

任曙霞,郝玲,李中林,等.连云港市小麦拔节期冻害灾损判别指标和风险分布[J].江苏农业科学,2020,48(20):270-275.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.20.050

连云港市小麦拔节期冻害灾损判别指标和风险分布

任曙霞,郝玲,李中林,董京铭,胡冬莉

(江苏省连云港市气象局,江苏连云港 222006)

摘要:利用连云港站 1986—2016 年的逐年最低气温资料,采用现代气候诊断分析方法,分析连云港市初、终霜和无霜期变化特征。通过时间序列分析等数学方法拟合趋势产量,用实际产量与趋势产量的偏差率引入灾损率,统计出连云港小麦主要灾害年和丰产年,找出决定连云港小麦产量的主要气象因子。结果表明,连云港地区春季小麦返青拔节孕穗期最低气温气象要素对产量减少的影响程度大。依据风险分析理论对连云港小麦基地进行春霜冻风险分析,确定小麦拔节期间冻害指标,按照不同权重将春霜冻气候区划因子叠加,绘制连云港霜冻风险分布图,得出其风险的空间分布特点,结论可为指导小麦生产提供气象保障。

关键词:小麦;灾损率;灾损指标;霜冻风险分布

中图分类号: S425 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)20-0270-06

连云港市地处黄海之滨,江苏省北部,具有季风特点的海洋性气候,温和湿润,寒暑相宜,四季分明,适合多种大田农作物的发展。小麦是连云港市主要的夏收作物之一,其产量占江苏省小麦单位面积产量前列。

研究结果指出,江苏省冬小麦气候适宜度呈现较弱的南北分布规律,较适宜区主要分布在连云港中北部,气候适宜度在 0.638 以下^[1]。近几十年来,气候变化使极端灾害性气候频发^[2]。连云港地区各类气象灾害,尤其是拔节期间冻害时有发生,气

候变暖,小麦抗寒能力的下降,冬春交替,冷暖交替突变,增大了小麦遭受初春霜冻危害的概率,给冬小麦生长带来的危害加大。研究表明,小麦霜冻危害主要分布在 105°~120°E,33°~38°N 范围内,而 110°~118°E,34°~36°N 为重发区,即黄淮麦区^[3];国内外学者从霜冻规律、霜冻指标、防霜技术与霜冻评估等几个角度开展了大量研究^[4-6]。有研究者在风险理论的基础上,综合考虑多因子,构建霜冻风险评估方法,为研究区域潜在灾害风险区划研究提供了可行性的方法^[7]。

但对于小麦受霜冻这种特殊的灾害,确定指标的方法以及定量指标和模型,国内研究还不多^[8],特别是针对不同地理环境下小麦返青拔节期间冻害方面的研究,目前研究成果更是少见。针对连云港市小麦拔节期间的灾害,目前指标还不够完善,

收稿日期:2019-01-21

基金项目:江苏省气象局青年基金(编号:Q201708)。

作者简介:任曙霞(1976—),女,江苏灌云人,高级工程师,主要从事天气气候与农业应用气象研究。E-mail:lygrsx@163.com。

2019,47(4):138-145,154.

[23] Li X, Li X M, Xu G M, et al. Antioxidant metabolites from marine alga-derived fungus *Aspergillus wentii* EN-48[J]. *Phytochemistry Letters*, 2014, 7(1):120-123.

[24] 郭明程,王晓军,苍涛,等.我国生物源农药发展现状及对策建议[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(5):755-758.

[25] Seiber J N, Coats J, Duke S O, et al. Biopesticides: state of the art and future opportunities [J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2014, 62(48):11613-11619.

[26] 张明,冯璐璐.抗氧化活性评价标准与发展[J]. *安徽农学通报*, 2010, 16(8):33-34, 106.

[27] Hu Z B, Tao Y W, Tao X Y, et al. Sesquiterpenes with phytopathogenic fungi inhibitory activities from fungus *Trichoderma*

virens from *Litchi chinensis* Sonn. [J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2019, 67(38):10646-10652.

[28] Ikram M M, Ali N, Jan G. et al. Novel antimicrobial and antioxidative activity by endophytic *Penicillium roqueforti* and *Trichoderma reesei* isolated from *Solanum surattense* [J]. *Acta Physiol Plant*, 2019, 41(164):1-11.

[29] Guo L F, Niu S B, Chen S L, et al. Diaporone A, a new antibacterial secondary metabolite from the plant endophytic fungus *Diaporthe* sp. [J]. *Journal of Antibiotic*, 2019, 73:116-119.

[30] da Rosa B V, Kuhn K R, Ugalde G A, et al. Antioxidant compounds extracted from *Diaporthe schini* using supercritical CO₂ plus cosolvent [J]. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2019, 43:133-141.

存在不可通用等问题,尚不能满足气象为农服务的需求。所以,从开展灾害监测和灾损程度出发,加强冬小麦霜冻害的发生机制、霜冻害防御对策等方面的研究,对连云港地区小麦灾害的综合分析,研究小麦春霜冻灾害的基本特征,根据霜冻发生时期的最低气温、日较差确定连云港小麦拔节期间霜冻影响的监测指标和损失评估模型,探讨定量确定小麦拔节期间冻害指标和实现其监测与灾损评估的技术方法,通过建立灾害风险指数,开展连云港小麦冻害灾害风险分析,减轻霜冻害对冬小麦的危害,对保证小麦的高产、稳产有着重要意义,可为促进农业增收、农民增收提供气象服务依据。

1 数据和方法

1.1 小麦产量数据

小麦产量数据源于连云港市的新浦、赣榆、东海、灌云、灌南等县(区)以及全市统计局统计年鉴,时间为 1986—2016 年,包括冬小麦总产、种植面积、单位面积产量以及代表站点生育期观测数据。发育期资料包括播种、开始越冬、返青拔节、抽穗扬花和灌浆成熟等 5 个发育期。选用 1986—2016 年连云港市冬小麦连续种植超过 50 年的 5 个气象观测站的逐日天气现象资料进行建模和分析。

1.2 地理信息数据

利用 ArcGIS 技术,从美国地理信息中心网站提取连云港边界、高程等数据,制作连云港市乡镇行政区划图和地理分布图。数据的处理和图件的制作主要是运用 Excel 2010 软件。

1.3 趋势产量计算方法

1.3.1 趋势产量的拟合 选择最优拟合曲线,要求拟合精度均大于 0.80,分别对各县区小麦产量进行拟合,趋势产量拟合效果和拟合方程见图 1。

一般在分析气象条件对农作物产量影响时,常通过时间序列分析等数学方法拟合趋势产量,本研究选取最优曲线拟合的方法模拟连云港各县(区)的历年小麦趋势产量。将以县(区)为统计单元,将实际产量(Y)分解为趋势产量项(Y_t)和由气象条件变化引起的气象产量项(Y_w)。

1.4 灾损率

1.4.1 灾损率的定义 农业气象灾害最主要的影响就是造成最终产量减小,因此,灾害指标构建必须首先考虑致灾因子与减产率的相互关系^[9]。

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

式中:实际产量(Y)为小麦总产量与种植面积的比值, kg/hm^2 ;趋势产量(Y_t)采用直线滑动平均法确定,主要反映农业科技进步、农业政策、农业投入等对产量水平的影响, kg/hm^2 ;气象产量(Y_w)反映当地气象条件波动所引起的产量波动, kg/hm^2 。当实际产量小于趋势产量时,减产量为趋势产量与实际产量的差值。由于该值为减产的绝对量,在不同农业生产水平下对灾情的反映不具可比性,因此引入灾损率(ΔY),即

$$\Delta Y = \frac{Y - Y_t}{Y_t} \times 100\% \quad (2)$$

式中: ΔY 表示实际产量与趋势产量的偏差率,是一个具有时空可比性的相对指标。当实际产量高于趋势产量即 $Y - Y_t > 0$ 时,则 $\Delta Y > 0$,表示增产,即气象条件对作物生长发育总体有利;当实际产量低于趋势产量即 $Y - Y_t < 0$ 时,则 $\Delta Y < 0$,即气象条件对作物生长发育总体不利,出现灾损。 ΔY 客观地描述出作物因气象灾害造成的灾害损失的大小, ΔY 负值越大,表示灾害损失越大。

1.4.2 灾损率的定量计算 将趋势产量计算结果带入式(1)得到各县区的气象产量,再将趋势产量和气象产量带入式(2),得到相对气象产量,即灾损率。连云港市气象灾害灾损率变化见图 2。

1.5 典型灾害年

以 $\Delta Y \leq -5\%$ 为小麦受灾减产的临界值,按照灾损率 $\leq -5\%$ 挑选出各站点的历史减产年。若某一年减产率 $\leq -5\%$ 站点超过该区域站点数的 50%,则该年为该区域的典型灾害年。从 $\Delta Y \leq -5\%$ 的样本中挑选出主要由春霜冻引起减产的样本作为分析春冻害灾损特征、确定灾损指标的基础数据,统计出 1986—2016 年典型灾害年。经统计,1989、1990、1993、1994、1995、2010 年为连云港市小麦的典型灾害年;1992、1994、1996、1997、2004、2005、2006、2008 年为连云港市小麦的典型丰产年。

2 结果与分析

利用连云港市 5 个农业气象观测站 1986—2016 年冬小麦发育期观测资料及同期逐日气象数据,将小麦发育期分为播种—越冬、越冬期、返青拔节孕穗期、抽穗扬花期和灌浆成熟期 5 个主要发育阶段,将小麦的生长按照各阶段发育的积温、降水、日照、平均气温、日最高气温、日最低气温,用线性

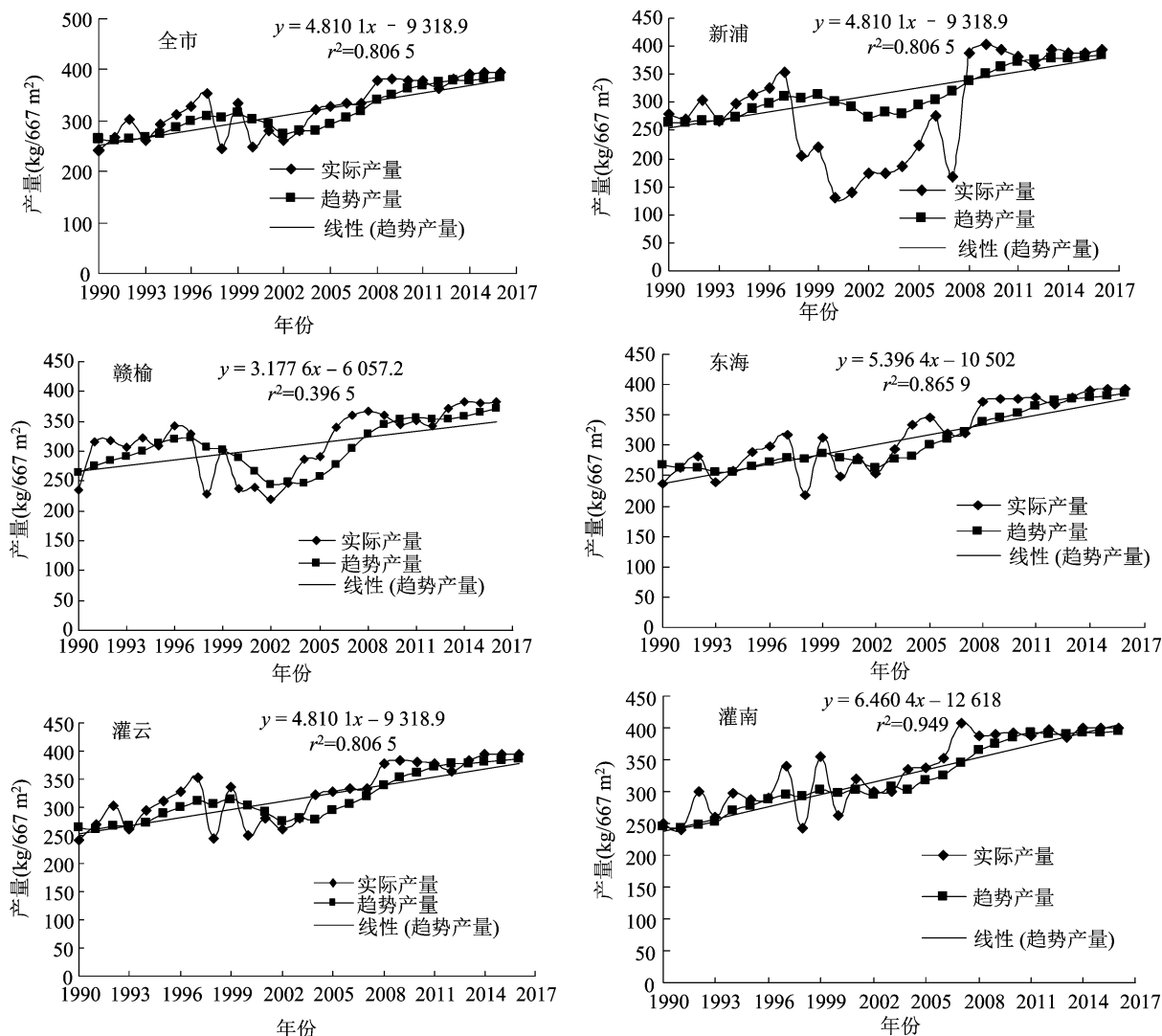


图1 连云港各县区小麦趋势产量拟合效果和拟合方程

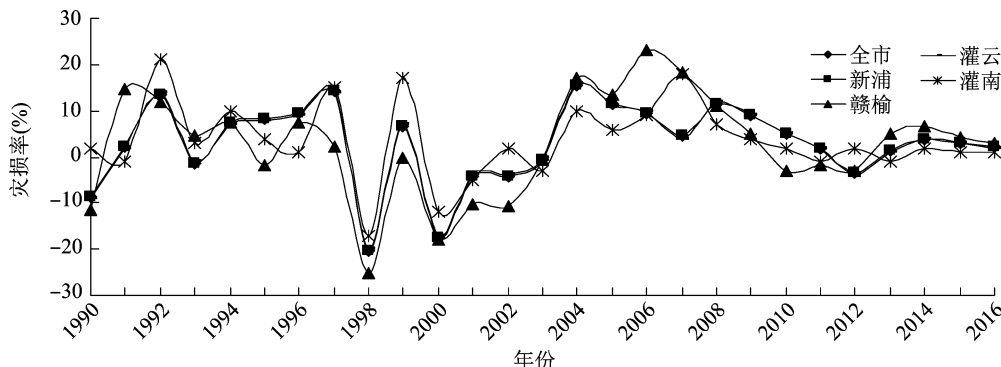


图2 连云港市各县区小麦灾损率统计

回归方法分析各品种产量和气象因子的关系,用积分回归方法分析各气象因子对小麦产量的影响,计算对产量的贡献程度。这样可以分析小麦灾损特征、确定灾损指标的基础数据。由表1可知,连云港市小麦产量与播种-出苗期的最低气温、收获期的降水呈显著负相关;与越冬期的降水呈显著正相

关;与播种-出苗期的日照,抽穗扬花期平均气温,灌浆成熟期的积温、日照、最高气温,以及收获期日照呈极显著正相关。连云港市小麦产量与灌浆成熟期的降水和返青拔节孕穗期的最低气温呈极显著负相关。总体来说,连云港小麦产量和小麦返青拔节孕穗期最低气温、抽穗扬花期平均气温、灌浆

成熟期温光水,以及收获期的降水和日照呈明显相关。上述气象要素因子是决定连云港小麦产量的

主要因子。这基本符合连云港小麦灾害的特点,反映了连云港地区小麦生产的实际情况。

表 1 连云港市 1986—2016 年小麦产量与同期气象因子的相关关系

小麦生育期	积温	降水	日照	平均气温	最高气温	最低气温
冬前苗期	0.195	0.170	0.327 **	0.186	0.149	-0.335 *
越冬期	0.176	0.367 *	0.345	0.131	0.273	-0.278
返青拔节孕穗期	0.167	0.319	0.282	0.083	0.228	-0.367 **
抽穗扬花期	0.178	-0.318	0.318	0.400 **	0.171	-0.220
灌浆成熟期	0.388 **	-0.492 **	0.492 **	0.178	0.425 **	-0.162
收获期	0.125	-0.414 *	0.413 **	0.136	0.113	-0.200

注:数据后标注*、**分别表示在0.05、0.01水平上显著、极显著相关。下表同。

2.1 小麦返青拔节孕穗期致灾因子分析

江苏省用最低气温降至0℃以下定义为霜冻害的指标^[10]。霜冻同大气温度一样具有正态分布特征。所以,挑选特早初霜冻和特晚终霜冻的概率值都以0.05较为合适,因为它反映了霜冻气候的异常小概率事件的特征。连云港返青拔节孕穗期霜冻,灌浆成熟期低温、涝渍、寡照等致灾因子对其产量的影响取决于各时段、各因子的相互作用,对减产起着决定性作用。统计表明,连云港市春(终)霜冻害存在着突发性、短时性和不稳定性,春(终)霜冻害要重于秋(初)霜冻害^[8]。不同作物能忍受的低温程度不完全相同。对江苏省小麦进行分析,得出各生育期的气候适宜度,可初步得到起身—返青期及拔节—孕穗期为江苏省冬小麦生产的限制阶段^[1]。

农业气象灾害最主要的影响就是造成最终产量减小。从表1分析出3个气象要素与小麦减产率相关性较高,其中连云港5个站点灌浆成熟期降水、收获期降水与小麦产量的相关系数分别为-0.492、-0.414,分别通过了信度为0.01、0.05的显著性检验;小麦返青拔节孕穗期,最低气温与小麦气象产量相关系数为-0.367,通过了信度为0.01的显著性检验。冬前苗期最低气温与小麦气象产量相关系数为-0.335,显著相关。连云港越冬期最低气温与小麦产量无明显相关。经比较表明,连云港地区春季小麦返青拔节孕穗期最低气温气象要素对产量减少的影响程度大。

从表1可以看出,小麦的冬前苗期和返青拔节孕穗期最低气温与小麦产量呈显著或极显著负相关,其他最低气温与小麦产量不呈显著相关。说明最低气温在其他生育期环节与产量并没有直接相关的关系。

2.2 春季小麦致灾指标构建方法

2.2.1 春季小麦返青拔节孕穗期致灾因子确定

气象条件是小麦生长发育的基本条件,研究春霜冻的发生规律、地域特征和春霜冻对小麦产量的影响,有利于调节小麦育种目标,提高防御春霜冻意识,采取防御春霜冻措施等。

自然界中,随不同农作物生育期的不同,霜冻害的温度指标不同,对研究区域内农业气象观测站点小麦历年发育期观测资料汇总排序表明,在80%保证率下,连云港小麦拔节期出现在3月中旬至4月中旬。小麦拔节后10~15 d(雌雄蕊分化期)抗寒能力最弱,为低温敏感期,此时幼穗分化处于雌雄分化到药隔形成期,小花正在发育形成,为低温敏感期,是影响产量的主要时期,特别是影响穗粒数的关键时期。进入到4月上旬,2℃以下的气温就会对小麦产生冻害,再进入到4月中旬,3℃左右的气温就会对小麦产生冻害,这个温度远高于以往人们认为的春霜冻受冻临界温度0℃^[3]。

表2为5个站点1986—2016年连云港小麦3月中旬至4月中旬的最低气温滑动48 h温差值(T_{Δ})、最低气温值(T_{\min})分别与灾损率(ΔY)的相关分析结果。由表2可见,2个因子即 T_{Δ} 、 T_{\min} 与 ΔY 的相关系数分别为0.370、0.407,均通过0.05水平的显著性检验,呈显著相关。进一步分析各因子之间的相关系数, T_{Δ} 与 T_{\min} 系列的相关系数为0.528($P < 0.01$),极显著相关。

表 2 连云港市 5 个站点 1986—2016 年春季冻害影响因子(T_{Δ} 、 T_{\min})及其与减产率间的相关分析($n=150$)

影响因子	T_{\min}	ΔY
T_{\min}		0.407 *
T_{Δ}	0.528 **	0.370 *

注: $n=150$ 。 ΔY 为灾损率,%; T_{\min} 为最低气温; T_{Δ} 为48 h最低气温滑动差,mm;分析时段取3月11日至4月20日。

因为3月中旬至4月中旬的最低气温滑动48 h

温差值($T_{\text{差}}$)、最低气温值(T_{min})与灾损率显著相关,但与其他影响因子的相关性未达到显著水平,因此,近一步选择最低气温值为连云港小麦春霜冻的关键致灾因子。

考虑3月中旬至4月中旬的最低气温滑动48 h 温差值($T_{\text{差}}$)对小麦拔节期间的霜冻灾害的形成起着至关重要的作用,因此,最终选取3月中旬至4月中旬的最低气温滑动48 h 温差值($T_{\text{差}}$)、最低气温值(T_{min})作为连云港小麦春霜冻评估的关键因子。

2.2.2 春季小麦返青拔节孕穗期冻害致灾因子对小麦生长及产量的影响 经比较表明,连云港春季冻害因素对产量的影响程度:3月中旬至4月中旬的最低气温>48 h 温差。

从图3可以看出,通过30年统计及灾情分析统计,连云港小麦春季冻害灾情共有11年,平均3年发生1次。连云港市3月中旬至4月中旬平均最低气温3.1℃,此时如最低气温低于1℃即受冻。连云港市春季冻害对小麦的生产有较大影响,从而导致减产,冻害发生的主要时间在3月下旬至4月上旬。由表3可知,受冻害最多的年份为2010年,面积占到99.1%;其次为1995年,受春冻害的小麦达到56.1%;30年春霜冻发生灾害时,小麦平均冻害面积占到40.0%。最早发生时间2012年3月21日,当年全市小麦面积23.345 0万hm²,受灾时最低气温-1℃,受冻面积4.002 0万hm²,无冻死;最晚4月15日,30年中4月中旬只有1次小麦发生冻害,发生时间为2010年4月15日,当年全市小麦面

积23.011 5万hm²,受灾时最低气温0℃,受冻面积22.678 0万hm²,冻死4.002 0万hm²。由于小麦拔节后10~15 d(雌雄蕊分化期)低温冻害发生频率较高,春季为小麦形成产量转化期,因此冻害出现对产量影响更大,低温冻害大致在3月下旬至4月上旬。以上数据表明春冻害对连云港小麦生长产生严重的影响。实地考察灌云两灌地区,由于地势较为低洼,如发生小麦拔节期的冻害,受冻害的程度大于其他地区。

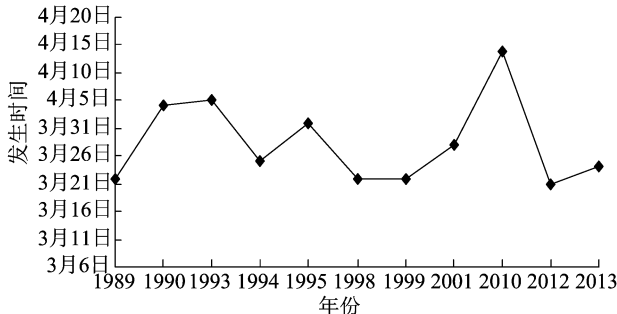


图3 连云港30年小麦冻害减产年冻害发生时间统计

由表3可知,1993年和2013年,在实际发生的小麦春霜冻中,虽然发生了春季冻害,但由于冻害时间较短,冻害程度不深,后期采取了补救措施,当年达到丰产,这说明春霜冻只是对产量构成威胁的一部分,其最后产量的高低还与灌浆成熟期温光水、收获期的降水和光照以及当地种植的品种等有关。据市农业农村局资料,近几年使用小麦烟农19、济麦22号、连麦8号品种较多。由于小麦品种的不同,生育期和抗冻程度有所差异。

表3 连云港市1986—2016年连云港小麦受灾年份最低气温 T_{min} 、最低气温温差 $T_{\text{差}}$ 与灾损率的关系

年份	T_{min} 中/3 ~ 中/4	$T_{\text{差}}$ 中/3 ~ 中/4	受灾时间	受灾时最低气温 (0℃)	小麦面积 (万hm ²)	冻害面积 (万hm ²)	冻害面积 比例(%)	冻死田块受害 程度(同上)	灾损率
1990	-0.9	10.2	4月4—5日	0	18.942 8	7.337 0	38.7	24	-0.09
1993	-3.9	7.4	4月5—12日	0	18.009 0	7.203 6	40.0	23	-0.05
1994	-3.3	8.4	3月25—27日	-1	17.408 7	6.003 0	34.5	15	0.04
1995	-3.5	8.7	4月1—4日	-2	17.808 9	10.005 0	56.1	15	-0.02
1998	-1.1	9.5	3月19—22日	-1	21.344 0	6.670 0	31.3	10	-0.20
2001	-0.8	8.2	3月27—28日	-1	18.009 0	4.669 0	25.9	10	-0.04
2010	-5.7	9.3	4月14—15日	0	22.878 1	22.678 0	99.1	60	-0.03
2012	-5.4	8.8	3月20—21日	-1	23.811 9	2.001 0	8.0	无	-0.04
2013	-5.2	11.7	3月24—25日	-2	24.012 0	6.670 0	27.8	无	0.01

2.3 连云港小麦返青拔节孕穗期霜冻发生地域特征 灾害风险大小与灾害出现概率和强度密切相关。基于1986—2016年各连云港小麦种植基地统

计出的受灾年小麦受冻害时的最低温度、受冻害面积、受冻害时间,按照小麦不同等级春霜冻气象灾害发生概率,再由专家打分,依据专家经验分别赋予温度灾害权重,将不同小麦受春霜冻害的权重和

小麦春霜冻的气候区划因子叠加,以综合值为指标,基于 GIS,将气候要素内插或推算到一定空间分辨率的细网格点上,用 ArcGIS 绘制连云港小麦春霜冻风险指数分布图(图 4)。从图 4 可以看出,连云港小麦春霜冻风险自西向东呈逐级减小的趋势,大部分地区为中度偏高风险区,连云港东部以及东北部沿海地区为城镇及滩涂,为中度到轻度小麦春霜冻风险区。连云港的西连岛及西连岛附近的地区,受海洋的影响,小麦春霜冻的风险较低。由于地域因素,海边盐碱较大,不适合发展小麦种植。灌云和灌南的中西部地区,属两灌地区,地势较低,为偏高风险区。对连云港进行实地考察,连云港两灌地区是连云港小麦种植大区,最低气温气象要素对产量减少的风险值大。用年冬小麦春霜冻害实况对指标进行验证,与实际情况基本相符,可应用于农业生产工作中的灾害调查及灾害预警。

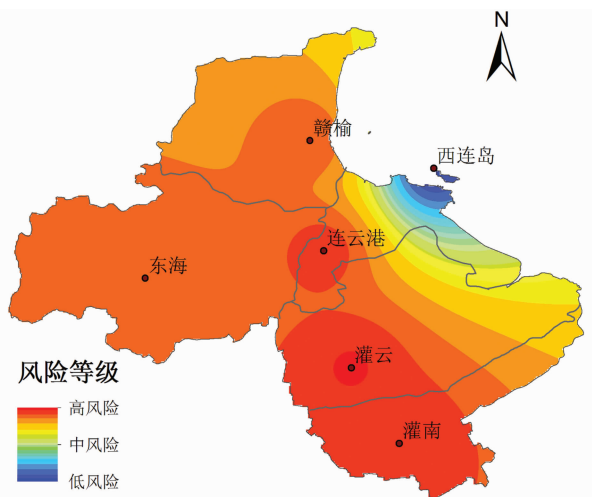


图4 连云港市小麦拔节孕穗期霜冻风险区划

3 结论与讨论

本研究在已有的大量研究基础上,使用 30 年数据,结合连云港市小麦生理生态特征,运用相对气象产量,即灾损率,用积分回归方法分析各气象因子对小麦产量的影响,计算对产量的贡献程度,构建小麦返青拔节孕穗期致灾指标方法。基于 GIS,用 ArcGIS 绘制连云港小麦春霜冻风险指数分布图、小麦返青拔节孕穗期霜冻发生地域特征。

连云港小麦返青拔节孕穗期最低气温和灌浆成熟期温光水,以及收获期的降水和光照是决定连云港小麦产量的主要气候因子。春季拔节期间霜冻害不是小麦产量的唯一致灾因子。

3 月中旬至 4 月中旬的最低气温滑动 48 h 温差

值(T_{Δ})、最低气温值(T_{\min})与灾损率显著性相关,对小麦拔节期间的霜冻灾害的形成起着至关重要的作用,得出 3 月中旬至 4 月中旬的最低气温滑动 48 h 温差值(T_{Δ})、最低气温值(T_{\min})是连云港小麦春霜冻评估的关键因子。

连云港春季冻害因素对产量的影响程度表现为 3 月中旬至 4 月中旬的最低气温 > 3 月中旬至 4 月中旬的 48 h 温差。连云港市 3 月中旬至 4 月中旬最低气温低于 1 °C,小麦即受冻。

连云港东部以及东北部沿海地区为城镇及滩涂,为霜冻中度到轻度风险区风险。沿海地区属霜冻的低风险区。灌云和灌南的两灌地区,属霜冻高风险区。灌云两灌地区,如发生小麦拔节期的冻害,受冻害的程度大于其他地区。春霜冻只是对产量构成威胁的一部分,其最后产量的高低还与灌浆成熟期温光水、收获期的降水和光照以及当地种植的品种有关。

本研究在构建连云港小麦春霜冻风险指数时,仅考虑到小麦春霜冻的致灾因子,未考虑小麦品种以及种植的地理位置和栽培管理方式等影响小麦生产的诸多条件,连云港小麦对灾害的敏感性需要进一步深入研究。在实际应用时,霜冻的实际危害程度还需要结合以上多种因素综合本研究冬小麦冻害指标,结合判断。

参考文献:

- [1] 张佩,田娜,赵会颖,等. 江苏省冬小麦气候适宜度动态模型建立及应用[J]. 气象科学,2015,35(4):468-473.
- [2] 郝志新,郑景云,陶向新. 气候变暖背景下的冬小麦种植北界研究——以辽宁省为例[J]. 地理科学进展,2001,20(3):254-261.
- [3] 冯玉香,何维勋,孙忠富,等. 我国冬小麦霜冻害的气候分析[J]. 作物学报,1999,25(3):335-340.
- [4] 冯玉香,何维勋. 霜冻的研究[M]. 北京:气象出版社,1996:108-125.
- [5] 张雪芬,余卫东,王春乙,等. Wofost 模型在冬小麦晚霜冻害评估中的应用[J]. 自然灾害学报,2006,15(6):337-341.
- [6] 伏洋,李霞,张国胜. 德令哈地区霜冻灾害气候指标的对比分析[J]. 中国农业气象,2003,24(4):8-11.
- [7] 包云轩,王莹,高苹,等. 江苏省冬小麦春霜冻害发生规律及其气候风险区划[J]. 中国农业气象,2012,33(1):134-141.
- [8] 任曙霞,朱敏华,时敦伦,等. 连云港市霜冻变化趋势分析[J]. 江苏农业科学,2011,39(3):492-494.
- [9] 陆魁东,彭莉莉,黄晚华,等. 气候变化背景下湖南油菜气象灾害风险评估[J]. 中国农业气象,2013,34(2):191-196.
- [10] 濮梅娟. 江苏省决策气象服务手册[M]. 北京:气象出版社,2001.