

洛浦县管花肉苁蓉种植园冬季土壤温度特征及防冻措施

陈启民^{1,2},巴哈提古丽·木沙巴依²,褚奋飞²,桑巴叶²,段文标^{1*}

(1. 东北林业大学,黑龙江 哈尔滨 150040;2. 新疆林科院造林治沙研究所,新疆 乌鲁木齐 830063)

摘 要:为解决和田地区管花肉苁蓉种植中冻害频发的问题,研究了种植园肉苁蓉的接种深度和肉质茎分布、气温与土壤温度变化规律以及 5 种防冻措施和对照的土壤温度变化特征。结果表明,在研究前期(12 月 2 日)50 cm 以下土壤温度、中期(1 月 7 日)30 cm 以下土壤温度、后期(2 月 23 日)40 cm 以下土壤温度不随每日的气温变化而发生显著变化,越冬肉苁蓉肉质茎宜分布于 50 cm 以下,最高不浅于 30 cm;种植园土壤最大冻土深度可达 70 cm 以下,肉苁蓉接种深度应在 70 cm 以下,这样不仅可以避免冻害,而且有利于其大型个体的生长;4 种覆盖处理的保温效果为处理 2>处理 4>处理 1>处理 3,处理 2 和处理 4 与对照(CK)的土壤平均温度差异显著,有很好的保温效果,种子园越冬可将处理 2 和处理 4 组合使用,并在 2 月初掀帘以利于地温升高;冬灌由于大幅降低土壤平均温度(2.07℃)及延长冻土期(21 d),不利于肉苁蓉越冬;为避免与采收冲突,和田地区肉苁蓉地表覆盖防冻措施宜在 11 月下旬进行,最晚不宜迟于 12 月上旬。

关键词:管花肉苁蓉;土壤温度;防冻措施

中图分类号:S716.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2019)04-0122-09

Characteristics of Soil Temperature in Winter and Anti-freezing Measures in *Cistanche tubulosa* Plantation in Luopu County, Xinjiang

CHEN Qi-min^{1,2}, Bahatiguli Musabayi², CHU Fen-fei², SANG Ba-ye², DUAN Wen-biao^{1*}

(1. Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China;

2. Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830063, Xinjiang, China)

Abstract: In order to solve the problems of frost damage occurring frequently in *Cistanche tubulosa* plantation in Hotan region, Xinjiang, relative issues were studied, such as the inoculation depth, distribution of fleshy stems, variation rules of atmospheric and soil temperatures, variation characteristics of soil temperature under 5 anti-freezing measures. The results showed that temperatures of the soils below 50 cm at the early growth stage (December 2), below 30 cm at medium stage (January 7), and below 40 cm at late stage (February 23) did not change significantly with the change of daily temperature. The preference distribution depth of overwintering fleshy stems was more than 50 cm, and the minimum soil depth was 30 cm. The maximum depth of frozen soil was more than 70 cm, indicating that the inoculation depth of *C. tubulosa* should be below 70 cm, not only to avoid freezing injury, but also to be conducive to the growth of the large-scale individual stems. The heat preservation effect of four mulching treatments was in the order of treatment 2>treatment 4>treatment 1>treatment 3, in which the heat preservation effect of treatment 2 and 4 had significant difference with the control. The combination of treatment 2 and 4 was recommended in the seed orchard, while the grass curtain was removed in early February to facilitate the soil temperature. The winter irrigation could significantly reduce the average soil temperature (2.07℃) and prolonge

收稿日期:2018-08-02 修回日期:2019-03-01

基金项目:公益性科研院所基本科研业务费专项“和田管花肉苁蓉冻害防控技术研发”。

作者简介:陈启民,男,硕士,副研究员,研究方向:荒漠化防治、防护林。E-mail: xjchenqimin@126.com

* 通信作者:段文标,男,教授,博士生导师,研究方向:森林与气象、水土保持和荒漠化防治。E-mail: dwbiao88@163.com

frozen period (21 days), which was not favorable for the cultivation of *C. tubulosa*. To avoid the conflict with the harvest, the mulching measures to prevention and control the frost damage should be applied during the last ten days of November to the early ten days of December.

Key words: *Cistanche tubulosa*; soil temperature; anti-freezing measure

管花肉苁蓉(*Cistanche tubulosa*)属列当科多年生寄生草本植物,被誉为“沙漠人参”,主要分布在新疆南疆塔里木盆地周边,适宜新疆、甘肃、内蒙古等省人工种植^[1]。新疆策勒县于 20 世纪 90 年代初开始人工栽培,并获得成功^[2]。因为其药效好、价值高,新疆和田地区人工种植规模迅速扩大。至 2008 年,累计人工定植桉柳(*Tamarix chinensis*) $1.67\times 10^4\text{ hm}^2$,接种管花肉苁蓉 $1.12\times 10^4\text{ hm}^2$ ^[3]。在取得可观经济收益的同时,也加速了防沙治沙工程建设和生态环境的改善。2008 年以来,和田地区连续发生冬季低温,致使管花肉苁蓉种植园年年受害,平均损失率达 50%~60%,严重年份人工栽培的管花肉苁蓉无一幸免,几乎绝收^[4]。经统计,和田地区 2008 年低温致使全地区管花肉苁蓉发生冻害 $0.67\times 10^4\text{ hm}^2$,减产 $0.8\times 10^6\text{ kg}$,损失上千万元^[3];肉苁蓉受冻后,在原地腐烂并污染土壤,对后期的接种影响极大,致使再次接种成活率降低 40%~50%,极大地降低了农户的种植热情,种植户将生态效益极佳的桉柳种植转为林果种植或农业生产,使原有的林地生态功能下降,绿洲生态环境恶化。

现代肉苁蓉属植物的研究多集中在东亚和中亚地区,国内外学者主要针对其化学成分组成、化合物分离以及药理作用开展工作^[5-8],栽培方面主要研究了接种方案、寄主管理等^[9-10],仅有少数学者根据生产经验提出了管花肉苁蓉减轻冻害发生的接种深度,或通过访问调查评价了管花肉苁蓉的产地适应性^[3-4,11],对管花肉苁蓉冻害的成因和防治尚未进行过针对性的研究;而在土壤热量分布和传导方面,虽然很多工作对土壤温度进行了分层研究,但大多集中在 0~30 cm 的浅层土壤,研究时期也多在春、夏两季^[12-15],对深层土壤冬季温度垂直分布格局和变化规律研究较少,尤其是针对管花肉苁蓉种植越冬过程中深层土壤温度分布、变化规律以及冻害发生和防治的研究尚未见报道。

本研究在洛浦县肉苁蓉种植园进行气温和 0~80 cm 土壤温度分层监测,并施以草帘长 10 m、宽 1.5 m 和长 10 m、宽 3.0 m,塑料膜长 10 m、宽 1.5 m 和长 10 m、宽 3.0 m 4 种覆盖以及灌溉量 $30\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的冬灌处理措施,研究肉苁蓉种植园冬季土壤温度、最大冻土深度、土壤温度与气温的响应特征及人工措施的增温效应,以期探索洛浦县管花肉苁蓉

合理的接种深度和防止冻害的人为干预措施,为新疆和田地区管花肉苁蓉产业健康发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于和田地区洛浦县拜什托格拉克乡典型受冻害桉柳-管花肉苁蓉种植园,坐标为 $37^{\circ}01'37.4''\text{N}$, $80^{\circ}23'21.5''\text{E}$,海拔 $1\,345\sim 1\,350\text{ m}$ 。洛浦县属暖温带干旱荒漠气候,四季分明,春长且多风沙,夏热且干燥,秋季降温快,冬季雪少、严寒且光照不足。年平均日照 $2\,653.7\text{ h}$ 。年均气温 $7.8\sim 12.0^{\circ}\text{C}$,年均最低和最高气温分别为 -26°C (1 月)和 40.1°C (7 月),1 月份平均气温 -6.1°C ,7 月份平均气温 $24\sim 26^{\circ}\text{C}$ 。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的年平均积温 $4\,576.7^{\circ}\text{C}$,年均无霜期 217 d 。年均降水量 25.2 mm ,年均蒸发量 $2\,226.2\text{ mm}$ 。全年盛行西北风,年均风速 2.2 m/s ,春季 8 级以上大风年均 4.4 d ^[16]。洛浦县绿洲最大冻土深度 0.67 m 。

1.2 试验材料

供试种植园为 5 a 的垦荒地,2009 年春季栽植桉柳,南北走向种植,株行距 $1\times 3\text{ m}$,无防护林保护。2010 年 4 月采用机械开沟、人工撒种的方法首次接种,接种位于每行桉柳西侧,开沟深度 50 cm ,以后每年肉苁蓉采收后补撒种子。灌溉采用滴灌和沟灌结合,一个生长季中使用滴灌灌溉 $2\sim 3$ 次,在夏季洪水充沛期,利用富余洪水引洪沟灌 $1\sim 2$ 次。试验观测期桉柳高 $3.48(\pm 0.67)\text{ m}$,东西冠幅 $1.83(\pm 0.45)\text{ m}$,南北冠幅 $2.14(\pm 0.65)\text{ m}$,地径 $3.44(\pm 0.56)\text{ cm}$,土壤含水量 $3.38(\pm 2.55)\%$ 。试验土壤温度由 MicroLite-U 盘型温度记录仪自动监测,测量范围 $-40\sim 80^{\circ}\text{C}$,精度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$;气温由 EL-USB-2.0 型温湿度记录仪自动记录,测量范围 $-35\sim 80^{\circ}\text{C}$,精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$;覆盖防冻试验使用稻草制草帘(宽 1.5 m 、长 10 m 、厚 10 cm)和塑料膜(宽 1.5 m 、厚 0.2 mm)等材料。

1.3 试验设计

1.3.1 肉苁蓉肉质茎分布研究 于 11 月中旬在试验种植园内调查肉苁蓉肉质茎长度及肉质茎顶端距地面的距离,在相距 100 m 外的不同栽培地块重复 3 次,每个重复调查 20 株单株桉柳已接种成活的肉苁蓉生长情况,分析接种深度和肉苁蓉肉质茎秋季

分布情况。

1.3.2 种植园冬季气温和土壤温度监测 在距地面 1.5 m 高度,架设温湿度记录仪,由小型简易气候箱保护,每 0.5 h 记录 1 次气温和湿度;在 2 行桤柳之间(中部)挖土壤剖面,深度 1.0 m。于剖面 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8 m 等 8 个深度水平各挖 1 个能容纳温度记录仪的小洞,将 U 盘温度记录仪设置每 0.5 h 记录 1 次温度,经包膜保护后塞入小洞,回填虚土并踏实。监测期为 2012 年 11 月 22 日至次年 2 月 28 日。

1.3.3 覆盖和冬灌措施的土壤温度监测 分 6 个处理(4 种覆盖、冬灌和对照 CK),分别于立地条件近似的 6 个地点各挖 1 个深 0.8 m 的土壤剖面(位置同上),于 0.6 m 深度(调查中接种最大深度)埋设 1 个 U 盘温度记录仪。6 个处理分别为:处理 1,草帘铺设长 10 m、宽 1.5 m;处理 2,草帘铺设长 10 m、宽 3.0 m;处理 3,塑料膜铺设长 10 m、宽 1.5 m;处理 4,塑料膜铺设长 10 m、宽 3.0 m;处理 5,冬灌灌溉量 30 m³/hm²,土壤湿润深度 0.75 m,宽 2.64(±0.18)m;对照(CK),裸地,无人工措施。6 个处理温度记录仪均居中,监测期同上。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析。采用 Origin 8.5 绘制气温、土壤温度变化特征图。

2 结果与分析

2.1 肉质茎分布特征

管花肉苁蓉接种深度一直以来均受到研究者关注,但不同的学者提出的接种深度往往不同。田海舟^[11]等认为开沟深度 70 cm、与寄主水平距离 50 cm 较为合适,可以兼顾寄主保护和经济产出;崔旭盛^[17]等提出人工播种沟深 50~60 cm,机械播种沟深 50~80 cm 较为适宜。经走访调查,和田地区大规模的管花肉苁蓉种植多采用机械开沟,人工撒种模式,开沟深度 50~60 cm。本试验种植园管花肉苁蓉接种深度平均 48.1(±6.3)cm,与和田地区大多采用的模式相近,但调查中接种深度最深为 60 cm,最浅仅为 36 cm,接种深度分异明显,可能是由于采用滴灌和引洪沟灌结合的灌溉方式,在引洪沟灌中,通过水流的冲蚀搬运造成有些部位土层变薄,而其他部位泥砂淤积变厚所致。调查发现,管花肉苁蓉肉质茎平均长度 23.9(±4.7)cm,最长为 38 cm,最短为 16 cm;肉质茎顶端平均埋深 24.2(±6.7)cm,最深为 40 cm,最浅仅为 12 cm(表 1)。由于肉质茎分布较浅,越冬时长期暴露于低温环境,肉

苁蓉细胞内和细胞间容易结冰造成冻害。

表 1 管花肉苁蓉在土壤中的分布特征

Table 1 The distribution characteristics of the <i>Cistanche tubulosa</i> in the soil cm			
指标	最大值	最小值	平均
肉苁蓉接种深度	60	37	48.1±6.3
肉质茎长度	38	16	23.9±4.7
肉质茎顶端埋深	40	12	24.2±6.7

2.2 种植园气温变化特征

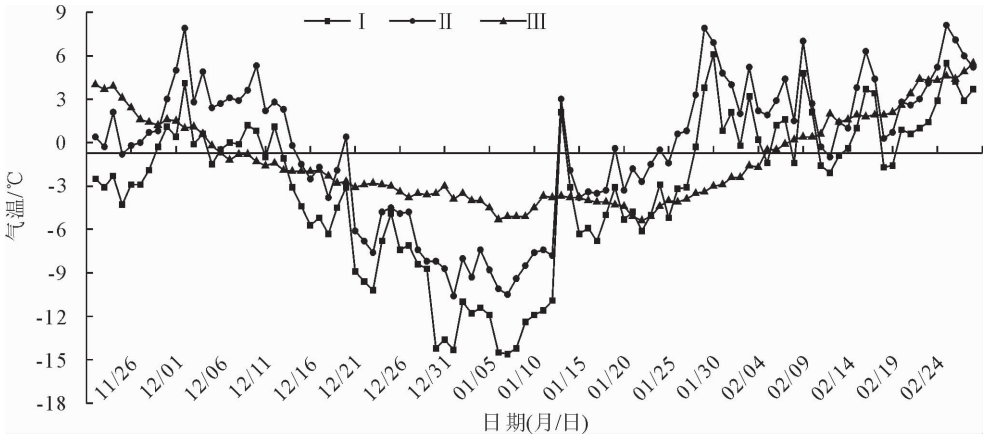
由和田市气象站提供的气温资料(与供试种植园直线距离 42 km)可见,2012 年和田市 11 月中旬为降温过程,这可能是受到寒流的影响,气温降到 0℃上下,但在 11 月下旬气温回升,持续近 15 d,日平均气温变化范围为 2.3~7.9℃,至 12 月中旬,气温开始快速下降,12 月 14 日,日平均气温降到 0℃以下,并于 1 月 7 日降到最低,日平均气温达 -10.5℃,较冬至日延后 16 d。此后,气温开始回升,至 1 月 26 日,日平均气温重回 0℃以上。之后的近 1 个月时间在 -1~6.1℃浮动。在研究期内,日平均气温 0℃以下共计 45 d(图 2)。试验实测气温与气象站气温变化趋势基本一致,但每日平均气温均低于气象站气温,平均低(2.78±1.07)℃,平均气温在 0℃以下总日数达 65 d,可能是由于和田市气象站位于绿洲内部,而供试种植园位于绿洲外围,两地气温受防护林、人工构筑物等环境影响所致。

比较试验实测气温、气象站同期气温和近 20 a 同期平均气温可知,气象站气温和实测气温在 12 月中旬至次年 1 月中旬最冷的一个月时间均大幅低于近 20 a 平均气温,分别低(2.84±2.41)℃和(5.97±2.95)℃,气象站 0℃以下气温总天数较近 20 a 平均短 20 d,而实测值 0℃以下气温总天数和近 20 a 平均相等。因此,可以说本试验进行研究的时间是典型的寒冷冬季,温度变化较快,肉苁蓉更易发生冻害。

2.3 各层土壤温度随气温变化规律

2.3.1 气温、土壤温度日变化特征 由图 2 可见,试验种植园气温在一天内的变化呈现单峰型曲线,最大值出现在 16:00~17:00 时,但气温变化曲线并非是完全的平滑曲线,在多个时刻气温上下振荡,这是由于太阳辐射是影响气温变化的最主要因素,其时间动态与太阳高度角及云量显著相关。在晴朗天气,太阳辐射在一天内的变化呈现单峰型曲线,最大值出现在当地的正午时刻^[18],但云量的变化会影响太阳到达地面的辐射量,从而影响气温的变化。和田地区正午时刻大约为北京时间 14:00 时,气温最大值较当地正午时刻延迟 2~3 h,是由于气温受太

阳辐射变化的影响虽呈单峰型曲线,但太阳总辐射输入地面,经地面反射长波有效辐射才能使气温发生变化,这需要一定的时间。同样,气温最小值一般出现在 9:00—10:00 时,较黎明日出延后 1~2 h,但遇到强烈的降温过程,气温最小值也可能出现在当日末(图 2a)。



注: I 为试验实测气温(2012 年 11 月 26 日—2013 年 2 月 28 日);II 为和田市气象站同期气温;III 为近 20 a 和田市气象站同期平均气温(1994—2013 年)。

图 1 研究期内日平均气温变化特征

Fig. 1 The variation characteristics of daily average temperature during research period

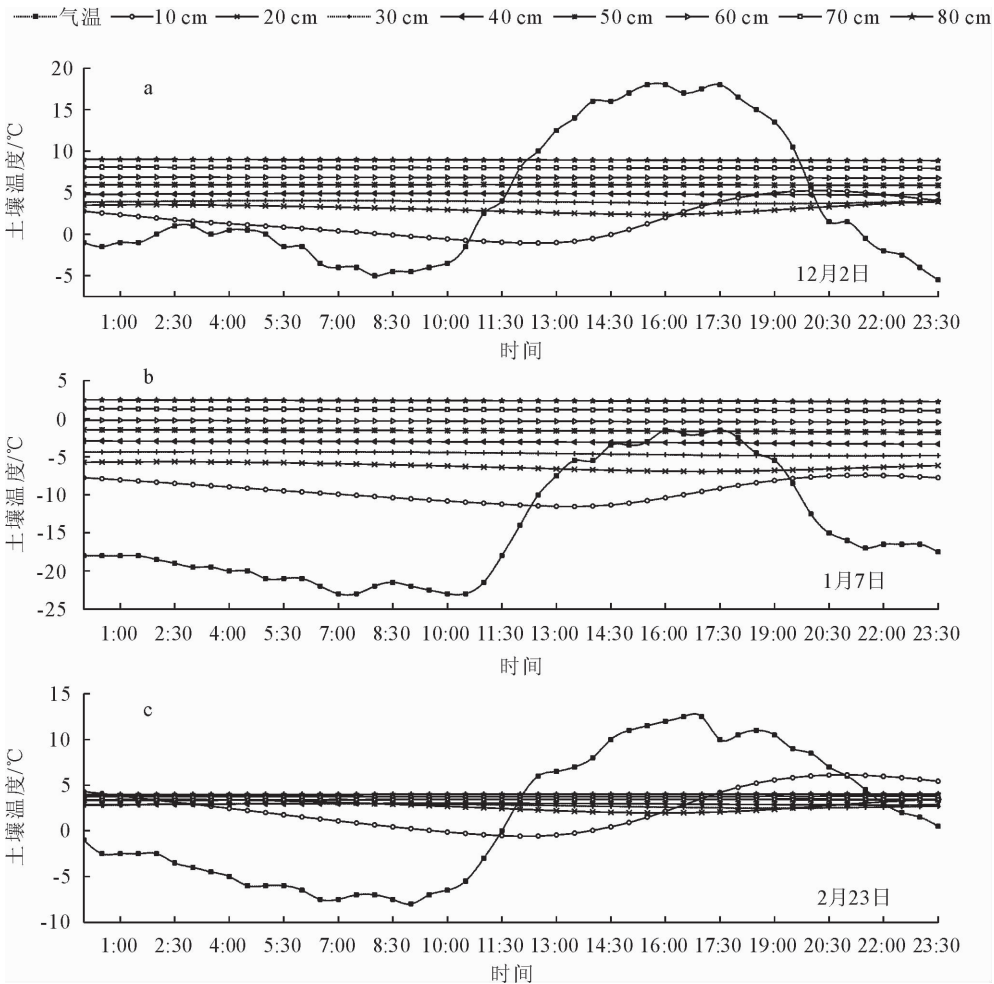


图 2 气温和土壤温度日变化特征

Fig. 2 Diurnal variation characteristics of temperature and soil temperature

表 2 气温和土壤温度日变化特征

Table 2 Diurnal variation characteristics of temperature and soil temperature

日期	土壤深度	日最高温		日最低温		日较差/℃
		温度/℃	出现时间	温度/℃	出现时间	
12 月 2 日	气温	18.00	17:00	−5.50	23:30	23.50
	10 cm	5.24	20:00	−1.07	12:30	6.31
	20 cm	3.91	23:30	2.38	15:30	1.53
	30 cm	4.05	6:30	3.67	16:30	0.38
	40 cm	4.92	9:00	4.75	21:00	0.17
	50 cm	5.98	10:00	5.89	22:00	0.09
	60 cm	6.89	0:00	6.76	23:00	0.13
	70 cm	8.08	0:30	7.94	23:30	0.14
	80 cm	9.02	0:00	8.86	23:30	0.16
1 月 7 日	气温	−1.50	16:00	−23.00	10:00	21.50
	10 cm	−7.43	21:30	−11.54	13:30	4.11
	20 cm	−5.66	2:30	−6.94	17:00	1.28
	30 cm	−4.34	3:30	−4.89	19:30	0.55
	40 cm	−2.93	0:00	−3.34	23:30	0.41
	50 cm	−1.45	0:00	−1.79	23:30	0.34
	60 cm	−0.19	0:00	−0.50	23:30	0.31
	70 cm	1.30	0:00	1.04	23:30	0.26
	80 cm	2.46	0:00	2.23	23:30	0.23
2 月 23 日	气温	12.50	16:30	−8.00	9:00	20.50
	10 cm	6.13	21:00	−0.58	12:00	6.71
	20 cm	3.47	23:30	1.96	16:00	1.51
	30 cm	2.98	6:00	2.49	18:30	0.49
	40 cm	3.02	8:30	2.83	21:30	0.19
	50 cm	3.45	15:00	3.35	0:00	0.10
	60 cm	3.47	19:00	3.41	0:00	0.06
	70 cm	3.80	19:00	3.75	0:00	0.05
	80 cm	4.03	23:00	3.97	0:00	0.06

由图 2 可知,土壤温度呈正弦曲线波动,随深度增加,振幅明显下降,相位明显落后。这是由于土壤温度的变化主要取决于到达地表的太阳辐射和有效辐射的变化,太阳辐射随太阳高度角的变化呈正弦曲线变化。但当地面吸收太阳总辐射大于自身的长波辐射,地面热量积累并增温,与下层土壤形成热量差,热量由地面向下传递,而由热能差异产生热通量需要一个过程,净辐射对土壤热通量的影响存在延迟^[19],致使相位逐层落后。由表 2 可见,随着深度的增加,土壤温度日较差快速降低,在研究前期和中期气温下降过程中,图 2a 中 50 cm 以下土壤和图 2b 中 30 cm 以下土壤基本不受太阳辐射和气温变化的影响,土壤温度日较差较小(<0.5℃),且监测中一日最高土壤温度大约出现在 0:00 时,最低土壤温度大约出现在 23:30 时;而在气温上升过程中,图 2c 中 40 cm 以下土壤受太阳辐射和气温变化影响较小,日较差接近于 0℃,日最高土壤温度出现不规则延后,但最低土壤温度大约出现在 0:00 时前后。将 0~50 cm 土层日较差(日振幅)进行回归,可拟合

出指数关系: $y=9.447e^{-0.086x}$ ($R^2=0.941, P\leq 0.01$),其中 y 为土壤温度日较差, x 为土壤深度。可知土壤温度日较差随土壤深度增加按几何级数减少。土壤温度变化曲线虽随土层深度增加,最高值和最低值比上层延后,但最高土壤温度和最低土壤温度的延迟时间并无规律(表 2),这与张海宏和黄寿波的研究不同^[20-21],可能与试验地土壤不同层土质与土壤含水量不均以及升温、降温过程中气温陡变有关。

2.3.2 冬季气温、土壤温度变化特征 由图 3a 可见,在研究前期,土壤温度随气温的降低而下降,在土壤垂直方向上,各层土壤之间存在明显的温度梯度。随着深度的增加,土壤温度增高,此阶段热量由下层向上传递,但在 12 月中旬前,各层降温比较平稳,各层土壤温度曲线基本平行。12 月中旬后,随着气温骤降,上层土壤热量快速散失,向上传递的热量远大于向下获取的热量,各层土壤温度曲线呈离散变化,在平均气温降到最低后(1 月 7 日),经过 1~7 d 的延迟,各层土壤温度达到最小值,之后每

层土壤向上传递的热量小于向下获取的热量,土壤温度开始回升,曲线聚合,至 1 月末,各层土壤温度接近,温度差 $<3^{\circ}\text{C}$ (图 3b),10 cm 深度土壤温度常高于 20~40 cm 土壤,热量由地表向下传递,所有土层土壤温度回到 0°C 以上,土壤解冻。分析各层土

壤温度随气温变化,10 cm 和 20 cm 深度土壤温度变化受气温变化影响较大,土壤温度随气温的变化而上下浮动;30 cm 土层受短期气温变化影响已较小,40 cm 以下土层土壤温度基本已不随短期气温变化而发生明显的变化。

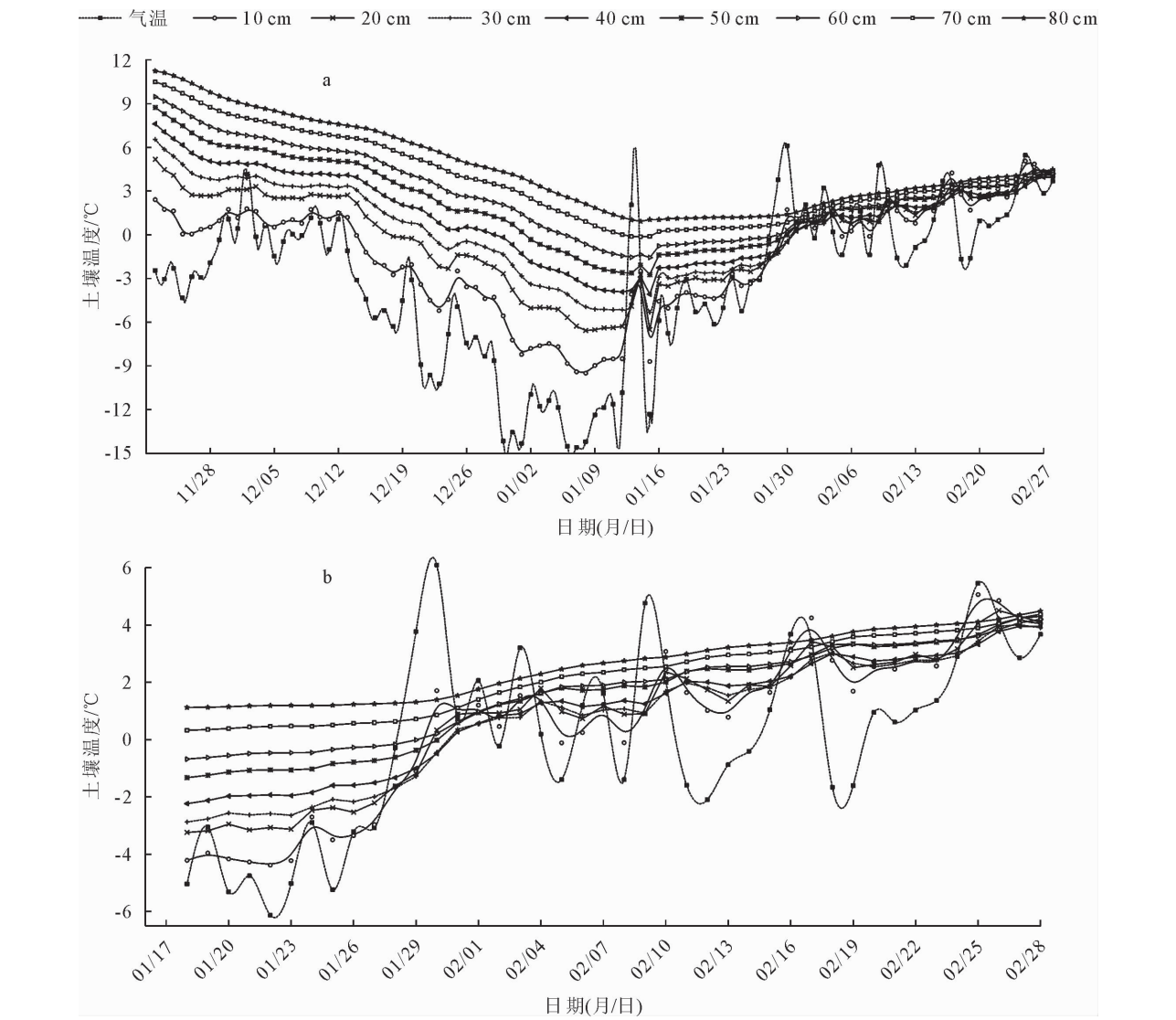


图 3 研究期内气温和土壤温度变化特征

Fig. 3 The variation characteristics of temperature and soil temperature during research period

表 3 各土层冬季最低温度及冻土期

Table 3 The minimum temperature and freezing period of each soil layer in winter

温度	土层/cm							
	10	20	30	40	50	60	70	80
最低温度/ $^{\circ}\text{C}$	-9.51	-6.58	-5.15	-3.93	-2.62	-1.55	-0.14	0.91
冰冻期(0°C 以下)/d	48	42	38	31	28	24	2	0

土壤温度是重要的气象观测要素,气象观测中将 5~20 cm 土壤温度称为浅层地温,40~320 cm 称为深层地温^[22]。冬季,随着土壤深度的增加,土壤最低温度升高,冻土时间减少。由表 3 可见,种植园中冬季最大冻土层可达 70 cm 以下,大于洛浦县绿洲平均最大冻土层(-67 cm)。此外,10~60 cm

土层冰冻时期较长,浅层土壤在 40 d 以上,40~60 cm 土层也在 24~31 d。但至 70 cm 土层,土壤冻土期大幅缩短,仅 2 d,最低温也只有 -0.14°C ,80 cm 土层温度未降至 0°C 以下。种植园土壤在研究期内随深度的增加,土壤最低日平均温度非等差升高,但除 10 cm 和 20 cm 土层相差较大外(2.93°C),其他

各层土壤差值均在 1.05~1.43℃。

2.4 不同防冻措施 60 cm 土层温度变化特征

不同地表覆盖处理下 60 cm 土壤温度监测结果表明(表 4、图 4),地表覆盖可以有效提高土壤温度,处理 2 和处理 4 与 CK 的土壤平均温度差异显著,其中处理 2 的保温效果最好,可使最低温度增高 1.74℃,土壤冰冻期缩短为 0 d;处理 4 的土壤平均温度最高,比 CK 提高 1.35,冻土期 4 d,较 CK 缩短 20 d。处理 4 最低温度(−0.19℃)低于处理 2(0.17℃),平均温度(4.11℃)却高于处理 2(3.73℃)这可能是由于相同铺设宽度的塑料膜保温效果要弱于草帘,但后期更易吸收太阳辐射,土壤升温较快,从而使土壤平

均温度增高所致。处理 1 和处理 3 与裸地相比,土壤最低温增高 1.02℃和 0.44℃,冻土期缩短 17 d 和 11 d,虽有一定的保温效果,但差异不显著,可能由于覆盖宽度较窄,试验土体在热量传导、对流作用下,易受邻近较冷土壤影响所致。试验中处理 1 无论是平均温度和最低温,还是冻土期均优于处理 3。在冬灌试验中(表 4、图 4),虽然冬灌也有提高温度的效果,60 cm 土壤最低温度(−0.87℃)高于 CK(−1.57℃),研究期的土壤温度极差(5.5℃)小于 CK(10.9℃),温度变化曲线在所有处理里最平稳,但冻土期却大幅延长,达 45 d,土壤平均温度(0.69℃)也大幅低于 CK (2.76℃)。

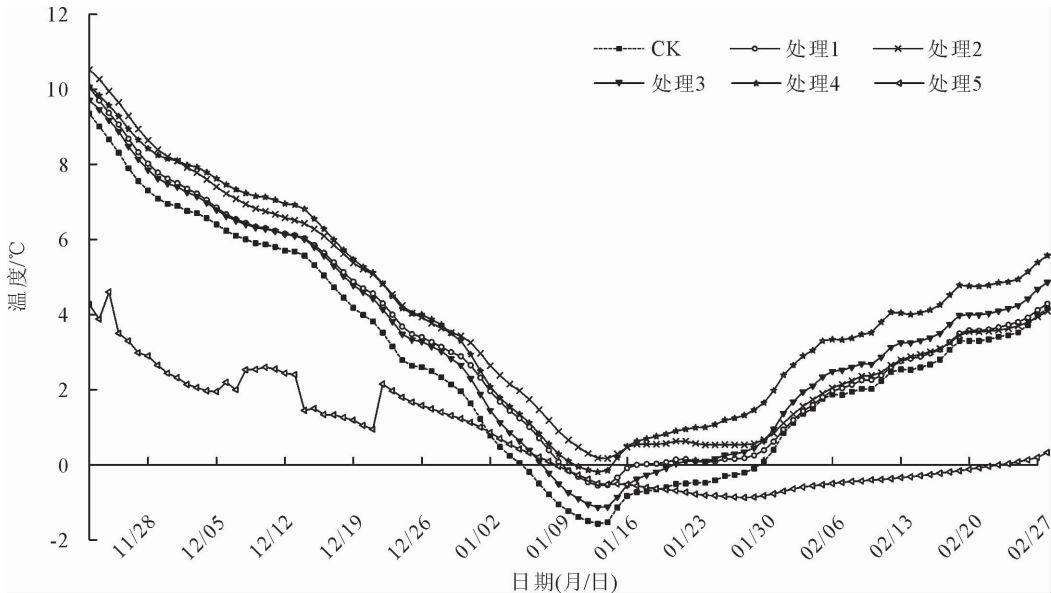


图 4 5 个处理和对照(CK)的 60 cm 土层温度变化特征

Fig. 4 Temperature variation characteristics of 60 cm soil layer in five treatment and control (CK)

表 4 不同处理 60 cm 土层的防冻效果

Table 4 Antifreeze effects of different treatments in 60 cm soil layer

处理	平均温度 /℃	提高温度 /℃	最低温度 /℃	冻土期 /d
CK	2.76a	0.00	−1.57	24
1	3.34ab	0.57	−0.55	7
2	3.73bc	0.97	0.17	0
3	3.33ab	0.57	−1.13	13
4	4.11c	1.35	−0.19	4
5	0.69d	−2.07	−0.87	45
平均	2.99	0.23	−0.69	15.50

注:第 2 列不同字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。

3 结论与讨论

3.1 管花肉苕蓉接种深度分析

在对冬季种植园土壤温度变化特征的观测中发现,就短期而言,在观测前期(12 月初)50 cm 以下土壤、中期(1 月上旬)30 cm 以下土壤和后期(2 月下

旬)40 cm 以下土壤仅受长期积温的影响,而不随每日的气温变化而发生明显变化。因此,和田地区肉苕蓉宜采用秋季采收,肉苕蓉肉质茎不得埋藏于浅层土壤中越冬,肉质茎宜分布于 50 cm 以下,最高不浅于 30 cm,可使肉苕蓉受冻害的机率降低,减少损失,避免受冻腐烂的肉质茎污染土体。

低温冻害($\leq 0^{\circ}\text{C}$)会抑制植物许多功能基因的正常代谢,从而对生长发育产生不利的影响^[23-25]。在试验中越冬的管花肉苕蓉肉质茎主要分布在 12~60 cm 土壤中,深度均小于洛浦县绿洲最大冻土深度 0.67 m,意味着过冬的管花肉苕蓉肉质茎将全部暴露于 0℃ 以下土壤环境中。虽然短期处于 0℃ 以下环境不一定造成植物死亡,而且植物经过抗寒锻炼后,脯氨酸、可溶性蛋白质和可溶性糖含量的增加能提高细胞的保水能力,并对细胞质及质膜起到保护,防止活性氧对膜脂和蛋白质的过氧化作用^[26]。但管花肉苕蓉肉质茎埋于土壤中,因土壤温

度随气温的变化较弱,短期的降温和人为措施很难对肉苁蓉起到抗寒锻炼作用。加之鲜肉苁蓉含水量高,达 56.3%~86.0%,尤其是肉苁蓉顶部,含水量极高(78.3%~86.0%)^[27],且埋藏浅,在冬季,肉苁蓉长期暴露于冰点温度以下,极易发生冻害。

秋末之后,由于到达地面的太阳总辐射减少,气温和土壤温度逐渐降低,在春季转暖之前,土壤温度随深度的增加而升高(图 2、图 3),因此越冬的肉苁蓉埋藏越深越不易发生冻害。但接种深度增加是否会降低接种成活率和产量,姜涛^[28]等在研究管花肉苁蓉接种深度对产量的影响时发现,在接种初期,随着接种深度的增加,接种成活率降低,产量下降。但由于接种越深越适合培养大个体,随接种时间的延长,深层土壤接种率提高,产量上升,至第 3 年,在他研究的 4 个深度土层的接种率逐渐接近,产量也相差无几。而在长期观测中,试验种植园土壤最大冻土层深度可达 70 cm 以下,接种在 70 cm 以上时肉苁蓉均有结冰发生冻害的风险。因此,肉苁蓉接种深度应在 70 cm 以下,不仅肉苁蓉芦头可避免冻害,而且利于大型个体的培养,提高品质。

3.2 和田地区预防管花肉苁蓉冻害发生的策略

地表覆被物不仅改变了光辐射吸收转化和热传导过程,还影响了水热运动,保持土壤水分,从而使土壤温度保持稳定^[29]。在采取 4 种覆盖处理的防冻试验中,保温效果可以排序为处理 2>处理 4>处理 1>处理 3。处理 2 和处理 4 保温效果显著,是越冬肉苁蓉防冻害发生的有效措施。当然,处理 2 和处理 4 也可组合使用,草帘铺设于塑料膜上方,在 2 月初掀帘保留塑料膜,既可在前期和中期良好保温,又可在研究后期的春季气温回升过程中,掀帘快速提高地温。可以上防冻措施必然造成生产成本上升,难于大规模推广应用,防冻害还是应以深接种和秋季采收为主,但在肉苁蓉种子园的生产中,肉苁蓉必须在土壤中过冬,可以采用地表覆盖保温避免冻害发生。

水的容积热容量远高于空气和矿质土壤^[30],意味着等量的热量变化,水的温度要比空气和土壤稳定。冬灌后由于土壤含水量升高,空气含量降低,土壤热容量增大,温度变化趋缓。在整个监测期内,冬灌处理虽然增高了土壤最低温度,但土壤平均温度却大幅下降,较 CK 下降-2.07℃,冻土期也较 CK 延长了 21 d,这对管花肉苁蓉越冬非常不利。因此,不可采取冬灌措施来防止肉苁蓉冻害,与艾尼瓦尔·依沙木丁以及田海舟的观点一致^[3,11]。

3.3 和田地区肉苁蓉防冻害时期

影响土壤温度的外界因素主要有相对湿度、大

气温度、风速、太阳总辐射^[31],土壤温度和气温的变化均与太阳总辐射变化显著相关,进入秋季,随着太阳高度角的变化,太阳总辐射逐渐降低,气温和土壤温度下降。在对试验种植园进行气温监测中,无论是实测数据、和田市气象站提供的同期数据,还是和田市近 20 a 平均气温同期数据,气温在 11 月中旬至 11 月末,气温下降并在 0℃上下振荡,到 12 月上旬,气温快速下降。土壤温度曲线变化除有 1~7 d 的延迟,其趋势与气温变化基本一致,秋季降温后,土壤也迅速散失热量而温度降低。因此,秋末肉苁蓉防冻措施越早实施越有利于土壤的保温,但和田地区大规模肉苁蓉生产中,一般在 10 月开始进行采收,一直延续到 11 月中旬。因此,为避免影响采收或与采收用工冲突,和田地区肉苁蓉防冻措施的实施宜在 11 月下旬开展,最迟不宜晚于 12 月上旬。

参考文献:

[1] 陈君,谢彩香,陈士林,等.管花肉苁蓉产地适宜性数值分析[J].中国中药杂志,2008,33(5):496-501.
CHEN J,XIE C X,CHEN S L,*et al.* Suitability evaluation of *Cistanche tubulosa* based on TCMGIS-I[J]. China Journal of Chinese Materia Medica,2008,33(5):496-501. (in Chinese)

[2] 屠鹏飞,何燕萍,楼之岑.肉苁蓉类药源调查与资源保护[J].中草药,1994,25(4):205-224.

[3] 艾尼瓦尔·依沙木丁,阿不都艾尼·买斯地克.和田地区红柳大芸冻害调查研究[J].沙漠与绿洲气象,2010,4(3):52-54.
Ainiwaer·YISHAMUDING,Abudouaini·MAISIDIKE. Research on freezing injury of red willow broomrape in Hetian prefecture[J]. Desert and Oasis Meteorology,2010,4(3):52-54. (in Chinese)

[4] 谢彩香,董梁,陈君,等.管花肉苁蓉产地适宜性之再分析[J].中国药学杂志,2011,46(12):891-895.
XIE C X,DONG L,CHEN J,*et al.* Reanalysis of producing area suitability for *Cistanche tubulosa* [J]. Chinese Pharmaceutical Journal,2011,46(12):891-895. (in Chinese)

[5] MORIKAWA T,PAN Y,NINOMIYA K,*et al.* Acyalted phenylethanoid oligoglycosides with hepatoprotective activity from the desert plant *Cistanche tubulosa* [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry,2010,18(5):1882-1890.

[6] YAMAGUCHI K,SHINOHARA C,KOJIMA S,*et al.* (2E,6R)-8-Hydroxy-2,6-dimethyl-2-octenoic acid, a novel anti-osteoporotic monoterpene, isolated from *Cistanche salsa* [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1999, 63(4): 731-735.

[7] 何伟,宗桂珍,武桂兰,等.肉苁蓉中雄性激素样作用活性成分的初探[J].中国中药杂志,1996,21(9):564-565.

[8] 吴波,顾少菊,傅玉梅,等.肉苁蓉和管花肉苁蓉通便与补肾壮阳药理作用的研究[J].中医药学刊,2003,21(4):539-548.

[9] 马东明,杨太新,翟志席,等.一种简易的研究寄主中国怪柳刺激管花肉苁蓉种子萌发的技术[J].植物生理学通讯,2005,41(5):662-664.

[10] 杨太新,卢月霞,张喜焕,等. 8 种桤柳引种适应性及接种管花肉苁蓉试验研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(20): 2107-2109.
YANG T X, LU Y X, ZHANG X H, *et al.* Inoculation experiments of *Cistanche tubulosa* on 8 introduced *Tamarix* species[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2007, 32(20): 2107-2109.

[11] 田海舟,赵忠久,周新和,等. 管花肉苁蓉速效繁育科技示范研究[J]. 新疆林业, 2004(5): 26-28.

[12] 段文标,李岩,王小梅. 小兴安岭红松阔叶混交林林隙土壤温度的时空分布格局[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2357-2364.
DUAN W B, LI Y, WANG X M. Spatio temporal distribution pattern of soil temperature in forest gap of *Pinus koraiensis*-dominated broad leaved mixed forest in Xiao Xing ' an Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2357-2364. (in Chinese)

[13] 王邵军,王红,李霁航. 土壤温度与水分对昆明城市绿地土壤呼吸时间动态的影响[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(5): 306-310.
WANG S J, WANG H, LI J H. Effects of soil temperature and moisture on the temporal variations of soil respiration under forest and lawn in Kunming[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(5): 306-310. (in Chinese)

[14] 李琳,张海林,陈阜,等. 不同耕作措施下冬小麦生长期农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2765-2770.
LI L, ZHANG H L, CHEN F, *et al.* CO₂ flux and its correlation with soil temperature in winter wheat growth season under different tillage measures[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2765-2770. (in Chinese)

[15] 陈彦君,王德炉,丁波. 不同有机物覆盖对兔眼蓝莓土壤理化性质的影响[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 78-82, 103.
CHEN Y J, WANG D L, DING B. Effects of different organic matter mulching on soil physicochemical properties of rabbit-eye blueberry[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(6): 78-82, 103. (in Chinese)

[16] 陈启民,朱玉伟,桑巴叶,等. 和田地区农田防护林更新存在问题的研究——以洛浦县为例[J]. 农学学报, 2014, 4(1): 71-75.
CHEN Q M, ZHU Y W, SANGBAYE, *et al.* Study on problems of farmland windbreak net updated in Hetian district——a case in Luopu county[J]. Journal of Agriculture, 2014, 4(1): 71-75. (in Chinese)

[17] 崔旭盛,杜友,冯坚冰,等. 新疆和田地区管花肉苁蓉生产技术标准操作规程(SOP) [J]. 中国现代中药, 2012, 14(6): 31-34.

[18] 王兵,崔向慧,包永红. 民勤绿洲荒漠过渡区辐射特征与热量平衡规律研究[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 27-32.
WANG B, CUI X H, BAO Y H. Characteristics of radiation and heat balance in transitional region between oasis and desert[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(3): 27-32. (in Chinese)

[19] 王文杰,崔崧,刘玮,等. 落叶松人工林土壤热传导季节变化及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2125-2131.
WANG W J, CUI S, LIU W, *et al.* Seasonal variation of soil heat conduction in a larch plantation and its relations to environmental factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(10): 2125-2131. (in Chinese)

[20] 张海宏,刘树华,韦志刚,等. 干旱半干旱区不同下垫面土壤温度计算方法比较研究[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2011, 47(6): 1025-1033.
ZHANG H H, LIU S H, WEI Z G, *et al.* Comparative study of computing methods of soil temperature on different underlying surfaces[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2011, 47(6): 1025-1033. (in Chinese)

[21] 黄寿波,周子康,傅懋毅,等. 桃茶人工复合系统土温变化特征分析[J]. 林业科学研究, 1998, 11(2): 147-151.

[22] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 85-89.

[23] VISWANATHAN C, ZHU J H, ZHU J K. Cold stress regulation of gene expression in plants[J]. Trends in Plant Science, 2007, 12(10): 444-451.

[24] HEIDARVAND L, AMIRI R M. What happens in plant molecular responses to cold stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2010, 32(3): 419-431.

[25] XIONG L M, SCHUMAKER K S, ZHU J K. Cell signaling during cold, drought, and salt stress[J]. Plant Cell, 2002, 14: 165-183.

[26] 蒋明义,郭绍川,张学明. 氧化胁迫下稻苗体内积累的脯氨酸的抗氧化作用[J]. 植物生理学报, 1997, 23(4): 347-352.
JANG M Y, GUO S C, ZHANG X M. Proline accumulation in rice seedlings exposed to oxidative stress in relation to antioxidation[J]. Acta Photophysiological Sinica, 1997, 23(4): 347-352. (in Chinese)

[27] 郭雄飞,吴亚东,倪慧,等. 管花肉苁蓉不同部位有效成分含量的考察比较[J]. 新疆医科大学学报, 2012, 35(1): 48-50.
GUO X F, WU Y D, NI H, *et al.* Determination on active ingredient content for different parts of *cistanche tubulos*[J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2012, 35(1): 48-50. (in Chinese)

[28] 姜涛,居来提·库尔班. 管花肉苁蓉人工种植深度对产量影响试验[J]. 农业科技与信息, 2007(10): 41-42.

[29] 黄金辉,廖允成,高茂盛,等. 耕作和覆盖对黄土高原果园土壤水分和温度的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2652-2658.
HUANG J H, LIAO Y C, GAO M S, *et al.* Effects of tillage and mulching on orchard soil moisture content and temperature in Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(11): 2652-2658. (in Chinese)

[30] 孙建,刘苗,李立军,等. 不同耕作方式对内蒙古旱作农田土壤水热状况的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1539-1547.
SUN J, LIU M, LI L J, *et al.* Effects of different tillage systems on soil hydrothermal regimes in rain-fed field of Inner Mongolia[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1539-1547. (in Chinese)

[31] 姚付启,张振华,钱为君. 烟台果园土壤温度影响因素及其预测模型研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(2): 201-204.