文章编号:1672-3031(2020)02-0021-10

东北三省典型气象灾害对粮食生产影响特征研究

杨晓静[1,2,3], 孙洪泉[1,2], 吕 娟[1,2], 徐宗学[3,4]

(1. 中国水利水电科学研究院 防洪抗旱减灾研究所, 北京 100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038; 3. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 4. 城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室, 北京 100875)

摘要: 基于改进后的Mann-Kendall趋势检验方法(MMK)对东北三省1949—2015年各省主要作物种植时序变化特征进行研究。利用1949—2015年该地区典型气象灾害(干旱、洪涝、低温、风雹、台风)的受灾、成灾及绝收面积构建对应灾害类型的灾害减产成数, 并利用趋势分析、脱钩关系评价模型评价识别各类灾害对东北三省粮食生产的影响特征。研究结果表明: 1949—2015年东北三省粮食作物种植面积比例降低趋势显著, 典型作物产量由高到低为: 玉米、稻谷、小麦及大豆, 且四种作物产量均呈增加趋势。东北三省受灾害影响程度由高到低分别为: 旱灾、洪涝、风雹、低温及台风。粮食种植面积和粮食产量与典型气象灾害间的脱钩关系相似, 2000年以来东北三省旱灾和洪涝灾害与种植面积间以绝对脱钩关系为主。

关键词: 种植结构; 种植面积; 产量; 灾害减产成数; 脱钩关系

中图分类号: S42 **文献标识码:** A **doi:** 10.13244/j.cnki.jiwhr.2020.01.003

1 研究背景

东北三省是我国重要的粮食主产区和重要的农牧基地。该地区农业生产与我国其他省份有一定区别, 该区生产的粮食主要面对市场销售, 且商品粮比例高达91.5%。东北三省1978—2015年农作物受旱灾、风雹、冷冻及洪涝灾害造成的经济损失分别为: 844.87亿元、116.96亿元、58.29亿元、322.68亿元[1]。当前针对东北三省农业气象灾害方面的研究主要集中在气象灾害时空分布特征与风险评价、单种类别作物受气象灾害影响特征及基于农业灾情的灾损分析研究[2-5]。为进一步深入了解东北三省种植结构特征与典型气象灾害对粮食生产的影响特征, 文中拟对1949—2015年典型作物(稻谷、玉米、小麦及大豆)、粮食作物、农作物种植面积及其产量特征进行分析。同时, 分析东北三省农业生产过程易遭受的气象灾害类型特征, 并分别对旱灾、洪涝灾害、低温灾害、风雹及台风对该地区造成的农业生产影响进行对比分析, 旨在为进一步提升农业生产抗风险能力提供参考借鉴。

2 资料与方法

2.1 数据资料

文中所用的数据主要包括: 历史旱涝资料、种植面积与产量、自然灾害数据。

(1)历史旱涝资料。《全国近五百年旱涝分布图》(1470—1977年)图集数据源于国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据共享平台(http: //www.geodata.cn)。

(2)典型作物种植面积与产量数据。1949—2015年东北三省省级尺度上的农作物种植面积、产量及亩产数据下载于我国农业部种植业管理司(http: //www.zzys.moa.gov.cn/)。

(3)自然灾害数据。1949—2015年黑龙江省、吉林省、辽宁省及全国受5类典型气象灾害(干

收稿日期: 2019-06-03

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC1502404); 中国水科院基本科研业务费项目(JZ0145B582017)

作者简介: 杨晓静(1988-), 博士, 工程师, 从事干旱监测与旱灾风险方面研究。E-mail: yangxj@iwhr.com

通讯作者: 徐宗学(1962-), 博士, 教授, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: zxxu@bnu.edu.cn

旱、洪涝、低温、风雹及台风)的受灾面积、成灾面积及绝收面积。数据来源农业部种植业管理司(http：//www.zzys.moa.gov.cn/)。

2.2　研究方法

2.2.1　*改进的Mann-Kendall趋势检验*　Mann-Kendall(MK)趋势检验是一种非参数的趋势分析方法且已被广泛应用于水文气象数据分析[6,7]，但是该方法中未考虑待检测数据序列中自相关因素对趋势变化的影响。改进的Mann-Kendall趋势检验方法计算过程中通过对统计变量的方差进行改进，从而实现降低数据系列自相关对趋势检验结果的影响[8]。针对一列具有时间序列的数据进行趋势检验 $X=\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$，数据统计量为$S$，计算公式如下：

$$S=\sum_{i<j} a_{ij} \tag{1}$$

其中，

$$a_{ij}=\mathrm{sign}\left(x_j-x_i\right)=\begin{cases}1 & x_i<x_j\\ 0 & x_i=x_j\\ -1 & x_i>x_j\end{cases} \tag{2}$$

x_i 和 x_j 分别为第i年和第j年数据，n为趋势分析数据的个数。S受自相关影响下的方差计算公式如下：

$$V(S)=var(S)\cdot n/n_s^*=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}\cdot n/n_s^* \tag{3}$$

式中 n/n_s^* 表示原数列的自相关性影响系数。计算公式如下：

$$\frac{n}{n_s^*}=1+\frac{2}{n(n-1)(n-2)}\times\sum_{i=1}^{n-1}(n-i)(n-i-1)(n-i-2)\rho_s(i) \tag{4}$$

$\rho_s(i)$ 为数据秩的自相关计算公式。数据系列的显著性分析是利用统计变量 $Z\left(Z=S/\left[V(S)\right]^{0.5}\right)$ 在显著性水平为0.05来进行判断。趋势斜率为β计算公式如下：

$$\beta=Median\left[\frac{\left(X_j-X_i\right)}{(j-i)}\right]\quad i<j \tag{5}$$

2.2.2　*灾害减产成数*　为进一步明确东北三省遭受的主要气象灾害特点，参考《干旱灾害等级标准》(SL663-2014)农业干旱灾害评估指标，采用农业旱灾综合减产成数(C指数)并将其推广到干旱、洪涝、低温、风雹及台风这五类典型气象灾害。计算公式如下：

$$C=I_3\times 90\%+\left(I_2-I_3\right)\times 55\%+\left(I_1-I_2\right)\times 20\% \tag{6}$$

式中：C为综合减产成数；I_1为受灾(减产1成以上)面积占播种面积的比例；I_2为成灾(减产3成以上)面积占播种面积的比例；I_3为绝收(减产8成以上)面积占播种面积的比例。

表1　农业旱灾等级划分表

旱灾等级	轻度旱灾	中度旱灾	严重旱灾	特大旱灾
综合减产成数/%	$0.10<C\leqslant 0.20$	$0.20<C\leqslant 0.30$	$0.30<C\leqslant 0.40$	$C>0.40$

以旱灾为例，根据综合减产成数结果可将旱灾分为四类，即：轻度旱灾、中度旱灾、严重旱灾及特大旱灾。划分标准见表1。其余类别灾害受灾等级划分标准与旱灾一致。

2.2.3　*脱钩评价模式及指标构建*　脱钩关系评价源于经济学中，其中主要存在的评价模式包括：经济总产量和物 质总消耗间的关系研究；物质消耗强度研究[9-11]。经济学中脱钩关系特征的主要内涵为一段时期内，某类资源的消耗速度小于经济增长速度，则表示为相对脱钩或虚弱脱钩关系[9,12-14]。为能够更客观的分析东北三省典型气象灾害对粮食生产的影响，文中引入经济学中的脱钩关系评价模

式，借鉴脱钩关系内涵及其代表性评价指标[10]。结合粮食生产受灾影响的特点，以粮食种植面积、粮食产量与灾害减产成数进行脱钩关系判断。脱钩关系指标构建过程中以指标本身能够反映数据样本在总体中的变化趋势特征为准则。构建的脱钩指标计算公式如下：

$$D(i)=\frac{x_i-\bar{x}}{x_{\max}-x_{\min}} \tag{7}$$

式中：x_i为第i年需计算脱钩指数的值；$\bar{x}$为数列的均值；$x_{\max}$为数列的最大值；$x_{\max}$为数列的最小值。因此进行脱钩评价的单指标本身代表该年份对应多年平均的变化程度，以种植面积为例：正值表示对应种植面积呈增加趋势，负值则表示减少。

脱钩关系判断过程中利用指示性脱钩指数D_i与灾害脱钩指数D_h进行判断。判断标准中指示性脱钩指数为对比的基准标准，在文中指粮食作物种植面积、粮食产量对应的脱钩指数；而灾害脱钩指数即对应文中灾害减产成数的脱钩指数。脱钩关系类型判断标准详见表2。

表2　脱钩关系判断标准

序号	脱钩指数		判断标准	
	指示性钩指数 D_i	灾害脱钩指数 D_h	关系	脱钩类型
1	$D_i>0$	$D_h>0$	$D_i>D_h$	相对脱钩
2			$D_i<D_h$	扩张耦合
3	$D_i<0$	$D_h>0$		负向耦合
4	$D_i<0$	$D_h<0$	$D_i>D_h$	衰退脱钩
5			$D_i<D_h$	衰退耦合
6	$D_i>0$	$D_h<0$		绝对脱钩

3　结果与分析

3.1　作物种植结构特征

3.1.1　种植面积变化特征　文中选择稻谷、玉米、小麦及大豆作为东北三省典型作物，典型作物种植面积即为这4种作物种植面积之和。东北三省这4种作物种植面积之和占粮食/农作物种植面积比例为72.14%/62.86%。

东北三省玉米种植面积占全国玉米种植面积的26.47%（表3），与其余三种典型作物相比，玉米种植面积及其占粮食/农作物种植面积比例均最高，且种植面积增幅最大（89.18千公顷/年）。改进的非参数MK趋势检验结果表明东北三省稻谷种植面积均呈显著增加的趋势，但是全国范围内稻谷种植面积则呈相反变化趋势，见表4。东三省小麦多年平均种植面积为1273.27千公顷，占全国比例为4.69%，1960年—1980年增加趋势明显，而后呈相反变化趋势。

多年平均大豆种植面积为3113.06千公顷/年，占全国大豆种植面积的35.91%。总体上，全国大豆种植面积减小趋势显著（–30.19千公顷/年），而东北三省总体上显著增加（11.31千公顷/年）。东北三省大豆种植面积整体增加显著，主要是由于黑龙江省大豆种植面积显著增加（30.52千公顷/年）。

表3　1949—2015年作物多年平均种植面积　（千公顷）

种类	黑龙江	吉林	辽宁	全国	三省总和	东三省占全国比例/%
稻谷	841.12	367.47	409.80	30907.93	1618.38	5.24
玉米	2226.66	1900.82	1331.14	20624.43	5458.62	26.47
小麦	1102.67	92.20	81.15	26422.42	1273.27	4.82
大豆	2105.92	585.32	421.82	8668.98	3113.06	35.91
典型作物	6276.36	2943.05	2243.90	86623.76	11463.32	13.23
粮食作物	7713.17	4124.13	3604.98	115487.08	15442.28	13.37
农作物	8646.49	4614.90	4266.59	149071.75	17527.98	11.76

综合对比各类作物在不同区域种植面积特征可知：(1)东北三省整体上，粮食占农作物种植面积比例高达88.07%，1949—2015年该地区粮食作物种植面积比例降低趋势显著(−0.07%)。(2)省份尺度上，黑龙江各典型作物、粮食及农作物种植面积均大于其余两省，1949—2015年仅小麦种植面积略为减小，其余作物种植面积均显著增加。典型作物中种植面积由大到小分别为：玉米、大豆、小麦及稻谷；吉林省与辽宁省典型作物、粮食及农作物种植面积变化特征相似，1949—2015年稻谷及玉米种植面积显著增加，但是小麦、大豆及粮食种植面积则显著减小，而典型作物整体种植面积均显著增加。三省中仅辽宁省农作物种植面积呈显著减小趋势。

表4　1949—2015年作物种植面积变化趋势　（单位：千公顷/a）

种类	黑龙江	吉林	辽宁	全国	三省总和	东三省占全国比例
稻谷	32.69*	9.52*	7.95*	−2.57	53.92*	0.12*
玉米	28.13*	39.11*	20.65*	279.78*	89.18*	0.07*
小麦	−11.01	−1.92*	−1.29*	31.26	−14.81*	−0.04*
大豆	30.52*	−10.67*	−9.36*	−30.19*	11.31*	0.21*
典型作物	80.33*	37.15*	20.91*	292.27*	148.35*	0.09*
粮食	59.23*	−0.57	−23.40*	−309.29*	42.78*	0.04*
农作物	78.66*	1.98	−20.28*	306.64*	65.38*	0.01*

备注：*加粗数字表示具有显著性趋势(显著性水平0.05)

3.1.2　作物产量变化特征　从种植面积上看，玉米是我国第三大作物，其种植面积仅次于稻谷和小麦。但四种典型作物中，全国多年平均玉米产量仅次于稻谷。而东北三省多年平均玉米产量均高于其余三种作物，其多年平均玉米产量占全国玉米产量比例高达29.76%(表5)，各省产量由高到低分别为：吉林、黑龙江及辽宁，对应各省玉米占粮食比例多年平均值分别为：53.91%、37.10%及46.02%。各省多年平均稻谷产量占粮食产量比例由高到低分别为：辽宁省(18.68%)、黑龙江省(15.45%)及吉林省(13.35%)。变化趋势方面：东三省稻谷产量年代际间变化特征一致，1949—2015年间三省稻谷产量及其占粮食产量的比例均显著增加。值得注意的是我国稻谷产量1990年后呈现略微下降的趋势，但是1949—2015年整体上我国稻谷产量以252.57万t/a的趋势增加。东北三省多年平均小麦占粮食产量比例低于我国平均水平12.52%，且1980年后明显降低，但是全国整体趋势则相反。我国四种典型作物中大豆总产量最低，东北三省大豆产量占全国大豆产量高达40.84%。1949—2015年仅

表5　1949—2015年作物多年平均产量　（万t）

种类	黑龙江	吉林	辽宁	全国	三省总和	东三省占全国比例/%
稻谷	495.63	223.78	248.49	14028.43	967.90	5.62
玉米	847.63	948.67	608.00	7830.09	2404.29	29.76
小麦	189.17	11.07	15.20	6661.66	215.12	4.09
大豆	308.94	83.99	49.91	1064.00	442.84	40.84
典型作物	1841.37	1267.51	921.60	29584.18	4030.15	12.05
粮食	2066.96	1458.50	1173.44	34704.20	4698.89	12.69

表6　1949—2015年作物产量变化趋势　（万t/a）

种类	黑龙江	吉林	辽宁	全国	三省总和	东三省与全国之差
稻谷	21.88*	8.76*	8.00*	252.57*	39.80*	0.20*
玉米	24.12*	37.63*	19.41*	269.63*	82.52*	0.06*
小麦	0.90	−0.06*	0.01	194.89*	1.37	−0.08
大豆	7.38*	−0.19	−0.43*	13.19*	7.01*	0.15*
典型作物	54.28*	46.94*	27.44*	760.96*	136.15*	0.16*
粮食	57.08*	44.15	24.27*	755.02*	129.48*	0.10*

备注：*加粗数字表示具有显著性趋势(显著性水平0.05)

黑龙江省的大豆产量显著增加(表6)，年代际产量距平特征也相似。其余两省大豆产量均降低，且辽宁省降低趋势显著。

1949—2015年典型作物及粮食产量均呈显著增加，产量增加一方面是由于种植面积的增加；另一方面则是由于作物品种、耕种技术、施肥灌溉措施及其他农业种植配套的改善及提高。

3.2　灾害减产成数变化特征　基于中国近500年旱涝分布图集资料，对东北三省1470—1977年间干旱频次进行统计，该区干旱频率呈由南向北递减的趋势，干旱频发地区主要集中在辽宁省和吉林省，如图1所示。而东北三省洪涝发生频率明显高于干旱，洪涝风险空间分布特征与干旱相反。图集中干旱及雨涝事件发生判定标准主要基于降水，东北三省仅涉及10个代表站点，因此空间频率区划精度有待提高。东北三省典型站点整体上干旱频率低于洪涝频率，如图2所示。为能客观评价典型气象灾害对东北地区的影响，分别基于粮食播种面积、受灾面积、成灾面积及绝收面积计算了各类灾害对应的减产成数(表7)。

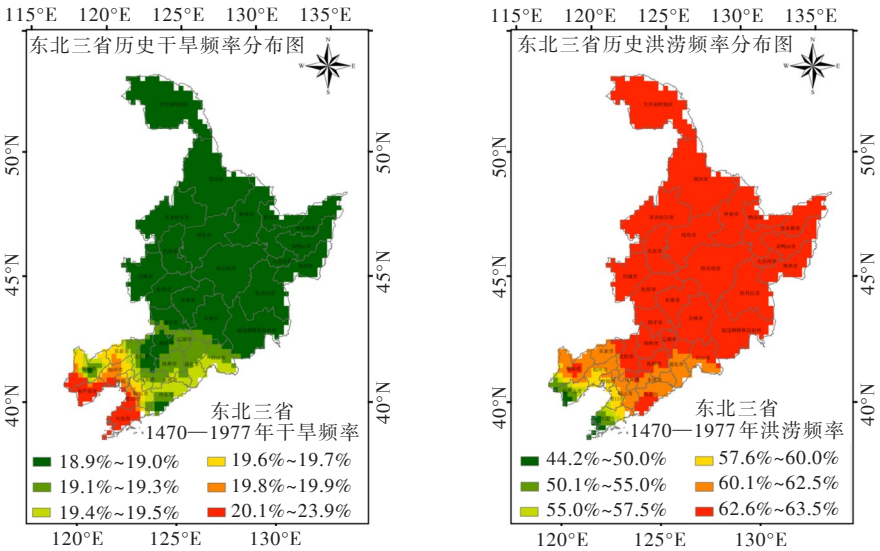

图1　东北三省1470—1977年旱涝频率空间分布图

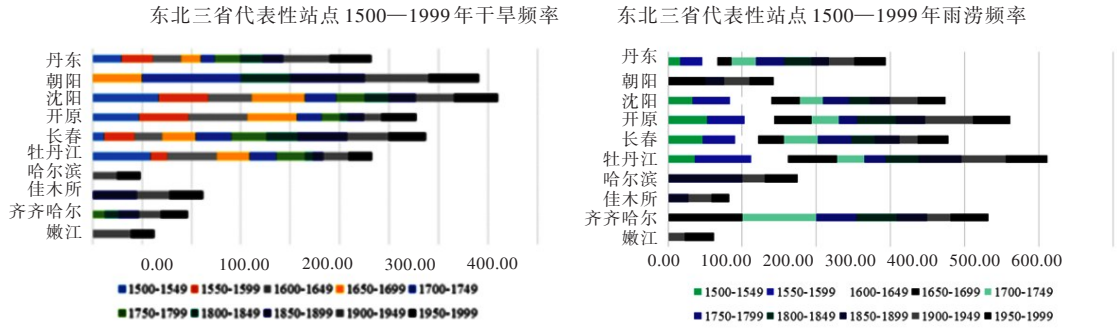

图2　东北三省近500年典型站点旱涝频率累积图

3.2.1　旱灾　东北三省整体多年旱灾减产成数高于全国旱灾减产成数，根据旱灾减产成数多年平均值可知三省受旱灾影响的程度由高到低为：辽宁、吉林及黑龙江省，该特征与近五百年干旱频率空间分布特征体现出的结果较为一致。1949—2015年间东北三省总体受旱灾影响程度最严重为2001年，旱灾减产数高达0.38，为严重旱灾等级。吉林省和辽宁省也在2001年遭受了最严重的农业旱灾，$C_{旱灾}$分别为：0.43、0.51，均达到特大农业旱灾等级。而黑龙江省受旱灾影响最严重的年份是2004年，为中度旱灾。东北三省和我国整体上$C_{干旱}$年代际间呈现相同变化趋势，即1950—2000年间旱灾影响程度持续增加，且1980年后农业旱灾造成的损失增加趋势更为明显(图3)。1949—2015年东北三省及全国受旱灾影响程度均显著增加，三省增幅由高到底排序与$C_{旱灾}$多年平均值一致(表8)。

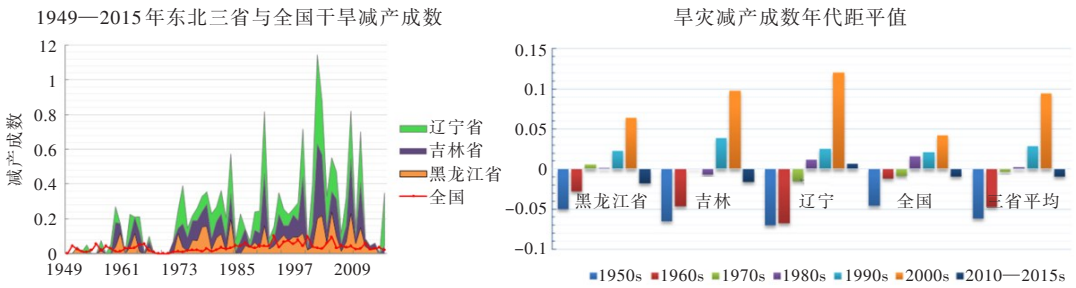

图3　1949—2015年东北三省及全国旱灾减产成数及其年代际距平图

3.2.2　洪涝灾害　根据$C_{洪涝}$多年平均值发现东北三省整体受洪涝灾害影响程度略高于全国，且三个省份多年平均$C_{洪涝}$相同(图4)。东北三省总体上在1986年的农业遭受了最严重的洪涝灾害，$C_{洪涝}$为0.3达到了严重灾害等级。吉林省(0.34)和辽宁省(0.35)也在1986年遭受了最严重洪涝灾害。而黑龙江省的农业受洪涝影响最严重的年份为1989年。东北三省与全国洪涝灾害年代际波动特征相似，均在1970年前及1990—2000年持续减小，其余年代际间则持续增加。1949—2015年东北三省及全国受洪涝灾害影响程度总体上均呈增加趋势，其中黑龙江省及全国农业受洪涝灾害影响程度增幅显著。

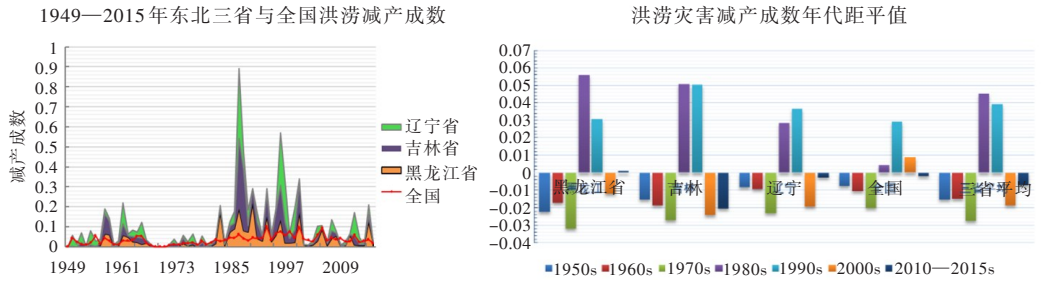

图4　1949—2015年东北三省及全国洪涝灾害减产成数及其年代际距平图

3.2.3　低温灾害　低温灾害多年平均减产成数值略低于全国平均值，其中黑龙江省与吉林省多年平均$C_{低温}$略高于辽宁省。1949—2015年$C_{低温}$年际间波动特征发现，东北三省黑龙江省受低温灾害影响最严重，且高于全国平均水平，低温灾害对吉林省的影响程度略高于辽宁省，如图5所示。建国以来整体上全国和东北三省受低温灾害影响的幅度均增加，其中东北三省整体及全国平均受低温灾害的影响增加显著。但是年代际特征则体现出东北三省整体在1980年前农业受低温影响呈增加趋势，此

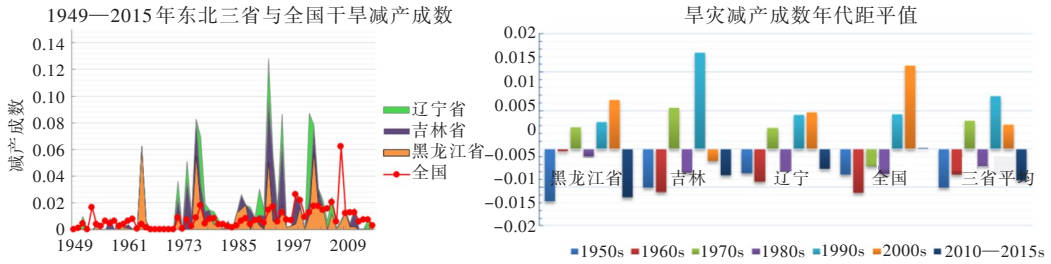

图5　1949—2015年东北三省及全国低温灾害减产成数及其年代际距平图

表7　1949—2015东北三省及全国典型气象灾害减产成数多年平均值

灾害种类	黑龙江	吉林	辽宁	全国	东三省	东三省与全国之差
旱灾	0.060	0.081	0.093	0.066	0.078	0.012
洪涝	0.036	0.036	0.036	0.034	0.036	0.002
低温	0.008	0.006	0.004	0.008	0.006	−0.002
风雹灾害	0.010	0.017	0.012	0.012	0.013	0.001
台风	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	−0.001

后变化趋势则相反，而三个省份的年代际变化特征差异明显。

3.2.4　风雹　东北三省整体上多年平均 $C_{风雹}$ 略高于全国平均水平，三省多年平均值由高到低分别为：吉林、辽宁和黑龙江。黑龙江省和东北三省平均受风雹灾害影响最严重的年份为1977年，吉林省为1981年，全国平均则为2003年。三省平均、吉林及辽宁省受风雹灾害的影响均在1980年代前后呈现相反变化趋势，1980年代前受风雹灾害持续增加，而后则相反。全国平均年代际特征则在1990年代前后呈相反变化趋势(图6)。1949—2015年东北三省及全国的农业生产受风雹灾害影响程度均显著增加。

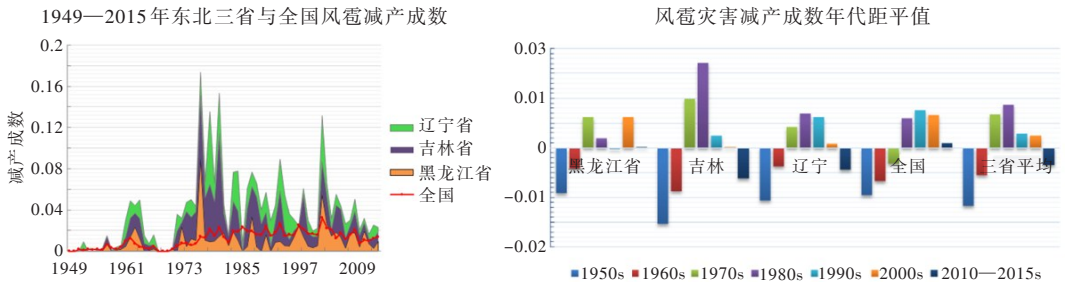

图6　1949—2015年东北三省及全国风雹灾害减产成数及其年代际距平图

3.2.5　台风　东北三省整体上受台风影响的频率较低，台风导致的农业损失均低于其他四种气象灾害。东三省中仅辽宁省东南部临海，受台风影响风险较大。比较三省多年平均台风减产成数值可知三省中农业受台风影响程度由高到底分别为：辽宁、黑龙江及吉林。1949—2015年东北三省及全国台风导致的农业损失无显著变化趋势。$C_{台风}$ 年代距平图反映出全国及东北三省均在1980年代后受台

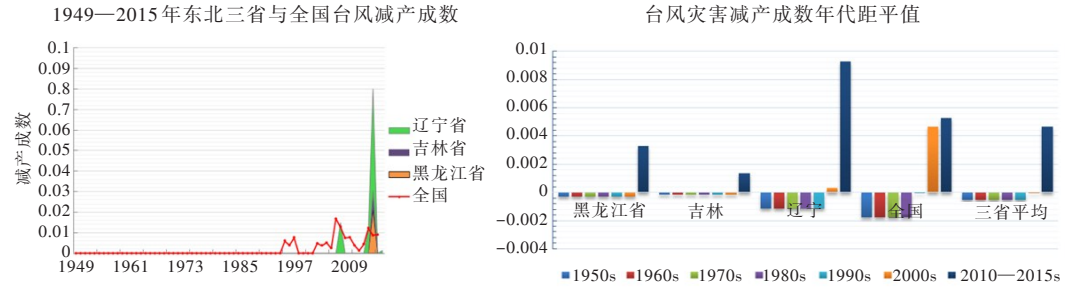

图7　1949—2015年东北三省及全国旱台风灾害减产成数及其年代际距平图

表8　1949—2015年东北三省及全国典型气象灾害减产成数MMK趋势检验结果

灾害类型	地区	*H*	*p_value*	*Slope*(/10a)	灾害类型	地　区	*H*	*p_value*	*Slope*(/10a)
旱灾	黑龙江	1	0.000	0.013	风雹	黑龙江	1	0.007	0.001
	吉林	1	0.002	0.022		吉林	1	0.037	0.004
	辽宁	1	0.000	0.024		辽宁	1	0.000	0.003
	全国	1	0.000	0.020		全国	1	0.000	0.004
	三省平均	1	0.000	0.021		三省平均	1	0.000	0.003
洪涝	黑龙江	1	0.035	0.005	台风	黑龙江	0	1.000	0
	吉林	0	0.061	0.007		吉林	0	1.000	0
	辽宁	0	0.472	0.001		辽宁	0	1.000	0
	全国	1	0.000	0.008		全国	0	0.627	0
	三省平均	1	0.038	0.007		三省平均	0	1.000	0
低温	黑龙江	0	0.088	0.001					
	吉林	0	0.102	0.000					
	辽宁	0	0.387	0.000					
	全国	1	0.000	0.002					
	三省平均	1	0.027	0.001					

备注：*H*=1即显著变化(显著性水平为0.05)，*H*=0表示无显著趋势；*Slope*即趋势变化值。

风影响明显增强，如图7所示。

东北三省/全国农业整体上受到的灾害影响由高到低分别为：旱灾、洪涝、风雹、低温及台风。综合对比这五种典型气象灾害，在不同区域尺度上呈现的主要特征为：(1)全国尺度上，仅台风对农业造成的影响无显著变化趋势，其余气象灾害对农业生产造成的损失均显著增加；(2)东北三省整体上，低温和风雹对农业造成的影响低于全国平均水平，其他三种灾害对东三省的影响程度均高于全国。1949—2015年典型气象灾害对农业的影响趋势与全国相一致。(3)省份尺度上，各省农业生产受气象灾害影响程度特征与全国相一致。1949—2015年间，黑龙江省农业生产受旱灾、洪涝及风雹灾害的影响均呈显著增加趋势，其余灾害对农业影响变化趋势不显著；吉林省和辽宁省农业受五种典型气象灾害影响的变化特征相同，即：农业受干旱和风雹灾害影响趋势显著增强，其余灾害对该省农业生产的影响变化不显著。

3.3　脱钩关系特征　利用文中构建的脱钩关系评价指标及其评价标准，得到东北三省及全国的粮食种植面积、粮食产量分别与各类灾害减产成数的脱钩关系类型。1949—2015年间，粮食种植面积、粮食产量与5类典型气象灾害的脱钩关系类型包括：相对脱钩、扩张耦合、负向耦合、衰退脱钩、衰退耦合、绝对脱钩。对比各省份粮食种植面积与粮食产量与各类气象灾害脱钩关系发现，基于种植面积和产量的脱钩类型上基本一致，但是各省份脱钩类型比例差异显著。为进一步明确区主导脱钩类型，文中将频率最高脱钩类型作为地区典型性脱钩关系类型(表9)。对比区域间典型脱钩类型发现：(1)粮食种植面积与5类气象灾害主要呈现的脱钩类型为绝对脱钩(50.0%)、衰退耦合(30.0%)、衰退脱钩(10.0%)、负向耦合(10.0%)。(2)粮食产量与各类典型气象灾害脱钩关系主要体现为衰退耦合关系(80.0%)，这表明东北三省粮食产量及灾害对粮食产生产影响范围均呈减小趋势，且粮食产量的减小速率更低。(3)粮食种植面积、粮食产量与灾害脱钩关系类型在同一省份较为一致，该特征在吉林省最为突出。

表9　区域典脱钩关系类型

类型	地区	旱灾		洪涝		低温		风雹		台风	
		频率	类型	频率	类型	频率	类型	频率	类型	频率	类型
种植面积	黑龙江	26.87	4	25.37	4	28.36	5	31.34	5	68.66	5
	吉林	37.31	6	47.76	6	40.3	6	38.81	6	52.24	6
	辽宁	40.3	6	37.31	5	40.3	5	34.33	6	49.25	5
	全国	34.33	3	38.81	6	37.31	6	44.78	3	44.78	6
产量	黑龙江	31.34	4	29.85	5	43.28	5	38.81	5	61.19	5
	吉林	37.31	5	47.76	5	40.3	5	32.84	5	55.22	5
	辽宁	31.34	5	34.33	6	37.31	5	26.87	5	44.78	6
	全国	29.85	5	20.9	1	40.3	5	28.36	5	43.28	5

备注：表格中频率单位为%；类型标识脱钩关系类型序号，对应的脱钩关系说明详见表2。

为进一步明确粮食生产与灾害的脱钩关系时间变化特征，选择对东北三省农业生产造成影响最严重的两种灾害(旱灾和洪涝灾害)分别与粮食种植面积进行脱钩关系特征分析，粮食种植面积与这两类灾害的脱钩关系时间变化详见图8。

粮食种植面积与旱灾脱钩关系主要呈现的特征为：(1)1949—2015年东北三省及全国的脱钩关系均呈显著减小趋势，且脱钩关系类型中存在显著突变过程。黑龙江省、吉林省、辽宁省及全国突变年份分别为：1995年、1972年、1980年、1976年。(2)各省突变年份以来的脱钩关系类型特征为：黑龙江省主导类型为绝对脱钩，主要集中在2000以来，占总年份比例达42.86%；吉林省、辽宁省及全国突变后脱钩主导类型均为负向耦合，占突变后总年份比例分别为：37.84%、58.33%、57.5%。该特征与我国农业产业结构调整、农业生产综合能力提升相一致。

粮食种植面积与洪涝灾害脱钩关系主要呈现的特征为：(1)1949—2015年间脱钩关系类型序号东

三省和全国均呈现减小趋势，仅辽宁省和全国减小趋势显著。东三省和全国均呈现脱钩关系类型在1980年以来均发生了突变，黑龙江省、吉林省、辽宁省及全国突变年份分别为：1981年、1985年、1984年、1983年，其中仅辽宁省和全国显著突变。(2)以各省突变年份以来黑龙江省、吉林省、辽宁省及全国主导的关系类型均为绝对脱钩，占突变后总年份比例分别为：31.42%、41.94%、43.48%、36.36%。2010—2015年间除2015年辽宁省呈现相对脱钩，其余地区均为绝对脱钩。

综合粮食种植面积与旱灾、洪涝灾害脱钩关系特征发现，东北三省总体上和全国均呈现脱钩关系特征在总体变化趋势上较为一致，且2000年以来粮食种植面积与这两类灾害间的脱钩关系在黑龙江省和吉林省尤为显著。期间旱灾的脱钩主导类型为衰退耦合，洪涝灾害的主导类型为绝对脱钩。呈现该特点的主要因素包括：粮食种植结构调整、农业生产基础设施的改进及防洪抗旱工程措施与非工程措施的提升。

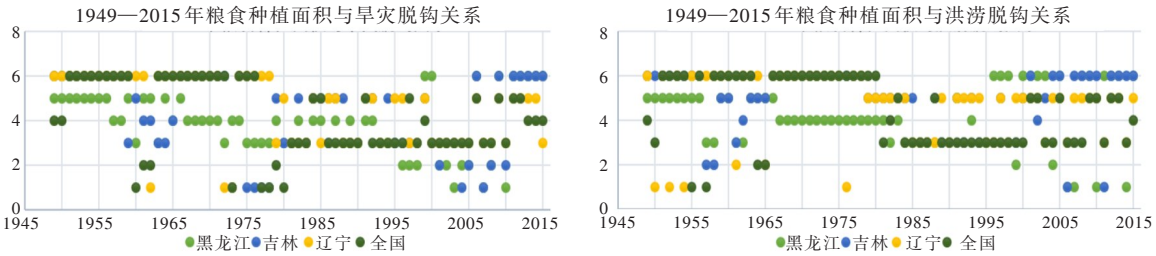

图8　1949—2015年粮食种植面积与典型气象灾害脱钩关系图

4　结论

在气候变化背景下气象灾害对农业生产的影响日趋显著，明确气象灾害对重点农业地区的影响特征能为粮食生产安全提供支撑。本文研究了作物种植结构、典型气象灾害对农业生产的影响，主要结论如下：

(1)东北三省稻谷、玉米、小麦、大豆、粮食作物及农作物种植面积由大到小排序均一致，即：黑龙江、吉林及辽宁省。1949—2015年间典型作物种植面积增加趋势显著，从作物类型上看，增幅贡献最大的为稻谷和玉米。东北三省大豆种植在全国具有十分重要的地位，三省多年平均玉米种植面积(5458.62千公顷)显著高于大豆种植面积(3113.6千公顷)，但玉米种植面积占全国比例(26.47%)却低于大豆(35.91%)。产量方面，东北三省玉米占全国玉米产量比例(29.76%)也显著低于大豆(40.84%)。

(2)农作物种植结构变化特征表明东北三省粮食产量显著增加(129.48万t/a)，但1949—2015年典型气象灾害对农业产量的影响也呈增加趋势。东三省农业生产受旱灾影响最为显著(0.021/10a)，且造成损失的增幅显著高于其他四类灾害(洪涝0.007/10a、低温0.001/10a、风雹0.003/10a、台风0/10a)。1949—2015年三省多年平均受旱灾影响严重程度从高到低分别为：辽宁、吉林、黑龙江，对应旱灾减产成数分别为：0.093、0.081、0.060。

(3)从脱钩关系特征分析结果上看，粮食作物种植面积与5类气象灾害主要呈现的脱钩类型为绝对脱钩，粮食产量主要体现为衰退耦合关系。农业生产基础设施的改进、防洪抗旱工程措施与非工程措施的提升一定程度上降低灾害对粮食生产的影响，2000年以来东北三省旱灾和洪涝灾害与种植面积间以绝对脱钩关系为主。

参　考　文　献：

[1]　何学敏．农业气象灾害和气温降水对东北三省粮食产量影响评估[D]．沈阳：沈阳农业大学，2018．
[2]　杨若子．东北玉米主要农业气象灾害的时空特征与风险综合评估[D]．南京：南京信息工程大学，2015．
[3]　高晓容，王春乙，张继权，等．东北地区玉米主要气象灾害风险评价模型研究[J]．中国农业科学，2014

(21)：4257-4268 .
[4] 高晓容 . 东北地区玉米主要气象灾害风险评估研究[D] . 南京：南京信息工程大学，2012 .
[5] 符琳 . 东北三省农业气候年景评估研究[D] . 北京：中国气象科学研究院，2011 .
[6] QIANG Z，PENG J，SINGH，et al . Spatio-temporal variations of precipitation in arid and semiarid regions of China：The Yellow River basin as a case study[J] . Global & Planetary Change，2014，114(2)：38-49 .
[7] WANG Q X，FAN X H，QIN Z D，et al . Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China，1961—2010[J] . Theoretical & Applied Climatology，2012，92-93(3/4)：138-147 .
[8] HAMED K H，RAMACHANDRA R A . A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data[J] . Journal of Hydrology，1998，204(1)：182-196 .
[9] 刘利花 . 基于脱钩指数的中国现代农业评价体系研究[J] . 管理现代化，2017，37(4)：20-24 .
[10] 李青青 . 水资源脱钩指数初探[J] . 合作经济与科技，2015(9)：46-47 .
[11] 栾健 . 农业自然灾害对山东省粮食生产影响研究[D] . 泰安：山东农业大学，2017 .
[12] 黄木易，岳文泽，何翔 . 长江经济带城市扩张与经济增长脱钩关系及其空间异质性[J] . 自然资源学报，2018，33(2)：219-232 .
[13] 张文斌，陈英，张仁陟，等 . 基于脱钩分析方法的耕地占用与经济发展的关系研究——以甘肃省康乐县为例[J] . 自然资源学报，2013，28(4)：560-570 .
[14] 钟太洋，黄贤金，韩立，等 . 资源环境领域脱钩分析研究进展[J] . 自然资源学报，2010，25(8)：1400-1412 .

Impact of typical meteorological disasters on grain crop production over Northeastern China

YANG Xiaojing[1, 2, 3]，SUN Hongquan[1, 2]，LÜ Juan[1, 2]，XU Zongxue[3, 4]

(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*，*Beijing*　100038，*China*；
2. *Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction*，*Beijing*　100038，*China*；
3. *College of Water Sciences*，*Beijing Normal University*，*Beijing*　100875，*China*；
4. *Beijing Key Laboratory of Urban Hydrological Cycle and Sponge City Technology*，*Beijing*　100875，*China*)

Abstract：Agricultural production suffered higher risk of meteorological disasters in the context of global climate change. Modified Mann-Kendall trend test(MMK) was employed to specify the temporal characteristics of main crop-plating over Northeastern China(NE) during 1949—2015. Meanwhile，comprehensive crop failure ratios of typical meteorological disasters (drought，flood，cryogenic disaster，hail，typhoon) were constructed separately based on damage area，inundated area and the total crop failure area. The trend analysis and decoupling relationship evaluation were applied to clarify the features of comprehensive crop failure ratios of typical meteorological disasters. The results indicate that the proportion of grain crops decrease significantly in the NE. Typical crops with their yields ranked from high to low were corn，rice，wheat and soybean. And the yields of all four crops showed an increasing trend. The extent of the five typical disasters was remarkably broader during 1949—2015. In terms of crop yield losses，the degree of disasters affected order from highest to lowest is drought，flood，hail，cryogenic disaster and typhoon. The decoupling relationship of typical meteorological disasters and the cultivated area of main crops was similar with the decoupling relationship type within the 5 disasters and main crop yield. Since 2000，the decoupling class of the drought/flood disasters and the cultivated area of main crops in the NE have been dominated by absolute decoupling.

Keywords：plantation structure；cultivated area；yield；comprehensive crop failure ratios of disasters；decoupling relationship

(责任编辑：杨　虹)