

1950~2010年中国干旱灾情频率-规模关系分析

邱海军¹, 曹明明¹, 郝俊卿², 王雁林³, 王彦民⁴

(1. 西北大学城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 西安财经学院商学院, 陕西 西安 710061; 3. 长安大学
建筑工程学院, 陕西 西安 710054; 4. 陕西理工学院化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 借鉴相关领域研究概念, 对1950~2010年中国干旱灾情的变化动态, 特别是频率与规模的关系做定量分析, 划分风险的可接受与不可接受区。研究发现: ① 总体上, 60 a来干旱灾害中受灾、成灾面积和粮食损失在逐年不断的增加。② 干旱灾害中粮食损失与累积频率的关系与著名的古登堡-里查德关系类似, 呈现良好的幂律性。而受灾、成灾面积与累积频率的关系则符合线性关系。③ 通过借鉴地质灾害领域相关可接受风险概念, 划定干旱灾害中年粮食损失、受灾和成灾面积的可接受与不可接受灾情的界线。④ 借鉴相关领域研究概念, 尝试对干旱灾害进行探索, 因此, 在将来的研究中还有待继续和深化。

关键词: 干旱灾情; 频率规模; 可接受风险

中图分类号: P429

文献类别码: A

文章编号: 1000-0690(2013)05-0576-05

引 言

干旱是全球范围内频繁发生的一种慢性自然灾害。在20世纪全世界10大自然灾害中, 旱灾居首位, 它对社会生活和经济发展的影响之大、范围之广、持续之久、危害之深, 均超过了其它任何自然灾害^[1-5]。近年来, 随着全球气候的持续变暖, 极端天气、气候事件的发生频率和强度都在迅速增加, 严重影响人类的生存和社会的可持续发展^[6,7]。干旱严重威胁着人类赖以生存的粮食、水和生态环境, 尤其是给农业生产造成了严重影响。据测算, 全球每年因干旱造成的经济损失高达60~80亿美元, 远远超过其它自然灾害^[8]。不仅如此, 干旱还会导致火灾和高温等灾害发生, 进一步加重干旱的危害性^[9]。甚至有学者研究后发现中国贫困县的分布和干旱的分布基本一致^[10-15]。但是总体来看, 对于干旱灾情的研究比较少, 而对于灾情频率与规模的关系研究更是没有见到。而事实上, 频率与规模在其它灾害领域特别是地震^[16,17]、地质灾害^[18-20]等的研究比较常见。对频率与规模的研究可以对干旱灾害多大规模上的发生频率及其可接受风险与不可

接受风险区有一个定量的认识, 其意义不言而喻。

本文试图借鉴地震、地质灾害等领域的古登堡-里查德(Gutenberg-Richter)关系及其可接受与不可接受风险的划分理念, 对干旱灾害做定量而有意义的探索。

1 资料来源与中国干旱灾情概述

1.1 资料来源

本文数据来源于中国水旱灾害公报(表1)。主要包括受灾面积、成灾面积、粮食损失等3个指标。农作物受灾面积是指在受旱面积中造成作物产量比正常年减产1成以上的面积。同一块耕地多季受灾, 只计一次。农作物成灾面积是指因旱造成作物产量比正常年减产3成以上(含3成)的面积。

1.2 中国干旱灾情概述

2010年, 全国因旱作物受灾面积 $13\,258.61 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 其中成灾 $8\,986.47 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 绝收 $2\,672.26 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 有3 334.52万农村人口、2 440.83万头大牲畜因旱发生饮水困难; 全国因旱粮食损失 $168.48 \times 10^8 \text{ kg}$, 经济作物损失387.93亿元, 直接经济总损失1 509.18亿元。

收稿日期: 2012-09-19; **修订日期:** 2012-11-10

基金项目: 陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项项目(2008ZDKG-75)、陕西省社会科学界2012年度重大理论与现实问题研究项目(2012Z029)、西北大学科研启动基金(PR12076)、西北大学科学研究基金(12NW32)资助。

作者简介: 邱海军(1983-), 男, 陕西神木人, 博士, 从事灾害和土地利用研究。E-mail: rgbitxpl@163.com

表1 1950~2010年全国干旱灾情统计

Table 1 Statistics of drought damages in China in 1950-2010

| 年 份 (年) | 受灾面积 (10 ³ hm ²) | 成灾面积 (10 ³ hm ²) | 粮食损失 (10 ⁸ kg) | 年 份 (年) | 受灾面积 (10 ³ hm ²) | 成灾面积 (10 ³ hm ²) | 粮食损失 (10 ⁸ kg) |
|------------|--|--|------------------------------|------------|--|--|------------------------------|
| 1950 | 2 398.00 | 589.00 | 19.00 | 1981 | 25 693.00 | 12 134.00 | 185.45 |
| 1951 | 7 829.00 | 2 299.00 | 36.88 | 1982 | 20 697.00 | 9 972.00 | 198.45 |
| 1952 | 4 236.00 | 2 565.00 | 20.21 | 1983 | 16 089.00 | 7 586.00 | 102.71 |
| 1953 | 8 616.00 | 1 341.00 | 54.47 | 1984 | 15 819.00 | 7 015.00 | 106.61 |
| 1954 | 2 988.00 | 560.00 | 23.44 | 1985 | 22 989.00 | 10 063.00 | 124.04 |
| 1955 | 13 433.00 | 4 024.00 | 30.75 | 1986 | 31 042.00 | 14 765.00 | 254.34 |
| 1956 | 3 127.00 | 2 051.00 | 28.60 | 1987 | 24 920.00 | 13 033.00 | 209.55 |
| 1957 | 17 205.00 | 7 400.00 | 62.22 | 1988 | 32 904.00 | 15 303.00 | 311.69 |
| 1958 | 22 361.00 | 5 031.00 | 51.28 | 1989 | 29 358.00 | 15 262.00 | 283.62 |
| 1959 | 33 807.00 | 11 173.00 | 108.05 | 1990 | 18 174.67 | 7 805.33 | 128.17 |
| 1960 | 38 125.00 | 16 177.00 | 112.79 | 1991 | 24 914.00 | 10 558.67 | 118.00 |
| 1961 | 37 847.00 | 18 654.00 | 132.29 | 1992 | 32 980.00 | 17 048.67 | 209.72 |
| 1962 | 20 808.00 | 8 691.00 | 89.43 | 1993 | 21 098.00 | 8 658.67 | 111.80 |
| 1963 | 16 865.00 | 9 021.00 | 96.67 | 1994 | 30 282.00 | 17 048.67 | 233.60 |
| 1964 | 4 219.00 | 1 423.00 | 43.78 | 1995 | 23 455.33 | 10 374.00 | 230.00 |
| 1965 | 13 631.00 | 8 107.00 | 64.65 | 1996 | 20 150.67 | 6 247.33 | 98.00 |
| 1966 | 20 015.00 | 8 106.00 | 112.15 | 1997 | 33 514.00 | 20 010.00 | 476.00 |
| 1967 | 6 764.00 | 3 065.00 | 31.83 | 1998 | 14 237.33 | 5 068.00 | 127.00 |
| 1968 | 13 294.00 | 7 929.00 | 93.92 | 1999 | 30 153.33 | 16 614.00 | 333.00 |
| 1969 | 7 624.00 | 3 442.00 | 47.25 | 2000 | 40 540.67 | 26 783.33 | 599.60 |
| 1970 | 5 723.00 | 1 931.00 | 41.50 | 2001 | 38 480.00 | 23 702.00 | 548.00 |
| 1971 | 25 049.00 | 5 319.00 | 58.12 | 2002 | 22 207.33 | 13 247.33 | 313.00 |
| 1972 | 30 699.00 | 13 605.00 | 136.73 | 2003 | 24 852.00 | 14 470.00 | 308.00 |
| 1973 | 27 202.00 | 3 928.00 | 60.84 | 2004 | 17 255.33 | 7 950.67 | 231.00 |
| 1974 | 25 553.00 | 2 296.00 | 43.23 | 2005 | 16 028.00 | 8 479.33 | 193.00 |
| 1975 | 24 832.00 | 5 318.00 | 42.33 | 2006 | 20 738.00 | 13 411.33 | 416.50 |
| 1976 | 27 492.00 | 7 849.00 | 85.75 | 2007 | 29 386.00 | 16 170.00 | 373.60 |
| 1977 | 29 852.00 | 7 005.00 | 117.34 | 2008 | 12 136.80 | 6 797.52 | 160.55 |
| 1978 | 40 169.00 | 17 969.00 | 200.46 | 2009 | 29 258.80 | 13 197.10 | 348.49 |
| 1979 | 24 646.00 | 9 316.00 | 138.59 | 2010 | 13 258.61 | 8 986.47 | 168.48 |
| 1980 | 26 111.00 | 12 485.00 | 145.39 | 平均 | 21 599.54 | 9 613.61 | 161.18 |

注:台湾省和香港、澳门特别行政区统计数据暂缺,全文同。

60 a来中国平均每年受灾面积达到了 $21\,599.54\times 10^3\text{hm}^2$,平均每年成灾面积达 $9\,613.41\times 10^3\text{hm}^2$,平均每年因灾损失粮食为 $161.18\times 10^8\text{kg}$ 。

总体上,60 a来干旱灾害的受灾、成灾面积和粮食损失在逐年不断的增加,受灾面积以每年 $219.66\times 10^3\text{hm}^2$ 的速度在增加,成灾面积以每年 $178.82\times 10^3\text{hm}^2$ 的速度在增加,而粮食损失以每年 $5.39\times 10^8\text{kg}$ 的速度在增加(图1)。

2 60 a来中国干旱灾情频率-规模关系分析

地震现象是复杂的,但是人类很早就知道,震

级愈大则发生的次数愈少。震级 m 和大于震级 m 出现的地震频数 N 之间存在著名古登堡-里查德 (Gutenberg-Richter)关系:

$$\log N(>m)=a-bm$$

式中, a,b 为系数,经验表明 b 值非常接近于1,通常为 $0.8<b<1.5$ 。地震所表现出来的这种幂函数的规律以及在自然界出现的“ $1/f$ ”噪声规律正是自组织临界现象的产物。与之类似,直观的感受是大的干旱年比较少,而小的干旱年比较多。那么在这种现象背后到底隐藏着什么规律呢?是不是也存在着一个类似地震规模-频率的古登堡-里查德关系呢?这就是本文要回答的一个重要问题。

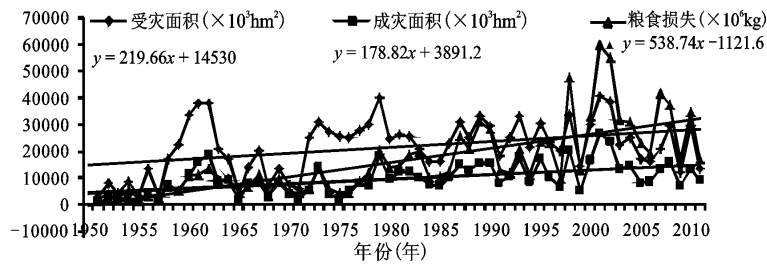


图1 1950~2010年中国干旱灾害成灾、受灾面积和粮食损失时间变化

Fig.1 Change of damaged, affected area and grain lost by drought damages in China in 1950-2010

借鉴相关领域大于某一规模阈值取值方法,本文采用幂指间隔法,以10为底数,将幂指在最大值与最小值之间等间隔划分。粮食损失阈值分别为:19.00、22.58、26.83、31.89、37.89、45.03、53.52、63.60、75.58、89.82、106.74、126.84、150.74、179.13、212.88、252.98、300.64、357.27、424.57、504.55。

通过计算发现,干旱灾害粮食损失与累积频率的关系与著名的古登堡-里查德关系类似,呈现良好的幂律关系(图2、3、4,表2)。其关系式为:

$$\ln N(>G)=4.26-0.006G \quad (R^2=0.9956, P<0.05)$$

式中, G 为年粮食损失, N 为大于某一粮食损失 G 的年数。而受灾、成灾面积与累积频率的关系则符合线性关系,其关系式如下:

受灾面积大于某一规模阈值分别为:2 398.00、2 762.18、3 181.66、3 664.85、4 221.41、4 862.50、5 600.95、6 451.55、7 431.32、8 559.89、9 859.85、11 357.22、13 082.00、15 068.72、17 357.15、19 993.12、23 029.40、26 526.79、30 555.31、35 195.64,受灾面积与累积频率的关系式为:

$$N(>D_A)=65.869-0.0014D_A \quad (R^2=0.9712, P<0.05)$$

式中, D_A 为年受灾面积, N 为大于某一受灾面积 D_A 的年数。

成灾面积大于某一规模阈值分别为:560.00、679.47、824.43、1 000.32、1 213.73、1 472.68、1 786.86、2 168.08、2 630.62、3 191.85、3 872.81、4 699.05、5 701.56、6 917.96、8 393.86、10 184.63、12 357.46、14 993.85、18 192.69、22 073.99、26 783.33,成灾面积与累积频率的关系式为:

$$N(>I_A)=62.105-0.0027I_A \quad (R^2=0.992, P<0.05)$$

式中, I_A 为年成灾面积, N 为大于某一成灾面积 I_A 的年数。

由上述关系,可以定量的得出不同干旱灾害因灾成灾面积、受灾面积和粮食损失的累积频率分布状况。

一般情况下,就象其它结构和工程领域一样,在控制风险的过程中有一条经常用到的原理:可容忍的或者可接受的风险级别与其破坏后果成反比。而对于生命损失风险进行确定可容忍或者可接受的水平的时候,一般用 F (频率)- N (人员伤亡数量)准则。其最早由Famer在1967年提出且用于衡量核电厂放射性碘的释放水平,是由大于或等于一定死亡人数(N)及其累积频率(F)组成的。与之类似,干旱灾害的年粮食损失、受灾面积和成灾面积与累积频率的关系也间接定义了可接受与不可接受灾情的界线,如图2、3、4所示。图的拟合直线右上角为不可接受区,左下角为可接受区。

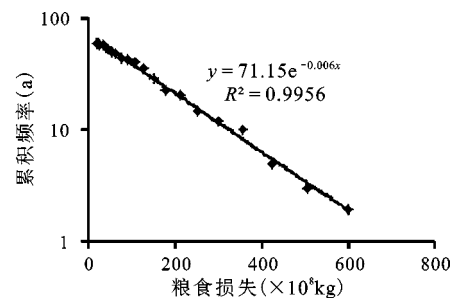


图2 干旱灾害粮食损失与累积频率关系

Fig.2 Relationship between grain lost and cumulative frequency

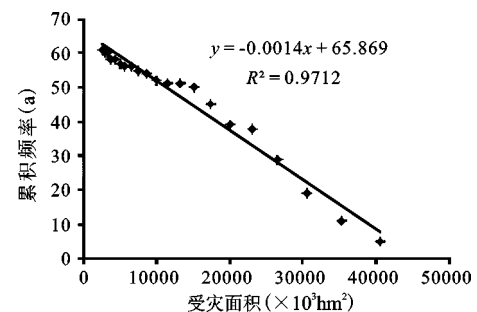


图3 干旱灾害受灾面积与累积频率关系

Fig.3 Relationship between affected area by drought damage and cumulative frequency

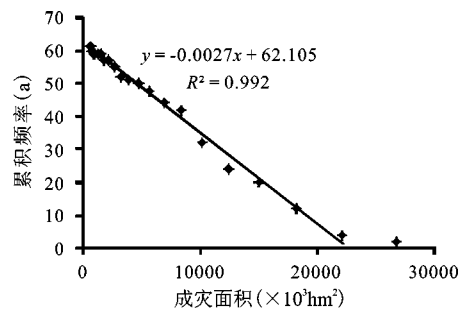


图4 干旱灾害成灾面积与累积频率关系
Fig.4 Relationship between damaged area and cumulative frequency

表2 干旱灾害灾情规模与频率关系拟合方程
Table 2 Fitting equation of relationship between drought damage magnitude and frequency

| 序号 | 频率规模参数 | 方程 |
|----|---------|--|
| 1 | 粮食损失与频率 | $\ln N(>G)=4.26-0.006G$ ($R^2=0.9956, P<0.05$) |
| 2 | 受灾面积与频率 | $N(>D_A)=65.869-0.0014D_A$ ($R^2=0.9712, P<0.05$) |
| 3 | 成灾面积与频率 | $N(>I_A)=62.105-0.0027I_A$ ($R^2=0.992, P<0.05$) |

3 结论与讨论

通过上面的分析,可以得出以下主要的结论:

- 1) 总体上,60 a来干旱灾害的受灾、成灾面积和粮食损失在逐年不断的增加,受灾面积以每年 $219.66\times10^3\text{hm}^2$ 的速度在增加,成灾面积以每年 $178.82\times10^3\text{hm}^2$ 的速度在增加,而粮食损失以每年 $5.39\times10^8\text{kg}$ 的速度在增加。
- 2) 干旱灾害粮食损失与累积频率的关系与著名的古登堡-里查德关系类似,呈现良好的幂律关系。而受灾、成灾面积与累积频率的关系则符合线性关系。
- 3) 通过借鉴地质灾害领域相关可接受风险概念,划定干旱灾害的年粮食损失、受灾和成灾面积的可接受与不可接受灾情的界线。
- 4) 本文只是借鉴相关领域研究概念,尝试对干旱灾害进行探索,在将来的研究中还有待继续和深化。

参考文献:

[1] 陈晓楠,段春青,刘昌明,等.基于两层土壤计算模式的农业干旱风险评估模型[J].农业工程学报,2009,25(9):51~55.

[2] 张伟东,石霖.区域干旱帕默尔旱度指标的修正[J].地理科学,2011,31(2): 153~158.

[3] 靳立亚,符娇兰,陈发虎.近44年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J].地理科学,2005,25(5):567~572.

[4] 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.

[5] 邴龙飞,邵全琴,刘纪远,等.基于小波分析的长江和黄河源区汛期、枯水期径流特征[J].地理科学,2011,31(2): 232~238.

[6] Changnon S A,Roger A,Pielke Jr,et al.Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000, 81(3): 437-442.

[7] Easterling D R,Evans J L,Groisman P Ya,et al.Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2000, 81(3): 417-425.

[8] Wilhite D A.Drought as a natural hazard: Concepts and definitions[M]//Wilhite D A(ed). Drought: A Global Assessment. London & New York: Routledge, 2000:3-18.

[9] 郑彬,林爱兰.广东省干旱趋势变化和空间分布特征[J].地理科学,2011,31(6):715~720.

[10] 宋连春,邓振镛,董安祥,等.干旱[M].北京:气象出版社,2003: 54~55.

[11] 尹宪志,邓振镛,徐启运,等.甘肃省近50 a干旱灾情研究[J].干旱区研究,2005,22(1):120~124.

[12] 梁建茵,吴尚森.广东省汛期旱涝成因的前期影响因子探讨[J].热带气象学报,2001,17(2):97~108.

[13] 陆丹.1998年秋到1999年春华南特大干旱气候成因[J].气象,2001,27(1):48~52.

[14] 朱自玺,刘荣花,方文松,等.华北地区冬小麦干旱评估指标研究[J].自然灾害学报,2003,12(1): 145~150.

[15] 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): 11~15.

[16] Gutenberg B,Richter C F.Frequency of Earthquakes in California[J].Bulletin of the Seismological Society of America,1944, 34:185-188.

[17] 朱元清,石耀霖.地震活动性研究中的非线性动力学模型[J].地球物理学报,1991,34(1):31~40.

[18] Guzzetti F,Malamud B D,TurcotteD L,et al.Power-law correlations of landslide areas in Central Italy[J]. Earth and Planetary Science Letters,2002,195:169-183.

[19] 许强,黄润秋.地质灾害发生频率的幂律规则[J].成都理工学院学报,1997,24(增刊): 91~96.

[20] 姚令侃,黄艺丹,杨庆华.地震触发崩塌滑坡自组织临界性研究[J].四川大学学报(工程科学版),2010,42(5): 33~43.

Relationship Between Frequency and Magnitude of Drought Damage in China in 1950-2010

QIU Hai-jun¹, CAO Ming-ming¹, HAO Jun-qing², WANG Yan-lin³, WANG Yan-min⁴

(1.College of Urban and Environment Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China; 2.School of Business, Xi'an University of Financial and Economics, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 3.College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 4.School of Chemistry and Environmental Science, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China)

Abstract: Drought is a disaster which occurs in the broadest area most frequently and has the most severe impact among natural disasters. It was very popular in other disaster research especially in earthquake and geologic disaster field to study the relationship between frequency and magnitude. This article could get quantitative results about the occurrence frequency on a certain scale and the risk assessment (risk acceptable or unacceptable) of the disaster. This article aims to build the relationship between frequency and magnitude of droughts on the basis of analyzing the droughts change in China in 1950-2000 and accordingly divide the risky area to risk acceptable and unacceptable area. The main results included: 1) In general, grain lost, affected and damaged area of farmland increased during the past 60 years. The annual grain lost, affected area and damaged area were $161.18 \times 10^8 \text{ kg}$, $21\,599.54 \times 10^3 \text{ ha}$ and $9\,613.41 \times 10^3 \text{ ha}$, respectively. The increase rates of the grain lost, affected and damaged area were $5.39 \times 10^8 \text{ kg/a}$, $219.66 \times 10^3 \text{ ha/a}$ and $178.82 \times 10^3 \text{ ha/a}$, respectively. 2) Similar to famous Gutenberg-Richard relationship, relationship between cumulative frequency and grain lost showed a good power-law relation. The formula was: $\text{Ln}N(>G)=4.26-0.006G(R^2=0.996, P<0.05)$. Cumulative frequency with damaged and affected area showed good linear relation. The formulas were: $N(>D_A)=65.869-0.001D_A(R^2=0.971, P<0.05)$, $N(>I_A)=62.105-0.003I_A(R^2=0.992, P<0.05)$, respectively. 3) The principle "Acceptable level of risk is inversely proportional to the damaging effect" is a common principle during the risk control process in engineering. When the principle was used to divide the acceptable level of risk of life loss, $F(\text{frequency})$ - N (number of casualty) rule was appropriate. As a result, the boundary between acceptable and unacceptable risk on annual grain lost, affected and damaged area was drawn. More work need undergoing.

Key words: drought damage; frequency-magnitude; acceptable risk