文章编号:1000-7601(2018)02-0279-09 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2018.02.40

基于 Copula 函数的辽西地区农业气象干旱灾害分析

李 颖,冯 玉,唐伟男,任家璇
(辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

摘 要: 干旱作为辽西地区频发的自然灾害之一,对农业影响显著。综合考虑气象干旱灾害的多要素作用,本文基于 SPI 指数利用游程理论提取辽西地区 1956—2014 年农业气象干旱的历时和强度,在确定单变量边缘分布的基础上采用 Copula 函数分析干旱发生的联合概率和重现期,并以 1991—2011 年农作物旱灾实况为依据,探讨气象干旱重现期与作物旱灾损失之间的联系。结果显示:(1) 干旱历时和干旱强度分别符合 Weibull 和 Gev 分布,Frank – Copula 适合模拟辽西地区的干旱联合分布;(2) 本区发生历时和强度双低、短历时 – 高强度、长历时 – 低强度干旱的可能性较大;(3) 高强度 – 短历时和低强度 – 长历时组合下重现期多为 2—4 个月,辽西多轻、中旱;(4) 1991—2011 年旱灾实际重现期与理论重现期接近,表明联合重现期能更好地体现灾害发生频次;(5) 重现期低于 2 个月为轻度干旱,2—8 个月为中度干旱,高于 8 个月为重度干旱,农业部门可根据联合重现期预测出的干旱等级采取有针对性的防旱抗旱措施。

关键词: 农业气象干旱;SPI;Copula 函数;重现期;辽西地区
中图分类号: K903 **文献标志码**: A

Analysis of agricultural meteorological drought disaster around western Liaoning Province based on Copula function

LI Ying, FENG Yu, TANG Wei-nan, REN Jia-xuan
(*School of urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning* 116029, *China*)

Abstract: Drought is one of the frequent natural disasters of the western part of Liaoning province, and its impaction on the agriculture is very significant. Considering many elements of meteorological drought effect, in this paper, the duration and intensity of agro-meteorological drought in western Liaoning in 1956—2014 were extracted by using the run-length theory based on SPI index. On the basis of determining the univariate edge distribution, the Copula function was used to analyze the joint probability and return period of drought occurrence. Based on the actual situation of crop drought from 1991 to 2011, the relationship between the drought recovery period and crop drought loss was discussed. The results showed that: (1) the correlation between the drought duration and drought intensity was large, conformed to the Weibull distribution and Generalized Extreme Value distribution respectively, and Frank – Copula function was suitable for simulation of the drought duration and intensity jointed distribution; (2) This area has higher probability of occurrence of drought with both low duration and intensity, short duration and high intensity, and long duration but low intensity. (3) the return period in western Liaoning was relatively short under the combination of high intensity short duration and low intensity long duration, which shows that the western Liaoning was more of light, moderate drought, and return period in most cases was 2 ~ 4 months; (4) The actual return period of 1991—2011 was close to that of the theory, which indicates that the joint return period can better reflect the frequency of disaster; (5) The return period of mild drought was less than 2 months, 8 months or more severe drought, 2 ~ 8 months to moderate drought. This classification of the drought event can provide a targeted policy for the Agricultural sector to solve the problem of drought disaster.

Keywords: agricultural meteorological drought; SPI; Copula function; return period; Western Liaoning Province

收稿日期:2016-11-22 **修回日期**:2016-12-24
基金项目:辽宁省教育厅科学技术研究项目(L201683677);辽宁师范大学青年科研项目(LS2015L011)
作者简介:李 颖(1986—),女,山西太原人,博士,讲师,主要从事区域气候、气象灾害风险评估等研究。E-mail:lynn8686@163.com。

干旱是指因水分收支或供求不平衡形成的持续水分短缺现象[1]。常见有气象干旱、农业气象干旱、水文干旱和社会经济干旱等,农业干旱的发生不仅考虑自然因子(大气、土壤)还要涉及人为因子(作物),其中农业气象干旱是指在农作物生长发育过程中,因降水不足等气象因素导致农作物缺水而造成减产,而且农业气象干旱的指数选取主要考虑影响农作物生长时温度降水等气象因素[2-3]。全球每年因干旱造成的直接经济损失高达 60~80 亿美元,远超其他自然灾害[4]。2014 年中国因旱灾导致的直接经济损失高达 910 亿元[5]。在中国大部分地区,自然降水是农业灌溉用水的主要来源,当前农业干旱频发在一定程度上严重影响了农作物的正常生长发育,因此,若能科学合理分析气象干旱发生频率,预测其灾害等级大小,即可适当采取相应措施提前合理配置水资源,提高应对农业气象干旱的能力,缓解因气候变化对农作物生产造成的影响。

干旱作为一种频发的自然灾害,广布全球,一直都是气象领域研究的热点;目前,国内外学者已在气象干旱的时空分布、区域影响和预测等方面作了广泛研究[6-10]。在气象干旱发生频率和重现期的相关研究中,多以单个变量为基础进行计算。但有研究表明基于单变量发生概率的计算容易高估或低估灾害发生频率,应当采用多个变量构造联合分布函数,研究联合累积概率,并进行重现期分析,得到区域气象干旱事件规律[9,11]。目前采用的评价农业气象干旱的指数有许多,其中标准降水指数能很好的表征季节性干旱特征并在反映干旱事件上有较强的说服力[12-13]。Copula 理论早期被 Nelsen[14]运用到金融风险和保险领域;Kim 等[15-17]建立了干旱历时和干旱强度的联合分布,提供了一种分析干旱的新途径。国内学者张强等[18-20]通过采用 Copula 方法对干旱历时和强度进行联合,认为 Copula 函数不受单变量服从何种边缘分布的限制能够更好地描述区域干旱演变规律;Li 等[9]通过借助 Copula 函数对华北地区玉米作物气象干旱风险分析探索,认为 Copula 函数在较强干旱等级风险预警不确定性的贡献可以为未来多元联合分析作物气象灾害风险奠定基础。诸多学者对农业气象干旱的研究时段多为作物生长期,但并非只有在生长期内的降水等因素对农业气象干旱有影响,非生长期内的土壤墒情也会在一定程度上影响农作物的生长发育,导致干旱;因此有必要从全年降水的时间角度探讨农作物气象干旱,并且采用标准降水指数作为衡量农业气象干旱的基础指标。

辽宁省是我国重要的商品粮基地,辽西是辽宁省玉米主产地,受地形、气候等自然地理条件影响,该地区虽然面积较小,但却形成典型的从沿海向内陆由季风气候向半干旱干旱气候过渡区,干旱成为制约当地农业经济发展的主要因素。特别是进入 21 世纪,在发生干旱的年份辽西地区因旱作物受灾面积占辽宁省全部旱灾受灾面积均达到 50% 以上,可见科学研究辽西地区农业气象干旱问题的重要性。本文将辽西选为研究区域,以标准降水指数作为研究的基础数据,借助游程理论提取干旱历时和强度,利用 Copula 函数构建干旱变量的联合分布,选取最优拟合效果的 Copula 函数,分析干旱历时和强度的联合重现期,揭示该地区干旱特征,并结合实际农业灾害损失,划分出不同重现期下的干旱等级,从而为辽西地区农业气象干旱灾害风险管理工作提供有效的科学依据。

1 研究区概况及方法

1.1 研究区概况与数据

辽西地区(118.84°~122.969°E, 39.987°~42.838°N)位于辽河平原以西,与内蒙古、河北两省相连接(图 1)。该区陆地面积达 5.003×10^4 km^2,海拔约 400~1 200 m,地貌整体以丘陵山地为主,地势西北高、东南低。本区冬季漫长寒冷,夏季炎热干燥,年均温 8℃~9℃,年降水量 450~600 mm,年均蒸发量 1 600~1 800 mm,区域内降水不均匀,由东南向西北减少,500 mm 等降水量线穿过阜新—朝阳—喀左。降水年际变化大,春季降水较少且多大风天气,夏、秋季易降水偏少且分布不均匀,多形成十年九旱的自然状况。辽西地区是我国重要的杂粮生产基地,但由于播种季节的降水量仅占年降水量的 13%~16%,且只有 60%~70% 的年份可以满足作物出苗、育苗需要,所以 40% 的年份粮食是属于减产情况。其中,2006 年辽西出现特大伏旱,粮食作物减产 301.80 万 t,经济作物减产 21.59 万 t。

研究所用降水量数据为辽西地区 8 个气象观测台站 1956 年 1 月 1 日—2014 年 12 月 31 日的逐月地面观测资料,源自中国气象数据网,时间序列长度为 59 年。1991—2011 年辽西地区农业气象干旱灾害损失数据来源于中国种植业信息网。

1.2 旱涝指数及干旱识别

干旱指标作为判断干旱的重要定量要素,近年来对其研究也较多,研究中采用在辽西地区具有较好适应性的标准化降水指数(SPI)来判断研究区的旱涝指数[21-23],并划分干旱等级(表 1)。本文计算

3 个月尺度的 SPI 指数,参考游程理论来进行干旱事件的识别(图 2),干旱指标的阈值定为 X_0, X_1 和 X_2。当干旱指标值小于 X_1 时,判断为一次干旱,出现 a,b,c 和 d 四次干旱事件,在此基础上,对于干旱历时只有一个时段的干旱(如 a,d),如果其干旱指标值小于 X_2(如 a),则此月份被确定为 1 次干旱事件,反之则不计为干旱(如 d);而对于间隔为一个时段的两次相邻的干旱事件(如 b,c),若间隔期的干旱指标值小于 X_0,则这两次相邻的干旱视为 1 次干旱事件,否则为 2 次独立干旱过程,合并后的干旱历时 $D = d_b + d_c + 1$,干旱强度 $S = SPI_b + SPI_c$。因此,按上述规定可得图 1 中共有 2 次干旱过程,即 a 和 b + c[24]。

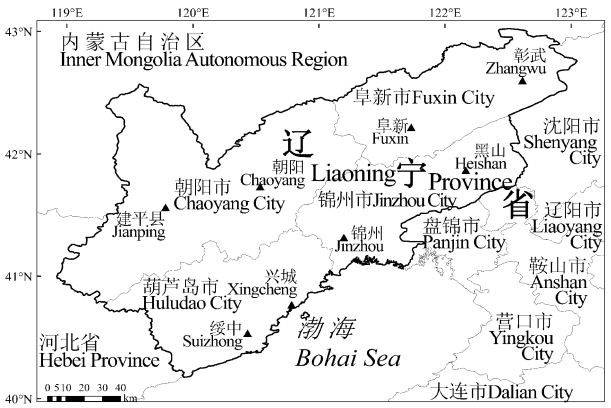


图 1　辽西地理位置及各气象站点分布

Fig.1　Location of Western Liaoning Province and meteorological stations

1.3　Copula 函数

Copula 作为一种联合函数,于 1959 年被 Sklar 提出。该函数主要基于变量间的相关性,进行边缘变量的联合。在建模过程中,首先需要度量要素间的相关性,然后拟合边缘变量的概率,最后进行 Copula 拟合及检验。本文采用 Spearman 系数对拟提取的干旱特征变量进行相关性度量(相关系数越大,相关性越高,Copula 函数联合越准确)。选用水文、气象领域常用的 6 种函数(Norm 分布、Weibull 分布、Gev 分布、Poisson 分布、Ev 分布、Exp 分布)进行边缘拟合,利用 K－S 检验确定最优的边缘函数,最后选用 5 种常用的 Copula 函数(表 2)进行联合概率的拟合,采用均方根误差(RMSE)和 AIC 信息准则确定最优 Copula 函数[25－26]。在边缘及联合拟合中,均采用极大似然法进行参数估计[27]。

表 1　不同干旱类型对应的 SPI 取值范围

Table 1　Drought types corresponding to the SPI values

等级 Grades	SPI	类型 Type
0	SPI > －0.5	无旱 No drought
1	(－1, －0.5]	轻旱 Mild drought
2	(－1.5, －1]	中旱 Moderate drought
3	(－2, －1.5]	重旱 Severe drought
4	SPI < －2	特旱 Special drought

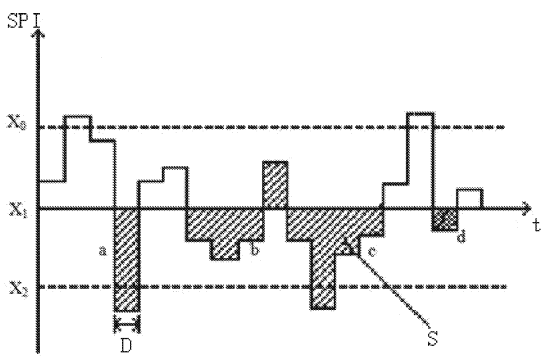


图 2　干旱事件判别示意图

Fig.2　The distinguish of drought events

表 2　常见的二维 Copula 函数及参数范围

Table 2　Common two-dimensional Copula function and parameter range

函数 Function	计算公式 Calculation formula	参数范围 Parameter range
Frank	$\frac{1}{\theta}\ln\left[1+\frac{(e^{-\theta u}-1)(e^{-\theta v}-1)}{e^{-\theta}-1}\right]$	$(-\infty,\infty)$
Clayton	$\max([u^{-\theta}+v^{-\theta}-1]^{-1/\theta},0)$	$[-1,\infty)/\{0\}$
Gumbel	$\exp[(-\ln u)^{\theta}+(-\ln v)^{\theta}]^{1/\theta}$	$[1,\infty)$
t-copula	$\int_{-\infty}^{tk^{-1}(u)}\int_{-\infty}^{tk^{-1}(v)}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\left[1+\frac{s^2-2\rho st+t^2}{k(1-\rho^2)}\right]^{-(k+2)/2}dsdt$	$(-\infty,\infty)$
Normal	$\int_{-\infty}^{\varphi^{-1}(u)}\int_{-\infty}^{\varphi^{-1}(v)}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left[-\frac{s^2-2\rho\rho s+t^2}{2(1-\rho^2)}\right]dsdt$	$(-\infty,\infty)$

1.4 重现期

假设干旱历时与干旱强度具有一定的相关性且分别能表示干旱事件中的两组特征变量,边缘函数分别为 $u = F(d)$,$v = F(s)$,N 为样本观测长度,n 为研究时段内超过给定数值的次数,则单变量重现期表示为:

$$T(d) = \frac{N}{n[1 - F(d)]} \quad (1)$$

$$T(s) = \frac{N}{n[1 - F(s)]} \quad (2)$$

通常把联合事件 $C(u,v)$ 的联合概率分布记作 F,表达式为:

$$F(d,s) = p(D \leqslant d, S \leqslant s) = \int_{-\infty}^{s}\int_{-\infty}^{d} f(u,v)\mathrm{d}u\mathrm{d}v = C(u,v) \quad (3)$$

联合重现期是指大于或等于某一特定值的事件,每出现一次时所平均需要的时间间隔。在气象领域中,重现期表示的是气象灾害事件发生的周期,在预防灾害和减轻工程中常作为重现期来用。联合重现期可表示为:

$$T(d,s) = \frac{N}{nP[D \geqslant d or S \geqslant s]} = \frac{N}{n[1 - C(u,v)]} \quad (4)$$

2 辽西地区农业气象干旱风险分析

2.1 干旱演变特征

不同尺度的 SPI 值在干旱趋势研究中含义不同。本文选取适合分析辽西地区农业气象干旱的 SPI – 3(季尺度)指标,通过分析辽西地区 SPI – 3 变化趋势得到辽西地区干旱演变的规律(图 3)。结合表 1 所示,得到辽西地区在 1956—1963 年除建平、兴城外,其他地区重度以上干旱事件频发;1963—1991 年辽西各地多轻、中度干旱,建平、锦州、绥中在 1970 年前后发生重度以上干旱事件,干旱强度较大;1991—2014 年各地发生干旱频率增多;自 1991 年以来,相对于研究前期,辽西各地发生重度以上的干旱时间频率明显提高,干旱类型出现轻旱与重旱的交替发生,但仍以轻度干旱为主。就辽西平均 SPI 值变化而言,明显得到在研究前期和末期,重度以上干旱事件较多,可能与前期自然条件恶劣,生产力水平较低有关,后期随着全球气候变暖干旱事件也随之增多。

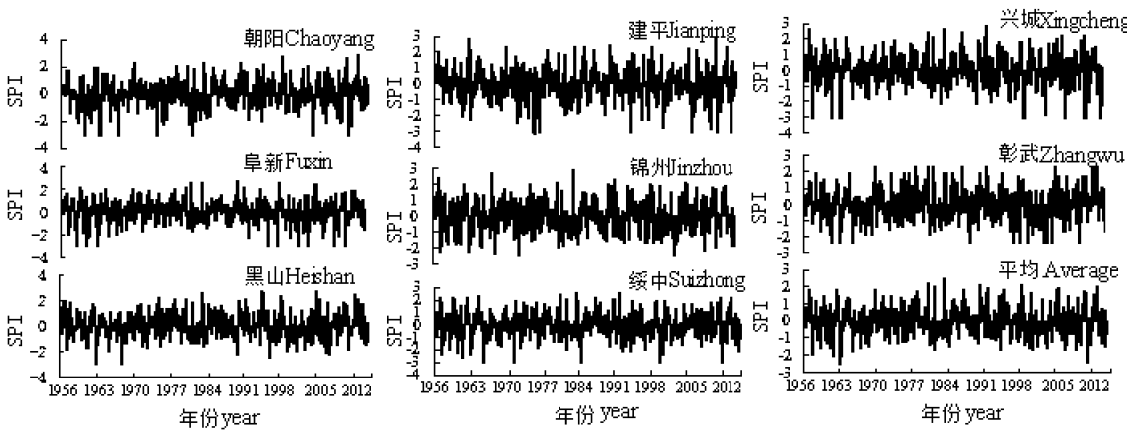


图 3 1956—2014 年辽西地区 SPI 指数变化趋势

Fig.3 Trends of SPI in Western Liaoning from 1956 to 2014

2.2 联合函数判定

2.2.1 *单变量边缘分布* 应用游程理论对 1956—2014 年辽西气象站点 SPI 数据进行干旱识别,提取干旱特征变量:干旱历时和干旱强度。通过分析计算,干旱历时和干旱强度具有较高的相关性,Spearman 相关系数均接近于 1,相关关系较近,且均通过置信水平 95%的检验(表 3)。

干旱历时的边缘分布同 Weibull 分布(公式 5)拟合效果最好(图 4a),而干旱强度则属于 Gev 分布(公式 6,图 4b),并采用极大似然法对 Weibull 分布和 Gev 分布函数中的参数进行估计(表 4)。

表 3 干旱历时和干旱强度的相关系数

Table 3 The correlation coefficient of drought duration and drought intensity

站点 Station	相关系数 Correlation coefficient	站点 Station	相关系数 Correlation coefficient
彰武 Zhangwu	0.89**	黑山 Heishan	0.90**
阜新 Fuxin	0.91**	锦州 Jinzhou	0.92**
朝阳 Chaoyang	0.93**	绥中 Suizhong	0.86**
建平 Jianping	0.86**	兴城 Xingcheng	0.89**

注:"**"表示通过置信度 0.05 的检验。

Note: "**" means the test with confidence level 0.05.

$$F(d) = u = 1 - e^{\alpha x \beta} \quad (5)$$

$$F(s) = v = 1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(x - \mu)^{\frac{1}{k}}\right]\right\} \quad (6)$$

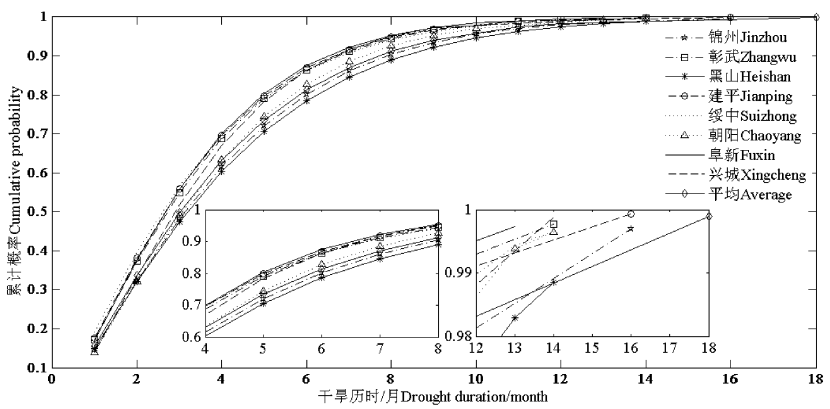
表 4　干旱历时和干旱强度边缘分布的参数值

Table 4　Marginal distribution parameters of drought duration and drought intensity

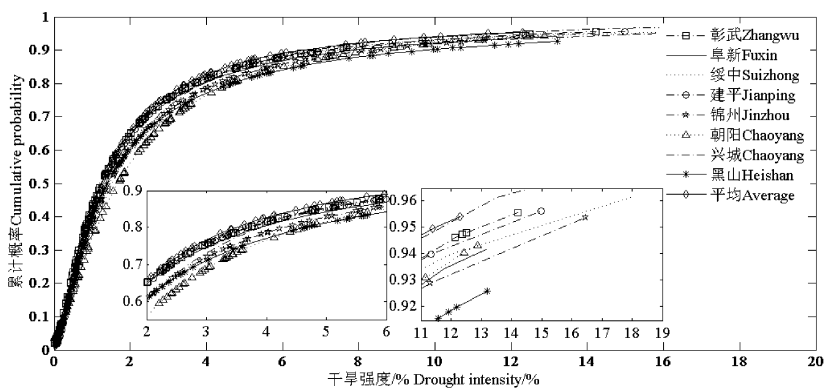
站点 Station	干旱历时 Drought duration		干旱强度 Drought intensity		
	α	B	k	α	μ
彰武 Zhangwu	3.5633	1.3173	0.8019	0.9861	0.8204
阜新 Fuxin	3.4849	1.3495	0.8938	0.9743	0.8063
朝阳 Chaoyang	3.9830	1.3748	0.6870	1.3416	1.1079
建平 Jianping	3.4979	1.3149	0.8328	0.9564	0.8621
黑山 Heishan	4.2558	1.2566	0.9478	1.1272	0.8967
锦州 Jinzhou	4.1433	1.2979	0.8216	1.1282	0.9625
绥中 Suizhong	3.4613	1.2415	0.8707	0.9501	0.7672
兴城 Xingcheng	3.7256	1.4449	0.6557	1.1147	1.0584

根据干旱历时拟合曲线(图 4a),建平和锦州两地历时最长,达 16 个月,阜新的最长历时相对较短,仅有 13 个月,其他五地的最长历时为 14 个月;当干旱历时为 4—8 个月时,阜新的累积概率最高,朝阳、锦州和黑山累积概率略低(图 4a),说明阜新发生干旱时历时多为 4—8 个月。干旱强度最大值出现在绥中,达 18,此时累积概率为 0.96;当干旱强度为 0~2 时,辽西各地发生干旱的概率大致相同,建平的干旱强度略高于其他地区,朝阳干旱强度较低,最大仅有 13,此时发生干旱事件的累积概率超过 0.94(图 4b)。

2.2.2　*联合函数的确立*　基于干旱历时和干旱强度的单变量边缘分布,构建五种常见 Copula 联合概率分布,并通过 AIC 进行拟合优度检验。结果表明,对辽西地区农业气象干旱变量的联合概率拟合,Normal、Clayton 和 Gumbel 联合函数不适合,朝阳 t – Copula 函数拟合效果最好,Frank – Copula 次之,其他地区均适合 Frank – Copula 函数拟合(表 5)。因此,选取较为适合的 Frank – Copula 函数进行辽西地区农业气象干旱两变量(干旱历时和干旱强度)的 Copula 联合概率拟合,计算公式见表 2。



(a) 干旱历时拟合 Drought duration fitting



(b) 干旱强度拟合 Drought intensity fitting

图 4　辽西地区干旱历时(a)和干旱强度(b)边缘分布拟合曲线

Fig.4　Marginal distribution curve fitting of drought duration (a) and drought intensity (b) around Western Liaoning Province

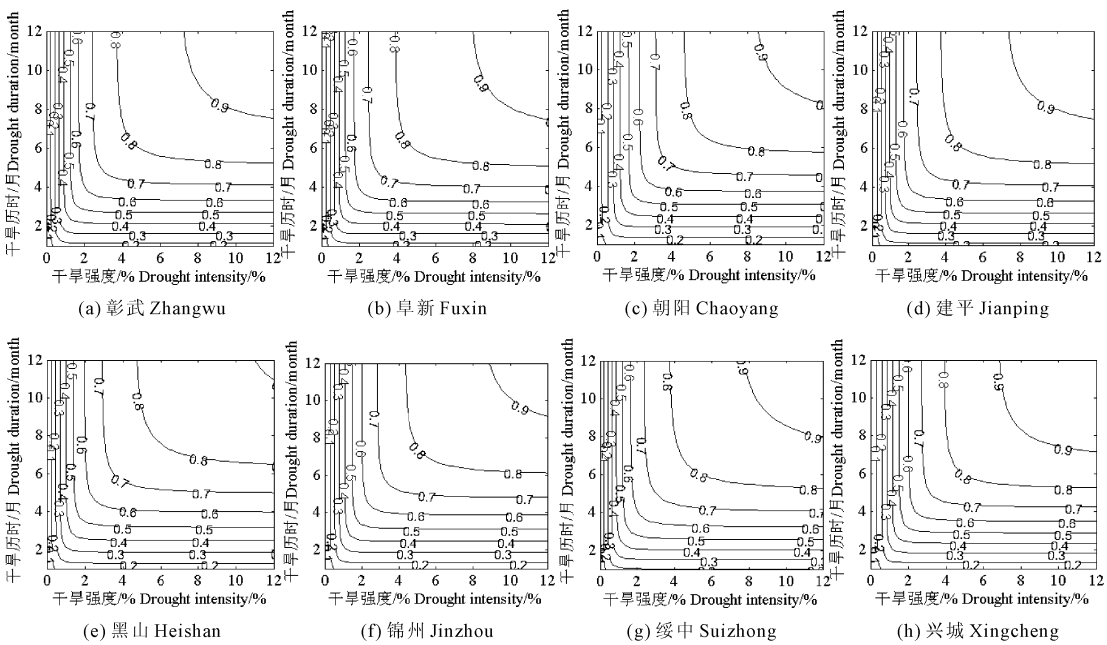
表 5 Copula 函数拟合优度检验

Table 5 Goodness of fit test of Copula function

站点 Station	Normal	t-copula	Clayton	Frank	Gumbel
彰武 Zhangwu	0.68	0.66	0.94	0.63	0.77
阜新 Fuxin	0.66	0.65	0.87	0.64	0.74
朝阳 Chaoyang	0.51	0.48	0.65	0.49	0.57
建平 Jianping	0.69	0.67	0.98	0.63	0.72
黑山 Heishan	0.47	0.45	0.74	0.43	0.51
锦州 Jinzhou	0.44	0.43	0.69	0.42	0.50
绥中 Suizhong	0.84	0.82	1.11	0.81	0.94
兴城 Xingcheng	0.48	0.47	0.75	0.44	0.54

2.3 联合概率分析

Copula 联合累积概率分布包含要素综合的信息,辽西地区农业气象干旱联合概率分布等值线如图 5 所示。分析不同地区联合概率分布等值线发现,各站点等值线均向左侧弯曲,表明干旱历时对干旱事件影响较大。干旱强度为 0 ~ 2 时,等值线密集且干旱历时跨度较大(1—12 个月),干旱情况复杂。总体而言,辽西地区的干旱主要发生在短历时高强度、长历时 - 低强度以及二者同步的情况下。如:当彰武干旱历时和干旱强度同步(点(8,8))或者出现短历时高强度(点(7,12))、长历时 - 低强度(点(12,6.8))时,发生干旱的累积概率最大(图 5a)。绥中、阜新、建平和彰武四地累积概率等值线密集程度高于其他地区,说明四地较小强度的干旱事件频发,且干旱强度多集中于 0 ~ 2,干旱历时跨度较大。当 Copula 值大于 0.9 时,黑山和锦州两地干旱历时和强度较辽西其他地区略大,干旱强度约为 10 ~ 12,干旱历时约为 9—12 个月,而辽西其他地区的干旱历时最小为 7 个月,干旱强度最小为 7,低于黑山、锦州两地。



(a) 彰武 Zhangwu (b) 阜新 Fuxin (c) 朝阳 Chaoyang (d) 建平 Jianping

(e) 黑山 Heishan (f) 锦州 Jinzhou (g) 绥中 Suizhong (h) 兴城 Xingcheng

图 5 辽西地区联合概率等值线

Fig.5 The joint cumulative probability contour around Western Liaoning Province

2.4 联合重现期

重现期可以反映灾害发生频率,辽西地区农业气象干旱重现期研究对地区抗旱防旱工作有一定的指导作用。通过单变量重现期、多变量重现期与实际重现期的对比(表 6),得到单变量重现期与实际重现期有误差,多变量重现期与实际更接近,表明借助 Copula 进行多变量联合研究干旱问题更符合辽西地区的实际。

1956—2014 年辽西地区 SPI 指数显示,气象干旱发生重现期平均为 2 个月,根据 Frank - Copula 函数的累积概率,运用公式 4 可以计算得出辽西各地农业气象干旱联合重现期,并绘制等值线图(图 6)。

辽西地区平均干旱重现周期为 2 个月,干旱事件发生较频繁,但强度略小。在长历时 - 低强度组合下,取点(2,10),得到干旱事件的重现期多为 2—4 个月,短时间的干旱事件频发;假设干旱事件发生强度为 8,历时 8 个月,黑山、锦州、绥中、兴城的重现期大致为 6—8 个月(图 6),其他四地重现期约 8—9 个月;在干旱强度为 10,历时仅有 4 个月的情况下,重现期多为 3—4 个月,时间较短。兴城重现期等值线疏密程度最高,说明干旱发生频率较辽西其他地区高,黑山和锦州重现期等值线较其他站点

相对稀疏,说明干旱事件发生频率较小;较高强度短历时的干旱重现期和较长历时 – 低强度的重现期较短,对农业影响很大,黄玉贞等[28]在对阜新地区的干旱研究中得到阜新、彰武的春旱、伏旱现象比较严重,两地发生伏旱的概率分别达 30.4%、28.6%,在育苗、保苗阶段,抗旱成为重要工作,根据重现期的预测,可以帮助农业工作者科学防旱抗旱。

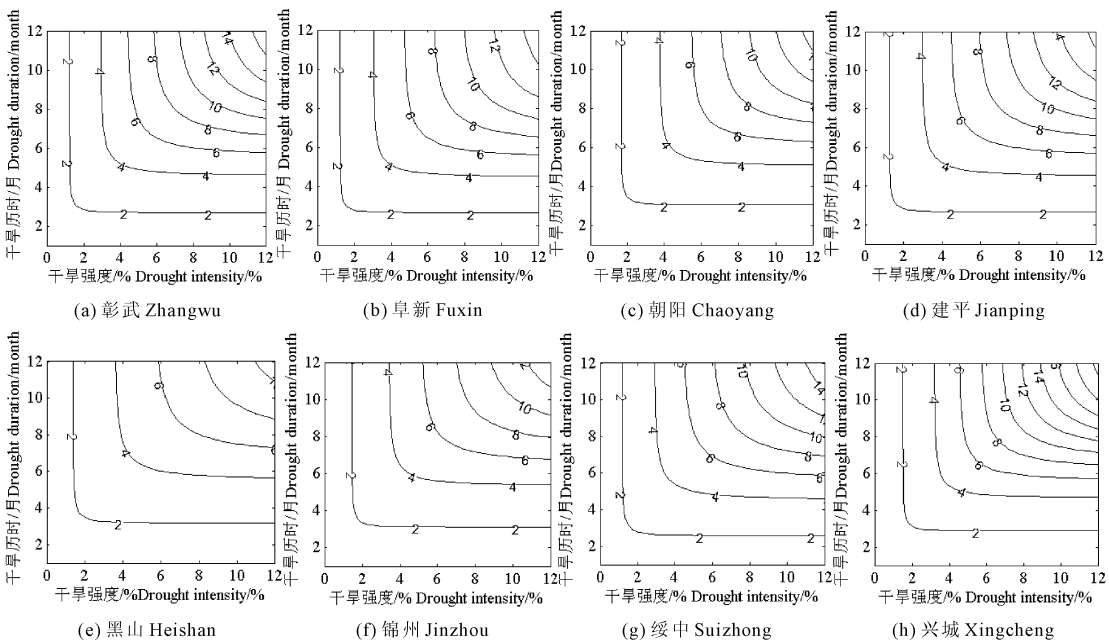
2.5　灾害分析

中国种植业信息网的数据显示,1997 年、2000 年、2007 年、2009 年辽西地区干旱严重,分别减产 266.68×10^3 hm^2、453.69×10^3 hm^2、842.84×10^3 hm^2、$1\,078.25\times10^3$ hm^2,2006 年辽西因旱灾导致作物减产面积占全省减产面积的 90.57%,影响极大(图 7)。将作物灾损面积与辽西干旱问题相结合,可以得到,旱灾在一定程度影响该区农业发展,干旱成为制约辽西经济发展的重要因子。通过联合重现期的研究,认为辽西干旱主要表现为多发而灾小的特征,从重现期来看,两次干旱事件相隔 2 个月及 2—4 个月符合研究区实际。

表 6　单变量重现期、多变量重现期和实际重现期的对比

Table 6　Comparison of single variable return period, multi variable return period and real return period

项目 Item		单变量重现期/月 Single variable recurrence period /month	多变量重现期/月 Multi-variable recurrence period /month	实际重现期/月 Actual recurrence period /month
干旱历时/月 Drought duration/month	13	50	12	12
干旱强度/% Drought intensity	8.147	15		
干旱历时/月 Drought duration/month	7	8	1.8	2
干旱强度/% Drought intensity	2.38	5		



(a) 彰武 Zhangwu　(b) 阜新 Fuxin　(c) 朝阳 Chaoyang　(d) 建平 Jianping

(e) 黑山 Heishan　(f) 锦州 Jinzhou　(g) 绥中 Suizhong　(h) 兴城 Xingcheng

图 6　辽西地区联合重现期等值线

Fig.6　The contours of joint return period around Western Liaoning Province

干旱多发生在 4、5 月份,正是作物需要水分帮助出苗的时期,降水不足导致农作物出苗率低,由此影响作物播种、生长、收获等方面,从而对农业收成产生影响。通过对辽西地区重现期的研究,科学地把握辽西地区干旱发生的客观规律,有利于政府制定防旱抗旱措施,更好地应对干旱问题,提高辽西地区的经济水平。

通过计算辽西地区平均 SPI 值,用游程理论提取平均干旱历时和强度,模拟辽西地区联合累计概率和重现期,以此代表辽西地区整体状况(图 8)。联合累计概率等值线反映不同干旱历时和强度的组合情况,不同干旱历时和强度的组合,对应不同的重现期,重现期能帮助相关领域尤其是农业方面,进一步了解干旱事件的发生规律,指导农业生产,防治干旱灾害。通过计算,实际重现期与理论重现期的 Spearman 相关系数为 0.98(通过 95%的信度检验),具有很高的相关性,说明理论重现期能反映辽西实际干旱发生情况,研究具有实际意义(表 7)。

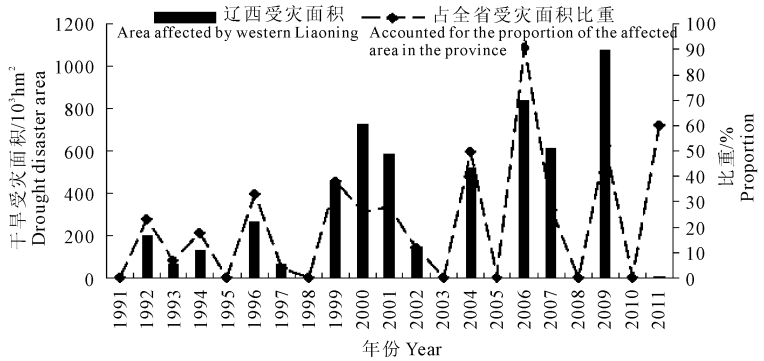
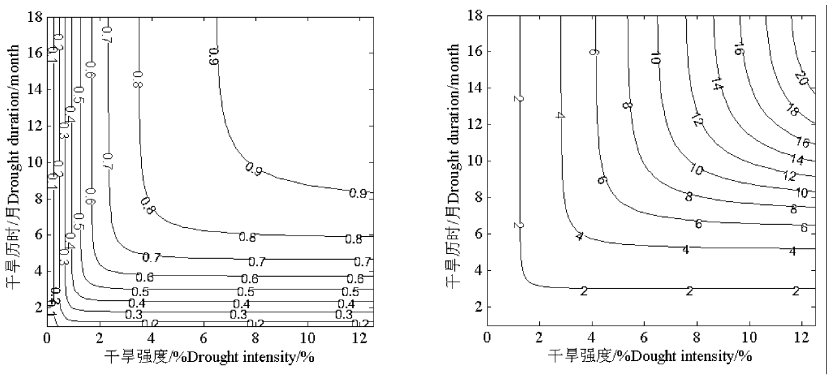


图 7 1991—2011 年辽西因旱灾导致的作物灾损情况

Fig.7 Crop damage caused by drought around western Liaoning Province during 1991 to 2011



(a) 联合累积概率等值线 Joint cumulative probability contour line

(b) 联合重现期等值线 Joint recurrence contour line

图 8 平均干旱历时和强度的联合累积概率(a)和联合重现期等值线(b)

Fig.8 The joint cumulative probability (a) and the joint return period (b) of average drought duration and intensity

当历时达 13 个月,强度为 8.15 时,考虑实际因素会造成作物大面积减产,但由于农业相关部门采取了一系列抗旱措施降低干旱带来的损失,效果显著(表 7)。将表 7 中不同干旱历时和强度组合的理论重现期与实际重现期进行对比,结果表明理论与实际情况符合度较高,说明研究具有较高的可信度。结合联合重现期,对辽西地区 1991—2011 年发生的 26 次干旱事件进行分类(图 9),重现期在 2 个月以下的干旱事件为轻度干旱,重现期大于 8 个月为重度干旱,2—8 个月则为中度干旱。

表 7 不同干旱历时和强度的理论重现期与实际重现期

Table 7 The theoretical and real return periods of different drought duration and intensity

干旱历时/月 Drought duration /month	干旱强度/% Drought intensity	理论重现期/月 Theory recurrence period/month	实际重现期/月 Actual recurrence period/month	干旱程度 Degree of drought	减产面积/hm² Crop production area
3	0.99	1.0	2	轻度 Mild	—
4	2.61	2.6	3	中度 Moderate	133 340.0
5	2.85	3.0	3	中度 Moderate	524 159.5
6	4.44	3.0	3	中度 Moderate	266 680.0
7	2.38	1.8	2	中度 Moderate	616 430.8
8	4.63	3.7	4	重度 Severe	728 969.8
10	5.95	8.0	8	重度 Severe	700 010.0
13	8.15	12.0	12	重度 Severe	—
15	10.29	16.5	17	重度 Severe	753 689.4

注:"—"表示数据缺失。 Note: "–" indicates data loss.

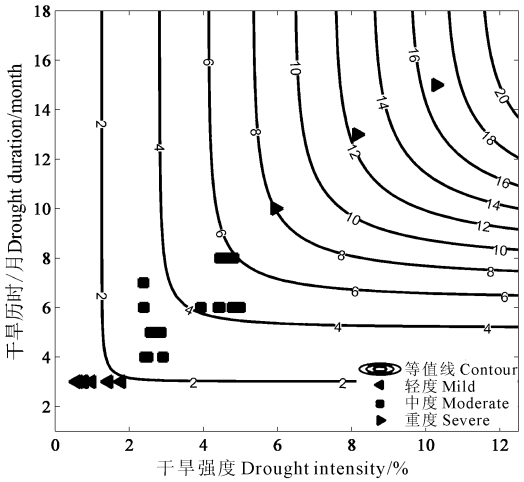


图 9　1991—2011 年 26 次干旱事件及联合重现期等值线

Fig.9　The 26 drought events and the joint return period during 1991 to 2011

3　结论与讨论

3.1　结论

在研究辽西农业气象干旱事件中,各站点干旱历时和干旱强度具有较高的相关关系,Spearman 相关系数接近于 1。利用 Frank – Copula 函数构造二维联合分布,通过分析联合累积概率,进一步研究不同历时、强度组合下的重现期,结合 1991—2011 年辽西地区农业实际,将重现期与农业灾损结合,对干旱事件进行分类。研究认为:辽西地区干旱灾害呈现多发而灾小的特点,多轻度干旱事件;干旱事件的发生间隔短,高强度短历时和低强度长历时的干旱事件重现期时间较短,多为 2—4 个月;1991—2011 年共发生 26 次干旱事件,将其理论重现期与实际重现期对比研究,认为理论重现期与实际接近,具有可靠性;重现期在 2 个月以下的干旱事件为轻旱,辽西地区地处半干旱的过度地带,轻度干旱频繁发生符合当地农业实际,重现期在 8 个月以上的则为重度干旱,属于极端干旱事件,干旱持续时间长,强度高,但事件发生间隔时间较长,重现期在 2—8 个月的干旱事件为中度干旱,农业相关部门可根据重现期的预测针对性地防旱抗旱。

3.2　讨论

采用 Copula 函数构造干旱事件的联合分布,能考虑到干旱特征变量之间不同组合情况,更为全面地反映干旱事件特征。张继权等[29]对辽西北地区的农业气象干旱风险进行了评估与风险区划,认为辽西地区的建平县、阜新市、朝阳县等地属于干旱高风险地区,与本文的研究一致。将重现期与农业气象干旱联系,为农业相关部门应对不同等级的旱情、针对性地防旱抗旱提供借鉴依据。借助水利工程设施,在干旱频发的地区兴修水利,保证作物需水量;对于辽西山地而言,也应积极营造水土保持林,减少径流量,提高空气和土壤湿度,涵养水源;在重要的农耕区,采取各种技术措施保墒,减少土壤蒸发,防止干旱[30]。

玉米作为辽西地区的主要粮食作物,在播种期,降水成为玉米生长发育的限制性因素,极易发生干旱,农业部门可在播种期和生长期对玉米种植区进行人工灌溉,以补充大气降水的不足(尤其是夏、秋两季),保证作物正常生长。大气降水和人工灌溉结合,提高供水量,有利于提高辽西地区作物产量,改善辽西农业生产的气候环境。

研究中选用的标准降水指数主要考虑降水因素对作物干旱的影响,在今后的研究中可以考虑更多的影响因素,选取最合适的指标进行分析。农业气象干旱指标除标准降水指数外,还包括 PSDI 指数、改造干燥度等重要指数,以后的研究可以从多角度讨论对比不同农业气象干旱指数在同一地区的适用性[3]。本文研究范围精细至辽西地区,未来可将 Copula 函数研究引入辽宁省乃至更大范围,探究大范围内 Copula 联合函数在研究干旱问题时的适用性及准确性,结合重现期的研究掌握干旱发生规律,有准备地防范风险,以便更好地指导农业生产,保障农业生产安全。此外,也可将 Copula 函数引入地理研究中的其他领域,充分发挥 Copula 函数在地理学研究中的作用。

参 考 文 献:

[1]　Palmer W C. Meteorological Drought[R]. Washington, D.C.: Weather Bureau Research Paper No. 45, 1965.

[2]　张　强,潘学标,马柱国.干旱[M].北京:气象出版社,2009.

[3]　赵　璐.青海省东部农业区农业气象干旱时空变化研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2010.

[4]　Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions [J]. Drought, A Global Assessment, 2000,1:3-18.

[5]　沈　超,王福坤.基于帕默尔干旱指数的辽西地区干旱评价研究[J].人民珠江,2016,37(3):26-28.

[6]　曹永强,张兰霞,张岳军,等.基于 CI 指数的辽宁省气象干旱特征分析[J].资源科学,2012,34(2):265-272.

[7]　张调风,张　勃,刘秀丽,等.基于 CI 指数的甘肃省黄土高原地区气象干旱的变化趋势分析[J].冰川冻土,2012,34(5):1076-1083.

[8]　贺晋云,张明军,王　鹏,等.近 50 年西南地区极端干旱气候变化特征[J].地理学报,2011,66(9):1179-1190.

(下转第 294 页)

数值上有偏差,但变化规律基本保持一致。

参 考 文 献:

[1] 廖庆喜,张 宁,张朋玲,等.一器多行离心式油菜排种器[J].农业机械学报,2012,43(2):48-51,95.

[2] 吴明亮,官春云,高晓燕,等.偏心轮型孔轮式排种器排种油菜极限转速试验[J].农业工程学报,2010,26(6):119-123.

[3] 吴明亮,官春云,罗海峰,等.2BYD-6 型油菜浅耕直播施肥联合播种机设计与试验[J].农业工程学报,2010,26(11):136-140.

[4] 郭玉明,张东光,郑德聪.2BX 系列谷子精少量播种机的开发与研制[J].农业技术与装备,2012,(12):18-21.

[5] 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007.

[6] 宋井玲,杨自栋,杨善东,等.一种型孔深度可变的排种器[J].农机化研究,2012,33(12):103-105,120.

[7] Raji A O, Favier J F. Model for the deformation in agriculturaland food particulate materials under bulk compressive loadingusing discrete element method,:theory, model development and validation[J]. Journal of Food Engineering, 2004,64(3):373-380.

[8] 石林榕,吴建民,孙 伟,等.基于离散单元法的水平圆盘式精量排种器排种仿真试验[J].农业工程学报,2014,30(8):40-48.

[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.单粒(精密)播种机试验方法:GB/T 6973—2005[S].北京:中国标准出版社,2005:10-24.

[10] 廖庆喜,张朋玲,廖宜涛,等.基于 EDEM 的离心式排种器排种性能数值模拟[J].农业机械学报,2014,45(2):109-114.

[11] 史 嵩,张东兴,杨 丽,等.基于 EDEM 软件的气压组合孔式排种器充种性能模拟与验证[J].农业工程学报,2015,31(3):62-69.

[12] 赵选民.试验设计方法[M].北京:科学出版社,2006.

[13] 陈 魁.试验设计与分析[M].北京:清华大学出版社,1996.

[14] 邹 琴,曹国藩,邓 强.不同栽培方式对贵杂 4 号油菜某些性状的影响[J].山地农业生物学报,2007,26(6):476-479.

(上接第 287 页)

[9] LI Y, GU W, CUI W, et al. Exploration of copula function use in crop meteorological drought risk analysis: a case study of winter wheat in Beijing, China[J]. Natural Hazards, 2015,77(2):1-15.

[10] 张 星,郑有飞,周乐照.农业气象灾害灾情等级划分与年景评估[J].生态学杂志,2007,26(3):418-421.

[11] LI N, LIU X, XIE W, et al. The return period analysis of natural disasters with statistical modeling of bivariate joint probability distributio[J]. Risk Analysis an Official Publication of the Society for Risk Analysis, 2013,33(1):134-145.

[12] 黄晚华,杨晓光,李 茂,等.基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J].农业工程学报,2010,26(7):50-59.

[13] Mckee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[J]. Eighth Conference on Applied Climatology, 1993,2:17-22.

[14] Nelsen R B, Quesada-Molina J J, Ŭbeda-Flores M. Distribution functions of copulas: a class of bivariate probability integral transforms [J]. Statistics & Probability Letters, 2001,54(3):277-282.

[15] Kim T, Valds J B, Yoo C. Nonparametric approach for bivariate drought characterization using Palmer drought index[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2006,11(2):134-143.

[16] Shiau J T. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas[J]. Water Resources Management, 2006,20(5):795-815.

[17] Fadhilah Yusof, Foo Hui-Mean, Jamaludin Suhaila, et al. Characterisation of drought properties with bivariate copula analysis[J]. Water Resources Management, 2013,27(12):4183-4207.

[18] 张 强,孙 鹏,白云岗,等.塔河流域枯水流量概率特征及成因与影响研究[J].地理科学,2013,33(4):465-472.

[19] 周玉良,袁潇晨,金菊良,等.基于 Copula 的区域水文干旱频率分析[J].地理科学,2011,31(11):1383-1388.

[20] 肖名忠,张 强,陈晓宏.基于多变量概率分析的珠江流域干旱特征研究[J].地理学报,2012,67(1):83-92.

[21] 杨志勇,袁 喆,方宏阳,等.基于 Copula 函数的滦河流域旱涝组合事件概率特征分析[J].水利学报,2013,44(5):556-569.

[22] 周 扬,李 宁,吉中会,等.基于 SPI 指数的 1981—2010 年内蒙古地区干旱时空分布特征[J].自然资源学报,2013,28(10):1694-1706.

[23] 周 游.不同干旱指数在辽宁西部地区的对比及适用性分析[J].水利规划与设计,2016,15(1):43-45.

[24] Qiang Zhang, Jianfeng Li, Vijay P, et al. SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China[J]. Natural Hazards, 2012,64(1):481-492.

[25] 李 计.基于 Archimedean Copulas 函数的多变量干旱频率及空间分析[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.

[26] 张 雨,宋松柏.Copulas 函数在多变量干旱联合分布中的应用[J].灌溉排水学报,2010,29(3):64-68.

[27] 马明卫,宋松柏.非参数方法在干旱频率分析中的应用[J].水文,2011,31(3):5-12.

[28] 黄玉贞,张玉龙,王 芳.阜新地区干旱发生规律研究[J].气象与环境学报,2010,26(2):45-49.

[29] 张继权,严登华,王春乙,等.辽西北地区农业气象干旱灾害风险评价与风险区划研究[J].防灾减灾工程学报,2012,32(3):300-306.

[30] 黄崇福.自然灾害风险分析与管理[M].北京:科学出版社,2012.