

王秋京, 马国忠, 朱海霞, 等. 黑龙江省主要农业气象灾害演变特征及对水稻产量的影响[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 76-83. [WANG Qiujing, MA Guozhong, ZHU Haixia, et al. Variance characteristics of agro-meteorological disasters and effects of rice yield in Heilongjiang province [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 76-83. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.015.]

黑龙江省主要农业气象灾害演变特征及对水稻产量的影响^{*}

王秋京¹, 马国忠², 朱海霞¹, 纪仰慧¹, 曲辉辉¹, 何 锋¹,
翟 墨¹, 高 明³, 姜丽霞¹

(1. 中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室/黑龙江省气象院士工作站/黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省气象台, 黑龙江 哈尔滨 150030; 3. 黑龙江省气象局, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 基于1982-2016年黑龙江省洪涝、干旱、低温冷害、冰雹等农业气象灾害数据及水稻产量数据, 将研究期划分为1982-1990、1991-2000、2001-2010和2011-2016年4个阶段, 引入受灾比和灾害强度指数, 采用数理统计、灰色关联分析方法, 研究黑龙江省农业气象灾害演变特征, 构建灾害与水稻产量的数理模型。研究表明: ①洪涝和干旱是影响黑龙江省主要的农业气象灾害, 而低温冷害和冰雹相对较弱; ②洪涝的受灾范围和灾害强度均呈下降趋势, 而干旱则呈先升后降趋势, 冰雹受灾范围变化不大, 灾害强度呈上升趋势, 低温冷害均变化不大; ③黑龙江省农业气象灾害对水稻产量为负效应影响, 从受灾范围看, 干旱为最关键灾害, 其次为洪涝, 低温冷害和冰雹影响相对较小; 从受灾强度看, 4种农业气象灾害影响黑龙江省水稻产量强弱依次为冰雹、洪涝、低温冷害、干旱。

关键词: 气象灾害; 水稻; 受灾范围; 灾害强度; 灰色关联分析

中图分类号: X43; X915.5; S42; P429 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)01-0076-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.015

黑龙江省地域辽阔, 所辖松嫩平原和三江平原地势平坦, 土壤肥沃, 对发展粮食生产具有天然优势, 现已成为全国最大的大宗粮食作物种植区, 是保障国家粮食安全的压舱石。然而, 该省位于中国最北部, 受大陆性季风气候影响, 极易出现低温冷害、干旱、洪涝、冰雹等农业气象灾害, 造成粮食大幅度减产, 损失甚至达粮食总产的15%以上^[1], 如2003、2007年, 受气象灾害影响, 黑龙江省粮食减产分别达 6.646×10^9 kg、 6.039×10^9 kg, 占粮食总产26.5%、15.2%。目前在全球气候变化影响下, 农业气象灾害的发生更是趋频趋重^[2-3], 对黑龙江省粮食生产造成巨大威胁, 因此研究农业气象灾害与作物产量的关系, 明确不同灾害对作物产量的影响状况, 对于保障国家粮食安全、促进农业经济可持续发展具有重要意义。

多年来, 农业气象灾害监测评估方法不断发展, 形成多元化模式^[4], 其中灰色关联分析法较为常用, 该方法是通过灰色关联度来分析和确定系统诸因素间的影响程度或因素对系统主行为的贡献程度^[5], 在灾害监测^[6-7]、预测^[8]、影响评估^[9-12]等方面应用较为普遍, 基于该方法的研究表明, 农业气象灾害对粮食生产具有较大的负面影响, 其中受灾范围的影响不断降低, 而灾害强度的影响不断增大, 表明粮食作物对灾害强度的影响更敏感^[12], 据此制定农业防灾减灾措施时, 应更趋于降低灾害强度, 这无疑为政府部门决策农业生产提供了较为科学的气象参考。由此可见, 灰色关联分析法在灾害评价分析、灾害影响评估等方面应用效果较好。

水稻为黑龙江省主栽作物, 产量以及商品量均居于全国首位^[13], 在国家粮食生产中具有不可

^{*} 收稿日期: 2019-06-20 修回日期: 2019-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31671575); 中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室开放研究基金项目(stqx201805); 中国气象局沈阳大气环境研究所区域合作项目(2018SYIAEHZ1)

第一作者简介: 王秋京(1979-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 高级工程师, 主要从事应用气象研究. E-mail: shijianfeila@126.com
通讯作者: 姜丽霞(1972-), 女, 吉林德惠人, 硕士, 正高级高级工程师, 主要从事应用气象研究.

E-mail: nongyexiang1009@163.com

替代的作用,但其对温度、水分等因素均较敏感,研究表明,洪涝是影响黑龙江省水稻产量的主要农业气象灾害^[14],水稻在抽穗开花期淹没 3 d 及以上,水稻基本没有有效产量^[15-16],2013 年洪涝灾害即导致黑龙江省水稻产量损失 1.38 亿 kg^[16]。干旱胁迫会造成水稻穗粒数、有效穗数、千粒重、结实率降低,严重时会导致水稻减产甚至绝收^[17-18]。低温冷害对水稻各关键生长期均具有影响,尤其在生殖生长期,短时间(几天甚至仅几个小时)的极端温度胁迫即可严重破坏水稻的生理功能和生殖器官,导致颖花不育、空壳率增多,从而降低水稻产量^[19-21]。从冰雹对黑龙江省水稻影响来看,水稻关键生长发育时期恰为冰雹易发期,常常造成不同程度影响,在开花或成熟时期甚至出现毁灭性损害,导致绝产^[22-23]。综上所述,洪涝、干旱、冷害、冰雹等灾害对水稻影响之巨大。研究指出^[24],随着黑龙江省新型农业的发展,经营主体经营规模大、单产水平高,受灾害影响损失更大,其对多种气象灾害影响机制和防灾减灾技术的需求十分迫切,但现有研究多侧重于单一农业气象灾害对水稻生产的影响,而对多种农业气象灾害的综合比较研究较少,因此,深入开展近 35 年黑龙江省农业气象灾害的时序动态特征分析,探究影响水稻种植的农业气象灾害发生规律,进而识别对水稻单产影响最大的气象灾害,以期对水稻生产趋利避害、有效防灾减灾提供科学参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

所用资料包括黑龙江省 1982-2016 年气象数据资料、农作物总播种面积、水稻单产、总产数据,同期影响产量的主要气象灾害(洪涝、干旱、冰雹和低温冷害)的受灾面积、成灾面积、绝收面积数据及黑龙江省农业经济损失数据。数据主要来源于《黑龙江统计年鉴》、黑龙江省气象局和中国种植业信息网历史自然灾害数据库(<http://zzys.agri.gov.cn/>)。

1.2 研究方法

1.2.1 受灾比

受灾面积是灾情评价的一种划分,把当年作物受灾面积与总播种面积的比值定义为受灾比^[25]。受灾比可排除每年播种面积变化的影响,用来比较各类气象灾害的受灾范围的大小^[26]。

$$D = S_1 / S. \quad (1)$$

式中: D 为受灾比; S_1 为受灾面积; S 为同期总播种面积。

1.2.2 灾害强度指数

本文选取一种能够反映各类气象灾害强度大

小的多面积加权百分数为灾害强度指数表示农业气象灾害的强弱^[27];成灾面积即因灾害致使农作物减产三成以上的播种面积,绝收面积即因灾害致使农作物减产七成以上的播种面积,分别赋成灾面积权重 0.3、绝收面积权重 0.7,故构建的灾害强度指数如下。

$$I = (C \times 0.3 + J \times 0.7) / S_1. \quad (2)$$

式中: I 为灾害强度指数; C 为成灾面积; J 为同期绝收面积。

1.2.3 灰色关联分析

灰色系统是根据序列曲线之间几何形状的相似度来判断系统各因素之间联系是否紧密,曲线越接近,关联度越大,反之越小^[12]。由于本文中的各类数据无规律性、波动大、不具有典型概率分布等特点,灰色关联分析可克服以上不足,适用于动态历程的量化分析。

研究步骤^[14]:

(1) 参考序列(如水稻总产或单产 X_0) 和比较序列(如干旱 X_1 、洪涝 X_2 、低温冷害 X_3 和冰雹 X_4) 的确定。令能够反映系统行为特征的序列为参考序列,影响系统行为的因素组成的序列为比较序列。

系统行为序列:

$$X_0 = \{x_0(t), t = 1, 2, \dots, 35\}; \quad (3)$$

$$X_i = \{x_i(t), t = 1, 2, \dots, 35\}, (i = 1, 2, 3, 4). \quad (4)$$

(2) 指标均一化。对各指标进行均一化处理,以消除单位不一致的影响。

(3) 计算差序列。令两级序列的绝对差为 $\Delta_i(t)$, $i(t) = |x_0(t) - x_i(t)|$, ($i = 1, 2, 3, 4$; $t = 1, 2, \dots, 35$), 求各比较序列(X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_4) 与参考序列(X_0) 的关联系数 ζ_i 。

$$\zeta_{i(t)} = \frac{\min_i \min_t \Delta_i(t) + \rho \max_i \max_t \Delta_i(t)}{\Delta_i(t) + \rho \max_i \max_t \Delta_i(t)}. \quad (5)$$

式中: ρ 为分辨系数, $\rho \in (0, 1)$, 常取 0.5。

(4) 计算关联度 r^i 。

$$r_i = \frac{1}{35} \sum_{t=1}^{35} \zeta_i(t), (i = 1, 2, 3, 4; t = 1, 2, \dots, 35). \quad (6)$$

用关联度的大小次序描述因素间的关联程度。在系统发展过程中,形状越相似,两者的变化趋势越接近,关联度也就越大^[28-30]。

2 结果分析

2.1 黑龙江省总灾害时序变化特征与水稻单产变化趋势

图 1 给出了 1982-2016 年黑龙江省总灾害的受灾比、灾害强度与水稻单产随时间的变化趋势。由图 1 可见,黑龙江水稻单产呈增长趋势,受灾比和灾害强度指数变化剧烈,且大致趋势相同。1990

年代后,随着综合生产技术水平逐年提高,水稻单产水平大幅度提高的同时,稳定性也大幅提高。但在 21 世纪最初 10 年,水稻气象灾害频发,水稻单产有波动变化。2002 年大面积发生障碍性低温冷害,水稻减产近 20%、2005 年普遍发生稻瘟病害、2009 年发生全省大范围延迟型冷害。水稻减产对应年份的受灾比和灾害强度指数也相对较大。2010-2016 年水稻单产整体呈稳定增加趋势,对应的受灾比相对减少,但受灾强度仍有波动,说明受农业气象灾害的影响较小,且受灾比对水稻单产影响更为敏感。因此黑龙江省农业气象灾害对水稻单产有负面影响,受灾面积越大,灾害强度越重,水稻减产越多。

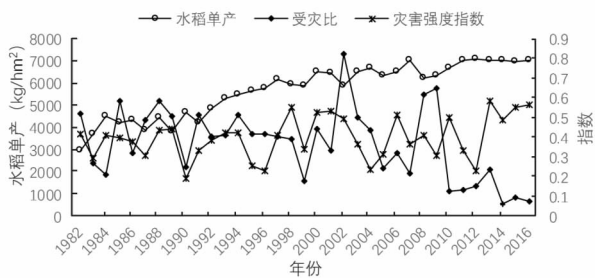


图 1 黑龙江省总灾害与水稻单产变化时序图

2.2 黑龙江省主要农业气象灾害的时序动态变化特征

2.2.1 黑龙江省洪涝灾害时序动态趋势

黑龙江省近 2 年有效灌溉面积占总播种面积的 44%, 其中水稻面积占 25.6%, 全省大部耕地靠自然降水耕作。因此, 黑龙江省农作物生长季降水量的多少对产量增减起着重要作用。黑龙江省年降水量集中在夏季, 雨季来临, 降水量增多, 洪涝灾害时有发生, 是影响粮食产量的关键农业气象灾害。据 1982-2016 年黑龙江省洪涝灾害资料统计, 历年平均受灾面积为 $1.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。1988, 1991, 1998 和 2013 年是黑龙江省 1980 年代以来最严重的洪涝灾害年份, 受灾面积分别达 $5.0 \times 10^3 \text{ km}^2$ 、 $4.1 \times 10^3 \text{ km}^2$ 、 $3.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ 和 $4.0 \times 10^3 \text{ km}^2$, 主要洪涝区发生在嫩江流域、黑河流域。由图 2、表 1、表 2 所示, 近 35 年, 黑龙江省洪涝灾害的发生具有明显的阶段性。大致是 1980 年代洪涝灾害发生较大, 1990 年代略有下降, 后期每 2、3 年有一次较大洪涝灾害发生, 21 世纪初期洪涝受灾比又呈显著上升趋势, 2010 年后急速下降, 仅 2013 年洪涝受灾比达到近 10 年的高峰值。发生洪涝灾害严重的几个典型年, 其年受灾比也达到高峰值, 降水量也相对较大。洪涝灾害波动周期与潘华盛^[31]对黑龙江省降水周期的分析大致吻合。逐年洪涝受灾比趋势线呈下降趋势。从灾害指数来看, 各年际变化不大, 近些年略有下降趋势。

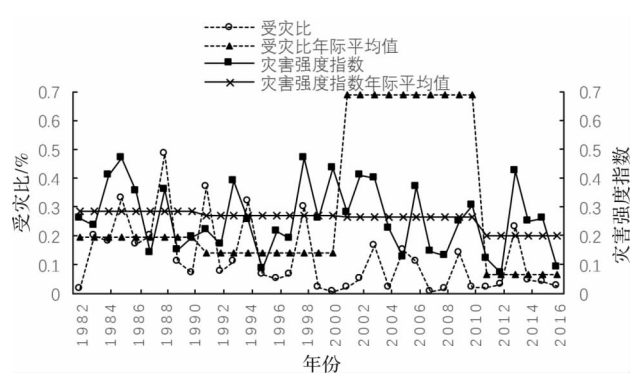


图 2 黑龙江省 1982-2016 年洪涝受灾比和灾害强度指数时间序列

表 1 黑龙江省农业气象灾害受灾比年际表

| | 总灾害 | 洪涝 | 干旱 | 冰雹 | 低温冷害 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 1982-1990 | 0.41 | 0.21 | 0.18 | 0.03 | 0.02 |
| 1991-2000 | 0.40 | 0.14 | 0.19 | 0.02 | 0.03 |
| 2001-2010 | 0.44 | 0.06 | 0.31 | 0.04 | 0.03 |
| 2011-2016 | 0.13 | 0.07 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |

表 2 黑龙江省农业气象灾害强度指数年际表

| | 总灾害 | 洪涝 | 干旱 | 冰雹 | 低温冷害 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 1982-1990 | 0.11 | 0.29 | 0.13 | 0.17 | 0.18 |
| 1991-2000 | 0.07 | 0.27 | 0.21 | 0.29 | 0.17 |
| 2001-2010 | 0.05 | 0.26 | 0.19 | 0.30 | 0.21 |
| 2011-2016 | 0.05 | 0.23 | 0.18 | 0.33 | 0.16 |

2.2.2 黑龙江省干旱时序动态趋势

黑龙江省的多年平均水资源总量存在较大的地区差异, 在水资源较少的地区, 旱灾经常发生。干旱给农业生产造成严重的损失, 据 1982-2016 年资料统计, 全省平均每年干旱受灾面积为 $2.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。黑龙江省干旱发生的情况也同样具有明显的阶段性, 且干旱与洪涝表现为此消彼长的变化趋势。整体来看, 2000 年以后黑龙江省干旱受灾比相对较大, 全省处于相对干旱阶段, 同期洪涝受灾比则相对较小。从年际上看, 21 世纪初干旱受灾比和灾害强度指数震荡更为剧烈, 后期逐渐平缓。2007、2009 和 2001 年是 1982 年以来全省受灾最严重的干旱灾害年份。干旱面积分别达 $9.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ 、 $7.3 \times 10^3 \text{ km}^2$ 和 $5.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。主要旱区发生在松嫩平原、牡丹江地区及三江平原部分地区, 但松嫩平原西部地区尤为严重。从图 3、表 1、表 2 可知, 干旱灾害年受灾比和干旱灾害强度指数趋势大体一致, 典型干旱年 2001、2003 和 2009 年的受灾比也达到高峰值。逐年干旱受灾比和灾害强度呈波动性, 变化趋势不明显。2010 年后, 随着各地水利工程的兴建、灌溉技术的提高、抗旱技术的推广, 干旱灾害虽然得到了不同程度的控制, 干旱发生的范围逐渐变小, 但干旱的灾害强度依然对粮食作物影响很大。

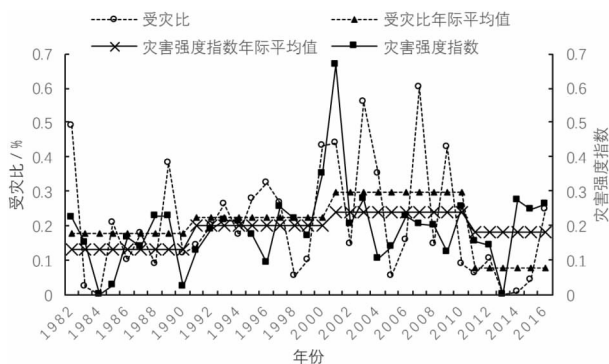


图3 黑龙江省 1982—2016 年干旱受灾比和灾害强度指数时间序列

2.2.3 黑龙江省冰雹灾害时序动态趋势

黑龙江省地域广阔, 地形复杂, 冰雹易发区主要集中在三江平原和松嫩平原, 这两大平原也正是黑龙江省粮食主产区, 一旦发生灾害, 就会造成一定粮食损失, 同时冰雹对农业设施的破坏力极大。2009 年 7 月 8 日黑龙江省北部发生冰雹灾害, 冰雹天气造成绥化市多个区(县)受灾, 总受灾面积 17 504 hm^2 , 其中绝产面积 2 314 hm^2 。此时正值大豆开花结荚期, 落花落荚严重影响产量, 灾情严重。特定地理环境条件也是冰雹灾害频发的重要原因之一, 冰雹灾害尺度小但来势迅猛, 并伴有强降水、大风及强降温等灾害性天气, 造成局地农作物受灾严重。据 1982—2016 年资料统计, 全省平均每年冰雹受灾面积为 $0.32 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。研究期间, 黑龙江省冰雹受灾范围整体变化趋势不明显, 仅 2002 年的受灾比达到峰值, 受灾面积达到 $1.51 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。灾害强度指数逐年呈波动性, 从年际上看, 灾害强度不断增大(图 4、表 1、表 2)。随着科学知识的普及、防雷能力的增强, 冰雹灾害的受灾范围虽然变化不明显, 但冰雹的灾害强度有增高的趋势, 冰雹灾害仍然是影响黑龙江粮食生产的关键气象灾害。

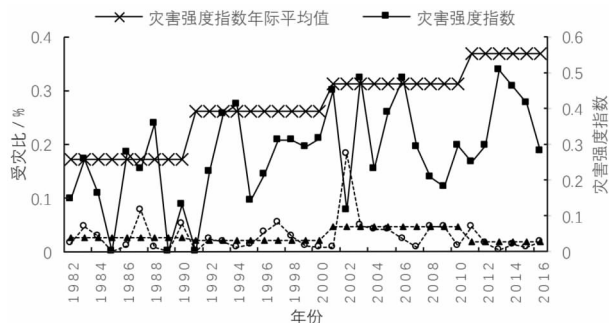


图4 黑龙江省 1982—2016 年冰雹受灾比和灾害强度指数时间序列

2.2.4 黑龙江省低温冷害时序动态趋势

据 1982—2016 年资料统计, 全省平均每年冷害受灾面积为 $0.26 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。受灾面积虽然远远小于洪涝和干旱的受灾面积, 但冷害仍然是导致黑龙江省农业重大损失的重要因素之一。从图 5、

表 1、表 2 可以看出, 黑龙江省冷害受灾范围整体变化趋势不明显, 灾害强度指数逐年呈波动性。从年际上看, 受灾比和灾害强度振幅变化不大。由于全球气候变暖, 低温冷害发生频次近些年略有减退, 但气候异常现象增多, 特别是近些年设施农业栽培面积的不断扩大, 低温冷害潜在危害有不断扩大的趋势。典型冷害年 2002 年的受灾比也达到峰值。受灾面积为 $1.03 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。2003 年松嫩平原南部地区发生低温冷害和 2006 年全区域发生的低温冷害虽然在受灾范围上并不大, 但在灾害强度指数上都有体现。两种冷害对当年水稻造成了障碍型冷害, 具有区域性的特征, 受灾严重的地区空壳率达到了 40%。黑龙江省位于我国高纬度地区, 低温冷害造成农业损失风险是不可避免的, 只有针对不同区域, 了解灾害规律和受灾程度, 才能采取有效的栽培技术规避风险。

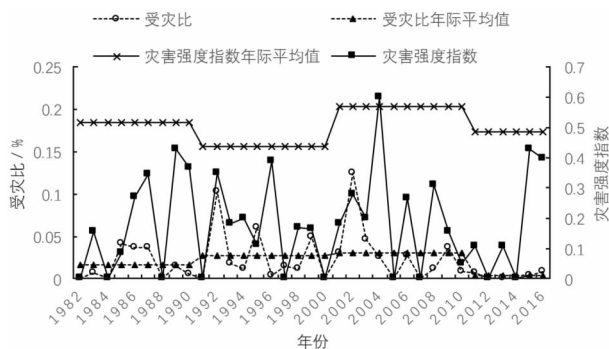


图5 黑龙江省 1982—2016 年低温冷害受灾比和灾害强度指数时间序列

综合上述分析可知, 1980 年代、1990 年代、21 世纪初是黑龙江省受灾严重的时段, 总灾害受灾比达在 0.40~0.44 之间, 整体仍然处于一个较高的水平, 随后总受灾比呈减少趋势。1980 年代后期洪涝灾害也呈减少趋势。对于旱灾而言, 除 2011—2016 年之外, 黑龙江省干旱受灾比均保持较高水平, 1980 年代和 1990 年代数值变化不大后期有增高趋势; 冰雹灾害和低温冷害的受灾比相对较小且稳定。从受灾强度上看, 1980 年代黑龙江省农业气象灾害对粮食生产影响较大, 后期逐渐减少。洪涝灾害变化不明显, 干旱灾害在 1990 年代的影响最为严重, 低温冷害的影响呈波动性, 值得注意的是冰雹灾害的影响呈不断增大的趋势, 应引起注意。

2.3 水稻产量与主要农业气象灾害的关联分析

2.3.1 水稻单产与受灾范围的关联分析

由于黑龙江省 4 类农业气象灾害的绝收面积仅在 1982 年后有数据, 故在农业气象灾害的关联分析中, 以 1982 年为时间起点, 把 1982—2016 年分为 4 个阶段进行分析, 其中: 第 1 阶段(1982—1990 年), 第 2 阶段(1991—2000 年), 第 3 阶段

(2000 – 2010 年)，第 4 阶段(2011 – 2016 年)。以某一阶段黑龙江省水稻单产为参考数列，以同期黑龙江省水稻 4 类农业气象灾害(洪涝、干旱、低温冷害、冰雹)受灾比为比较数列，计算黑龙江省水稻单产和 4 类农业气象灾害受灾比的关联度(表 3)。

结果表明，在受灾范围分析中，从灾害种类上看，干旱与黑龙江省水稻单产的关联度(0.680 9)最大，说明干旱对水稻单产影响最大，但洪涝灾害在第 1、3、4 阶段均排在首位，影响程度不容忽视。整体来看，干旱和洪涝灾害对黑龙江省水稻单产危害较大、冷害和冰雹灾害对黑龙江水稻单产危害相对较小。其中第 1 阶段关联度排序来看，洪涝 > 冷害 > 冰雹 > 干旱，也就是说期间水稻单产受灾范围影响最大的灾害是洪涝灾害。第 2 阶段关联度排序，干旱 > 冰雹 > 冷害 > 洪涝，此阶段干旱灾害影响比较严重。第 3 阶段和第 4 阶段的关联度排序均相同，洪涝 > 干旱 > 冷害 > 冰

雹，后两个时期，洪涝灾害均成为影响水稻单产的关键气象灾害，而冷害和冰雹灾害的影响逐渐减弱。故从受灾范围角度看，就目前现阶段洪涝灾害对黑龙江省水稻生产具有较大影响，水稻种植农户需要特别关注洪涝灾害。从各时期来看，第 1 阶段，各类气象灾害对水稻单产影响最小，关联度仅为 0.596 2。随着时间的推移，各类气象灾害受灾范围对水稻单产的危害逐渐加大，到了第 4 阶段，关联度平均值达到 0.7133，是各类气象灾害受灾范围对水稻生产影响最重的时期。总体上，除旱灾和洪涝灾害的影响程度呈波动变化外，冰雹、低温冷害的影响程度均不断增大。

2.3.2 水稻单产与灾害强度指数的关联分析

在灾害强度分析中，以某一阶段黑龙江省水稻单产为参考数列，以同期黑龙江省水稻 4 类农业气象灾害(洪涝、干旱、低温冷害、冰雹)强度指数为比较数列，计算黑龙江省水稻单产和 4 类农业气象灾害强度指数的关联度(表 4)。

表 3 水稻单产与受灾比的灰色关联分析

| 阶段 | | 洪涝 | 干旱 | 冷害 | 冰雹 | 平均值 |
|-------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1982 – 1990 | 关联度 | 0.7024 | 0.5033 | 0.6338 | 0.5451 | 0.5962 |
| | 关联序列 | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 |
| 1991 – 2000 | 关联度 | 0.5650 | 0.7364 | 0.5827 | 0.7059 | 0.6475 |
| | 关联序列 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 2001 – 2010 | 关联度 | 0.7326 | 0.7082 | 0.6957 | 0.6666 | 0.7008 |
| | 关联序列 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| 2011 – 2016 | 关联度 | 0.6706 | 0.7758 | 0.6607 | 0.7460 | 0.7133 |
| | 关联序列 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 |
| 平均值 | 关联度 | 0.6677 | 0.6809 | 0.6432 | 0.6659 | |
| | 关联序列 | 2 | 1 | 4 | 3 | |

表 4 水稻单产与灾害强度指数的灰色关联分析

| 阶段 | | 洪涝 | 干旱 | 冷害 | 冰雹 | 平均值 |
|-------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1982 – 1990 | 关联度 | 0.6405 | 0.5676 | 0.6373 | 0.6152 | 0.6152 |
| | 关联序列 | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 |
| 1991 – 2000 | 关联度 | 0.6910 | 0.7353 | 0.6512 | 0.7589 | 0.7091 |
| | 关联序列 | 3 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| 2001 – 2010 | 关联度 | 0.6745 | 0.5797 | 0.6613 | 0.7167 | 0.6581 |
| | 关联序列 | 2 | 4 | 3 | 1 | 2 |
| 2011 – 2016 | 关联度 | 0.6454 | 0.6197 | 0.6461 | 0.6303 | 0.6353 |
| | 关联序列 | 2 | 4 | 1 | 3 | 3 |
| 平均值 | 关联度 | 0.6629 | 0.6256 | 0.6489 | 0.6803 | |
| | 关联序列 | 2 | 4 | 3 | 1 | |

表 5 作物播种 – 成熟期灾害损失率

| 作物播种 – 成熟期灾害损失率/% | | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 灾害 | 洪涝 | 干旱 | 霜冻 | 低温 | 病虫害 | 大风 | 冰雹 | 其它 | 总计 |
| 损失率 | 59.2 | 21.1 | 5.0 | 1.2 | 5.0 | 2.0 | 4.5 | 2.0 | 100 |

结果表明,从灾害种类上看,每个阶段,除旱灾外,冰雹灾害、洪涝灾害、低温冷害的灾害强度指数与黑龙江省水稻单产的关联度都有排在首位的时期,说明都曾经占主导地位,并没有明显的规律特征。整体来看,冰雹和洪涝灾害对黑龙江省水稻单产危害较大、冷害其次,而旱灾对黑龙江水稻单产的危害相对较小。其中第1阶段关联度排序来看,洪涝>冷害>冰雹>干旱,在此期间对水稻单产影响最大的灾害是洪涝灾害。第2阶段关联度排序,冰雹>干旱>洪涝>冷害,第3阶段关联度排序,冰雹>洪涝>冷害>干旱,这两个时期冰雹灾害强度指数与水稻单产的关联度位居第一,说明从灾害强度来看此期间冰雹灾害对水稻单产的影响比较严重,是关键的气象灾害。第4阶段关联度排序,冷害>洪涝>冰雹>干旱,低温冷害成为影响水稻单产的关键气象灾害,而旱灾的影响逐渐减弱。气候变暖虽然增加黑龙江省的热量资源,扩大了水稻种植区域,但气候的不稳定性,增加了灾害风险,低温冷害对水稻单产的影响仍然不容忽视,所以不能得出全球温暖化导致冷害风险下降这样的结论。近些年低温冷害仍然是黑龙江水稻减产的主要因素,水稻种植户需注意防范。从各时期来看,第1阶段,各类气象灾害对水稻单产影响相对最小,第2阶段,是各类灾害影响水稻单产最严重的时期,关联度平均值达到0.709 1。随后第3阶段、第4阶段关联度平均值有所降低,分别为0.658 1和0.635 3。

综合上述结果分析得知,对于水稻而言,无论是受灾范围还是灾害强度,4类气象灾害的影响程度存在差异,各个阶段同种气象灾害对水稻生产的影响也不断发生变化。相对于气象灾害强度对水稻的影响,受灾范围对水稻的影响呈增长趋势,也就说明目前受灾范围对水稻生产的负面影响更为显著。

3 讨论

农业气象灾害是自然灾害中发生最为频繁而又造成严重损失的灾害,利用1982-2016年的黑龙江省农业经济损失资料,计算灾害损失率,结果表明,在作物生长期,洪涝、干旱、低温冷害(包括霜冻)和冰雹对全省农业经济的损失约占各种气象灾害对农业经济损失总和的91%(表5),可见此4种灾害是造成黑龙江省农业经济损失的主要气象灾害,这与全国^[32]及其他省份^[9,12,25]的研究结果相一致。另由表5还可看出,在危害程度

上,洪涝危害影响最大,约占60%,1991年、1998年发生特大洪水,造成全省经济损失分别高达49亿元和296亿元^[33],损失之严重即充分印证了洪涝危害之巨大。近年来,极端天气事件多有发生,洪涝灾害发生频次也愈来愈高,洪涝灾害造成的经济损失越来越大^[34],加之其危害程度最大,因此在农业生产决策及防灾减灾方面应给予重点关注。

已有研究多偏重单因素角度^[9,35]或单灾种^[36-37]对粮食产量的影响分析,并且以往研究很少定量评价多种灾害与水稻产量之间的相对重要程度,而本研究依据受灾范围及受灾强度两方面因素对水稻产量波动性综合影响进行了量化分析。针对气象灾害数据的样本少、无规律性等特点,利用灰色关联分析方法,探索出各因子间的相互关系,可以清晰地分析出不同因子的主次关系,并更加准确识别不同阶段影响水稻的关键气象灾害,进而客观分析各类农业气象灾害对水稻产量的影响,为防灾减灾措施的制定提供气象参考。

研究发现,各类农业气象灾害在不同时期的发生和危害不尽相同,主要受气候、地域和农作物自身抗灾能力的影响。农业部门制定防灾减灾措施时也要综合考虑自然因素、作物品种、种植制度等。本研究仅针对水稻一种作物,其它不同种类作物与农业气象灾害的关联趋势有待进一步研究。

4 结论

(1)根据1982-2016年黑龙江省农作物灾害面积统计数据分析,影响农业生产的主要气象灾害是旱灾、涝灾、低温冷害和冰雹灾害。其中旱灾和涝灾所占比值最大,对农业生产的危害程度也相对最大;低温冷害和冰雹灾害所占比重相对较小,对农业生产的危害程度影响较轻。1980年代为黑龙江省受灾最严重的时期,涝灾受灾比相对较大,是影响黑龙江省最为严重的气象灾害;1980年代后黑龙江省总灾害呈减少趋势,1990年代及21世纪以后干旱受灾比相对较大,黑龙江省处于相对干旱的阶段。冰雹灾害和低温冷害受灾比重不大,比较稳定,但冰雹灾害的强度不断增大。整体来看,气象灾害的受灾范围和灾害强度对粮食作物的影响均不断降低。

(2)对于水稻来说,从受灾范围看,干旱是影响黑龙江省水稻单产的关键气象灾害,洪涝次之,低温冷害和冰雹灾害影响较小。近些年,洪涝灾

害对水稻生产的负面影响日益凸显,逐渐成为关键的气象因子。研究期内受灾范围的影响呈增长趋势,今后水稻的防灾减灾工作重点是减少受灾范围。

(3)从受灾强度看,冰雹灾害对黑龙江省水稻生产影响是最大的,是关键农业气象灾害;洪涝和低温冷害次之,旱灾影响最小。近年低温冷害成为影响水稻单产的关键农业气象灾害,应加大重视。

参考文献:

- [1] 朱丽娟,吴焕,孟雪婧. 黑龙江省农业自然灾害及其影响分析[J]. 广东农业科学, 2012(4): 209-211.
- [2] ZHANG Z, CHEN Y, WANG P, et al. Spatial and temporal changes of agro-meteorological disasters affecting maize production in China since 1990[J]. Natural Hazards, 2014, 71(3): 2087-2100.
- [3] 温丹苹,李静,何朋飞. 黑龙江省农业气象灾害与大豆产量的灰色关联分析[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(4): 56-62.
- [4] 郭建平. 农业气象灾害监测预测技术研究进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5): 620-630.
- [5] 张云, 巩在武. 基于灰关联分析的时间序列改变点搜索研究-以华东地区农业受灾面积序列为例[J]. 灾害学, 2012, 27(3): 64-68.
- [6] 李昊儒,毛丽丽,梅旭荣,等. 近30年来我国粮食产量波动影响因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(10): 1-10, 16.
- [7] 金菊良,张浩宇,陈梦璐,等. 基于灰色关联度和联系数耦合的农业旱灾脆弱性评价和诊断研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 1-7.
- [8] 李德,吴冕. 灾害性天气事件长期预测的灰色理论方法及实例应用[J]. 灾害学, 1988(4): 11-15.
- [9] 马雅丽,栾青,王志伟,等. 山西省主要农业气象灾害变化特征及其对农作物产量的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(增1): 150-154.
- [10] 柳芬,谢世友,冯欢,等. 四川省粮食产量影响因素的动态关联分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10): 320-324.
- [11] 杨奇勇,李景保,冯发林. 湖南2005年农业旱灾及其抗旱效益的优势分析[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 69-72.
- [12] 林志宇,田贵良. 气象灾害对福建粮食产量影响的灰色关联分析[J]. 中国农业气象, 2016, 37(1): 77-83.
- [13] 周明旭. 黑龙江省水稻生产可持续发展研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [14] 王秋京,马国忠,李宇光,等. 黑龙江省主要农业气象灾害特征及其对粮食产量影响的灰色关联分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(5): 823-827.
- [15] 徐富贤,张林,熊洪,等. 杂交水稻中后期洪涝淹没与产量损失的关系[J]. 作物学报, 2016, 42(9): 1381-1390.
- [16] 姜丽霞,陈可心,刘丹,等. 2013年黑龙江省主汛期降水异常特征及其对作物产量影响的分析[J]. 气象, 2015, 41(1): 105-112.
- [17] 江学海,李刚华,王绍华,等. 不同生育阶段干旱胁迫对杂交稻产量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(2): 173-181.
- [18] 于美芳,王新鹏,段云轩,等. 分蘖期干旱胁迫对寒地粳稻光合特性及产量形成的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(9): 1794-1802.
- [19] 刘晓菲,张朝,帅嘉冰,等. 黑龙江省冷害对水稻产量的影响[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1223-1232.
- [20] 姜丽霞,季生太,李帅,等. 黑龙江省水稻空壳率与孕穗期低温的关系[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1725-1730.
- [21] 马树庆,刘晓航,邓奎才,等. 幼穗形成期低温对水稻结实的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(1): 125-132.
- [22] 李能建,王伟,金英,等. 灾害天气对黑龙江省粮豆生产的影响和建议[J]. 大豆通报, 2007(6): 7-9, 24.
- [23] 杨卫东. 黑龙江省气象灾害防御技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 97-102.
- [24] 陈莉,韩冰,李百超,等. 黑龙江省农业气象灾害服务需求分析[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 78-82.
- [25] 赵先丽,李丽光,贾庆宇,等. 1988-2007年辽宁主要农业气象灾害分析[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(2): 33-37.
- [26] 高茂盛,范建忠,吴清丽. 旱涝灾害对陕西省粮食生产的影响研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(3): 149-153.
- [27] 赵映慧,郭晶鹏,毛克彪,等. 1949-2015年中国典型自然灾害及粮食灾损特征[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1261-1276.
- [28] 杨春艳,沈渭寿,李海东. 1985-2010年西藏粮食产量对气候和耕地变化的响应[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 261-269.
- [29] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [30] 周伟灿,魏炜. 基于灰色关联度法的雾灾损失评估模型研究[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 12-15.
- [31] 潘华盛,王勇,邹斌,等. 黑龙江省2012年后由暖干转暖湿型气候变化及预测分析[J]. 黑龙江大学学报, 2013, 4(3): 45-50.
- [32] 卢丽萍,程从兰,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.
- [33] 姜蓝齐,马艳敏,张丽娟,等. 基于GIS的黑龙江省洪涝灾害风险评估与区划[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(5): 238-246.
- [34] 孔坚文,王连喜,李琪,等. 陕西省主要农业气象灾害分析及其对粮食产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(4): 220-226.
- [35] 张星,陈惠,周乐照. 福建省农业气象灾害灰色评价与预测[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 43-46.
- [36] 刘佩,刘峰贵,周强,等. 河南省水旱灾害时空分布特征及与粮食产量关系[J]. 中国农学通报, 2011, 27(29): 290-295.
- [37] 高茂盛,范建忠,吴清丽,等. 旱涝灾害对陕西省粮食生产的影响研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(3): 149-153.

Variance Characteristics of Agro-meteorological Disasters and Effects of Rice Yield in Heilongjiang Province

WANG Qiujiang¹, MA Guozhong², ZHU Haixia¹, JI Yanghui¹, QU Huihui¹, HE Feng¹,
ZHAI Mo¹, GAO Ming³, JIANG Lixia¹

(1. *Innovation and Opening laboratory of Regional Eco-Meteorology in Northeast, China Meteorological Administration/Meteorological Academician Workstation of Heilongjiang Province/Heilongjiang Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030, China*; 2. *Heilongjiang Meteorological Observatory, Harbin 150030, China*; 3. *Heilongjiang Meteorological Bureau, Harbin 150001, China*)

Abstract: Based on the data of rice yield and agro-meteorological disasters such as flood, drought, low temperature and hail from 1982 to 2016. Variance characteristics of agro-meteorological disasters and effects of rice yield in Heilongjiang province were analyzed through mathematical statistics and gray correlation from 1982 to 2016. This model considered the disaster-affected range and the disaster intensity according to the disaster ratio from four stages, namely, 1982 – 1990、1991 – 2000、2001 – 2010 and 2011 – 2016. The results showed that (1) The most severe disaster were flood and drought, then, low temperature and hail with no significant impact. (2) The disaster-affected range and intensity of flood and drought show a decreasing trend, while drought shows a falling trend after rising trend. The disaster-affected range of hail changed little while the disaster intensity showed an increasing trend, and low temperature did a small change. (3) The agro-meteorological disasters had a negative impact on rice yield in Heilongjiang province. In the view of the disaster-affected range, the drought disaster was the key agricultural meteorological disasters to influence rice yield, followed by flood, low temperature and hail was less affected in Heilongjiang province. In the view of the disaster intensity perspective, the impact of the most serious disaster on rice yield was hail, followed by flood, low temperature and drought in Heilongjiang province.

Key words: meteorological disaster; rice; disaster-affected range; disaster strength; disaster int grey correlation analysis

(上接第 63 页)

- [11] 王勇, 刘严萍, 李江波, 等. GPS 和无线电探空的水汽变化与 PM_{2.5}/PM₁₀ 变化的相关性研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2016, 41(12): 1626 – 1630.
- [12] 王勇, 郝振航, 任栋, 等. 中国大陆地区 GNSS 对流层延迟与

PM_{2.5} 浓度的相关性研究[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 6 – 10.

- [13] 王笑蕾, 张勤, 张双成. 基于 EMD 和 WD 联合算法的 GPS 水汽时间序列的周期性振荡分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(4): 620 – 628.

Study on Short-term Precipitable Water Vapor Periodic Change based on Fast Fourier Transform

LIU Yanping

(*School of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China*)

Abstract: Precipitable water vapor (PWV) is very important for the formation of heavy precipitation, PM particles and haze. The short-term periodic change of PWV can provide reference for rainstorm warning and haze formation mechanism analysis. In this paper, fast Fourier transform (FFT) is used to study the short-term PWV periodic change. The FFT method was used to analyze the period of radiosonde PWV. The GNSS short-time change period analysis was carried out by using the FFT method, and compared with the change period of temperature, relative humidity and air pressure. It is found that PWV has daily, semi-daily and 3-hour (nearly 3-hour) cycles. Compared with temperature, relative humidity and air pressure, PWV not only has the same diurnal period and semi-diurnal period, but also has shorter period changes, indicating that PWV is more sensitive to solar radiation.

Key words: precipitable water vapor; GNSS; radiosound; fast Fourier transform