

北方冬季滴灌温室土壤温度变化规律及影响因素分析

李 波, 王 亭, 王 铁 良

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要:以日光温室秋冬茬甜椒为试材,进行膜下滴灌试验,观测4种不同水分处理对甜椒全生育期内的根区土壤温度变化规律,采用通径分析方法分析土壤温度与环境因子的关系及其综合效应。结果表明:土壤浅层温度增加较快且变幅较大,随着土壤深度的增加,土壤温度增加缓慢,变幅迅速变小。各层土壤温度最大值出现时间随深度增加而延迟。土壤温度变幅与土层深度呈指数关系,且各处理15:30时二者相关系数最大。土壤25 cm深度范围内平均温度随灌水定额的增大而减小。灌水定额对土壤温度变幅与土层深度之间的相关性具有一定影响。土壤含水率、温室温度与土壤温度相关系数分别为-0.7574和0.6512,直接通径系数分别为-0.7021和0.6172,说明土壤含水率和温室温度对土壤温度的提高影响极大。

关键词:膜下滴灌;灌水定额;土壤温度;环境因子;通径分析

中图分类号:S 625.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)05-0045-05

膜下滴灌是滴灌灌水技术和覆膜种植栽培技术相结合的产物。地膜覆盖具有增温、节水、早熟、增产等作用,对于北方冬季温室生产是非常有利的。温度对作物的生长发育影响显著,是作物生命活动的最基本要素,也是控制微生物活性和植物生长过程的重要因素之一^[1]。土壤温度对作物生长的影响比气温更加直观^[2]。但土壤温度过低或过高都会极大地影响农作物的生长状况。Chopra等^[3]采用不同覆盖方式提高土壤温度,表明透明聚乙烯覆盖时土壤温度提高最大,土壤温度越高,小麦出苗率越高。王铁良等^[4]研究了温室内不同灌溉方式对土壤温度变化规律的影响效应以及土壤温度的变化梯度。李振东等^[5]研究了不同地面覆盖对日光温室黄瓜地温、耗水量和产量的影响。Bryla等^[6]研究表明土壤温度和含水量的变化对柑橘根系呼吸有一定影响。Song等^[7]采用不同高度和密度的芦苇秸秆进行模拟试验研究,表明植被高度和密度对土壤温度和空气温度有一定影响。但在日光温室冬季膜下滴灌条件下对土壤温度变化的影响因素及土壤温度与影响因素相关关系需要进一步深入研究。现以日光温室膜下滴灌秋冬茬甜椒为试材,在不同灌水定额条件下通过温室内小区试验,研究了北方冬季日光温室土壤温度的影响因素及变化规律,以期对北方冬季温室生产的日常管理提供科学依据。

第一作者简介:李波(1969-),女,博士,副教授,现主要从事生态环境及节水灌溉理论和技术等研究工作。E-mail:liboluck@126.com.

基金项目:辽宁省教育厅一般资助项目(L2012239)。

收稿日期:2013-11-22

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2012年9月至2013年2月在沈阳农业大学水利学院综合试验基地的日光温室中进行,温室覆盖无滴聚乙烯薄膜。试验基地位于沈阳市东郊的天柱山南麓,地处北纬41°44′、东经123°27′,海拔44.7 m。该地区属于温带半湿润大陆性气候,日照充足,雨热同期,年平均气温6.2~9.7℃,全年降水量600~800 mm,全年无霜期155~180 d,受季风影响,降水集中在夏季,温差较大,四季分明,春、秋两季气温变化迅速,持续时间短,气温由西南向东北递减。

1.2 试验材料

供试作物为日光温室秋冬茬甜椒。温室内土壤为棕壤土,土层深厚,土壤肥力较高,质地比较均一,土壤容重 $\gamma = 1.52 \text{ g/cm}^3$,土壤田间持水量 $\theta_t = 40.5\%$ (体积含水率)。地下水埋深大于5 m,不考虑地下水补给对土壤水分状况的影响。供试土壤的养分状况见表1。

1.3 试验方法

1.3.1 试验布置 甜椒采用大垄双行种植,垄宽1.2 m。每个处理垄长2.5 m,每大垄上种植甜椒10株,2行分布。试验灌溉方式为重力膜下滴灌。滴灌采用内镶式滴灌带,滴灌管铺设在地表,出水孔间距30 cm,以细流局部湿润作物根部附近土壤。设4个水分处理,即T1、T2、T3、T4,每个处理3次重复,随机排列。各处理之间用埋深60 cm的塑料薄膜隔开,以防水分互渗。试验小区布置见图1(相同图案填充代表相同水分处理)。

表 1

供试土壤养分状况

Table 1

Chemical properties of experimental soil

全氮含量 Total N content /g · kg ⁻¹	全磷含量 Total P content /g · kg ⁻¹	全钾含量 Total K content /g · kg ⁻¹	碱解氮含量 Alkali-hydrolysable N content /g · kg ⁻¹	速效磷含量 Available P content /g · kg ⁻¹	速效钾含量 Available K content /g · kg ⁻¹	有机质含量 Organic matter content /g · kg ⁻¹	pH
1.17	1.04	20.25	56.41	47.87	140.25	10.5	6.35

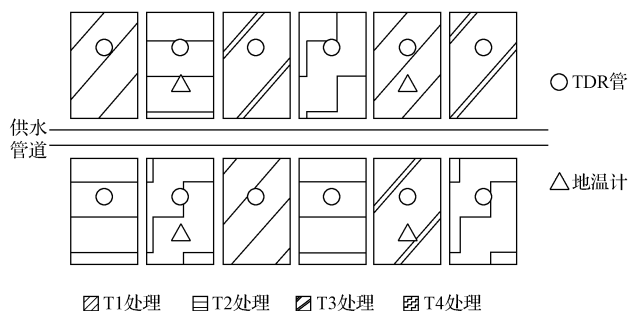


图 1 试验小区布置

Fig. 1 Layout of experimental plot

1.3.2 试验设计 将甜椒全生育期划分为苗期、开花着果期、结果盛期和结果后期 4 个阶段。根据甜椒各个生育期需水量不同,以不同生育阶段的灌水定额为灌水控制指标进行秋冬茬甜椒膜下滴灌试验设计。试验灌水定额不包括定植水,甜椒定植后,每个处理适当灌溉定植水 1 次,以保证甜椒成活。甜椒灌溉制度试验设计见表 2。

表 2 秋冬茬甜椒灌溉制度试验设计

Table 2 Test design of irrigation system of autumn and winter sweet pepper mm

生育期 Growth period	处理 Treatment			
	T1	T2	T3	T4
苗期(2次) Seedling stage (2 times)	10	10	10	10
开花期(4次) Blossom period (4 times)	10	15	15	20
结果盛期(6次) Fruit high-stage (6 times)	12	15	20	20
结果后期(4次) Fruit late-stage (4 times)	15	15	15	15
合计 Total	192	230	260	280

1.4 项目测定

土壤含水率采用德国进口的时域反射仪(TDR)测定。2次灌水之间(每个生育期至少测 1 次)按时段连续监测土壤水分,灌水前后加测,每条垄中间埋设 1 根 Trime 管,分别监测深度为 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 的土壤含水率。

土壤温度采用金属曲管地温计测量,测量深度为 5、10、15、20、25 cm,每天早 9:30、12:00、15:30 观测 3 次数据,并对每个生育期测 2 次地温日变化,从 8:30~15:30 每 1 h 测 1 次,同时采用环境监测仪对日光室内温度进行实时监测。

2 结果与分析

2.1 甜椒全生育期不同水分处理土壤温度比较

灌溉是温室蔬菜栽培水分需求的最主要甚至是唯

一的补给方式^[8],由于不同水分处理所导致的土壤水分剖面状态和土壤含水率的不同,引起土壤的导热率和热容量也不同,造成不同水分处理土壤温度变化规律也不同。因此,灌溉是改变土壤热状况的最主要原因。

从图 2 可以看出,甜椒全生育期内,各水分处理根区土壤温度变化趋势相同。根区 25 cm 深度范围内土层平均温度均随灌水定额的增大而减小。

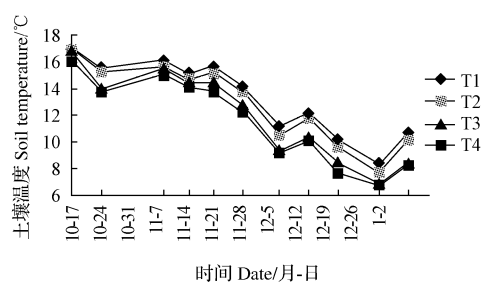


图 2 全生育期内不同水分处理土壤温度变化曲线

注:数据取各处理不同深度土壤温度的平均值。

Fig. 2 The variation of soil temperature on different irrigation treatments during the whole growth period

Note: Soil temperature data of different treatments averaged soil temperature at different depths within the growth period

2.2 不同水分处理甜椒根区各层土壤温度的日变化

从图 3~6 可以看出,沿土层垂直方向表层土壤温度变幅最大,而随着土层深度的增加,土壤温度变幅逐渐减小,最深层土壤温度基本不变。各层土壤最高温度出现时间不同,在 8:30~14:30 之间,各处理各层土壤温度均处于升温过程。但整个温度的日变化中,各处理在深度 5 cm 处,最高值分别出现在 11:30、14:30、14:30、

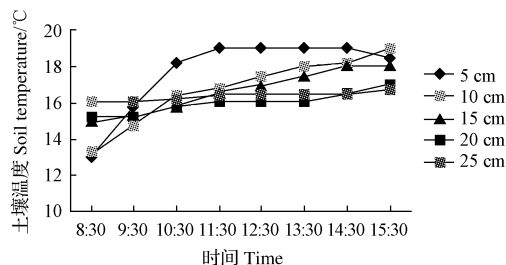


图 3 T1 处理土壤温度日变化曲线

注:分析数据是 2012 年 10 月 24 日在灌水前 2 d 观测的土壤温度,天气晴,西南风 3~4 级。

Fig. 3 The day variation of soil temperature in T1 treatment

Note: The data which was used to analysis was soil temperatures on October 24th, 2012 two days before irrigation and the weather was sunny and southwest wind 3 to 4.

13:30,最高温度分别为 19、20、23、22℃,而 10、15、20、25 cm处在 8:30~15:30 之间,土壤温度基本均处于上升过程。在 8:30~15:30 之间,4 个水分处理的土壤温度高低均随深度的增加而降低。可见,各层最高温度出现时间随土层深度的增加依次推迟,验证了土壤热传导对太阳辐射的变化具有滞后性。

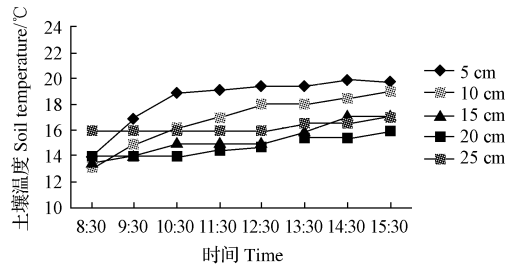


图 4 T2 处理土壤温度日变化曲线

Fig. 4 The day variation of soil temperature in T2 treatment

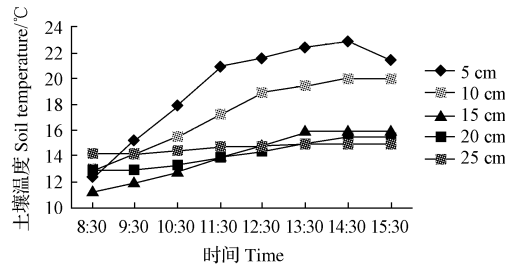


图 5 T3 处理土壤温度日变化曲线

Fig. 5 The day variation of soil temperature in T3 treatment

2.3 甜椒根区土壤剖面温度日最大变幅特征比较

土壤剖面地温的日变幅值指在 5~25 cm 土壤剖面深度内地温的最大值与最小值之差。从表 3 可以看出,

表 3 秋冬茬甜椒不同土壤深度不同时刻温度日变幅特征比较

Table 3 Comparison of daily temperatures at different depths of autumn and winter bell pepper growth

处理 Treatments	时间 Time	土壤深度 Soil depth/cm					拟合回归公式 Fitted regression formula	相关系数 Correlation coefficients
		5	10	15	20	25		
T1	8:30	15.1	15.0	16.4	16.2	17.0	$\Delta T=14.490e^{0.006h}$	$R^2=0.8331$
	12:30	23.0	19.0	19.5	17.5	17.0	$\Delta T=23.458e^{-0.014h}$	$R^2=0.8393$
	15:30	23.2	22.0	21.0	18.8	17.6	$\Delta T=25.259e^{-0.014h}$	$R^2=0.9771$
T2	8:30	16.5	15.8	16.2	15.0	16.5	$\Delta T=16.241e^{-0.001h}$	$R^2=0.0424$
	12:30	25.0	22.0	18.0	16.5	17.3	$\Delta T=26.525e^{-0.02h}$	$R^2=0.8394$
	15:30	23.4	22.5	20.0	18.0	18.0	$\Delta T=25.353e^{-0.015h}$	$R^2=0.9337$
T3	8:30	16.0	15.8	15.0	15.0	16.5	$\Delta T=15.604e^{0.0002h}$	$R^2=0.0013$
	12:30	23.2	20.8	17.0	16.8	17.0	$\Delta T=24.144e^{-0.017h}$	$R^2=0.7990$
	15:30	21.2	21.0	17.8	17.5	17.0	$\Delta T=22.687e^{-0.012h}$	$R^2=0.8663$
T4	8:30	16.3	15.0	15.1	17.0	16.0	$\Delta T=15.449e^{0.0018h}$	$R^2=0.0694$
	12:30	23.0	19.5	18.0	18.2	17.0	$\Delta T=23.295e^{-0.013h}$	$R^2=0.8354$
	15:30	22.0	20.0	18.7	19.0	17.0	$\Delta T=22.844e^{-0.011h}$	$R^2=0.8992$

注:“ΔT”表示土壤温度变化幅度值;“h”表示土壤深度。

Note:“ΔT” represents amplitude value of soil temperature variation;“h” represents the depth of the soil.

2.4 土壤温度与环境因子通径分析

土壤温度的变化受环境因子的影响,各个环境因子之间相互影响较大。该试验通过通径分析的方法,分析

土壤温度与各环境因子的关系及其综合效应。土壤温度取表层土壤的温度进行分析,即 5 cm 处的土壤温度。

从表 4 可以看出,土壤含水率对土壤温度的相关系

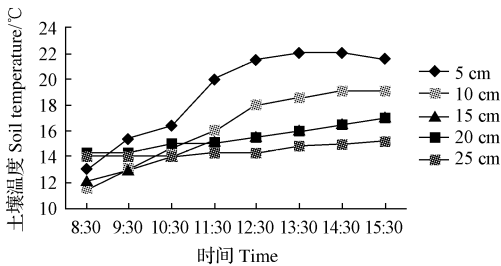


图 6 T4 处理土壤温度日变化曲线

Fig. 6 The day variation of soil temperature in T4 treatment

各处理土壤温度最大日变幅均发生在 12:30 时,为 6.0~8.5℃,其次是 15:30 时,变幅为 4.2~5.6℃,最小变幅发生在 8:30 时,变幅为 1.5~2.0℃;不同灌溉处理土壤温度日变幅变化规律一致,随深度变化越来越小,呈递减趋势。5、10、15 cm 的日变化幅度比较大,20 cm 和 25 cm 处变化趋势平缓,5、10、15、20、25 cm 处日变化幅度分别为 6.7~8.5、5.0~7.0、2.8~4.6、2.0~3.0、0.5~1.5℃;土壤温度最大日变幅发生在 T2 处理,其次是 T1 处理、T3 处理,T4 处理的最小;从各时刻不同深度土壤温度日变幅拟合回归及相关系数可以看出,在不同灌水定额条件下,各处理 15:30 时的土壤温度与土层深度最大相关系数最大,8:30 时最小。而对于相同时间不同处理而言,T1 的相关系数最大,其次是 T2、T4、T3。所以 T1 处理 15:30 时土壤温度日变幅与土壤深度相关系数最大 0.9771,相关性最密切,而 T3 处理 8:30 时土壤温度变幅与土壤深度相关系数最小,为 0.0013。综上可知,灌水定额对土壤温度日变幅与土壤深度的相关性有一定影响,但影响不大。

数为-0.7574,直接通径系数为-0.7021,且温室温度和光照强度所起的间接效应为负值,而通过温室湿度所起的间接效应为正值。说明降低土壤含水率可提高土壤温度。温室温度对土壤温度的相关系数为0.6512,直接通径系数为0.6172,且土壤含水率和光照强度所起的间接效应为正值,而通过温室湿度所起的间接效应为负值,提高温室温度有利于提高土壤温度。温室湿度对土壤温度的相关系数为-0.1872,直接通径系数为0.7218,且土壤含水率、温室温度和光照强度所起的间接效应为负值,降低温室湿度有利于提高土壤温度。光照强度对土壤温度的相关系数为-0.0549,直接通径系数为0.1229,且土壤含水率和温室温度所起的间接效应为正值,而温室湿度所起的间接效应为负值。光照强度对土壤温度的直接通径系数为正值,相关性为负相关,这是

表 4

环境因子与土壤温度通径分析

Table 4

Path analysis of environmental factors and soil temperature

	与土壤温度相关系数	直接通径系数	间接通径系数 Indirect path coefficient			
	Correlation coefficient with soil temperature	Direct path coefficient	土壤含水率 Soil moisture content	温室温度 Greenhouse temperature	温室湿度 Greenhouse humidity	光照强度 Light intensity
土壤含水率 Soil moisture content	-0.7574	-0.7021	—	-0.4086	0.3891	-0.0358
温室温度 Greenhouse temperature	0.6512	0.6172	0.4649	—	-0.4876	0.0567
温室湿度 Greenhouse humidity	-0.1872	0.7218	-0.3785	-0.4169	—	-0.1136
光照强度 Light intensity	-0.0549	0.1229	0.2045	0.2848	-0.6671	—

3 结论

该试验结果表明,土壤温度变幅与土层深度呈指数关系,且在 15:30 时二者相关系数最大。土壤 25 cm 深度范围内平均温度随灌水定额的增大而减小。灌水定额对土壤温度变幅与土层深度之间的相关性具有一定影响。土壤含水率和温室温度对土壤温度相关系数分别为-0.7574 和 0.6512,直接通径系数分别为-0.7021 和 0.6172,土壤含水率和温室温度对土壤温度的提高影响较大。

参考文献

- [1] 李仁杰,朱世东,袁凌云,等. 温室内地温变化规律及与气温的相关性[J]. 中国农学通报,2010,26(24):209-212.
- [2] 费晓玲,丁春兰. 甘肃黄土高原地温与冬小麦发育期的关系分析[J]. 干旱气象,2009,27(2):148-151.

光照强度通过温室湿度具有较大的负间接效应所致。

综上所述,环境因子与土壤温度相关性为土壤含水率>温室温度>温室湿度>光照强度,直接作用的关联程度为温室湿度>土壤含水率>温室温度>光照强度,其中温室湿度和光照强度对土壤温度的直接作用为正效应,与对应的土壤温度相关性为负相关。

通过土壤温度与环境因子进行通径分析,得出土壤含水率、温室温度、温室湿度和光照强度对土壤温度的决定系数总和为 $\sum D=0.8899$, $\sum D$ 越接近 1,说明以上 4 个环境因子为影响土壤温度的主要因素,分析结果能够表达土壤温度与环境因子的真实关系。土壤含水率与温室温度对土壤温度的相关性和直接效应均较大,说明为改善秋冬茬甜椒生长环境,应提供甜椒适宜的土壤温度,重点把握土壤含水率和温室温度 2 个因素。

- [3] Chopra U K, Chaudhary T N. Effect of soil temperature alteration by soil covers on seedling emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.) sown on two dates[J]. Plant and Soil, 1980, 57(1):125-129.

- [4] 王铁良,李晶晶,李波,等. 不同灌溉方式对日光温室土壤温度的影响[J]. 北方园艺,2009(2):147-149.

- [5] 李振东,王树忠,王倩. 地面覆盖对日光温室黄瓜地温、耗水量和产量的影响[J]. 华北农学报,2009(24):312-315.

- [6] Bryla D R, Bouma T J, Hartmond U. Influence of temperature and soil drying on respiration of individual roots in citrus: integrating greenhouse observations into a predictive model for the field[J]. Plant, Cell and Environment, 2001, 24(8):781-790.

- [7] Song Y T, Zhou D W, Zhang H X. Effects of vegetation height and density on soil temperature variations[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(8):907-912.

- [8] 付时丰,李中,杨丽娟,等. 保护地栽培条件下灌水方法对土壤温度的影响[J]. 灌溉排水学报,2006,25(1):67-80.

Study on Soil Temperature and Its Influencing Factors in Northern Winter Solar Greenhouse With Drip Irrigation

LI Bo, WANG Ting, WANG Tie-liang

(Water Conservancy College, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

Abstract: Taking sweet pepper that cultivating in autumn and winter in solar greenhouse as material, by field experiment, the soil temperature change in solar greenhouse with drip irrigation under plastic film was studied during the growth period of pepper under the condition of four different soil water treatments, and the relationship of soil temperature and

温室番茄连作障碍生态修复技术

余 翔, 张 英, 孟佳丽, 吴绍军, 姜若勇

(江苏省农业科学院 宿迁农科所, 江苏 宿迁 223800)

中图分类号:S 641.2 文献标识码:B 文章编号:1001-0009(2014)05-0049-02

温室番茄具有较高的经济效益,在宿迁市应用面积较大,但高强度种植使温室内土壤环境不断恶化,土壤板结、盐渍化、病原菌增多,导致番茄的产量和品质下降。近年一些研究表明,在温室内实施秸秆还田可以增加土壤有机质、改良土壤结构、提高地温,还可以增加棚室内二氧化碳浓度;另一些研究发现施用生物农药(生防菌)能对土壤中的病原菌产生抑制和竞争,还能促进作物生长,缓解作物根际分泌物的自毒作用。课题组现综合这2种技术并集成洗盐、闷棚、滴灌等措施,形成温室番茄连作障碍生态修复技术,经3年的连续试验,取得了较好的应用效果,现将该技术总结如下,供生产参考。

1 棚室准备

1.1 洗盐与闷棚

前茬结束后清理棚内残余秧蔓,深耕并理通排水沟,揭开棚膜让雨水淋洗,使盐分随流水排出。移栽前

第一作者简介:余翔(1983-),男,江苏宿迁人,硕士,助理研究员,现主要从事设施蔬菜栽培和育种等研究工作。E-mail:yx003@163.com.

责任作者:姜若勇(1964-),男,副研究员,现主要从事设施蔬菜栽培和育种等研究工作。E-mail:jssyry@163.com.

基金项目:江苏省农业科技自主创新资助项目(CX(11)2022)。

收稿日期:2013-11-22

施足有机底肥(鸡粪、猪粪等畜禽粪便 5 000 kg),再次翻耕,之后密闭棚膜,利用夏季高温和有机肥彻底腐熟过程中散发的热量,使温室内空气温度达到 70℃,10 cm 土壤地温也达到 55℃持续高温,杀灭土壤病原菌。

1.2 秸秆施用

1.2.1 开沟 沟宽 80 cm,深 20 cm,沟长度与行长相等,挖出土壤等量分放沟两边。隔 140 cm 再开另一沟(中到中),依次进行。

1.2.2 铺秸秆 开完沟后,在沟内铺放秸秆(玉米秸、麦秸等 3 500 kg/667m²),沟两头露出 10 cm 秸秆茬,以便进氧气。铺完踏实后,厚度 20~30 cm。

1.2.3 撒菌种 每 667 m² 用秸秆有氧降解菌 7 kg,每 1 kg 秸秆降解菌兑掺 20 kg 麦麸,20 kg 水,混合拌匀,堆积发酵 4~24 h 使用。如当天使用不完,摊放于室内或阴凉处,厚度 8~10 cm,第 2 天继续使用,2~3 d 内用完。处理好的菌种均匀撒在秸秆上,并用锨轻拍 1 遍,使菌种与秸秆均匀接触,每 500 kg 秸秆用菌种 1 kg。

1.2.4 覆土 将沟两边的土回填于秸秆上,覆土厚度 20~25 cm,形成种植垄,并将垄面平整。

1.2.5 浇水 覆土后 3~4 d 浇水,第 1 水浇足,以秸秆充分湿透为宜。隔 3~4 d 后再浇 1 次均匀水,使地势高的地方浇透。浇水时不要冲施化学农药,特别要禁冲杀

environmental factors and their comprehensive effects were analyzed by path analysis method. The results showed that the temperature of different treatments reduced, with the increasing of irrigation water quota. The temperature of surface-layer soil reduced quickly and the range of its temperature was larger. And with the increasing of soil depth, the soil temperature increased slower and its range decreased, and the peak soil temperature of different layers appeared delayed. The relationship of soil temperature and the soil depth were exponential, and the correlation coefficient of each treatments reached the maximum at 15:30; the average soil temperature of 25 cm depth reduce with the increasing of irrigation quota, and irrigation water quota had a direct influence on the correlation between soil temperature and the depth of soil; the correlation coefficients of soil moisture content, the air temperature and soil temperature in solar greenhouse was -0.7574 and 0.6512 respectively, directly action coefficients of path was -0.7021 and 0.6172 respectively, which showed that the both soil moisture content and the air temperature in solar greenhouse had greatly effect on soil temperature.

Key words: drip irrigation under plastic film; irrigation water quota; soil temperatures; environmental factors; path analysis