

毛红丹, 霍治国, 张蕾, 等. 环渤海葡萄涝渍指标构建及风险评估. 应用气象学报, 2022, 33(1): 92-103.

DOI: 10.11898/1001-7313.20220108

环渤海葡萄涝渍指标构建及风险评估

毛红丹¹⁾ 霍治国^{1)2)*} 张蕾³⁾ 杨建莹¹⁾ 孔瑞¹⁾
李春晖¹⁾ 江梦圆¹⁾

¹⁾(中国气象科学研究院, 北京 100081)

²⁾(南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044)

³⁾(国家气象中心, 北京 100081)

摘要

以中国环渤海地区葡萄主产区为研究对象, 利用 1980—2019 年研究区域内 303 个气象站逐日气象资料、葡萄发育期资料和葡萄涝渍灾情资料, 基于相对湿润度方法构建葡萄逐日涝渍指数 M_{5r} , 以历史灾情反演和灾变过程解析为主线, 采用正态分布的 Lilliefors 检验和 t 分布区间估计等方法, 构建适用于中国环渤海地区葡萄主产区的葡萄涝渍灾害等级指标体系, 利用信息扩散理论方法, 计算区域内各站点的葡萄涝渍致灾风险指数。结果表明: 构建的葡萄涝渍等级指标能够较好地反映实际受灾情况, 指标验证结果与历史记录有较高一致性; 葡萄同一发育阶段的涝渍灾害发生范围随灾害等级的加大而缩小, 不同发育阶段重度涝渍灾害发生范围随着发育进程的推进逐渐增大; 葡萄萌芽-新梢生长期和开花坐果期发生涝渍灾害的风险相对较低, 果实膨大期和着色成熟期为葡萄涝渍灾害发生的高风险时期; 葡萄涝渍灾害高风险区域主要位于山东东南部、辽宁东南部、河北东北部。

关键词: 环渤海; 葡萄; 涝渍灾害; 等级指标; 风险评估

引言

葡萄是世界四大果树品种之一, 中国葡萄产业在改革开放的 40 余年间得到快速发展, 葡萄总产量位居世界首位, 面积居世界第 2 位^[1]。国家统计局数据显示, 到 2018 年底葡萄栽培面积达 7.25×10^5 hm^2 , 产量达 1.37×10^7 t, 与改革开放前(1978 年)相比, 面积增加 26.5 倍, 产量增加 130.6 倍。全球气候变化背景下, 极端降水事件频发, 近年我国遭受涝渍灾害次数比以往明显增多^[2-3]。涝渍灾害是我国主要农业气象灾害, 对农业生产的影响仅次于旱灾^[4-6], 中国水旱灾害公报表明 2018 年全国因洪涝粮食减产 1.21×10^7 t, 经济作物损失 166.66 亿元。环渤海湾葡萄栽培区是我国最大的葡萄产区, 栽培面积和产量约占全国总量的 36.2% 和 44.0%^[7]。该区

域属于暖温带半湿润季风气候区, 降水量年内和区域内分布不均^[8], 易发生涝渍灾害。葡萄耐涝能力弱, 其关键发育期正值环渤海地区多雨时期, 如遭遇短时强降雨或长时间持续降雨, 将严重影响葡萄的产量和品质, 造成葡萄大面积减产甚至绝收。涝渍灾害已成为威胁环渤海地区葡萄生产的主要气象灾害, 构建葡萄涝渍灾害等级指标, 对有针对性地开展葡萄涝渍灾害防涝减灾等具有重要意义。

国内外学者对葡萄涝渍灾害的研究, 主要包括涝渍对葡萄的影响、葡萄耐涝能力以及涝渍相关指标等方面。涝渍灾害对葡萄的影响以及葡萄耐涝能力的研究主要基于淹水控制试验, 通过人为控制外界水分条件, 对葡萄的生理生态指标^[9]、产量^[10-11]以及果实品质^[12-13]等方面进行研究, 成果表明: 葡萄在不同发育期耐涝能力有所不同, 萌芽期和新梢生长期是需水关键期; 开花坐果期要求降水较少, 过多则

2021-05-24 收到, 2021-06-30 收到再改稿。

资助项目: 国家重点研发计划(2017YFC1502801)

* 通信作者, 邮箱: huozg@cma.gov.cn

影响花粉受精坐果;果实膨大期和着色成熟期如遇过度降水易引发病虫害,导致葡萄产量和品质下降。

涝渍相关指标的研究多基于天气气候尺度,从气象洪涝的定量分析和评估出发,常用指标有降水距平^[14-17]、湿润度指数^[18-19]等,涝渍灾害的形成不仅受当前降水量影响,还与前期降水量联系密切^[5]。肖楠舒^[20]、马延庆等^[21]基于降水量和持续时间等因子构建葡萄霜霉病指标,采用连续两旬降水量之和超过 100 mm 为指标。张旭晖等^[22]根据农田水分平衡原理,基于日涝渍灾害指标和权重指数构建涝渍灾害指数模型,系统分析江苏省农田涝渍时空分布规律和气候变化趋势。马晓群等^[23]考虑农业旱涝的前期累积效应影响,以逐旬相对湿度指数为基础,定量表征玉米涝渍形成的逐步累积以及前期影响的差异性,创建可反映旱涝渐变的累积湿润指数的经验公式。盛绍学等^[24]利用气象资料、小麦发育期资料和产量资料等,构建包括涝渍脆弱度、气候风险指数、涝渍综合风险评估系数等不同的涝渍风险表征模型。上述指数或指标研究大多针对大田作物,在考虑前期影响时多以旬为尺度,只能在生长期结束后进行评估,缺乏对涝渍灾害过程监测评估的时效性,有关葡萄涝渍灾害指标,特别是基于葡萄涝渍灾变过程的指标研究鲜见报道。

鉴于此,本文以中国环渤海地区葡萄主产区为研究对象,利用气象资料、葡萄发育期资料以及葡萄涝渍历史灾情资料,充分考虑前期水分盈亏的影响,构建葡萄逐日涝渍指数,并结合历史灾情样本涝渍灾变过程解析结果,通过统计分析方法构建包含涝渍持续时间以及灾害强度的环渤海葡萄涝渍灾害等级指标体系,并在此基础上开展葡萄涝渍灾害风险评估。上述指标可实现对葡萄涝渍灾害过程的实时动态辨识评估,填补葡萄涝渍灾害等级指标的空白,具有较好的业务应用前景,为开展葡萄防灾减灾气象服务、灾害保险等提供基础支撑。

1 资料与方法

1.1 研究资料

1.1.1 研究区概况

研究区域为中国环渤海葡萄主产区,根据全国葡萄种植面积与产量数据(<http://zzys.agri.gov.cn>),结合前人研究及葡萄种植区划^[7,25],研究区域包括北京、天津、河北、山东、辽宁。该区域位于中国

东部沿海(34°23′~43°26′N,113°04′~125°46′E),区域内地形和地貌类型复杂多样,年平均气温为 8~12℃,多年平均降水量为 800 mm,属于暖温带半湿润季风气候区,四季分明、冬干夏湿。

1.1.2 资料来源

气象资料来源于国家气象信息中心,包括 1980—2019 年中国环渤海地区 323 个国家基本气象站的逐日日照时数、降水量、平均温度、日最高气温、日最低气温、平均风速和平均气压等,去除缺测率超过 5%的站点,对个别缺测数据用历年平均值替代进行插补,最后筛选得到 303 个国家基本气象站的逐日地面气象观测数据,研究区域内气象站点分布如图 1 所示。葡萄涝渍历史灾情资料来源于《中国气象灾害大典》(北京卷、天津卷、河北卷、山东卷、辽宁卷)^[26-30]、《中国气象灾害年鉴》^[31]、葡萄灾情调查、果园灾情记录以及媒体报道等。

1.1.3 资料处理

基于葡萄不同发育阶段对涝渍敏感的差异性,结合国内学者对环渤海地区葡萄发育期的研究记录数据及环渤海地区实际情况^[20,32-33],本研究将涝渍对葡萄的影响时段划分为萌芽-新梢生长期、开花坐果期、果实膨大期和着色成熟期。

葡萄涝渍灾害程度分级,依据《中国气象灾害大典》(北京卷、天津卷、河北卷、山东卷、辽宁卷)和《中国气象灾害年鉴》中关于葡萄涝渍灾害的相关记录,按照葡萄涝渍受灾程度的描述,将涝渍受灾程度分为轻度、中度、重度 3 个等级,其中对应的描述为:轻度涝渍,部分受灾、受损;中度涝渍,严重受渍、成灾、部分绝收;重度涝渍,大量减产、绝收、冲走果树。根据灾害记录中涝渍发生的时间、地点与降雨过程,结合葡萄的不同发育阶段,反演葡萄历史涝渍灾害过程,共得到葡萄不同发育阶段、不同等级涝渍灾害样本 130 个。随机选取葡萄不同发育阶段、不同灾害等级涝渍灾害样本 104 个进行指标构建,预留 26 个样本进行指标验证。

1.2 研究方法

1.2.1 涝渍指数的构建

研究表明:作物在进化历程中,为适应环境形成了有效的适应反应机制,某地主栽作物类型及其品种,是对平均气候状态长期选择和适应的较好结果,涝渍灾害发生的直接原因是作物水分盈亏明显偏离平均状态^[34],因此为消除站点内的时间差异、站点间的空间差异等影响,将某地作物当前水分盈亏状

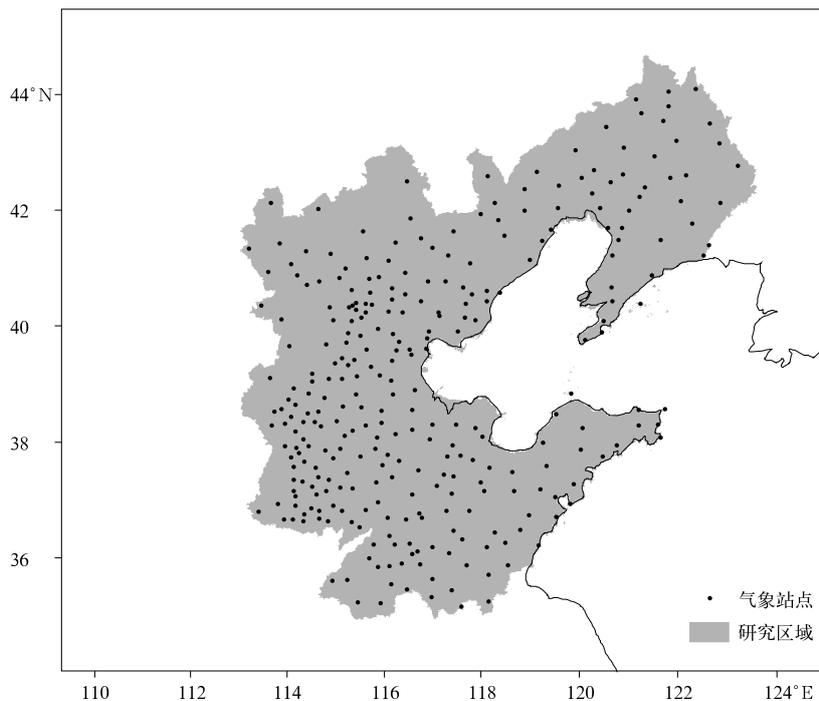


图1 研究区域内气象站点分布

Fig. 1 Distribution of weather stations in target area

况与该地区历史平均态水分需求状况相比较进行涝渍评估更有针对性。参考作物相对湿润度指数的计算公式,构建葡萄涝渍指数 M_{5i} 。

$$M_i = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i \times (P_i - E_{Tci})}{E_{Tci}} \quad (1)$$

式(1)中, M_i 为某站点第 i 日的改进后相对湿润度指数, n 为考虑前效影响的时间单位数, ω_i 为第 i 日前效影响系数, E_{Tci} 和 P_i 分别为该站点第 i 日的葡萄需水量和降水量(单位: mm), \bar{E}_{Tci} 为该站点1980—2019年第 i 日的葡萄需水量的历年平均值(单位: mm)。当 $M_i > 0$ 时,表示水分盈余,易引发涝渍灾害;当 $M_i = 0$ 时,表示水分收支平衡;当 $M_i < 0$ 时,表示水分亏缺,不会引发涝渍灾害。

$$E_{Tci} = K_{ci} \times E_{T0i} \quad (2)$$

式(2)中, K_{ci} 为葡萄作物系数,参考1998年FAO-56推荐的分段单值平均作物系数法^[35]和文献[20],对葡萄萌芽-新梢生长期、开花坐果期、果实膨大期、着色成熟期4个发育阶段的 K_c 进行逐月划分,4—10月的 K_c 分别为0.35, 0.45, 0.52, 0.85, 0.80, 0.60, 0.45, E_{T0i} 为某站点第 i 日的参考作物蒸散量(单位: mm),计算方法采用FAO推荐的Penman-Monteith公式^[35]。

葡萄在不同发育阶段对水分的需求不同,前期水分盈亏状况也会对当前葡萄生长发育产生影响,

在考虑前期水分盈亏影响时,采用权重递减的思路,即假定当日水分盈亏状况对该日 M_{5i} 贡献最大,当前几日的的水分盈亏情况对当日 M_{5i} 贡献随时间前移而递减,且所有因子总权重为1。

$$\omega_i = \sum_{k=1}^n \frac{n-k+1}{n \times (n+1)/2} \quad (3)$$

综合文献[36]及灾情记录反演结果,考虑当前5d的水分盈亏前效影响情况效果最佳,因此,式(3)中 $n=5$; k 为包含当日在内的前 k 天,即当日 $k=1$,当前1日 $k=2$,依次类推, $k=1, 2, \dots, n$ 。因此当日权重系数 ω_i 为 $5/15$,前1日的权重系数为 $4/15$,依次类推。环渤海葡萄涝渍指数 M_{5i} 公式如下:

$$M_{5i} = \sum_{k=1}^5 \left(\frac{6-k}{15} \times \frac{P_i - E_{Tci}}{E_{Tci}} \right) \quad (4)$$

1.2.2 指标阈值的确定

高斯分布的Lilliefors检验是通过对累积频率分布的比较,判断样本是否遵从高斯分布,它提出变量遵从高斯分布的原假设,判断其是否符合正态分布^[37]。若样本序列不符合正态分布,可对原始序列数据进行初等函数变换(如取对数、平方根、立方根等),使序列峰度-偏度系数减小,从而符合正态分布^[38]。

采用 t 分布区间估计方法,估计样本的重现水平^[39]。采用样本平均值的90%置信区间表征样本

的 M_{5i} 逐日累加值区间,以 90% 置信区间的上、下置信区间为界限,作为达到该葡萄涝渍等级的 M_{5i} 累加值的临界值。

1.2.3 指标验证

在构建指标前,随机预留 26 个独立葡萄涝渍灾害样本,用于葡萄涝渍等级指标的验证。26 个葡萄涝渍灾害样本包括萌芽-新梢生长期样本 2 个,开花坐果期样本 2 个,果实膨大期样本 10 个,着色成熟期样本 12 个。根据验证样本中记载涝渍发生的时间、地点,依据构建的葡萄涝渍等级指标,计算得到葡萄涝渍等级,对比验证其与历史记录灾情等级的一致性。

1.2.4 致灾风险指数

葡萄涝渍致灾风险指数指给定地理区域一定时段内葡萄轻度、中度、重度涝渍发生的可能性,即研究给定区域内葡萄涝渍的发生概率或重现期。综合考虑葡萄不同发育阶段涝渍等级及其发生概率,构建葡萄涝渍致灾风险指数评估模型:

$$D_r = \sum_{j=1}^m P_j \times Q_j \quad (5)$$

式(5)中, D_r 为涝渍致灾风险指数, Q_j 为第 j 个等级涝渍灾害的强度, m 为涝渍的等级数(本文 $m = 3$), P_j 为第 j 个等级涝渍灾害发生的概率。涝渍灾害发生概率(P_j)的计算方法采用信息扩散法^[40-42]。

2 结果与分析

2.1 葡萄涝渍灾害过程反演

根据灾情记录,反演对应时间和地点的降水过程,得到对应灾情记载时间前 15 d 到后 15 d 的降水和 M_{5i} 序列。根据反演的各灾情样本对应的降雨过程,得到各灾情样本对应灾害过程的 M_{5i} 逐日值,分别统计各个涝渍过程中 M_{5i} 在阈值 0,1,2,3,4,5,6 之间的持续日数及其过程中逐日累加值,根据统计结果得到不同 M_{5i} 阈值下灾害样本的被判识率(图 2)。

由图 2 可以看到,各个灾害过程中 M_{5i} 在 0,1,2,3 时,灾害样本被判识率均为 100%;在 4,5,6 时,灾害样本被判识率均小于 100%,且随阈值增加被判识率逐渐减少。基于判识率最大、空判率最小的原则,选择 3 作为阈值,即统计 $M_{5i} \geq 3$ 的持续日数及其过程中 M_{5i} 逐日累加值进行葡萄涝渍灾害等级指标构建。

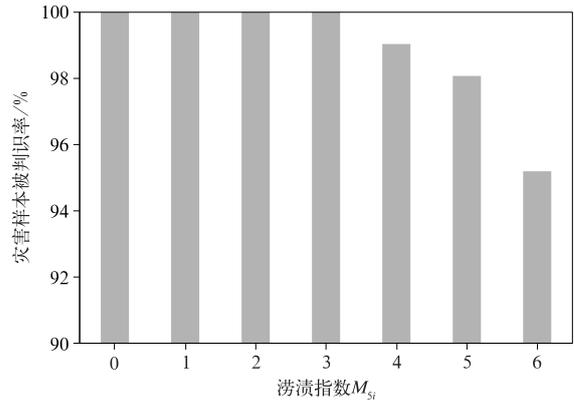


图 2 葡萄不同 M_{5i} 阈值下灾害样本被判识率

Fig. 2 Identification rate of grape disaster samples under different M_{5i} threshold

2.2 葡萄不同等级涝渍指标构建

根据灾害样本反演结果,统计 $M_{5i} \geq 3$ 持续日数分别为 3,4,5,6,7,8,9,10 d 及以上时,轻度、中度和重度涝渍的样本量占该持续日数总样本量的百分比,结果如图 3 所示。由图 3 可以看到,94.7% 的轻度涝渍样本 $M_{5i} \geq 3$ 持续日数为 3~4 d,82.4% 的中度涝渍样本 $M_{5i} \geq 3$ 持续日数为 5~6 d,64.7% 的重度涝渍样本 $M_{5i} \geq 3$ 持续日数为 7 d 及以上。因此,按照 $M_{5i} \geq 3$ 的持续日数划分,初步判识指标为:持续 3~4 d 为轻度,持续 5~6 d 为中度,持续 7 d 及以上为重度。

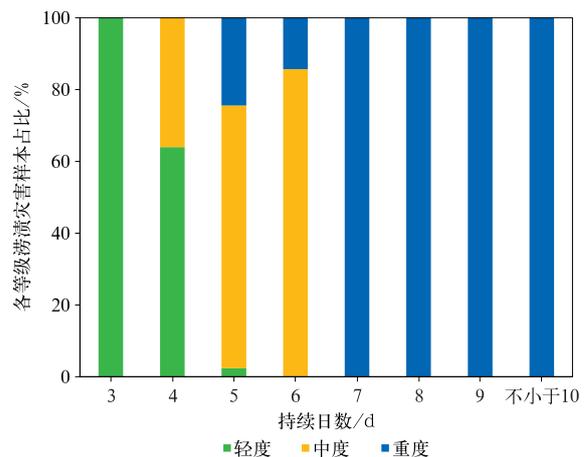


图 3 葡萄不同等级涝渍灾害样本量占总样本量的百分比($M_{5i} \geq 3$)

Fig. 3 The samples percentage of grape waterlogging disasters of different grades in the total samples ($M_{5i} \geq 3$)

根据上述初步判识指标对历史灾情等级进行判别时,有些灾例的判识结果不准确。以着色成熟期

为例,2009年8月18日费县站灾情样本记录反演结果表明: $M_{5i} \geq 3$ 持续日数为5 d,初步判识等级应为中度涝渍,但是其历史灾情记录描述为重度涝渍,反演其相应过程 M_{5i} 逐日累加值达到148,因此初步判识指标出现误差,即仅依靠 $M_{5i} \geq 3$ 的持续日数对涝渍灾害等级的判识不准确,需要添加辅助指标,即通过界定 $M_{5i} \geq 3$ 过程中 M_{5i} 逐日累加值上下限阈值修正初步判识结果,进行葡萄涝渍灾害等级判识。

根据初步判识指标统计303个气象站1980—2019年所有可能涝渍过程,即筛选条件为 $M_{5i} \geq 3$ 的持续日数至少为3 d。每个发育阶段均统计得到3组 M_{5i} 逐日累加值序列,分别对每个发育期3~4 d,5~6 d,7 d及以上过程中 $M_{5i} \geq 3$ 的逐日累加值序列进行正态分布检验,对不符合正态分布的数据序列进行初等函数变换,变换后的新样本序列通

过正态分布检验(达到90%信度水平)。结合灾情样本的数据分布,利用 t 分布区间估计方法,得到平均值90%置信区间(表1)。

当过程中 M_{5i} 逐日累加值超过其相应序列90%置信区间上限时,涝渍灾害等级强度加1级,小于其对应序列90%置信区间下限值时,涝渍灾害等级强度降1级,由此确定葡萄不同发育阶段、不同涝渍等级的涝渍指标区间。为应用方便,对阈值进行取整(表2)。

本文所得葡萄不同发育阶段涝渍灾害等级指标以 $M_{5i} \geq 3$ 的持续日数为初步判识指标,初步判定等级后,再对过程中 M_{5i} 进行累加,得到过程中 M_{5i} 逐日累加值,根据累加值大小,对初步判定等级进行修正,得到最终涝渍灾害等级。

以着色成熟期为例,2008年8月11日北京站

表1 葡萄发育阶段不同持续日数过程涝渍指数 M_{5i} 逐日累加值序列平均值90%置信区间

Table 1 90% confidence interval of the mean value of the cumulative M_{5i} in the process of different duration during grape growth stages

发育阶段	90%置信区间		
	3~4 d	5~6 d	7 d及以上
萌芽-新梢生长期	12.8~32.0	27.6~74.3	41.6~98.8
开花坐果期	12.9~32.4	25.5~68.9	42.6~116.9
果实膨大期	13.2~33.7	25.9~71.7	44.0~128.5
着色成熟期	13.5~36.1	28.7~85.9	45.8~153.7

表2 葡萄不同发育阶段涝渍灾害等级指标

Table 2 The grape waterlogging disaster level indicators during different growth stages

发育阶段	$M_{5i} \geq 3$ 持续日数/d	M_{5i} 逐日累加值		
		轻度涝渍	中度涝渍	重度涝渍
萌芽-新梢生长期	3~4	[13,32]	大于32	
	5~6	[13,28)	[28,74]	大于74
	不小于7		[28,42]	大于42
开花坐果期	3~4	[13,32]	大于32	
	5~6	[13,26)	[26,69]	大于69
	不小于7		[26,43]	大于43
果实膨大期	3~4	[13,34]	大于34	
	5~6	[13,26)	[26,72]	大于72
	不小于7		[26,44]	大于44
着色成熟期	3~4	[14,36]	大于36	
	5~6	[14,29)	[29,86]	大于86
	不小于7		[29,46]	大于46

样本灾情记录描述为轻度涝渍,灾情样本反演结果, $M_{5i} \geq 3$ 持续5 d,初步判定其涝渍等级为中度,计算得到过程中 M_{5i} 逐日累加值为28,小于中度涝渍等级相对应的 M_{5i} 累加值下限阈值29,则修正该过程涝渍灾害等级强度降一级,为轻度涝渍,与灾情记录等级相符。2011年8月9日大连站样本灾情记录

描述为中度涝渍,灾情样本反演结果 $M_{5i} \geq 3$ 持续6 d,初步判定其涝渍等级为中度,计算得到过程中 M_{5i} 逐日累加值为61,位于阈值区间内,则最终该样本计算等级为中度涝渍,与灾情记录等级相符;2000年8月8日兴城站样本灾情记录描述为重度涝渍,灾情样本反演结果 $M_{5i} \geq 3$ 持续5 d,初步判定其涝

渍等级为中度,计算 M_{5i} 逐日累加值为 139,大于中度涝渍等级相对应的 M_{5i} 累加值上限阈值 86,则修正该过程涝渍灾害等级强度加一级,为重度涝渍,与灾情记录等级相符。

2.3 葡萄涝渍灾害等级指标验证

用预留的 26 个独立样本,对葡萄涝渍灾害等级指标进行验证,将结果分为 3 大类,即完全符合、基本符合、完全不符合,其中基本符合为指标计算等级与历史记录等级相差一级。验证结果见表 3,结果表明:计算等级与历史记录完全符合的样本共 22

个,占全部样本的 84.6%;计算等级与历史记录基本符合的样本共 2 个,为 1994 年青龙和 1997 年承德,占全部样本的 7.7%,即完全符合和基本符合占总样本量的 92.3%;计算等级与历史记录完全不符合的样本共 2 个,为 1985 年密云和 2011 年栖霞,占全部样本的 7.7%。考虑到灾情描述存在一定误差,可以认为指标对历史灾情判识具有较好有效性,表明构建的葡萄涝渍等级指标能较好反映葡萄涝渍灾害的实际发生情况。

表 3 葡萄涝渍灾害指标验证

Table 3 Verification of grape waterlogging disaster indicators

发生时间	发生地点	发育阶段	灾情描述	$M_{5i} \geq 3$	$M_{5i} \geq 3$	指标计算等级	符合程度
				持续日数/d	逐日累加值		
2012-04-25	庄河	萌芽-新梢生长期	绝收	9	127	重	完全符合
1991-06-10	北京	开花坐果期	受渍,部分绝收	5	43	中	完全符合
2011-06-26	威海	开花坐果期	大量落果,减产	8	97	重	完全符合
1981-07-25	熊岳	果实膨大期	严重受渍	4	40	中	完全符合
1985-07-28	密云	果实膨大期	冲走果树	4	24	轻	不符合
1985-07-20	海城	果实膨大期	大量减产	8	103	重	完全符合
1990-07-15	塘沽	果实膨大期	部分受灾	3	17	轻	完全符合
1993-07-12	章丘	果实膨大期	部分无收	6	46	中	完全符合
1994-07-12	朝阳	果实膨大期	大面积减产	7	87	重	完全符合
2004-07-16	定陶	果实膨大期	成灾	5	39	中	完全符合
2008-07-18	威海	果实膨大期	受涝严重,绝收	10	98	重	完全符合
2008-07-18	青岛	果实膨大期	绝收	10	127	重	完全符合
2012-07-25	北京	果实膨大期	部分受灾	4	19	轻	完全符合
1988-08-08	北京	着色成熟期	严重受渍	5	39	中	完全符合
1992-08-31	威海	着色成熟期	成灾	5	70	中	完全符合
1992-09-01	大连	着色成熟期	大量减产	5	132	重	完全符合
1994-08-05	昌黎	着色成熟期	冲毁,绝收	5	87	重	完全符合
1994-08-05	青龙	着色成熟期	绝收	6	72	中	基本符合
1996-08-04	石家庄	着色成熟期	大量减产	9	219	重	完全符合
1997-08-01	承德	着色成熟期	大面积绝收	5	43	中	基本符合
1997-08-18	日照	着色成熟期	部分绝收	5	65	中	完全符合
1997-08-18	莒县	着色成熟期	绝收	6	112	重	完全符合
1997-08-18	威海	着色成熟期	大面积减产	6	175	重	完全符合
2000-08-28	青岛	着色成熟期	部分绝收	5	42	中	完全符合
2008-08-01	锦州	着色成熟期	受灾	4	27	轻	完全符合
2011-08-08	栖霞	着色成熟期	严重落果	3	20	轻	不符合

2.4 葡萄涝渍灾害风险分析

基于已构建的中国环渤海地区葡萄涝渍灾害等级指标和 303 个气象站资料,利用信息扩散法,计算 1980—2019 年 303 个气象站葡萄轻度、中度、重度涝渍的风险概率,葡萄不同发育阶段不同涝渍等级风险概率的站次比如图 4 所示。葡萄萌芽-新梢生长期和开花坐果期分别有 69.64% 和 61.06% 的气象站轻度

涝渍发生概率大于 20%,40.26% 和 42.57% 的气象站中度涝渍发生概率小于 5%,92.74% 和 87.46% 的气象站重度涝渍发生概率小于 5%;葡萄果实膨大期轻、中、重度涝渍分别有 95.04%,43.23%,12.21% 的气象站发生概率大于 20%;葡萄着色成熟期轻度、中度、重度涝渍分别有 98.02%,83.50%,23.76% 的气象站发生概率大于 20%。

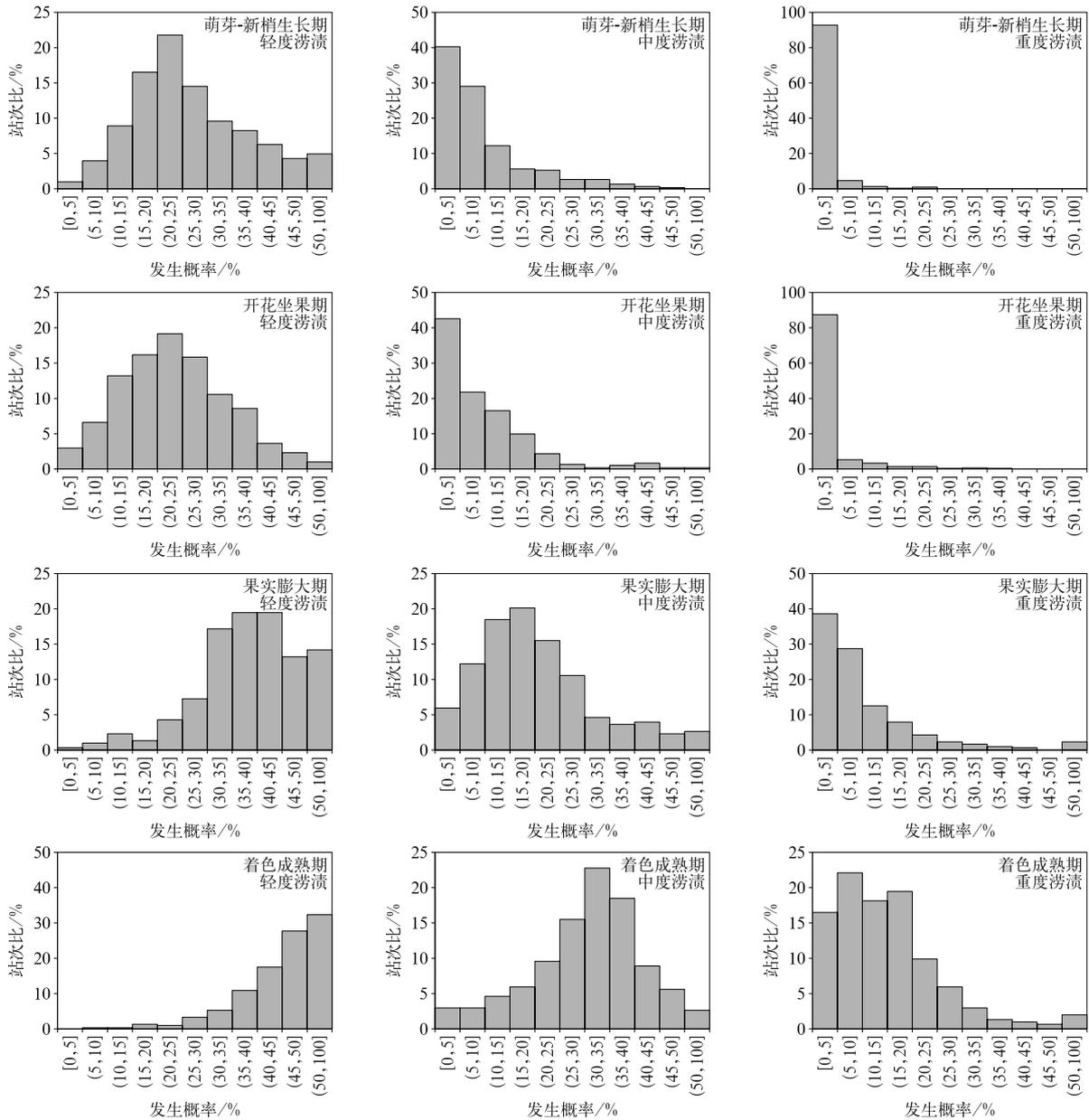


图 4 葡萄不同发育阶段不同等级涝渍发生概率站次比

Fig. 4 Station ratio of grape waterlogging disaster probability at different grades during different growth stages

综上所述,1980—2019 年环渤海主产区葡萄各发育阶段均为轻度涝渍发生范围最大,中度涝渍次之,重度涝渍发生范围最小,各发育阶段重度涝渍灾害发生范围随发育进程推进逐渐增大,果实膨大期和着色成熟期的轻度、中度、重度涝渍灾害发生范围明显大于前两个发育阶段。

综合考虑不同等级葡萄涝渍灾害发生概率和灾害强度,计算葡萄涝渍灾害风险指数,环渤海地区葡萄涝渍灾害风险空间分布情况如图 5 所示。总体上,葡萄涝渍灾害致灾风险随着葡萄发育进程的推

进逐步增加,由小到大的顺序为萌芽-新梢生长期、开花坐果期、果实膨大期和着色成熟期。环渤海地区葡萄主产区属于暖温带半湿润季风气候,春季少雨,葡萄前期生长发育受涝渍影响较小;夏季多雨,降雨主要集中在 7—9 月,此时正值葡萄的果实膨大期和着色成熟期,导致葡萄生长发育后期涝渍灾害风险较大。

研究区域内萌芽-新梢生长期的涝渍灾害致灾风险指数普遍在 0.6 以下,只有辽宁的东南部地区及山东南部 and 东部小部分地区风险指数高于 0.6,

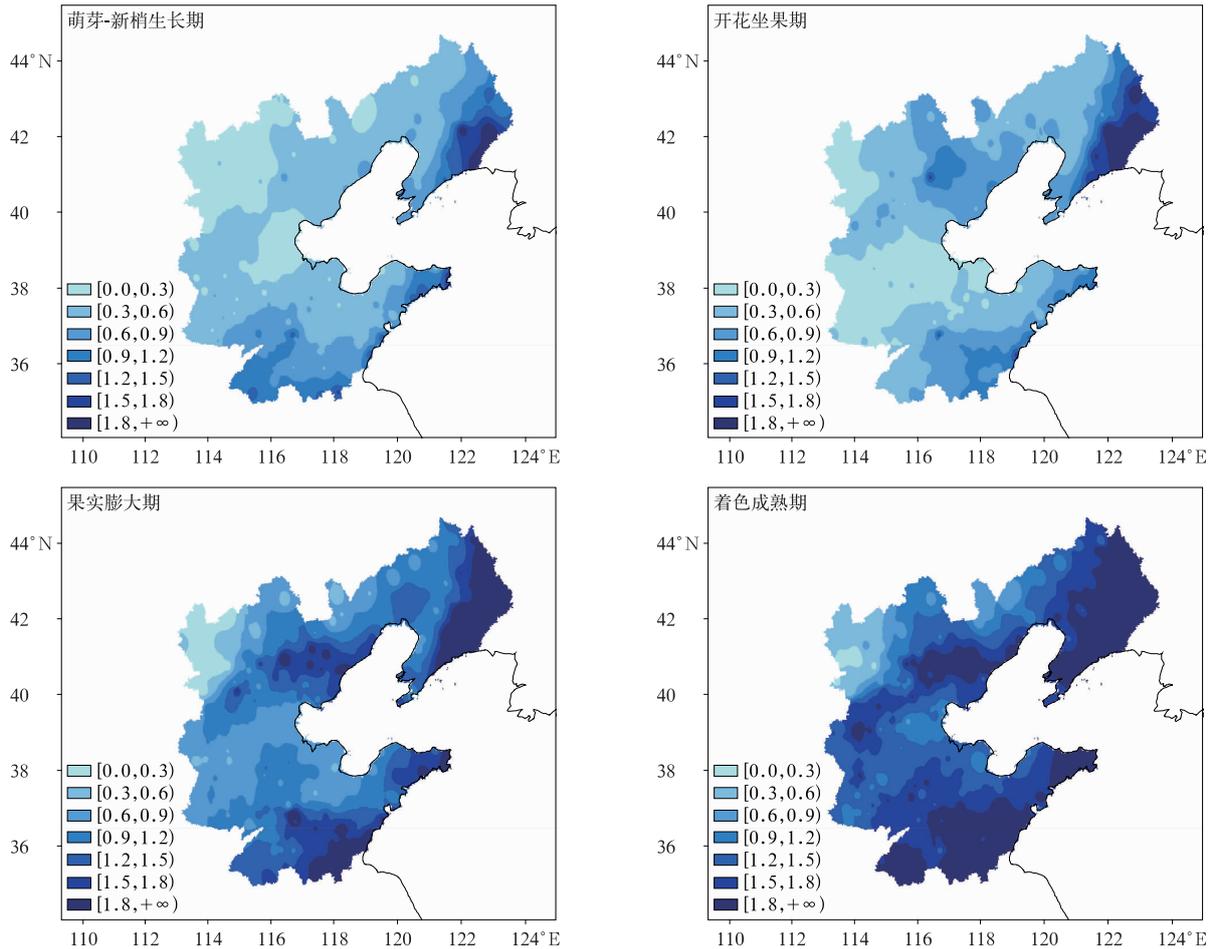


图 5 葡萄涝渍致灾风险指数空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of grape waterlogging disaster risk index

表明葡萄萌芽-新梢生长期不是涝渍灾害的高风险时期。

与萌芽-新梢生长期相比,开花坐果期的涝渍灾害致灾风险指数略有增加,高风险区域范围略有改变,主要位于辽宁的东南部地区,低风险区域位于河北南部的大部分地区。

果实膨大期和着色成熟期的涝渍灾害致灾风险明显增高,高风险区域范围较前两个发育阶段也明显扩大,由环渤海地区东南部区域向西北方向推进。除河北西北部小部分地区风险指数值低于 0.3 外,剩余大部分地区的葡萄涝渍灾害致灾风险指数在 0.6 以上,两个发育阶段均为葡萄涝渍灾害的高风险时期。

3 结论与讨论

以中国环渤海地区葡萄主产区为研究对象,在构建逐日涝渍指数 M_{5t} 的基础上,以历史灾情反演、

灾情样本重建和灾害过程解析为主线,构建适用于中国环渤海葡萄主产区的葡萄涝渍灾害等级指标体系,并在此基础上开展葡萄涝渍灾害风险分析,主要结论如下:

1) 从历史灾情分析出发,构建环渤海地区葡萄不同发育阶段轻度、中度、重度涝渍灾害指标。葡萄各发育阶段均以 $M_{5t} \geq 3$ 的持续日数为主导判识指标,轻度、中度和重度涝渍主导判识指标分别为持续 3~4 d, 5~6 d 和 7 d 及以上,并对过程中 M_{5t} 逐日累加阈值进行界定作为辅助指标,最终构建得到环渤海地区葡萄不同发育阶段涝渍灾害等级指标。

2) 环渤海地区葡萄各发育阶段均以轻度涝渍发生范围最大,中度涝渍次之,重度涝渍发生范围最小,各发育阶段重度涝渍灾害发生范围随发育进程的推进逐渐增大,果实膨大期和着色成熟期的轻度、中度以及重度涝渍灾害发生范围明显大于前两个发育阶段。

3) 环渤海地区葡萄不同发育阶段涝渍灾害风险从小到大依次为萌芽-新梢生长期、开花坐果期、果实膨大期和着色成熟期,葡萄涝渍灾害高风险区域主要位于山东东南部、辽宁东南部、河北东北部。

葡萄涝渍灾害的形成是多种因素综合作用的结果,其中天气条件是涝渍发生发展的致灾危险性因素。由于降水较多且排水不畅,葡萄果树根系和地上部分生长发育受阻,还易引发病虫害^[10,12-13,43],导致葡萄减产和品质下降。葡萄涝渍等级指标构建过程基于对历史灾情的加工整理和再分析,所采用的灾害样本覆盖中国环渤海葡萄主产区,且灾情记录时间跨度大,通过对历史灾情样本的统计分析,反演葡萄涝渍灾害发生发展过程,本文构建的葡萄涝渍灾害等级指标具有科学性和区域代表性。

本文参考相对湿润度指数,考虑当日及前期水分盈亏的综合影响,构建得到葡萄逐日涝渍指数 M_{5r} 。涝渍灾害是一个动态过程,目前涝渍灾害风险评估的研究大多是静态的、灾后的评估。由于降水等气象资料在气象业务中可以实时获取,因此本文构建的基于降水量和需水量的葡萄涝渍灾害指标可以实现对葡萄涝渍过程的动态判识评估,为开展区域涝渍灾害监测预警与评估提供重要技术支撑。

本文采用等级权重与历史灾害发生概率相乘的方法构建风险指数,该构建方法常见于农业气象灾害研究中,如水稻高温热害^[44]、苹果干旱^[45]、农业洪涝^[46]等,在实际生产中,葡萄涝渍灾害的发生不仅与降水、果树需水特征密切相关,葡萄果树的树龄、品种、地形地貌及灌溉状况很大程度上影响葡萄涝渍灾害的形成,后续研究将综合考虑危险性、脆弱性和种植区域的防灾减灾能力,优化风险指数模型^[47]。果树灾害指标研究尚处于起步阶段,本文参考苹果干旱^[48]、玉米冷害^[49]等指标构建方法,通过搜集历史灾情样本,对其进行反演分析用于指标构建,因此研究中资料的可靠性至关重要。目前葡萄涝渍灾害方面的研究基础较为薄弱,灾情记载的详尽程度不一,这可能与葡萄产业在当地的影响和重要程度以及前期对林果生产等关注度不足有关。由于灾情记录样本较少,同时受灾损资料及葡萄发育期资料的限制,无法通过葡萄关键发育阶段涝渍强度和等级分阶段量化灾损情况。未来随着产量和品质资料的补充,葡萄灾情资料和发育期资料的完善,以及果园管理情况、土壤状况和葡萄果树耐涝能力等资料的不断丰富,可在葡萄前期水分盈亏状况对

当前涝渍过程影响权重赋值方法、葡萄涝渍指数算法以及涝渍灾害各等级指标阈值厘定方法等方面继续深入研究。

参考文献

- [1] 刘俊,晁无疾,元桂梅,等.蓬勃发展的中国葡萄产业.中外葡萄与葡萄酒,2020(1):1-8.
Liu J,Chao W J,Qi G M,et al. Booming development of Chinese grape industry. *Sino-Overseas Grapevine and Wine*,2020(1):1-8.
- [2] IPCC. Climate Change 2014:Impacts,Adaptation,and Vulnerability Cambridge:Cambridge University Press,2014.
- [3] Alexander L V,Zhang X B,Peterson T C,et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*,2006,111(D5):1042-1063.
- [4] 杨建莹,霍治国,吴立,等.西南地区水稻洪涝等级评价指标构建及风险分析.农业工程学报,2015,31(16):135-144.
Yang J Y,Huo Z G,Wu L,et al. Evaluation level construction and analysis of risk on rice flood in Southwest China. *Transactions of the CSAE*,2015,31(16):135-144.
- [5] 杨宏毅,霍治国,杨建莹,等.江汉和江南西部春玉米涝渍指标及风险评估.应用气象学报,2017,28(2):237-246.
Yang H Y,Huo Z G,Yang J Y,et al. Indicators and risk of spring corn waterlogging disaster in Jiangnan and west region of Jiangnan. *J Appl Meteor Sci*,2017,28(2):237-246.
- [6] 霍治国,范雨娟,杨建莹,等.中国农业洪涝灾害研究进展.应用气象学报,2017,28(6):641-653.
Huo Z G,Fan Y X,Yang J Y,et al. Review on agricultural flood disaster in China. *J Appl Meteor Sci*,2017,28(6):641-653.
- [7] 杨振锋,毋永龙,徐国锋.我国葡萄的重点产区及适栽品种.果农之友,2007,8(4):39.
Yang Z F,Wu Y L,Xu G F. The key producing areas and suitable varieties of grapes in China. *Fruit Growers' Friend*,2007,8(4):39.
- [8] 李宁,刘珍,顾卫.渤海与环渤海地区年降水量的统计分析.地理研究,2006,25(6):1022-1030.
Li N,Liu Z,Gu W. Statistic analysis of average annual precipitation in the areas in and around Bohai Sea. *Geographical Research*,2006,25(6):1022-1030.
- [9] 李艳.葡萄砧木的耐涝性研究.泰安:山东农业大学,2013.
Li Y. Study on Waterlogging Tolerance of Grape Rootstocks. Taian:Shandong Agricultural University,2013.
- [10] 李华,火兴三.中国酿酒葡萄气候区划的水分指标.生态学杂志,2006,25(9):1124-1128.
Li H,Huo X S. Atmospheric moisture content index in climatic zoning of grapevine cultivation in China. *Chinese Journal of Ecology*,2006,25(9):1124-1128.
- [11] 李瑞萍.葡萄产量与气象条件的关系.山西农业科学,2006,34

- (3):40-42.
- Li R P. Relations between output of grape and meteorologic condition. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2006, 34(3):40-42.
- [12] 张晓煜,刘玉兰,张磊,等. 气象条件对酿酒葡萄若干品质因子的影响. *中国农业气象*, 2007, 28(3):326-330.
- Zhang X Y, Liu Y L, Zhang L, et al. Influence of meteorological conditions on some quality factors of wine grape. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007, 28(3):326-330.
- [13] 刘玉兰,郑有飞,张晓煜. 气象条件对酿酒葡萄品质影响的研究进展. *中外葡萄与葡萄酒*, 2006(1):28-29.
- Liu Y L, Zheng Y F, Zhang X Y. Research progress of effect of meteorological condition on wine grape quality. *Sino-Overseas Grapevine and Wine*, 2006(1):28-29.
- [14] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究. *应用气象学报*, 1997, 8(1):27-34.
- Ju X S, Yang X W, Chen L J, et al. Research on determination of station indexes and division of regional flood/drought grades in China. *J Appl Meteor Sci*, 1997, 8(1):27-34.
- [15] 鞠笑生,邹旭恺,张强. 气候旱涝指标方法及其分析. *自然灾害学报*, 1998, 7(3):52-58.
- Ju X S, Zou X K, Zhang Q. The method of the climatic drought-flood index and its analysis. *Journal of Natural Disasters*, 1998, 7(3):52-58.
- [16] 张存杰,王宝灵,刘德祥,等. 西北地区旱涝指标的研究. *高原气象*, 1998, 17(4):48-56.
- Zhang C J, Wang B L, Liu D X, et al. Research on drought and flood indices in the Northwest China. *Plateau Meteorology*, 1998, 17(4):48-56.
- [17] 张尚印,姚佩珍,吴虹,等. 我国北方旱涝指标的确定及早涝分布状况. *自然灾害学报*, 1998, 7(2):25-31.
- Zhang S Y, Yao P Z, Wu H, et al. Determination of drought-flood index and distribution of drought-flood in the North of China. *Journal of Natural Disasters*, 1998, 7(2):25-31.
- [18] 王越,江志红,张强,等. 用 Palmer 湿润指数作西北地区东部冬小麦旱涝评估. *应用气象学报*, 2008, 19(3):342-349.
- Wang Y, Jiang Z H, Zhang Q, et al. Evaluating aridity and wetness of the wheat with Palmer moisture anomaly index in the east of Northwest China. *J Appl Meteor Sci*, 2008, 19(3):342-349.
- [19] 王越,江志红,张强,等. 基于 Palmer 湿润指数的旱涝指标研究. *南京气象学院学报*, 2007, 30(3):383-389.
- Wang Y, Jiang Z H, Zhang Q, et al. Comparative study of Palmer's moisture anomaly index and Z index. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2007, 30(3):383-389.
- [20] 肖楠舒. 环渤海地区鲜食葡萄水旱灾害气象风险评估. 沈阳:沈阳农业大学, 2020.
- Xiao N S. Meteorological Risk Assessment of Flood and Drought Disasters of Fresh Grape in Bohai Rim. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.
- [21] 马延庆,千琼丽,刘长民,等. 咸阳地区葡萄霜霉病的发生规律与气象条件关系分析. *中外葡萄与葡萄酒*, 2008(5):35-37.
- Ma Y Q, Qian Q L, Liu C M, et al. Analysis on relationship of occurrence regularity of downy mildew and meteorological factors. *Sino-Overseas Grapevine and Wine*, 2008(5):35-37.
- [22] 张旭晖,朱海涛,杨洪建,等. 江苏渍涝灾害影响程度评估. *江苏农业科学*, 2016, 44(9):407-411.
- Zhang X H, Zhu H T, Yang H J, et al. Evaluation of the impact degree of waterlogging disaster in Jiangsu. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(9):407-411.
- [23] 马晓群,吴文玉,张辉. 农业旱涝指标及在江淮地区监测预警中的应用. *应用气象学报*, 2009, 20(2):186-194.
- Ma X Q, Wu W Y, Zhang H. The agricultural drought and flood index and its operational application to monitoring and early-warning in Jianghuai Area. *J Appl Meteor Sci*, 2009, 20(2):186-194.
- [24] 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. *生态学杂志*, 2010, 29(5):985-990.
- Sheng S X, Huo Z G, Shi L. Risk assessment and regionalization of waterlogging disaster for wheat in Jianghuai Region. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(5):985-990.
- [25] 张晓煜. 中国北方酿酒葡萄生态区划. 北京:气象出版社, 2014.
- Zhang X Y. Ecological Regionalization of Wine Grape in Northern China. Beijing: China Meteorological Press, 2014.
- [26] 温克刚,藏建升. 中国气象灾害大典(河北卷). 北京:气象出版社, 2007.
- Wen K G, Zang J S. Chinese Meteorological Disasters(Hebei). Beijing: China Meteorological Press, 2007.
- [27] 温克刚,谢璞. 中国气象灾害大典(北京卷). 北京:气象出版社, 2005.
- Wen K G, Xie P. Chinese Meteorological Disasters(Beijing). Beijing: China Meteorological Press, 2005.
- [28] 温克刚,王宗信. 中国气象灾害大典(天津卷). 北京:气象出版社, 2008.
- Wen K G, Wang Z X. Chinese Meteorological Disasters(Tianjin). Beijing: China Meteorological Press, 2008.
- [29] 温克刚,王建国,孙典卿. 中国气象灾害大典(山东卷). 北京:气象出版社, 2006.
- Wen K G, Wang J G, Sun D Q. Chinese Meteorological Disasters(Shandong). Beijing: China Meteorological Press, 2006.
- [30] 温克刚,李波,孟庆楠. 中国气象灾害大典(辽宁卷). 北京:气象出版社, 2005.
- Wen K G, Li B, Meng Q N. Chinese Meteorological Disasters(Liaoning). Beijing: China Meteorological Press, 2005.
- [31] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴(2004-2019). 北京:气象出版社, 2006-2019.
- China Meteorological Administration. China Meteorological Disasters Yearbook(2004-2019). Beijing: China Meteorological Press, 2006-2019.
- [32] 马姗姗,程婷婷,童明,等. 影响延庆地区葡萄生长的气象灾害分析. *现代农业科技*, 2018(24):89-90.

- Ma S S, Cheng T T, Tong M, et al. Analysis on meteorological disasters affecting grape growth in Yanqing Region. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018(24): 89-90.
- [33] 孙丽华, 张天云, 戴伟. 昌黎酿酒葡萄全生育期气象指标与预报模型//中国气象学会. 2011年第二十八届中国气象学会年会论文集, 2011: 1-6.
- Sun L H, Zhang T Y, Dai W. Meteorological Index and Forecast Model for the Whole Growth Period of Changli Wine Grape// Chinese Meteorological Society. Proceedings of the 28th Annual Meeting of the Chinese Meteorological Society, 2011: 1-6.
- [34] 贺楠. 安徽省农业旱涝灾害风险分析. 北京: 中国气象科学研究院, 2009.
- He N. Risk Analysis of Agricultural Drought and Flood Disaster in Anhui Province. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2009.
- [35] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop Evapotranspiration Guide Lines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, 1998.
- [36] 范雨娴, 霍治国, 尚莹. 湖南油菜春季涝渍灾变等级指标与灾损评估. 中国农业资源与区划, 2019, 40(9): 37-47.
- Fan Y X, Huo Z G, Shang Y. Catastrophe classification indicator and yield loss analysis of oilseed rape vertical waterlogging in Hunan Province. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(9): 37-47.
- [37] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 2007.
- Wei F Y. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Techniques. Beijing: China Meteorological Press, 2007.
- [38] 李德, 祁宦, 马晓群. 安徽省淮北平原夏玉米主要生育时期旱涝指标与影响评估. 中国农学通报, 2013, 29(17): 208-216.
- Li D, Qi H, Ma X Q. The climate index and assessment about drought and flood in maize's key growth stage in Huaibei Plain in Anhui Province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(17): 208-216.
- [39] 张文彤. SPSS 统计分析基础教程. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- Zhang W T. SPSS Statistical Analysis Basic Tutorial. Beijing: Higher Education Press, 2011.
- [40] Huang C. Principle of information diffusion. *Fuzzy Sets & Systems*, 1997, 91(1): 69-90.
- [41] 刘新立. 区域水灾风险评估的理论与实践. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- Liu X L. Theory and Practice of Regional Flood Risk Assessment. Beijing: Peking University Press, 2005.
- [42] 张少杰, 江玉红, 杨红娟, 等. 基于水文过程的泥石流预报中前期有效降水量的确定方法. 水科学进展, 2015, 26(1): 34-43.
- Zhang S J, Jiang Y H, Yang H J, et al. An hydrology-process based method for antecedent effect rainfall determination in debris flow forecasting. *Advances in Water Science*, 2015, 26(1): 34-43.
- [43] 邱宁刚. 气象灾害对庆阳市苹果生长的影响及防御对策. 现代农业科技, 2018(16): 84-86.
- Qiu N G. Effects of meteorological disasters on apple growth in Qingyang City and countermeasures. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018(16): 84-86.
- [44] 刘祖贵, 刘战东, 肖俊夫, 等. 苗期与拔节期淹涝抑制夏玉米生长发育、降低产量. 农业工程学报, 2013, 29(5): 44-52.
- Liu Z G, Liu Z D, Xiao J F, et al. Waterlogging at seedling and jointing stages inhibits growth and development, reduces yield in summer maize. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(5): 44-52.
- [45] 杨建莹, 霍治国, 王培娟, 等. 中国北方苹果干旱等级指标构建及危险性评价. 应用气象学报, 2021, 32(1): 25-37.
- Yang J Y, Huo Z G, Wang P J, et al. Evaluation index construction and hazard risk assessment on apple drought in Northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(1): 25-37.
- [46] 吴立, 霍治国, 张蕾, 等. 西南地区农业洪涝等级指标构建及时空分布特征. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2473-2481.
- Wu L, Huo Z G, Zhang L, et al. Level indicators construction and temporal-spatial distribution features of agricultural flood in the Southwest of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(8): 2473-2481.
- [47] 王纯枝, 霍治国, 郭安红, 等. 中国北方冬小麦蚜虫气候风险评估. 应用气象学报, 2021, 32(2): 160-174.
- Wang C Z, Huo Z G, Guo A H, et al. Climatic risk assessment of winter wheat aphids in Northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(2): 160-174.
- [48] 程雪, 孙爽, 张镇涛, 等. 我国北方地区苹果不同干旱等级时空特征. 应用气象学报, 2020, 31(4): 405-416.
- Cheng X, Sun S, Zhang Z T, et al. Spatial-temporal distribution of apples with different drought levels in Northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(4): 405-416.
- [49] 王培娟, 霍治国, 杨建莹, 等. 基于热量指数的东北春玉米冷害指标. 应用气象学报, 2019, 30(1): 13-24.
- Wang P J, Huo Z G, Yang J Y, et al. Indicators of chilling damage for spring maize based on heat index in Northeast China. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(1): 13-24.

Indicator Construction and Risk Assessment of Grape Waterlogging in the Bohai Rim

Mao Hongdan¹⁾ Huo Zhiguo¹⁾²⁾ Zhang Lei³⁾ Yang Jianying¹⁾ Kong Rui¹⁾
Li Chunhui¹⁾ Jiang Mengyuan¹⁾

¹⁾ (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

²⁾ (*Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters,
Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*)

³⁾ (*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

Abstract

The viticulture area around the Bohai Bay is the largest grape producing area in China. Waterlogging disaster is a major agricultural meteorological disaster in China, which seriously threatens grape production. Waterlogging indexes are utilized on field crops widely, but most of them can only be evaluated after the end of the growing season, which lacks the timeliness of monitoring and evaluating the process of waterlogging disasters. Taking the main grape producing areas in the Bohai Rim of China as the research object, the waterlogging grade index is constructed based on the daily meteorological data, grape growth stage data and grape waterlogging historical disaster data from 303 meteorological stations in the study area from 1980 to 2019. In the process of index construction, the influence of previous water surplus and deficit status on the current waterlogging process is fully considered, and the climate adaptability of crops in a certain place is considered. The daily waterlogging index of grapes is constructed by referring to the relative humidity index method of crops. Taking historical disaster inversion and disaster process analysis as the main line, Lilliefors test of normal distribution and t -distribution interval estimation method are used to construct the grape waterlogging disaster grade index system suitable for the main grape producing areas around the Bohai Bay, starting from the duration and intensity of waterlogging disaster. Based on the classification index of grape waterlogging disasters constructed above, the frequency of waterlogging disasters at each site in the Bohai Rim from 1980 to 2019 is counted, and the probability of disasters at each site is obtained by using information diffusion theory. Considering the probability and intensity of waterlogging disasters of each grade, the risk index of grape waterlogging in each station in the region is calculated. The results show that the occurrence range of waterlogging disaster in the same growth period of grape decreases with the increase of the disaster level, while the occurrence range of severe waterlogging disaster in different growth periods gradually increases with the advancement of development process. The risk of grape waterlogging is relatively low during the period of bud-shoot growth and flowering and fruit-setting, while the high-risk period of grape waterlogging is the period of fruit expansion and coloring and maturity. The high-risk areas of grape waterlogging disaster are mainly located in the southeast of Shandong Province, the southeast of Liaoning Province and the northeast of Hebei Province.

Key words: the Bohai Rim; grape; waterlogging disaster; grade index; risk assessment