

不同节水灌溉技术对香梨地土壤温度的影响

刘洪波,张江辉*,白云岗,张胜江,丁 平

(新疆水利水电科学研究院,新疆 乌鲁木齐 830049)

摘 要:通过对新疆巴州灌溉试验站香梨地在不同灌水技术下土壤温度的监测,分析了不同灌水技术下不同土层深度的温度日变化和日变化趋势。分析结果显示:在 5 cm 土层深度上,环管、小管和微喷分别比对照温度(25.1℃)平均高出 2.3℃、0.8℃和 1.5℃。各处理温度增幅均在 5 cm 表层最大,其大小依次为环管>小管>微喷>对照,最大差值分别是 5.5℃、5℃、5℃和 4℃。各处理在不同生育期均表现出先增大后减小的趋势,且表层 5~10 cm 土层在花期到坐果期增幅大于其它时期,各处理中环管在不同生育期不同深度土层上的温度均值大于其它各处理,小管和微喷在不同的生育期土壤温度有所差异,而对照在各处理不同生育期不同土层深度上均最小。分析结果表明,采用不同的节水灌溉技术均能改善地温。

关键词:香梨;节水灌溉;土壤温度;新疆巴州

中图分类号: S274.1;S661.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0066-08

Impact of different water-saving irrigation technologies on soil temperature of pear orchard

LIU Hong-Bo, ZHANG Jiang-hui*, BAI Yun-gang, ZHANG Sheng-jiang, DING Ping

(Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi, Xinjiang 830049, China)

Abstract: In order to evaluate impact of different water-saving irrigation technology on soil temperature of pear orchard, temperature diurnal variation and its variation patterns at different soil depth were analyzed by monitoring soil temperature under different irrigation techniques at Bazhou Irrigation Test Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region. The study results showed at 5 cm soil depth, the loop, a small tube and microjet had average temperature increase of 2.3℃, 0.8℃ and 1.5℃ respectively, compared to the control (25.1℃). Among the all different treatments, 5 cm surface depth soil had the highest temperature increase, order of temperature increase using different irrigation techniques is annular tube > small pipe flow > ejecta > control. The maximum temperature difference are 5.5℃, 5℃, 5℃ and 4℃. Among all the different treatments in different growth period, soil temperature showed the trend of increased at first and then decreased. At surface 5 cm to 10 cm soil, temperature increasing range at flowering to fruiting period is larger than in other periods. Annular tube irrigation technique gained the highest mean temperature value at different growth stages of different depth of soil. Soil temperature showed difference at different growth stages with small pipe flow and ejecta irrigation techniques. Compared to all the different irrigation techniques, control had the smallest mean soil temperature at different growth period of different soil depth. In conclusion, the analysis showed that applications of all these water-saving irrigation technologies can improve geotemperature.

Keywords: pear; water-saving irrigation; soil temperature; Bazhou of Xinjiang

土壤温度是植物生长的重要生态因子,直接影响土壤中水、气的保持和运动,与作物根系功能和光合作用等生长发育指标有着规律性的对应关系,温度过高或过低都不利于作物生长发育^[1]。在地温对作物的影响上,国内外诸多学者开展了大量的研

究^[2-4],如张玉先和杨祁峰^[1,5-11]等人通过不同耕作措施和覆盖方式对玉米田土壤温度进行了研究,表明覆盖处理的抑蒸稳温效应明显,促进了夏玉米生长,提高了夏玉米的产量和水分利用效率。王建东^[12]在保证作物最优土壤水分下限和灌溉定额相

收稿日期:2012-12-31

基金项目:新疆自治区科技重大专项(201130103-5,201130103-1)

作者简介:刘洪波(1982—),男,湖北天门人,硕士生,主要从事水分高效利用研究。E-mail:lh090@163.com。

* 通信作者:张江辉(1963—),男,陕西兴平人,研究员,主要从事农业水土工程研究。E-mail:skyzjh@163.net。

同的条件下,研究了地面灌灌水频率对土壤水、热状况及春玉米根系分布和产量的影响。张朝勇^[13]对田间膜下滴灌棉花根际土壤的温度变化进行了试验研究。王卫华^[14]通过对新疆巴州灌溉试验站棉花在滴灌条件下苗期覆膜(膜下)与不覆膜(膜间)两种方式土壤温度的监测,分析了两种条件下土壤温度的变化趋势。张治^[15]在新疆库尔勒市开展了棉花膜下滴灌田间试验,通过设置不同灌溉处理和不同地表覆盖条件的试验小区,对土壤水热状况进行了监测和对比,结果表明:气象条件、土壤水分、地膜和棉株覆盖等因素综合影响棉花生育期地温分布规律,膜下滴灌起到有效保温保墒作用,克服土壤高地温低含水率或低地温高含水率的矛盾,可为作物生长创造较好的土壤水热条件。目前,在该地区对土温的研究主要集中在棉花上,而针对果树的土温特征研究较少,本文旨在通过研究不同节水灌溉技术

下香梨地土壤温度的变化,分析不同生育期、不同土层深度和不同灌溉技术条件下的土壤温度变化规律,以期在探索土壤水热变化规律的基础上更好地开展生产实践。

1 材料与方法

1.1 试验条件

试验地点位于新疆巴音郭楞蒙古自治州水利管理处重点灌溉试验站。该试验站位于库尔勒市尉犁县城 30 km 处,海拔 892 m,年降水量 20 ~ 80 mm,年蒸发量 2 000 ~ 2 500 mm;10℃ 以上积温 3 950℃ ~ 4 500℃,无霜期 180 ~ 215 d;湿润度小于 0.33,为纯灌溉农业。作物生长季节干旱少雨,土壤质地为沙壤土,田间持水率 16.8%,pH 值 8.0,有机质含量 12.52 g·kg⁻¹,全氮 0.84 g·kg⁻¹,碱解氮 58.69 mg·kg⁻¹,速效磷 9.67 mg·kg⁻¹,速效钾 138.74 mg·kg⁻¹。

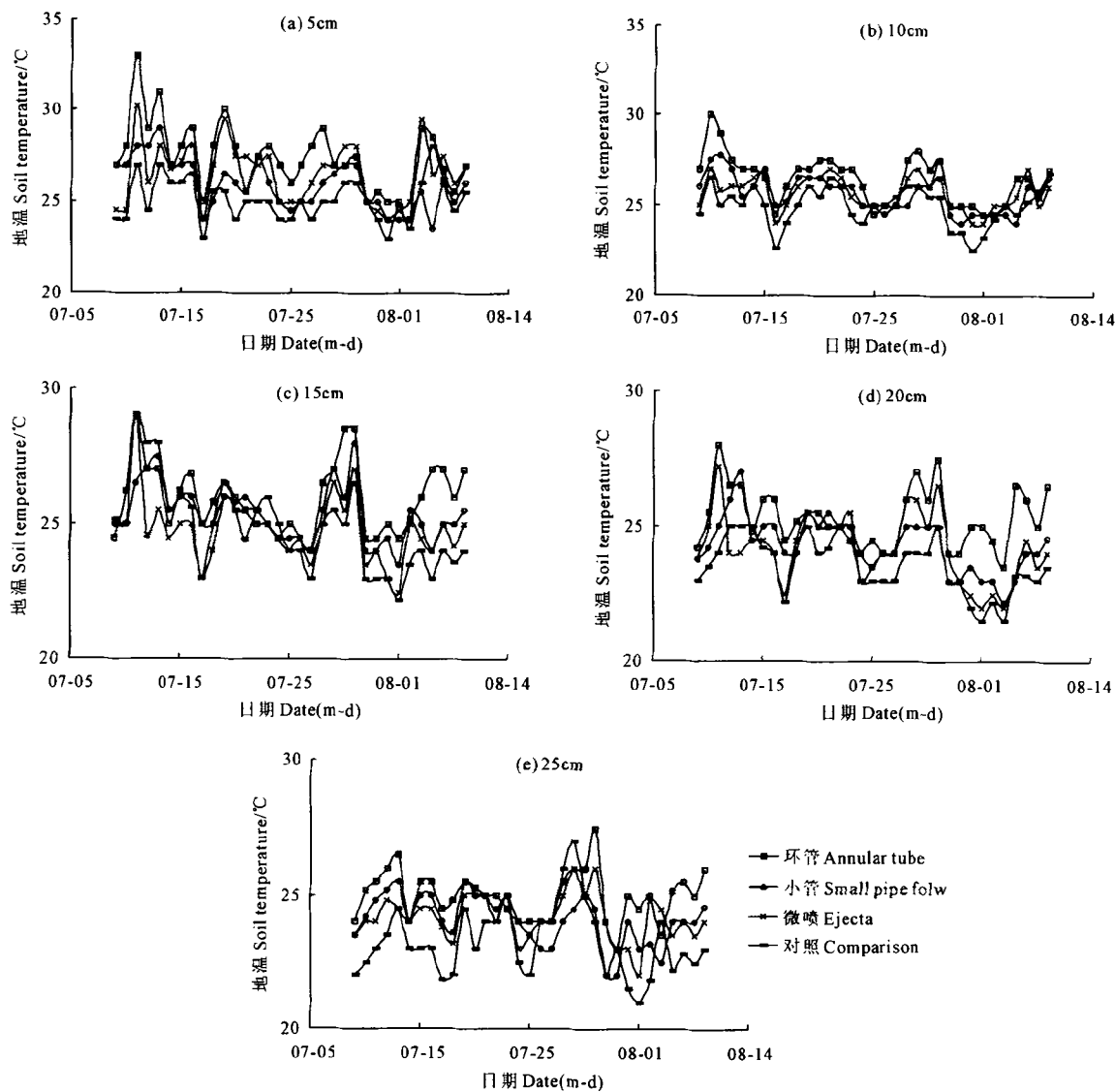


图 1 不同灌溉技术下不同土层深度地温变化

Fig.1 The soil temperature changes with different irrigation techniques at different soil depth

试验于 2012 年 3 月开始进行,试验区面积 0.33 hm^2 ,供试树种为生长势和树体大小较为一致的 11 年生香梨树,株行距为 $4\text{ m} \times 6\text{ m}$,折合密度 $420\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.2 试验设计

试验采用地面 3 种灌溉技术,共 3 个处理,其中微喷灌水处理是沿树行东侧布置 1 条毛管,毛管管径为 16 mm ,在正对每棵主干 1 m 处布置一个射程为 2 m 、流量 $40\text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 的旋转微喷头;环管地表滴灌采用毛管 16 mm 的滴灌管,滴头间距 30 cm ,滴头流量 $3.2\text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 。环管绕树体一周,直径为 1.2 m ;小管出流采用 4 mm 毛管,绕树体四周布置四条小管,流量 $8\text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$,3 个处理的灌溉定额均为 $10\,650\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,灌水周期 10 d 。

对照处理采用当地大水漫灌灌溉定额 $14\,400\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,生育期共灌水 6 次。

1.3 试验内容与方法

1.3.1 土壤含水率 土壤含水量采用 CNC-503D 型中子仪定期监测。每个处理在香梨主根一侧布置四根中子管,距离主干 50 cm ,每根中子管的观测深度为 $0 \sim 20\text{ cm}$ 、 $20 \sim 40\text{ cm}$ 、 $40 \sim 60\text{ cm}$ 、 $60 \sim 80\text{ cm}$ 、 $80 \sim 100\text{ cm}$ 。土壤含水量从 2012 年 4 月 20 日开始,2012 年 8 月 31 日止,每次灌水后测定其土壤含水量。此外,在各个生育期选择一个灌水周期进行连续测定。

1.3.2 土壤温度 采用套装曲管地温计,地温计均埋设在树东侧距主干 30 cm 处,于第一次灌水后开始到香梨采收,平时每天观测 1 次,测定时间为 $20:00$,每 5 d 观测土温的日变化过程,并在各个生育期选择一个灌水周期连续测定,观测时间从 $8:00$ 到 $20:00$,每 2 h 测定 1 次,测定层次分别为 5 、 10 、 15 、 20 cm 和 25 cm 。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉技术不同土层地温变化

不同灌溉技术下不同深度土层温度 $20:00$ 时果实膨大期变化曲线如图 1 所示。由图可知,各层土壤温度随着气温变化其变化趋势基本保持一致,且土壤温度随着深度的递增而保持一定幅度的下降,这是由于土壤浅层的垂直温度梯度远比空气大,土壤的热容量比空气大 1000 倍,深层的热通量较表层大为减弱,土壤温度梯度随深度增加而减小^[1]。在各土层上不同的灌溉技术对土壤的湿润范围不同,但表现出一定的规律性,基本表现为环管温度最大,对照最小,小管和微喷居中。其中在 5 cm 土层深度上,由于表层受气温影响较大,因此各处理的波动较大,其各处理间平均值差值最大为 2.3°C 。在 10 cm 和 15 cm 深度上,地温变化幅度呈减小趋势,地温降低明显,其各处理平均值最大差值分别为 1.46°C 和 1.09°C 。随着土层深度的加深,在 20 cm 和 25 cm 深

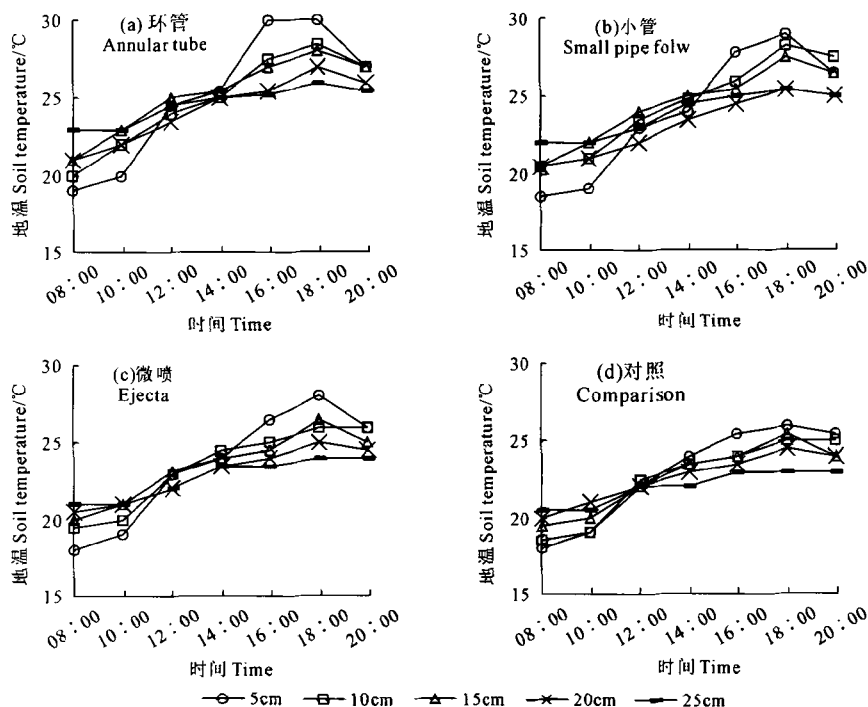


图 2 不同灌溉技术下不同土层地温日变化

Fig.2 The temperature diurnal variation with different irrigation techniques at different soil layer

度上,地温波动幅度较为平缓,各处理间最大相差分别为 1.74℃和 1.73℃。四个处理单独来看,以环管土壤温度最高,5 cm 和 25 cm 深度上土壤温度平均值分别为 27.39℃和 24.98℃,而对照土壤温度最低,分别为 25.08℃和 23.25℃。

2.2 不同灌溉技术不同土层深度土壤温度日变化趋势

不同灌溉技术下不同土层地温日变化如图 2 所示,土壤不同深度土温的日变化是地表散热和吸热之间动态变化的结果,白天辐射强度高,地表散热小,吸热大,因而表层土温升高;夜间地表散失的热量大于吸收的热量,因而表层土温降低。从图 2 可

看出,在表层 5 cm 土层上 16:00~20:00 土温波动较大,这是由于表层土壤受太阳直接照射,热量的吸收与散失及向地下传递均有一个时间过程,所以表层土温比其它深度土温的变化更大一些,因此沿土层深度方向,深度增加则土温变化趋于平缓。各处理土温变化规律趋于一致,在 8:00 时,表层 5 cm 温度最低,25 cm 深度温度最高。随着时间推移,各层温度逐渐增高,且表层 5 cm 处地温增长速度最快而 25 cm 处最慢,在 16:00 时已高于其它深度处土壤温度,且各处理均在 18:00 时达到最大值,在 20:00 开始下降。对比不同处理间土温日变化,环管处理土温在各时刻均大于其它 3 个处理,而对照最小。

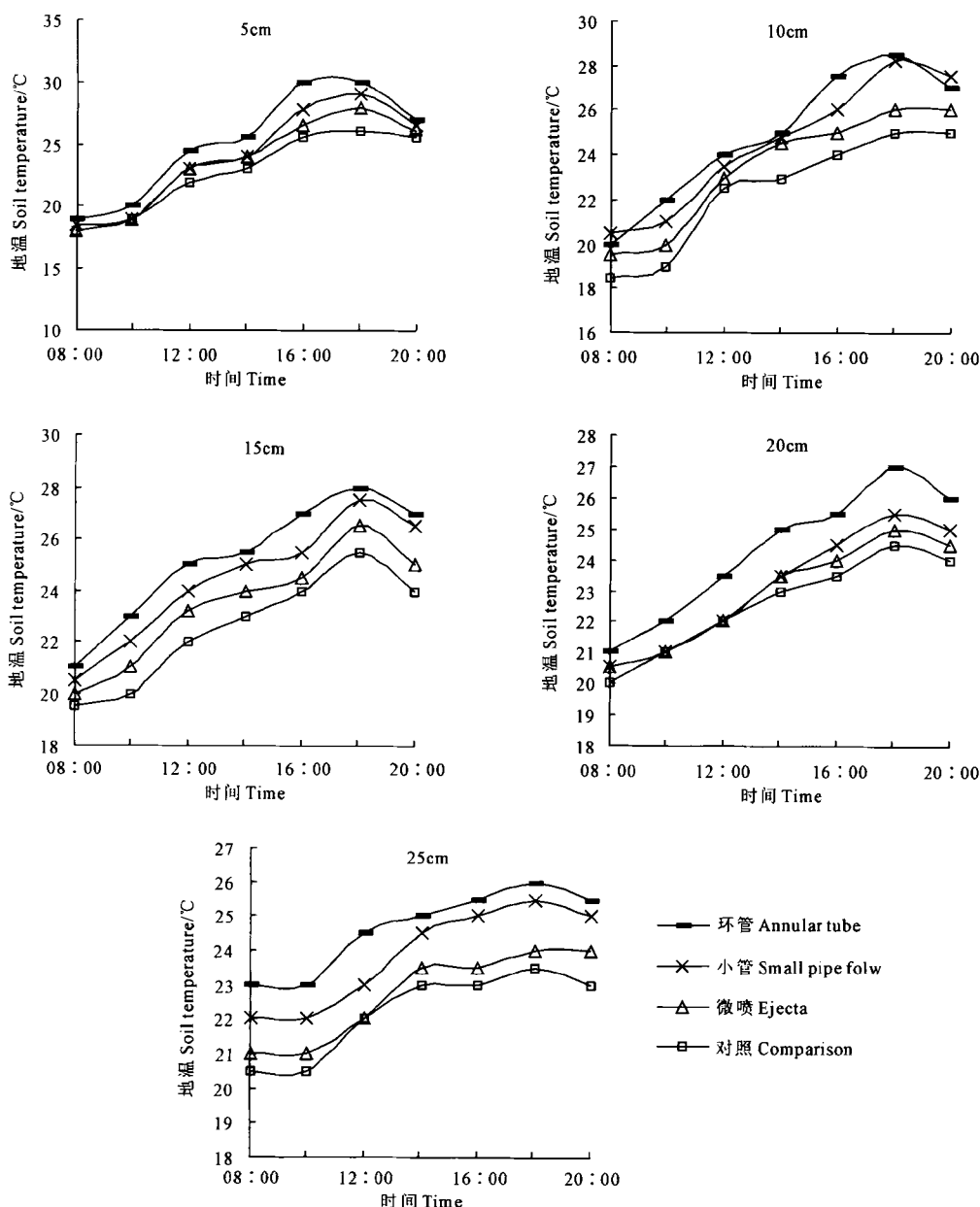


图 3 不同土层深度不同灌溉技术土壤温度变化趋势

Fig.3 The soil temperature alteration trend at different soil depth with different irrigation techniques

2.3 不同土层深度不同灌溉技术土壤温度日变化趋势

图 3 显示 3 种灌溉技术下不同土层深度土壤温度的日变化。由图 3 可见,在各个深度上各处理的地温大小顺序依次为环管 > 小管 > 微喷 > 对照,各处理随着深度的增加差值逐渐减小,在 5 cm 和 25 cm 处的最大差值分别为 4.5℃和 2.5℃。

不同处理、不同土壤深度和不同时刻温度变幅特征如表 1 所示。对于不同时间而言,最大变幅发

生在 8:00,将各时刻不同深度与对应深度处温度拟合成指数函数形式,发现环管和小管在 18:00 和 16:00时的相关系数最高,其次是 8:00 和 20:00,而微喷和对照分别在 20:00 和 8:00 时相关系数最高。在各处理中,12:00 和 14:00 的相关系数均最低,表明此时段温度随深度变化规律性不强,不符合指数关系,从整体上看仅环管判定系数高于对照。说明不同灌溉技术下各时段均与土温有明显的指数函数关系。

表 1 不同土层深度不同时刻温度变幅特征
Table 1 The temperature change amplitude characteristics of the different soil depth at different times

处理 Treatment	时间 Time	土壤深度/cm Soil depth					拟合回归公式 Fitted regression formula	判定系数 (R ²) The coefficient of determination
		5	10	15	20	25		
环管 Annular tube	8:00	19.0	20.0	21.0	21.0	23.0	$y = 18.241e^{0.009x}$	0.928
	10:00	20.0	22.0	23.0	22.0	23.0	$y = 20.204e^{0.006x}$	0.600
	12:00	24.5	24.0	25.0	23.5	24.5	$y = 24.449e^{0.00001x}$	0.020
	14:00	25.5	25.0	25.5	25.0	25.0	$y = 25.500e^{0.00001x}$	0.333
	16:00	30.0	27.5	27.0	25.5	25.2	$y = 30.649e^{-0.008x}$	0.925
	18:00	30.0	28.5	28.0	27.0	26.0	$y = 30.862e^{-0.007x}$	0.983
	20:00	27.0	27.0	27.0	26.0	25.5	$y = 27.729e^{-0.003x}$	0.800
小管 Small pipe folw	8:00	18.5	20.5	20.5	20.5	22.0	$y = 18.358e^{0.007x}$	0.784
	10:00	19.0	21.0	22.0	21.0	22.0	$y = 19.205e^{0.006x}$	0.600
	12:00	23.0	23.5	24.0	22.0	23.0	$y = 23.552e^{-0.001x}$	0.104
	14:00	24.0	24.8	25.0	23.5	24.5	$y = 24.446e^{0.000x}$	0.006
	16:00	27.8	26.0	25.5	24.5	25.0	$y = 27.921e^{-0.005x}$	0.785
	18:00	29.0	28.2	27.5	25.5	25.5	$y = 30.174e^{-0.007x}$	0.928
	20:00	26.5	27.5	26.5	25.0	25.0	$y = 27.793e^{-0.004x}$	0.651
微喷 Ejecta	8:00	18.0	19.5	20.0	20.5	21.0	$y = 17.757e^{0.007x}$	0.912
	10:00	19.0	20.0	21.0	21.0	21.0	$y = 18.917e^{0.005x}$	0.778
	12:00	23.0	23.0	23.2	22.0	22.0	$y = 23.558e^{-0.003x}$	0.649
	14:00	24.0	24.5	24.0	23.5	23.5	$y = 24.505e^{-0.002x}$	0.576
	16:00	26.5	25.0	24.5	24.0	23.5	$y = 26.850e^{-0.006x}$	0.934
	18:00	28.0	26.0	26.5	25.0	24.0	$y = 28.707e^{-0.007x}$	0.884
	20:00	26.0	26.0	25.0	24.5	24.0	$y = 26.795e^{-0.004x}$	0.947
对照 Comparison	8:00	18.0	18.5	19.5	20.0	20.5	$y = 17.418e^{0.007x}$	0.980
	10:00	19.0	19.0	20.0	21.0	20.5	$y = 18.436e^{0.005x}$	0.786
	12:00	22.0	22.5	22.0	22.0	22.0	$y = 22.249e^{0.000x}$	0.125
	14:00	24.0	23.5	23.5	23.0	22.0	$y = 24.158e^{-0.002x}$	0.894
	16:00	25.5	24.0	24.0	23.5	23.0	$y = 25.679e^{-0.005x}$	0.872
	18:00	26.0	25.0	25.5	24.5	23.0	$y = 26.832e^{-0.005x}$	0.792
	20:00	25.5	25.0	24.0	24.0	23.0	$y = 26.154e^{-0.005x}$	0.946

2.4 不同灌溉技术垂直方向地温变化趋势

土壤温度主要来源于太阳辐射,很少情况下是由生物热与地球内部热造成的。太阳辐射的能量源源不断地输送到地球表面,在大气与土壤界面形成

温度梯度,通过大气与土壤界面以热量的形式交换来实现,这就形成大气—上层土壤—下层土壤之间的不断能量传递的变化过程。图 4 为不同灌溉技术垂直方向土壤温度变化趋势。由图 4 可知,在 8:00

~12:00 时各处理 20 cm 土层地温逐渐升高,并在 16:00 时在土层 5~10 cm 处地温达到最高,随后逐渐降温,此时 15~25 cm 土层温度还在增加。这是由于大气的热容量远小于土壤的热容量所造成的。

为了更清楚地表达不同灌溉技术对地温的影响,利用不同时间段的地温增量来反映灌溉技术对地温的影响。表 2 为不同灌溉技术不同深度的土壤温度在 8:00~10:00、10:00~14:00、14:00~18:00、18:00~20:00 的地温增量。由表 2 中可见,各处理在 16:00 之前土壤温度一直处在升温的状态,在 8:00~10:00 时间段各处理中升温最高为 2℃,且随着土层深度的增加土壤温度的增量逐渐减小。在 10:00~14:00 各层土壤整体处在升温阶段,环管升温最快,其后是小管和微喷,对照升温相对较慢,但各处理均在表层 5 cm 达到最大温差,其值分别为 5.5℃、5℃、5℃和 4℃。在 14:00~18:00 各处理除个别 25 cm 土层没升温外,其余土层温度仍在继续增高,其增温幅度略低于 14:00 前的增温幅度,各处理温度增加的大小顺序依次为小管>环管>微喷>对照,温度增加值为 5℃、4.5℃、4℃和 3℃。在随后的 18:00~20:00 各处理土层温度开始下降,随着深

度的增加下降减缓,其中环管、小管和微喷均是在表层 5 cm 处,分别为 3℃、2.5℃和 2℃,而对照处理在 15 cm 土层下降最多,为 1.5℃。

2.5 不同灌溉技术各生育期平均土壤温度变化

不同灌溉技术下各生育期平均土壤温度如图 5 所示。从花期到果实成熟期,各处理均表现出一致规律性,表现为先增大后降低的趋势。如图 5(a)中所示,表层 5~10 cm 土层从花期到坐果期温度上升最慢,15~25 cm 相对平缓,从果实膨大期到果实成熟期温度变幅不大,进入果实成熟期后地温随着温度的降低开始缓慢降低,表层 5~10 cm 土层下降幅度大于 15~25 cm 土层,而且还可看出,25 cm 土层温度从花期到果实膨大期均呈上升趋势,在果实成熟期时温度值高于 15 cm 和 20 cm 土层,且其下降幅度低于其它深度土层。其它灌溉技术不同生育期的土壤温度与环管规律一致。从不同灌溉技术上看,环管在不同生育期不同深度土层上的温度均值大于其它各处理,小管和微喷在不同的生育期土壤温度有所差异,而对照在各处理不同生育期不同土层深度上均最小。

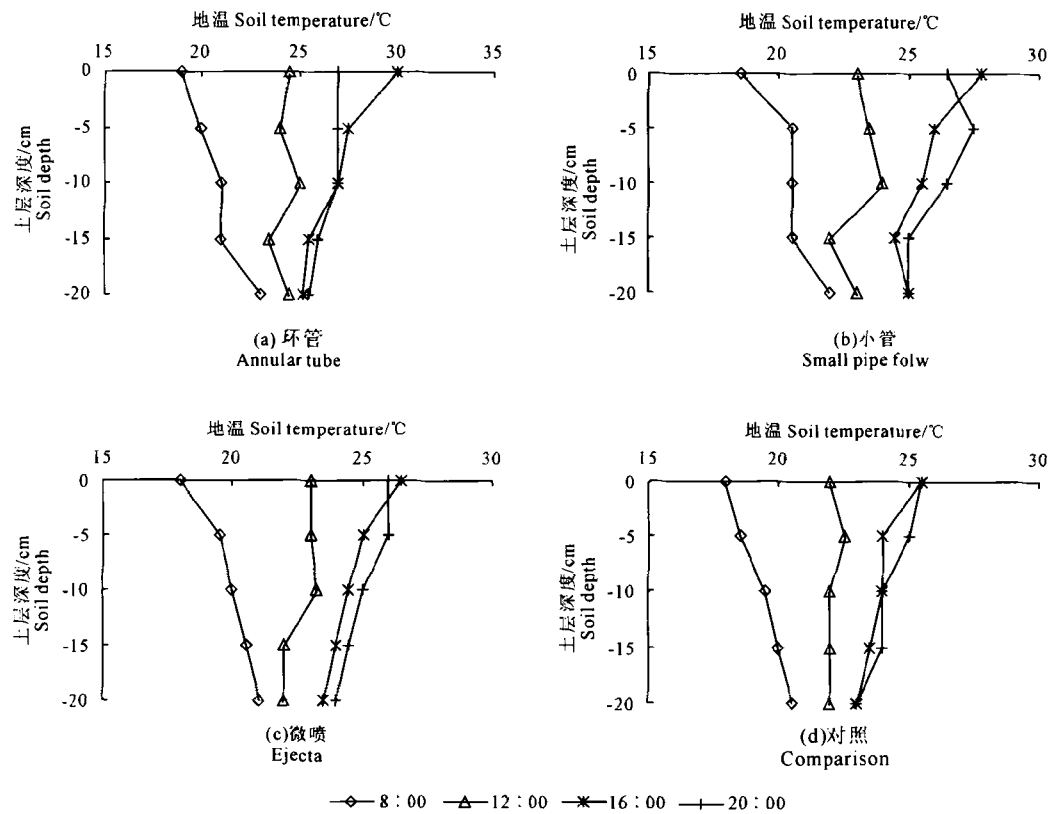


图 4 不同灌溉技术垂直方向土壤温度变化

Fig.4 The vertical direction soil temperature changes of different irrigation techniques

表 2 不同时间段的温度增量/℃
Table 2 The temperature increments at different period of time

处理 Treatment	土壤深度/cm Soil depth	8:00 – 10:00	10:00 – 14:00	14:00 – 18:00	18:00 – 20:00
环管 Annular tube	5	1.0	5.5	4.5	-3.0
	10	2.0	3.0	3.5	-1.5
	15	2.0	2.5	2.5	-1.0
	20	1.0	3.0	2.0	-1.0
	25	0	2.0	1.0	-0.5
小管 Small pipe flow	5	0.5	5.0	5.0	-2.5
	10	0.5	3.8	3.4	-0.7
	15	1.5	3.0	2.5	-1.0
	20	0.5	2.5	2.0	-0.5
	25	0	2.5	1.0	-0.5
微喷 Ejecta	5	1.0	5.0	4.0	-2.0
	10	0.5	4.5	1.5	0
	15	1.0	3.0	2.5	-1.5
	20	0.5	2.5	1.5	-0.5
	25	0	2.5	0.5	0
对照 Comparison	5	1.0	4.0	3.0	-0.5
	10	0.5	4.0	2.0	0
	15	0.5	3.0	2.5	-1.5
	20	1.0	2.0	1.5	-0.5
	25	0	2.5	0	0

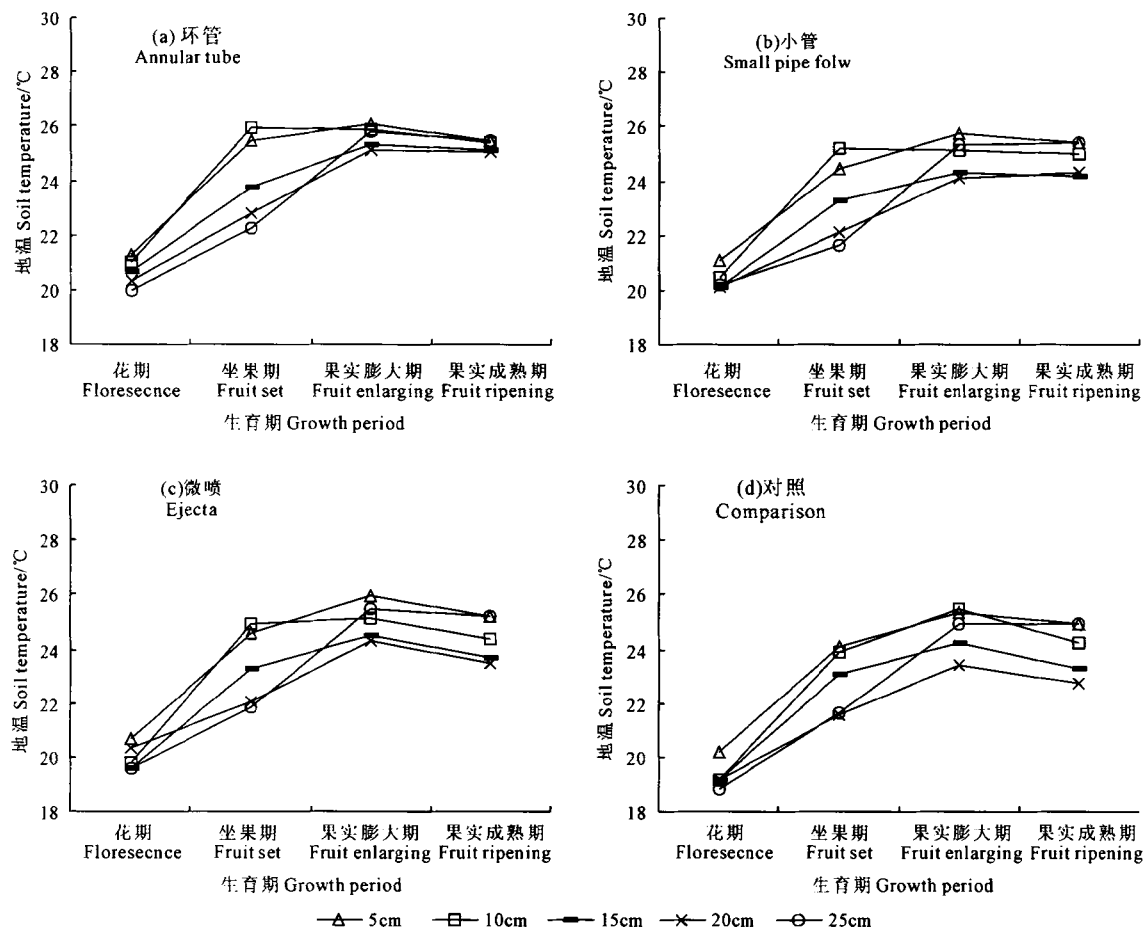


图 5 不同灌溉技术各生育期土壤温度变化
Fig.5 The soil temperature changes at different growth period with different irrigation techniques

3 结 论

通过以上分析结果表明,与对照相比,3种灌溉技术均能提高地温,在5 cm土层深度上环管、小管和微喷分别比对照平均高出2.3℃、0.8℃和1.5℃。各处理间地温差值随土层深度的增加而降低,其差值的峰值均出现在10:00~14:00,这时温度增幅最大,大小依次为环管>小管>微喷>对照,最大差值均在5 cm表层深度处,其值分别是5.5℃、5℃、5℃和4℃。各处理在不同生育期均表现出先增大后减小的趋势,且表层5~10 cm土层在花期到坐果期增幅大于其它时期,各处理中环管在不同生育期不同深度土层上的温度均值大于其它各处理,小管和微喷在不同的生育期土壤温度有所差异,而对照在各处理不同生育期不同土层深度上均最小,且各处理在各时刻不同深度与对应深度处土温具有明显的指数函数关系。

通过以上分析表明,采用不同的节水灌溉技术改变了土壤蒸发的上表面,不同的毛管布置使土壤的湿润体发生了改变,从而一定程度上影响了土壤与大气之间的热量交换,降低了土壤水分的垂直蒸发。因此采用节水灌溉技术均具有提高地温的作用。

参 考 文 献:

- [1] 张玉先,罗 奥,祁倩倩,等.不同耕作措施对黑龙江西部土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):93-96,172.

- [2] German A, Bollero, Donald G B. Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area, and plant development[J]. American Society of Agronomy, 1996, 88:385-390.
- [3] Wang Huixiao, Liu Changming, Zhang lu. Water-saving agriculture in China: an overview[J]. Advances in Agronomy, 2002, 75:135-168.
- [4] Willis W O, Wierenga P J, Vredenburg R T. Fall soil water: effect on summer soil temperature[J]. Soil Science Society of America, 1997, 41:615-617.
- [5] 祁 峰,岳 云,熊春蓉.不同覆膜方式对粮饲兼用玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):71-75.
- [6] 祁 峰,岳 云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.
- [7] 王俊鹏,孙景生,刘祖贵,等.不同麦秸覆盖量对夏玉米田棵间土壤蒸发和地温的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):95-100.
- [8] 雷金银,吴发启,王 健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40-45.
- [9] 张 伟,汪 春,梁 远,等.残茬覆盖对寒地旱作区土壤温度的影响[J].农业工程学报,2006,22(5):70-73.
- [10] 陈青云,钱振权.浮膜覆盖对地温、气温及蔬菜生长发育的影响[J].农业工程学报,1994,10(4):125-130.
- [11] 杨 凯,冯永忠,李永平,等.黄土高原坡耕地不同耕作措施对土壤温度和水分的作用效应[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):190-195.
- [12] 王建东,龚时宏,于颖多,等.地面灌溉水频率对土壤水与温度及春玉米生长的影响[J].水利学报,2008,39(4):500-505.
- [13] 张朝勇,蔡焕杰.膜下滴灌棉花土壤温度的动态变化规律[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):11-15.
- [14] 王卫华,王全九,刘建军.新疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):139-144.
- [15] 张 治,田富强,钟瑞森,等.新疆膜下滴灌棉田生育期地温变化规律[J].农业工程学报,2011,27(1):44-51.

(上接第6页)

参 考 文 献:

- [1] Poneleit C G, Egli D B. Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype[J]. Crop Sci, 1979, 19:385-388.
- [2] 崔俊明,张进忠,王立义,等.不同紧凑型玉米灌浆特性比较[J].玉米科学,1999,7(4):53-56.
- [3] Badu-Apraku B, Hunter R B, Tollenaar M. Effect of temperature during grain filling on whole plant and grain yield in maize(*Zea mays* L.) [J]. Can J Plant Sci, 1983:63:357-363.
- [4] 柯福来,马兴林,黄瑞冬,等.种植密度对先玉335群体籽粒灌浆特征的影响[J].玉米科学,2011,19(2):58-62.

- [5] 陈建忠,肖荷霞,毛彩云,等.钾肥对玉米籽粒灌浆的影响研究[J].玉米科学,2008,16(6):146-148.
- [6] 李绍长,白 萍,吕 新,等.不同生态区及播期对玉米籽粒灌浆的影响[J].作物学报,2003,29(5):775-778.
- [7] 杨恒山,高聚林,张玉芹,等.超高产春玉米氮磷钾养分吸收与利用的研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):15-20.
- [8] 张海艳,董树亭,高荣岐.不同类型玉米籽粒灌浆特性分析[J].玉米科学,2007,15(3):67-70.
- [9] 秦泰辰.玉米籽粒发育性状的遗传及产量性状关系的研究[J].作物学报,1991,17(3):185-191.
- [10] 杨铁钊.玉米籽粒灌浆性状与产量性状的相关及遗传研究[J].河南农业大学学报,1985,19(3):325-340.