

柏秦凤, 王景红, 郭新, 等. 2013. 基于县域单元的陕西苹果越冬冻害风险分布. 气象, 39(11):1507-1513.

基于县域单元的陕西苹果 越冬冻害风险分布^{*1}

柏秦凤¹ 王景红¹ 郭新¹ 霍治国² 梁轶¹ 张勇¹ 杨涛³

1 陕西省经济作物气象服务台, 西安 710014

2 中国气象科学研究院, 北京 100081

3 陕西旬邑县气象局, 旬邑 711300

提 要: 为了有效利用气候资源、趋利避害、合理规划和促进陕西苹果产业, 促进县域苹果种植布局优化, 实现健康、可持续生产, 依据 3 个苹果种植代表县县站与其境内区域站越冬期气温的关系, 进行概率移植, 借助各代表县县站 1971—2011 年越冬期气温数据, 计算获得各代表县县站及其境内区域站苹果不同等级越冬期冻害的发生概率。根据对 30 多个苹果越冬冻害历史个例的分析结果, 分别赋予苹果越冬期轻度、中度、重度等级冻害 0.3、0.5 和 0.7 的灾损系数。依据气候致灾风险的基本原理和模型, 计算获得各代表县县站及其境内区域站的越冬期冻害风险指数, 并基于 GIS 系统制作了各代表县的降尺度苹果越冬期冻害风险分布图。

关键词: 县域单元, 苹果, 越冬期冻害, 风险分布

中图分类号: S166

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.11.015

Research on Apple Wintering Frost Damage Risk Distribution Based on County Level in Shaanxi Province

BAI Qinfeng¹ WANG Jinghong¹ GUO Xin¹ HUO Zhiguo²

LIANG Yi¹ ZHANG Yong¹ YANG Tao³

1 Shaanxi Meteorological Service Observatory for Economical Crop, Xi'an 710014

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 Xunyi Meteorological Station of Shaanxi, Xunyi 711300

Abstract: In order to effectively use local climate resources, reasonably plan and develop Shaanxi apple industry, and optimize apple planting layout in county level to get healthful and sustainable product, the research was carried out and described in this paper. Transplanting probability was conducted according to the relationship between wintering temperature in 3 apple planting counties and its regional automatic weather stations. By using winter temperature data during 1971 to 2011 from the weather stations of the 3 apple plant counties, this paper calculated the probability of damage to apple plant by frost at different weather stations as well as their regional automatic weather stations. According to the result of analyzing more than 30 historical apple wintering disaster cases, damage loss coefficient was got encoding 0.3, 0.5, 0.7 as mild, moderate, severe level, separately. Besides, by using the fundamental theories and model of climate hazard risk, the apple wintering frost damage risk index of the representative apple plant counties' weather stations was successfully obtained. The result is visualized by drawing the apple wintering frost

* 科技部农业科技成果转化资金项目(2011GB241600004)和陕西省气象局科技创新基金计划项目(2012M-15)共同资助

2013 年 1 月 21 日收稿; 2013 年 5 月 22 日收修定稿

第一作者: 柏秦凤, 主要从事农业气象灾害风险研究、气候变化对经济林果生产的影响研究等. Email: qinfeng333@163.com

damage down-scaling risk maps in using GIS system.

Key words: county level, apple, wintering frost damage, risk distribution

引 言

以苹果为主的经济林果产业已经成为陕西六大支柱产业之一,在全省“稳粮、优果、兴牧”的农业发展战略中占有非常重要的地位(刘映宁等,2010)。据统计,2011年陕西苹果种植面积 62.3 万 hm^2 ,产量达到 902.9 万 t,产量占全国 1/3,世界 1/8,年产值达 120 亿元(陕西省统计局,2012)。黄土高原苹果种植区生态气候优势明显,多项气象指标符合于苹果优生区指标需求(李佑民,2002;刘璐等,2009)。但是,该区大陆性季风气候特征明显,加之地形地貌复杂,导致气候脆弱,气象灾害较重(李美荣等,2006;岳治国等,2010;刘璐等,2012)。其中,苹果越冬期冻害是影响陕西北部果区苹果产量和品质的重要气象灾害之一(朱琳等,2005;李艳丽等,2011;李美荣等,2012)。

关于苹果越冬冻害及其风险分布和区划的研究,有多位学者就其越冬冻害的原因(张学河等,1994;韩唐则等,1995;高卫东,2007)、防御(刘万珍,2007;张志凯,2007;孙凤妮等,2008)及灾后管理(辛玉成等,1994;康才周等,1999;李丙智等,2008;卢文等,2009;田建保等,2010;路世云等,2011)等方面进行了研究和总结;而有关其越冬冻害风险分布或风险区划的研究尚较为少见,仅有王景红等(2012)依据风险原理,以陕西各苹果种植县县站历史气候资料和灾情资料等对陕西苹果的越冬期冻害进行了较为详细的风险区划。

随着县域经济的繁荣发展,以及种植业、保险业对风险分析时空尺度上的精细化需求,以县域为单位的小区域、小范围的精细化风险分析和区划,将显示出重要的应用价值。加之陕西省苹果果区本身地形地貌的复杂性,在县域单元内进行空间上降尺度的苹果气象灾害风险分布研究,一方面可规避不适宜小气候环境下的盲目栽植,促进县域经济林果产业布局优化、灵活发展;另一方面,可提高政策性农业保险为苹果产业服务的精确性和服务效率。基于此,本研究拟在前人工作基础上,利用更为详细和精确的时空尺度上的地理、气候、灾情等资料,在陕西苹果越冬冻害较常发生的 3 个果区,分别选取 1 个有代表性的种植县,进行县域内空间上降尺度苹果

越冬期冻害风险分析,以期对陕西苹果基地县小气候资源的合理利用,基地县防灾减灾体系建设,政策性农业保险在苹果产业的深入开展,以及苹果产业健康、可持续发展等提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 分析时段和区域

陕西苹果种植区主要分布在陕北南部丘陵沟壑区和渭北塬区,位于 $34^{\circ}38' \sim 37^{\circ}02' \text{N}$ 、 $105^{\circ}35' \sim 110^{\circ}37' \text{E}$,海拔高度 800~1400 m。按习惯分为延安、渭北西部、渭北东部和关中 4 大果区。根据朱琳等(2005)、李美荣等(2012)、李艳丽等(2011)的研究,陕西苹果越冬期冻害主要发生在冬季极端最低气温比较低的渭北西部果区、延安及以北果区,且冬季低温冻害局地性强。因此,选取安塞、洛川、旬邑 3 个县作为代表县,分别代表延安北部山地果区、延安南部台塬果区和渭北西部果区,进行陕西富士系苹果越冬期冻害空间降尺度风险分析研究。越冬期气象资料分析时段根据陕西北部 and 西部果区苹果越冬冻害实际发生情况,选择当年 11 月至次年 2 月为一个完整的苹果果树越冬期进行分析。

1.2 资料来源

(1) 气象资料

代表县越冬期极端最低气温资料分为县站资料和区域站(特指分布在该县境内及县界周边的乡、镇、村的自动气象观测点,目前陕西省自动气象观测点之间的平均距离约 11 km,全省分布有 1300 多个,每个县根据面积和地形自动气象观测点数目不等)资料,3 个代表县县站资料采用 1971—2011 年 41 年越冬期(每个越冬期包含当年 11 和 12 月及次年 1 和 2 月共 4 个月)资料序列;代表县境内及周边共 46 个区域站越冬期资料采用 2009(11—12 月)、2010(1—2 月和 11—12 月)、2011(1—2 月和 11—12 月)、2012(11—12 月)年,共 3 个越冬期的资料。上述资料均来自陕西省气象信息中心。

(2) 灾情资料

包括从文献及灾害年鉴等文字材料收集到的代表县灾害,及陕西省经济作物气象服务台 2012 年 7

月赴 3 个代表县,针对长期在当地基层从事果业生产指导的技术人员,调查访问所得的 30 多个苹果越冬冻害灾害个例信息。

(3) 地理信息

安塞、洛川和旬邑及其周边县站 1:250000 地理背景数据层集。主要包括:1:250000 行政区划(县)矢量图,1:250000 数字高程模型(digital elevation model,DEM)。

1.3 分析方法

1.3.1 建立气候风险评估模型

某种气象灾害致灾因子的危险性,即气候危险性风险,主要表现为该气象灾害的危害强度和发生概率,因而某种气象灾害的气候风险可用其发生时的危害强度和发生概率来表征。

关于苹果越冬期轻度、中度、重度灾害等级的临界指标,沿用王景红等(2012)的研究成果,分别以越冬期极端最低气温(T_D): $-24^{\circ}\text{C} < T_D \leq -20^{\circ}\text{C}$ 、 $-28^{\circ}\text{C} < T_D \leq -24^{\circ}\text{C}$ 和 $T_D \leq -28^{\circ}\text{C}$ 划分。关于苹果不同等级越冬期冻害的灾损系数,参照王景红等(2012)的研究结果,采用灾情反演方法结合专家评估,确定苹果越冬期冻害轻度、中度、重度等级的灾损系数分别为 0.3、0.5 和 0.7。

基于以上分析可得到陕西苹果越冬期冻害气候危险性风险评估模型,见式(1)。

$$VH = sd \times sc + md \times mc + ld \times lc \quad (1)$$

式中, VH 为陕西苹果越冬期冻害气候危险性风险指数,用于表示气候致灾因子风险大小,其值越大,则气候致灾风险程度越大,灾害发生时造成损失越大; sd 、 md 和 ld 分别为重度、中度、轻度气象灾害的发生概率, sc 、 mc 和 lc 分别为重度、中度、轻度灾害的灾损系数。

1.3.2 区域站数据的应用

基于县域单元的空间降尺度风险分析,一个瓶颈问题是数据资源的缺乏。如何有效利用有限的气象数据进行较小空间尺度上的风险分布研究,还是一个正在探索的问题。本研究采取用代表县县站和周边各区域站之间越冬期极端最低气温的正负关系,订正各区域站苹果越冬期冻害各等级指标的临界值,使得订正后各区域站的“苹果越冬期冻害指标”能够反映该区域站所代表的小区域的冻害程度;进而基于各区域站越冬期冻害 3 个等级的“指标”临界值,借助县站 41 年越冬期极端最低气温序列,来计算各区域站不同等级越冬期冻害的概率,实现县

域单元苹果越冬期空间上降尺度风险分析。本方法有关区域站苹果越冬期冻害各等级指标的修订及概率计算,借鉴了博弈论中概率移植的思路和方法,可认为是对博弈论中概率移植方法的引申应用(朱·弗登博格等,2010)。区域站苹果越冬期冻害概率计算详见下述步骤:

(1) 计算 3 个代表县县站 1971—2011 年历年越冬期的日最低气温 T_D ,建立代表县越冬期冻害气候致灾因子——越冬期极端最低气温的样本序列。应用 MATLAB 软件对该样本序列进行概率分布型检验和拟合,并以 T_D : $-24^{\circ}\text{C} < T_D \leq -20^{\circ}\text{C}$ 、 $-28^{\circ}\text{C} < T_D \leq -24^{\circ}\text{C}$ 和 $T_D \leq -28^{\circ}\text{C}$ 将各代表县历史上的越冬期冻害分为轻度、中度和重度 3 个冻害等级,分别计算各代表县县站轻度、中度和重度越冬期冻害的发生概率。

(2) 计算各代表县境内及县界周边区域站的 2009—2011 年越冬期极端最低气温 3 年平均值 T_{dn} ,并与相应代表县县站 2009—2011 年 3 年越冬期极端最低气温平均值 T_d 进行比较,得到 $T_d - T_{dn} = t$, t 为县站与区域站越冬期极端最低气温的 3 年均值差。

(3) 确定各区域站苹果越冬期冻害的临界温度。分别用苹果越冬期冻害的 3 个临界温度, -20 、 -24 和 -28°C 加 t 值,得到各县相应的各区域站的越冬期冻害临界温度值 T'_D 。

(4) 进行概率移植。即用县站 41 年数据序列,采用订正后的各区域站的越冬期冻害临界温度值(T'_D): $-24 + t < T'_D \leq -20 + t$ 、 $-28 + t < T'_D \leq -24 + t$ 、 $T'_D \leq -28 + t$,应用 MATLAB 软件计算得到各区域站轻度、中度和重度等级越冬期冻害的发生概率 ld 、 md 和 sd 。

(5) 采用式(1)计算各代表县县站、境内区域站和周边区域站越冬期冻害风险指数,并基于 GIS 系统绘制各代表县降尺度苹果越冬期冻害风险分布图。

2 结果与分析

2.1 安塞县苹果越冬期冻害风险分析

安塞县是陕西省苹果种植北缘的山地苹果种植代表县。山地果区与台塬地带果区在地形地貌上有显著差异。山地果区苹果种植良好与否,甚至能否成活与地形小气候环境有非常密切的关系,各种气

2.2.1 洛川县站及境内各区域站越冬冻害概率分布

依据 1.3.2 所述方法,计算洛川县县站及周围区域站 2009—2011 年 3 年越冬期极端最低气温平均值,并计算县站 3 年均值与各区域站 3 年均值之差(表 3)。

表 3 2009—2011 年越冬期洛川县站与周围区域站极端最低气温平均值及差值

Table 3 The mean of wintering extreme minimum temperatures from 2009 to 2011 of meteorological stations in Luochuan County and its relationships

站号	站名	各站 2009—2011 年均值/℃	区域站与县站均值之差/℃
53942	洛川县站	-16.77	0.00
V1972	党家塬站	-17.50	-0.73
V1973	堡子头站	-18.33	-1.56
V1974	严家庄站	-16.30	0.47
V1976	洛阳站	-17.60	-0.83
V1977	北界站	-16.27	0.50
V1978	吴家庄站	-16.27	0.50
V1979	槐柏站	-16.83	-0.06

依据表 3 中洛川周边区域站越冬期极值与洛川县站越冬期极值的关系,分别确定各区域站苹果越冬期冻害的轻度、中度和重度指标临界值,并依据各区域站不同的临界指标值基于洛川县县站越冬期历史极端最低气温数据样本,计算获得各区域站越冬期苹果 3 个冻害等级各自的发生概率(表 4)。

由表 3 可见,洛川县境内的严家庄站、北界站和吴家庄站越冬期极端最低气温比县站略高,其余各区域站均比县站低。由表 4 可见,严家庄站、北界站和吴家庄站越冬期苹果轻度、中度和重度冻害概率均小于县站,其余各区域站 3 个等级冻害的概率均大于洛川县站 3 个等级的相应概率。

表 4 洛川县站及其周围区域站苹果越冬期轻度、中度和重度冻害发生概率

Table 4 The probabilities of mild, moderate, severe apple wintering frost damage of Luochuan Weather Station and several regional automatic weather stations

站号	站名	轻灾/%	中灾/%	重灾/%
53942	洛川县站	14.90	0.34	0.00
V1972	党家塬站	22.75	0.82	0.00
V1973	堡子头站	33.51	2.02	0.01
V1974	严家庄站	10.88	0.19	0.00
V1976	洛阳站	23.96	0.92	0.00
V1977	北界站	10.62	0.18	0.00
V1978	吴家庄站	10.62	0.18	0.00
V1979	槐柏站	15.50	0.37	0.00

2.2.2 洛川县苹果越冬期冻害气候风险分布及评述

轻度风险区{风险指数(0.012,0.040)}:主要分布在石泉乡以南和以西及石头镇以南区域。该区为洛河与沙家河交汇地带,海拔相对较低,位置偏南,因而冬季冷空气强度相对较弱。该区轻度越冬期冻害约 9~10 年一遇。

中度风险区{风险指数(0.040,0.070)}:主要分布在石泉乡以北,菩提乡、旧县镇以西的大部区域及土基镇、百益乡、石头镇周边部分区域。该区向西、向北海拔逐渐升高,冬季低温天气过程中极端最低气温较东南部低。该区轻度越冬期冻害约 6~8 年一遇。

重度风险区{风险指数(0.070,0.194)}:主要分布在菩提乡、旧县镇以东大部区域及土基镇以东部分区域。该区基本处于黄龙山土石山区,海拔相对较高,越冬期低温天气过程强度较大。该区中度越冬期冻害约 10 年一遇,轻度约 5 年一遇(图 2)。

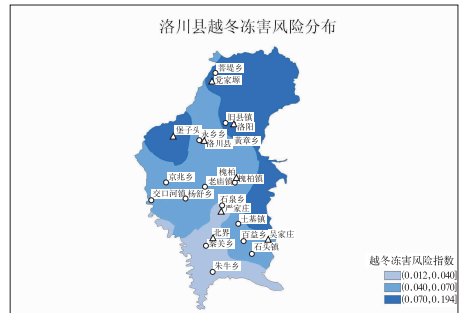


图 2 洛川县苹果越冬期冻害风险分布
Fig.2 The risk map of apple wintering frost damage of Luochuan County

2.3 旬邑县苹果越冬期冻害风险分布

旬邑县地处黄土高原南部,地形东北高,西南低。地形分为两部分,东部山地是子午岭的延伸部分,西部属于塬梁沟壑区,是苹果种植集中区域。

2.3.1 旬邑县站及境内各区域站越冬冻害概率分布

依据 1.3.2 所述方法,计算旬邑县县站及周围区域站 2009—2011 年 3 年越冬期极端最低气温平均值,并计算县站 3 年均值与区域站 3 年均值差(表 5)。

依据表 5 中旬邑周边区域站越冬期极值与旬邑县站越冬期极值的关系,分别确定各区域站苹果越冬期冻害的轻度、中度和重度指标临界值,并依据各

区域站的不同的临界指标值基于旬邑县县站越冬期历史极端最低气温数据样本,计算获得各区域站越冬期苹果 3 个冻害等级各自的发生概率(表 6)。

由表 5 可见,旬邑县境内各区域站越冬期极端最低气温均比县站高。由表 6 可见,旬邑县境内各区域站越冬期苹果轻度、中度和重度冻害概率均小于旬邑县站 3 个等级的相应概率。

表 5 2009—2011 年越冬期旬邑县站与周围区域站极端最低气温平均值及其差值

Table 5 The mean of wintering extreme minimum temperatures from 2009 to 2011 of meteorological stations in Xunyi County and its relationships

站号	站名	各站 2009—2011 年平均值/℃	区域站与县站均值之差/℃
53938	旬邑县站	-18.27	—
V0301	清源乡站	-15.83	2.44
V0302	原底站	-16.53	1.74
V0303	职田站	-15.23	3.04
V0305	底庙站	-14.07	4.20
V0306	百崖头村站	-15.07	3.20
V0307	阳坡头站	-16.00	2.27
V0311	苏村站	-15.40	2.87

表 6 旬邑县站及其周围区域站苹果越冬期轻度、中度和重度冻害发生概率

Table 6 The probabilities of mild, moderate, severe apple wintering frost damage of Xunyi Weather Station and several regional automatic weather stations

站号	站名	轻灾/%	中灾/%	重灾/%
53938	旬邑县站	33.05	7.08	0.41
V0301	清源乡站	15.09	1.46	0.04
V0302	原底站	19.85	2.41	0.08
V0303	职田站	11.55	0.91	0.02
V0304	苏村站	6.32	0.34	0.00
V0305	底庙站	10.67	0.80	0.02
V0306	百崖头村站	16.16	1.65	0.04
V0307	阳坡头站	12.48	1.04	0.02

2.3.2 旬邑县苹果越冬期冻害气候风险分布及评述

轻度风险区{风险指数(0.021,0.058]}:主要分布在风子梁与后陡坡以西,除湫坡头镇、太村镇、赤道镇、郑家镇、张洪镇、原底镇周边的部分区域。该区以台原地为主,地面平整,苹果种植集中,海拔在 1200~1400 m,虽海拔略高,但冬季冷空气不易堆积,越冬期冻害相对较轻。该区轻度越冬期冻害约 6~7 年一遇。

中度风险区{风险指数(0.058,0.073]}:主要分布在湫坡头镇、太村镇、赤道镇、郑家镇、张洪镇、原

底镇周边的部分区域及风子梁、后陡坡以东,马栏农场以西部分区域。西部分布区因为地势平坦、海拔较周围相对偏低,冬季冷空气较容易堆积,越冬期风险增大;东部因逐渐向子午岭等山地过渡,海拔升高,冬季低温活动频繁,因而苹果越冬冻害几率增大。该区中度越冬期冻害约 10 年一遇,轻度约 5 年一遇。

重度风险区{风险指数(0.073,0.135]}:主要分布在马栏农场及其以北、以西。该区以山地为主,包括子午岭、长蛇岭、斜梁等,海拔约在 1400 m 以上,不适宜种植苹果。该区中度越冬期冻害约 3 年一遇,轻度约 5 年一遇(图 3)。

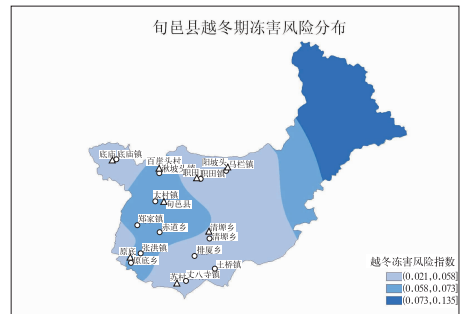


图 3 旬邑县苹果越冬期冻害风险分布
Fig. 3 The risk map of apple wintering frost damage of Xunyi County

3 结 论

(1) 依据 3 个苹果种植代表县县站越冬期极端最低气温和其境内区域站越冬期极端最低气温的正、负关系,建立可基于各代表县县站 1971—2011 年越冬期低温数据,计算其境内各区域站苹果不同等级冻害的临界温度数据序列;借鉴博弈论中概率移植思路和方法,通过计算县站 41 年数据序列获得各代表县及其境内区域站苹果不同等级越冬期冻害的发生概率。

(2) 依据对 3 个苹果种植代表县 30 多个越冬期历史灾害个例的分析,综合专家经验,本研究对陕西省富士系苹果越冬期轻度、中度和重度等级的冻害,分别赋予 0.3、0.5 和 0.7 的灾损系数。

(3) 基于气候致灾风险的基本原理和模型,用各代表县县站及其境内区域站的不同等级越冬期冻害概率和相应灾损系数,计算得到各代表县县站及其境内区域站的苹果越冬期冻害气候风险指数,并基于 GIS 系统制作了各代表县的苹果越冬期冻害

风险分布图。3 个代表县苹果越冬期冻害风险分布情况均与实地调查结果基本相符。

4 讨 论

(1) 关于气象区域站数据在农(林)业气象灾害风险分析领域中的应用,文献中尚为鲜见。另局限于区域站数据历史较短,数据规范性差于基准和基本气象台站等原因,其数据在应用前必须人工诊断,剔除部分不合格、不完整数据。在农业气象服务工作中,如何有效和准确利用好气象区域站数据,是一个值得探索和思考的新问题。

(2) 关于农(林)业气象灾害风险的形成,气象因素只是众多致灾风险源中最基础、最重要的一个前提因素,其他致灾风险源包括风险分析区域载体规模;地形原因造成的小气候环境,如低洼地块冷空气容易堆积使较小的局地作物受灾严重,山体北面背阴的地块因接受阳光照射时间较周围地块短而更容易受冻害等;还包括是否人为及时采取有效的防灾减灾措施等。本研究虽然在气象资料应用的空间尺度上较前人前进了一步,相当于考虑了地形因子对致灾风险的影响,但仍存在未考虑防灾减灾能力、苹果种植面积和产量等风险源分析漏洞。这是本次县域单元苹果越冬期冻害风险分析中还需要改进的地方。

(3) 关于苹果越冬冻害灾损系数的确定,本研究采用历史灾害反演、灾害调查和专家评估的方法综合确定。前期工作中曾采用较为常见的统计分析方法,分离气象产量,分析代表县越冬期气候因子与当年苹果减产(丰产)的关系,欲探寻越冬期不利气象因素与苹果减产的定量关系,未获成功。分析原因如下:一是受苹果栽植历史年限短、先期品种变更快等原因,难以收集到有效的产量、面积等信息,仅能从统计公报上获得较短年限的苹果产量、面积信息,用该数据进行单产趋势分析、气象产量分离等之后,灾损产量与当年苹果越冬期冻害信息所建立的模型不能通过统计检验。二是陕西黄土高原果区因气候和地形双重原因导致气象灾害种类较多,目前技术上难以定量区分各种灾害对当年苹果减产所起的效用大小。三是果树不同于一年生农作物,大小年现象普遍,这也是难以建立产量灾损模型的重要原因之一。基于以上原因,在未来经济林果气象灾害风险分析工作中,一方面应注重准确有效的产业

基础信息的收集和积累,另一方面需加强新技术和新方法的研究和应用,进一步提高经济林果类作物的灾害风险分析成果的精细度和适用性。

参考文献

- 高卫东. 2007. 越冬苹果树造成冻害的原因, 症状及对策. 中国果菜, (1): 41.
- 韩唐则, 雷占锋. 1995. 苹果冻害调查. 山西农业科学, 23(1): 19-22.
- 康才周, 方峨天. 1999. 河西地区经济林发展存在的主要制约因素及相应对策. 甘肃林业科技, 24(增刊): 63-67.
- 李丙智, 韩明玉, 张林森, 等. 2008. 低温大雪对苹果生产的影响及春季果园管理. 西北园艺, (4): 4-5.
- 李美荣, 李星敏, 柏秦凤, 等. 2012. 苹果极端气象灾害气温极值的分布及重现期预测. 干旱地区农业研究, 30(3): 257-261.
- 李美荣, 刘映宁, 李艳莉. 2006. 陕西省果业主要气象灾害及其防御对策. 陕西农业科学, (1): 60-62.
- 李艳莉, 王景红, 李鹏利. 2011. 陕西苹果种植区北扩气候资料及气象灾害风险分析. 陕西气象, (3): 15-17.
- 李佑民. 2002. 权威专家联名认定: 渭北是全国苹果最佳优生区. 陕西日报, 2002-4-23(3).
- 刘璐, 郭兆夏, 柴芊, 等. 2009. 陕西省苹果越冬期冻害风险评估. 干旱地区农业研究, 27(5): 251-255.
- 刘璐, 马杰. 2012. 陕西苹果成熟期连阴雨指数及预报方法研究. 气象, 38(8): 1012-1016.
- 刘万珍. 2007. 苹果树如何安全越冬. 河北农业, (1): 21-22.
- 刘映宁, 贺文丽, 李艳莉, 等. 2010. 陕西果区苹果花期冻害农业保险风险指数设计. 中国农业气象, 31(1): 125-129.
- 路世云, 白文凡, 路华. 2011. 苹果园冻害管理综合技术. 河北林业科技, (2): 83-84.
- 卢文, 熊高武. 2009. 苹果树冻害后的管理措施. 新疆农垦科技, (3): 35-36.
- 陕西省统计局. 2012. 2011 年陕西省果业发展统计公报. 陕西日报, 2012-3-30(3).
- 孙凤妮, 裴文武. 2008. 西北黄土高原红富士苹果树冻害的预防. 西北园艺, (12): 44-48.
- 田建保, 郑恩明, 程慧. 2010. 苹果树受冻情况调查及防控措施. 山西果树, (2): 28-29.
- 王景红, 梁轶, 柏秦凤, 等. 2012. 陕西主要果树气候适宜性与气象灾害风险区划图集. 西安: 陕西科学技术出版社, 85-87.
- 辛玉成, 王先科, 王莲, 等. 1994. 苹果树秋冬冻害调查及管理对策. 落叶果树, (2): 29.
- 岳治国, 梁谷, 李燕, 等. 2010. 陕西渭北带状中尺度对流雷达回波统计特征. 气象, 36(6): 66-72.
- 张学河, 于志文, 李玉爱, 等. 1994. 苹果枝干早期寒流冻害调查及挽救措施. 落叶果树, (增刊): 60-61.
- 张志凯. 2007. 苹果树越冬冻害及防御措施. 河南农业, (1): 22.
- 朱·弗登博格(Drew Fudenberg), 让·梯若尔(Jean Tirole), 姚洋, 等. 2010. 博弈论. 北京: 中国人民大学出版社, 476.
- 朱琳, 郭兆夏, 朱延年. 2005. 基于 GIS 气候资源评价及区划研究——以陕西省苹果气候区划为例. 陕西气象, (3): 23-26.