

王英师,胡建芳,陈建中,等. 定额灌溉对苹果树冠层温度变化的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):108-111.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.11.026

# 定额灌溉对苹果树冠层温度变化的影响

王英师<sup>1</sup>, 胡建芳<sup>1</sup>, 陈建中<sup>1</sup>, 杜慧玲<sup>2</sup>

(1. 山西运城农业职业技术学院农林与工程系, 山西运城 044000; 2. 山西农业大学文理学院, 山西太谷 030801)

**摘要:**果树冠层温度是反映果树水分状况的重要指标,是影响果树枝叶生长、果实产量和品质的直接因素。为了研究定额灌溉用水量对果树冠层温度变化的影响,结合试验地果农的灌溉经验,设计定额灌溉用水量和灌溉时间,参照树形结构制定冠层温度实地观测方案。结果表明:定额灌溉用水量影响果树冠层温度变化,灌水少者冠层温度的垂直变化、日变化和方位变化均大于灌水多者。得出了定额灌溉对夏季苹果树冠层温度变化的影响规律,确定定额灌溉处理Ⅲ为最佳方案。

**关键词:**定额灌溉;冠层温度;垂直变化;日变化;方位变化

**中图分类号:**S661.107 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)11-0108-04

苹果树冠层温度是一个复杂的变化量,它由土壤-苹果树-大气连体之间的能量交换决定,取决于果树本身冠层结构和环境因子。冠层温度能反映果树水分状况,直接影响果树蒸腾速率,进而对果树生长、果实产量品质和病虫害发生发展产生影响。近些年来,果树科学工作者在果树冠层温度方

面进行了诸多研究,包括果树冠内温度分布状况<sup>[1-4]</sup>、树形树冠枝叶分布与冠内温湿度关系分析<sup>[5-6]</sup>、冠层温度与病虫害的发生发展关系探讨<sup>[7-8]</sup>,以及冠层微环境与果实产量品质的关系方面的研究<sup>[9-10]</sup>,均取得不少成果。这些研究成果为指导果树生产管理提供了理论依据和技术指导,但定额灌溉用水对果树冠层温度变化影响方面的研究相对较少。近几年来,我国北方果树栽培区制定了有效的灌溉方案,合理水资源分配,使得果树定额灌溉研究成为“精准农业”的一项重要技术。准确掌握定额灌溉用水对果树冠层温度变化的影响,探讨定额灌溉下果树冠层温度的变化规律,是果树科学研究中不容忽视的基础性工作。为了研究定额灌溉下果树冠层温度变化特征,在山西运城一个普通果园进行试验,通过分析试验

收稿日期:2017-09-24

基金项目:山西省农业科技攻关项目(编号:20140311008-8)。

作者简介:王英师(1962—),男,山西闻喜人,副教授,主要从事农业气象研究。E-mail:wys2228010@126.com。

通信作者:杜慧玲,女,博士,教授,主要从事作物调控与逆境生理研究。E-mail:duhuiling66@163.com。

[3]唐家良,丁德蓉. 水土保持药用植物——连翘[J]. 中国野生植物资源,2002,21(1):45,55.

[4]Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60(3): 324-349.

[5]张华新,刘正祥,刘秋芳. 盐胁迫下树种幼苗生长及其耐盐性[J]. 生态学报,2009,29(5):2263-2271.

[6]Guo H J, Tao H U, Jin-Min F U. Effects of saline sodic stress on growth and physiological responses of *Lolium perenne* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(1):118-125.

[7]孙晶,王庆成,刘强,等. NaHCO<sub>3</sub> 胁迫下朝鲜接骨木和茶条槭苗木的生长及生理响应[J]. 林业科学,2010,46(8):71-77.

[8]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[9]高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:15-16,142-143.

[10]刘行,张彦广. 盐胁迫对金露梅叶片酶活性和叶绿素含量的影响[J]. 西部林业科学,2016,45(4):95-100.

[11]许兴,米海莉. NaCl 胁迫对小麦幼苗生长、叶绿素含量及 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 吸收的影响[J]. 西北植物学报,2002,22(2):278-284.

[12]何树斌,刘国利,杨惠敏. 不同水分处理下紫花苜蓿刈割后残茬的光合变化及其机制[J]. 草业学报,2009,18(6):192-197.

[13]Muthukumarasamy M, Gupta S D, Pannerselvam R. Enhancement of peroxidase, polyphenol oxidase and superoxide dismutase activities by triadimefon in NaCl stressed *Raphanus sativus* L. [J]. Biologia Plantarum, 2000, 43(2):317-320.

[14]Singh S K, Sharma H C, Goswami A M, et al. *In vitro* growth and leaf composition of grapevine cultivars as affected by sodium chloride [J]. Biol Plant, 2000, 43(43):283-286.

[15]武德. 绒毛白蜡种苗耐盐碱性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2007.

[16]王阿丽. 四种连翘属植物抗旱性比较[D]. 保定:河北农业大学,2015.

[17]周丽霞,刘芳,高行英,等. 盐胁迫对密花连翘生长及生理特性的影响[J]. 天津农学院学报,2011,18(4):5-8.

[18]刘炳响. 白榆耐盐差异性研究[D]. 保定:河北农业大学,2008.

[19]文笑. 盐胁迫对台湾桉木幼苗生理生化和光合特性影响的研究[D]. 福州:福建农林大学,2011.

[20]刘昊华. 连翘的耐盐性研究[J]. 水土保持应用技术,2013(1):1-3.

[21]Petrusa L M, Winicov I. Proline status in salt-tolerant and salt-sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl [J]. Plant Physiol Biochem, 1997, 35(4):303-310.

[22]傅秀云,崔光泉,林昶. 冬小麦耐盐力与脯氨酸含量的关系[J]. 山东农业科学,1988(2):5-7.

数据,得到定额灌溉对苹果树冠层温度变化的影响规律,为探讨定额灌溉下果树科学管理提供基础依据和决策支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 场地概况

试验场地选在山西省运城市临猗县一个普通果园,果园地处 35°20'N、110°42'E,多年平均气温为 12.8℃,属于半干旱半湿润气候,年平均降雨量为 460 mm 左右,土壤质地为中壤,1 m 土层内的田间持水率为 23.5%,土壤干密度为 1.38 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 果树概况

供试果树为长富 2 号,树龄 15 年,行距 4 m,株距 3.5 m,树形为小冠疏层形,树势强壮,3 层主枝,主干高 50 cm,树高 2.3~2.5 m,主枝层间距 80~100 cm,冠层长宽各约为 3 m,树冠厚度为 2 m 左右。

### 1.3 灌溉设计

试验在 2016 年进行,设计 3 个定额灌水处理,灌溉湿润层深度为 40、60、80 cm,对照为充分灌水,灌溉湿润层深度为 100 cm 左右。定额灌溉用水量计算公式为: $M=667 \times n \times h(\theta_{\max} - \theta_{\min}) \times 15$ ,其中  $M$  为单位面积定额灌水量, m<sup>3</sup>;  $n$  为计划湿润层土壤的干密度, g/cm<sup>3</sup>;  $h$  为计划湿润层深度, cm;  $\theta_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$  分别为土壤最大含水率、最小含水率。试验灌溉日期和定额灌水量见表 1。

表 1 灌溉日期和定额灌水量

处理	5 月 20 日用水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	7 月 10 日用水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )
对照	56.1 × 15	61.7 × 15
I	22.5 × 15	24.7 × 15
II	33.7 × 15	37.0 × 15
III	44.9 × 15	49.3 × 15

### 1.4 冠层温度观测

果树冠层温度采用 JK-24U 多路温度测试仪进行定时定点观测,用手持式温度仪进行补充观测。单株树冠内分 3 层固定布置 12 个温度观测点,距树干 90 cm 处分东南西北 4 个方位,各层分别距地面 80、150、200 cm。定时温度观测时间为北京时间,间隔为 30 min。

### 1.5 数据处理

温度观测数据采用四舍五入法保留 1 位小数。数据采用 SPSS 进行统计分析,用 Excel 进行图表制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 定额灌溉对冠层温度垂直变化的影响

为了研究定额灌溉对冠层温度垂直变化的影响,在原有冠层温度观测的基础上,于 6 月 9 日(晴天)逐时加测了树冠中心(树干)位置不同高度的温度,观测位置分别距离地面高度 30、50、80、150、20、250 cm,简称高度 1~6。图 1 是 10:00 苹果树冠层温度垂直分布变化曲线,可以看出树冠上层温度高,下层温度低,树冠上下层之间温度变化大于相同高度间大气层温度变化;灌溉用水量小的处理冠层温度变化幅度大,灌水量大的冠层温度变化幅度小。由于灌水量影响土壤含水量、果树新梢枝叶生长、叶片厚度及树体含水量等,在太阳辐

射作用下,果树蒸腾速率发生差异,导致果树冠层温度产生变化。在 10:00,果树冠层温度最大变化在高度 4、5 之间。高度 3 以上树冠温度高于大气温度,高度 3 以下的树冠温度接近或低于大气温度。各高度之间、各处理之间冠层温度存在差异,处理 I 在高度 4、5 之间温差是 3.6℃,处理 II 是 3.4℃,处理 III 是 3.1℃,对照组是 2.9℃,各处理与对照组相比分别增温 6.8%、20.6% 和 24.1%,处理 I 与处理 II 之间差异不明显,处理 I 与处理 III、对照组之间差异明显。处理 I 在高度 2、3 之间温差是 1.0℃,处理 II 是 0.9℃,处理 III 是 0.6℃,对照组是 0.5℃,处理 I 与处理 II 之间差异不明显,处理 I 与处理 III、对照组差异明显。到 12:00,果树冠层垂直温度变化与上午之间出现差异(图 2),树冠层高度 4、5 之间温差缩小到 0.5~1.5℃,灌水少者温差大,灌水多者温差小,这是因为在太阳直射下,灌水较多的果树叶片蒸腾速率较大,温度相对较低。树冠底部(高度 2、3 之间)温差增大到 2.1~3.1℃,灌水少者温差小,灌水多者温差大。树冠底部温差增大反映了冠层热量交换特征,灌水较多的果树,枝叶生长量大,树冠内膛蒸腾热量不易扩散,加上枝叶较多易遮挡太阳光,造成底层增温不明显,导致温差增大。此外,树冠底部温度低于大气温度,上层树冠温度高于大气温度,转变拐点出现在高度 3 左右,高度 2、3 之间树冠温差在处理 I 条件下是 2.1℃,处理 II 是 2.3℃,处理 III 是 3.0℃,对照组是 3.1℃,处理 I 与处理 II 之间差异不明显,与处理 III 和对照组差异明显。到 15:00,随着太阳辐射减弱,果树冠层温度下降,各冠层温度普遍比 12:00 时的低,树冠各层之间温差缩小,果树冠层温度均低于大气温度。各处理之间其变化程度不同,处理 I 树冠层高度 4、5 之间温差为 0.6℃,处理 II 是 0.5℃,处理 III 是 0.3℃,对照组是 0.2℃,处理 I 与处理 III、对照组差异明显。处理 I 在树冠底部高度 2、3 之间温差是 1.9℃,处理 II 是 2.0℃,处理 III 是 2.2℃,对照组是 2.3℃,其特征与中午相似(图 3)。日落后,果树冠层温度变化明显小于白天冠层温度变化。冠层温度受大气温度和果树本身放射辐射的影响。19:00—24:00 冠层温度降低 3.0℃左右,各定额灌溉处理间的差异不大,并且果树冠层降温幅度大于大气降温幅度。后半夜之后,果树冠层内不断有水气凝结,凝结潜热释放使得果树冠层温度有所增加,果树冠层温度大于大气温度,灌水多的果树冠层温度大于灌水少的果树冠层温度(图表略)。在阴雨天,没有太阳辐射,树冠各层之间温度变化幅度小,规律性不明显;在多云天气条件下,果树冠层高度 5 处温度变化幅度大,树冠底部温度变化小,其变化程度与太阳辐射强度、光照时间、天空云量等有关,在此不展开分析。

### 2.2 定额灌溉对冠层温度日变化的影响

果树冠层温度日变化与天气变化有关,晴天时果树冠层温度日变化呈单峰曲线型,日出后冠层温度随太阳辐射增强而升高,在 12:00—13:00 果树冠层温度达到最大值,午后随着太阳辐射减弱,冠层温度呈下降趋势。图 4 是 6 月 9 日果树冠层温度逐时变化动态,可见在 09:00 前不同定额灌水处理下的冠层温度差异不明显,最大差值不超过 1.0℃。在 10:00 后,各处理下的冠层温度差异开始显现,在 10:00—11:00 之间,处理 I 树冠温度增加 4.8℃,处理 II 增加 4.6℃,

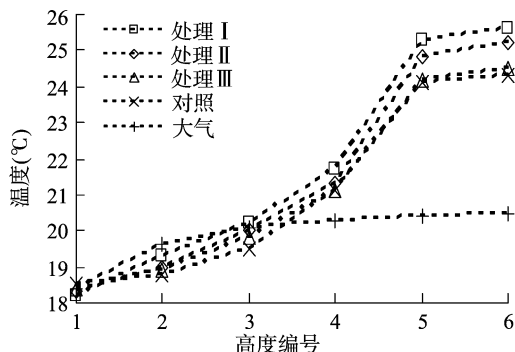


图1 6月9日10:00 定额灌溉下不同高度冠层温度变化

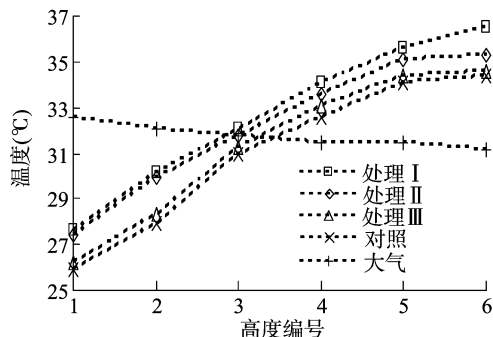


图2 6月9日12:00 定额灌溉下不同高度冠层温度变化

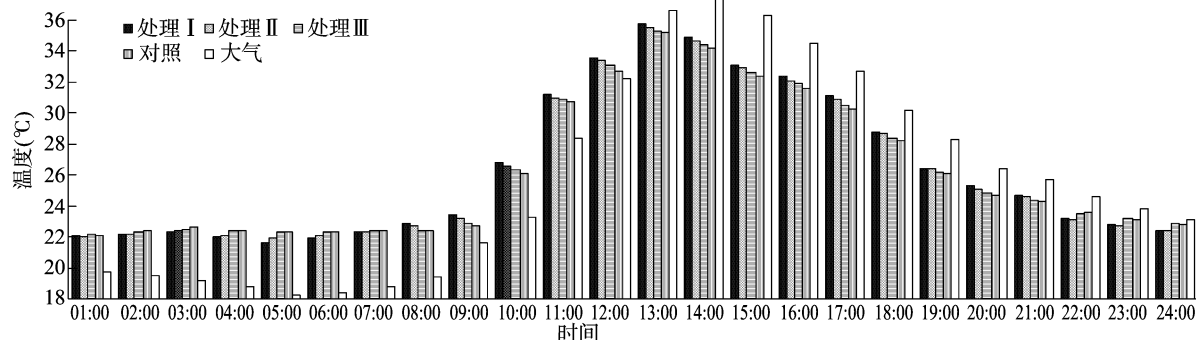


图4 6月9日冠层温度日变化

09:00—11:00, 果树冠层持续高温时间延长。图5是7月26日10:00—16:00 逐时温度变化曲线, 09:00—11:00 处理 I 增温 4.7 °C, 处理 II 增温 4.5 °C, 处理 III 增温 4.2 °C, 对照组增温 4.0 °C。灌水少的果树在 12:00 左右冠层温度达到最大值, 比夏初果树冠层温度最大值出现的时间提早, 这种提早现象与果树蒸腾速率有关, 可能是果树应对高温和体内水分亏损的表现; 灌水多的果树冠层温度在 13:00 达到最高值, 与夏初出现的时间接近。夏初冠层温度大于 35.0 °C 的持续时间为 1~2 h, 在盛夏, 由于基础温度高, 容易形成冠层高温, 冠层温度大于 35.0 °C 的持续时间在 4~5 h 左右, 对果树的生理生化过程影响较大。

在阴雨天, 果树冠层温度日变化缓慢, 不同定额灌溉处理下的冠层温度基本无差异。这是因为阴雨天没有太阳直接辐射, 大气温度日变化幅度缩小, 果树枝叶吸收和放射辐射变弱。白天果树冠层温度接近大气温度, 树冠上下层之间温度差异很小, 没有晴天那么剧烈。在后半夜至日出前, 果树冠层温度变化不超过 1.5 °C, 后半夜有凝结潜热释放引发冠层温度上升, 但升温幅度超过 0.3 °C。在多云天气条件下, 果树冠层

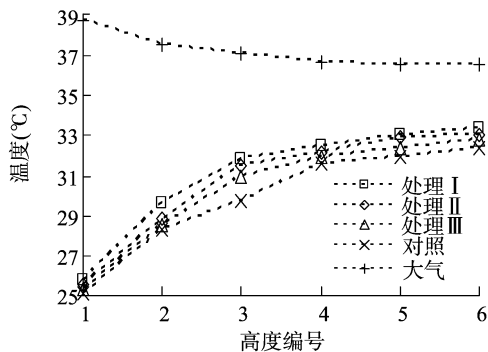


图3 6月9日15:00 定额灌溉下不同高度冠层温度变化

处理 III 增加 4.2 °C, 对照组 4.0 °C, 处理 I 比其他处理和对照组分别多增温 7.2%、14.3% 和 19.0%, 处理 I 与处理 III、对照组之间差异显著。13:00 树冠温度达到峰值, 各处理之间最高温差值约为 1.0 °C。午后随太阳辐射强度的降低, 冠层温度开始回落, 不同灌水处理间冠层温度差异减小。日落前 1~2 h 由于太阳辐射强度降低很快, 冠层温度变化较大, 在 17:00—19:00, 处理 I 冠层温度降低 2.4 °C, 处理 II 降低 2.2 °C, 处理 III 降低 1.8 °C, 对照组降低 1.6 °C, 处理 I 比其他处理多降温 0.2、0.6 °C, 比对照组多降温 0.8 °C。

进入盛夏, 晴天时果树冠层温度日变化与夏初相似, 不同之处是冠层温度随太阳辐射增强而升高的时间集中在

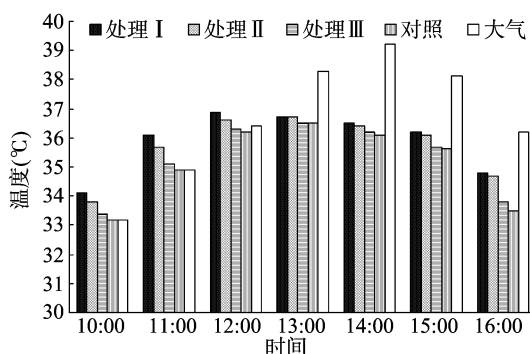


图5 7月26日高温期间冠层温度变化

温度日变化曲线不是单峰型, 呈不规则变化, 其变化程度与太阳辐射强度、直射时间长短、天空云量等因子有关, 在此不作分析。

### 2.3 定额灌溉对冠层内不同方位温度变化的影响

定额灌溉影响果树冠层温度垂直变化和日变化, 还影响冠层内不同方位温度变化。太阳辐射是影响果树冠层温度变化的重要因素之一, 白天太阳光入射角的变化使树冠有向光和背光之分, 引起树冠内各个方位温度分布的不一致。定额

灌溉用水量的多少影响果树生长与枝条长短,影响树膛内光照分布和热量扩散。试验地 6 月初,日出时太阳方位角是东偏南 27°左右,上午时段树冠东南方位温度高于西北方位。在 6 月 9 日 10:00 和 15:00 分别观测距离地面 150 cm 处果树冠层内东南西北 4 个方位的温度变化,详见表 2。

表 2 不同时间各处理各方位的观测温度

时间	处理	温度(℃)			
		东	南	西	北
10:00	对照	21.5	21.9	20.0	20.4
	I	22.4	22.8	20.6	21.3
	II	22.1	22.6	20.4	20.9
	III	21.7	22.3	20.1	20.6
15:00	对照	34.3	35.5	35.7	34.6
	I	35.2	36.3	36.5	35.3
	II	34.9	36.1	36.4	35.2
	III	34.5	35.7	35.9	34.8

由表 2 可以看出,10:00 时,处理 I 东、南、西、北各方位温度差异在 0.4~2.2℃之间,处理 II 在 0.5~2.2℃之间,处理 III 在 0.5~2.2℃之间,对照组在 0.4~1.9℃之间,并且是灌水少的温度差异大,灌水多的温度差异小;而不同处理之间同高度、同方位的温度变化范围在 0.1~0.9℃之间,不同处理之间的温度变化小于不同方位之间的温度变化。到 15:00,太阳方位由东偏南转到南偏西,西南方位的温度大于东北方位,同处理中不同方位形成的温度差异在 0.1~1.3℃之间,不同处理之间的温度差异在 0.1~0.9℃之间。以树干为中心,分析东西两侧温度变化,上午树冠东侧温度由冠外向冠内逐渐降低,而在树冠西侧由冠外向冠内,温度逐渐升高,这与太阳光入射方位和果树枝叶生长量有关。到午后树冠东西两侧温度变化与上午相反。

为了分析影响冠层内不同方位温度变化的原因,用 7 月上中旬晴天 10:30 的观测数据,进行各处理下果树冠层正东方位温度与太阳方位角、各处理下果树冠层正东方位温度与灌水量之间的相关性分析,相关关系式和相关系数见表 3,由此可见太阳方位角与冠层内正东方位温度变化有关,但相关性没有与灌水量之间的相关性高。灌溉用水量影响果树生长,改变树膛内光照分布,对蒸腾速率和热量扩散产生作用,在一定程度上对冠层内不同方位温度变化的影响大于太阳方位角的影响。

表 3 冠层正东方位温度与太阳方位角、灌水量的相关关系

相关因子	相关关系式	$r^2$
处理 I 温度、太阳方位角	$y = 0.3714x + 25.867$	0.6457
处理 II 温度、太阳方位角	$y = 0.3829x + 24.548$	0.6312
处理 III 温度、太阳方位角	$y = 0.3751x + 25.291$	0.5988
处理 I 温度、处理 I 灌水量	$y = 0.543x + 23.482$	0.8645
处理 II 温度、处理 II 灌水量	$y = 0.582x + 23.703$	0.8692
处理 III 温度、处理 III 灌水量	$y = 0.587x + 24.181$	0.8764

在多云天气条件下,太阳直接辐射在果树冠层内各方位分布变化较快,各方位的温度变化没有统一规律。在阴雨天,

太阳直接辐射很弱,果树冠层没有向光和背光之分,果树冠层内温度分布基本均匀,冠层内各方位的温度变化不明显。

### 3 结论

#### 3.1 定额灌溉处理下果树冠层温度变化特征

晴天时冠层温度变化呈单峰曲线,规律明显,上午变化大于下午变化,白天变化大于夜间变化。在阴雨天气或多云天气果树冠层温度变化规律不明显。在不同处理之间,灌水量少的冠层温度变化幅度大,灌水量多的变化幅度小。

#### 3.2 定额灌溉影响果树冠层温度垂直变化和日变化

晴天时,上午果树冠层吸收太阳辐射,树冠上层增温快,下层增温慢,灌水量少的增温幅度大于灌水量多的,各处理间温度变化在 0.5~1.2℃。12:00 左右冠层温度达到最大值,灌水量少的树冠上下层温差小,灌水量多的上下层温差大。日落后,果树枝叶释放辐射降温,灌水量少的降温量大于灌水量多的,导致不同处理之间的果树冠层温度变化幅度不一致。

#### 3.3 定额灌溉影响树冠内不同方位的温度变化

相同处理的果树冠内不同方位之间温度差异在 10:00 为 0.4~2.2℃,不同处理间冠层温度差异在 0.1~0.9℃之间,灌水量少的差异大于灌水量多的。到 15:00 时同处理中不同方位形成的温度差异较上午的差异小,而不同处理之间的温度差异与上午基本相同。

#### 3.4 定额灌溉对果树春季、秋季冠层温度变化的影响

由于本试验没有观测定额灌溉是否对果树新梢旺盛生长期和果实采摘期冠层温度变化产生影响,而在这 2 个时期果树冠层结构变化大,易造成微环境状况的变化,需要进一步完善试验方案并进行相关研究。

### 参考文献:

- [1] 李光晨,王茂兴,张福旺. 苹果树冠内温度的分布[J]. 北京农业大学学报,1995,21(4):1-2.
- [2] 郭秀明,周国民,丘耘,等. 苹果结果期果园温度空间分布规律[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):483-486.
- [3] 邓强辉,潘晓华,石庆华. 作物冠层温度的研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(6):1162-1165.
- [4] 郭秀明,樊景超,周国民,等. 晴天苹果树冠层温湿度时空分布规律研究[J]. 中国农学通报,2016,32(35):188-192.
- [5] 何凤梨. 桃开心形冠层微气候与果实产量品质关系的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007:21-26.
- [6] 孙志鸿,魏钦平,杨朝选,等. 红富士苹果树冠枝(梢)叶分布与温度、湿度的关系[J]. 果树学报,2008,25(1):6-11.
- [7] 刘雯斐,李保国,齐国辉,等. 微域环境温湿度与苹果果面碎裂的关系[J]. 果树学报,2008,25(4):458-461.
- [8] 高月娥,李保华,董向丽,等. 温度和湿度对越冬后苹果褐斑病菌产孢的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(7):1367-1374.
- [9] 孙志鸿. 苹果树冠微气候与果实品质关系研究[D]. 北京:中国农业科学院,2005:8-13.
- [10] 刘娟,廖康,安晓芹,等. 轮台白杏树冠微气候与产量和品质的关系[J]. 园艺学报,2012,39(增刊1):2599-2601.