

## 突尼斯软籽石榴防寒越冬措施的防护效果研究<sup>1</sup>

黄梦真<sup>1</sup>, 关思慧<sup>1</sup>, 柴亚倩<sup>1</sup>, 许静<sup>1</sup>, 杨元玲<sup>1</sup>, 刘慧英<sup>1</sup>, 杨磊<sup>2\*</sup>, 刁明<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>石河子大学农学院, 新疆石河子 832003; <sup>2</sup>新疆农业科学院园艺作物研究所, 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**【目的】通过调查分析大田及冷棚突尼斯软籽石榴冬季不同防寒越冬措施的防护效果, 筛选出适宜的防寒越冬措施, 为突尼斯软籽石榴的安全过冬提供理论依据与技术支持。【方法】以1年生突尼斯软籽石榴为试材, 在12连设置露地3种覆土厚度下的7种物理保护措施共21个处理, 测定不同物理防寒措施下, 石榴树体周围的温湿度变化情况, 并调查分析翌年春季突尼斯软籽石榴的冻害情况; 以3年生突尼斯软籽石榴为试材, 在20连设置5种和19连设置2种防寒保护措施, 调查分析翌年春季石榴的冻害情况, 以筛选适宜的冬季防寒越冬措施。【结果】草帘+钢筋+覆土以及草帘+塑料膜+覆土的防寒措施对软籽石榴安全越冬效果较好, 均可有效提高石榴树体微环境的湿度、日平均温度及日最低温度, 且草帘+塑料膜+覆土15 cm防寒措施下覆盖的突尼斯软籽石榴整体冻害最轻(冻害指数8.3%)。冷棚内不同覆盖方式中最好的物理保护措施是草帘+拱棚, 突尼斯软籽石榴苗均未遭受冻害, 保护效果较好的物理保护措施为毛毡和覆土。【结论】新疆冬季气候寒冷, 在传统埋土防寒措施下, 突尼斯软籽石榴仍发生严重冻害, 需采取其他物理保护措施与覆土相结合的方式, 才能较好地避免突尼斯软籽石榴遭受冻害。草帘+塑料膜+覆土15 cm防寒措施下覆盖的突尼斯软籽石榴整体冻害最轻可以推广应用。单纯的冷棚设施栽培并不能对突尼斯软籽石榴起到良好的防冻抗旱效果, 在冷棚内搭建小拱棚并在其上覆盖草帘能够保证软籽石榴安全越冬。

关键词: 突尼斯软籽石榴; 防寒措施; 冻害

中图分类号: S665.4 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)04-0001-08

## Study on the protective effect of Tunisia Soft-seed pomegranate on cold-proof and wintering measures

HUANG Mengzhen<sup>1</sup>, GUAN Sihui<sup>1</sup>, CHAI Yaqian<sup>1</sup>, XU Jing<sup>1</sup>, YANG Yuanling<sup>1</sup>, LIU Huiying<sup>1</sup>, Yang Lei<sup>2\*</sup>, Diao ming<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China; <sup>2</sup>Institute of Horticultural Crops, Xinjiang Academy of Agriculture Sciences, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:**【Objective】Using Tunisia Soft-seed pomegranates as experimental materials, we performed 21 treatments, taking 7 physical protection measures under 3 soil thickness. The temperature and humidity changes of Tunisia Soft-seed pomegranate trees under various physical measures were measured, and the heat preservation effects of different measures were studied. In this paper, the freezing damage of Tunisia Soft-seed pomegranate of different tree ages was studied, with the freezing damage grade formulated. Moreover, the different freezing damage levels were analyzed, and the rules of freezing damage were combed. Eventually, the anti-freezing

收稿日期: 2023-11-30 接受日期: 2024-01-25

基金项目: 新疆生产建设兵团重大科技项目(2021AB015)

作者简介: 黄梦真, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为设施园艺。Tel: 18850701956, E-mail: 3291716112@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 15899132635, E-mail: yanglei9961@163.com; Tel: 13579763060, E-mail: diaoming@shzu.edu.cn

cultivation modes were summarized, as a result, we could provide guidance for production practice. **【Methods】** Seven kinds of physical protection measures under three kinds of covering soil thickness were taken in the experiment, with a total of 21 treatments, during which all of Tunisia Soft-seed pomegranate trees were entirely covered with soil. There were 3 creeping cultivated 'Tunisia Soft-seed 'pomegranate seedlings under each treatment, and the 'Tunisia Soft-seed 'pomegranate seedlings planted in the open field without any protection measures were used as the control group. The daily minimum temperature, daily temperature variation amplitude, daily maximum temperature, daily mean temperature and air relative humidity of soft-seeded pomegranate were compared and analyzed. The daily variation of temperature around the trees treated with different cold-proof measures was compared when the extreme minimum temperature (December 31) occurred. 3-year-old pomegranate 'Tunis Soft-seed' were utilized as the experimental materials. 5 kinds of cold-proof measures were set in Company 20 cold sheds and 2 kinds of cold-proof measures were set in Company 19 cold sheds to investigate and analyze the freezing damage of pomegranate trees in the following spring so as to screen the suitable cold-proof and overwintering measures. **【Results】** The winter temperature in southern Xinjiang is relatively low, and the cold-proof effect of the traditional buried soil method is not so good. 'Tunis Soft-seed' pomegranate trees still suffer from severe freezing damage, and the frozen parts are mainly the root necks and branches. The older the tree, the lighter the degree of freezing damage. Through this experimental study, it was concluded that the seven physical protection measures could effectively increase the daily average temperature around the ' Tunisia Soft-seed ' pomegranate trees, reduce the daily maximum temperature, daily temperature variation amplitude, and the temperature difference, greatly increasing the relative humidity of the air in the tree microenvironment. The relative humidity was close to 100 %. The thicker the covering soil was, the gentler the daily temperature change was, and the smaller the temperature difference between the tree microenvironment under different covering materials was. It can be seen that by covering the buried soil cold-proof layer, the fluctuation of the tree microenvironment temperature with time can be effectively reduced, thereby increasing the micro-domain temperature and reducing the daily range. Among the seven kinds of physical protection measures, the cold-proof measures of straw curtain + covering soil, straw curtain + steel rebar holder + covering soil and straw curtain + plastic membrane + covering soil had better effects on the safe overwintering of soft-seed pomegranates, obviously increasing the daily average temperature and daily minimum temperature of pomegranate tree microenvironment. In the field freezing damage investigation experiment, the ' Tunisia Soft-seed ' pomegranate trees covered by straw curtain + plastic membrane+ covering soil 15 cm cold-proof measures had the lightest overall freezing damage (freezing damage index 8.3 ). The best physical protection measure among the different covering methods in the cold sheds was straw curtain+arched shed, none of the 'Tunisia Soft-seeded' pomegranate seedlings were frozen, and the physical protection measures that were more effective were respectively felt (freezing damage index 11.0) and soil cover (freezing damage index 17.3).

Burying 'Tunisia Soft-seed' pomegranate seedlings under the soil to overwinter in the cold sheds can reduce the degree of freezing and drought, which is a more effective physical protection measure. 【Conclusion】 The winter climate of Xinjiang is very cold. Even with the traditional cold-proof measure of soil cover, 'Tunisia Soft Seed' pomegranate still suffered severe freezing damage. It is necessary to take other physical protection measures combined with covering soil to avoid freezing damage. The freezing damage of Tunisia Soft-seed pomegranates covered with straw curtain + plastic film + soil covering 15cm cold-proof measures was the lightest (frost damage index 8.3%), which could be popularized and applied. The cultivation of cold sheds alone does not have a good anti-freezing and drought-resistant effect on Tunisia Soft-seed pomegranate trees, and the construction of small arches in cold sheds and the covering of grass curtains on them can ensure the safe overwintering of soft-seeded pomegranate trees.

**Key words:** Tunisia Soft-seed pomegranate; Cold protection treatments; Frost damage

石榴 (*Punica granatum* L.) 为石榴科 (*Punicaceae*) 石榴属 (*Punica* L.)<sup>[1]</sup> 亚热带植物, 喜温畏寒, 耐贫瘠, 适宜在温暖气候条件下生长<sup>[2]</sup>。石榴在冬季休眠期可承受-16 °C以上温度, -17 °C受冻害, -20 °C多数被冻死。突尼斯软籽石榴早熟、籽粒大、色泽鲜艳、籽粒软, 深受消费者欢迎, 但是该品种抗寒性弱, 幼苗在气温-10 °C以下易受冻<sup>[3]</sup>。石榴是新疆的传统特色果树, 近年来随着新疆农业结构的调整, 石榴产业发展较快, 其中南疆为新疆石榴主要栽培区<sup>[4]</sup>。因冬季严寒, 绝对低温低, 持续时间长等特点, 在新疆地区, 石榴的种植通常采用匍匐栽培的方式, 向南倾斜种植为新疆石榴常用的定植模式, 向南倾斜避免了正午太阳对石榴苗主枝基部的直接照射, 防止主枝基部被日灼烧伤从而诱发病害, 倾斜角度为 60° 左右, 以便于冬季下压埋土<sup>[5]</sup>。目前新疆石榴最安全的越冬方式是埋土<sup>[6]</sup>, 一般在 10 月底至 11 月中旬人工埋土越冬, 但随着冬季的到来, 大量石榴苗遭受冻害甚至死亡, 严重制约了石榴产业的健康发展。

国内学者针对石榴防寒措施进行了大量研究, 但关于不同防寒措施下树体周围微环境温度的变化并结合实际冻害情况调查的研究鲜见报道。冯一峰等<sup>[7]</sup>采用 3 种不同防寒措施对软籽石榴防寒进行研究, 结果表明, 秸秆加黑膜防寒效果最好, 秸秆加棉被次之, 覆土最差。唐海霞等<sup>[8]</sup>认为简易设施栽培可确保石榴安全过冬, 突尼斯软籽石榴可以在棚膜保护下安全过冬, 一般包裹防寒效果不佳。柴丽娜等<sup>[9]</sup>建议露地栽植的 1~2 a (年) 的突尼斯软籽石榴幼苗, 可采用以防冻棉缠裹树干的方法防寒越冬。宋娟等<sup>[10]</sup>认为钢筋架加草帘和覆土对微域温度提升效果最好, 钢架加草帘组成小拱棚不仅可以显著提高微域温度还可以全面改善草帘单独覆土容易受潮腐烂等问题。

为解决生产中遇见的实际问题, 笔者在本研究中以 1 年生突尼斯软籽石榴为试材, 在 12 连设置 3 种覆土厚度下的 7 种物理保护措施共 21 个处理, 测定在每种物理防寒措施下突尼斯软籽石榴树体周围的温湿度变化情况, 研究不同防寒保护措施的保温效果; 以 3 年生突尼斯软籽石榴为试材, 在 20 连、19 连冷棚内分别设置 5 种、2 种防寒保护措施, 调查分析翌年春季石榴的冻害情况, 制定冻害等级, 对不同冻害程度进行分析, 梳理冻害规律, 总结

防冻栽培模式，为生产实际提供指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 石榴种植区概况

试验地选在新疆生产建设兵团第三师五十一团 12 连、19 连以及 20 连，五十一团位于塔克拉玛干沙漠的西部边缘，属暖温带大陆性干旱荒漠气候，冬季寒冷，夏季炎热，秋季凉爽，平均年蒸发量 2 178.5 mm。7 月最热，平均气温 25 °C~26.2 °C，月最高气温 38.7 °C；1 月最冷平均气温-6.4 °C~-7.3 °C，月最低气温-16.8 °C。温差大，农作物生长季节积温比较高。盛行东北风，而最大风速风向以西北风为主，最大冻土层深度 60 cm。

### 1.2 大田不同防寒措施下突尼斯软籽石榴防寒越冬效果研究

1.2.1 试验试材 采用 1 年生突尼斯软籽石榴扦插苗，在 12 连南北行向倾斜 40° 匍匐栽植，2021 年 3 月定植，株行距 2.0 m×5.0 m，供试植株生长健壮、规格一致，养护管理水平与植株的生态环境基本一致。

1.2.2 试验处理和方法 试验设置 3 种覆土厚度下的 7 种物理保护措施，共 21 个处理，且均为全株覆土（表 1）。每个处理下有 3 株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴苗，并以在露地种植且无任何保护措施的突尼斯软籽石榴苗为对照组。利用彭云物联 S10A 遥控温湿度仪进行数据采集后，对比分析软籽石榴越冬过程中不同处理和对照的日最低温度、日温度变幅、日最高温度、日均温度和空气相对湿度的变化规律。对比发生极端最低温度时（12 月 31 日），不同防寒措施处理情况下的树体周围温度日变化情况。

1.2.3 试验温湿度的测定 新疆生产建设兵团第三师五十一团石榴种植区的气象数据来源于欧洲中期天气预报中心的统计数据。利用彭云物联 S10A 遥控温湿度仪，于 2021 年 11 月 5 日起至 2022 年 3 月 16 日对 12 连石榴栽培区域的近地面气温（对照）、7 种物理防寒措施 3 种覆土层厚度（15、20、30 cm）相组合下的突尼斯软籽石榴树体微环境进行温湿度测定，全部数据均为持续测量，每 3 min 自动进行一次记录，温度仪的测温探测器均置于离地面 35 cm 的石榴主干上。

表 1 大田不同防寒措施  
Table 1 Different cold prevention measures

处理 Treatments	具体方法 The specific methods
石榴区近地表（对照） Pomegranate area near the surface (control)	将温湿度计的监测探头固定在露天种植无任何覆盖的石榴树体上，在距离地面 35 cm 的位置进行测量 The monitoring probe of the thermometer was fixed on the pomegranate tree without any coverage in the open air, and measured at a distance of 35 cm from the ground
草帘+覆土 Straw curtain+soil cover/ (15, 20, 30 cm)	在每株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴树上方铺一层草帘后分别覆土 15、20、30 cm Each creeping cultivation of Tunisia Soft-seed pomegranate tree was covered with 15 cm, 20 cm and 30 cm soil after laying a grass curtain
草帘+钢筋+覆土 Straw curtain+rebar holder+soil cover/ (15, 20, 30 cm)	在每株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴树上方先用两根钢筋搭建一个钢筋架，再铺一层草帘，最后分别覆土 15、20、30 cm In each creeping cultivation of Tunisia Soft-seed pomegranate tree above the first with two steel to build a steel frame, and then lay a layer of grass curtain, finally respectively covered with soil 15 cm, 20 cm, 30 cm
草帘+塑料薄膜+覆土 Straw curtain+plastic membrane+soil cover/ (15, 20, 30 cm)	在每株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴树上方先铺一层草帘，然后再盖一层 EVA 塑料膜，最后分别覆土 15、20、30 cm In each creeping cultivation of Tunisia Soft-seed pomegranate tree above the first layer of straw curtain, and then covered with a layer of EVA plastic film, and finally covered with soil 15 cm, 20 cm, 30 cm respectively

扣框+覆土 Plastic basket+soil cover/ (15, 20, 30 cm)	在每株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴树上方扣一个塑料框, 再分别覆土 15、20、30 cm A plastic frame was buckled on each creeping cultivation of Tunisia Soft-seed pomegranate tree, and then covered with 15 cm, 20 cm and 30 cm soil, respectively
防虫网+覆土 Insect net+soil cover/ (15, 20, 30 cm)	在每株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴树上方盖一层防虫网, 再分别覆土 15、20、30 cm A layer of insect-proof net was covered on each creeping cultivation of Tunisia Soft-seed pomegranate tree, and then covered with soil 15 cm, 20 cm and 30 cm respectively
双层毛毡+覆土 Double felt/3 mm +soil cover/ (15, 20, 30 cm)	在每株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴树上方盖一层 3 mm 厚的双层毛毡后再分别覆土 15、20、30 cm In each creeping cultivation of Tunisia Soft-seed pomegranate tree above a layer of 3 mm thick double felt and then covered with soil 15 cm, 20 cm, 30 cm respectively
单层毛毡+覆土 Single felt/1.5 mm +soil cover/ (15, 20, 30 cm)	在每株匍匐栽培的突尼斯软籽石榴树上方盖一层 1.5 mm 厚的单层毛毡后再分别覆土 15、20、30 cm In each creeping cultivation of Tunisia Soft-seed pomegranate tree above a layer of 1.5 mm thick single layer felt and then covered with soil 15 cm, 20 cm, 30 cm respectively

1.2.4 防寒越冬效果调查 (1) 调查对象及调查内容 2022 年 3 月 17—20 日对 12 连 21 种不同防寒越冬措施下的突尼斯软籽石榴苗进行大田防寒越冬效果调查, 每个处理随机抽样调查 3 株。调查内容包括受冻等级; 越冬埋土厚度; 发黑枝条长度、粗度; 发霉枝条长度、粗度。

(2) 冻害等级程度的制定通过选取突尼斯软籽石榴易于观察的冻害形态指标和生长指标, 并参照冯玉增等<sup>[11]</sup>制定的冻害等级标准, 设定 5 个冻害等级, 具体见表 2。

表 2 冻害分级标准

Table 2 The freeze injury classification standard

等级 Grade	植株表现 Plant traits
0 级 Grade 0	一年生之枝条无冻害, 枝条颜色正常, 树皮基本无开裂 The 1-year-old branches had no frost damage, the color of the branches was normal, and the bark was basically free of cracking
I 级 Grade I	轻度受冻, 一年生枝上部冻死 1/4, 树皮开裂颜色变黑, 小枝干枯 Mildly frozen, 1/4 of the upper part of the 1-year-old branch died, the bark cracked and the color became black, and the twigs dried up
II 级 Grade II	中度受冻, 一年生枝条上部冻死 1/2, 树皮开裂, 颜色变黑, 韧皮部、木质部变褐, 皮层凹陷 Moderately frozen, 1/2 of the upper part of the 1-year-old branch was frozen to death, the bark was cracked, the color became black, the phloem and xylem became brown, and the cortex was depressed
III 级 Grade III	重度受冻, 主枝上部及侧枝冻死 1/2, 枝条表现脱水缩干, 树干形成层变褐 Severely frozen, the upper part of the main branch and the lateral branch died of 1/2, the branches showed dehydration and shrinkage, and the trunk cambium became brown
IV 级 Grade IV	严重受冻, 地上部植株整株冻害死亡, 根颈部变褐, 皮层和木质层分离, 枝梢干枯, 整株死亡 It was severely frozen, and the whole plant above ground died of freezing injury. The root neck became brown, the cortex and wood layer were separated, the branches and shoots dried up, and the whole plant died.

通过计算冻害率和冻害指数评价突尼斯软籽石榴冻害情况。

冻害率/%=(调查受冻株数/调查总株数)×100。

冻害指数/%=[Σ(冻害等级×该级受冻株数)/(冻害最高级代表值×调查总株数)]×100。

抽条株率/%=抽条株数/调查株数×100。

### 1.3 冷棚不同防寒措施下突尼斯软籽石榴防寒越冬效果研究

1.3.1 试验试材 以 3 年生突尼斯软籽石榴扦插苗为试材。

1.3.2 试验处理和方法 在 20 连冷棚内设置 5 个防寒越冬覆盖处理、19 连设置 2 个防寒越冬覆盖处理(表 3)。

表 3 冷棚不同防寒越冬措施

Table 3 Different cold prevention measures

地点 Point	处理 Treatments	具体方法 The specific methods
20 连 20 Company	无覆盖（对照） No coverage (control)	在冷棚内栽培且无覆盖其他物理保护措施  Cultivated in a plastic greenhouse without covering other physical protection measures
	草帘+塑料膜 Straw curtain+plastic membrane	在冷棚内栽培的突尼斯软籽石榴树上方先铺一层草帘，然后再盖一层 EVA 塑料膜 The Tunisia Soft-seed pomegranate tree planted in a plastic greenhouse was covered with a straw curtain and then covered with an EVA plastic film
	双层毛毡+塑料膜 Double felt+plastic membrane	在冷棚内栽培的突尼斯软籽石榴树上方先盖一层 3mm 厚的双层毛毡，然后再盖一层 EVA 塑料膜 A layer of 3mm thick double-layer felt was covered on the top of Tunisia Soft-seed pomegranate tree cultivated in plastic greenhouse, and then a layer of EVA plastic film was covered.
	双层毛毡+拱棚 Double felt+arched shed	在冷棚内栽培的突尼斯软籽石榴树上方先用两根钢筋搭建一个钢筋架，再盖一层 3mm 厚的双层毛毡 The Tunisia Soft-seed pomegranate tree was planted in a plastic greenhouse. Above the pomegranate tree, two steel bars were used to build a steel frame, and then a 3 mm thick double felt was covered.
	草帘+拱棚 Straw curtain+arched shed	在冷棚内栽培的突尼斯软籽石榴树上方先用两根钢筋搭建一个钢筋架，再铺一层草帘 The Tunisia Soft-seed pomegranate tree was planted in a plastic greenhouse. Above the pomegranate tree, two steel bars were used to build a steel frame, and then a straw curtain was laid.
	棉被 Quilts	在冷棚内栽培的突尼斯软籽石榴树上方盖一层棉被 A quilt is draped over the Tunisia Soft-seed pomegranate tree planted in a plastic greenhouse
19 连 19 Company	覆土 Soil cover	在冷棚内栽培的突尼斯软籽石榴树上方覆土 Tunisia Soft-seed pomegranate trees planted in plastic greenhouses are covered with soil
	毛毡 Felt	在冷棚内栽培的突尼斯软籽石榴树上方盖一层 1.5mm 厚的单层毛毡 A layer of 1.5 mm thick single layer felt was covered on the top of Tunisia Soft -seed pomegranate tree cultivated in plastic greenhouse.

1.3.3 防寒越冬效果调查 2023 年 3 月 16—23 日对 20 连冷棚、19 连冷棚不同覆盖措施下 3 年生突尼斯软籽石榴苗进行防寒越冬效果的调查。调查内容及冻害等级同 1.2.4。

## 1.4 数据统计

采用 Microsoft Excel 2021 软件进行数据统计及图表制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 石榴越冬期气象数据统计

石榴越冬期（2021 年 11 月—2022 年 3 月 10 日）新疆生产建设兵团第三师五十一团每日气象低温如图 1，旬平均最低温、旬极端低温以及极端低温出现的日期如表 4。当地最低温度出现在 2021 年 12 月中旬至 2022 年 1 月上旬，12 月中旬平均最低温度值为-10.9 °C、12 月下旬平均最低温度值为-11.0 °C，次年 1 月上旬平均最低温度值为-10.9 °C，极端最低温度为 12 月 18 日的-14.0 °C，在此期间日最低温度普遍低于-10 °C。2021 年 12 月上旬至次年 1 月下旬，旬最低温度的平均值均低于-7 °C，其中 2021 年 12 月中下旬及 2022 年 1 月上中旬的旬最低温度的平均值均低于-9 °C，2021 年 12 月中旬极端最低气温为-14 °C、12 月下旬极端最低气温为-13 °C，表明石榴种植区种植的突尼斯软籽石榴已遭受严重冻害，需采取一定的防寒措施以保证突尼斯软籽石榴安全越冬。

表 4 观测期气象最低气温

Table4 The metreorological minimum temperature of during observation period °C

项目 Item	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.
---------	-----------	-----------	----------	----------	----------

	上旬 Early	中旬 Mid	下旬 Last	上旬 Early	中旬 Mid	下旬 Last	上旬 Earl y	中旬 Mid	下旬 Last	上旬 Earl y	中旬 Mid	下旬 Last	上旬 Earl y
旬平均最低温 Ten-day average Minimum temperature	-0.9	-3.3	-6.7	-8.0	-10.9	-11.0	-10.9	-9.5	-8.9	-6.9	-3.6	-2.1	1.6
旬极端低温 Decade of extreme Low temperature	-5.7	-4.6	-8.5	-11.9	-14.0	-13.0	-12.2	-11.5	-11.7	-9.0	-5.7	-5.2	-0.4
极端低温时间 Extreme low temperature	11月 8日 Nov. 8	11月 12日 Nov. 12	11月 24日 Nov. 24	12月 3日 Dec. 3	12月 18日 Dec. 18	12月 31日 Dec. 31	1月 3日 Jan. 3	1月 15日 Jan. 15	1月 25日 Jan. 25	2月 1日 Feb. 1	2月 12日 Feb. 12	2月 21日 Feb. 21	3月 5日 Mar. 5

注：气象数据来自欧洲中期天气预报中心。下同。

Note: Air temperature citing data from The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

The same below.

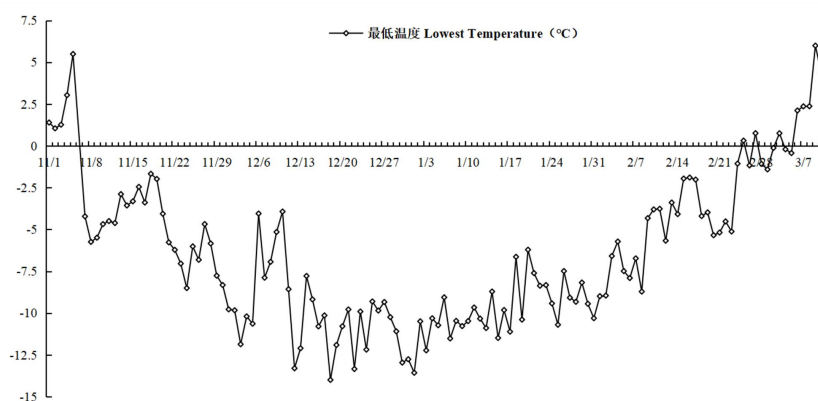


图1 2021年11月1日至2022年3月10日石榴种植区每日最低温度

Fig. 1 Minimum daily temperature in pomegranate growing areas, November 1, 2021 to March 10, 2022

## 2.2 大田不同防寒措施对突尼斯软籽石榴防寒效果的影响

2.2.1 大田不同防寒措施对突尼斯软籽石榴树体周围微环境的变化比较 如表5所示，相对石榴近地表，不同防寒措施均提高了突尼斯软籽石榴树体周围的日平均温度，但降低了日最高温度和日温度变幅，减少了温差，极大地增加了树体微环境空气的相对湿度，且相对湿度均接近100%。草帘覆土、草帘+钢筋+覆土、草帘+塑料薄膜+覆土这三种物理防寒措施在三种覆土厚度下均有效提高了树体周围微环境的日平均温度和日最低温度，增温效果较好，其中草帘+钢筋在三种覆土厚度下的日平均温度均在0℃以上，草帘+钢筋+覆土15cm的日平均温度最高（2.03℃），草帘+钢筋+覆土30cm的日最低温度最高（-3.20℃）、日温度变幅最小（19.4℃）。而双层毛毡+覆土15cm、单层毛毡+覆土20cm及防虫网+覆土15cm的日最低温度分别为-10.1℃、-10.6℃、-12.4℃，均低于石榴近地表的日最低温度（-9.5℃）。双层毛毡+覆土15cm下的微环境温度于2021年12月31日11:50—12:50（持续时间1h）≤-10℃；单层毛毡+覆土20cm下的微环境温度于2021年12月30日11:30—14:00（持续时间2.5h）、2021年12月31日10:00—14:30（持续时间4.5h）、2022

年1月1日12:30-13:30(持续时间1h)及2022年1月3日11:20-14:00(持续时间2h40min)均 $\leq -10$  °C;防虫网+覆土15cm下的微环境温度于2021年12月30日6:45-15:30(持续时间8h15min)、2021年12月31日5:24-15:30(持续时间约10h6min)、2022年1月1日8:00-15:30(持续时间7.5h)及2022年1月3日9:00-15:10(持续时间6h10min)均温 $\leq -10$  °C且日平均温度(-2.24 °C)最低接近于石榴近地表日平均温度(-2.61 °C),增温效果最差。随着覆土厚度的增大,日平均温度及日最低温度略微上升,保温性增加,但保温性增加幅度并不大。

表5 不同防寒措施树体周围微环境比较

Table5 Microenvironment in different winter protection methods

防寒措施 Winter protection methods	Winter	覆土厚度 Cover thickness/cm	日最高温度 Daily maximum temperature/°C	日平均温度 Daily Mean temperature/°C	日最低温度 Daily minimum temperature/°C	日温度变幅 Daily temperature fluctuation/°C	平均湿度 Average humidity/%
石榴区近地表 Pomegranate area near the surface		0	28.8	-2.61	-9.50	38.50	45.09
草帘+覆土 Straw curtain+soil cover		15	14.50	0.13	-5.80	20.30	98.07
		20	15.00	-0.21	-5.80	20.80	99.90
		30	19.00	-0.67	-5.70	24.70	99.89
草帘+钢筋+覆土 Straw curtain+rebar holder+soil cover		15	23.30	2.03	-6.90	30.20	98.72
		20	18.50	0.64	-5.90	24.40	99.92
		30	16.20	1.84	-3.20	19.40	98.75
草帘+塑料薄膜+覆土 straw curtain+plastic membrane+soil cover		15	17.30	-1.28	-6.30	23.60	98.56
		20	13.20	-0.35	-4.80	18.00	96.03
		30	20.10	-0.52	-5.20	25.30	99.02
扣框+覆土 Plastic basket+soil cover		15	17.80	-0.57	-8.80	26.60	94.06
		20	16.00	-0.64	-7.20	23.20	99.43
		30	15.50	-0.38	-7.40	22.90	99.86
防虫网+覆土 Insect net+soil cover		15	19.70	-2.24	-12.40	32.10	99.99
		20	22.70	-0.30	-9.10	31.80	99.66
		30	22.10	1.01	-8.90	31.00	99.37
双层毛毡+覆土 Double felt+soil cover		15	21.30	-0.93	-10.10	31.40	99.90
		20	18.20	-1.20	-8.80	27.00	99.99
		30	16.80	-1.38	-8.80	25.60	99.99
单层毛毡+覆土 Single felt+soil cover		15	17.00	-0.95	-7.40	24.40	99.90
		20	21.40	-0.71	-10.60	32.00	99.86
		30	16.80	-1.77	-9.30	26.10	99.99

2.2.2 大田不同防寒措施对突尼斯软籽石榴树体周围微环境温度日变化 比较在越冬期极端低温天气(2021年12月31日),突尼斯软籽石榴在不同防寒措施下的树体微环境温度日变化情况。石榴区近地表温度于0:00-8:00不断缓慢下降,于上午8时降至一天中的最低温度-16.56 °C,接着由于日出后太阳辐射的作用迅速升温,于下午16时到达一天中的最高温度3.07 °C,接着又迅速降温,昼夜温差大。而各种防寒处理下的树体微环境温度变幅基本相同,均于0:00-12:00缓慢下降,后缓慢升温,一天结束时温度最高,不仅有效提高了树体微域的温度,且降低了昼夜温差,覆土厚度越厚,日温度变化幅度越平缓,不同覆盖材料下树体微环境之间的温差也越小,30cm覆土厚度下不同防寒措施树体微环境的温



度均保持在-10 °C以上，由此可见通过覆盖埋土防寒层，可以有效减少树体微环境温度随时间变化的波动，从而提高微域温度并减小昼夜温差。草帘+覆土、草帘+钢筋+覆土、草帘+塑料薄膜+覆土这三种物理防寒措施在三种覆土厚度下均有显著的保温效果。防虫网+覆土、单层毛毡+覆土和双层毛毡+覆土相比其他防寒措施，日温度变化幅度较大，温度回升快，下降也快，保温效果较差。

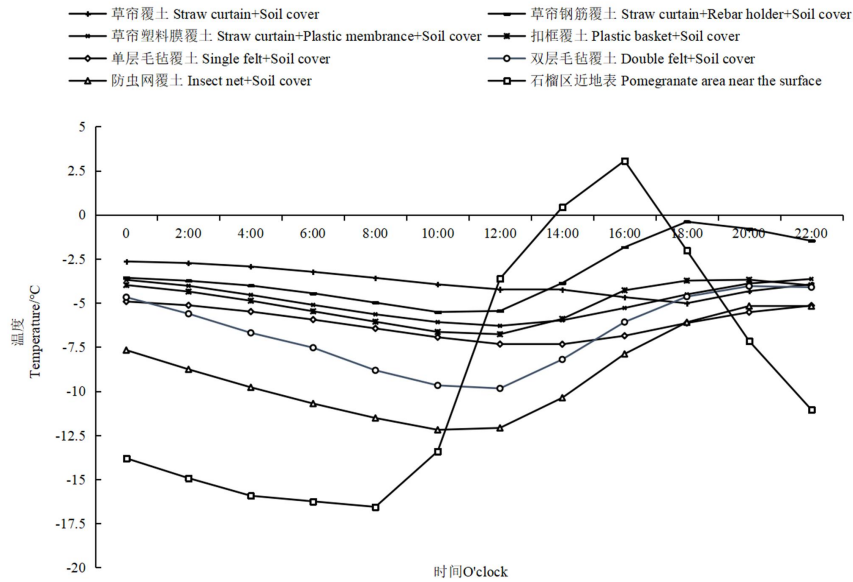


图 2 15 cm 覆土厚度下不同防寒措施树体微环境温度日变化

Fig. 2 Diurnal variation of tree microenvironment temperature under different cold protection measures under 15 cm soil thickness

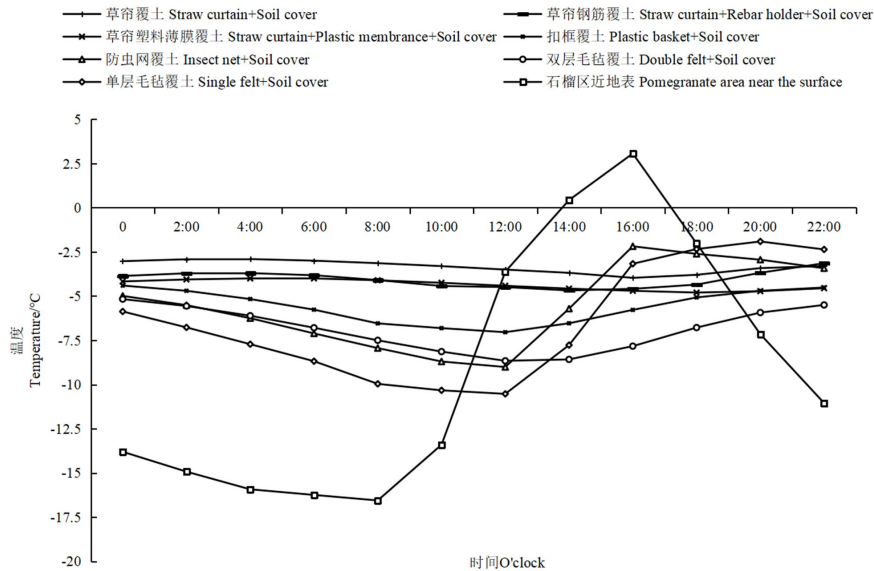


图 3 20 cm 覆土厚度下不同防寒措施树体微环境温度日变化

Fig. 3 Diurnal variation of tree microenvironment temperature under different cold protection measures under 20 cm soil thickness

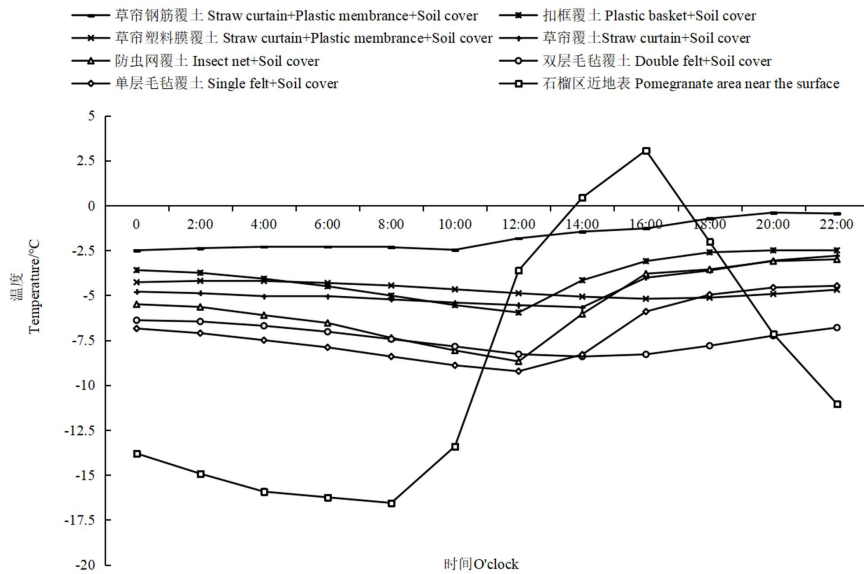


图 4 30 cm 覆土厚度下不同防寒措施树体微环境温度日变化

Fig. 4 Diurnal variation of tree microenvironment temperature under different cold protection measures under 30 cm soil thickness

2.2.3 大田不同防寒越冬措施下突尼斯软籽石榴冻害情况调查 12 连 21 种不同覆盖材料下突尼斯软籽石榴 1 年生树苗的防寒越冬效果见表 6。1 年生突尼斯软籽石榴树体冻害较重，多数冻害发生在 IV 级。保护效果最好的物理保护措施为草帘+塑料膜+覆土 15 cm 冻害指数 8.3，冻害率 66.7%。保护效果较好的物理保护措施为草帘+覆土 30 cm 冻害指数 16.7，冻害率 66.7%；草帘+塑料膜+覆土 30 cm 冻害指数 33.3，冻害率 66.7%。冻害程度与树龄有关，在同为覆土栽培的条件下，20 连 3 年生突尼斯软籽石榴苗冻害指数 62.5，冻害率 62.5%，低于 20 连 2 年生突尼斯软籽石榴苗的冻害指数和冻害率（87.9，100%），表现为树龄越小抗冻能力越弱，冻害程度越严重。笔者在本次冻害调查中表明，突尼斯软籽石榴受冻部位主要是根颈部和枝条。石榴根颈处于根系和主干之间，是最晚进入休眠的，又位于地上，因此其耐寒能力较弱，一旦气温突然变化，易发生冻害。在防虫网+覆土 15 cm 防寒措施下，突尼斯软籽石榴发生 IV 级冻害，根颈处皮层发生冻裂呈褐色。突尼斯软籽石榴在遭受严重冻害后，其枝条因失水而抽干，导致皮层和木质部出现分离现象，木质部形成层呈深褐色。此次冻害调查中，突尼斯软籽石榴 1 年生树苗无枝条发黑现象，18 株石榴苗枝条发霉（表 7），其中在毛毡覆盖方式下，因其透气性较差，枝条发霉情况最为严重，由此可见单层毛毡和双层毛毡的物理防冻覆盖保护措施相对其他覆盖方式较易引发突尼斯软籽石榴苗枝条发霉，且覆盖土层越厚，枝条发霉现象越显著。

表 6 大田不同防寒措施下突尼斯软籽石榴树体受冻情况调查

Table 6 Investigation of freezing of Tunisia Soft-seed pomegranate trees under different cold protection measures in the field

覆盖方式 Coverage methods	覆土厚度 Cover thickness /cm	调查数 Number	不同冻害级别受冻数 Frozen number/plant at different frost levels/plant	冻害指数 Frostbite index	冻害率 Frost damage rate/%
--------------------------	--------------------------------	---------------	--	-------------------------	----------------------------

		surveys /plant	0级 Grade 0	I级 Grade I	II级 Grade II	III级 Grade III	IV级 Grade IV		
扣框+覆土 Plastic basket+soil cover	15	3	0	0	1	1	1	75.0	100.0
	20	3	0	0	0	1	2	91.7	100.0
	30	3	0	0	1	2	0	66.7	100.0
防虫网+覆土 Insect net+soil cover	15	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
	20	3	0	0	1	2	0	66.7	100.0
	30	3	0	0	0	3	0	75.0	100.0
单层毛毡+覆土 Single felt+soil cover	15	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
	20	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
	30	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
双层毛毡+覆土 Double felt+soil cover	15	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
	20	3	1	0	0	1	1	58.3	66.7
	30	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
草帘+覆土 Straw curtain+plastic membrane+soil cover	15	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
	20	3	1	0	0	2	0	50.0	66.7
	30	3	1	2	0	0	0	16.7	66.7
草帘+钢筋+覆土 Straw curtain+rebar holder+soil cover	15	3	0	1	0	0	2	66.7	100.0
	20	3	0	2	0	0	1	50.0	100.0
	30	3	0	2	1	0	0	33.3	100.0
草帘+塑料膜+覆土 Straw curtain+plastic membrane+soil cover	15	3	2	1	0	0	0	8.3	33.3
	20	3	1	0	1	1	0	41.7	66.7
	30	3	1	1	0	1	0	33.3	66.7

表 7 突尼斯软籽石榴树枝条发霉、发黑调查

Table 7 Investigation on mouldy and blackened branches of Tunisia Soft-seed pomegranate

覆盖方式 Coverage methods	覆土厚度 Cover thickness/cm	发霉枝条的长 度 Length of Moldy branches/cm	发霉枝条的粗 度 Roughness of moldy branches/mm	发黑枝条的 长度和粗度 Length of blackened branches length/cm and roughness of blackened branches/mm
扣框+覆土 Plastic basket+soil cover	15 cm	24	9	-
	20 cm	-	-	-
	30 cm	-	-	-
防虫网+覆土 Insect net+soil cover	15 cm	-	-	-
	20 cm	50	8	-
	30 cm	-	-	-
单层毛毡+覆土 Single felt+soil cover	20 cm	43	12	-
	30 cm	28	8	-
		65	15	-
		23	10	-
		45	14	-
		40	12	-
双层毛毡+覆土 double felt+soil cover	15 cm	44	11	-
	20 cm	18	6	-
		17	8	-
		21	7	-
		20	10	-
		24	8	-

注：“-”表示突尼斯软籽石榴苗未发生枝条发霉或发黑的现象。

Note:“-”indicates that the 'Tunisian soft seed' pomegranate seedlings have not had moldy or black branches.

### 2.3 冷棚不同防寒措施对突尼斯软籽石榴防寒效果的影响

冷棚内 7 种不同覆盖方式下 3 年生突尼斯软籽石榴苗树体受冻情况见表 8，对照组即种植在冷棚内但无任何物理覆盖的突尼斯软籽石榴苗全部受冻且冻害最严重，均为 IV 级冻害（严重受冻）。保护效果最好的物理保护措施是草帘+拱棚，石榴苗未受冻，而在其他物理保护措施下石榴苗均受冻害，保护效果较好的物理保护措施为毛毡（冻害指数 11.0）和覆土（冻害指数 17.3）。

表 8 冷棚不同防寒越冬措施下突尼斯软籽石榴树体受冻情况调查

**Table 8 Investigation on freezing of Tunisia Soft-seed pomegranate trees under different measures of cold overwintering in cold shelter**

位置 Placement	树龄 Age trees/year	覆盖方式 of Coverage methods	调查数/株 Number of surveys /plant	不同冻害级别受冻数 Frozen number at different frost levels/plant					冻害指数 Frostbite index	冻害率 Frost damage rate/%
				0 级 Grade 0	I 级 Grade I	II 级 Grade II	III 级 Grade III	IV 级 Grade IV		
20 连冷棚 20 company plastic sheds	3	无覆盖（对照） No coverage (control)	3	0	0	0	0	3	100.0	100.0
		草帘+塑料膜 Straw curtain+plastic membrane	6	0	3	3	0	0	37.5	100.0
		双层毛毡+塑料膜 Double felt+plastic membrane	5	0	0	3	2	0	60.0	100.0
		双层毛毡+拱棚 Double felt+arched shed	3	0	2	1	0	0	33.3	100.0
		草帘+拱棚 Straw curtain+arched shed	3	3	0	0	0	0	0.0	0.0
		棉被 Quilts	3	0	0	3	0	0	50.0	100.0
19 连冷棚 19 company plastic sheds		覆土 Soil cover	26	18	7	1	3	0	17.3	42.3
		毛毡 Felt	25	16	7	2	0	0	11.0	36.0

### 3 讨论

#### 3.1 突尼斯软籽石榴冻害与低温的关系

温度是影响石榴冻害发生的主要因素，在冬季气温正常降低时，冻害的发生与绝对低温、低温持续时间、降温幅度及短时间降温强度有关。冯玉增等<sup>[11]</sup>认为，石榴冻害的致害低温是在冬季正常降温条件下，当旬最低气温平均值低于-7.0 °C、极端最低气温低于-13.0 °C时发生冻害；当旬最低气温平均值低在-9.0 °C以下，极端最低气温在-15.0 °C以下出现毁灭性冻害。而当寒潮提前来临，出现非正常降温时，旬最低气温平均值为-1.0 °C，旬极端最低气温为-9.0 °C，同样会对石榴造成冻害。胡园春等<sup>[12]</sup>认为，在石榴生长过程中，温度是影响其生长的重要环境条件，在冬季正常降温条件下，若最低温平均值低于-7 °C，极端最低气温低于-17 °C，或连续 5 d 最低气温低于-13 °C，将导致露地栽培的石榴大面积冻死。根据王宇翔等<sup>[13]</sup>研究，软籽石榴冻害的农业气象指标是非嫁接苗在温度低于-9 °C时遭受的冻害程度较为严重，而在-13 °C时遭受的冻害程度更为严重；嫁接苗在-11 °C时，出现了轻微的冻害现象。

2021年石榴越冬期为2021年11月1日至2022年3月10日,石榴种植区2021年11月8日至2022年2月25日,日最低气温均低于0℃,12月中旬至1月中旬日最低气温普遍低于-10℃,而温度低于-10℃超过12h突尼斯软籽石榴即发生冻害,12月18日出现极端低温-14℃的情况。2021年12月上旬至次年1月下旬,旬最低温度的平均值均低于-7℃,其中2021年12月中下旬及2022年1月上中旬的旬最低温度的平均值均低于-9℃,2021年12月中旬极端最低气温为-14℃、12月下旬极端最低气温为-13℃,可见石榴种植区的突尼斯软籽石榴遭受了严重冻害。

### 3.2 不同物理防寒措施对石榴树体微环境的影响

在新疆,冬季气候寒冷,最低温度低且持续时间长,而在南疆极度干旱的气候条件下,低于-14℃即有冻害现象的发生,必须采用埋土的方式才能安全越冬。李敏<sup>[14]</sup>研究发现将石榴树体地上部全部埋入土中是最有效的物理防护保护措施。根据2022年3月17—20日的冻害调查,石榴种植区(冻害指数97.0)的突尼斯软籽石榴经匍匐栽培埋土越冬后,冻害情况仍非常严重,这是因为新疆南疆地区冬季气温低,而新疆土壤的主要成分是砂粒,结构较疏松,含水量较少,干燥速度快,热容量小,昼夜温度变幅大,故采取传统仅埋土防寒的方式对幼龄的突尼斯软籽石榴树苗并不能起到良好的防寒效果,需采取其他物理保护措施与覆土相结合的方式更好的避免石榴受冻。

12连不同防寒措施下突尼斯软籽石榴防寒越冬试验的研究结果及2022年3月17—20日大田越冬情况的调查表明,草帘+钢筋+覆土、草帘+塑料薄膜+覆土是试验中效果较好的物理保护措施,且草帘+塑料膜+覆土15cm防寒措施下覆盖的突尼斯软籽石榴整体冻害最轻(冻害指数8.3%)。扣框+覆土中等,单毛毡+覆土、双毛毡+覆土以及防虫网+覆土这三种防寒措施的保护效果较差。埋土使土层和大气之间形成隔离层,减弱了太阳辐射,减少了进入土层中的热量,降低了土层下石榴树体微环境的日最高温度,保持了内部气温的相对稳定性,而草帘具有疏松多孔的结构,稻秆中存有空气,稻秆之间的间隙也充满空气,透气性比毛毡和塑料薄膜强,导热系数小,因此草帘的保温能力最强,在草帘上覆土极大地提升了石榴树体微环境的日最低温度和日平均温度,降低了日温度变幅,且随覆土厚度的增加,冻害指数和冻害率均下降。在钢筋架上覆盖草帘,形成了一个类似于小型温室大棚的结构,形成具有一定空间的相对稳定的局部小气候。新疆冬季低温多雪,在草帘外覆塑料薄膜,可以增强防水及保温性。毛毡的结构相对草帘密实、空隙较少,保温效果不及草帘,毛毡覆盖对土壤温度的影响不是增温而是起温度缓冲作用并将土壤温度保持在一个相对平稳的区间内<sup>[15]</sup>,但易引起软籽石榴枝条发霉,就材料价格而言,毛毡的价格略高于草帘,但其效果却不及草帘。防虫网非常薄,保温效果相对甚微,但可以埋土和撤土时减少对软籽石榴枝蔓的伤害<sup>[16]</sup>。试验中的所有物理防寒措施均极大地提高了石榴树体周围微环境的空气湿度和土壤湿度,不仅增强了果树抗冻能力还可预防冬季与早春干旱,而且还能因为土壤含水量的升高,利于根系吸收水分与养料<sup>[17]</sup>。

新疆冬季低温多雪，冷棚起到了类似挡风墙与防护林的保护作用，还可使树苗免受雨雪的侵蚀，与露地栽培相比可降低风速，提高空气温度及湿度，提高土壤温度，从而减轻冻害的发生。冷棚虽然有一定保温性，但是棚内温度随外界气温上升而上升，随外界气温降低而降低，昼夜温差大，根据 2023 年 3 月 16—23 日突尼斯软籽石榴冻害情况调查，对照即在冷棚内无任何覆盖措施的情况下，突尼斯软籽石榴均遭受了严重冻害，而草帘+小拱棚为最有效的物理保护措施，在钢筋架上覆盖草帘，有效减少热量散失，此物理保护措施相当于多层覆盖保温栽培，能够有效保温增温，起到良好的防冻效果，保证了突尼斯软籽石榴安全越冬，草帘相对毛毡透气性更好，导热系数更小，保温性更好，因此在小拱棚上覆盖草帘比覆盖毛毡具有更好的抗寒效果。在冷棚内对突尼斯软籽石榴苗进行埋土越冬是较为有效的物理保护措施，埋土给突尼斯软籽石榴苗创造密闭的土壤小气候，起到蓄水保墒、增加土温、缩短土壤冻结期、促进软籽石榴苗根系早期活动、吸收更多水分、排除冻旱不利影响等作用。

突尼斯软籽石榴在越冬过程中应采取必要措施进行防护，没有防护措施或者防护能力不够强的情况下，遇到低温会给突尼斯软籽石榴幼树带来危害，探讨不同物理防寒措施对于突尼斯软籽石榴防寒效果产生的影响在实践中有重要意义。

#### 4 结论

在大田条件下草帘+覆土、草帘+钢筋+覆土、草帘+塑料薄膜+覆土这三种物理防寒措施在三种覆土厚度下均有显著的保温效果，保护效果最好的物理保护措施为草帘+塑料膜+覆土 15 cm。在冷棚内无任何覆盖措施的情况下，突尼斯软籽石榴均遭受了严重冻旱，而在冷棚内搭建小拱棚并在其上覆盖草帘是最为有效的防止冻害发生的物理保护措施。

#### 参考文献 References:

- [1] 陈利娜, 敬丹, 唐丽颖, 曹尚银. 新中国果树科学研究 70 年: 石榴[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1389-1398.
- CHEN Lina, JING Dan, TANG Liying, CAO Shangyin. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Pomegranate[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1389-1398.
- [2] 刘威, 刘博, 蔡卫佳, 王昊, 陈芬, 谭军. 国内软籽石榴栽培品种及研究进展[J]. 北方农业学报, 2020, 48(4): 75-82.
- LIU Wei, LIU Bo, CAI Weijia, WANG Hao, CHEN Fen, TAN Jun. Research progress of cultivars of soft-seed pomegranate in domestic[J]. Journal of Northern Agriculture, 2020, 48(4): 75-82.
- [3] 侯乐峰, 郭祁, 郝兆祥, 罗华. 我国软籽石榴生产历史、现状及其展望[J]. 北方园艺, 2017(20): 196-199.
- HOU Lefeng, GUO Qi, HAO Zhaoxiang, LUO Hua. History, present situation and prospects of soft-seed pomegranate in China[J]. Northern Horticulture, 2017(20): 196-199.
- [4] 侯予红. 新疆地区石榴研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(12): 3600-3601.
- HOU Yuhong. Research progress of pomegranate in Xinjiang[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(12): 3600-3601.
- [5] 郝庆, 吴名武, 陈先荣. 新疆石榴栽培与内地的差异[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(S1): 41-44.

- HAO Qing, WU Mingwu, CHEN Xianrong. The difference of Pomegranate cultivation between Xinjiang and the interior of China[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2005, 42(S1): 41-44.
- [6] 郝庆, 王斐, 袁玉文. 石榴的匍匐栽培[J]. 北方果树, 2005(3): 20-21.
- HAO Qing, WANG Fei, YUAN Yuwen. Creeping Cultivation of Pomegranate[J]. Northern Fruits, 2005(3): 20-21.
- [7] 冯一峰, 王艳, 杨植, 林敏娟, 吴翠云. 不同防寒措施对设施软籽石榴越冬性的影响[J]. 北方园艺, 2021(10): 53-58.
- FENG Yifeng, WANG Yan, YANG Zhi, LIN Minjuan, WU Cuiyun. Effects of different cold prevention measures on cold hardiness of soft seed pomegranate[J]. Northern Horticulture, 2021(10): 53-58.
- [8] 唐海霞, 史作亚, 王魏, 冯立娟, 王中堂, 尹燕雷. 石榴设施栽培防寒效果初报[J]. 山东农业科学, 2019, 51(8): 46-49.
- TANG Haixia, SHI Zuoya, WANG Wei, FENG Lijuan, WANG Zhongtang, YIN Yanlei. Preliminary report on cold-proofing effects of facilities cultivation for pomegranate[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(8): 46-49.
- [9] 柴丽娜, 刘程宏, 郑华魁. 郑州地区突尼斯软籽石榴防寒栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2018(12): 307-309.
- CHAI Lina, LIU Chenghong, ZHENG Huakui. Cold-resistant cultivation techniques of Tunisia Soft-seed pomegranate in Zhengzhou area[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2018(12): 307-309.
- [10] 宋娟, 胡晓静, 唐诚, 刁明, 柴亚倩, 关思慧, 高子渊. 防寒处理提升南疆突尼斯软籽石榴微域温度效应的研究[J]. 果树学报, 2023, 40(7): 1399-1410.
- SONG Juan, HU Xiaojing, TANG Cheng, DIAO Ming, CHAI Yaqian, GUAN Sihui, GAO Ziyuan. Temperature increasing effect of cold-prevention treatments in micro-environment of Tunisian soft seed pomegranate trees in South Xinjiang[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(7): 1399-1410.
- [11] 冯玉增, 李战鸿, 赵艳丽, 康宇静, 李宗圈. 石榴冻害与低温程度的关系[J]. 河北果树, 2003(1): 14-17.
- FENG Yuzeng, LI Zhanhong, ZHAO Yanli, KANG Yujing, LI ZongJuan. Relationship between freezing injury and low temperature degree of pomegranate[J]. Hebei Fruits, 2003(1): 14-17.
- [12] 胡园春, 杨列祥, 刘建清, 巩伦桥, 魏延峰, 田忠明, 杭洪民. 气象因子对石榴树冻害影响的初报[J]. 林业实用技术, 2013(2): 38-40.
- HU Yuanchun, YANG Liexiang, LIU Jianqing, GONG Lunqiao, WEI Yanfeng, TIAN Zhongming, HANG Hongmin. Preliminary report on the effects of meteorological factors on freezing injury of pomegranate trees[J]. Forestry practical technology, 2013(2): 38-40.
- [13] 王宇翔, 高小峰, 雷梦瑶, 陶爱丽, 李爽, 李玉英. 南阳地区发展软籽石榴的冻害风险分析[J]. 南阳师范学院学报, 2022, 21(3): 45-50.
- WANG Yuxiang, GAO Xiaofeng, LEI Mengyao, TAO Aili, LI Shuang, LI Yuying. Risk analysis of freezing injury in developing soft seed pomegranate in Nanyang area[J]. Journal of Nanyang Normal University, 2022, 21(3): 45-50.
- [14] 李敏. 突尼斯软籽石榴冻旱的发生与预防[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- LI Min. The happening and prevention of the cold and drought in Tunisia soft seeds pomegranate[D].

Taian: Shandong Agricultural University, 2013.

[15] 王秀梅, 张云, 朱甜甜, 刘康. 不同防寒措施对伊犁露地栽培甜樱桃生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2018(15): 38-44.

WANG Xiumei, ZHANG Yun, ZHU Tiantian, LIU Kang. Effects of different cold-proof measures on soluble protein and protective enzyme activities of sweet cherry grown in open field in Ili[J]. Northern Horticulture, 2018(15): 38-44.

[16] 马凯, 王继勋, 卢春生, 闫鹏, 李世强, 王斐, 樊丁宇. 不同防寒措施对南疆果树越冬温度指标的影响[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(2): 230-236.

MA Kai, WANG Jixun, LU Chunsheng, YAN Peng, LI Shiqiang, WANG Fei, FAN Dingyu. Effect of different cold-proof measures on temperature indexes of fruit trees overwintering in southern Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(2): 230-236.

[17] 乌凤章, 王贺新, 韩慧, 郭峰. 防寒措施对越橘越冬微环境和越冬性的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(2): 278-282.

WU Fengzhang, WANG Hexin, HAN Hui, GUO Feng. Effect of winter protection methods on the microenvironment and winter hardiness of blueberry[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(2): 278-282.