

段晓凤, 朱永宁, 张磊, 等. 宁夏枸杞花期霜冻指标试验研究. 应用气象学报, 2020, 31(4): 417-426.

DOI: 10.11898/1001-7313.20200404

宁夏枸杞花期霜冻指标试验研究

段晓凤¹⁾²⁾ 朱永宁²⁾³⁾⁴⁾ 张磊²⁾³⁾⁴⁾* 王静²⁾³⁾⁴⁾ 徐蕊²⁾³⁾⁴⁾ 王静梅²⁾⁵⁾

¹⁾(内蒙古生态与农业气象中心, 呼和浩特 010051)

²⁾(中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 银川 750002)

³⁾(宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002)

⁴⁾(宁夏气象科学研究所, 银川 750002)

⁵⁾(宁夏中卫市中宁县气象局, 中卫 755100)

摘 要

2019 年 3—5 月利用人工霜冻模拟箱进行枸杞现蕾期、初花期和盛花期霜冻指标试验, 模拟 -8~-1℃、持续 1~6 h 的 32 组不同低温和持续时间处理组合, 根据室内霜冻模拟试验冻后观测结果, 将受冻症状划分为 3 个级别, 并统计每个级别的受冻率, 制定霜冻等级判断标准, 建立基于低温、持续时间、受冻级别和受冻率的霜冻指标; 利用 2018 年 3—5 月 13 个点次的大田霜冻试验结果和 25 个枸杞种植区自然霜冻调查结果验证霜冻指标。结果表明: 枸杞霜冻与低温及其持续时间密切相关, 温度越低、持续时间越长, 霜冻越重; 现蕾期抗冻性最强, 初花期抗冻性明显较现蕾期弱, 盛花期一定程度上较初花期弱。利用霜冻指标判断的结果与实际灾害情况符合率较高, 具有较强的实用性, 可作为枸杞花期不同阶段的霜冻灾害预报及评估依据。

关键词: 枸杞; 花期; 霜冻指标; 试验研究

引 言

枸杞属多年生落叶灌木, 果实是中药材和保健品, 产地集中在宁夏、新疆、青海、内蒙古、甘肃等省区, 近年来经济效益较好, 种植面积每年递增, 枸杞产业也逐年增大。其中, 宁夏枸杞是全国枸杞的发源地, 拥有世界第一大枸杞基地和最大的枸杞专业批发市场, 其得天独厚的品质在全国乃至世界都具有较大的影响力。但宁夏是晚霜冻多发区, 每年春季均有不同程度的霜冻发生, 而春季正值枸杞嫩梢至花果期, 当最低气温低于 0℃ 时, 花极可能受冻, 严重时死亡^[1], 直接导致枸杞头二茬果产量减少, 品质降低, 而头二茬果的各类营养成分均高于后期夏果和秋果, 在枸杞产业中占重要位置^[2-6]。晚霜冻对枸杞生产影响较大, 对枸杞产业的发展也有较大影响,

因此, 确定枸杞花期霜冻指标和受冻等级, 对预防和减轻枸杞霜冻害具有十分重要的意义。

关于霜冻的研究已有很多, 20 世纪 60 年代陶祖文等^[7]、田素清^[8]分析了冬小麦、棉麦霜冻指标。之后人们开展了柑橘^[9-10]、棉花^[11]、蔬菜^[12]、酿酒葡萄^[13]、荔枝^[14]、枇杷^[15]、向日葵^[16]、小麦^[17-18]和玉米^[19-20]的霜冻指标研究, 马树庆等^[21]制定了气象行业标准《作物霜冻害等级》。近些年, 李仁忠等^[22]建立并修订了浙江省茶树春霜冻气象指标, 文献^[23-25]基于低温强度和持续时长研究富士系苹果花期霜冻灾害气象指标, 并制定气象行业标准《富士系苹果花期冻害等级》, 对苹果^[26]、酿酒葡萄^[27-28]、梨^[29]霜冻指标及其预报、防御等方面也开展了深入研究。还有学者从霜冻特征的角度出发, 分析初霜冻、终霜冻及无霜期的变化规律^[30-32]。关于霜冻的研究方法也较多, 冯玉香等^[33]通过冰核细菌研究霜冻, 何维

2020-01-02 收到, 2020-05-11 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(41565007)

* 通信作者, 邮箱: zhle.131@163.com

勋等^[34]分析解冻速率对作物霜冻害的影响,王培娟等^[35]采用热量指数法研究玉米冷害指标,王石立^[36]总结近年我国农业气象灾害预报方法。

过去对霜冻研究大多针对乔木和蔬菜等,很少关注枸杞等灌木的春季霜冻,段晓凤等^①通过试验确定了宁夏枸杞主栽品种过冷却点和结冰点,肖芳等^[37]和郭晓雷等^[38]初步得出枸杞花期霜冻指标,但只考虑受冻率,未将受冻程度对枸杞霜冻等级的影响考虑在内,如受冻率 50%,花器官的受冻程度可能是轻度、重度或轻重混合,这直接影响霜冻等级的判断结论,因此根据受冻率单一因素无法准确确定霜冻等级。在前期研究工作的基础上,继续开展基于不同低温和持续时间组合的人工霜冻模拟试验,利用宏观和微观相结合的方法进行冻后观测,根据受冻状况确定不同级别受冻症状标准,结合受冻率确定枸杞花期霜冻指标,同时利用大田霜冻试验和自然霜冻调查结果进行验证,以期对枸杞花期霜冻防御提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验时间为 2019 年 3—5 月,试验材料采用温室盆栽枸杞,育苗地点为宁夏农林科学院芦花台园林场,品种为 3 年生宁杞 1 号健壮苗。室内霜冻模拟试验地点在宁夏灵武市河东基地,大田霜冻试验地点在灵武河东基地、灵武园林场、芦花台园林场和贺兰山沿山观兰基地。自然霜冻调查地点为银川市西夏区,吴忠市的青铜峡市、同心县、海原县、红寺堡镇,中卫市的宣和镇、中宁县,固原市的原州区等地。

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料准备

育苗:采用口径为 0.4 m,高为 0.35 m,内有深度为 0.25 m 壤土的花盆栽植试验材料,放置温棚培养。大田枸杞一般 4 月中旬萌芽,通过调节棚内光照、温度及水肥,使盆栽枸杞植株发育期提前 15~20 d。

炼苗:由于温棚内小气候与大田环境差异较大,因此在试验前 2 d 的午后,需将盆栽枸杞放置大田,全天炼苗,有利于充分适应大田环境,使试验结果更接近实际情况。

1.2.2 试验仪器

利用中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所研制的人工模拟霜冻试验箱(型号 MSX-2F)进行自然霜冻过程模拟试验,箱内安置 40 只热电偶温度传感器和 1 只中心温度传感,数据通过 FrosTem40 电脑数据采集系统记录,间隔 10 s。利用 Olympus 电子显微系统(型号 XX31)对受冻样本进行观测。大田霜冻试验和自然霜冻温度采用路格牌便携式温度自计仪记录。

1.2.3 霜冻模拟降温过程

根据宁夏历史上霜冻天气过程的降温幅度及持续时间,结合 2016—2018 年每年春季的试验结果,设计低温范围 $-8\sim 0^{\circ}\text{C}$,以 1°C 为间隔,分别开展持续时间长度为 1 h,2 h,3 h,4 h,5 h 和 6 h 的不同温度和持续时间的组合霜冻模拟试验。为使降温与实际霜冻过程相似,以 12°C 为初始温度,按照 $3^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度降至 0°C ,随后以 $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度降至处理温度,待处理温度持续时间过后,逐渐回升至 10°C 。

1.2.4 大田霜冻试验

将准备好的盆栽枸杞(3 个重复)于试验前 1 d 置于大田,并在株体旁 1.5 m 高处挂置便携式温度自计仪记录降温过程。

1.2.5 观测方法

1.2.5.1 室内霜冻模拟试验和大田霜冻试验

霜冻试验结束后,将受冻样本放置于室温环境 24 h,分现蕾期、初花期和盛花期,采用宏观和微观相结合的方法观测花器官的受冻症状,并统计受冻率。

1.2.5.2 大田自然霜冻

从调查地段东、南、西、北、中 5 个方位各随机找 3 株,分别统计受冻率,求其平均。观测地段选择有小气候自动站或附近有国家级气象站的枸杞园。

2 结果与分析

2.1 枸杞现蕾期、初花期和盛花期的受冻症状级别

为了综合考虑受冻率及受冻症状,在室内霜冻模拟试验后根据受冻症状的轻重程度,分别将受冻症状划分为一级、二级和三级(表 1)。

①段晓凤,李红英,朱永宁,等.宁夏枸杞 1 号花期霜冻过冷却试验研究.宁夏大学学报,待发表。

表1 枸杞花期各阶段受冻症状级别

Table 1 Symptoms of each cold level for *Lycium barbarum* flowering phase

花期	受冻级别	受冻症状
现蕾期	一级	花蕾外皮颜色变深,有皱状;雄蕊梢部变浅褐色或1~2个雄蕊明显褐变且变形萎缩,雄蕊花药背面凹陷处稍褐变;花梗稍微变软,但切面颜色不变
	二级	花蕾全部雄蕊明显褐变,子房切面轻微褐变或子房芯明显褐变,花梗呈黑绿色、变软且切面褐变
	三级	花蕾子房颜色变深或变黑;柱头全部或部分褐变、变形;花梗根部变黑、明显变软、变细,有些触碰即落
初花期	一级	1~2个雄蕊明显褐变或变形萎缩,切开雄蕊花药背面凹陷处稍褐变;花梗稍微变软,但切面颜色不变
	二级	雄蕊全部明显褐变,子房与花梗连接处轻微褐变或子房芯明显褐变,锥形花瓣下部变深褐色,花梗呈黑绿色、变软且切面褐变
	三级	柱头变干、变深褐色;子房中部或全部变深褐色甚至变黑且子房明显水渍;花梗全部变深褐色或变黑明显变软、变细,有些触碰即落
盛花期	一级	子房褐变,花梗呈黑绿色,稍微变软且切面褐变
	二级	紫色花瓣下部明显褐变,子房稍褐变;花梗变软,但切面颜色不变
	三级	将近凋谢的黄色花子房变黑,紫色花子房明显水渍;花梗根部变黑、明显变软、变细,有些触碰即落

2.2 枸杞现蕾期、初花期和盛花期的霜冻分级标准

正常现蕾期的花蕾外皮呈鲜绿色,切面显示嫩绿色,雄蕊和雌蕊淡黄色且饱满;初花期雄蕊呈淡黄色且饱满,柱头绿色,子房乳白色;盛花期花粉淡黄色,大量散落,柱头绿色,子房基部蜜腺丰富且呈乳白色。3个生长阶段的花梗呈深绿色,硬挺水分足。

将3个受冻级别的受冻率分别记为 P_1 、 P_2 和 P_3 ,根据试验后的症状观测、受冻率统计及冻后恢复情况,将 $0 \leq P_1 \leq 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$, $0 \leq P_3 < 10\%$ (P_1 、 P_2 和 P_3 不同时为0)定义为轻度霜冻; $0 \leq P_1 < 50\%$, $P_2 \geq 50\%$, $0 \leq P_3 < 10\%$ 或 $0 \leq P_1 < 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$, $10\% \leq P_3 < 50\%$ 定义为中度霜冻; $0 \leq P_1 < 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$, $P_3 \geq 50\%$ 定义为重度霜冻。从试验结果看, P_2 和 P_3 的大小对确定霜冻等级有决定性作用。

2.3 枸杞现蕾期、初花期和盛花期的霜冻指标

2.3.1 现蕾期霜冻指标

不同低温和持续时间的试验处理后,枸杞现蕾期受冻率见表2。由表2可知,温度越低、持续时间越长,受冻率越大。 $-3 \sim -2^\circ\text{C}$ 持续6h以内或 -4°C 持续2h以内时,一级受冻率为0~50%,二级受冻率小于50%,三级受冻率小于10%。 -4°C 持续3~6h或 -5°C 持续6h以内、 -6°C 持续3h以内、 -7°C 持续2h时以内,枸杞花蕾的一级受冻率和二级受冻率均小于50%,三级受冻率为10%~50%,或二级受冻率过半且三级受冻率小于10%。 -6°C 持续4h及以上、 -7°C 持续3h及以上或 -8°C 持续1h及以上时,三级受冻率过半, -8°C

时受冻率很快达90%。

不同低温和持续时间处理后,枸杞现蕾期霜冻指标见表3。由表3可知, $-3 \sim -2^\circ\text{C}$ 持续6h以内或 -4°C 持续2h以内,发生轻度霜冻; -4°C 持续3~6h或 -5°C 持续6h以内、 -6°C 持续3h以内、 -7°C 持续2h时以内,发生中度霜冻; -6°C 持续4h及以上、 -7°C 持续3h及以上或 -8°C 持续1h及以上时,发生重度霜冻, -8°C 时受冻率达90%以上。

2.3.2 初花期霜冻指标

不同低温和持续时间试验处理后,枸杞初花期受冻率见表4。由表4可知, -2°C 持续6h以内或 -3°C 持续5h以内,枸杞花器官一级受冻率为0~50%,且二级受冻率小于50%,三级受冻率小于10%。当 -3°C 持续6h或 $-5 \sim -4^\circ\text{C}$ 持续6h以内、 $-7 \sim -6^\circ\text{C}$ 持续1h时,花器官一级受冻率和二级受冻率均小于50%,三级受冻率为10%~50%,或二级受冻率过半且三级受冻率小于10%。当 $-7 \sim -6^\circ\text{C}$ 持续2h及以上或 -7°C 持续1h及以上时,三级受冻率过半; -8°C 时受冻率接近100%,大于现蕾期同温度的受冻率,可见初花明显较花蕾容易受冻。

不同低温和持续时间处理后,枸杞初花期霜冻指标见表5。由表5可知, -2°C 持续6h以内或 -3°C 持续5h以内,发生轻度霜冻;当 -3°C 持续6h或 $-5 \sim -4^\circ\text{C}$ 持续6h以内、 $-7 \sim -6^\circ\text{C}$ 持续1h时,发生中度霜冻;当 $-7 \sim -6^\circ\text{C}$ 持续2h及以上或 -7°C 持续1h及以上时,发生重度霜冻。

表 2 不同低温和持续时间处理下枸杞现蕾期受冻率

Table 2 Frost rate of *Lycium barbarum* at flower bud period for each treatment of low temperature and duration

低温/°C	持续时间/h	$P_1/\%$	$P_2/\%$	$P_3/\%$
-1	4	0	0	0
-2	1	0	0	0
-2	2	21	0	0
-2	3	27	1	1
-2	4	13	13	6
-2	5	32	0	0
-2	6	25	11	0
-3	1	18	2	0
-3	2	25	1	0
-3	3	13	15	4
-3	4	34	2	0
-3	5	29	3	6
-3	6	30	5	7
-4	1	22	3	4
-4	2	22	1	7
-4	3	3	0	27
-4	4	10	9	12
-4	5	25	11	12
-5	1	3	4	23
-5	2	2	0	27
-5	3	1	2	30
-5	4	0	0	33
-5	5	2	1	47
-5	6	36	8	22
-6	1	10	1	35
-6	2	1	3	43
-6	3	15	7	23
-6	4	1	1	74
-7	1	6	1	32
-7	2	10	1	42
-7	3	0	2	54
-8	1	10	0	90
-8	2	6	0	94

表 3 不同低温和持续时间处理下枸杞现蕾期霜冻指标

Table 3 Frost level index of *Lycium barbarum* at flower bud period for each treatment of low temperature and duration

霜冻等级	温度 $t/^\circ\text{C}$	持续时间 D/h	霜冻症状描述
轻度	$t = -2$	$2 \leq D \leq 6$	花蕾外皮颜色变深且有皱状, 雄蕊梢部变浅褐色或 1~2 个雄蕊明显褐变且变形萎缩, 雄蕊花药背面凹陷处稍褐变, 花梗稍微变软, 但切面颜色不变; 半数以下花蕾全部雄蕊明显褐变, 子房切面轻微褐变或子房芯明显褐变, 花梗呈黑绿色且变软, 切面褐变
	$-3^\circ\text{C} \leq t < -2$	$1 \leq D \leq 6$	
	$-4 \leq t < -3$	$1 \leq D \leq 2$	
中度	$-4 \leq t < -3$	$2 < D \leq 6$	半数以上花蕾全部雄蕊明显褐变, 子房切面轻微褐变或子房芯明显褐变, 花梗呈黑绿色且变软, 切面褐变; 半数以下花蕾子房颜色变深或变黑; 柱头全部或部分褐变、变形; 花梗根部变黑、明显变软、变细, 有些触碰即落
	$-5 \leq t < -4$	$1 \leq D \leq 6$	
	$-6 \leq t < -5$	$1 \leq D \leq 3$	
	$-7 \leq t < -6$	$1 \leq D \leq 2$	
重度	$-6 \leq t < -5$	$D > 3$	半数以上花蕾子房颜色变深或变黑; 柱头全部或部分褐变、变形; 花梗根部变黑、明显变软、变细, 有些触碰即落
	$-7 \leq t < -6$	$D > 2$	
	$-8 \leq t < -7$	$D \geq 1$	

表 4 不同低温和持续时间处理下枸杞初花期受冻率
Table 4 Frost rate of *Lycium barbarum* at early flowering period for each treatment of low temperature and duration

低温/℃	持续时间/h	$P_1/\%$	$P_2/\%$	$P_3/\%$
-1	4	0	0	0
-2	1	16	6	5
-2	2	29	0	0
-2	3	32	0	0
-2	4	36	0	0
-2	5	36	4	6
-2	6	34	8	5
-3	1	23	3	5
-3	2	26	7	0
-3	3	33	0	0
-3	4	19	7	9
-3	5	36	10	3
-3	6	30	11	21
-4	1	17	4	13
-4	2	18	7	11
-4	3	23	0	23
-4	4	3	3	48
-4	5	0	58	5
-5	1	9	7	23
-5	2	6	14	21
-5	3	5	16	27
-5	4	5	16	37
-5	5	12	20	38
-5	6	33	16	38
-6	1	6	12	31
-6	2	0	2	52
-6	3	2	6	59
-6	4	1	2	67
-7	1	8	10	46
-7	2	28	12	52
-7	3	0	0	94
-8	1	0	0	100
-8	2	2	0	98

表 5 不同低温和持续时间处理下枸杞初花期霜冻指标
Table 5 Frost level index of *Lycium barbarum* at early flowering period for each treatment of low temperature and duration

霜冻等级	温度 $t/^\circ\text{C}$	持续时间 D/h	霜冻症状描述
轻度	$t = -2$	$1 \leq D \leq 6$	每个花的 1~2 个雄蕊明显褐变或变形萎缩;切开雄蕊花药背面凹陷处稍褐变;花梗稍微变软,但切面颜色不变
	$-3 \leq t < -2$	$1 \leq D \leq 5$	
中度	$-3 \leq t < -2$	$5 < D \leq 6$	半数以下花的柱头变干、变深褐色;子房中部或全部变深褐色甚至变黑且子房明显水渍;花梗全部变深褐色或变黑,明显变软、变细,有些触碰即落;或者半数以上雄蕊全部明显褐变;子房与花梗连接处轻微褐变或子房芯明显褐变;锥形花瓣下部变深褐色;花梗呈黑绿色且变软,切面褐变
	$-5 \leq t < -3$	$1 \leq D \leq 6$	
	$-7 \leq t < -5$	$1 \leq D < 2$	
重度	$-7 \leq t < -5$	$D \geq 2$	半数以上初花的柱头变干、变深褐色;子房中部或全部变深褐色甚至变黑且子房明显水渍;花梗全部变深褐色或变黑,明显变软、变细,有些触碰即落
	$t < -7$	$D \geq 1$	

2.3.3 盛花期霜冻指标

不同低温和持续时间试验处理后,枸杞盛花期受冻率见表 6。由表 6 可知, -2°C 持续 5 h 及以内或 -3°C 持续 3 h 及以内,枸杞花器官一级受冻率为 0

~50%,且二级受冻率小于 50%,三级受冻率小于 10%。 -2°C 持续 6 h 或 -3°C 持续 3~6 h 以及 $-5\sim -4^\circ\text{C}$ 持续 6 h 及以内、 $-7\sim -6^\circ\text{C}$ 持续 1 h,花器官一级受冻率和二级受冻率均小于 50%,三级受冻率

为10%~50%，或二级受冻率过半且三级受冻率小于10%。 $-7\sim-6^{\circ}\text{C}$ 持续2 h及以上或 -8°C 持续1 h及以上，三级受冻率过半。由此可见，盛花期较

初花期更容易受冻。

不同低温和持续时间处理后，枸杞盛花期霜冻指标见表7。由表7可知， -2°C 持续5 h及以内或 -3°C

表6 不同低温和持续时间处理下枸杞盛花期受冻率
Table 6 Frost rate of *Lycium barbarum* at full flowering period for each treatment of low temperature and duration

低温/ $^{\circ}\text{C}$	持续时间/h	$P_1/\%$	$P_2/\%$	$P_3/\%$
-1	4	0	0	0
-2	1	21	5	3
-2	2	21	4	6
-2	3	25	7	4
-2	4	21	9	9
-2	5	23	15	6
-2	6	13	17	25
-3	1	24	5	8
-3	2	38	4	0
-3	3	9	41	0
-3	4	16	7	36
-3	5	23	3	35
-3	6	13	23	38
-4	1	28	5	11
-4	2	0	0	41
-4	3	8	12	35
-4	4	18	8	32
-4	5	18	9	36
-5	1	20	11	15
-5	2	19	9	21
-5	3	0	22	30
-5	4	6	18	33
-5	5	12	14	41
-5	6	14	12	42
-6	1	19	7	35
-6	2	7	0	58
-6	3	2	16	60
-6	4	2	13	80
-7	1	10	12	46
-7	2	1	4	58
-7	3	0	0	71
-8	1	0	0	100
-8	2	8	0	92

表7 不同低温和持续时间处理下枸杞盛花期霜冻指标
Table 7 Frost level index of *Lycium barbarum* at full flowering period for each treatment of low temperature and duration

霜冻等级	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	持续时间 D/h	霜冻症状描述
轻度	$t=-2$	$1\leq D\leq 5$	紫色花瓣下部明显褐变，子房稍褐变；花梗稍微变软，但切面颜色不变；子房褐变；花梗呈黑绿色且变软，切面褐变的不超过一半
	$-3\leq t<-2$	$1\leq D\leq 3$	
中度	$t=-2$	$5<D\leq 6$	半数以上花的子房褐变；花梗呈黑绿色且变软，切面褐变；半数以下将近凋谢的黄色花子房变黑，紫色花子房明显水渍；花梗根部变黑、明显变软、变细，有触碰即落症状的占10%~50%
	$-3\leq t<-2$	$3<D\leq 6$	
	$-5\leq t<-3$	$1\leq D\leq 6$	
重度	$-7\leq t<-5$	$1\leq D<2$	半数以上将近凋谢的黄色花子房变黑，紫色花子房明显水渍；花梗根部变黑、明显变软、变细，有些触碰即落
	$t<-7$	$D\geq 2$	
		$D\geq 1$	

持续 3 h 及以上,发生轻度霜冻;−2℃持续 6 h 或−3℃持续 3~6 h 以及−5~−4℃持续 6 h 及以上、−7~−6℃持续 1 h,发生中度霜冻;−7~−6℃持续 2 h 及以上或−8℃持续 1 h 及以上,发生重度霜冻。

3 指标验证

受冷空气影响,2018 年 4 月 6—7 日宁夏出现大风沙尘、寒潮和霜冻灾害性天气过程,整个过程影

响范围广、降温幅度大,各枸杞产区最低气温降至−7~−5℃,灌区枸杞产区发生了连续 2 d 重霜冻天气。5 月 2 日宁夏再次出现霜冻天气,但霜冻程度较 4 月 6—7 日轻。利用大田霜冻试验结果(表 8)及大田自然霜冻调查结果(表 9 和表 10)对室内霜冻模拟试验结果分别进行验证,发现现蕾期、初花期及盛花期霜冻指标判断结果与实况的符合率分别为 92.9%,81.8%和 91.7%,能够客观反映霜冻对花期枸杞的影响程度。

表 8 2018 年 3—4 月现蕾期、盛花期大田霜冻试验验证

Table 8 Verification for frost level of *Lycium barbarum* at flower bud and full flowering periods in Mar and Apr of 2018

试验日期	试验地点	低温/℃	持续时间/h	现蕾期		盛花期	
				实况	霜冻指标判断	实况	霜冻指标判断
2018-03-21	芦花台 1	−2.0~−1.0	2	轻度	轻度	轻度	轻度
2018-03-21	芦花台 2	−2.0~−1.0	2	轻度	轻度	轻度	轻度
2018-03-21	观兰基地	−4.0~−3.0	2~3	中度	中度	中度	中度
2018-03-22	芦花台 1	−2.0~−1.0	3~4	轻度	轻度	轻度	轻度
2018-03-22	观兰基地	−2.0~−1.0	1~2	轻度	轻度	轻度	轻度
2018-03-23	河东基地	−4.0~−3.0	2~3	中度	中度	中度	中度
2018-03-24	河东基地	−4.0~−3.0	2~3	中度	中度	中度	中度
2018-04-06	芦花台 1	−5.0~−4.0	5~6	中度	中度	中度	中度
2018-04-06	河东基地	−5.0~−4.0	5~6	中度	中度	中度	中度
2018-04-06	灵武园艺场	−6.0~−5.0	3~4	轻度	中度	中度	重度
2018-04-07	芦花台 1	−6.0~−5.0	4~5	重度	重度	重度	重度
2018-04-07	河东基地	−6.0~−5.0	2~3	中度	中度	重度	重度
2018-04-07	灵武园艺场	−7.0~−6.0	1~2	中度	中度	重度	重度

注:盆栽枸杞初花期样本量较少,因此只验证现蕾期及盛花期霜冻指标。

表 9 2018 年 4 月 7 日现蕾期大田自然霜冻调查验证

Table 9 Verification for natural frost of *Lycium barbarum* at flower bud period on 7 Apr 2018

调查地点	低温/℃	持续时间/h	实况	霜冻指标判断
中卫宣和镇	−4.0~−3.0	2~3	轻度	轻度
中卫路桥村	−7.0~−6.0	1~2	中度	中度
中宁百瑞源枸杞基地	−6.0~−5.0	2~3	中度	中度
中宁舟塔乡田滩村	−7.0~−6.0	3~4	重度	重度
中宁大地枸杞基地	−6.0~−5.0	2~3	中度	中度
中宁上渠枸杞基地	−6.0~−5.0	2~3	中度	中度
中宁中杞枸杞基地	−6.0~−5.0	2~3	重度	中度
中宁渠口太阳梁乡	−5.0~−4.0	4~5	中度	中度
青铜峡曲靖乡	−4.0~−3.0	2~3	轻度	轻度
罗山中药材示范基地	−3.0~−2.0	3~4	轻度	轻度
罗山大道	−5.0~−4.0	3~4	中度	中度
同心下马关五里墩村	−2.0~−1.0	2~3	轻度	轻度
同心下马关驿站枸杞基地	3.0~4.0	1~2	无	无
海原七营乡	−2.0~−1.0	2~3	轻度	轻度
原州区蒋河村	−2.0~−1.0	1~2	轻度	轻度

表10 2018年5月2日初花期、盛花期大田自然霜冻调查验证

Table 10 Verification for natural frost of *Lycium barbarum* at early flowering and full flowering periods on 2 May 2018

调查地点	低温/℃	持续时间/h	初花期		盛花期	
			实况	霜冻指标判断	实况	霜冻指标判断
中卫宣和镇	-2.0~-1.0	0~1	轻度	轻度	无	无
中卫路桥村	3.0~4.0	5~6	无	无	无	无
中宁百瑞源枸杞基地	-2.0~-1.0	0~1	轻度	轻度	轻度	轻度
中宁舟塔乡田滩村	-2.0~-1.0	0~1	中度	轻度	轻度	轻度
中宁大地枸杞基地	1.0~2.0	4~5	无	无	轻度	无
中宁上渠枸杞基地	1.0~2.0	4~5	无	无	无	无
中宁中杞枸杞基地	-2.0~-1.0	0~1	轻度	轻度	轻度	轻度
中宁渠口太阳梁乡	2.0~3.0	3~4	轻度	无	无	无
青铜峡曲靖乡	2.0~3.0	3~4	无	无	无	无
罗山中药材示范基地	-2.0~-1.0	0~1	轻度	轻度	轻度	轻度
罗山大道	-2.0~-1.0	0~1	轻度	轻度	轻度	轻度

4 结论与讨论

利用室内霜冻模拟试验和大田霜冻试验,建立枸杞现蕾期、初花期和盛花期霜冻指标。得到以下主要结论:

1) 根据不同低温及持续时间处理的室内霜冻模拟试验冻后观测结果,将受冻症状分为3个级别(P_1, P_2 和 P_3),并统计每个级别的受冻率,将 $0 \leq P_1 \leq 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$, $0 \leq P_3 < 10\%$ (P_1, P_2 和 P_3 不同时为0)定义为轻度霜冻; $0 \leq P_1 < 50\%$, $P_2 \geq 50\%$, $0 \leq P_3 < 10\%$ 或 $0 \leq P_1 < 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$, $10\% \leq P_3 < 50\%$ 定义为中度霜冻; $0 \leq P_1 < 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$, $P_3 \geq 50\%$ 定义为重度霜冻, P_2 和 P_3 的大小对确定霜冻等级更具决定性作用。

2) 不同低温及持续时间组合下,根据现蕾期、初花期、盛花期的受冻级别和受冻率,结合霜冻等级划分标准,确定枸杞各花期阶段的霜冻等级。结果表明:枸杞霜冻与低温及其持续时间密切相关,温度越低、持续时间越长,霜冻越重。现蕾期抗冻性最强,初花期抗冻性明显较现蕾期弱,盛花期较初花期弱。

3) 利用大田霜冻试验结果及大田自然霜冻调查结果对室内霜冻模拟试验结果分别进行验证,得到现蕾期、初花期和盛花期霜冻指标的符合率分别为92.9%,81.8%和91.7%,能够客观反映霜冻对花期枸杞的影响程度,具有较强的实用性,可作为枸杞花期不同阶段的霜冻灾害预报及评估依据。

作物霜冻指标大多基于受冻率,一般将受冻率划分为不同区间以确定霜冻等级,但受冻率仅表征受冻比例,受冻程度未能体现,而受冻程度是作物冻

后恢复生长情况的决定因素,由本研究可知,二级和三级受冻对霜冻等级更具决定性作用。因此,要准确判断作物霜冻等级,需兼顾受冻级别和受冻率两方面。根据受冻症状将受冻程度划分不同级别,统计每个受冻级别下基于低温和持续时间的受冻率;根据霜冻等级划分标准建立轻、中、重3级霜冻指标。在划分指标等级时,采用10%和50%两个阈值统计不同受冻级别的受冻率,便于灾后调查,尤其在人力和时间有限且只需粗略调查霜冻情况时较实用,可作为枸杞花期不同阶段的霜冻灾害预报及评估依据。另外,枸杞花期的抗冻性不仅受气温及其持续时间影响,还受植株品种、树龄、田间管理方式、地势地形、土壤性质及周围小环境特征等多因素影响,试验指标虽经过大田霜冻试验及大田调查验证,但具体到不同地区或不同枸杞园区,霜冻气象服务可能存在一定差异。因此,当霜冻指标用于实际枸杞生产服务时,还需基于试验指标,建立气象服务指标,提高服务的针对性和精准性。

参考文献

- [1] 张磊,段晓凤,李红英,等.宁夏枸杞生长的气象条件分析及管理措施.北方果树,2014(4):16-19.
- [2] 叶力勤,赵银宝.枸杞头茬果质量初探.中药材,2004,27(1):3-4.
- [3] 蔺海明,薛福祥,王龙强,等.高海拔地区绿色枸杞园建植技术规程.甘肃农业,2009(7):97-98.
- [4] 张自萍,郭荣,史晓文,等.不同采摘期枸杞品质变化研究.西北农业学报,2007,16(4):126-130.
- [5] 张自萍,史晓文,郭荣,等.枸杞糖碱成分及其与土壤肥力间的关系研究.干旱地区农业研究,2008,26(6):149-153.
- [6] 贺春燕.施肥对枸杞产量和品质的影响及效应研究.兰州:甘肃农业大学,2009:3-4.
- [7] 陶祖文,琚克德.冬小麦霜冻气象指标的探讨.气象学报,

- 1962,32(3):215-223.
- [8] 田素青.春霜对棉麦的危害及预防.山西农业科学,1962(4):8-10.
- [9] 张养才,霍治国.中国柑橘周期性冻害问题的研究.应用气象学报,1991,2(1):52-58.
- [10] 杨爱萍,杜筱玲,王保生,等.江西省多气象要素的柑橘冻害指标.应用气象学报,2013,24(2):249-256.
- [11] 刘静.宁夏棉花霜冻及全生育期热量指标研究.宁夏农林科技,1995(4):7-9.
- [12] 林日暖,张勇.拉萨露地大白菜霜冻试验研究.中国农业气象,1998,19(6):35-38.
- [13] 李华,王华,游杰,等.近45年霜冻指标变化对我国酿酒葡萄产区的影响.科技导报,2007,25(15):16-22.
- [14] 庞庭颐.荔枝等果树的霜冻低温指标与避寒种植环境的选择.广西气象,2000,21(1):12-14.
- [15] 陈家金,李丽纯,林晶.福建省枇杷气象灾害综合风险评估.应用气象学报,2014,25(2):232-241.
- [16] 杨松,杨卫,刘俊林,等.河套灌区向日葵终霜冻指标及其时空分布特征.中国农学通报,2010(1):256-259.
- [17] 李娜,张建新,李芬.山西省冬小麦种植区霜冻气候指标的时空特征分析.中国农业气象,2012,33(3):436-441.
- [18] 张晓煜,马玉平,苏占胜,等.宁夏主要作物霜冻试验研究.干旱区资源与环境,2001,15(2):50-54.
- [19] 党茂生.几种主要作物的霜冻指标.新疆农业科技,1999(1):43.
- [20] 伏洋,李凤霞,张国胜.德令哈地区霜冻灾害气候指标的对比分析.中国农业气象,2003,24(4):8-11.
- [21] 马树庆,刘铮,刘实,等.QX/T 88—2008.作物霜冻害等级.北京:气象出版社,2008.
- [22] 李仁忠,金志风,杨再强,等.浙江省茶树春霜冻气象指标的修订.生态学杂志,2016,35(10):2659-2666.
- [23] 王景红,刘璐,高峰,等.陕西富士系苹果花期霜冻灾害气象指标的修订.中国农业气象,2015,36(1):50-56.
- [24] 王景红,梁轶,柏秦凤,等.QX/T 392—2017.富士系苹果花期冻害等级.北京:气象出版社,2018.
- [25] 屈振江,周广胜,魏钦平.苹果花期冻害气象指标和风险评估.应用气象学报,2016,27(4):385-395.
- [26] 李红英,段晓凤,王静,等.宁夏苹果花期霜冻敏感性指标研究.干旱地区农业研究,2015,33(6):184-188.
- [27] 张磊,曹宁,段晓凤,等.宁夏酿酒葡萄晚霜冻气候风险研究.山西农业科学,2018,46(2):260-264.
- [28] 段晓凤,张磊,李红英,等.贺兰山东麓酿酒葡萄新梢萌芽期室内霜冻模拟试验.经济林研究,2017,35(4):171-176.
- [29] 王静,张晓煜,杨洋,等.宁夏梨树霜冻指标试验研究.中国农学通报,2014,30(28):122-127.
- [30] 杜军,石磊,袁雷.近50年西藏主要农区霜冻指标的变化特征.中国农业气象,2013,34(3):264-271.
- [31] 王秀萍,任国玉,赵春雨.近46年大连地区初、终霜冻事件和无霜冻期变化.应用气象学报,2018,19(6):673-678.
- [32] 张霞,钱锦霞.气候变暖背景下太原市霜冻发生特征及其对农业的影响.中国农业气象,2010(1):111-114;120.
- [33] 冯玉香,何维勋,夏满强.作物霜冻与低温强度及冰核菌密度的关系.应用气象学报,1995,6(1):90-94.
- [34] 何维勋,冯玉香,夏满强.解冻速率对作物霜冻害的影响.应用气象学报,1993,4(4):440-445.
- [35] 王培娟,霍治国,杨建莹,等.基于热量指数的东北玉米冷害指标.应用气象学报,2019,30(1):13-24.
- [36] 王石立.近年来我国农业气象灾害预报方法研究概述.应用气象学报,2003,14(5):274-582.
- [37] 肖芳,段晓凤,李红英,等.宁夏枸杞春季霜冻指标研究.经济林研究,2019,37(3):193-197.
- [38] 郭晓雷,申双和,张磊,等.宁夏枸杞种植区春霜冻发生的时空分布特征分析.江苏农业科学,2019,47(6):238-242.

Experimental Research on Frost Indexes for *Lycium Barbarum* Flowering Phase

Duan Xiaofeng¹⁾²⁾ Zhu Yongning²⁾³⁾⁴⁾ Zhang Lei²⁾³⁾⁴⁾ Wang Jing²⁾³⁾⁴⁾ Xu Rui²⁾³⁾⁴⁾ Wang Jingmei²⁾⁵⁾

¹⁾ (Ecological and Agricultural Meteorological Center of Inner Mongolia, Hohhot 010051)

²⁾ (Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, Yinchuan 750002)

³⁾ (Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002)

⁴⁾ (Ningxia Institute of Meteorological Sciences, Yinchuan 750002)

⁵⁾ (Zhongning Meteorological Bureau of Ningxia, Zhongwei 755100)

Abstract

Based on researches of frost indexes of *Lycium barbarum* during 2016–2018, tests of frost index are performed using an artificial frost box in 2019, focusing on flower bud, early flowering and full flowering periods. The temperature of treatment is $-8- -1^{\circ}\text{C}$, and time duration is 1–6 h, which forms 32 combinations of low temperature and time. Frozen symptoms of *Lycium barbarum* are divided into 3 degrees (P_1, P_2, P_3) according to observation after freezing. The mild frost is defined as $0 \leq P_1 \leq 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$ and $0 \leq P_3 < 10\%$ (P_1, P_2, P_3 not to be zero at the same time). The medium frost is defined as $0 \leq P_1 < 50\%$, $P_2 \geq 50\%$ and $0 \leq P_3 < 10\%$, or $0 \leq P_1 < 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$ and $10\% \leq P_3 < 50\%$. The severe frost is defined as $0 \leq P_1 < 50\%$, $0 \leq P_2 < 50\%$ and $P_3 \geq 50\%$. P_2 and P_3 are decisive for confirming frost levels. The frozen rate of each frozen degree is counted and the judgment standard of frost are formulated. In terms of these studies, frost indexes are established based on low temperature, time of duration, cold level, and rate of cold. Frost indexes are verified by using results of field experiments at 13 sites and investigations into natural frost disaster at 25 *Lycium barbarum* planting regions. Results indicate that frosts of *Lycium barbarum* are closely related to the low temperature and its duration. Lower temperature and longer duration lead to more seriously frost disasters. The frost resistance of flower bud period is the strongest, which is significantly stronger than that of early flowering period. The frost resistance of full flowering period is weaker than early flowering to some degree. The result of judgment with frost indexes and the situation of actual disaster have high compliance, coincidence rates are 92.9%, 81.8% and 91.7%, respectively. The indexes have strong practicability which can be used as basics for forecast and assessment of frost damage at different stages of *Lycium barbarum* flowering phase.

Key words: *Lycium barbarum*; flowering phase; frost index; experimental research