

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说: 三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201304240787

王海梅, 侯琼, 云文丽, 高飞翔, 杨钦宇. 内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度. 生态学报, 2014, 34(11): 2948-2953.

Wang H M, Hou Q, Yun W L, Gao F X, Yang Q Y. Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2948-2953.

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度

王海梅^{1,*}, 侯 琼¹, 云文丽¹, 高飞翔², 杨钦宇²

(1. 内蒙古自治区气象科学研究所, 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古巴彦淖尔市临河区气象局, 临河 015000)

摘要:以玉米和向日葵幼苗为试验材料,利用 MSX-2F 人工模拟霜箱系统模拟自然霜冻的降温过程,通过测定幼苗叶片的温度,观测植株冻伤、死亡情况,观测河套灌区两种主要作物玉米和向日葵的过冷却点、结冰点温度,确定以上两种作物受冻的临界温度。研究结果表明:(1)玉米幼苗全部冻死的最低温度为 $\leq -5^{\circ}\text{C}$;向日葵幼苗全部冻死的最低温度为 $\leq -6^{\circ}\text{C}$;(2)玉米幼苗的过冷却点主要分布在 $-3.5\text{—}-5^{\circ}\text{C}$ 之间,而向日葵幼苗的过冷却点主要分布在 $-4.0\text{—}-5.5^{\circ}\text{C}$ 之间;(3)玉米叶龄、高度与组织过冷能力呈现极显著正相关,与过冷却点温度呈现极显著的负相关,与结冰点呈现显著的负相关。以上结果表明:向日葵的抗寒能力比玉米强;玉米在一定叶龄范围内,苗龄越大,高度越高,其过冷却点越低,结冰点越低,抗寒性越强。

关键词:河套灌区;霜冻;抗寒能力;过冷却点

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia

WANG Haimei^{1,*}, HOU Qiong¹, YUN Wenli¹, GAO Feixiang², YANG Qinyu²

1 Inner Mongolia Meteorological Institute, Hohhot 010051, China

2 Linhe Meteorological Bureau of Bayannaoer, Inner Mongolia, Linhe 015000, China

Abstract: Based on the seedlings of corn and sunflower, we used the MSX-2F artificial frost box system to simulate the natural frost cooling process, leaf temperature was obtained by the thermocouple probe, combined with the frostbite and death statistics, we determined the temperature of super cooling point and freezing point of corn and sunflower, and determined the frost critical temperature in Inner Mongolia Hetao irrigation district. The results of the study showed that: (1) the temperature of corn be frozen to death is $\leq -5^{\circ}\text{C}$, the temperature of sunflower be frozen to death is $\leq -6^{\circ}\text{C}$; (2) the super cooling point of corn concentrated in the range of $-3.5\text{—}-5^{\circ}\text{C}$, and the super cooling point of sunflower concentrated in the range of $-4.0\text{—}-5.5^{\circ}\text{C}$; (3) There was very significant positive correlation existed between the corn leaf age, height and organization super cooling ability; there was very significant negative correlation existed between the corn leaf age, height and the temperature of organization super cooling, and the significant negative correlation existed between the corn leaf age, height and the temperature of freezing point. The analyses showed that the cold resistant ability of sunflower was stronger than corn, and the bigger seedling, and the higher the height, the lower super cooling point and the freezing point were, which showed that the stronger cold resistant ability was.

Key Words: Hetao irrigation district; frost; cold resistant ability; super cooling point

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(201206046)

收稿日期:2013-04-24; 修订日期:2013-09-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanghmuhe@126.com

河套灌区是内蒙古重要的粮食主产区,玉米和向日葵是该区的主要作物。由于地处干旱与半干旱气候区,干旱多风,降水量少,蒸发强烈,属典型的绿洲农业气候,霜冻、低温冷害、干热风 and 潮塌等农业气象灾害危害严重。霜冻是河套灌区发生频率较高的农业气象灾害,对当地农业生产影响较大。

霜冻是制约我国北方农业生产发展的主要气象灾害之一。国内众多学者围绕霜冻发生的时间、灾损评估、遥感监测及霜冻对作物器官生理生化等方面进行了系统的研究,取得了众多研究成果。研究表明,霜冻的发生与危害,不仅与天气条件、地形有关,而且与作物的种类、品种、发育期、长势有关^[1-4]。霜冻指标的研究是判断霜冻危害的关键,多年来针对北方喜温作物和果树的霜冻指标研究较多^[5-6],但多局限于植物形态变化(死亡率和冻伤率)与温度的关系方面^[7-12],从细胞水平上冯玉香等曾研究得出霜冻与细胞解冻速率和冰核细菌的数量有关^[3],为细化霜冻指标提供了基础。目前国内普遍采用前苏联的霜冻指标,各地根据实际情况对该指标进行修订,制定当地霜冻的气候指标。如:张晓煜等从对霜冻危害程度起决定作用的低温和低温持续时间等关键因子入手,确定宁夏小麦、玉米两种作物发生不同程度霜冻的最低气温指标。向日葵霜冻指标方面研究的文献较少^[11]。不同的作物及同一作物在不同地区、不同生长时期对霜冻的敏感性不同,即发生同一霜冻时作物的响应不同,因此需要因地制宜建立不同的温度指标。

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。李盼华等应用过冷却点现象对早春开花植物的抗寒性进行排序^[12],李彦慧等依据植物的过冷却点和结冰点来选育新品种,并把该方法应用到引种栽培研究中^[13-16],另外,该技术也被应用到果蔬的微冻保鲜技术研究中^[17]。本文选取河套灌区玉米和向日葵为试验材料,利用 MSX-2F 人工模拟霜箱系统模拟自然霜冻的降温过程,通过测定两种作物幼苗叶片的温度变化情况和过冷却点、结冰点温度的出现时间,分析作物受冻的临界温度;并与植株受害后的形态变化比较,探讨霜冻关键温度,以期为确定霜冻指标的阈值提供依据。本研究对深入了解河套灌区玉米、向日葵的霜冻机理,合理确定霜冻指标,选育优质、抗寒品种及霜冻

预报都具有理论和实际意义,并可为构建河套灌区主要作物的农业气象灾害指标体系和当地气候资源开发利用提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料及仪器

试验地设在宁夏回族自治区气象科学研究所,时间为 2012 年 5 月 29 日—6 月 5 日,并于 2013 年 6 月进行了向日葵的补充试验。试验材料为盆栽玉米、向日葵幼苗。幼苗实行分 4 期播种,每期相隔 5d (5 月 4 日、5 月 9 日、5 月 14 日、5 月 19 日),用穴盘进行育苗,每次育 3 盘,待幼苗长到 2 片叶时,选择大小均匀的幼苗移栽入直径为 10cm,高度为 15cm 的花盆,每花盆定植 2 株。各降温过程每个叶龄幼苗至少设置 4 次重复(根据实际幼苗存活的数量情况)。

玉米为中晚熟品种科河 8 号,幼苗按生长发育进度记录实际叶龄,范围为 2—5.3 叶龄,拉直叶子的最大高度范围为 4.4—33.2cm;向日葵为中早熟食用杂交种 LD5009,实际记录叶龄范围为 1.0—4.2 对,到叶心的高度范围为 4.0—15.6cm。根据试验材料及试验设计,对不同叶龄(LA)幼苗霜冻后的受损情况进行统计,叶龄分为 $LA < 3$ 、 $3 \leq LA < 4$ 、 $4 \leq LA$ 3 个区间。试验采用 MSX-2F 人工模拟霜箱系统,内设 40 只热电偶温度传感器,每只传感器按照 10s 的间隔记录数据,监测试验材料的温度变化。系统能够根据设定好的降温曲线模拟霜冻过程。

1.2 试验方法

冻害对植物的影响主要是由于细胞结冰引起的。当温度下降到零度以下时,植物组织可降至冰点而不结冰,必须达到过冷却点才结冰,这种现象称为“过冷却现象”。当环境温度降到一定程度时,植物体细胞溶液从液态转变为固态时释放潜热,会出现温度骤然上升,温度变化曲线出现峰值跳跃的现象,该峰的起点温度就是过冷却点;回升到一定温度后,植物体内冰晶核形成,温度不再上升,晶体增长,放热与吸热处于平衡状态,此时温度即结冰点。植物组织的过冷却点和结冰点并不是确定的值,而是一个温度区间,常随各种因素(季节、环境等)而变化^[18-22]。

为了掌握河套灌区主要作物玉米、向日葵经受

霜冻降温过程植株温度的变化及受冻害临界温度, 本试验共设计最低温度为-6、-5、-4、-3、-2、-1℃等6个自然降温模拟过程(图1), 每次模拟过程选取不同叶龄玉米、向日葵幼苗至少10株放入霜箱(每次约24株), 将PT-100型热电偶温度传感器探头夹在植株叶片上, 温度传感器与FrosTem40数据采集系统和电脑连接, 每隔10s记录1次, 自动连续记录组织温度变化, 以此确定玉米、向日葵的过冷却

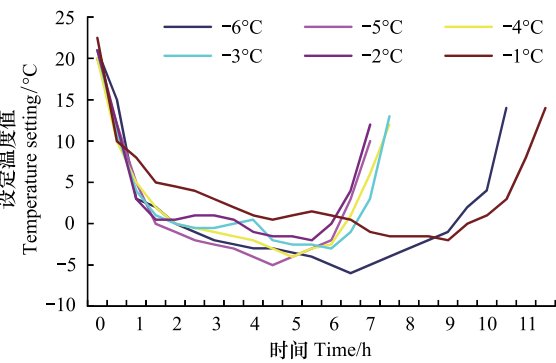


图1 各降温模拟过程的温度设定

Fig.1 The temperature setting of every cooling process simulation

点、结冰点及受霜冻危害的临界温度指标。
试验完成后24h统计幼苗的冻伤(死)情况, 3d后补充观测植株死亡情况。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3d以后新叶长出)、特重(植株死亡)。

2 结果分析

2.1 幼苗冻伤率和死亡率分析

表1的统计结果显示: 在-6℃降温模拟过程中, 玉米幼苗、向日葵幼苗全部冻死; -5℃降温模拟过程中, 玉米幼苗全部冻死, 向日葵幼苗冻伤率为30%, 死亡率为60%; -4℃降温模拟过程中, 玉米幼苗冻伤率为45.83%, 死亡率为12.5%, 向日葵幼苗冻伤率为30.77%, 死亡率为7.69%; -3℃降温模拟过程中, 玉米幼苗冻伤率为22.22%, 死亡率为22.22%, 向日葵幼苗全部未受冻; -2℃降温模拟过程中, 玉米幼苗、向日葵幼苗全部未受冻; -1℃降温模拟过程中, 玉米幼苗全部未受冻。

表1 各降温模拟过程幼苗受冻情况统计

Table 1 The statistics of freezing injury situation

模拟最低温度 Temperature setting	玉米 Corn			向日葵 Sunflower		
	死亡率/% Death rate	冻伤率/% Frostbite rate	死伤率/% Death injury rates	死亡率/% Death rate	冻伤率/% Frostbite rate	死伤率/% Death injury rates
-1	0	0	0	0	0	0
-2	0	0	0	0	0	0
-3	22.22	22.22	44.44	0	0	0
-4	12.50	45.83	58.33	7.69	30.77	38.46
-5	100	0	100	60	30	90
-6	100	0	100	100	0	100

2.2 过冷却点和结冰点温度分析

在-6℃降温模拟过程中, 96%的玉米幼苗和71%的向日葵幼苗监测到过冷却点和结冰点; 在-5℃降温模拟过程中, 全部玉米幼苗和91%的向日葵幼苗监测到比较明显的过冷却点和结冰点(图2, 图3), 未监测到的可能是由于植株与探头接触不良所致。

(1) 玉米和向日葵幼苗的过冷却点和结冰点范围不同。由表2可见, 玉米幼苗过冷却点的范围为-3.6—-5.6℃之间, 向日葵幼苗过冷却点的范围为-3.3—-6.0℃之间; 玉米幼苗的平均过冷却点温度为-4.30℃, 向日葵幼苗的平均过冷却点温度为

-4.75℃。玉米幼苗结冰点的范围为-2.7—-4.7℃之间, 向日葵幼苗结冰点的范围为-2.4—-4.6℃之间。

(2) 玉米和向日葵幼苗越大, 其结冰危害临界温度越低。由表2可见, 对玉米而言, 叶龄≤3幼苗的结冰危害临界温度为-3.79℃, 3<叶龄≤4幼苗的结冰危害临界温度为-4.44℃, 叶龄>4幼苗的结冰危害临界温度为-4.68℃。对向日葵幼苗而言, 叶龄≤3幼苗的结冰危害临界温度为-4.51℃, 3<叶龄≤4幼苗的结冰危害临界温度为-4.69℃, 叶龄>4幼苗的结冰危害临界温度为-5.50℃。对比分析的结果还表明: 叶龄相同的情况下, 向日葵幼苗的结冰危害

临界温度比玉米低。

(3) 玉米、向日葵幼苗的苗龄越大,组织的过冷却能力越大,抗寒性越强。组织的过冷能力用结冰点与过冷却点温度之差来表示,温度差(即温度的“跃升值”)越大,组织的过冷能力越强。玉米幼苗的平均“跃升值”为 0.86℃,而向日葵幼苗的平均“跃升值”为 1.29℃,表明向日葵幼苗的平均抗寒性比玉米强。

(4) 玉米幼苗的叶龄、高度与抗寒性的之间存在显著的相关关系。由表 3 可见,玉米幼苗的叶龄、高

度与过冷却点均呈现极显著的负相关(显著性水平 0.01),结冰点和幼苗的叶龄、高度均呈现显著的负相关(显著性水平 0.05),表明玉米幼苗苗龄越大、高度越高其过冷却点越低,结冰点越低,抗寒性越强。玉米叶龄、高度与组织过冷能力呈现极显著正相关,也表明玉米叶龄越大,高度越高,组织过冷能力越高。两次试验数据综合分析,向日葵幼苗的苗龄、高度和过冷却点、结冰点、组织过冷能力之间相关不显著。

表 2 不同叶龄玉米、向日葵幼苗的过冷却点与结冰点

Table 2 The super cooling points and freezing points of corn and sunflower in different leaf ages			
玉米 Corn			
叶龄 Leaf age	过冷却点 Super cooling point	结冰点 Freezing point	过冷能力 Super cooling ability
LA≤3	-3.79	-3.13	0.66
3<LA≤4	-4.44	-3.53	0.91
4<LA	-4.68	-3.71	1.01
平均值 Mean	-4.30	-3.46	0.86

向日葵 Sunflower			
叶龄 Leaf age	过冷却点 Super cooling point	结冰点 Freezing point	过冷能力 Super cooling ability
LA≤3	-4.51	-3.34	1.16
3<LA≤4	-4.69	-3.50	1.19
4<LA	-5.50	-3.70	1.80
平均值 Mean	-4.75	-3.46	1.29

表 3 叶龄、高度与过冷却点的相关关系

Table 3 The correlations among leaf age, height and super cooling points		
相关系数 Correlation	玉米 Corn (N=34)	向日葵 Sunflower (N=42)
叶龄-过冷却点 Leaf age-super cooling points	-0.495 **	-0.033
叶龄-结冰点 Leaf age-freezing points	-0.383 *	-0.210
高度-过冷却点 Height-super cooling points	-0.448	-
高度-结冰点 Height-freezing points	-0.363 *	-
叶龄-组织过冷能力 Leaf age-super cooling ability	0.918 **	0.181
高度-组织过冷能力 Height-super cooling ability	0.700 **	-

* * 表示极显著相关, * 表示显著相关

(5) 图 4 和图 5 玉米幼苗的过冷却点频率统计表明,85%的玉米幼苗过冷却点分布在-3.5—-5℃之间,而 72%的向日葵幼苗的过冷却点分布在-4.0—-5.5℃之间。结合各降温模拟过程中幼苗冻伤率及死亡率的统计,表明向日葵的抗寒能力比玉米强。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文通过 6 个最低温度设定为-6℃—-1℃降温模拟过程,观察玉米、向日葵幼苗的受冻情况,监测整个过程植株的温度及其变化情况。

(1) 玉米幼苗全部致死的最低温度为-5℃降

温;向日葵幼苗全部致死的最低温度为-6℃。玉米幼苗的过冷却点主要分布在-3.5—-5℃之间,而向日葵幼苗的过冷却点主要分布在-4.0—-5.5℃之间。表明向日葵的抗寒能力比玉米强。

(2) 玉米幼苗的叶龄越大、高度越高,则其过冷却点和结冰点均越低,组织过冷能力越高,抗寒性越强。

3.2 讨论

已有的关于霜冻指标的研究,多集中在气候指标方面,比如最低温度及其持续时间等,但由于霜冻及其发生条件的复杂性和气象要素观测资料的不连续性,气温等外部环境条件往往不能真实反映霜冻对作物损伤的真实过程。因此,本文采用 MSX-2F

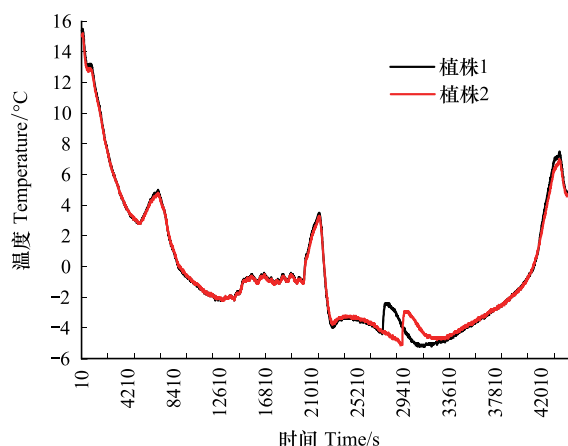


图2 -6℃降温过程向日葵过冷却点

Fig.2 The super cooling points of sunflower in process of lowest temperature -6℃

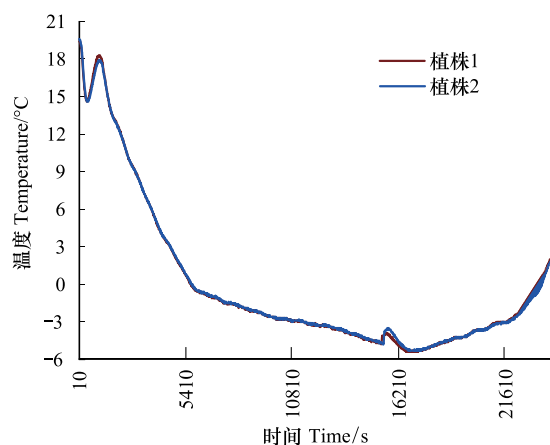


图3 -5℃降温过程玉米过冷却点

Fig.3 The super cooling points of corn in process of lowest temperature -5℃

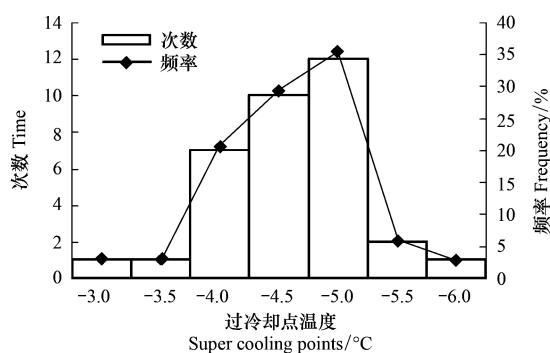


图4 玉米幼苗过冷却点频率分布

Fig.4 The frequency of super cooling points of corn

人工模拟霜箱系统,每隔 10s 监测整个降温过程植株叶温的变化情况,通过设定不同梯度的降温过程,通过分析叶温的变化规律,确定作物受冻的临界温

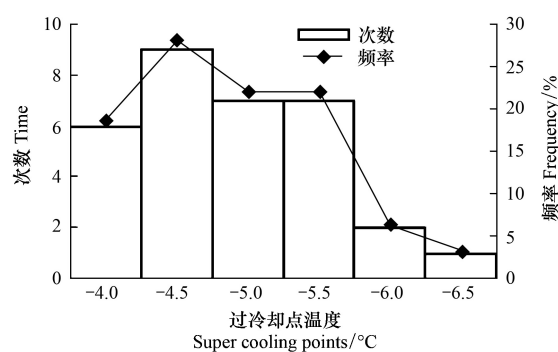


图5 向日葵幼苗过冷却点频率分布

Fig.5 The frequency of super cooling points of Sunflower

度。MSX-2F 人工模拟霜箱系统在国内应用比较广泛,但多用于确定果树及动物受冻害过程中的临界温度^[12-18]。用该仪器确定主要作物遭受霜冻灾害临界温度的研究少有报道。霜冻灾害是限制内蒙古河套地区粮食生产的主要气象灾害,确定该地区主要作物不同发育时期的霜冻临界温度具有重要的理论及实际意义,本文的试验结果可为不同地区确定主要作物霜冻灾害的临界温度提供很好的参考依据。

本研究在设定的降温过程中,霜箱内只能控制温度条件,其它要素如:湿度、风速、光照等均无法控制,箱内环境条件与自然环境会有差别。因此,该试验结果还需要与霜冻发生的实际情况进行对比,从而确定符合当地实情的作物不同发育期遭受霜冻灾害的临界温度。根据对河套地区实际霜冻发生过程气象数据的统计分析:实际降温过程最低气温一般发生在 5:00—6:00,模拟时段共 12h,起始时间为 17:00—18:00,实际气温为 7—15℃ 之间。本试验为了让幼苗有一个逐渐适应的过程,因此,将霜箱实际温度设为降温过程的起始温度。为了得到平稳的降温模拟过程,每隔半个小时设定一个温度值。因此,降温模拟过程与实际降温过程也有差别。考虑最低温度是影响作物霜冻的最重要指标,该设置的模拟降温过程不影响作物霜冻关键温度的分析。

References:

- [1] Shen J H, Li Y L, Chen Q L, Chen Y, Zhang Z H. The application of the predication method of conversion probability in frost forecast. Shanxi Meteorological, 2006, (4): 15-17.
- [2] Feng Y X, He W X. Study on Frost Injury. Beijing: China Meteorological Press, 1996: 40-54.
- [3] Feng Y X, He W X, Cui L S. The experimental study of ice crystals growing in crops during the frost. Chinese Journal of Agrometeorology, 1991, 12(4): 6-9.

- [4] Ma Z G. Variation of frost days and its relationship to regional warming in Northern China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58 (S1): 31-37.
- [5] Li N, Zhang J X, Li F. Temporal and spatial feature of frost index in Winter wheat planting area in Shanxi Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2012, 33(3): 436-441.
- [6] Yang J M, Zhou H J, Wang W F. The advance in frost injury research of fruit trees. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2000, 23(3): 54-58.
- [7] Han R Q, Li W J, Ai W X, Song Y L, Ye D X, Hou W. The climatic variability and influence of first frost dates in Northern China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(5): 525-532.
- [8] Cao J H, Yin Q H, Li J Y. The risk analysis of frost disaster on Chifeng. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2009, (1): 68-69.
- [9] Luo Y B. Occurrence pattern of frost and its response measures in Xiangzhou County, Guangxi Autonomous Region. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2002, 23(4): 44-46.
- [10] Yang S, Yang W, Liu J L, Dan J B, Liang F J, Li L L. The occurrence regulation and its temporal and spatial distribution of sunflower last frost disaster in Hetao Irrigated Area. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(1): 256-259.
- [11] Zhang X Y, Ma Y P, Su Z S, Zhou H Q. Experiments on frost injuries of main crops in Ningxia Province. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2001, 15(2): 50-54.
- [12] Li P H, Shi L H, Sha C Y, Li D, Li Y H. The cold critical temperature compare of 10 species of early spring flowering plants in baoding. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (8): 98-102.
- [13] Li Y H, Gao L X, Ren S F, Fu Y L, Yang F L, Yang J M. A new apricot cultivar resistance to coldness 'Wei Xuan1'. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(1): 155-156.
- [14] Wang X Y, Ning C, Song Q S, Li Y H, Yang H M. Comparative study on the Hardiness of 4 excellent kernel apricot germplasm. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(9): 4479-4481, 4485-4485.
- [15] Li Q, Gu Y G, Hou Y L, Jia D H, Chen Y H. Study on cold tolerance in different cultivars of Winter rapeseed. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48(5): 804-809.
- [16] Wang X Y. Study of Cold Resistance of Floral Organ of Kernel Apricot Superior Strain [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2010: 25-38.
- [17] Wang B. The Research on the Partially Frozen Storage Technology of Longan [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008: 22-26.
- [18] Sang J R, Shu Z L, Qiu W. The frost characteristics in Ningxia in the recent 44 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(12): 97-102.
- [19] Sun S H, Xu Z, Wang Y B, Yang H G, Qi J Y, Zheng Y N, Liu Z K. Effects of cooling rate and repeated freezing and thawing on determination of supercooling point in *Chouioia Cunea*. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2011, 42(1): 50-53.
- [20] Han R D, Sun X G, Xu Y Y, Zhang W G. The biochemical mechanism of cold-hardiness in Overwintering Larva of *dendrolimus spectabilis butler* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1352-1356.
- [21] Meng Q R, Wang W F, Liang Y Q, Nie Q J, Li Y H, Du S H, Yang J M. Study on supercooling point and freezing point in floral organs of apricot. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(4): 1128-1133.
- [22] Shi G A, Meng H Y, Li W T, Wang W, Gao S C, Shi J. Study on supercooling point and freezing point in floral organs of Peony. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(S1): 619-623.

参考文献:

- [1] 申建华, 李月莲, 陈清兰, 陈勇, 张智辉. 转移概率预报方法在霜冻预报中的应用. *山西气象*, 2006, (4): 15-17.
- [2] 冯玉香, 何维勋. 霜冻的研究. 北京: 中国农业气象, 1996: 40-54.
- [3] 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. *中国农业气象*, 1991, 12(4): 6-9.
- [4] 马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系. *地理学报*, 2003, 58(S1): 31-37.
- [5] 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.
- [6] 杨建民, 周怀军, 王文凤. 果树霜冻害研究进展. *河北农业大学学报*, 2000, 23(3): 54-58.
- [7] 韩荣青, 李维京, 艾婉秀, 宋艳玲, 叶殿秀, 侯威. 中国北方初霜冻日期变化及其对农业的影响. *地理学报*, 2010, 65 (5): 525-532.
- [8] 曹建华, 尹清华, 李俊有. 赤峰市霜冻灾害风险分析. *内蒙古农业科技*, 2009, (1): 68-69.
- [9] 罗延斌. 广西象州县霜冻发生规律及其应用对策. *中国农业气象*, 2002, 23(4): 44-46.
- [10] 杨松, 杨卫, 刘俊林, 谈建兵, 梁凤娟, 李连连. 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, 26 (1): 256-259.
- [11] 张晓煜, 马玉平, 苏占胜, 周慧琴. 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.
- [12] 李盼华, 石丽环, 沙翠云, 李单, 李彦慧. 10种早春开花植物花器官抗寒临界温度比较研究. *中国农学通报*, 2011, 27 (8): 98-102.
- [13] 李彦慧, 高连祥, 任士福, 傅云林, 杨凤兰, 杨建民. 耐寒仁用杏新品种'围选1号'. *园艺学报*, 2010, 37(1): 155-156.
- [14] 王晓燕, 宁超, 宋庆丰, 李彦慧, 杨建民. 4个仁用杏优株抗寒性比较研究. *安徽农业科学*, 2010, 38(9): 4479-4481, 4485-4485.
- [15] 李强, 顾元国, 侯玉林, 贾东海, 陈跃华. 不同冬油菜品种抗寒性研究. *新疆农业科学*, 2011, 48(5): 804-809.
- [16] 王晓燕. 仁用杏优株花器官抗寒性研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2010: 25-38.
- [17] 王波. 龙眼微冻保鲜技术研究 [D]. 福建: 福建农林大学, 2008: 22-26.
- [18] 桑建人, 舒志亮, 邱旺. 近44a宁夏霜冻特征. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(12): 97-102.
- [19] 孙守慧, 许哲, 王亚斌, 杨宏光, 祁金玉, 郑雅楠, 刘振凯. 降温速率和反复冻融对白蛾周氏嗜小蜂过冷点测定的影响. *沈阳农业大学学报*, 2011, 42(1): 50-53.
- [20] 韩瑞东, 孙绪良, 许永玉, 张卫光. 赤松毛虫越冬幼虫生化物质变化与抗寒性的关系. *生态学报*, 2005, 25(6): 1352-1356.
- [21] 孟庆瑞, 王文凤, 梁隐泉, 聂庆娟, 李彦慧, 杜绍华, 杨建民. 杏品种花器官过冷却点及结冰点的研究. *中国农业科学*, 2008, 41(4): 1128-1133.
- [22] 史国安, 孟海燕, 李委涛, 王玮, 高双成, 施江. 牡丹花器官结冰点和过冷却点的研究. *园艺学报*, 2011, 38(S1): 619-623.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元