

天水市高寒阴湿地区元帅苹果花期霜冻指标试验研究

郭旺文^{1,2}, 许赞恺^{3*}, 张浩良¹, 李霖¹, 吴婷芳¹ (1. 甘肃省天水市气象局, 甘肃天水 741000; 2. 天水市人工影响天气服务中心, 甘肃天水 741018; 3. 甘肃省天水市小陇山林业局, 甘肃天水 741020)

摘要 以元帅苹果为研究对象, 低温强度为主导指标、 ≤ 0 °C 温度持续时间为辅助指标, 建立苹果花期霜冻害指标体系。采用大田试验, 结合霜冻历史调查资料分析的方法, 得到苹果花期花器发生轻霜冻(受冻率 $\leq 30\%$)、中霜冻(受冻率 $31\% \sim 60\%$)、重霜冻(受冻率 $61\% \sim 80\%$)和特重霜冻(受冻率 $\geq 81\%$)不同强度霜冻灾害的温度指标分别为最低气温 ≥ -1.8 、 $-3.9 \sim -1.8$ 、 $-5.3 \sim -3.9$ 、 < -5.3 °C, 对应 ≤ 0 °C 低温持续时间 ≤ 2.4 、 $> 2.4 \sim 5.9$ 、 $> 5.9 \sim 8.2$ 、 > 8.2 h。防霜措施以苹果园树冠盖膜、地表覆膜+熏烟、喷药+熏烟 3 种措施防霜效果最好。

关键词 苹果; 花期; 霜冻指标; 试验研究

中图分类号 S162 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)19-0231-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.19.060



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Experimental Study on Frost Index of the Marshal Apple Flowering Period in Cold and Humid Region of Tianshui City

GUO Wang-wen^{1,2}, XU Yun-kai³, ZHANG Hao-liang¹ et al (1. Meteorological Bureau of Tianshui City, Tianshui, Gansu 741000; 2. Weather Modification Services Centre of Tianshui City, Tianshui, Gansu 741018; 3. Tianshui Xiaolongshan Forestry Bureau of Gansu Province, Tianshui, Gansu 741020)

Abstract Taking the Marshal apple as the research object, the low temperature intensity as the dominant index and the temperature duration of ≤ 0 °C as the auxiliary index, the frost damage index system of apple flowering period was established. The field test was combined with the analysis of historical frost survey data to obtain light frost (freezing rate $\leq 30\%$), moderate frost (freezing rate $31\% \sim 60\%$), heavy frost (freezing rate $61\% \sim 80\%$) and extra heavy frost (freezing rate $\geq 81\%$). The temperature indexes of frost disasters with different intensities were the minimum temperature ≥ -1.8 , $-3.9 \sim -1.8$, $-5.3 \sim -3.9$, < -5.3 °C, corresponding ≤ 0 °C and low temperature duration ≤ 2.4 , $> 2.4 \sim 5.9$, $> 5.9 \sim 8.2$, > 8.2 h. The anti-frost measures had the best anti-frost effect in apple canopy cover membrane, surface membrane plus smoke, and spray plus smoke.

Key words Apple; Flowering period; Frost index; Experimental study

天水苹果主要以元帅系为主要栽培品种, 元帅苹果树属耐旱、喜光的落叶小乔木栽培树种, 在年平均气温 $8 \sim 12$ °C 地区均可栽种, 花期 4—5、9—10 月果实成熟^[1]。虽然其在休眠期一般可耐 -27 °C 左右的低温, 但一旦休眠结束开始萌动, 耐寒力就会迅速下降, 尤以开花期抗低温能力最差, 开花期温度越低, 持续时间越长, 受害越严重^[2]。天水市地处黄土梁峁沟壑区, 属陇中黄土高原暖温带大陆性半湿润半高寒气候过渡带, 海拔 1 130~2 700 m, 年平均气温 $8.0 \sim 11.9$ °C, 年降水量 430~600 mm, 平均日照时数 1 800~2 300 h, 无霜期 154~184 d。由于得天独厚的自然环境条件极易于优质苹果生产, 因而果树栽培面积大, 产量、产值高, 成为当地优质农业主导产业。

天水高寒阴湿地区, 苹果栽培面积大, 苹果面积约 0.84 万 hm^2 , 占全市总栽培面积的 25%, 产量约 16.89 万 t, 占 35%, 产值 3 亿元, 占 18% 左右, 且建园面积继续逐年增长。由于其无霜期短, 霜冻灾害发生频率高, 冻害年份果业损失严重^[3-5]。为此, 笔者以天水市秦州区高寒阴湿山区苹果树主要栽培品系——10 年生元帅品系为研究对象, 采用大田试验与实况调查相结合的方法, 在统计学基础上, 研究确定适宜当地气候类型的苹果花期霜冻害温度指标, 对实际生产中

可能出现的元帅苹果花期不同等级霜冻采取相应的霜冻灾害防御措施, 可方便普通农户在实际生产中的应用, 达到既能减轻农业气象灾害损失也能合理控制成本的目的。

1 资料与方法

1.1 试验区概况 该试验选取天水市境内明显具有高寒阴湿气候特征的秦州区中梁镇何家村、皂郊镇西坡梁和华歧镇安集村苹果园进行。试验区内年平均降水量 500~600 mm, 平均气温 $8.0 \sim 10.0$ °C, 无霜期 154~171 d, 日照时数 1 800~1 900 h, 年极端最低气温 -18.9 °C; 果园所处坡向为西北向阳坡和向阴坡, 在 $10^\circ \sim 15^\circ$, 土壤质地为粉壤土, 苹果园分别位于 $105^\circ 37' E$ 、 $34^\circ 42' N$, $105^\circ 43' E$ 、 $34^\circ 24' N$ 和 $105^\circ 31' E$ 、 $34^\circ 21' N$, 海拔分别为 1 645、1 651、1 688 m, 试点四周均为大面积元帅苹果园, 供试苹果树品种均为元帅系列, 面积 4.0 hm^2 , 株行距 3.0 m \times 3.5 m。霜冻监测调查点主要选取在天水市秦州区南部 1 400 m 以上高寒山区乡镇元帅系苹果主要种植区内进行。

1.2 试验设计 利用 2018 年 4 月 7 日天水强霜冻过程天气, 在天水市秦州区高寒阴湿山区果园进行苹果花期霜冻试验。供试苹果品系主要以元帅苹果品种为主要对象, 设计苹果花期“不覆膜+喷药(碧护)+灌水(B+S)”“不覆膜+灌水(S)”“不覆膜+喷药(碧护)(B)”“不覆膜+熏烟(Y)”“不覆膜+喷药(碧护)+熏烟(B+Y)”“树冠盖膜防霜(G)”“地表覆黑膜(M)”“地表覆黑膜+喷药(碧护)(M+B)”“地表覆黑膜+熏烟(M+Y)”9 个不同防霜设施霜冻试验, 各试验区一个大田果园对照和海拔 1 400 m 以上高寒山区乡镇同期霜冻灾

基金项目 国家自然科学基金项目(41605090); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206023)。

作者简介 郭旺文(1981—), 男, 甘肃天水人, 工程师, 从事应用气象研究。*通信作者, 助理工程师, 从事林学研究。

收稿日期 2020-03-01

害调查。

1.3 资料来源和研究方法 使用普通气象台站常用的温度自计记录仪,霜冻前安装在苹果树冠层距地面 1.5 m 高度果树主要挂果层,进行霜冻期间果园 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温持续时间、 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 最低气温和花器受冻率的观测。利用 SPSS 软件,统计建立花器受冻率与最低气温、 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温持续时间统计模型,并计算霜冻害不同等级温度和低温持续时间指标。

2 结果与分析

2018年4月7日霜冻过程不同处理果树冠层最低气温、 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间及花器冻害率资料见表 1;霜冻监测调查点 2018年4月7日霜冻过程调查资料见表 2。

2.1 不同防霜措施对比 由表 1 可见,2018年4月7日霜冻天气过程 9 种防霜措施均具有不同程度的防霜效果。就单一措施看,以树冠盖膜效果最好,因其能有效减缓地面辐射热的散发和冷空气沉降^[6],从而使果树冠层的降温速度减缓,所以苹果花器受冻率最小,受冻率比对照低 49.0 百分点,比其他防霜措施低 19.0~35.0 百分点;其次为熏烟措施,霜前在上风向堆放潮湿的柴草,点燃后地面满布浓烟,借助

浓烟的热量不仅能提高气温,同时还可阻挡地面热量的散失,减少霜的形成,此措施比对照低 26.0 百分点;灌水措施也能较好地保墒增温,霜前灌水,使地温、近地面气温以及作物体温略有升高,并使果园空气湿度增加,达到减轻霜害的目的,但由于该试验属高山区,果园灌水成本高且试点面积相对较小,加之此次霜冻属大面积平流辐射霜冻过程,对灌水受冻率结果有所影响,比对照低 24.0 百分点。组合防霜措施从效果看依次为地表覆膜+熏烟法和喷药+烟熏措施法防霜冻效果较好,苹果花器受冻率比对照减小较多,受冻率比对照均减小 30.0 百分点;喷药+灌 waters 次之,苹果花受冻率比对照减小 24.0 百分点,防霜冻效果也较好;地表覆膜+喷药措施,在此次霜冻过程中苹果花受冻率比对照减小 10.0 百分点。

综合此次霜冻天气过程,9 种防霜措施试验设计各 3 个重复和 1 个对照共 30 个样本资料进行了比对分析,以上防霜措施都具备不同程度防霜效果,其中以苹果园树冠盖膜、地表覆膜+熏烟、喷药+熏烟 3 种措施防霜效果最好。

表 1 2018年4月7日霜冻过程不同处理冠层最低温度、 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间及花器冻害率

Table 1 The minimum temperature and duration of $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ in canopy and the freezing damage rate of the flower organs during the frost process on April 7, 2018

序号 No.	措施 Measure	1 651 m			1 688 m			1 645 m		
		最低气温 Minimum temperature °C	$\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持 续时 间 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ duration//h	受冻率 Freezing rate//%	最低气温 Minimum temperature °C	$\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持 续时间 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ duration//h	受冻率 Freezing rate//%	最低气温 Minimum temperature °C	$\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持 续时间 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ duration//h	受冻率 Freezing rate//%
1	树冠盖膜(GM)	-2.8	3.4	34	-2.9	3.9	34	-0.2	0.7	6
2	地表覆膜+熏烟(DM+Y)	-3.5	5.5	67	-4.0	5.8	68	-1.5	1.1	18
3	喷药+熏烟(B+Y)	-4.1	5.5	77	-4.2	5.2	77	-1.9	3.8	38
4	熏烟(Y)	-4.5	6.9	79	-4.7	7.0	80	-2.0	2.5	32
5	地表覆膜+喷药(DM+B)	-4.9	7.1	79	-5.5	9.0	87	-2.5	4.8	58
6	地表覆膜(DM)	-5.4	8.9	92	-5.9	9.2	94	-2.8	3.0	34
7	喷药+灌水(B+S)	-4.9	7.2	78	-5.2	7.5	86	-2.2	4.4	44
8	喷药(B)	-5.7	9.1	89	-6.2	9.7	97	-3.1	5.9	60
9	灌水(S)	-5.1	8.5	86	-5.3	8.5	90	-2.2	2.8	31
10	对照(CK)	-6.2	10.4	98	-6.9	11.2	98	-3.8	5.4	67

2.2 花期霜冻指标研究 由于试验所设计的树体喷药及相关组合试验,其喷药作用主要是增加花体细胞的抗冻和花器受冻细胞的恢复再生能力,并不能直接反映低温与花器冻害率的关系^[7]。因此,统计分析过程剔除其相关资料,并与天水市高寒阴湿地区 2018年4月7日各乡镇苹果 17 个冻害调查资料(表 2),共 35 个样本资料进行统计分析。

2.2.1 最低气温与受冻率关系。利用霜冻期间苹果树冠层最低气温与花器受冻率建立统计模型如下:

$$y = 3.972 - 14.275T_d \quad (1)$$

式(1)中, $N = 35$, $r = -0.948$, $F = 284.598 > F_{0.01} = 7.47$; y 为受冻率, T_d 为最低气温。式(1)表明,环境最低气温与苹果花器受冻率呈显著的线性关系,最低气温每下降 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 苹果花受冻率将增加 14.3 百分点。受害率方程拟合值与实际值相比,平均绝对误差为 6.5%,绝对误差百分率 10%,拟合效

果显著。按照当地地方霜冻灾害调查评价标准:花器受冻率 $\leq 30\%$ 为轻霜冻、 $>30\% \sim 60\%$ 为中霜冻、 $>60\% \sim 80\%$ 为重霜冻、 $>80\%$ 为特重霜冻标准^[8],按式(1)计算结果,则对应最低气温指标分别为 ≥ -1.8 、 $-3.9 \sim -1.8$ 、 $-5.3 \sim -3.9$ 、 $< -5.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.2 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下低温持续时间与受冻率关系。苹果花受霜冻程度不仅取决于环境最低气温,气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间也极为重要,环境最低气温越低, $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 气温持续时间越长,苹果花受冻率越大。上述 35 个样本资料的 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下低温持续时间与受冻率关系模型如下:

$$y = 8.872 + 8.726H \quad (2)$$

式(2)中, $N = 35$, $r = 0.974$, $F = 620.962 > F_{0.01} = 7.47$; y 为受冻率, H 为 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温持续时间。式(2)表明, $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温持续时间与苹果花受冻率呈线性关系, $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温持续时间每增

加 1 h, 苹果花受冻率将增加 8.7 个百分点。受害率方程拟合值与实际值相比, 平均绝对误差为 7.1%, 绝对误差百分率 11%, 统计误差虽较最低温度稍大, 但拟合效果仍然比较理

想。按式(2)计算结果, 则对应苹果花器轻、中、重和特重霜冻, 其 ≤ 0 °C 低温持续时间指标分别为 ≤ 2.4 、 $> 2.4 \sim 5.9$ 、 $> 5.9 \sim 8.2$ 、 > 8.2 h。

表 2 2018 年 4 月 7 日天水市高寒阴湿地区各乡镇苹果冻害调查

Table 2 Investigation on apple freeze damage in various towns in cold and humid region of Tianshui City on April 7, 2018

序号 No.	地点 Location	海拔 Altitude m	最低气温 Minimum temperature// °C	≤ 0 °C 持续时间 ≤ 0 °C duration/h	受冻率 Freezing rate//%	霜冻等级 Frost level
1	秦州罗玉沟	1 198	-2.6	3.1	32	中
2	大门	1 676	-5.1	8.0	82	特重
3	小天水	1 554	-6.3	10.7	95	特重
4	娘娘坝	1 588	-8.7	11.7	98	特重
5	平南	1 664	-6.2	9.8	94	特重
6	玉泉	1 563	-2.8	4.4	36	中
7	中梁	1 638	-2.2	2.8	34	中
8	牡丹	1 613	-5.9	9.5	91	特重
9	汪川	1 773	-2.8	3.7	35	中
10	藉口	1 347	-3.0	4.0	48	重
11	秦岭	1 721	-7.2	11.1	97	特重
12	太京	1 289	-2.1	3.0	31	中
13	皂郊	1 288	-5.5	9.0	93	特重
14	李子	1 501	-7.2	10.3	97	特重
15	华歧	1 607	-4.3	6.6	70	特重
16	齐寿	1 695	-6.2	10.2	96	特重
17	杨家寺	1 752	-4.2	6.9	73	特重

2.2.3 霜冻期间最低气温与持续时间关系。最低气温与 ≤ 0 °C 以下低温持续时间关系模型如下:

$$T_d = -0.574 - 1.644 H \quad (3)$$

式(3)中, $N=35$, $r=0.982$, $F=844.668 > F_{0.01}=7.47$; H 为 ≤ 0 °C 低温持续时间, T_d 为极端最低气温。式(3)表明, 最低气温每下降 1 °C, 其 ≤ 0 °C 低温持续时间延长 1.6 h。

2.2.4 霜冻指标的确定。上述分析表明, 模型计算所得的最低温度和 ≤ 0 °C 温度持续时间指标体系, 可以作为霜冻害指标在灾害监测评估中使用, -1.8 °C 是低温霜冻害比较重要的界限温度指标, 程度较轻的霜冻在生产中可起到间接疏花作用, 利弊兼有, 但是 < -1.8 °C 后苹果花受冻率将达到 30% 以上, 会对产量形成造成较大影响, 而 ≤ -5.3 °C 或 ≤ 0 °C 温度持续时间 > 8.2 h 后, 受冻率将达到 80% 以上。极端最低气温 ≤ -6.7 °C 或 ≤ 0 °C 低温持续时间 10.5 h 可导致受害率达 100%。由此, 可将极端最低气温 ≤ 6.7 °C、 ≤ 0 °C 低温持续时间 10.5 h 定为苹果花能忍受的最低温度和低温最长持续时间, 低于最低气温或超过最长时间后, 受害率均达到 100%, 不再存在统计关系, 研究结果与实况基本一致。因此, 可将苹果盛花期最低气温 ≥ -1.8 、 $-3.9 \sim -1.8$ 、 $-5.3 \sim -3.9$ 、 < -5.3 °C, 对应 ≤ 0 °C 低温持续时间 ≤ 2.4 、 $> 2.4 \sim 5.9$ 、 $> 5.9 \sim 8.2$ 、 > 8.2 h 作为轻、中、重、特重 4 级霜冻灾害等级指标。

2.2.5 与试验区 2009—2018 年 4 月晚霜冻调查实况对比。从 2009—2018 年秦州区中梁镇何家村、皂郊镇西坡梁和华歧镇安集村不同海拔(1 600~1 700 m)苹果园花期冻害调查结果(表 3)可以看出, 在出现霜冻天气的 5 年中, 2009 年 4 月 8 日, 极端最低气温 -0.4 °C、 ≤ 0 °C 低温持续时间 1h, 花器受冻率 9%; 2010 年 4 月 8 日分别是 -1.5 °C 和 4 h, 受冻率

43%, 实况等级分别为轻、中霜冻; 2013 年 4 月 10 日、2014 年 4 月 26 日, 极端最低气温分别为 -3.6 和 -0.3 °C, 花器受冻率分别为 63% 和 6%, 低温持续时间分别为 5.5 和 2.0 h, 实况等级分别为重、轻霜冻, 除低温持续时间略有差异外, 霜冻等级与指标体系基本一致。2018 年 4 月 7 日极端最低气温 -5.2 °C、 ≤ 0 °C 低温持续时间 10 h, 花器受冻率 96%, 实况等级为特重霜冻, 也与指标体系一致, 模型计算所得的最低温度和 ≤ 0 °C 温度持续时间指标体系, 可以作为霜冻害指标在灾害监测评估中使用。其中相同低温强度、不同持续时间与花器霜冻害程度的关系需要在积累更多资料的基础上进一步研究。

表 3 试验区 2009—2018 年 4 月晚霜冻实况调查

Table 3 Actual survey of frost in the test area in April from 2009 to 2018

时间 Time	最低气温 Minimum tempera- ture//°C	≤ 0 °C 持 续时间 ≤ 0 °C dura- tion//h	受冻率 Freezing rate//%	霜冻等级 Frost level
2009-04-08	-0.4	1.0	9	轻
2010-04-08	-1.5	4.0	43	中
2011	2.6	0	0	无
2012	1.5	0	0	无
2013-04-10	-3.6	5.5	63	重
2014-04-26	-0.3	2.0	6	轻
2015	2.1	0	0	无
2016	2.6	0	0	无
2017	1.1	0	0	无
2018-04-07	-5.2	10.0	96	特重
2019	3.6	0	0	无

3 结论与讨论

通过苹果花期霜冻天气过程不同低温强度(用最低气温和 ≤ 0 °C 低温持续时间表示)与花器受冻率观测试验, 得出

苹果盛花期轻、中、重、特重4级霜冻灾害等级指标为最低气温 ≥ -1.8 、 $-3.9 \sim -1.8$ 、 $-5.3 \sim -3.9$ 、 < -5.3 °C, 对应 ≤ 0 °C低温持续时间 ≤ 2.4 、 $> 2.4 \sim 5.9$ 、 $> 5.9 \sim 8.2$ 、 > 8.2 h。防霜措施以苹果园树冠盖膜、地表覆膜+熏烟、喷药+熏烟3种措施防霜效果最好。

天水市高寒阴湿山区苹果晚霜冻害以秦州区中梁镇何家村、皂郊镇西坡梁、华歧镇安集村苹果园最易遭受霜冻害的“元帅”系苹果为试验对象,具有一定代表性。根据此次试验资料并结合果业局的霜冻历史调查资料,研究建立了晚霜冻过程中苹果花期最低气温与受冻率的温度预报模型及苹果花期 ≤ 0 °C低温持续时间与受冻率的预报模型,其中模型的研建以低温强度为主导指标,气象预报实用性及指导当地果业大户防范晚霜冻灾害的适用性均有良好效果; ≤ 0 °C低温持续时间为辅助指标,对于特定地域、特定海拔地区具有较强的适用性。各地使用需要灵活科学地根据地形、地貌、海拔等环境条件,选择使用。

该研究的指标弥补了气象行业标准(QX/T 88—2008)作物霜冻害等级中缺乏低温持续时间指标之不足^[9-10]。另外,实际生产中果树花期霜冻的预防,不仅要考虑不同防霜措施带来的预期防霜效果,还要考虑是否经济可行,成本效益比高^[4,11-12]。从天水当地苹果建园总体布局来看,其主要栽培区多分布在1 400~1 750 m区域的半干旱山区,灌水成本高,栽培区在1 350 m以上基本无法灌水。所以其他各地在预防晚霜冻害时可根据预报,科学灵活地选择与霜冻强度相适宜的防霜措施^[6,13-14]。

(上接第197页)

参考文献

- [1] 况志敏,刘建平,王茜茜.造纸法再造烟叶发展综述[J].纸和造纸,2018,37(6):26-31.
- [2] 陈祖刚,蔡冰,王建新.国内外造纸法薄片工艺与品质比较[J].烟草科技,2002(2):4-10.
- [3] 孙霞,苏文强.造纸法烟草薄片的研究现状及应用展望[J].华东纸业,2010,41(4):34-39.
- [4] 汪华文.造纸法薄片在卷烟中的应用效果分析[J].烟草科技,2000(8):15-16.
- [5] 钟德义,钟科军,李和平.复合造纸法再造烟叶的制备及效果分析[J].烟草科技,2009(7):12-14.
- [6] 尚善斋,雷萍,吴恒,等.造纸法烟草薄片的研究进展[J].纸和造纸,2015,34(4):45-49.
- [7] 韩卿,张美云,吴养育,等.造纸法烟草薄片制造工艺的研究[J].西北轻工业学院学报,2002,20(1):19-22,34.
- [8] 吴宇航,李思东.造纸法烟草薄片的研究进展[J].广东化工,2012,39(5):90-92.
- [9] 黎冉,张欣,刘雪光.我国造纸法再生烟草薄片生产技术研究进展[J].广东化工,2016,43(22):110-111.
- [10] 毛多斌,何景福,李兴波,等.生物技术在卷烟工业中的应用[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2005,20(3):32-34,73.
- [11] 郑小嘎,赵昌政,韦绪伦,等.酶法改善造纸法烟草薄片品质初探[J].山东食品发酵,2010(1):11-13.
- [12] 柏婷.造纸法再造烟叶果胶降解技术研究[D].昆明:昆明理工大学,2014.
- [13] 龙章德,张鹏,薛云,等.酶解—美拉德反应修饰改善烟草薄片品质的研究[J].食品与机械,2016,32(5):188-193.
- [14] 郭刚.双菌种发酵提高造纸法烟草薄片品质的研究[J].宁夏农林科技,2012,53(11):104-105.

试验地地形主要以坡地为主,地形对小气候的影响很大。为了克服地形影响,设计同一处理措施不同重复的坡向和海拔基本一致;不同处理间海拔略有差异,其结果对防霜措施评价有一定影响,但是指标研究仅涉及到最低气温、持续时间、受冻率,受其影响较小。

参考文献

- [1] 郑智龙,张慎璞,张兆合,等.果树栽培学(北方本)[M].北京:中国农业科学技术出版社,2011:117-121.
- [2] 邓振镛.高原干旱气候作物生态适应性研究[M].北京:气象出版社,2005:203-208.
- [3] 陈尚谟,黄寿波,温福光.果树气象学[M].北京:气象出版社,1987:335-336.
- [4] 宫国钦,李淑玉,宫美英,等.烟台市果树花期霜冻的危害及防御[J].烟台果树,2008(2):1-2.
- [5] 许彦平,姚晓红,万信,等.天水蜜桃开花坐果期霜冻灾害气象风险评估[J].中国农业气象,2013,34(5):606-610.
- [6] 姚晓红,许彦平,万信,等.天水蜜桃开花期不同措施防霜效果试验初报[J].中国农业气象,2014,35(3):299-304.
- [7] 姚晓红,许彦平,秘晓东.气候变暖对陇东南地区苹果座果率的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):142-146.
- [8] 许彦平,万信,贾建英,等.北京7号桃树(*Prunus armeniaca*)盛花期霜冻害指标试验研究[J].干旱区资源与环境,2019,33(11):195-200.
- [9] 康斯坦丁诺夫.果园霜冻[M].汪景彦,译.北京:农业出版社,1991:43-47.
- [10] 中国气象局.作物霜冻害等级:QX/T 88—2008[S].北京:气象出版社,2008.
- [11] 王世斌.晚霜冻对茶树的危害及防御[J].中国茶叶,2003(5):28-29.
- [12] 王生林,余优森.甘肃农业霜冻灾害及其防御对策研究[J].甘肃农业大学学报,2001,36(2):226-231.
- [13] 许彦平,姚晓红,万信,等.早春覆黑膜桃园花期气象效应及防霜效果试验初报[J].干旱区研究,2014,31(4):643-648.
- [14] 尹宪志.人工防霜冻技术研究[M].北京:气象出版社,2014:66-67.
- [15] 王充.热醇化和产香酵母发酵对烟草薄片浓缩液品质的影响及应用研究[D].郑州:郑州轻工业学院,2018.
- [16] 叶建斌,王璐,杨峰,等.类芽孢杆菌发酵原料浸提液提升再造烟叶品质[J].中国烟草学报,2019,25(1):33-38.
- [17] 杨虹琦,周冀衡,罗泽民,等.微生物和酶在烟叶发酵中的应用[J].湖南农业科学,2004(1):63-66.
- [18] 李国栋,马海燕,于建军,等.纤维素酶降解烟叶中纤维素的作用效果[J].中国农学通报,2008,24(12):256-259.
- [19] 叶建斌,王璐,杨峰,等.类芽孢杆菌发酵原料浸提液提升再造烟叶品质[J].中国烟草学报,2019,25(1):33-38.
- [20] 全国烟草标准化技术委员会.卷烟用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油:GB/T 19609—2004[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [21] 国家烟草专卖局.再造烟叶(造纸法)感官评价方法:YC/T 498—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [22] 汪兵,刘苇,刘璐,等.玉米芯残渣的底物特性对其酶水解效率的影响[J].中国造纸学报,2018,33(4):17-22.
- [23] 陈丽卿.生物质精炼技术与制浆造纸的结合[J].中国造纸学报,2019,34(3):77-81.
- [24] 谢剑平.烟草香料[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [25] 史宏志,刘国顺,杨惠娟,等.烟草香味学[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [26] 赵昶灵,杨焕文,邓建华,等.云南烟区烤烟“KRK26”中部叶片质体色素在烘烤中降解产物的种类、含量及其相关性[J].中国农学通报,2011,27(25):60-67.
- [27] AJANDOUZ E H, PUIGSERVER A. Nonenzymatic browning reaction of essential amino acids: Effect of pH on caramelization and Maillard reaction kinetics[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 1999, 47(5): 1786-1793.
- [28] 邵惠芳,杨永锋,刘国顺,等.烤烟发育过程中香气成分的变化动态研究[J].河南农业大学学报,2007,41(4):368-373.