相当一部分人从事着第一产业或相关

工作,而干旱的发生无疑会给他们带来直接经济影响,从而影响了川中地区的经济。而川西高原地区主要是少数民族聚集区,地处高原,经济发展普遍落后,当地主要发展畜牧业,在生产条件落后的情况下,自然灾害,尤其是旱灾,对当地居民的影响较为严重,因此干旱的发生对川西高原的经济发展是不利的。

#### 4 结 论

本文从产业结构角度出发,探讨了川渝地区的干旱经济问题,根据对实测资料的标准化运算,归纳了地区 50 年来干旱特征,并通过干旱与地区间相关性来分析地区干旱与宏观经济之间的关系,得到如下结论。

1) 干旱对川渝地区经济发展总体影响较弱,该地区干旱灾害强度与宏观经济数据的相关性均未超过显著水平,这与地区产业结构变动存在一定的关系,表明了川渝地区总体产业布局和发展较为合理,避免了干旱的影响。

2) 川中和川西高原经济发展与干旱指数相关性略高,由于川中和川西高原经济发展较慢,产业结构变动不明显,从而导致该区域对农业依赖较大,农村产业结构单一,易受到干旱灾害的影响,表明这些地区的产业发展应防御旱灾,并对产业结构进行升级以期减少干旱的影响。

3) 川渝地区西旱东移趋势明显,近 20 年里干旱爆发频率上升,气候由湿向干转变等变化特征表明,地区干旱在未来存在加强趋势,防旱工作仍需加强。

#### [参考文献] (References)

- [1] Simelton E, Fraser E D G, Termansen M, et al. Typologies of crop-drought vulnerability: an empirical analysis of the socio-economic factors that influence the sensitivity and resilience to drought of three major food crops in China (1961-2001) [J]. *Environmental Science & Policy*, 2009, 12(4): 438-452.
- [2] Fraser E D G, Termansen M, Sun N, et al. Quantifying socioeconomic characteristics of drought-sensitive regions: evidence from Chinese provincial agricultural data [J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2008, 340(9/10): 679-688.
- [3] Salami H, Shahnooshi N, Thomson K J. The economic impacts of drought on the economy of Iran: an integration of linear programming and macroeconomic modeling approaches [J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(4): 1032-1039.
- [4] Gray C, Mueller V. Drought and population Mobility in Rural Ethiopia [J]. *World Development*, 2012, 40(1): 134-145.
- [5] Keshavarz M, Karami E, Vanclay F. The social experience of drought in rural Iran [J]. *Land Use Policy*, 2013, 30(1): 120-129.
- [6] 田宏, 徐崇浩, 彭骏, 等. 四川盆地干旱动态评估指标

的研究[J]. *气象*, 1998, 24(4): 11-14.

Tian Hong, Xu Chonghao, Peng Jun, et al. A study on the consecutive estimation index of drought in Sichuan Basin [J]. *Meteorological Monthly*, 1998, 24(4): 11-14. (in Chinese)

- [7] 刘庆, 毛军需, 彭国照. 四川盆地夏旱多因素综合评估方法探讨 [J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(3): 82-85.
- Liu Qing, Mao Junxu, Peng Guozhao. Study of multi-factors assessment method for summer droughts in Sichuan basin [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(3): 82-85. (in Chinese)
- [8] 张存杰, 王宝灵, 刘德祥, 等. 西北地区旱涝指标的研究 [J]. *高原气象*, 1998, 17(4): 381-389.
- Zhang Chunjie, Wang Baoling, Liu Dexiang, et al. Research on drought and flood indices in the northwest China [J]. *Plateau Meteorology*, 1998, 17(4): 381-389. (in Chinese)
- [9] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 523-529.
- Yuan Wenping, Zhou Guangsheng. Comparison between standardized precipitation index and z\_index in China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 523-529. (in Chinese)
- [10] 黄晚华, 杨晓光, 李茂松, 等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58 a 演变特征 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(7): 50-58.
- Huang Wanhua, Yang Xiaoguang, Li Maosong, et al. Evolution characteristics of seasonal drought in the south of China the past 58 years based on standardized precipitation index [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(7): 50-58. (in Chinese)
- [11] 张强, 高歌. 我国近 50 年旱涝灾害时空变化及监测预警服务 [J]. *科技导报*, 2004, 7: 21-24.
- Zhang Qiang, Gao Ge. The spatial and temporal features of drought and flood disasters in the past 50 years and monitoring and warning services in China [J]. *Science & Technology Review*, 2004, 7: 21-24. (in Chinese)
- [12] Saaty T L, Vargas L G. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [13] 张颖, 刘凌, 燕文明. 三峡库区水环境安全评价研究 [J]. *中国科技论文在线*, 2007, 2(9): 666-672.
- Zhang Ying, Liu Ling, Yan Wenming. Study on water environment security of the three Gorge Reservoir Region [J]. *Sciencepaper Online*. 2007, 2(9): 666-672. (in Chinese)
- [14] 张顺谦, 侯美亭, 王素艳. 基于信息扩散和模糊评价方法的四川盆地气候干旱综合评价 [J]. *自然资源学报*, 2008, 23(4): 713-721.
- Zhang Shunqian, Hou Meiting, Wang Suyan. The drought assessment of Sichuan basin based on information diffusion and the fuzzy comprehensive evaluation

- method [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(4): 713-721. (in Chinese)
- [15] 蒋兴文, 李跃清, 李春, 等. 四川盆地夏季水汽输送特征及其对旱涝的影响[J]. *高原气象*, 2007, 26(3): 476-484.  
Jiang Xingwen, Li Yueqing, Li Chun, et al. Characteristics of summer water vapor transportation in Sichuan Basin and its relationship with regional drought and flood [J]. *Plateau Meteorology*, 2007, 26(3): 476-484. (in Chinese)
- [16] 陈彩虹, 张志珠, 卢宏琮, 等. 不同生育期干旱对水稻生长和产量的影响[J]. *西南农业学报*, 1993, 6(2): 38-43.  
Chen Caihong, Zhang Zhizhu, Lu Hongcong, et al. Effects of drought on rice growth and yield in different growth stage [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1993, 6(2): 38-43. (in Chinese)
- [17] 孙宏勇, 刘昌明, 张永强, 等. 不同时期干旱对冬小麦产量效应和耗水特性研究[J]. *灌溉排水学报*, 2003, 22(2): 13-16.  
Sun Hongyong, Liu Changming, Zhang Yongqiang, et al. Effects of water stress in different growth stage on water consumption and yield in winter wheat [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2003, 22(2): 13-16. (in Chinese)
- [18] 王延宇, 王兰芸. 玉米各生育期土壤水分与产量关系的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(1): 100-105.  
Wang Yanyu, Wang Lanyun. Relationship between corn yield and soil water in different growing stages [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1998, 16(1): 100-105. (in Chinese)
- [19] 田宏, 徐崇浩, 彭骏, 等. 四川盆地区干旱强度时空分布特征[J]. *四川气象*, 1998, 18(2): 40-44.  
Tian Hong, Xu Chonghao, Peng Jun, et al. Drought spatial and temporal characteristics of Sichuan Basin [J]. *Journal of Sichuan Meteorology*, 1998, 18(2): 40-44. (in Chinese)
- [20] 李伟光, 易雪, 侯美亭, 等. 基于标准化降水蒸散指数的中国干旱趋势研究[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(5): 643-649.  
Li Weiguang, Yi Xue, Hou Meiting, et al. Standardized precipitation evapotranspiration index shows drought trends in China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(5): 643-649. (in Chinese)
- [21] 张业成, 张立海, 马宗晋, 等. 20世纪中国自然灾害对社会经济影响的时代变化与阶段差异[J]. *灾害学*, 2008, 23(2): 55-58.  
Zhang Yecheng, Zhang Lihai, Ma Zhongjin, et al. Age change and phase difference of the influence of natural disaster in China in the 20th century on social economy [J]. *Journal of Catastrophology*, 2008, 23(2): 55-58. (in Chinese)
- [22] 徐乃璋, 白婉如. 水旱灾害对我国农业及社会经济发展的影响[J]. *灾害学*, 2002, 17(1): 92-97.  
Xu Naizhang, Bai Wanru. Effects of flood and drought on development of agriculture and social economy in China [J]. *Journal of Catastrophology*, 2002, 17(1): 92-97. (in Chinese)
- [23] 吴红华. 灾害损失评估的灰色模糊综合方法[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(2): 115-118.  
Wu Honghua. Synthetic grey-fuzzy method for disaster losses assessment [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(2): 115-118. (in Chinese)
- [24] 王明田, 张玉芳, 马均, 等. 四川省盆地区玉米干旱灾害风险评估及区划[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(10): 2803-2811.  
Wang Mingtian, Zhang Yufang, Ma Jun, et al. Risk assessment and regionalization of maize drought disasters in Sichuan Basin, Southeast China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(10): 2803-2811. (in Chinese)

(上接第335页)

- [12] 朱启贵. 国内外可持续发展指标体系评论[J]. *合肥联合大学学报*, 2000, 10(1): 11-23.  
Zhu Qigui. The index system comment of sustainable development at home and abroad [J]. *Journal of Hefei Union University*, 2000, 10(1): 11-23. (in Chinese)
- [13] 宋海洲, 王志江. 客观权重与主观权重的权衡[J]. *技术经济与管理研究*, 2003(3): 63.  
Song Haizhou, Wang Zhijiang. Weigh the objective weight and subjective weight [J]. *Technoeconomics and Management Research*, 2003(3): 63. (in Chinese)
- [14] 张立军, 王叶平. 综合评价模型相对有效性测度方法研究[J]. *统计与决策*, 2011, 20: 18-21.  
Zhang Lijun, Wang Yeping. Study on the comprehensive evaluation model to measure the relative efficiency [J]. *Statistics and Decision*, 2011, 20: 18-21. (in Chinese)
- [15] 钱乐毅. 基于GIS的多维贫困识别[D]. 北京:首都师范大学, 2014.  
Qian Leyi. Multidimensional Poverty Identification Based on GIS [D]. Beijing: Capital Normal University, 2014. (in Chinese)