

张弘. 河南省冬小麦越冬冻害气候风险区划[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 443-446.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.124

河南省冬小麦越冬冻害气候风险区划

张弘^{1,2}

(1. 河南省气象科学研究所, 河南郑州 450003; 2. 中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 河南郑州 450003)

摘要:根据河南省冬小麦越冬冻害发生特点,结合前人研究成果选取越冬期内最大降温幅度、平均气温、负积温、极端最低气温和冬前平均气温作为致灾因子,建立冬小麦越冬冻害指数(FI)。利用1980—2011年河南省115个气象观测站的历史观测数据,计算出各站逐年冻害指数,运用经验正交函数法(EOF)分析冬小麦越冬冻害的时空分布规律,采用正态分布概率密度函数统计出各站各冻害等级的气候风险概率,并对河南省冬小麦越冬冻害进行气候风险区划。结果表明,越冬冻害高风险区主要位于新乡市、焦作市、郑州市、信阳市等地,低风险区主要位于洛阳市、平顶山市、周口市和驻马店市等部分地区,总体来看,冻害综合气候风险分布与重度冻害的概率分布相近。从气候特征来看,郑州市、焦作市、新乡市等地的冻害应属于冬季长寒型冻害,信阳市等地的冻害应属于温度骤降型冻害。

关键词:冬小麦;冻害;气候风险区划;冻害指数;经验正交函数

中图分类号: S162.5⁺3; S425 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0443-04

黄淮平原是中国重要的小麦产地,也是中国粮食丰产科技工程的实施示范区,其小麦产量和面积均占全国30%以上,为保障国家粮食安全作出了重要贡献。受地形及气候条件影响,该地区也是农业气象灾害严重多发地区,其中冻害作为小麦生产过程中主要农业气象灾害,严重影响了小麦的高产、稳产。黄淮麦区小麦冻害按时间可划分为初冬冻害、越冬冻害、早春冻害和晚霜冻害。其中,越冬冻害是小麦越冬休眠至早春萌动期受较长时间0℃以下强烈低温或剧烈变温造成的伤害,在全球小麦种植区内经常出现^[1-3]。根据冻害发生的原因一般将其分为温度骤降型、冬季长寒型和冻融型^[4-5]。有研究表明,小麦抵御冻害的能力因品种不同而有明显差异^[6],低温冻害对麦苗根系和茎部的影响也存在差异^[7],有学者提出了麦苗抗冻能力的定量鉴定方法^[8],并利用极端最低气温和分蘖节最低温度建立了冬小麦冻害死亡率的估算模型^[9];近年来,又有学者从分子机理、形态特征方面对冬小麦冻害开展研究,并将遥感技术应用于冬小麦冻害的监测中^[10-11]。这些研究虽然在一定程度上揭示了小麦冻害的致灾原理、类型特点、形态特征和区域分布,但没有建立系统的越冬冻害指标体系,针对黄淮地区越冬冻害的气候风险区划研究也未见报道。郑大玮以11月平均气温、冬季负积温、冬前锻炼时间和入冬降温幅度为预报因子建立了冬小麦冻害预报模型^[12]。本研究在此研究基础上,综合考虑3种越冬冻害类型的致灾因素,建立了能够反映其危害程度的风险评价指标体系,并利用河南省1980—2011年32年的历史气候观测数据,对冬小麦越冬冻害进行了气候风险区划研究,为农业生产部门合理调整种植结构、制定防灾减灾措施提供科学依据,并为开展冻害的动态评估研究提供指标参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

气象数据来源于河南省气象局,包括河南省115个气象观测站1980—2011年逐日的最低气温和平均气温数据。河南省基础地理信息系统来源于1:25万国家基础地理信息系统。

1.2 冻害致灾因子的选取

冬小麦冻害是多种因子综合影响的结果,其中0℃以下低温是引起麦苗受冻或死亡的主导因子。根据冻害产生时的天气条件,冻害被分为秋末冬初温度骤降型、冬季长寒型和冻融型。温度骤降型是指虽然冷空气强度不大,但冬小麦处于分蘖阶段,麦苗未经过抗寒锻炼,在冷空气突然袭击下受到伤害。冬季长寒型是指强冷空气活动频繁,且持续时间长,冬小麦虽处在休眠期,但受长期严寒天气影响,而导致其地上部严重枯萎甚至成片死苗。冻融型多出现于冬末春初,气温日渐回暖,麦苗开始恢复生长,此时小麦抗冻能力开始下降,冷空气强度虽然减弱,但形成的冻害往往比冬季更为严重。据历史资料分析表明,河南省冬小麦越冬冻害主要是温度骤降型和冬季长寒型,因此参考郑大玮的研究结果^[12]并结合当地实际情况确定冬小麦越冬期(12月至次年2月)内最大降温幅度(连续72h内日均温的最大降温幅度)、平均气温、负积温、极端最低气温和冬前(11月)平均气温为冻害的致灾因子^[12-13]。这些因子不仅考虑了冬前温度对冻害发生可能造成的影响,而且反映了冻害过程的持续时间、灾害强度和累积作用等。

1.3 冻害指数构建

在SPSS中对5个致灾因子进行相关分析,结果显示除“最大降温幅度”外,其余因子两两之间均呈正相关,且均通过0.05水平显著性检验。因此,利用主成分分析法对冻害致灾因子的区域极差标准化值进行权重综合简化,构建能够有效反映原有指标信息的综合变量即冬小麦冻害指数,以保证

收稿日期:2015-11-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:U1204406)。

作者简介:张弘(1982—),男,河南洛阳人,硕士,工程师,主要从事农业气象研究。Tel:(0371)65922897;E-mail:guba82@126.com。

建立的冻害指数能够消除各致灾因子之间的信息重叠^[13], 计算公式如下:

$$FI = \sum_{i=1}^5 a_i x_i \quad (1)$$

式中: FI 表示逐年的冻害指数; x_i 和 a_i 分别表示逐年的冬前平均气温、越冬期最大降温幅度、极端最低气温、负积温和冬前平均气温及其各自权重系数。

在 SPSS 中对 1980—2011 年各站点 5 个致灾因子进行主成分分析, 提取累计方差贡献率大于 80% 的主成分, 每个主成分的特征值及其方差乘积占所提取主成分总方差的比例之和作为各致灾因子的权重系数^[14], 代入公式(1)得到冻害指数计算表达式, 计算得到各站点逐年的冻害指数。

1.4 不同等级冻害气候风险概率

对河南省各台站冬小麦冻害指数 FI 进行正态分布检验, 结果表明各站冻害指数均符合正态分布, 因此本研究采用正态分布概率密度函数计算各站各冻害等级的气候风险概率^[15]。概率密度函数公式为:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

不同等级冻害出现的概率:

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = p(Q_{wz1} \leq Q_{wz} \leq Q_{wz2}) \quad (3)$$

Q_{wz} 为介于 Q_{wz1} 和 Q_{wz2} 之间的概率:

$$P(Q_{wz1} \leq Q_{wz} \leq Q_{wz2}) = \Phi\left(\frac{Q_{wz2} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Q_{wz1} - \mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

按以上公式计算各级冻害概率, 再计算冻害综合气候风险指数, 公式如下:

$$RI = \sum_{i=1}^n w_i P_i \quad (5)$$

式中: RI 为冬小麦冻害综合气候风险指数; w_i 为第 i 个冻害等级的权重系数; 根据经验赋值, 轻度、中度、重度冻害的权重系数分别为 0.17、0.33、0.50; P_i 为第 i 个冻害等级出现的风险概率; n 为冻害等级数。

1.5 冬小麦越冬冻害时空分析

本研究采用经验正交函数法(EOF)分析河南省冬小麦越冬冻害的时空变化规律。1 个气象要素, 通常有 m 个空间点或者台站有 n 次观测, 这样组成的矩阵中的任意元素就表示某一空间某一时刻的函数, 这样的时空函数可分解成空间函数与时间函数两部分的线性组合。根据主成分的性质, 主成分按其方差贡献大小排列, 而且相互独立, 那么可以用前几个时间函数与对应的空间函数的线性组合, 对原始场作出估计和解释, 这就是 EOF 分析。本研究基于 ArcGIS 10.0 进行气象要素的空间分布图制作和计算结果的空间插值分析。

2 结果与分析

2.1 河南省冬小麦冻害指数结果分析

利用主成分分析法对冬前平均气温、越冬期内最大降温幅度、极端最低气温、负积温和平均气温 5 个冻害致灾因子进行分析计算, 获得 1980—2011 年冬小麦各站逐年的冻害指数, 冻害指数和冻害程度呈正比, 冻害指数越大, 冻害程度越重。以虞城站为例, 利用主成分分析法对致灾因子进行分析, 提取累计方差贡献率超过 80% 的前 3 个主成分, 根据其特征

值与方差计算出各致灾因子的权重系数, 代入公式(1)后得到冻害指数表达式, 即 $FI = 0.277x_1 + 0.389x_2 + 0.336x_3 + 0.251x_4 + 0.106x_5$ 。 FI 与 5 个致灾因子的标准化值均呈正相关关系, 表明越冬期内最大降温幅度越大, 极端最低气温越低, 负积温越大, 冬前平均气温越低, 所形成的冻害越严重。

根据历史灾情数据及其对应的冻害指数将冻害划分为轻度、中度和重度 3 个等级, 并建立冬小麦越冬冻害指数与灾害等级的对应关系(表 1)。

表 1 冬小麦越冬冻害指数与灾害等级的对应关系

冻害指数 FI	冻害等级	死苗率 (%)
$FI < 0.5$	无冻害	< 8
$0.5 \leq FI < 0.6$	轻度冻害	8 ~ 15
$0.6 \leq FI < 0.7$	中度冻害	16 ~ 30
$FI \geq 0.7$	重度冻害	> 30

2.2 河南省冬小麦冻害时空分布规律

2.2.1 河南省冬小麦冻害指数年际变化 将 115 个站的逐年冻害指数进行平均, 获得河南省 1980—2011 年逐年的冻害指数均值, 对冻害指数年际变化进行分析(图 1)。由图 1 可知, 1980—2011 年河南省冬小麦冻害指数的年际变化范围为 0.2 ~ 0.8, 其中 1984 年为最大值, 1998 年为最小值, 2000—2010 年冻害指数的振幅较强, 说明出现严重冻害的频率也较高, 1990—1998 年冻害指数的振幅较弱, 说明出现冻害的频率较低。总体来看, 1980—1998 年期间河南省冬小麦冻害指数的年际变化呈极显著下降趋势($P < 0.01$), 1999—2011 年期间年际变化呈略上升趋势, 但不显著。利用 Mann-Kendall 方法对 1980—2011 年全省冻害指数 FI 平均值的变化趋势进行突变检验, 结果显示突变发生在 1998 年。

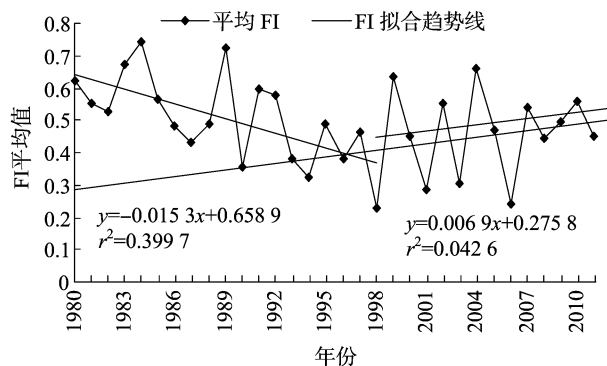


图 1 1980—2011 年河南省冬小麦冻害指数的年际变化

2.2.2 EOF 分析 本研究采用变量的标准化场对 1980—2011 年河南省 115 个站冻害指数进行空间结构和时间特征的 EOF 分析, 前 3 个模态的累计方差贡献率分别为 55%、83%、87%, 前 2 个模态的贡献率已经超过 80%, 因此采用 EOF 前 2 个模态基本可以反映冬小麦越冬冻害的时空分布特征。

由图 2-a 可知, 第 1 模态空间分布的特征向量值均为正值, 表明研究区域内冻害发生变化趋势基本一致, 即河南省冬小麦越冬冻害的空间趋势具有一致性, 表明某年该地区普遍发生或不发生冻害。高值中心位于信阳、商丘和许昌等市, 表明如果某年发生冻害, 这些地区冻害程度比其他地方要严重。EOF 分离特征向量对应的时间系数反映了变量要素随时间变化而变化的规律。由图 2-b 可知, 第 1 模态对应的时间系

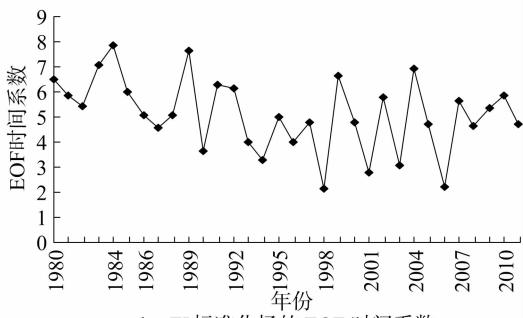
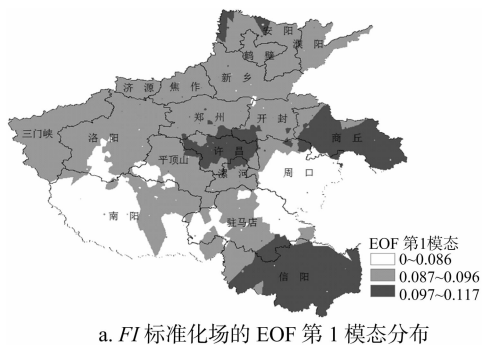


图2 FI标准化场的 EOF 第 1 模态分布(a)及其时间系数(b)

数波动范围为 2~8, 时间系数均为正, 表明冻害总次数在相应的年份与上述分布型有很好的—致性。其中, 1984 年对应的时间系数最大, 与第 1 模态分布型有很好的—致性, 即 1984 年信阳市、商丘市、许昌市发生冻害的次数较多且程度较重。相关分析表明, 第 1 模态的时间系数年际波动特征和 FI 平均值的年际变化特征相符, 两者的相关系数达到 0.99, 因此第 1 模态的时间系数基本可以表征冻害的年际变化特征。时间系数也可以反映特征向量的分布型特点^[16], 即某些年份发生严重冻害时在空间上的分布表现和图 2-a 一致, 即主要在信阳、商丘和许昌等市较严重。

由图 3-a 可知, 第 2 模态空间分布的特征值有正有负, 表明地区之间有差异, 正值表示该地区冻害程度较重, 负值表示冻害程度较轻。总体来看, 冻害从南向北呈减少趋势, 低值主要分布在河南省北部地区, 高值主要出现在河南省南部地区。由图 3-b 可知, 第 2 模态所对应的时间系数大部分在 0 上下小幅波动, 其中 2005 年正值最高, 表明 2005 年与第 2 模态分布类型有较好的一致性。与上述分布型明显不同的是 2009 年, 说明 2009 年河南省北部发生冻害较重, 河南省南部发生冻害较轻。

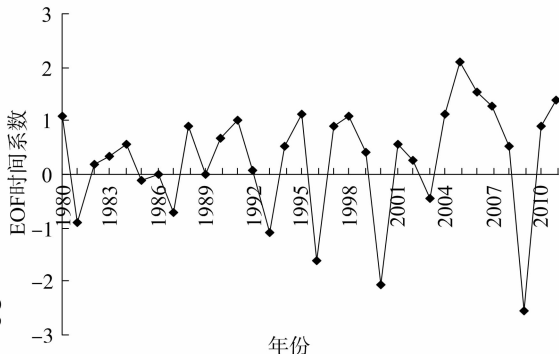
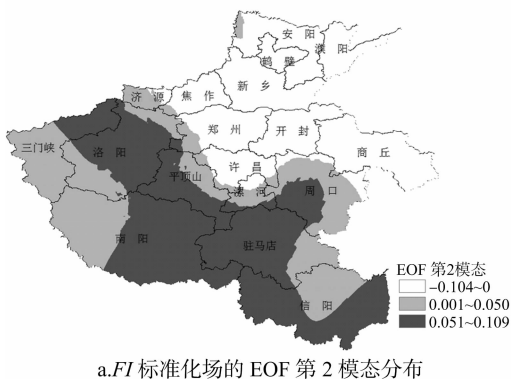


图3 FI标准化场的 EOF 第 2 模态分布(a)及其时间系数(b)

2.3 冬小麦冻害气候风险概率及区划

经过正态分布检验, 1980—2011 年河南省 115 个站 FI 值的样本序列均符合 0.05 显著性水平正态分布, 因此采用概率密度函数分别计算 115 个站不同等级冻害出现的气候风险概率, 在 ArcGIS 中采用克里金插值结果见图 4。由图 4 可知, 轻度冻害气候风险概率在 15%~25% 之间, 其中周口市、开封市、濮阳市大部 and 商丘市西部的轻度冻害风险概率较大, 而信阳市、驻马店市、洛阳市、三门峡市、南阳市、郑州市、安阳市部分地区轻度冻害风险概率较小; 中度冻害气候风险概率在 10%~20% 之间, 其中商丘市、开封市、新乡市、濮阳市大部、郑州市、南阳市、三门峡市部分地区中度冻害风险概率较大, 而驻马店市、洛阳市、平顶山市、南阳市及信阳市部分地区中度冻害风险概率较小; 重度冻害气候风险概率在 10%~20% 之间, 其中信阳市、新乡市、焦作市、郑州市、南阳市及三门峡市部分地区重度冻害风险概率较大, 而洛阳市、周口市、驻马店市、平顶山市部分地区重度冻害风险概率较小。

越严重。根据公式(5)计算 115 个站的冬小麦冻害综合气候风险指数, 在 ArcGIS 中进行克里金插值, 并按低风险、中风险、高风险分为 3 个等级, 冻害气候风险区划结果见图 4-d。从图 4-d 可知, 高风险区主要位于新乡市、焦作市、郑州市、信阳市等地, 低风险区主要位于洛阳市、平顶山市、周口市和驻马店市等部分地区, 总体来看, 冻害综合气候风险分布和重度冻害概率分布相近。从气候特征来看, 郑州、焦作、新乡等市可能是由于强冷空气入侵频繁, 降温幅度大, 持续时间长的冬季长寒型冻害, 信阳等市的冻害可能是冷空气突然袭击造成的温度骤降型冻害。

3 结论与讨论

目前, 对冬小麦冻害的研究多采用逐日气象资料, 包括冬季极端最低气温或者最大降温幅度等作为冬小麦越冬冻害发生的指标^[16-17], 但不同地区、不同品种冻害的临界指标不同, 而且这些指标普遍没有反映出冻害发生的累积效应。本研究以河南省冬小麦越冬冻害为例, 选取能够反映低温程度和低温累积作用的 5 个致灾因子建立冬小麦冻害指数(FI), 并根

综合气候风险指数反映了冬小麦越冬冻害发生的可能性, 其值越高表示发生冻害的可能性越大, 发生的冻害程度也

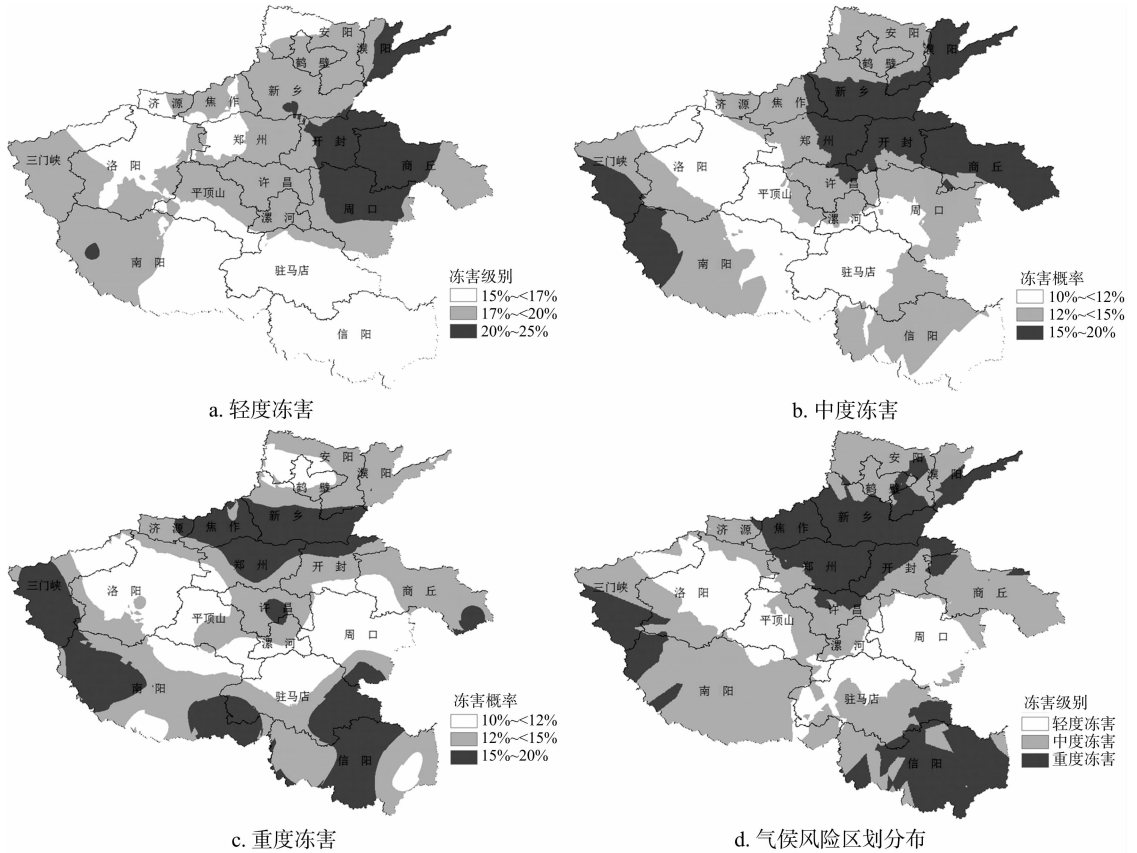


图4 轻度、中度、重度冻害概率分布及气候风险区划分布

据冻害灾损情况确定冻害发生的临界值 ($FI > 0.5$), 冻害指数越大表示冻害程度越重。另外, 冬小麦冻害的发生不仅和极端最低气温、低温持续时间、低温累积作用有关, 还与冬小麦品种、所处的发育期和当地的气候条件等有关。因此, 在构建冻害指数时应结合当地的种植制度、种植习惯和冬小麦越冬的生态环境条件合理筛选致灾因子。

综合气候风险指数反映了各地区冬小麦越冬冻害发生的可能性, 本研究计算了河南省 115 个站的冬小麦冻害综合气候风险指数, 并在 ArcGIS 中通过插值计算等生成冻害气候风险区划图。结果表明, 高风险区主要位于新乡市、焦作市、郑州市、信阳市等地, 低风险区主要位于洛阳市、平顶山市、周口市和驻马店市等部分地区。冻害高风险区应该在选择品种时尽量选择抗寒性较好的小麦品种, 并适当推迟播期。

参考文献:

[1] Chen T H, Gusta L V, Fowler D B. Freezing injury and root development in winter cereals[J]. Plant Physiol, 1983, 73(3): 773 - 777.
 [2] Andrews C J, Pomeroy M K, Seaman W L, et al. Relationships between planting date, winter survival and stress tolerances of soft white winter wheat in eastern Ontario[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1997, 77(4): 507 - 513.
 [3] Whaley J M, Kirby E J M, Spicnk J H, et al. Frost damage to winter wheat in the UK; the effect of plant population density[J]. European Journal of Agronomy, 2004, 21(1): 105 - 115.
 [4] 崔读昌. 关于冻害、寒害、冷害和霜冻[J]. 中国农业气象, 1999, 20(1): 56 - 57.
 [5] 霍治国, 王石立. 农业和生物气象灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2009.

[6] 简令成, 张宝田. 小麦越冬期间死苗原因分析[J]. 植物学杂志, 1974(4): 26 - 27.
 [7] Chen T H, Gusta L V, Fowler D B. Freezing injury and root development in winter cereals[J]. Plant Physiology, 1983, 73(3): 773 - 777.
 [8] 郑维, 戚鹤年. 论我国北方冬小麦越冬冻害的生态类型[J]. 作物学报, 1984, 10(1): 35 - 40.
 [9] 郑维. 冬小麦越冬冻害的数学模式[J]. 农业气象, 1981, 3(3): 35 - 44.
 [10] Feng M C, Yang W D, Cao L L, et al. Monitoring winter wheat freeze injury using multi-temporal MODIS data[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(9): 1053 - 1062.
 [11] 王慧芳, 顾晓鹤, 董莹莹, 等. 冬小麦冻害灾情及长势恢复的变化向量分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 145 - 150.
 [12] 郑大玮. 北京地区冬小麦冻害及防御对策[J]. 北京农业科技, 1982(5): 7 - 14.
 [13] 莫志鸿, 霍治国, 叶彩华, 等. 北京地区冬小麦越冬冻害的时空分布与气候风险区划[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3197 - 3206.
 [14] 温泉沛, 霍治国, 马振峰, 等. 中国中东部地区暴雨气候及其农业灾情的风险评估[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2370 - 2380.
 [15] 盛绍学, 霍治国, 石磊. 江淮地区小麦涝渍灾害风险评估与区划[J]. 生态学杂志, 2010, 29(5): 985 - 990.
 [16] 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.
 [17] 郑大玮, 龚绍先. 冬小麦冻害及其防御[M]. 北京: 气象出版社, 1985.