

## 河套灌区加工型番茄春霜冻指标研究

高飞翔<sup>1</sup>,孙向伟<sup>1</sup>,杨钦宇<sup>1</sup>,郭 婕<sup>1</sup>,张雁飞<sup>1</sup>,王文清<sup>1</sup>,杨 松<sup>1</sup>,王海梅<sup>2</sup>

<sup>1</sup>内蒙古巴彦淖尔市农业气象试验站,内蒙古临河 015000;

<sup>2</sup>内蒙古自治区气象科学研究所,呼和浩特 010051)

**摘要:**为了更好地开展加工型番茄春霜冻气象服务,本研究选用加工番茄‘里格尔 87-5’幼苗为试验材料,利用 MSX-2F 人工模拟霜箱系统模拟自然降温过程,通过测定幼苗的叶温,记录植株冻伤、冻死情况,结合荧光参数值,初步确定河套灌区番茄霜冻指标。结果表明:(1)番茄幼苗全部冻死的最低温度为  $\leq -5^{\circ}\text{C}$ ;(2)番茄幼苗过冷却点的范围为  $-3.1\sim -5.0^{\circ}\text{C}$  之间,结冰点的范围为  $-2.4\sim -4.9^{\circ}\text{C}$  之间;(3)相对较小苗龄的番茄,抗寒能力更强;(4)番茄幼苗轻霜冻地表温度指标为  $-2^{\circ}\text{C}$ ,重霜冻地表温度指标为  $-4^{\circ}\text{C}$ 。

**关键词:**‘里格尔 87-5’;过冷却点;叶绿素荧光参数;霜冻指标;河套灌区

中图分类号:S166

文献标志码:A

论文编号:casb16090140

### Spring Frost Index of Processing Tomato in Hetao Irrigation District

Gao Feixiang<sup>1</sup>, Sun Xiangwei<sup>1</sup>, Yang Qinyu<sup>1</sup>, Guo Jie<sup>1</sup>, Zhang Yanfei<sup>1</sup>,

Wang Wenqing<sup>1</sup>, Yang Song<sup>1</sup>, Wang Haimei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Experimental Station of Agricultural Meteorology in Bayannaoer City, Linhe Inner Mongolia 015000;

<sup>2</sup>Inner Mongolia Meteorological Institute, Hohhot 010051)

**Abstract:** To better provide meteorological service of spring frost forecasting for processing tomato, the authors chose processing tomato variety ‘Liger 87-5’ as material, to simulate the natural frost cooling process by using the MSX-2F artificial frost box system. The authors obtained leaf temperature by the thermocouple probe, detected the frostbite and death statistics, took the changes in fluorescence into consideration and preliminarily established the meteorological index of spring frost of processing tomato. The results showed that: (1) the minimum temperature for all tomato seedlings from being frozen to death was  $\leq -5^{\circ}\text{C}$ ; (2) the super cooling point of tomato concentrated in the range of  $-3.1\sim -5.0^{\circ}\text{C}$ , freezing point in the range of  $-2.4\sim -4.9^{\circ}\text{C}$ ; (3) the tomato with relatively small seedling age had a stronger cold-hardiness; (4) the land surface temperature index in light frost and heavy frost of tomato seedlings was  $-2^{\circ}\text{C}$  and  $-4^{\circ}\text{C}$ , respectively.

**Key words:** ‘Liger 87-5’; super cooling point; chlorophyll fluorescent parameter; frost index; Hetao irrigation district

### 0 引言

加工型番茄在河套灌区种植面积较大,是当地主要经济作物之一。河套灌区由于地处干旱与半干旱气候区,霜冻、潮塌、干热风、冰雹等农业气象灾害发生频繁,特别是霜冻灾害每年均有发生,严重影响着当地农业生产。

霜冻指标的研究是提升霜冻气象预报及霜冻气象服务的关键,多年来诸多学者针对北方果树和喜温作物霜冻指标的研究较多,但多侧重于植物形态变化与温度的关系方面研究<sup>[1-5]</sup>,张晓煜等<sup>[4]</sup>从低温强度以及低温持续时间等关键因子入手,确定了宁夏小麦、玉米不同程度霜冻指标;冯玉香等<sup>[6]</sup>从细胞水平上,研究发

**基金项目:**内蒙古自治区气象局青年气象科技项目“河套地区加工型番茄终霜冻指标研究”(nmqnx201301)。

**第一作者简介:**高飞翔,男,1984年出生,内蒙古丰镇人,工程师,硕士,主要从事农牧业气象与生态方面的研究工作。通信地址:015000 内蒙古巴彦淖尔市临河区气象局,E-mail:565900150@qq.com。

**收稿日期:**2016-09-30,修回日期:2017-02-15。

现霜冻与冰核细菌的数量以及细胞解冻速率有关。中国目前采用霜冻指标多为苏联的。因不同的作物在不同地区、不同生长时期对霜冻的敏感性不同,因此需要因地制宜建立不同的温度指标。部分地区结合当地实际进行了本地化修订。但是,中国对于加工型番茄霜冻指标的研究或试验修订等工作尚未报道。

近年来,叶绿素荧光技术已被广泛的应用于植物对环境的各种胁迫响应<sup>[7-8]</sup>,在低温研究中的应用也越来越广泛<sup>[9-10]</sup>。根据植物细胞的“过冷却现象”判断植物的低温反应是近年发展起来的新技术。宁超等<sup>[11]</sup>应用过冷却点现象对仁用杏的抗寒性进行比较;孟庆瑞等<sup>[12]</sup>开展了杏器官花期的过冷却点和结冰点的研究。

本研究选取河套地区番茄常规品种‘里格87-5’为试验材料,根据番茄幼苗在当地种植特点、生长状况和春霜冻发生特点,选取3个不同苗龄的幼苗作为试验材料,利用MSX-2F人工模拟霜箱模拟自然霜冻的降温过程,通过测定加工番茄幼苗叶片的过冷却点、结冰点及温度变化情况,同时结合叶绿素荧光变化以及植株受害后的形态变化,探讨霜冻温度指标,以期为霜冻灾害的防御提供理论依据和数据支持。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验时间、地点

番茄霜冻试验于2013年4月20日—6月30日在巴彦淖尔市农业气象试验站进行,利用人工模拟霜箱开展,补充试验于2013年9月进行。

#### 1.2 试验材料

试验材料为盆栽番茄幼苗,番茄品种为‘里格87-5’,属早熟品种,用穴盘进行育苗,分3期播种,每次育3盘,按生长天数记录苗龄,待幼苗长到1个月后移栽入花盘(直径为10 cm,高度为15 cm),每花盆定植长势一致的植株2株。

#### 1.3 试验方法

##### 1.3.1 试验设计

(1)霜箱降温曲线设置。为了开展人工模拟霜箱试验时,其设置的温度曲线和当地春季霜冻过程相吻合,前期先对临河区2010—2012年春季10次典型降温过程进行分析,找出最低温度为0、-1、-2、-3、-4、-5℃ 6个典型降温过程(见图1),以此设计人工模拟霜箱的降温曲线。

(2)试验幼苗选择。选择生长均匀的苗龄分别为40天(38~42天)、50天(48~52天)和60天(58~62天)的盆栽幼苗进行霜冻试验,以便更接近于当地春季易受冻的苗龄,各降温过程每个苗龄幼苗至少设置12次重复,室外温度作为对照(CK)。

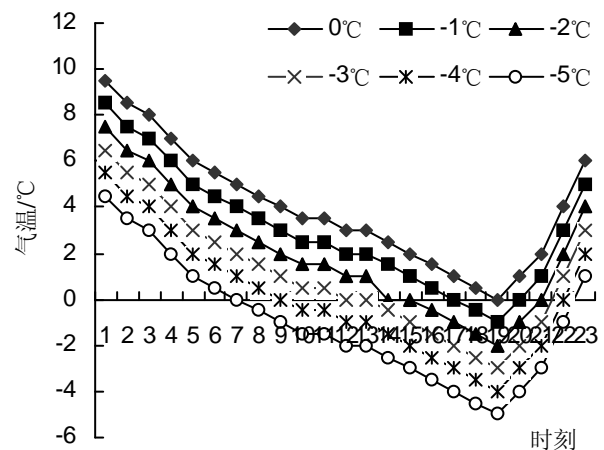


图1 霜箱模拟典型温度变化过程

##### 1.3.2 研究方法

(1)过冷却点和结冰点测定。当环境温度降到0℃以下时,细胞溶液并不马上结冰,此时处于“过冷却状态”。当温度继续下降到一定程度时,植物体细胞溶液结冰释放潜热,温度突然升高,会出现峰值跳跃的现象,该温度跳跃的起点就是过冷却点(见图1中的T1和T2);回升到一定温度后热量开始散失,植物体内冰晶核形成,直到温度不再上升,放热与吸热处于平衡状态时,此时的温度即结冰点(见图1中的C1和C2)。植物组织的过冷却点和结冰点是一个温度区间,常随各种因素(季节、环境、冰核细菌数量等)而变化。试验时将温度传感器探头夹在植株叶片上,使FrosTem40数据采集系统与温度传感器与和电脑连接,每隔10 s记录1次数据,精度±0.2℃。

(2)冻伤情况统计。试验结束后24~48 h统计幼苗的冻伤(死)情况。受冻程度的划分:未受冻、轻度受冻(叶缘有冻伤)、中度受冻(1、2片叶冻死)、严重受冻(茎、叶均受冻,但3天以后新叶长出)、特重(植株死亡)。

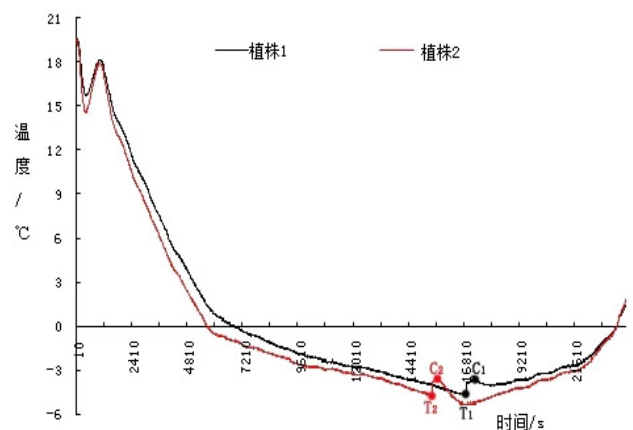


图2 -5℃降温过程植株幼苗过冷却点和结冰点模拟图

(3) 荧光测定。光适应于试验结束后当天 10:00—11:00 测定,暗适应于当天晚上 21:00—22:00 测定,每个处理分别选取 4 个植株,每个植株选择 2 个叶片,分别选取同一叶片的同一位置进行测定。仪器自动测定叶片最大荧光( $F_m$ )、基础荧光( $F_0$ )、可变荧光( $F_v$ )、PS II 最大光化学转换效率( $F_v/F_m$ )、光适应下最大荧光( $F_m'$ )、光适应下最小荧光( $F_0'$ )、光化学淬灭系数( $qP$ )等参数<sup>[13]</sup>。PS II 的光化学实际量子产量  $Yield = \Delta F/F_m' = (F_m' - F)/F_m'$ ,它反映了植物目前的实际光合效率<sup>[14]</sup>。

1.3.3 试验仪器 仪器采用内设 40 只热电偶温度传感器的 MSX-2F 人工模拟霜箱系统,每只传感器按照 10 s 的间隔记录试验材料的温度变化数据。试验结束后,采用 LI-6400 便携式光合作用仪和荧光叶室测定光合生理指标。

1.3.4 统计分析 采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 13.0 统计分析软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 幼苗冻伤率和死亡率分析

2.1.1 番茄幼苗遭受冻害界限温度 番茄幼苗通过霜冻试验后,从霜箱中取出放入室外,经过自然光照 2 h 后进行形态上观测,由表 1 可知,当  $\geq -2^\circ\text{C}$  时,番茄幼苗未表现出冻害;在  $-3^\circ\text{C}$  温度胁迫下,番茄幼苗开始表现出冻害,而在  $-4^\circ\text{C}$  时,番茄幼苗开始出现死亡,在  $-5^\circ\text{C}$  时番茄全部冻死。由此可见,  $-2^\circ\text{C}$  和  $-5^\circ\text{C}$  可能是番茄幼苗遭受冻害的界限温度。

2.1.2 不同苗龄的番茄幼苗的冻伤情况 不同苗龄的番茄幼苗抵抗冻害的能力不同。由表 1 可知,在  $-3^\circ\text{C}$  低温下,40 天苗龄的番茄的冻伤率分别比 50 天和 60 天苗龄的低 50% 和 75%,在  $-4^\circ\text{C}$  温度梯度下,40 天苗龄番茄的冻死率分别比 50 天和 60 天苗龄的低 8% 和 20%,综合死伤率分别低 16% 和 28%。因此,苗龄越小,耐受冻害的能力越强。

表 1 不同温度梯度下不同苗龄番茄幼苗冻伤情况统计表 %

苗龄	冻伤情况	$-1^\circ\text{C}$	$-2^\circ\text{C}$	$-3^\circ\text{C}$	$-4^\circ\text{C}$	$-5^\circ\text{C}$
40 d	冻伤率	0	0	10	32	0
	冻死率	0	0	0	10	100
	死伤率	0	0	10	42	100
50 d	冻伤率	0	0	60	40	0
	冻死率	0	0	0	18	100
	死伤率	0	0	60	58	100
60 d	冻伤率	0	0	85	40	0
	冻死率	0	0	0	30	100
	死伤率	0	0	85	70	100

### 2.2 植株过冷却点和冻结点

2.2.1 番茄幼苗的过冷却点和结冰点 从表 2 可以看出,番茄幼苗过冷却点的范围为  $-3.1\sim -5.0^\circ\text{C}$ ;番茄幼苗的平均过冷却点温度为  $-4.1^\circ\text{C}$ 。番茄幼苗结冰点的范围为  $-2.4\sim -4.9^\circ\text{C}$ ;番茄幼苗的平均结冰点温度为  $-3.29^\circ\text{C}$ 。番茄过冷却点和结冰点是判断其遭受冻害的重要生理指标,当植株细胞结冰时,其细胞膜已经受到破坏,表明植株受到重度冻害,这和形态观测的结果较为一致;但由于植株个体差异性,统计结果表现为一个范围。

表 2 不同苗龄番茄幼苗的过冷却点与结冰点  $^\circ\text{C}$

苗龄	过冷却点	结冰点	过冷能力
40 d	-4.50	-3.46	1.04
50 d	-4.13	-3.32	0.81
60 d	-3.68	-3.10	0.58
平均值	-4.10	-3.29	0.81

2.2.2 不同苗龄幼苗的结冰危害临界温度和组织的过冷能力 由表 2 可见,苗龄为 40、50、60 天番茄幼苗结冰危害临界温度分别是  $-4.5$ 、 $-4.1$ 、 $-3.7^\circ\text{C}$ ;另外,不同苗龄的番茄幼苗的过冷能力也不尽相同,番茄幼苗组织的过冷能力用结冰点与过冷却点温度差来表示,其平均“温度差”为  $0.81^\circ\text{C}$ ,苗龄为 40、50、60 天的过冷能力分别是  $1.04$ 、 $0.81$ 、 $0.58^\circ\text{C}$ 。温度的“跃升值”(即温度差)越大,说明组织的过冷能力越强。因此,相对较小苗龄的番茄,抗寒能力更强。

### 2.3 植株幼苗荧光生理变化情况

最大光化学效率( $F_v/F_m$ )反映了 PS II 反应中心均处于开放态时的最大光能转化效率。由图 3 可知,随着温度的降低, $F_v/F_m$  值逐渐降低,但  $0^\circ\text{C}$  和  $-1^\circ\text{C}$  温度处理下  $F_v/F_m$  与对照相比无显著差异( $P>0.05$ ),  $-2^\circ\text{C}$  处理下开始出现较为明显的变化,同时,  $-2^\circ\text{C}$  和  $-3^\circ\text{C}$  温度处理下的  $F_v/F_m$  显著低于  $0^\circ\text{C}$  和  $-1^\circ\text{C}$  ( $P<0.05$ ),且比对照分别下降了 14% 和 38%。

有效荧光产量( $Yield$ )表示在光照下 PS II 的实际光化学效率。由图 4 可知, $Yield$  的变化趋势与  $F_v/F_m$  类似,  $-2^\circ\text{C}$  处理下开始出现较为明显的变化,同时,  $-2^\circ\text{C}$  和  $-3^\circ\text{C}$  温度处理下的有效荧光产量显著低于  $0^\circ\text{C}$  和  $-1^\circ\text{C}$  ( $P<0.05$ ),且比对照分别下降了 17.6% 和 58%。

光化学淬灭系数( $qP$ )是 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,反映光合活性的高低。由图 5 可知,随着温度的降低, $qP$  值也为下降趋势,在  $-2^\circ\text{C}$  处理下  $qP$  开始显著低于对照( $P<0.05$ ),且下降

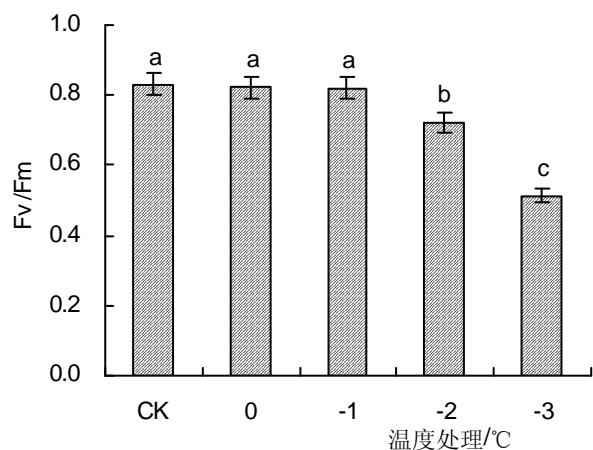


图3 不同温度处理下的 Fv/Fm 比较

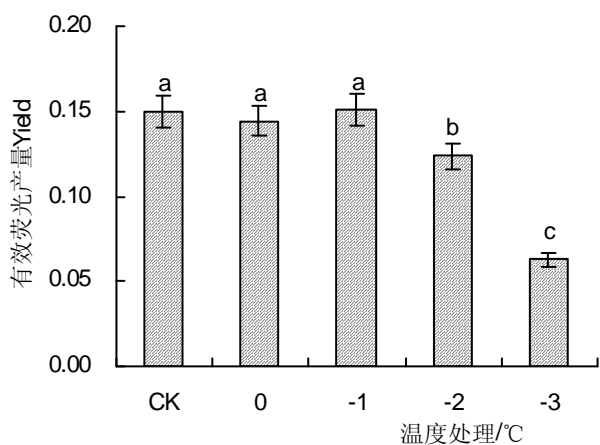


图4 不同温度处理下的 Yield 比较

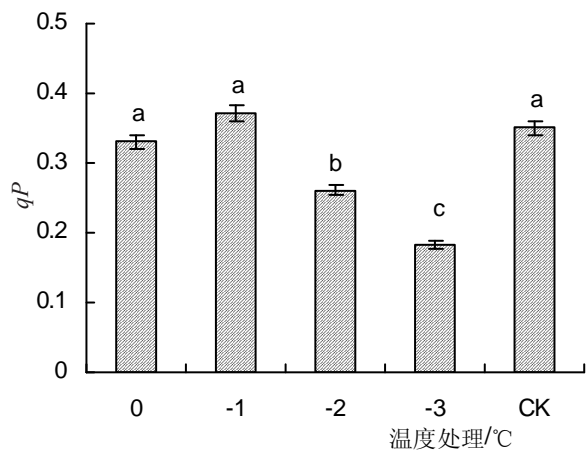


图5 不同温度处理下的 qp 值

了25.5%。

### 3 讨论与结论

农业气象指标是开展精细化气象服务的前提和基础,指标的准确与否在一定程度上决定着气象为农服务的科技含量。不同作物以及作物的不同阶段霜冻指

标不同,在河套灌区,气象部门普遍采用4°C和2°C作为所有农作物轻霜冻和霜冻指标,精细化程度不够,服务效果欠佳。

本研究表明,河套灌区番茄幼苗霜冻指标为-4°C。这是因为从形态上观测,番茄幼苗在该温度下开始出现死亡,从人工霜箱模拟系统测定的植物细胞结冰特性分析,其平均过冷却点温度为-4.1°C。形态观测是判断植株冻害最直观的反应,且人工霜箱模拟系统最初在国内主要应用于确定果树或昆虫受冻害过程中的临界温度<sup>[15-16]</sup>,目前已被广泛应用,通过植物细胞的“过冷却现象”来判断植物的抗寒性以及对低温的反应<sup>[17-19]</sup>。

本研究表明,河套灌区番茄幼苗轻霜冻指标为-2°C,在该温度下,番茄幼苗的形态变化不明显,但 Fv/Fm、Yield 和 qp 值与对照相比均表现出显著的差异 ( $P < 0.05$ )。本研究通过测定番茄植株叶绿素荧光的变化确定其轻霜冻指标,叶绿素荧光参数对环境胁迫的响应变化极为灵敏,广泛用于分析植物对环境胁迫的响应机理研究<sup>[20]</sup>。本试验中仅能够找到荧光显著变化的阈值温度,即植株生理上开始受害温度,影响植株生长发育量化指标,有待进一步研究。

本研究表明,相对较小苗龄的番茄,抗寒能力更强。这与王海梅等<sup>[21]</sup>对玉米、向日葵的研究结论一致。

本研究中,霜箱在模拟降温过程时箱内只能对温度条件进行控制,箱内环境条件与外界会有差别。因此,本试验结果还需要与大田中霜冻发生情况进行对比验证,从而确定当地的加工型番茄遭受霜冻灾害的临界温度。另外,在气象预报和服务过程中用的均为1.5 m的气温,本研究得出的指标与实际中地表温度较为接近,下一步还需进行试验或统计分析,与气象部门的服务接轨。

### 参考文献

- [1] 韩荣青,李维京,艾婉秀,等.中国北方初霜冻日期变化及其对农业的影响[J].地理学报,2010,65(5):525-532.
- [2] 罗延斌.广西象州县霜冻发生规律及其应用对策[J].中国农业气象,2002,23(4):44-46.
- [3] 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[J].中国农学通报,2010,26(1):256-259.
- [4] 张晓煜,马玉平,苏占胜,等.宁夏主要作物霜冻试验研究[J].干旱区资源与环境,2001,15(2):50-54.
- [5] 李盼华,石丽环,沙翠云,等.10种早春开花植物花器官抗寒临界温度比较研究[J].中国农学通报,2011,27(8):98-102.
- [6] 冯玉香,何维勋,崔林松.霜冻时冰晶在作物体内生长的试验研究[J].中国农业科学,1991,24(3):57-64.
- [7] 余叔文,汤章城.植物生理与分子生物学[M].北京:科学出版社,2001:262-276.

- [8] 李鹏民,高辉远.快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J].植物生理与分子生物学报,2005,31(6):559-566.
- [9] 刘慧英,朱祝军,史庆华.地温胁迫下嫁接对西瓜光合特性及叶绿素荧光参数的影响的研究[J].石河子大学学报,2007,25(2):163-167.
- [10] 王可玢,赵福洪,王孝宣,等.用体内叶绿素荧光a诱导动力学鉴定番茄的抗冷性[J].植物学通报,1996,13(2):29-33.
- [11] 宁超,孟庆瑞,李淑贤,等.抗霜冻仁用杏优株花器官抗寒性的比较研究[J].河北农业大学学报,2010,33(3):37-41.
- [12] 孟庆瑞,王文凤,梁隐泉,等.杏品种花器官过冷却点及结冰点的研究[J].中国农业科学,2008,41(4):1128-1133.
- [13] 李晓峰,侯瑞贤,朱玉英,等.高温胁迫对大白菜叶绿素荧光特性的影响[J].农业工程学报,2009,25(增):49-54.
- [14] 靖长柏,张利阳,童再康,等.自然低温胁迫下3种桉树的叶绿素荧光特性研究[J].浙江林业科技,2011,31(1):7-10.
- [15] 李彦慧,高连祥,任士福,等.耐寒仁用杏新品种‘围选1号’[J].园艺学报,2010,37(1):155-156.
- [16] 王晓燕,宁超,宋庆丰,等.4个仁用杏优株抗寒性研究[J].安徽农业科学,2010,38(9):4479-4481,4485.
- [17] 钟秀丽,王道龙,饶敏杰,等.草莓开花期发生霜害的温度[J].植物学通报,2005,22(5):560-565.
- [18] 冯玉香,何维勋,饶敏杰,等.冬小麦拔节后霜冻害与叶温的关系[J].作物学报,2000,26(6):707-712.
- [19] 仁德超,胡新,黄绍华,等.晚霜冻害对不同类型小麦产量性状的影响[J].河南农业科学,2011,40(5):55-58.
- [20] 王铮宏,赵威,吕淑芳,等.仙客来叶绿素荧光特性对高温胁迫的响应[J].江苏农业科学,2012,40(8):169-171.
- [21] 王海梅,侯琼,云文丽,等.内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度[J].生态学报,2014,34(11):2948-2953.