

安徽省粮食作物单产影响因子及气象灾害损失风险评估

吴艳飞¹ 徐羽^{1,2} 徐刚^{1*}

(1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715;

2. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210093)

摘要 为了解极端气候事件对农业生产的影响,对2000—2013年安徽省粮食作物单产及影响因子进行分析;利用拉格朗日插值方法估算气象灾害损失量;利用信息扩散理论评估了安徽省各地市粮食作物气象灾损风险。结果显示:1)气象灾害是安徽省粮食减产的主要因素,2003、2007、2012和2013年粮食作物气象灾损较为严重,年损失总量均在400万t以上;2)安徽省粮食作物气象灾害风险等级以低风险和小风险为主。低风险区主要位于安徽省中南部,小风险区域遍及中北部地区。

关键词 粮食作物;影响因子;粮食气象灾损;风险评估;安徽省

中图分类号 S 42; S 166

文章编号 1007-4333(2016)05-0115-07

文献标志码 A

Influential elements of per unit area grain yield and the meteorological disaster risk assessment in Anhui Province

WU Yan-fei¹, XU Yu^{1,2}, XU Gang^{1*}

(1. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract In order to comprehend the influence of extreme climate events on agriculture, the per unit area grain yield and its influential elements in all provincial cities in Anhui province from 2000 to 2013 were analyzed; And the meteorological disaster loss of grain yield in Anhui Province was been calculated by using Lagrange interpolation method; Eventually, the risk of meteorological disasters of grain yield in all provincial cities in Anhui Province was assessed based on the methods of information diffusion theory. The results indicated that: 1) The main reason that caused the loss of grain yield is meteorological disasters, and the losses of the meteorological disasters were serious in the year of 2003, 2007, 2012, and 2013, and total annual loss was over 4 million tons; 2) The risk of meteorological disaster in Anhui province was mainly at low and small levels. The low risk areas were mostly distributed in the mid-south of Anhui Province, while the small risk areas were located all over the mid-north.

Keywords grain crops; influential elements; meteorological grain loss; risk assessment; Anhui Province

目前全球变化愈演愈烈,高温、干旱以及洪涝等极端气候事件发生频率和强度加大,对农业生产的持续健康发展造成了巨大影响。中国气象局资料统计显示,在各类自然灾害中,气象灾害造成的损失大约占70%左右。

粮食作物气象灾害损失风险意味着未来若干年内作物可能因气象灾害导致减产的可能风险程度。有研究^[1-4]对中国不同区域农作物气象灾害损失进

行了估算。高金兰等^[5]、李彬等^[6]及王胜等^[7]对安徽省的粮食产量及农业灾害时空分布进行了分析。前人^[8-13]利用多种评价方法对中国不同区域不同农作物的灾害损失风险进行了评估。以上研究的方法主要可以分为以下三类:第一,以农作物受灾面积、成灾面积以及绝收面积等灾害指标的实际统计数据为基础,最后按照减产分成法估算灾害损失总量;第二,利用气象要素实测数据,按照一定的灾害等级划

收稿日期:2015-07-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41372177)

第一作者:吴艳飞,硕士研究生,E-mail:wuyanfei@swu.edu.cn

通讯作者:徐刚,教授,主要从事城市地貌与灾害地貌研究,E-mail:xuliumin@swu.edu.cn

分标准,估算气象灾害发生的风险;第三,基于模糊综合评价模型,进行风险区划。由于农业生产的复杂性,通过人为划分受灾程度标准或按气象灾害发生风险来衡量受灾程度较为困难。

近年来,安徽省经济社会发展较为稳定,农业生产中的经济、科技等要素投入不断加大,可能造成农业减产的原因主要是气象灾害。因此,本研究尝试在使用拉格朗日插值法及信息扩散理论对安徽省粮食作物气象灾害损失风险进行评估,旨在揭示安徽省气象灾害损失风险,为政府及有关部门因地制宜地制定科学合理的防灾减灾政策和措施提供参考。

1 研究区概况

安徽省位于中国华东地区,地处中国南北方的过渡地带,介于 $114^{\circ}54'E \sim 119^{\circ}37'E$, $29^{\circ}41'N \sim 34^{\circ}38'N$ 之间,地貌类型多样。长江、淮河自西向东横贯省境。沿淮淮北为黄淮海平原的重要组成部分,地形平坦;中部为江淮分水岭;沿江及巢湖周边地势低平,属长江中下游平原;皖西和皖南以山地丘陵地形为主。

气候上,安徽省处于暖温带与亚热带的过渡地带,年均气温介于 $14 \sim 17^{\circ}C$,降水量在 $773 \sim 1670$ mm 之间,空间上均呈现南高北低的分布格局。气候的主要特点是季风显著,四季分明,冬冷夏热,雨热同期。

安徽省是中国重要的商品粮基地之一,同时又是旱涝等气象灾害频发区域。其中,中南部地区以洪灾为主,北部地区水旱灾害并重。

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源

本研究所采用的社会经济数据来源于安徽省统计局颁发的 2000—2014 年《安徽省统计年鉴》^[14]、《安徽省农村经济统计年鉴》^[15]。2011 年安徽省做了较大的行政区划调整,考虑到各项统计数据的时间连续性,仍按 2011 年前的 17 个地市进行评估。

2.2 研究方法

2.2.1 粮食灾损评估方法

气象灾害损失量即期望产量与实际产量之差。在经济社会发展较为稳定,农业生产投入不断加大的背景下,期望产量可利用拉格朗日插值法估算。由于无气象灾害年份较少,通常确定单产最高的若干年份为基本无灾年 c_i ,其对应的粮食单产 Y_h 作为

期望产量,使用拉格朗日插值方法得出其他年份的期望产量 $Y_h(c)$ ^[11-12]:

$$Y_h(c) = \sum_{i=1}^n Y_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{c - c_j}{c_i - c_j} \quad (1)$$

式中: \prod 表示累乘, $\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n$ 表示乘积取遍 j 从 1 到 n 的全部数值,但 j 不能等于 i 。

灾害损失强度:

$$D_i = Y_h(c_i)/Y_i \quad (2)$$

式中: $Y_h(c_i)$ 表示期望单产, Y_i 表示实际单产, i 表示年份。

本研究选定 2002、2004、2011 年为基本无灾年,这 3 年对应的粮食单产分别为 5.06 、 5.52 和 5.99 t/hm²。

2.2.2 信息扩散理论

信息扩散理论是为弥补信息不足而对样本进行集值化的模糊数学处理方法。它的主要做法是将一个观测值的样本变成一个模糊集,即把单值样本变成集值样本。最常见的模型是正态扩散模型,得到不同减产情境风险后果发生的概率。计算步骤如下:

假设 X 为安徽省各地市过去若干年内粮食作物气象灾损强度的样本集合:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\} \quad (3)$$

式中, x_i 为粮食作物气象灾害损失强度的样本点, m 为样本点总数。

设 U 为 X 内对每个样本进行信息扩散的范围集合:

$$U = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n) \quad (4)$$

将单值样本点 x 依(3)式将其所携带的信息扩散给 U 中的所有点:

$$f_i(u_j) = \frac{1}{h \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - u_j)^2}{2h^2}\right] \quad (5)$$

式中, h 称为扩散系数。可根据样本最大值 b 和最小值 a 及样本点总数 m 来确定。表达式为:

$$h = \begin{cases} 0.8146 \times (b - a) & m = 5 \\ 0.5690 \times (b - a) & m = 6 \\ 0.4650 \times (b - a) & m = 7 \\ 0.3860 \times (b - a) & m = 8 \\ 0.3362 \times (b - a) & m = 9 \\ 0.2986 \times (b - a) & m = 10 \\ 0.6851 \times (b - a) / (m - 1) & m \geq 11 \end{cases} \quad (6)$$

若标记:

$$C_i = \sum_{j=1}^n f_i(u_j) \quad (7)$$

则其相应模糊子集隶属函数

$$\mu_{x_i}(u_j) = \frac{f_i(u_j)}{C_i} \quad (8)$$

称 $\mu_{x_i}(u_j)$ 为样本点 x_i 归一化信息分布。对其进行处理,得到效果较好的风险评估结果。令:

$$q(u_j) = \sum_{i=1}^n \mu_{x_i}(u_j) \quad (9)$$

$$Q = \sum_{j=1}^m q(u_j) \quad (10)$$

则可知:

$$p(u_j) = \frac{q(u_j)}{Q} \quad (11)$$

公式(11)即为所有样本落在 $U = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)$ 处的频率值,将这些频率值作为概率估值,则其超过概率的表达式如下:

$$p(u \geq u_j) = \sum_{j=1}^n q(u_j) \quad (12)$$

式中: P 即为所要求的超越概率风险估计值。

因此,气象灾害风险值 R 为不同减产强度等级情景下的风险后果(S_{dc})与风险后果发生概率(P_{dc})乘积之和。

$$R = F(S_d, P_d) = \sum_{c=1}^n S_{dc} P_{dc} \quad (13)$$

为了使风险值等级划分具有可比性,按照等距划分原则划分出 4 个风险等级(表 1)。

表 1 风险等级标准

Table 1 Standard of risk levels

低风险	小风险	中风险	高风险
Low risk	Small risk	Medium risk	High risk
$0 \leq R \leq 0.25$	$0.25 < R \leq 0.50$	$0.50 < R \leq 0.75$	$0.75 < R \leq 1.00$

3 结果与分析

3.1 粮食作物单产及其主要影响因子分析

由图 1 可知,近 14 年安徽省粮食作物单产呈显

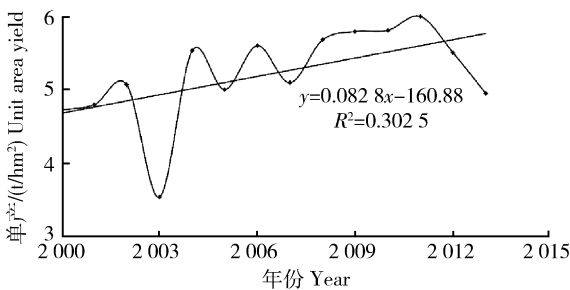


图 1 安徽省粮食作物单产时间序列

Fig. 1 Time series of grain crops yield per unit area in Anhui Province

著的上升趋势,变化倾向率为 0.828 t/hm^2 (10 年) (通过了 0.05 的置信度检验)。单产最低年份出现在 2003 年,仅 3.60 t/hm^2 ,最高年份为 2011 年,高达 5.99 t/hm^2 。

为了解安徽省粮食单产影响因子,利用皮尔逊相关分析法分别计算出粮食单产与多个因子之间的相关系数(表 2)。由表 2 可知,除农作物受灾面积比之外,安徽省粮食作物单产与其他 7 个因子之间均为正相关关系。从相关系数出发,安徽省粮食单产的主要影响因子为农作物受灾面积比、农药施用量、农村居民人均纯收入、农林水事务财政支出、机械总动力以及化肥施用量。

3.2 粮食作物气象灾害损失量分析

利用拉格朗日插值方法得出安徽省近 14 年的粮食作物的期望总产量(表 3),以及气象灾害损失

表 2 安徽省粮食单产与主要影响因子之间的相关关系

Table 2 Relationship among grain crops yield per unit area and main influential elements

农村居民人均纯收入	有效灌溉面积比	旱涝保收面积比	农作物受灾面积比	农林水事务财政支出	机械总动力	化肥施用量	农药施用量
Per capita net income of residents	Effective irrigation area ratio	Ensure yields ratio	Crop disaster area ratio	Agriculture financial expenditure	Total power of machine	Chemical fertilizer application	Pesticides application
0.585**	0.231	0.265	-0.817**	0.478*	0.457*	0.415*	0.637**

注: *、** 分别表示通过了 0.05 和 0.01 的置信度检验。

Note: *, ** represent the relationships with 5% and 1% significant levels respectively.

表3 安徽省粮食作物实际产量、期望产量及灾害损失量

Table 3 Actual output, expected output and disaster loss of grain yield in Anhui Province

年份 Year	实际产量/万 t Actual output	期望产量/万 t Expected output	灾害损失量/万 t Disaster loss	损失率/% Loss rate
2000	2 615.53	2 701.67	86.14	3.19
2001	2 528.31	2 656.03	127.71	4.81
2002	2 742.84	2 823.72	80.88	2.86
2003	1 890.42	2 881.52	991.11	34.40
2004	3 147.01	3 149.30	2.29	0.07
2005	2 989.38	3 360.11	370.73	11.03
2006	3 433.90	3 532.87	98.97	2.80
2007	3 289.54	3 700.12	410.58	11.10
2008	3 669.24	3 828.56	159.33	4.16
2009	3 793.41	3 950.46	157.05	3.98
2010	3 858.04	4 095.27	237.26	5.79
2011	4 110.27	4 220.11	109.84	2.60
2012	3 779.48	4 301.00	521.52	12.13
2013	3 652.42	4 367.85	715.43	16.38

总量(图2)。安徽省粮食作物每年都会有不同程度的气象灾害损失。2003、2007、2012和2013年灾情较为严重,粮食灾害损失率均在10%以上。其中2003和2013年损失总量分别高达991.1万t(34.4%)和715.5万t(16.38%)。

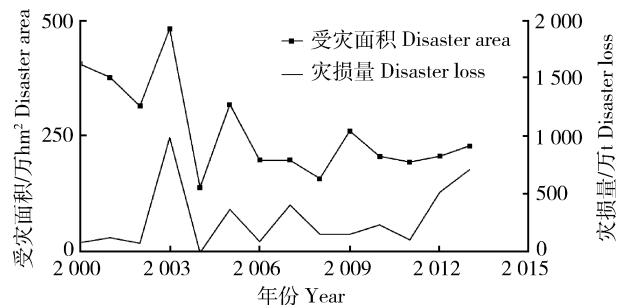


图2 安徽省粮食作物气象灾害损失量及农作物受灾面积

Fig. 1 Meteorological disaster loss and area of grain yield in Anhui Province

通过安徽省历年农作物受灾面积曲线图(图2)可以看出,安徽省农作物受灾面积总体呈下降趋势,全省总受灾面积超过350万 hm^2 的年份有2000、2001以及2003年。

为了进一步验证上述评估结果,本研究计算了安徽省粮食作物气象灾害损失量、受灾面积以及单产三者之间的相关系数(表4)。结果显示:农作物受灾面积与估算出的粮食作物气象灾害损失量呈显著的正相关;粮食作物单产与气象灾害损失量、受灾面积之间的相关关系均通过了0.01的置信度检验。因此,基于拉格朗日插值方法的安徽省粮食作物气象灾害损失估算结果是可信的。

3.3 粮食作物气象灾损风险评估

利用信息扩散理论对2000—2013年安徽省的粮食作物气象灾害损失强度进行计算,得出安徽省粮食作物气象灾害风险值(表5)。安徽省各地市粮食作物

表4 粮食作物气象灾害损失量、受灾面积与单产之间的相关关系

Table 4 Relationships among meteorological disaster loss, disaster area and grain crops yield per unit area

指标 Index	气象灾损量与受灾面积 Meteorological disaster loss and area	气象灾损量与单产 Disaster loss and unit area grain yield	受灾面积与单产 Disaster area and unit area grain yield
相关系数	0.559*	-0.685**	-0.865**

注:*,**分别表示通过了0.05和0.01的置信度检验。

Note:*,** represent the relationships with 5% and 1% significant levels respectively.

气象灾害损失强度最高的是铜陵市,为34.8%;最小的是安庆市,仅为 11.0%。按照中国农村自然灾害

灾情分级标准,铜陵市的气象灾害损失等级为中灾([30%,50%)),其他地市均为轻灾([0,30%))。

表 5 安徽省粮食作物气象灾损强度及风险等级

Table 5 Disaster loss intensities and risk levels of grain yield in Anhui Province

地 区 District	灾损强度 Disaster loss intensity	风险等级 Risk level	地 区 District	灾损强度 Disaster loss intensity	风险等级 Risk level
安庆市	0.110	低风险	芜湖市	0.200	小风险
池州市	0.111	低风险	淮南市	0.201	小风险
巢湖市	0.118	低风险	阜阳市	0.224	小风险
宣城市	0.146	低风险	合肥市	0.225	小风险
亳州市	0.174	小风险	滁州市	0.226	小风险
淮北市	0.179	小风险	黄山市	0.244	中风险
六安市	0.188	小风险	宿州市	0.272	高风险
蚌埠市	0.190	小风险	铜陵市	0.348	高风险
马鞍山市	0.191	小风险			

由表 5 和图 3 可知,安徽省各地市粮食作物气象灾害风险等级以低风险和小风险为主,共有 14 个地市,占全省地市数的 82.35%。低风险区主要分

布在安徽省中南部的安庆市、池州市、巢湖市以及宣城市,小风险区域遍及安徽省中北部地区,中高风险区主要分布于南北两端的黄山市、铜陵市和宿州市。

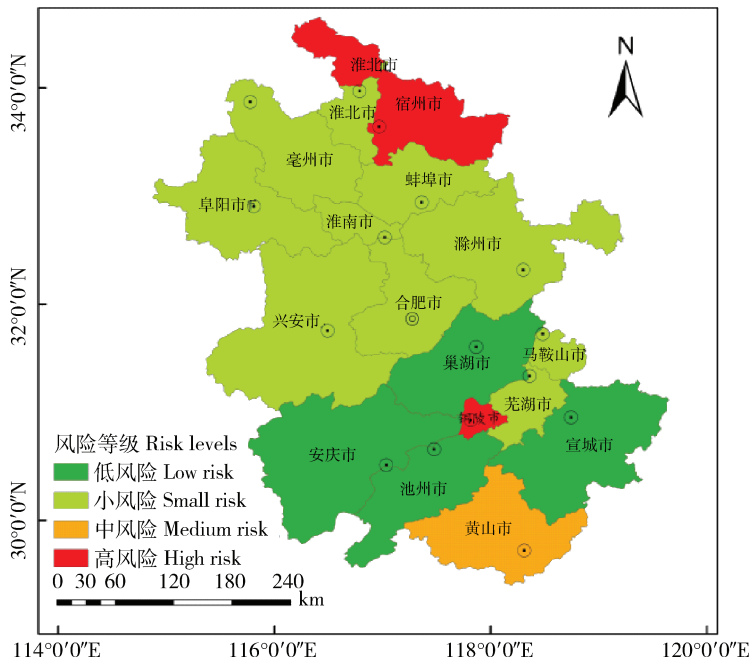


图 3 安徽省粮食作物气象灾害损失风险等级分布

Fig. 3 Distribution of meteorological disaster risk level of grain yield in Anhui Province

高风险区的铜陵市和宿州市近年来粮食生产波动较大。虽然化肥、农药等农业投入不断加大,但铜

陵市粮食作物单产在 2004 年以后出现连续下滑,由 2004 年的 6.46 t/hm²。下降到 2012 年的 5.5 t/hm²;

宿州市粮食作物单产总体呈上升趋势,但在2003和2012年分别遭受重大气象灾害打击,粮食生产损失巨大,粮食总产量分别仅为历史最高水平的51.4%和65.3%。

黄山市因农业结构调整,粮食总产量呈波动下降趋势,波动差值达5.5万t,超过历史最高产量的15%,其中,2003、2007和2012年的粮食生产气象灾害损失严重。

小风险区共10个,主要分布于中北部及长江以南的芜湖市和马鞍山市。其中,中北部的地市地处中国南北过渡地带,降水变率较大,春季寒潮、干旱和夏季旱涝对粮食生产有一定的危害。马鞍山市和芜湖市地处长江中下游平原,年均降水量较大,河网密布,且地势平坦,排水不畅,易受洪涝灾害的影响。

低风险区共4个,均位于中南部地区,包括安庆市、池州市、巢湖市和宣城市。该区域水热资源丰富、匹配度较好,同时地形略有起伏,便于排水,因此受灾程度最低。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究利用拉格朗日插值和信息扩散理论相结合的方法及基础数据,对2000—2013年安徽省粮食作物单产及气象灾损风险等进行了评估,主要结论如下:

1)安徽省粮食作物单位面积产量总体呈上升趋势,并受多种要素的影响,其中气象灾害是粮食减产主要因素。

2)安徽省粮食作物气象灾害损失量的年际波动大,其中2003、2007、2012和2013年受灾较为严重。

3)安徽省粮食作物气象灾害风险等级总体以低风险和小风险为主。空间上,北端和南端最高,中北部次之,中南部最低。将结果与其他研究成果对比可知^[5-7,16],结论总体具有一致性,即风险等级北高南低。

为了保障安徽省粮食生产可持续发展,首要之举是提高安徽省农业生产的防灾减灾能力;其次,加大农药、机械、化肥等要素的投入;第三,加强对于农业发展的财政支出;最后,努力发展农村经济,促进农民增产增收。

4.2 讨论

针对因气象灾害粮食生产的实际损失量难以获得的实际情况,以及传统的粮食生产灾损评价中趋

势产量和气象产量难以分离的不足,本研究提出了使用拉格朗日插值法和信息扩散理论相结合的方法对粮食作物气象灾害损失风险进行评估。在粮食生产投入和农业科技水平不断提高的背景下,提出的研究方法与使用气象要素或受灾面积统计资料等方法评估气象灾害损失相比,能够合理地量化多种气象灾害综合作用导致的粮食损失量。本研究采用的风险评估方法标准统一,所需的资料较少,评估结果准确性较高,而且可以推广到气象数据和灾情数据匮乏的小区域灾损风险评估。因此,本研究采用的方法不失为一种简便和有效的方法,且计算结果与实际情况具有一致性^[16]。

由于气象灾害系统的复杂性、随机性和不确定性,对气象灾损风险完全定量评价具有一定的困难,计算的粮食灾害损失量是期望产量与实际产量之差,而期望产量取决于无灾年的粮食产量,由于真正的无灾年极少,计算得出的期望产量有一定的误差。此外,信息扩散函数式、适用条件和扩散系数的选取等还有待进一步研究,以提高评估结果的准确性。

参 考 文 献

- [1] 郑景云,黄金火.我国近40年的粮食灾损评估[J].地理学报,1998,53(6):501-510
Zheng J Y, Huang J H. An estimation of grain loss caused by natural disasters in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(6): 501-510 (in Chinese)
- [2] 李治国.近40a河南省农业气象灾害对粮食生产的影响研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(5):126-130
Li Z G. Influence of agricultural meteorological disasters on grain production in Henan Province[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(5): 126-130 (in Chinese)
- [3] 王健,刘布春,刘园,杨晓娟,白薇.基于农业灾情的东北粮食产量估算模型及灾损分析[J].中国农业气象,2013,34(6):720-726
Wang J, Liu B C, Liu Y, Yang X J, Bai W. Grain yield estimation models and loss analysis based on agro-meteorological disaster exposure in Northeast China [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2013, 34(6): 720-726 (in Chinese)
- [4] 宫德吉,陈素华.农业气象灾害损失评估方法及其在产量预报中的应用[J].应用气象学报,1999,10(1):66-71
Gong D J, Chen S H. A loss estimation method for agro-meteorological disasters and its application in yield prediction [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1999, 10(1): 66-71 (in Chinese)
- [5] 高金兰,马晓群,张庆国,许莹.安徽省粮食单产趋势变化及主

- 要经济因素影响分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 108-115
Gao J L, Ma X Q, Zhang G Q, Xu Yi. Analysis of trend variation and main economic influential factors of unit area grain in Anhui Province [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(3): 108-115 (in Chinese)
- [6] 李彬, 武恒. 安徽省农业旱灾规律及其对粮食安全的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 18-23
Li B, Wu H. The characteristics of agricultural drought disaster and its impact on food security in Anhui Province [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(5): 18-23 (in Chinese)
- [7] 王胜, 沈梅, 石磊. 安徽省近 33 年农业气象灾害年景评估[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 192-197
Wang S, Shen M, Shi L. Annual case assessment of main agro-meteorological disasters in Anhui Province during the past 33 years [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 18(3): 192-197 (in Chinese)
- [8] 邓国, 王昂生, 周玉淑, 李世奎. 中国省级粮食产量的风险区划研究[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(3): 373-379
Deng G, Wang A S, Zhou Y S, Li S K. China grain yield risk division at the level of province [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorological*, 2002, 25(3): 373-379 (in Chinese)
- [9] 刘荣花, 朱自玺, 方文松, 王友贺, 许蓬蓬, 师丽魁. 华北平原冬小麦干旱灾损风险区划[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1068-1072
Liu R H, Zhu Z X, Fang W S, Wang Y H, Xu P P, Shi L K. Risk regionalization of yield loss caused by drought for winter wheat in North China Plain [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(9): 1068-1072 (in Chinese)
- [10] 张星, 张春桂, 吴菊薪, 陈惠. 福建农业气象灾害的产量灾损风险评估[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 90-94
Zhang X, Zhang C G, Wu J X, Chen H. Risk assessment of yield losses from agro-meteorological disasters in Fujian Province [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(1): 90-94 (in Chinese)
- [11] 张丽娟, 李文亮, 张冬有. 基于信息扩散理论的气象灾害风险评估方法[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 250-254
Zhang L J, Li W L, Zhang D Y. Meteorological disaster risk assessment method based on information diffusion theory [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(2): 250-254 (in Chinese)
- [12] 张竟竟. 基于信息扩散理论的河南省农业旱灾风险评估[J]. 资源科学, 2012, 34(2): 280-286
Zhang J J. Assessment of risks of agricultural drought disasters in Henan Province based on the information diffusion theory [J]. *Resources Science*, 2012, 34(2): 280-286 (in Chinese)
- [13] 王胜, 田红, 杨玮, 戴娟, 吴蓉. 基于灾损的安徽冬小麦干旱灾害风险评估[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(1): 195-205
Wang S, Tian H, Yang W, Dai J, Wu R. Research of drought disaster risk assessment for winter wheat in Anhui Province based on a crop loss model [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(1): 195-205 (in Chinese)
- [14] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2015
Anhui Bureau of Statistics. *Anhui Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001—2015 (in Chinese)
- [15] 安徽省农业委员会, 安徽省统计局. 安徽农村经济统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2015
Agricultural Commission of Anhui Province, Anhui Bureau of Statistics. *Anhui Province Countryside Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001—2015 (in Chinese)
- [16] 谢五三, 田红. 安徽省近 50 年干旱时空特征分析[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 94-98
Xie W S, Tian H. Analysis of the spatial-temporal characteristics of drought in Anhui Province in recent 50 years [J]. *Journal of Catastrophology*, 2011, 26(1): 94-98 (in Chinese)

责任编辑: 苏燕