

文章编号: 1000-2022(2002) 03-0373-07

中国省级粮食产量的风险区划研究

邓 国¹, 王昂生¹, 周玉淑¹, 李世奎²

(1. 中国科学院 大气物理研究所, 北京 100029; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要:以全国各省份历年粮食单产资料为基础, 通过适当的处理, 定义了三个反映中国粮食产量风险水平的指标: 历年平均减产率, 历年减产变异系数和风险概率。这三个指标分别从不同角度刻画了中国粮食产量的风险状况。进而以这三个指标为基础采用迭代自组织动态聚类分析方法分别划分了全国省级粮食生产单元的风险区, 分区的结果反映了近五十年来中国粮食生产的基本状况和风险水平。最后从中国各地孕灾环境、致灾因子和生产力水平差异等方面探讨了风险水平的区域分异的原因。风险区划可为决策部门进行粮食生产布局和风险决策提供依据。

关键词: 风险指标; 迭代自组织动态聚类; 风险区划

中图分类号: S162.2 **文献标识码:** A

农业区划工作是一项农业规划布局的宏观的指导性工作, 在理论和实践上都有着重要意义, 可以为充分利用自然资源, 优化作物布局, 发挥名、特、优产品优势, 合理配置农业生产要素等提供参考和建议。我国的区划工作开展得比较早, 并在种植业区划、农林气候区划、气候区划、农业气候区划等方面取得了显著的成果^[1-4]。然而, 随着当前工业化的进程, 生态和环境日益恶化, 农业环境也变得更加不稳定, 因此迫切需要了解农业风险水平, 为防灾、抗灾、救灾提供依据。由于农作物生长发育及与环境相互作用的复杂性, 从理论上来说, 一个完整意义的农业生产风险区划应该反映农业风险水平与孕灾环境、致灾因子、承灾体、灾情的相互关系, 涉及到农业生产环境的各个方面, 包括气候条件、地形地貌、土壤类型、农作物种类、耕作制度、生产水平、水利条件和管理技术、经济文化水平等要素^[5]。作为农业风险系统的核心, 农业生物是农业环境中诸因子作用的对象, 农产品产量序列承载着过去、现在以及将来农业生产状况的信息。因此, 本文从农作物产量资料着手, 挑选反映农业灾害平均损失状况和波动状况的风险指标, 采用聚类分析的方法, 将全国划分出不同水平的风险区, 为指导生产和抗御灾害服务。

1 粮食产量资料处理

产量资料包括全国 31 个省(台湾省资料暂缺) 1949—1997 年的逐年粮食作物单产, 除个别省份外(西藏 37 a, 天津 35 a), 其他省份样本长度均为 49 a。根据影响作物最终产量形成的

收稿日期: 2001-09-30; 改回日期: 2001-11-26
基金项目: 世界银行第四期对华技术合作 No. A3 “中国防灾减灾分析与对策”项目
第一作者简介: 邓 国(1971-), 男, 河北承德人, 博士生, 主要从事中小尺度数值模拟及减灾研究。

各种自然和非自然因素, 可以按影响的性质将粮食单产时间序列分解为^[6]

$$Y = Y_t + Y_w, \quad (1)$$

其中 Y 为粮食单产, Y_t 是反映历史时期生产力发展水平的分量, 称为趋势产量; Y_w 是受以气象要素为主的变化因子影响的产量分量, 称为气象产量。趋势产量的求取采用直线滑动平均的方法。求出趋势产量之后, 则气象产量为: $Y_w = Y - Y_t$ 。进一步作相对化变换得

$$x = Y_w / Y_{t_0} \quad (2)$$

此时气象产量就变成一个相对比值, 不受历史时期农业技术水平的影响的相对气象产量。不受时间和空间影响, 具有可比性。相对气象产量序列是计算风险评价指标的基础。

2 粮食单产风险区划

2.1 区划目的与原则

区划目的: 在全国范围内将粮食生产的风险水平进行区域空间上的分类, 揭示风险水平的全国分布规律, 为指导粮食生产布局和减灾服务, 为开展保险事业分区分类指导提供重要依据。

区划原则: 1) 体现粮食生产风险水平区域间差异性原则; 2) 体现农业灾情程度区域间差异性原则; 3) 分区界限宜保持行政区的完整性原则。

2.2 区划指标及意义

2.2.1 历年平均减产率

这里的减产率实际上指数值为负值的相对气象产量。对某一相对气象产量序列 $\{x_i\}$, 若 $x_i < 0\%$, 其对应的年份定义为减产年, 定义历年平均减产率 $d = (\sum_{x_i < 0} x_i) / n$, 其中 n 为全部样本数。它是历年减产率的算术平均值, 描述了相对气象产量序列中负值集中位置。该平均值适合于频数分布为对称单峰型的相对气象产量序列, 与定义范围内的每个数据都有关系, 反映多年平均粮食产量的平均减产水平。

2.2.2 历年减产变异系数

$$\text{历年减产变异系数 } v = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - d)^2 / (n - 1)} / d, \text{ 其中 } x_i < 0\%。v \text{ 表示标准差与平均}$$

值之比及样本的波动程度, 描述了负的相对气象产量序列数值分散的程度如何, 是高度集中在某个范围内, 还是比较均匀地分散在整个变化范围内。历年减产变异系数是个无量纲值, 数值越大, 则粮食生产面临的风险越大。具体来说, 历年减产变异系数指所有年份产量分布状况, 系数大, 说明大丰收或大减产的年份多, 该地粮食生产稳定性差。

2.2.3 风险概率^[7-9]

根据分布函数曲线计算粮食单产不同增产率和减产率区间出现的概率。由于农作物产量表现为平年较多, 大丰大欠年份较少, 本文经过正态性检验, 证明在消除生产力水平影响之后, 大多数地区粮食单产相对气象产量序列的确具有正态性分布的特点, 而少量不符合正态分布的序列也可以采用统计的方法经坐标转换变成正态分布^[10]。这样利用正态分布的性质得到反映粮食生产风险状况的不同增减产区间及相应的概率大小, 即

$$F(P) = \int_{-\infty}^P \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (3)$$

其中 P 为任意增产率或减产率值(本文 $P = -10\%$)。当然, 对任意相对气象产量序列总可以

找到其概率密度函数, 可直接对其求取不同增减产区间的概率。本文通过坐标变换而将所有相对气象产量序列转换为正态概率密度曲线只是其中方法之一。风险概率指标反映了风险水平的高低, 除了考虑灾害强度(减产率) 外, 还考虑了灾害概率, 即把减产率的高低结合减产率出现的概率有多大来考虑。

2.3 分区方法

本文以迭代自组织动态聚类算法为主^[11-13], 选择上述风险指标将全国分为若干风险区。首先将迭代自组织动态聚类算法简介如下:

设样品集 $X = (X_1, X_2, \cdots, X_n)$, n 为样品数, 其中每一个样品由 s 个变量(因子) 来描述, 即 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \cdots, X_{is})$ 。对 h 个样品分出 k 类, 用矩阵 $U_h = (u_{ij})_{k \times n}$ 来表示, 所有可能的 U_h 矩阵构成了分化空间 $M_{hk} = \{ U_{k \times n} | u_{ij}, i = 1 \sim k, j = 1 \sim n \}$, 显然可能的划分有无限多。为了得到最优划分自然希望泛函

$$J(U_h, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k u_{ij} \| X_j - V_i \|^2 \tag{4}$$

使其达到极小, 则聚类准则为

$$J_m(U_f^*, V^*) = \min_k \{ J_m(U_f^k, V^k) \}, \tag{5}$$

式中 V_i 是第 i 类的聚类中心或称矩心, $\| \cdot \|$ 表示 S 维欧氏空间中的泛数, $\| X_j - V_i \|$ 表示了第 j 个样品与它所属类的距离平方和, 实际计算时常用 L_2 泛数即欧氏距离:

$$\| x_i - v_i \| = \left[\sum_{k=1}^s (x_{ik} - v_{ik})^2 \right]^{1/2}. \tag{6}$$

算法: 一般来说, 问题的求解相当困难。当 $m > 1$ 及 $x_j \neq v_i$ 时用下列公式作迭代运算, 它的结果是收敛的:

$$u_{ij} = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{\| x_j - v_i \|}{\| x_j - v_i \|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1}, \quad \forall i, j; \tag{7}$$

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m x_j}{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m}, \quad \forall i. \tag{8}$$

具体计算步骤为:

- 1) 给定一个初始化分矩阵 U_{f0} , 即任意地人工将样品集分一次类;
- 2) 根据 (8) 式计算聚心 $V_1, V_2, \cdots, V_k$;
- 3) 用 (7) 式计算 $U^t = \{ u_{ij}^t \}$, t 为迭代次数;
- 4) 若 $\max_{ij} \{ | u_{ij}^t - u_{ij}^{t-1} | \} \leq \epsilon$, 则 u_{ij}^t 及相应之 V^t 即为所求, 否则再回到 2), ϵ 为事先给定的正数, 表示前后两次迭代误差的界限, 一般为较小的数如 0.01 ~ 0.000 1。

2.4 全国粮食单产风险评价指标的分布规律

2.4.1 全国粮食单产历年平均减产率的分布

根据统计得到的全国 31 个省份(台湾省无资料, 暂缺, 以下同) 的历年平均减产率的结果, 按减产率的高低分为三个级别: 低值区($< 2.89\%$)、中值区($2.89\% \sim 4.11\%$)、高值区($> 4.11\%$)。粮食单产历年平均减产率高低的分布有明显的地域分异的特征, 呈北高南低的趋势(图 1)。其中低值区的省份有 9 个(占 29.0%), 主要分布在长江中下游、东南和西南地区, 中值区省份有 14 个(占 45.2%), 主要位于江淮流域及华北地区, 此外藏、新、贵、琼也属中值区。高值区省份有 8 个(占 25.8%), 主要位于北方地区。

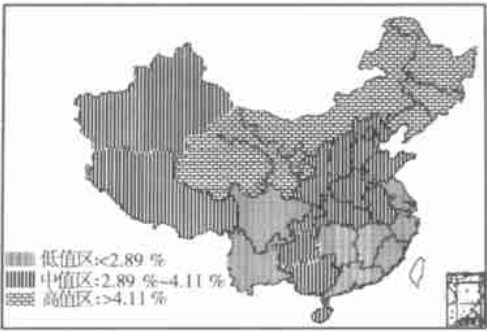


图 1 中国粮食单产历年平均减产率的分布

Fig. 1 The distribution of decrease rate of annual per unit area grain yield in China

2. 4. 2 全国粮食单产历年减产变异系数的分布

根据统计得到的全国 31 个省份的历年减产变异系数的结果, 按历年减产变异系数的大小分为三个级别: 低值区(< 1.34)、中值区($1.34 \sim 1.51$)、高值区(> 1.51)。低值区的省份有 8 个, 占省份总数的 25.8 %; 中值区的省份有 10 个, 占省份总数的 32.2 %; 高值区的省份有 13 个, 占省份总数的 42.0 %。其中低值区主要分布在东北、华北、西南地区。中值区主要分布在北部、东南、华南地区, 西藏也属中值区。高值区主要分布在西北、华北、长江流域及东南部(图 2)。由以上分析发现, 粮食单产历年减产变异系数的大小在我国存在一定的区域性, 呈西北—东南走向, 以新、青、甘、川、湘、鄂、豫、苏、皖、闽为高值带, 分别向西南、向东北递减。

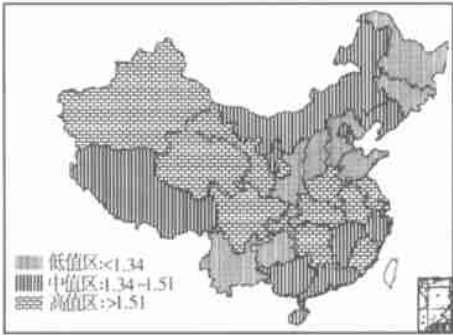


图 2 中国粮食单产历年减产变异系数的分布

Fig. 2 The distribution of variation coefficient of annual per unit area grain yield in China

2. 4. 3 全国粮食单产减产 $\geq 5\%$ 的风险概率

由统计的全国 31 个省份粮食单产减产 $\geq 5\%$ 的风险概率的结果, 按其大小分为三个级别: 低值区($< 26.58\%$)、中值区($26.58\% \sim 34.12\%$)、高值区($> 34.12\%$)。低值区的省份有 10 个, 中值区的省份有 13 个, 高值区的省份有 8 个, 分别占省份总数的 32.2 %、42.0 %、25.8 %。其中低值区主要分布在中国东南和西南部地区, 中值区主要分布在黄河流域、华北、西南广大地区, 高值区主要分布在北方边缘省份, 另外, 渝、津、豫、皖属高值区。由上可知, 粮食单产减产 $\geq 5\%$ 的风险 概率的大小分布具有明显的区域分异特征和连片性特点, 在全国呈自北向南递减的趋势, 这可能与自北向南水热条件等逐渐优越有关。

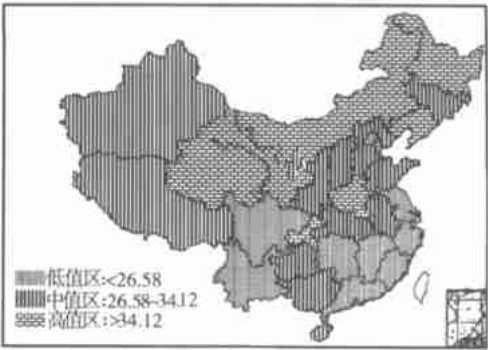


图 3 中国粮食单产减产 $\geq 5\%$ 的风险概率分布

Fig.3 The distribution of grain risk probability of decrease rate over 5 % in China

3 粮食产量风险区划的影响因素

造成粮食减产的原因很复杂,主要有灾害因素和非灾害因素。灾害因素包括孕灾环境,致灾因子类型、性质和强度,承灾体的类型和抗灾性能。非灾害因素导致的减产也不容忽视,包括耕作制度不合理、管理水平低、农业投入少、农业政策失误等。

3.1 灾害因素与粮食减产的关系

3.1.1 孕灾环境与减产的关系

各种主要灾害频发区都有其特定的孕灾环境,指有利于灾害的形成、发展的空间和时间条件。我国主要农业灾害类型形成的孕灾环境有明显的季节性和区域性差异(见文献[14]图4)。一般来说,灾害频发区往往是造成粮食作物减产较重的地区。从减产率分布图(图1)可以看出,北方灾害分布区域的连片性范围都大于南方,这与北方干旱发生范围大、频率大、强度高有关;而南方以水涝、风灾为主的灾害发生的范围局地性强,造成较重减产范围相对小些^[15-18]。北方夏粮减产与冬春少雨和土壤底墒差形成的孕灾环境有关;东北地区秋粮减产与形成低温冷害的孕灾环境有关;江南伏旱区、江淮梅雨区、南方寒露风发生范围、东南沿海台风袭击区和大江河流域的雨涝区都是造成粮食减产的主要孕灾环境。减产与水热环境的差异的关系很明显,我国东部农业区,不同气候带的减产风险概率明显不同,以粮食单产减产 $\geq 10\%$ 的风险概率为例,南亚热带为 $0.1\% \sim 5\%$,中亚热带 $5\% \sim 10\%$,北亚热带 $5\% \sim 20\%$,南温带 $15\% \sim 25\%$,中温带 $20\% \sim 35\%$ 。

3.1.2 承灾体与减产的关系

承灾体是指受灾的对象。从农业生产来说,作物本身是承灾体的主体,另外,农田、农业基础设施等也是农业受灾的对象。作物种类和品种不同,抗灾性能不同,在遭受同一强度的致灾因子作用时,减产幅值不同。同一种农作物,受到不同强度的致灾因子的危害时其减产后果不同;同一种作物在不同生育期受同一致灾因子作用减产水平不一样。一般说大面积推广优良品种的地区,粮食产量高而稳定,其减产幅度也小;农田基本建设好的地区受灾也轻,减产也小。中国南北跨度大,水热条件差异大。最北大致在 $49 \sim 53^\circ\text{N}$ 左右,属于北温带,全年 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温在 $2\,100^\circ\text{C}$ 以下,热量条件明显不足,限制农业种植业;而最南部的南沙群岛在 5°N 以南,全年 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温在 $10\,000^\circ\text{C}$ 以上,终年可以种植各种作物。从北向南作物熟制差异很大,南部省份作物一年多熟使粮食产量的高低在全年得到补偿,平均后产量趋向平稳,减少了粮食产量的风

险,而北方一年一熟则增加了粮食产量波动的风险。

3.1.3 致灾因子与减产的关系

一般说强度大的突发性的致灾因子如地震、风雹、台风暴雨等灾害,当时对作物的损害和减产历时短而且灾情重,减产的地区范围明显且范围较小。而非突发性的致灾因子,如少雨干旱、低温冷害等导致作物减产往往是隐性的,而且历时较长、受灾范围较大、地域界限模糊、灾情轻重不一。降水变率与粮食减产的关系非常明显,在东部季风区,长江流域以南的地区年平均降水相对变率在 10 % ~ 15 % 之间,相应的历年平均减产率一般在 2.23 % 以下;长江以北至秦岭淮河之间年平均降水相对变率一般在 15 % ~ 20 % 之间,相应的历年平均减产率一般在 2.00 % ~ 3.46 % 之间;在华北平原,年平均降水相对变率一般为 20 % ~ 30 %,历年平均减产率为 3.46 % ~ 5.00 %。

3.2 非自然灾害因素与减产的关系

除孕灾环境、致灾因子等灾害因素与农作物减产的关系密切外,各种人为影响因素也是造成粮食减产的重要原因。例如农业耕作制度和作物布局不合理,种植劣质品种,粮食作物价格下跌,农业生产资料不足,农业经济水平低,农业投入过少,农田基本建设受到破坏,农业政策失误,种植不合时宜,等等,都会直接或间接造成粮食严重减产。如 1960—1962 年全国各地粮食普遍大幅度减产,除了灾害因素外,非自然灾害因素的影响很突出。近 10 a 来大规模推广良种,而且农田综合整治较好,提高了整体抗灾能力,使得粮食大幅度减产的年份明显减少。

为考察粮食减产与受灾面积或成灾面积的关系,采用各种减产率指标与各省受灾面积占播种面积的比例、减产率与各省成灾面积占播种面积的比例分别进行了简单的单因素相关分析,结果发现相关系数均很小,在 0.4 以下(限于资料没有做地区级相关分析),说明用受灾面积或成灾面积来衡量受灾减产情况并不是很恰当的,这可能是由于作物本身对致灾因子具有一定的抗性和受灾后期的恢复过程,使前期的灾情得以缓解。另外,值得提出的是与各省上报的受灾或成灾面积资料的标准不一致和可靠性差有关。

4 结果讨论

(1) 中国粮食单产风险水平在全国的分布趋势具有北高南低和西北高东南低的区域分异特征和连片性特点。反映了中国粮食生产的气候条件、地理条件、生产力水平和种植制度等区域分异特点。

(2) 各种风险指标的分布与气象因子有密切的关系:在全国范围内,降水量由西北向东南递增,与减产率趋势相反,而降水变率由南向北递增,与减产率的趋势相同,说明降水量是影响我国粮食生产的主要因素之一;热量条件由南向北逐渐变差,与减产率逐渐升高的趋势相同,说明热量因子也对粮食生产的波动性起着重要作用。

(3) 各种致灾因子的性质、范围、强度、频率是造成粮食减产和风险水平地区差异的重要因素,也是造成有些风险指标的分布具有局地性的原因。另外,粮食单产减产率地理分布并不能完全反映灾害因素的地域分布规律,这说明减产率高低虽然与灾害因素有很大关系,但非灾害因素导致的粮食减产也不容忽视,如农业政策失误、农业投入不足等。

全国性的粮食产量风险区划在国内尚属首次,对区划方法和区划结果尚有待进一步完善。区划结果可为防灾救灾、发展生产决策以及保险事业提供参考。

参考文献:

- [1] 李世奎, 邬阳海, 侯光良, 等. 中国农业气候资源和农业气候区划[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [2] 中国农业科学研究院. 中国种植业区划[M]. 北京: 农业出版社, 1984.
- [3] 中国农村作物气候区划协作组. 中国农林作物气候区划[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [4] 高国栋, 陆渝蓉. 气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1989, 367-377.
- [5] 傅安平. 中华人民共和国保险法实物全书[M]. 北京: 企业管理出版社, 1995.
- [6] 王馥棠, 李郁竹, 王石立. 农业产量气象模拟与模型引论[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 40-41; 53-56.
- [7] William J P, Arthur A A. 自然灾害风险评价与减灾政策[M] // 向云立, 等译. 北京: 地震出版社, 1993: 1; 7-16; 63-68.
- [8] 郭仲伟. 风险分析与决策[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [9] Michael J S, David W G. Strategic management for decision making[M]. Boston: PWS-KENT Publishing Company, 1992, 167-172.
- [10] 邓 勃. 分析测试数据的统计处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [11] 曹鸿兴, 陈国范. 模糊集方法及其在气象中的应用[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 271-277.
- [12] Dunn J C. A fuzzy relative of ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters[J]. J Cybern, 1973, 3(3): 32-57.
- [13] 熊常英. Fuzzy ISODATA 聚类分析应用于马尾松子代的分级[J]. 南京: 南京林业大学学报, 1990, 14(4): 56-60.
- [14] 张宝元, 章庆辰, 王作述, 等. 中国 1951—1990 气象灾害综合图[M]. 北京: 气象出版社, 1993.
- [15] 章基嘉, 周曙光. 我国的主要气候灾害及其对农业生产的影响[J]. 南京气象学院学报, 1990, 13(3): 259-265.
- [16] 张养才, 何维勋, 李世奎. 中国农业气象灾害概论[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [17] 国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国重大自然灾害与减灾对策(分论)[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 107.
- [18] 国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国重大自然灾害与减灾对策(总论)[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 9-42.

China Grain Yield Risk Division at the Level of Province

DENG Guo¹, WANG Ang-sheng¹,
ZHOU Yu-shu¹, LI Shi-kui²

(1. Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China;

2. Chinese Academy of Meteorology Science, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the per unit area grain yield data throughout China at the level of province, three indexes, which reflect the risk level of grain yield of China from different angle are defined, namely: the annual decrease rate, the annual variation coefficient and the risk probability. The method of iterative self-organization dynamics assemble is adopted to divide China into several risk regions at different risk levels on the basis of the indexes. The result demonstrates the outlook and risk level of the grain yield in the past fifty years, which would provide a reference for policy makers to plan crop production and make risk decision. Furthermore, the reason of regional risk difference from the factors of disaster-inducing environment, disaster-inducing factors and productivity is also discussed.

Key words: risk index; iterative self-organization dynamics assemble; risk division