

1986–2015 年华北平原农业气象灾害的变化特征

刘笑¹, 何学敏², 游松财³

(1. 河北省邢台市气象局, 河北 邢台 054000; 2. 内蒙古自治区气象信息中心, 内蒙古 呼和浩特 010051;

3. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘要:根据华北平原 1986–2015 年的受灾、成灾和绝收面积等统计数据, 分析了河北省、河南省和山东省农业气象灾害损失率以及灾害波动性、灾害等级的变化特征。总体上看, 近 30 年河北省、河南省和山东省的农业气象灾害呈下降趋势, 平均总损失率分别为 7.5%~16.4%、5.6%~12.3%、6.2%~13.9%。各省灾害损失率由大到小分别为: 河北省干旱>风雹>洪涝>低温, 河南省和山东省干旱>洪涝>风雹>低温。干旱仍是华北平原最严重的灾害, 但各省的干旱灾害呈下降趋势, 河北干旱最严重, 占总损失率的 64.2%。河南和山东的洪涝呈先增后减的趋势, 河北呈下降趋势。河北和山东的风雹呈下降趋势, 河南呈先增后减的趋势。河南和山东的低温呈先增后减的趋势, 河北呈增加趋势; 河南最严重, 占 5.2%。各省洪涝、低温偶发性强, 其中河南的洪涝波动性最大, 山东的低温波动性最大; 各省干旱、风雹为常态灾害, 其中河北的干旱、风雹波动性最小。四类灾害等级划分结果表明干旱和风雹为常态性灾害, 年际波动小, 对农业生产的影响较大; 而洪涝和低温的影响相比较小, 但偶发性强, 致灾强度大。

关键词:华北平原; 农业气象灾害; 损失率; 波动性; 灾害等级

中图分类号:S42 **文献标志码:**A

Characteristics of agricultural meteorological disasters in North China from 1986 to 2015

LIU Xiao¹, HE Xue-min², YOU Song-cai³

(1. Xingtai Weather Office of Hebei Province, Xingtai, Hebei 054000, China;

2. Inner Mongolia Meteorological Information Center, Hohhot, Inner Mongolia 010051, China;

3. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on statistical data from provinces, Hebei, Henan and Shandong during 1986 to 2015, loss rate, fluctuation and grade of agro-meteorological disasters were analyzed. Generally, agro-meteorological disasters in Hebei, Henan and Shandong showed a decreasing trend in the past 30 years, with an average composite loss rate of 7.5%~16.4%, 5.6%~12.3% and 6.2%~13.9%, respectively. The disaster loss rate in Hebei Province ordered as drought>hail>flood>low temperature. But the disaster loss rate in Henan Province and Shandong Province ordered as drought>flood>hail>low temperature. Drought was still the most serious disaster in the Northern China Plain, but drought in the provinces showed a downward trend. Hebei was the most serious, occupying 64.2% of the comprehensive loss rate. Flood in Henan and Shandong showed the trend of increasing first and then decreasing, while Hebei was in a declining trend. Wind and hail in Hebei and Shandong was in a declining trend, with Henan increasing first and then decreasing; Hebei was the most serious, occupying 19.8%. Low temperature in Henan and Shandong showed the trend of increasing first and then decreasing, while Hebei was increasing. Henan was the most serious, occupying 5.2%. Flood and low-temperature occurred occasionally, among which flood in Henan was the most fluctuant and low-temperature in Shandong was the most fluctuant. Drought and wind hail were the normal disasters, among which the drought and hail in Hebei were the least fluctuant. The results showed that drought and hail

were normal disasters, and the annual fluctuation was small, which had a great impact on agricultural production. But the effects of flood and low temperature were relatively small, with great annual variability and strong intensity.

Keywords: North China; agricultural meteorological disasters; loss rate; fluctuation; disaster grade

华北平原属于暖温带半湿润大陆性气候区,受季风条件的影响,四季分明,降水和温度存在明显的年变化,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨。除了气候条件外,水资源偏少、土壤条件等因素导致华北平原是我国的多灾区,灾害对农业生产的威胁大^[1],干旱、洪涝是主要的气象灾害,低温冻害、霜冻、干热风等对农业生产的影响也较大^[2]。而华北平原的耕地面积占全国的 15.39%,粮食产量约占全国粮食产量的 26.64%,在保障我国粮食安全上有着举足轻重的地位^[3]。因此,明确华北平原农业气象灾害的时间变化特征,为防灾减灾技术研发、保障粮食安全提供科学依据。

自 20 世纪 60 年代以来,华北平原的气候出现了降水减少、气温升高的变化趋势^[4-5],偏干旱区域总体增加^[6]。干旱是对华北地区农业生产影响最严重的农业气象灾害^[7],干旱现象频繁发生,发生频率位居全国之首,旱灾平均受灾面积占全国受灾面积的比例最高,达 28% 以上^[8-10]。基于 1978-2010 年的受灾率对干旱、洪涝程度进行等级划分,山东、河南及河北的干旱为最重的等级,河南、山东的洪涝为次重等级^[11]。自 1951 年以来,华北平原的洪涝灾害呈显著下降的趋势,尤其 1970-2010 年旱灾明显大于涝灾^[12],气候呈现暖干化的特点^[13-14]。华北平原的雹灾为春末夏初多发型,在 6 月份达到高峰,河北和山东省属于环渤海雹灾多发区,而河南省东南部雹灾较少^[15]。除了东北地区,华北平原受冷冻害、霜冻影响也较严重^[16],是冬小麦霜冻多发区^[17]。

前人对农业气象灾害展开了多方面深入的研究,但研究多集中于农业旱涝灾害趋势分析^[18-20],对华北平原农业气象灾害的灾损率、波动性及其灾害等级的分析较少,且已有文献对 2010 年以前的农业气象灾害研究较多^[10-12],近 10a 的灾害研究报道有所减少。因此本文利用更新至 2015 年的灾害统计数据,分析华北平原粮食主产省(包括河北省、河南省和山东省)灾害总体以及洪涝、干旱、风雹和低温灾害的灾害面积、损失率、灾害波动性以及灾害等级的变化特征。

1 数据与方法

1.1 数据来源及处理

本研究所用的数据包括 1986-2015 年河北省、

河南省和山东省的农作物播种面积、受灾面积、成灾面积和绝收面积,来源于《中国统计年鉴》及《中国农业统计资料》。

1.2 研究方法

1.2.1 受灾率、成灾率和绝收率 由于每年农作物播种面积不同,为消除农作物播种面积年际变化对灾害趋势变化的影响,计算各类灾害的受灾率、成灾率和绝收率。即

$$A_i = H_{1i} / S_i \times 100\%$$

$$B_i = H_{2i} / S_i \times 100\%$$

$$C_i = H_{3i} / S_i \times 100\%$$

式中, A_i 、 B_i 、 C_i 分别表示第 i 年的受灾率、成灾率和绝收率, $i = 1986, 1987, \dots, 2015$, H_{1i} 、 H_{2i} 、 H_{3i} 分别表示第 i 年的受灾、成灾和绝收面积, S_i 表示第 i 年的农作物播种面积。

1.2.2 损失率 参照文献^[21-23]对受灾、成灾和绝收面积的定义及它们对粮食产量下降影响程度的上限值(分别为 29%、79% 和 100%)、下限值(分别为 10%、30% 和 80%),定义本文损失率的上限和下限,即将受灾率、成灾率和绝收率按上限比例加权为全部绝收的比率为损失率的上限,将受灾率、成灾率和绝收率按下限比例加权为全部绝收的比率为损失率的下限。计算式分别为

$$D_{upper,i} = (0.29 A_i + 0.5 B_i + 0.21 C_i) \times 100\%$$

$$D_{lower,i} = (0.1 A_i + 0.2 B_i + 0.5 C_i) \times 100\%$$

式中, $D_{upper,i}$ 及 $D_{lower,i}$ 分别为第 i 年损失率的上限和下限, A_i 、 B_i 、 C_i 分别为第 i 年灾害受灾率、成灾率和绝收率。

1.2.3 灾害变异系数 灾害变异系数表示灾害比率的变化幅度偏离其平均值的程度,是标准差与平均值之比,表示面积的波动程度^[24],即

$$CV_m = S_m / \bar{X}_m \times 100\%$$

式中, $m = 1, 2, 3$ 时, CV_m 分别表示受灾、成灾和绝收率的变异系数, S_m 分别表示受灾、成灾和绝收率的标准差, $\bar{X}_m$ 分别表示受灾、成灾和绝收率的平均值。变异系数越大,则灾害的波动性越大。

1.2.4 灾害等级划分 损失率反映了灾害的致灾程度,采用下式计算历年损失率变异值^[25],即

$$Z_i = (R_i - \bar{R}) / S$$

式中, Z_i 为第 i 年损失率变异值, R_i 为第 i 年损失率

中值(损失率上限和下限的平均值)的平均值, $\bar{R}$ 为多年损失率中值的平均值, S 为研究期间 30a 损失率的标准差。

计算 1986–2015 年河北省、河南省、山东省干旱、洪涝、风雹以及低温的历年损失率变异值,基于上述计算结果,结合前人的分级标准^[25],将各类农业气象灾害划分为重灾($Z \geq 1.5$)、中灾($0.5 \leq Z < 1.5$)、轻灾($Z < 0.5$)3 个等级。

2 结果与分析

2.1 各省农业气象灾害受灾程度变化特征

经计算,1986–2015 年河北省、河南省和山东省洪涝、干旱、风雹和低温灾害的多年平均受灾面积

占农作物总受灾面积的 90% 以上,是农业生产的四大主要气象灾害。

分析 30 年间河北省、河南省和山东省主要农业气象灾害受灾率、成灾率和绝收率的变化趋势可知(图 1),总体上看,研究期内(1986–2015 年)三省农作物受灾率、成灾率和绝收率均呈减小趋势,且受灾率的减小速率最快,其次是成灾率。河北省、河南省和山东省 30 年的平均受灾率,分别为 27.7%、21.9% 和 25.7%,平均成灾率分别为 15.5%、10.9% 和 11.9%,平均绝收率分别为 3.4%、2.5% 和 2.4%。比较三省的受灾率、成灾率和绝收率可知,河北省的受灾程度最严重,其次是山东省,河南省最轻。

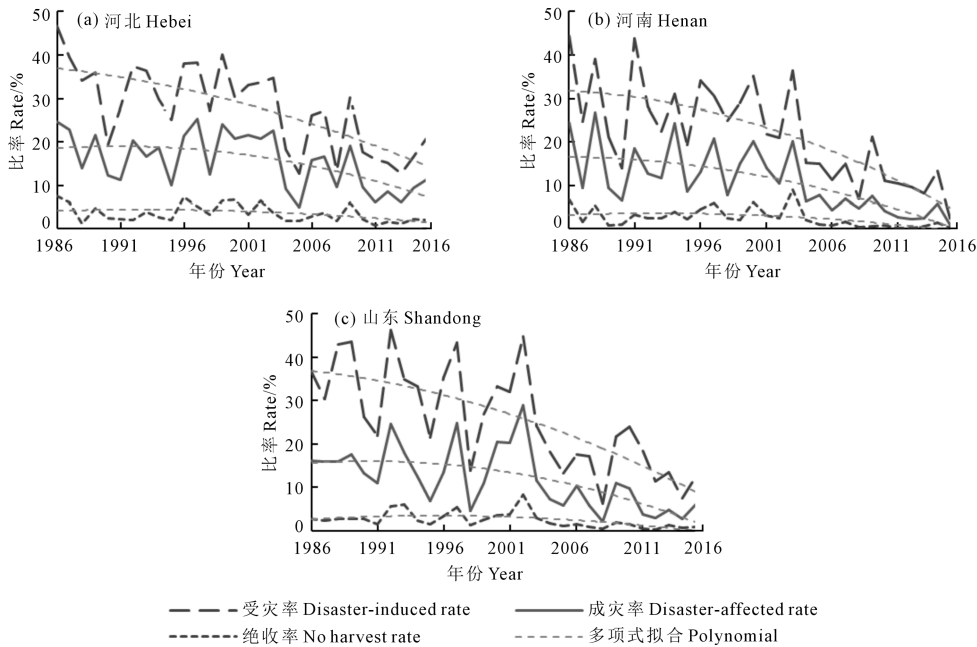


图 1 1986–2015 年总体受灾率、成灾率和绝收率的变化
Fig.1 Variation of disaster-induced rate, disaster-affected rate and no harvest rate from 1986 to 2015

2.2 各省农业气象灾害损失率变化特征

农作物产量的波动受农业气象灾害的影响^[26],损失率反映了灾害对作物产量的影响,体现了农作物的易损性、脆弱性等特征。由多项式拟合的结果可知(图 2),分析期内(1986–2015 年)各省的总损失率均呈下降的趋势,河北省的平均损失率为 7.6%~16.5%,1986 年的损失率最大,上限为 27.3%,下限为 13.3%;河南省的总损失率为 5.6%~12.3%,1986 年总损失率最大,上限为 26.5%,下限为 12.7%;山东省的总损失率为 6.2%~13.9%,2002 年总损失率最大,上限为 29.1%,下限为 14.3%。

1986–2015 年河北省的洪涝损失率呈减小的趋势,河南省和山东省呈先增加后减小的趋势(图 3)。河北省的洪涝损失率为 0.9%–2.0%,占总损失率的

12.1%;1996 年损失率最大,上限为 13.0%,下限为 7.5%。河南省的洪涝损失率为 1.4%~2.7%,占总损失率的 22.6%;2003 年损失率最大,上限为 16.6%,下限为 9.7%。山东省的洪涝损失率为 1.5%~3.1%,占总损失率的 22.9%;1990 年损失率最大,上限为 9.0%,下限为 4.1%。1986–2015 年河北省、河南省和山东省的干旱损失率均呈下降的趋势(图 4)。河北省干旱损失率为 4.8%~10.6%,占总损失率的 64.2%;1997 年干旱损失率最大,上限为 21.6%,下限为 10.0%。河南省干旱损失率为 3.3%~7.6%,占总损失率的 61.0%;1986 年干旱损失率最大,上限为 25.1%,下限为 12.0%。山东省干旱损失率为 3.7%~8.5%,占总损失率的 60.7%;2002 年干旱损失率最大,上限为 22.9%,下限为 11.3%,这

一年山东省遭受了自 1951 年以来最严重的干旱^[27]。

河北省和山东省的风雹损失率均呈减小的趋势,而河南省呈先增加后减小的趋势(图 5)。河北省风雹损失率为 1.5%~3.3%,占总损失率的 19.8%,是河北省的第二大农业气象灾害,研究显示,河北省是冰雹灾害频繁发生的区域,特定地形及南北跨度大的特点使得河北山区的冰雹多于平原,高海拔地区多于低海拔地区^[28,29];1990 年损失率最大,上限为 10.0%,下限为 4.6%。河南省风雹损失率为 0.7%~1.4%,占总损失率的 11.2%;2009 年损失率

最大,上限为 4.8%,下限为 1.9%。山东省风雹损失率为 0.7%~1.6%,占总损失率的 11.6%;1990 年损失率最大,上限为 3.5%,下限为 1.5%。

河北省的低温损失率呈增加的趋势,而河南省呈先增加后减小的趋势(图 6)。河北省低温损失率为 0.3%~0.6%,占总损失率的 3.8%;2010 年损失率最大,上限为 3.0%,下限为 1.2%。河南省低温损失率为 0.3%~0.7%,占总损失率的 5.2%;1998 年损失率最大,上限为 1.5%,下限为 3.1%。山东省低温损失率为 0.3%~0.7%,占总损失率的 4.8%;2002 年损失率最大,上限为 4.1%,下限为 2.3%。

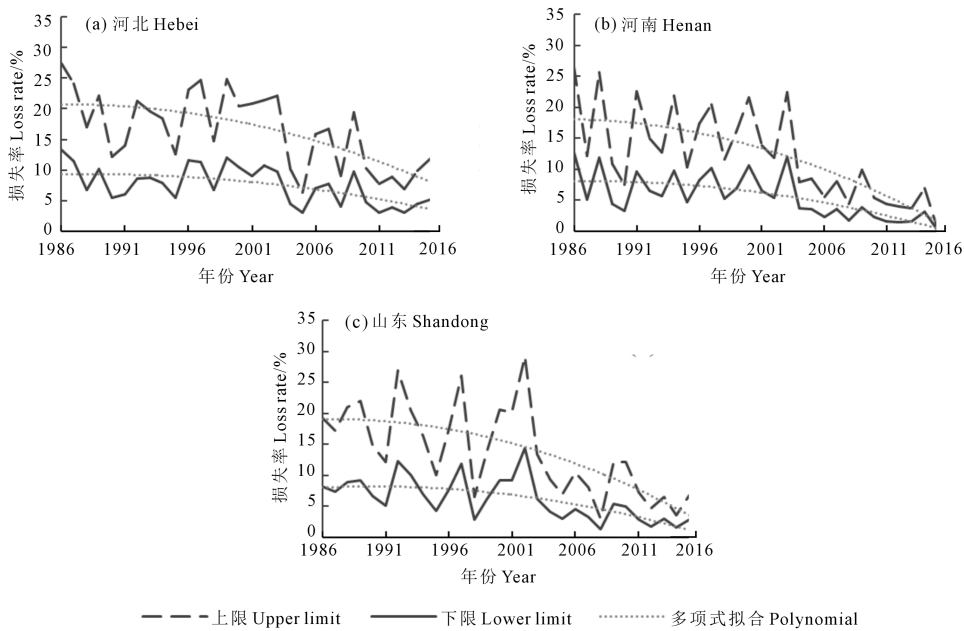


图 2 1986–2015 年总损失率上限和下限的变化
Fig.2 Variation of upper limit and lower limit of total loss rate from 1986 to 2015

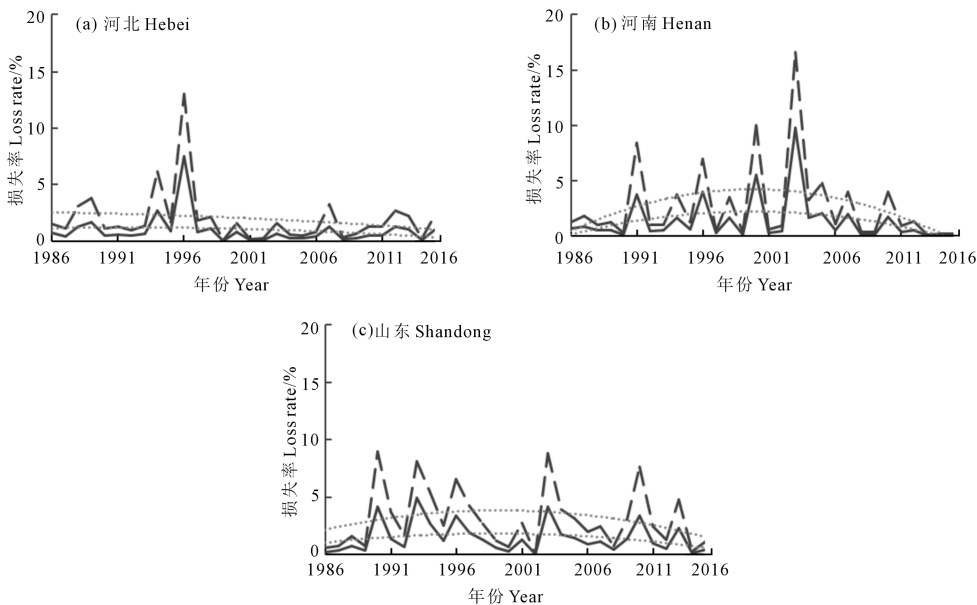


图 3 1986–2015 年洪涝损失率上限和下限的变化
Fig.3 Variation of upper limit and lower limit of flood loss rate from 1986 to 2015

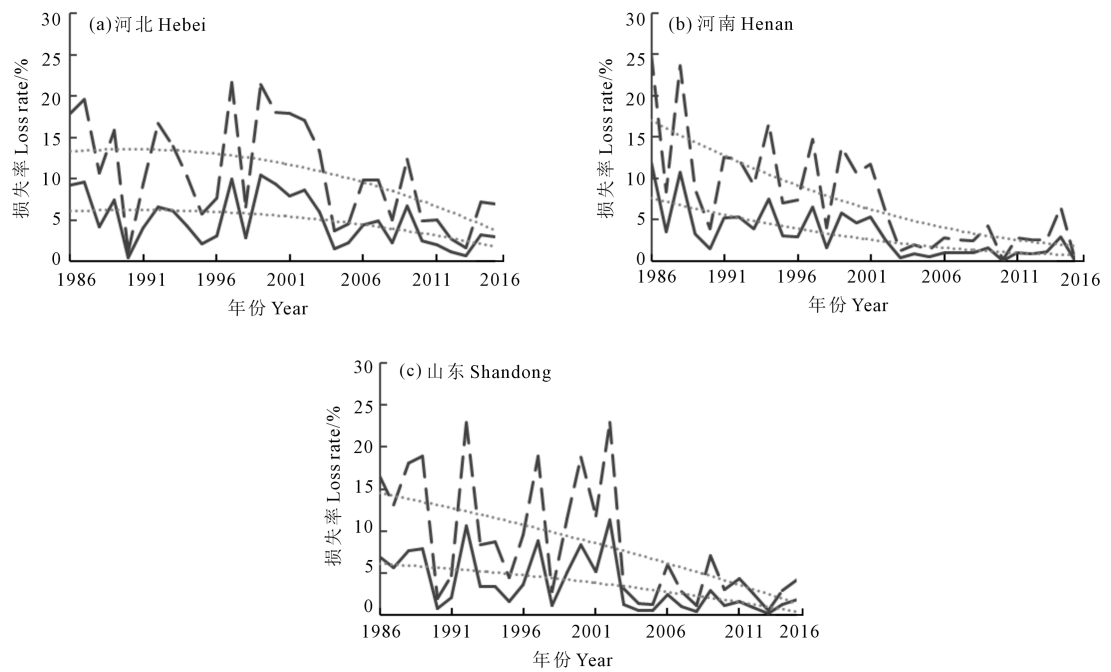


图 4 1986–2015 年干旱损失率上限和下限的变化

Fig.4 Variation of upper limit and lower limit of drought loss rate from 1986 to 2015

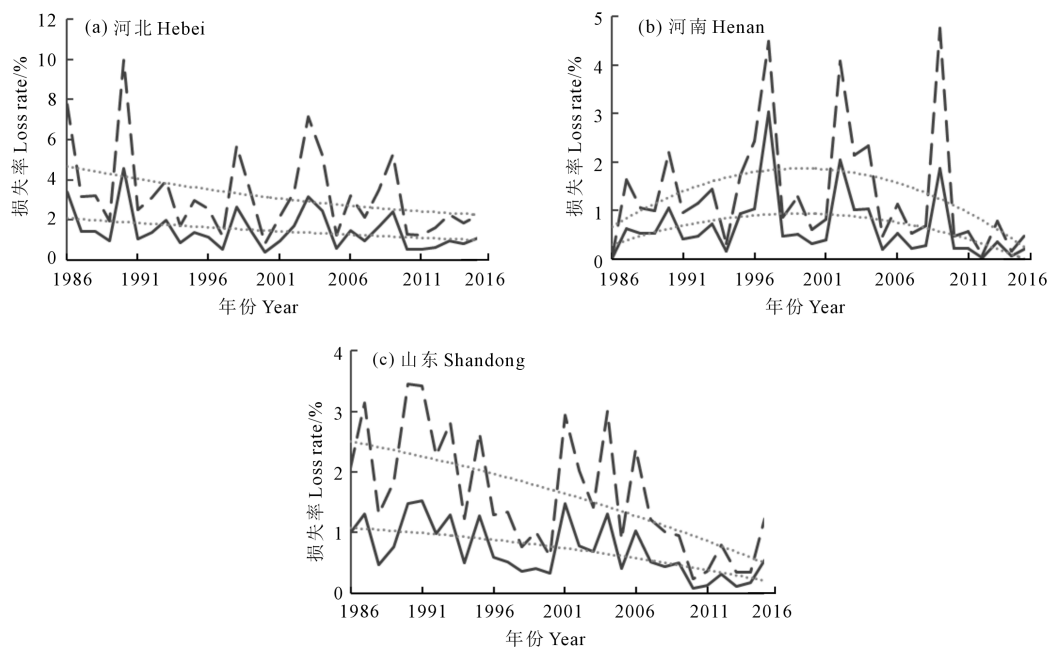


图 5 1986–2015 年风雹损失率上限和下限的变化

Fig.5 Variation of upper limit and lower limit of wind and hail loss rate from 1986 to 2015

2.3 各省农业气象灾害波动性变化特征

各省的灾害波动性从灾害类型分析,河北省:低温>洪涝>风雹>干旱;河南省:洪涝>低温>风雹>干旱;山东省:低温>洪涝>干旱>风雹,低温和洪涝灾害的波动性要大于干旱和风雹灾害,表明洪涝、低温灾害年际变化大、偶发性强,而干旱和风雹灾害年际变化小、为常态灾害。从区域分析,洪涝:河

南>河北>山东;干旱:山东>河南>河北;风雹:河南>山东>河北;低温:山东>河北>河南。河北省的干旱和风雹波动性均为最小,河南省的洪涝波动性最大,山东省的低温波动性最大。从受灾程度分析,绝收面积>成灾面积>受灾面积,这表明灾害程度越大,波动性越大,极端灾害的突发性更强。

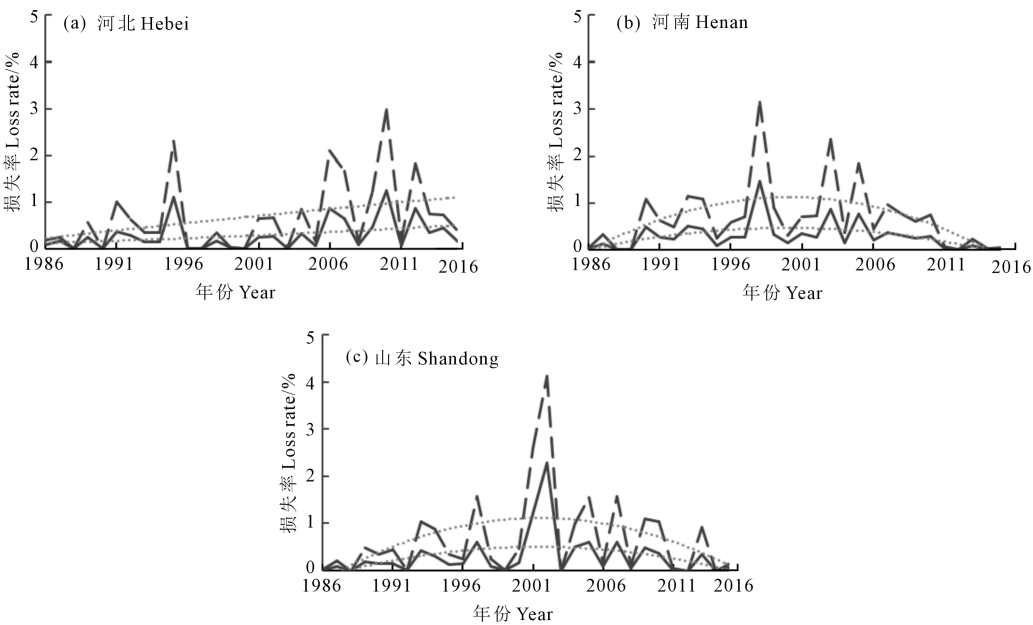


图 6 1986–2015 年低温损失率上限和下限的变化

Fig.6 Variation of upper limit and lower limit of low temperature loss rate from 1986 to 2015

2.4 各省农业气象灾害强度变化特征

30 年间河北、河南发生最多的灾害为干旱,其次为风雹、低温,洪涝最少。而山东省最多的为风雹,其次是干旱、洪涝,低温最少。河南、河北和山东发生干旱灾害的次数相差不多,30 年间发生干旱中灾的次数分别为 7、6、5,而重灾分别为 2、2、3。山东发生风雹灾害的次数最多,30 年间发生中灾 8

次、重灾 2 次。山东发生洪涝灾害的次数最多,30 年间发生中灾 3 次、重灾 4 次。河南发生低温灾害的次数最多,30 年间发生中灾 3 次、重灾 3 次。这表明干旱和风雹为常态性灾害,对各省的农业生产影响较大;而洪涝和低温灾害的影响相比较小,但突发性强,致灾强度大。

表 1 四种灾害受灾率、成灾率和绝收率的变异系数/%

灾害 Disaster	受灾率 Disaster-induced rate			成灾率 Disaster-affected rate			绝收率 No harvest rate		
	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shandong	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shandong	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shandong
洪涝 Flood	106	123	79	134	143	90	223	197	129
干旱 Drought	54	74	77	64	100	93	93	123	127
风雹 Wind and hail	60	82	62	74	105	68	68	168	81
低温 Low temperature	110	107	116	135	120	165	150	178	290

表 2 1986–2015 年不同等级灾害发生次数统计

Table 2 The number of times of disasters at different levels from 1986 to 2015

灾害 Disaster	轻灾 Light			中灾 Moderate			重灾 Severe		
	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shandong	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shandong	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shandong
洪涝 Flood	27	26	23	1	2	3	2	2	4
干旱 Drought	21	22	22	7	6	5	2	2	3
风雹 Wind and hail	24	23	20	3	4	8	3	3	2
低温 Low temperature	24	24	26	2	3	2	4	3	2

3 结论与讨论

3.1 结 论

通过以上分析,得出以下结论:

(1) 总体上看,近 30 年河北、河南和山东的农业气象灾害受灾程度呈下降趋势,其中河北受灾程度最严重,平均损失率分别为 7.5%~16.4%、5.6%~12.3%、6.2%~13.9%。

(2)河北省各类灾害损失率由大到小分别为干旱、风雹、洪涝和低温,河南省和山东省为干旱、洪涝、风雹和低温,这与胡亚南^[12]的研究结果一致。干旱仍是华北平原最严重的灾害,但各省的干旱灾害呈下降趋势,河北的干旱最严重,占总损失率的 64.2%;河南和山东的洪涝灾害呈先增后降的趋势,而河北呈下降趋势;山东和河南的洪涝相近,分别占总损失率的 22.9%、22.6%,比河北严重。河北和山东的风雹灾害呈下降趋势,而河南呈先增后降趋势;河北的风雹最严重,占总损失率的 19.8%,是河北第二大农业气象灾害。河南和山东的低温灾害呈先增后降的趋势,而河北呈增加趋势;河南的低温最严重,占总损失率的 5.2%。

(3)四类灾害波动性结果表明各省洪涝、低温年际变化大、偶发性强,其中河南的洪涝波动性最大,山东的低温波动性最大;各省干旱、风雹年际变化小、为常态灾害,其中河北省的干旱、风雹波动性最小。四类灾害等级划分结果表明,干旱和风雹灾害为华北常态性灾害,对农业生产的影响较大;而洪涝和低温灾害偶发性强,致灾强度大。

3.2 讨 论

华北平原农业气象灾害呈下降趋势,尤其近 10 年灾情明显减缓,农业生产风调雨顺。除了气候因素外,人类活动对华北地区灾情的缓解有着重大作用。干旱虽仍是华北平原最严重的气象灾害,但旱情逐渐减轻,除了增加灌溉外,还采取对主要粮食作物夏玉米和冬小麦进行秸秆覆盖等^[28]的措施达到了抗旱减损的目的。针对冬小麦低温冻害,增加抗寒品种的种植面积、适期播种^[28]有效减缓了冻害的发生。洪涝和风雹灾害的分布有明显的地域差异,河南省和山东省的洪涝灾害明显比河北省严重,这是由于河南省和山东省位于淮河流域,受东南夏季风影响降水量大^[11];而河北省是冰雹灾害频繁发生的区域,特定地形及南北跨度大的特点使得河北山区的冰雹发生频繁^[29,30]。

参 考 文 献:

[1] 王文楷. 黄淮海平原农业区域开发中的减灾增产对策研究[J]. 地域研究与开发, 1991, 10(3): 22-26+64.

[2] 郑大玮, 李茂松, 霍治国. 农业灾害与减灾对策[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.

[3] 洪舒蔓, 郝晋珉, 周宁, 等. 黄淮海平原耕地变化及对粮食生产格局变化的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 268-277.

[4] 马洁华, 刘园, 杨晓光. 全球气候变化背景下华北平原气候资源变化趋势[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3818-3827.

[5] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响[J]. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中

国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.

[6] 武建军, 刘晓晨, 吕爱峰, 等. 黄淮海地区干湿状况的时空分异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(2): 100-105.

[7] 刘荣花, 朱自玺, 方文松, 等. 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.

[8] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴(2006)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

[9] 谭方颖, 王建林, 宋迎波. 华北平原气候变暖对气象灾害发生趋势的影响[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(5): 125-131.

[10] 陈方藻, 刘江, 李茂松. 60 年来中国农业干旱时空演替规律研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(4): 111-114.

[11] 姚亚庆, 郑粉莉, 关颖慧. 近 60 年我国旱涝灾情时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(01): 228-232+263.

[12] 胡亚南, 李阔, 许吟隆. 1951–2010 年华北平原农业气象灾害特征分析及粮食减产风险评估[J]. 中国农业气象, 2013, 34(2): 197-203.

[13] 翟盘茂, 章国材. 气候变化与气象灾害[J]. 科技导报, 2004, 22(7): 11-14.

[14] 王长燕, 赵景波, 李小燕. 华北地区气候暖干化的农业适应性对策研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 646-652.

[15] 赵金涛, 岳耀杰, 王静爱, 等. 1950–2009 年中国大陆地区冰雹灾害的时空格局分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 83-92.

[16] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 等. 我国低温冷冻害的发生规律分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1167-1172.

[17] 李茂松, 李森, 李育慧. 中国近 50 年旱灾灾情分析[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 7-10.

[18] 卢丽萍, 程丛兰, 刘伟东, 等. 30 年来我国农业气象灾害对农业生产的影响及其空间分布特征[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1573-1578.

[19] 吕军, 孙嗣阳, 陈丁江. 气候变化对我国农业旱涝灾害的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1713-1719.

[20] 顾西辉, 张强, 张生. 1961–2010 年中国农业洪旱灾害时空特征、成因及影响[J]. 地理科学, 2016, 36(3): 439-447.

[21] 张星, 张春桂, 吴菊薪, 等. 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.

[22] 江丽, 安萍莉. 我国自然灾害时空分布及其粮食风险评估[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 48-53+59.

[23] 李文娟, 覃志豪, 林绿. 农业旱灾对国家粮食安全影响程度的定量分析[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(3): 111-118.

[24] 李丽纯, 陈家金, 陈惠, 等. 福建省马铃薯气候减产的风险分析和区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(2): 186-190.

[25] 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.

[26] 王春乙, 娄秀荣, 王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 37-43.

[27] 顾润源, 汤子东. 2002 年夏季山东干旱成因分析[J]. 气象, 2004, 30(8): 22-26.

[28] 杨晓光, 李茂松. 北方主要作物干旱和低温灾害防控技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016.

[29] 刘海月, 郭金平, 杨保东. 河北省冰雹灾害及人工防雹现状分析[C]//第 26 届中国气象学会年会人工影响天气与大气物理学分会会场论文集, 2009.

[30] 顾光芹, 史印山, 池俊成, 等. 河北省冰雹气候特征及其与环流异常的关系[J]. 高原气象, 2011, 30(4): 1132-1138.