

张超博, 李有芳, 李思静, 等. 土壤管理方式对伏旱期柑橘生长及土壤温度和水分的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(3): 45-52.
ZHANG Chaobo, LI Youfang, LI Sijing, et al. Effects of different soil managements on soil temperature, moisture and citrus growth during summer drought season[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(3): 45-52.

土壤管理方式对伏旱期柑橘生长及土壤温度和水分的影响

张超博^{1†}, 李有芳^{1†}, 李思静¹, 袁 梦¹, 凌丽俐², 淳长品², 彭良志¹

(1 西南大学 柑桔研究所/中国农业科学院 柑桔研究所, 重庆 400712; 2 国家柑桔工程技术研究中心, 重庆 400712)

摘要:【目的】研究伏旱期柑橘园不同土壤管理方式对土壤温度、水分和柑橘 *Citrus reticulata* 生长的影响。【方法】试验地点位于重庆北碚, 以资阳香橙砧沃柑为材料, 2016 和 2017 年高温伏旱期采用清耕(对照)、铲草覆盖、化学杀草覆盖和自然生草 4 种土壤管理方式, 测定地表(0 cm)以及 10、20 和 30 cm 土层温度变化, 测定 0~10、10~20 和 20~30 cm 土层含水量、地表最大开裂宽度、柑橘根系活力和秋梢生长量, 统计不同土壤管理成本。【结果】土层越浅土壤温度和水分的波动越大。总体上, 不同土壤管理条件下各土层日平均温度、最高温度和温度日较差为清耕>化学杀草覆盖>铲草覆盖>自然生草; 在极端高温天气(气温 41 ℃)时, 清耕、化学杀草覆盖、铲草覆盖和自然生草的土壤最高温度分别为 69.6、45.6、37.5 和 35.0 ℃。各土层含水量以自然生草和铲草覆盖最高, 清耕最低, 清耕 0~10 cm 土层含水量显著低于其他处理。柑橘根系活力和秋梢生长量均为铲草覆盖>化学杀草覆盖>清耕>自然生草。土壤管理成本为清耕>自然生草>铲草覆盖>化学杀草覆盖。【结论】综合效果、成本与简便省力, 在高温伏旱期, 平地 and 缓坡橘园宜采用铲草覆盖。

关键词: 柑橘; 土壤管理方式; 伏旱; 土壤温度; 土壤水分; 根系活力
中图分类号: S666 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2019)03-0045-08

Effects of different soil managements on soil temperature, moisture and citrus growth during summer drought season

ZHANG Chaobo^{1†}, LI Youfang^{1†}, LI Sijing¹, YUAN Meng¹, LING Lili², CHUN Changpin², PENG Liangzhi¹
(1 Citrus Research Institute, Southwest University/Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China; 2 National Citrus Engineering Research Center, Chongqing 400712, China)

Abstract: 【Objective】To study the influences of different soil management methods on soil temperature, soil moisture and *Citrus reticulata* growth in citrus orchard during summer drought season. 【Method】The experiment was carried out in Beibei, Chongqing using Ziyangxiangcheng (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) Zhenwogan (*Citrus reticulata* cv. Orah) as the material. Four soil management systems, including rotary tillage weeding (CK), mechanical weeding mulch (MWM), chemical weeding mulch (CWM) and weed living mulch (WLM), were used during the summer drought seasons of 2016 and 2017. We measured the temperature at soil layers of 0 (surface), 10, 20 and 30 cm depth, the moisture at 0–10, 10–20 and 20–30 cm soil layers, the maximum crack width of surface, citrus root activity and autumn shoot growth, and summarized the costs of

收稿日期: 2018-11-06 网络首发时间: 2019-04-16 09:12:00
网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20190412.1740.014.html>
作者简介: 张超博(1992—), 男, 硕士研究生, E-mail: 1535508384@qq.com; 李有芳(1992—), 女, 硕士研究生, E-mail: 2479188983@qq.com; †对本文贡献相同; 通信作者: 彭良志(1963—), 男, 研究员, 硕士, E-mail: pengliangzhi@cric.cn
基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0202006, 2017YFD0202002); 国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-26-01A); 重庆市社会民生科技创新专项(cstc2016shmszx80004, cstc2017shms-xdny0352)

different soil management systems. 【Result】 The shallower the soil layer, the greater the fluctuation of soil temperature and water content. In general, the daily average temperature, maximum temperature and daily temperature range of each soil layer under different soil managements were CK > CWM > MWM > WLM. Under extreme high temperature weather (air temperature 41 ℃), the highest soil surface temperatures of CK , CWM , MWM and WLM were 69.6, 45.6, 37.5 and 35.0 ℃, respectively. The water contents of different soil layers were the highest in WLM and MWM, and the lowest in CK. The water content in 0–10 cm soil layer of CK was significantly lower than those of other treatments. For both citrus root activity and autumn shoot growth, the results were MWM > CWM > CK > WLM. The costs of different soil management systems were in order of CK > WLM > MWM > CWM. 【Conclusion】 Considering the effect, cost and operability, the flat or gentle slope citrus orchard should be practiced with MWM soil management during summer drought season.

Key words: *Citrus reticulata*; soil management; summer drought; soil temperature; soil moisture; root activity

土壤管理是柑橘 *Citrus reticulata* 栽培的重要环节,对柑橘园土壤改良^[1-2]、水土保持^[3]、节水抗旱^[4]和柑橘生长结果^[1-2]有重要影响,美国^[5]、澳大利亚^[6]、以色列^[7-8]等柑橘生产发达国家已发展出一套适合各自条件的柑橘园土壤管理模式,对柑橘的高产优质高效栽培起到了重要作用。我国柑橘产区雨水充沛,但降雨时间分布不均,高温伏旱明显^[9-10],且大多数柑橘园建在丘陵山地,雨季极易滋生杂草,果园生态条件与国外有很大不同,橘园土壤管理方式可供参考的国外经验少。为此,不少科研工作者在我国橘园土壤管理技术方面开展过研究,如清耕^[11]、秸秆覆盖^[12]、间作套种经济作物^[13]、种植绿肥^[14]、人工种草^[15]、自然生草^[16]和化学控草^[17]等。但由于近20年来人工成本大幅度上涨,目前国内柑橘生产上土壤管理方式已改为自然生草结合机械或化学控草为主,部分橘园采用清耕或伏旱前铲草覆盖。然而,目前对这几种橘园土壤管理方法缺乏系统性比较试验,特别是高温伏旱期被广泛采用的机械铲草、化学杀草和自然生草方法究竟哪种效果更好,因缺乏系统的试验比较数据,已成为基层柑橘农技人员和种植者经常问及的栽培问题。为此,我们在2016—2017年开展了本研究,旨在为柑橘园土壤管理提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验园概况

试验于2016—2017年在重庆市北碚区西南大学柑桔研究所试验果园进行,北碚地属亚热带季风气候,年降雨量1 000~1 200 mm,年平均气温18.2 ℃,4—7月上旬为雨季,7月中旬至9月上旬为高温伏旱期。试验树于2015年10月定植,平地,株距4 m×行距4 m,每2行树挖1条深度80 cm、宽度

150 cm的排水沟,定植品种为资阳香橙 *Citrus junos* Sieb. ex Tanaka 砧沃柑 *Citrus reticulata* cv. Orah,树高1.8~2.1 m,冠径0.8~1.1 m。土壤类型为水稻土,有机质22.13 g/kg、pH5.8,土壤肥力中等。

1.2 试验设计

设伏旱前(7月初)4种试验处理:清耕(对照)、铲草覆盖、化学杀草覆盖和自然生草。每年试验期间各处理的田间实施情况如下,1)清耕:5月和7月初各旋耕铲草1次,旋耕土深约10 cm,并将铲下的草挪开,使土壤完全裸露;2)铲草覆盖:7月前自然生草,7月初浅旋耕铲草(深度约5 cm),铲草留在原地覆盖地面;3)化学杀草覆盖:7月前自然生草,7月初喷200倍有效成分质量分数为30%的草甘膦除草剂将草杀死后覆盖在地面;4)自然生草:让草自然生长,草高度超过50 cm时刈割,5—8月共刈割2次。每处理2行树32株。试验地杂草种类主要为稗草、牛繁缕、马齿苋、狗尾草、马唐、牛筋草、空心莲子草等。2016年7月初,3个处理地面草密度约3 500株/m²,草高度25~45 cm;2017年7月初,3个处理地面草密度约2 800株/m²,草高度25~40 cm。

1.3 指标测定

2016年7月和2017年7月将ZDR-20温度自动记录仪(杭州泽大仪器有限公司)的感应探头安装在4个处理树冠南面滴水线下,在土深0(地表)、10、20和30 cm(仅2017年)共4个不同土层深度进行温度测定,定时自动记录温度变化,定期下载温度数据。记录7—9月高温伏旱情况,测定连续高温干旱10和15 d的土壤含水量。土壤含水量采用土钻法,在各处理区中部的株间、行间钻孔取样,取样深度30 cm,每10 cm取1个样,每处理重复6次。所取土样用铝盒装好称质量,置于烘箱105℃烘12h,冷却后再次称质量,计算土样绝对含水量;不定期

调查高温伏早期土壤表层开裂情况。采用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 法^[18] 在多日持续 39℃ 高温时段测定柑橘根系活力, 采集的是各处理粗度基本一致的细根根尖部位 0.5 cm。另外, 调查测定 8 月 15 日至 9 月 15 日期间萌发的秋梢数量、长度、粗度、叶片数量和相对叶绿素含量 (SPAD), 相对叶绿素含量用 SPAD-502Plus 便携式叶绿素测定仪测定, 测定的部位为秋梢顶部向下的第 3 片叶, 每个处理调查 7 株树。试验结束时计算不同土壤管理方式的总成本。

2016 年高温伏旱时期为 7 月 16 日至 9 月 2 日, 期间降雨量 195.2 mm, 最高气温≥35℃ 天数为 32 d。2017 年高温伏旱时期为 7 月 10 日至 8 月 30 日, 期间降雨量 204.7 mm, 最高气温≥35℃ 的天数为 43 d。

1.4 数据统计分析

试验数据用 Microsoft Excel 和 OriginPro9.0 进行数据处理和作图分析, 采用 SPSS18.0 软件进行 Duncan’s 差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 伏早期不同处理土壤温度变化

2.1.1 伏早期土壤日均温变化 连续 2 年的结果显示 (图 1、图 2), 不同处理在同一土层土壤日均温

差异较大, 总体为清耕>化学杀草覆盖>铲草覆盖>自然生草。在高温伏早期, 自然生草可以有效降低各土层日均温, 其次是铲草覆盖和化学杀草覆盖。2016 年, 清耕地表 (0 cm) 最高温度 (55.7℃) 出现在 7 月 25 日 14:30 (当天气象站最高气温 39℃), 10 cm 土层温度 34.6℃; 同一时刻化学杀草覆盖、铲草覆盖和自然生草的地表温度分别为 39.2、38.8 和 38.5℃, 分别比清耕地表低 16.5、16.9 和 17.2℃; 10 cm 土层温度分别为 32.2、30.8 和 31.1℃, 分别比清耕 10 cm 土层低 2.4、3.8 和 3.5℃。2017 年, 清耕地表最高温 (69.6℃) 出现在 8 月 21 日 14:30 (当天气象站最高气温 41℃), 10 cm 土层温度 48.7℃; 同一时刻化学杀草覆盖、铲草覆盖和自然生草的地表温度分别为 45.6、37.5 和 35.0℃, 分别比清耕地表低 24.0、32.1 和 34.6℃; 10 cm 土层温度分别为 37.7、32.7 和 29.5℃, 分别比清耕 10 cm 土层低 11.0、16.0 和 19.2℃。可见自然生草对降低高温伏早期地表和 10 cm 浅土层温度的效果最明显, 其次为铲草和化学杀草。2017 年清耕地表最高温度远高于 2016 年, 主要原因是 2017 年的最高温出现时, 除了气温更高外, 另一个重要原因是 8 月 9 日至 8 月 21 日持续高温, 表层土壤已严重干旱。

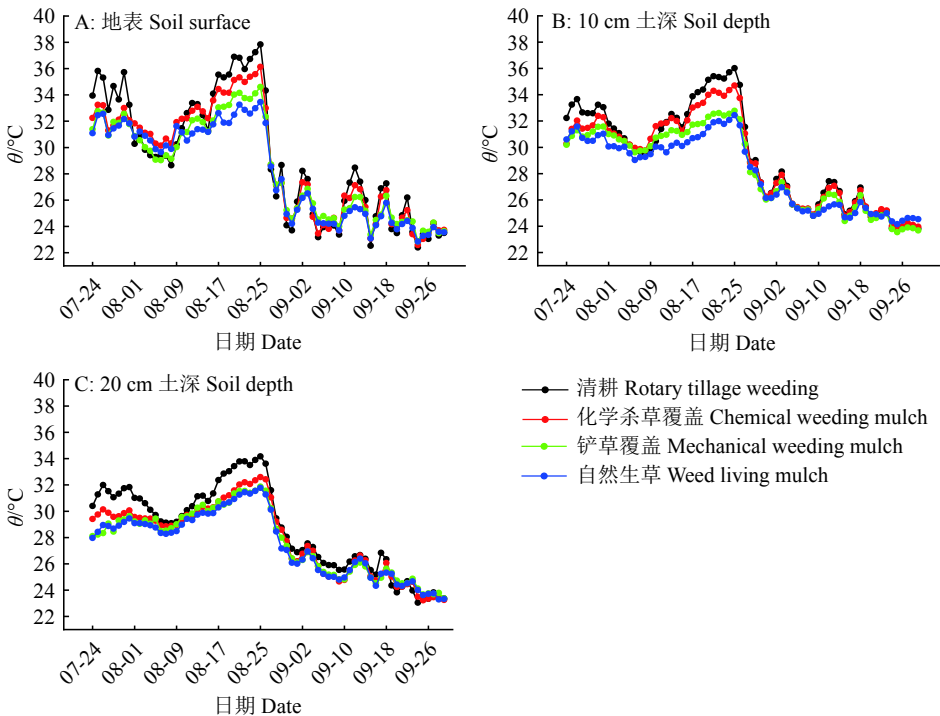


图 1 2016 年伏早期各处理土壤不同深度日均温变化

Fig. 1 Variations of daily average temperatures at different soil depths under different treatments during summer drought season in 2016

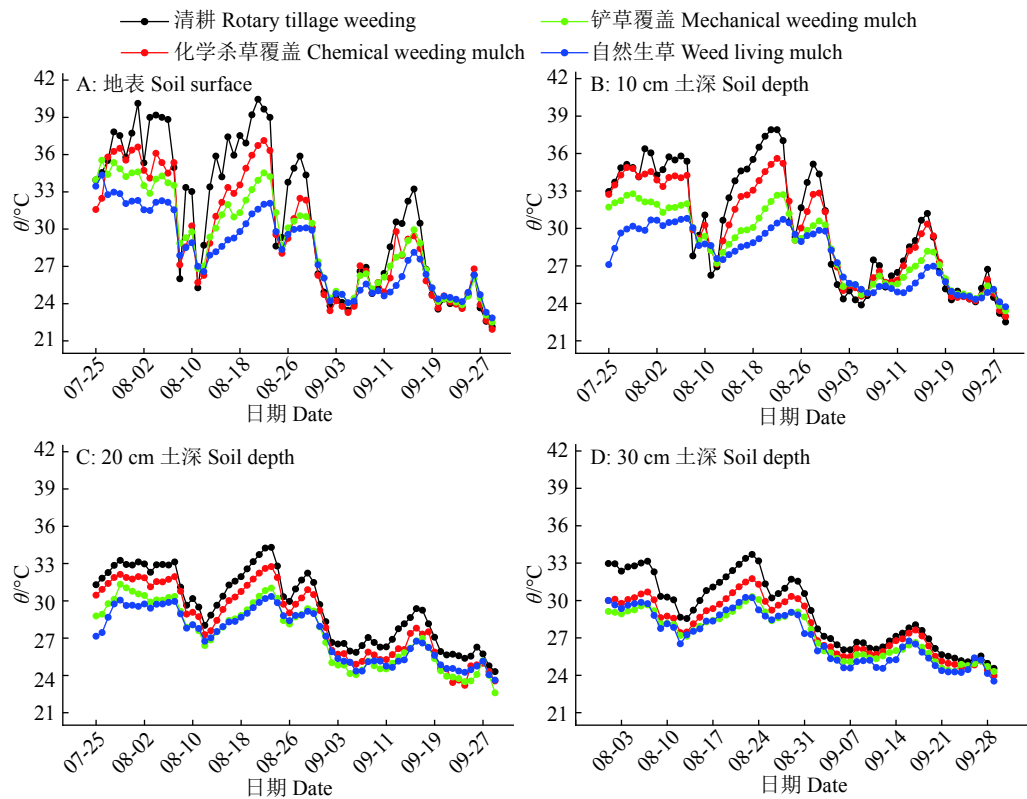


图 2 2017 年伏旱期各处理土壤不同深度日均温变化

Fig. 2 Variations of daily average temperatures at different soil depths under different treatments during summer drought season in 2017

2.1.2 伏旱期土壤温度日较差变化 试验结果表明, 伏旱期地表土壤温度日较差范围及日较差平均值均为清耕>化学杀草覆盖>铲草覆盖>自然生草, 10~30 cm 土层的温度日较差范围及日较差平均值也基本符合这一规律;但随着土层深度的增加, 土壤温度日较差范围快速收窄, 日较差平均值快速下

降;表明土层越浅土温的昼夜波动越大, 这种土温的昼夜波动以清耕最大, 自然生草最小。差异显著性分析显示, 地表温度日较差平均值均为清耕显著高于化学杀草覆盖, 化学杀草覆盖显著高于铲草覆盖和自然生草, 而后两者之间无显著差异 (表 1)。

表 1 2016、2017 年高温伏旱期各处理不同土层温度日较差¹⁾

Table 1 Daily ranges of temperatures at different soil depths under different treatments during summer drought season in 2016 and 2017

年份 year	土壤管理方式 ²⁾ Soil management	0 cm		10 cm		20 cm		30 cm	
		范围 Range	$\bar{x} \pm SD$	范围 Range	$\bar{x} \pm SD$	范围 Range	$\bar{x} \pm SD$	范围 Range	$\bar{x} \pm SD$
2016	1	1.9~28.7	13.58±7.25a	0.6~7.4	3.59±1.93a	0.4~3.5	1.72±0.73a		
	2	0.9~12.1	6.04±3.01c	0.5~4.2	2.16±0.90b	0.5~1.2	1.02±0.36b		
	3	1.3~18.0	9.79±4.67b	0.6~6.3	3.59±1.65a	0.3~1.8	1.45±1.40ab		
	4	0.9~10.7	5.93±2.92c	0.4~3.7	2.02±1.02b	0.5~1.3	1.07±0.69b		
2017	1	1.5~25.8	12.16±7.35a	0.6~7.5	3.91±1.87a	0.4~3.7	1.93±0.83a	0.2~2.3	0.82±0.41a
	2	0.9~13.4	5.69±2.89c	0.4~3.3	1.75±0.71b	0.3~2.5	1.15±0.47b	0.2~1.1	0.59±0.21b
	3	1.5~17.4	9.49±5.12b	0.4~7.7	3.29±1.79a	0.1~4.9	1.76±1.01ab	0.3~1.7	0.78±0.31a
	4	0.4~12.9	4.36±2.40c	0.3~4.6	1.42±1.02b	0.3~2.1	1.02±0.64b	0.2~1.8	0.66±0.30b

1) 相同年份、同列数据后的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法); 2) 1: 清耕, 2: 铲草覆盖, 3: 化学杀草覆盖, 4: 自然生草

1) Different lowercase letters in the same column of the same year indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's method); 2) 1: Rotary tillage weeding, 2: Mechanical weeding mulch, 3: Chemical weeding mulch, 4: Weed living mulch

2.1.3 伏早期典型天气土壤温度日变化 伏早期选取有代表性的典型天气4种(晴天、雨天、阴天和多云), 了解整个高温伏早期不同土壤管理方式的表层土壤温度日变化。结果如图3所示, 晴天清耕的地表最高温出现在13:00, 3个处理出现在15:00; 雨天所有处理和对照的地表最高温均出现在16:00; 阴天所有处理和对照的地表最高温均出现在14:00; 多云天由于云层时有时无、时多时少, 影响阳光的直射, 地表温度的高低起伏比较明显, 高温出现的

时间多在13:00—17:00。2017年4种典型天气条件下, 所有处理和对照地表日温度极差都是晴天最大, 多云天次之, 阴天再次之, 雨天最小。如图3的清耕地表日温度极差晴天25.8℃, 多云天18.8℃, 阴天11.8℃, 而雨天仅为3.2℃。雨天所有处理和对照的地表日温度波动小, 且相互间的差异也很小, 但总体上自然生草和铲草覆盖的土表温度全天都略高于清耕和化学杀草覆盖。

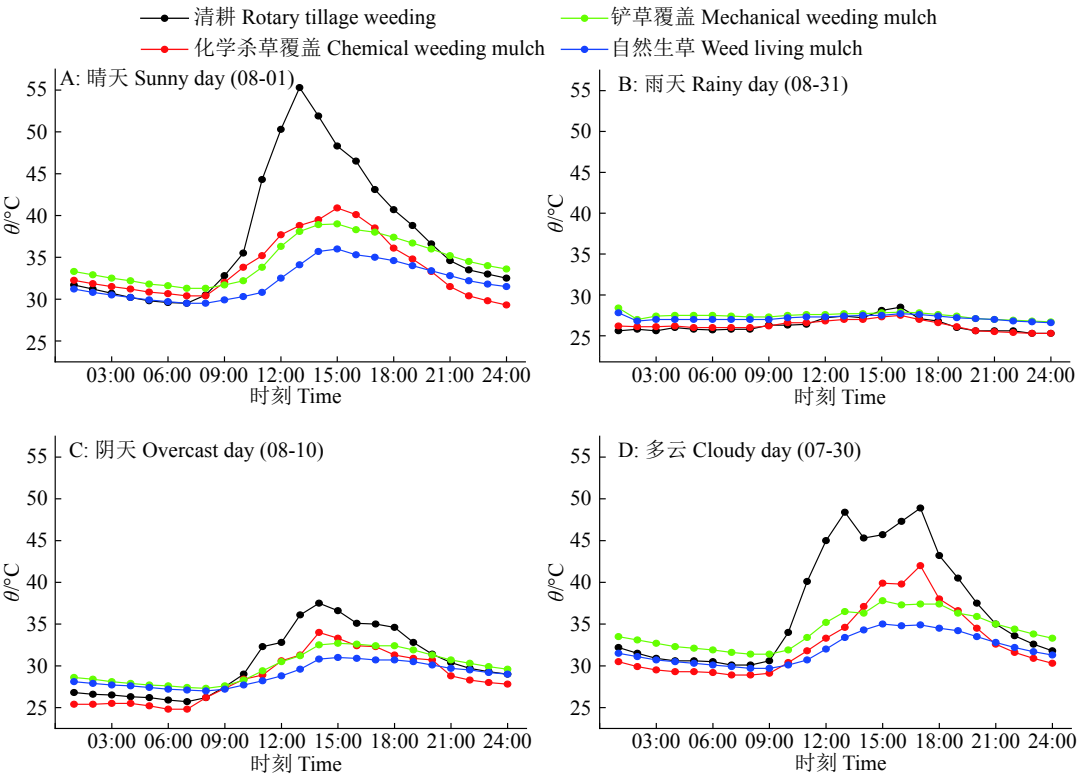


图3 2017年伏早期典型天气下各处理地表土壤温度变化

Fig. 3 Variations of surface soil temperatures in different treatments under typical weather during summer drought season in 2017

2.2 伏早期不同处理土层含水量变化

2017年连续高温干旱10和15 d各处理土层土壤含水量情况如表2所示, 不同处理随着土层深度的增加, 土壤含水量增加, 且土层越深各处理之间的含水量差异越小; 0~30 cm各土层含水量基本符合铲草覆盖>自然生草>化学杀草覆盖>清耕, 土层越浅差异越明显; 不过, 铲草覆盖和自然生草各土层的含水量很接近, 差异仅0.23~0.87个百分点。连续高温干旱10、15 d后, 清耕0~10 cm土层的含水量显著低于铲草覆盖和自然生草; 所有处理10~20和20~30 cm土层的含水量没有显著差异, 但清耕最低, 铲草覆盖和自然生草最高, 表明清耕的土壤保水能力最差, 铲草覆盖和自然生草的

保水能力最好。

2.3 伏早期不同处理对柑橘根系活力及地表开裂的影响

通过比较处理和对照氯化三苯基四氮唑(TTC)还原量, 结果显示, 伏早期柑橘根系活力的强弱顺序依次为铲草覆盖、化学杀草覆盖、清耕和自然生草, 分别为449.89、381.78、365.01和326.17 μg/(g·h), 其中, 铲草覆盖处理的柑橘根系活力显著高于自然生草。高温伏早期, 清耕和化学杀草覆盖的地表出现了开裂。其中, 清耕的开裂最严重, 最大宽度有2.5 cm; 化学杀草覆盖出现少量地表开裂, 最大开裂宽度为1.8 cm; 铲草覆盖处理和自然生草地表未出现开裂。

表 2 2017 年高温干旱后各处理不同土层土壤绝对含水量¹⁾

Table 2 Absolute water contents at different soil depths under different treatments after high temperature drought in 2017

<i>t</i> _{干旱/d} Days of drought	土壤管理方式 Soil management	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
10	清耕 Rotary tillage weeding	10.65±3.72b	16.69±3.08a	18.43±0.89a
	铲草覆盖 Mechanical weeding mulch	16.07±1.04a	17.55±3.96a	20.72±4.08a
	化学杀草覆盖 Chemical weeding mulch	13.17±5.04ab	16.57±2.77a	18.94±3.33a
	自然生草 Weed living mulch	16.32±2.57a	17.78±4.34a	19.85±4.63a
15	清耕 Rotary tillage weeding	8.13±2.01b	14.51±3.13a	17.47±4.40a
	铲草覆盖 Mechanical weeding mulch	15.32±1.95a	18.19±4.59a	20.57±3.82a
	化学杀草覆盖 Chemical weeding mulch	13.38±1.58a	15.74±1.36a	17.85±2.12a
	自然生草 Weed living mulch	15.02±0.96a	17.97±3.35a	20.29±5.19a

1) 相同时间、同列数据后的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
1) Different lowercase letters in the same column of the same time indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's method)

2.4 伏旱期不同处理对柑橘秋梢生长的影响

综合 2 年伏旱期沃柑秋梢的生长情况 (表 3), 秋梢萌发数量为铲草覆盖>化学杀草覆盖>清耕>自然生草, 叶片相对叶绿素含量也基本符合这个规律, 这与根系活力大小变化一致。比较不同处理的秋梢长度则为清耕最长, 铲草覆盖最短, 秋梢叶片

数量与秋梢长度成正比。显著性分析结果表明, 铲草的秋梢长度显著小于清耕, 主要是铲草的秋梢数量多, 影响了其生长。秋梢粗度方面, 2016 年铲草覆盖显著性大于清耕, 但 2017 年无显著差异。综合分析, 铲草覆盖处理的秋梢生长最好。

表 3 伏旱期各处理对柑橘秋梢生长的影响¹⁾

Table 3 Effects of different treatments on the growth of autumn shoots of citrus during summer drought season

年份 Year	土壤管理方式 ²⁾ Soil management	萌梢数/株 Shoot number	长度/cm Length	粗度/mm Shoot diameter	叶片数/枝 Leaf number	SPAD
2016	1	47.57±8.68bc	28.51±4.02a	3.61±0.31b	15.42±2.30a	51.50±3.73b
	2	91.29±6.95a	23.28±2.36b	4.21±0.27a	14.67±3.66a	57.71±4.39a
	3	56.57±11.48b	25.39±4.37ab	3.89±0.38ab	14.67±4.85a	58.66±4.91a
	4	33.43±9.37c	26.59±3.73a	3.62±0.34b	15.83±3.79a	52.06±2.57b
2017	1	51.14±12.79bc	38.73±5.54a	4.07±0.47a	21.40±4.38a	46.05±6.29ab
	2	96.86±7.53a	24.64±2.94b	4.36±0.26a	14.88±2.57b	53.08±3.05a
	3	66.71±10.31b	33.18±5.41a	4.16±0.44a	18.38±3.09a	46.69±4.20ab
	4	31.72±9.78c	29.79±4.85ab	4.09±0.23a	16.64±3.48ab	45.20±3.11b

1) 相同年份、同列数据后的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法); 2) 1: 清耕, 2: 铲草覆盖, 3: 化学杀草覆盖, 4: 自然生草
1) Different lowercase letters in the same column of the same year indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's method); 2) 1: Rotary tillage weeding, 2: Mechanical weeding mulch, 3: Chemical weeding mulch, 4: Weed living mulch

2.5 各处理成本情况统计

操作成本的高低和用工量多少是影响土壤管理方式的重要因素, 因此, 本研究比较了不同土壤管理方式的成本。人工费按每天 (8 h) 100 元计, 每个处理约 667 m²。在每年的试验期间, 清耕每年用旋耕机铲草旋耕 2 次, 每次人工 2 h, 每次燃油 7.5 元, 2 年总成本 130 元; 铲草覆盖每年旋耕机浅

耕铲草 1 次, 每次人工 2 h, 每次燃油 7.5 元, 2 年总成本 65 元; 化学杀草覆盖每年喷 1 次草甘膦材料费 6 元、喷雾用工 1 h, 2 年总成本 37 元; 自然生草每年割草 2 次, 每次人工 1.5 h, 每次燃油 6 元, 2 年总成本 99 元。总成本由高到低依次为清耕>自然生草>铲草覆盖>化学杀草覆盖。

3 讨论

高温伏旱主要发生在我国长江流域及其以南地区, 在西太平洋副热带高压控制下, 太阳辐射强烈, 温度高、湿度小、蒸发和蒸腾量大, 为 1 年中最热且最易干旱的时期^[10]。我国几乎所有的商品柑橘种植区都位于高温伏旱发生区, 高温伏早期又恰遇柑橘果实膨大期和最重要的秋梢结果母枝萌发生长期, 对柑橘产量、品质和树体生长十分不利, 是阻碍柑橘生长和导致产量品质下降的重要因素^[19], 如何减少其对柑橘的不利影响一直是生产上需要重点应对的问题。伏早期的土壤高温干旱, 特别是橘园浅土层, 由于伏早前 4—6 月的连绵阴雨, 中土层和深土层含水量大、通气不良, 导致柑橘根系在浅土层大量发生。而高温伏早期土层越浅土温越高, 干旱程度越重^[9,20-21], 导致分布其中的根系大量受损以致死亡^[22]。过去, 生产上常采用种植绿肥, 覆盖山草、稻草、作物秸秆等方法来减轻危害^[23], 科研人员却对橘园覆盖后不同土层的温度水分等变化研究较少。近一二十年来, 农村劳动力老化、弱化和稀缺化趋势的快速加剧, 使果园土壤管理方法也发生了改变, 因地制宜等轻简化土壤管理成为主要趋势。

我国柑橘产区雨热同季、杂草繁盛, 如何利用果园杂草减少高温伏旱对柑橘的不利影响, 是轻简化土壤管理的主要途径。目前我国大多数橘园已采用全年生草或季节性生草栽培, 仅有少量果园仍采用传统的清耕栽培。生草栽培在高温伏早期对草的处理方法主要有化学杀草、机械铲草和继续让草自然生长(自然生草)3 种方式。研究表明, 在高温伏早期, 无论是土壤日最高温、日均温还是温度日较差, 0~10 cm 土层均为清耕>化学杀草覆盖>铲草覆盖>自然生草, 10~30 cm 土层也基本符合这一规律。清耕在晴天时土壤温度显著高于 3 个处理, 土层越浅差异越大, 其原因是清耕的地面直接接受太阳辐射, 而铲草覆盖或杀草覆盖的死草可反射一部分太阳辐射, 同时覆盖在地面的死草可起到隔热保温作用^[9]; 铲草覆盖还有松土作用, 有利于土壤热量的扩散, 所以其温度要低于没有扰动土层的化学杀草覆盖; 自然生草的地面除了活草可以反射太阳辐射和隔热保温外, 活草的蒸腾作用以及光合作用也能减少温度的上升, 从而进一步减缓地面温度的变化^[20,24]。从本研究土温的变化看, 自然生草对降低土温的效果最明显, 其次是铲草覆盖和化学杀草覆盖, 清耕最差。柑橘根系适宜的生长温度为 23~31 ℃, 35 ℃ 时呼吸微弱, 37 ℃ 时停止生长^[25]。从本试验

结果看, 清耕 0~10 cm 土层温度最高时达到 48.7~69.6 ℃, 远高于 37 ℃, 这会明显影响柑橘根系生长乃至死亡。不过, 随着土壤深度的增加, 土壤温度逐渐降低, 即使地表温度高达 69.6 ℃ 时, 20~30 cm 土层温度也仅为 32.1~32.5 ℃, 仍基本适合柑橘根系生长。因此, 加深橘园活土层, 使大量根系分布在 20 cm 以下, 对于提高柑橘根系对高温伤害的抵抗能力有重要作用。

土壤水分是影响柑橘生长结果的另一重要因素, 我国柑橘产区的灌溉主要在高温伏早期。前人的大量研究表明, 土壤管理方式对土壤含水量有较大的影响, 但不同研究者的结论有较大差异, 有的甚至相反。孙霞等^[26]和 Palese 等^[27]在苹果园间作紫花苜蓿试验中发现, 0~40 cm 土层间作牧草比清耕提高了土壤含水量; 但赵政阳等^[28]和邹亚丽等^[29]在苹果园研究发现, 高温季节生草降低了土壤含水量。在本研究中, 连续高温伏旱 15 d 后, 不同处理的同土层含水量基本符合铲草覆盖>自然生草>化学杀草覆盖>清耕, 显示自然生草比清耕提高了土壤含水量, 但其含水量低于铲草覆盖。一般而言, 由于活草的蒸腾作用, 自然生草土壤含水量应该低于化学杀草覆盖土壤, 但本试验结果却相反, 我们推测可能与试验期间降雨有关, 因在 2 年试验期间均有 200 mm 左右降雨, 此时的降雨都是短促阵雨, 自然生草果园更有利于滞留雨水和引导雨水下渗, 导致土壤含水量在干旱时间不长时高于化学杀草覆盖土壤, 如果干旱时间延长, 结果或许相反。

橘园不同土壤管理方式的效果最终要反映到柑橘的生长差异上, 虽然土壤温度和水分对柑橘生长有重要影响, 但不同土壤管理条件下, 土壤容重和通气状况^[30]、微生物种群^[31]、杂草根系拮抗或协同作用^[32-33]等会有很大差异, 土壤中的这些因素和温度水分一样, 都会影响柑橘根系活力而对生长造成重要影响, 以至于柑橘的生长表现与土壤温度水分的优劣状况不尽相同。例如, 铲草覆盖处理的柑橘根系活力显著高于自然生草, 这可能是由于不同草种的根系会分泌化学物质影响柑橘的根系活力^[33], 这也可能是生草的柑橘萌梢数量下降的原因之一。新梢生长量、叶绿素含量和根系活力能反映果树的生长势和生长潜力^[34]。从本试验结果看, 柑橘根系活力大小与秋梢萌发数量和叶绿素含量变化一致; 与土壤温度和水分指标相比, 根系活力似乎是更能有效衡量土壤管理方式优劣的一个指标。伏早期柑橘根系活力大小为铲草覆盖>化学杀草覆盖>清耕>自然生草, 表明高温伏早期果园铲草覆盖最有

利于柑橘生长, 化学杀草覆盖其次, 清耕再其次, 自然生草最差。

4 结论

高温伏旱期采用不同土壤管理方式, 橘园表层土壤温度为清耕>化学杀草覆盖>铲草覆盖>自然生草, 土壤含水量为铲草覆盖>自然生草>化学杀草覆盖>清耕, 柑橘根系活力为铲草覆盖>化学杀草覆盖>清耕>自然生草, 土壤管理成本为清耕>自然生草>铲草覆盖>化学杀草覆盖。铲草覆盖最有利于柑橘生长。高温伏旱期, 考虑到地形、劳动力、成本和效率等因素, 平地 and 缓坡果园宜采用机械铲草覆盖。

参考文献:

[1] ZOU Y N, CHEN X, SRIVASTAVA A K, et al. Changes in rhizosphere properties of trifoliate orange in response to mycorrhization and sod culture[J]. *Appl Soil Ecol*, 2016, 107: 307-312.

[2] WANG P, LIU J H, XIA R X, et al. Arbuscular mycorrhizal development, glomalin-related soil protein (GRSP) content, and rhizospheric phosphatase activity in citrus orchards under different types of soil management[J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2011, 174(1): 65-72.

[3] SHUI J G, WANG Q Z, LIAO G Q, et al. Ecological and economic benefits of vegetation management measures in citrus orchards on red soils[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(2): 214-221.

[4] FIDALSKI J, AULER P A M, BERALDO J M G, et al. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and citrus rootstocks[J]. *Rev Bras Cienc Solo*, 2010, 34(3): 917-924.

[5] MCCLOSKEY W B, WRIGHT G C. Managing orchard floor vegetation in flood-irrigated citrus groves[J]. *Hort-technology*, 2003, 13(4): 668-677.

[6] CARY P R. The residual effects of nitrogen, calcium and soil management treatments on yield, fruit size and composition of citrus[J]. *J Hort Sci Biotech*, 1972, 47(4): 479-491.

[7] HOROWITZ M. Competitive effects of three perennial weeds, *Cynodon dactylon*(L.) Pers. *Cyperns rotundus* L. and *Sorghum halepense*(L.) Pers. on young citrus[J]. *J Hort Sci*, 1973, 48(2): 135-147.

[8] LINARES J, SCHOLBERG J, GRAETZ D, et al. Effects of perennial peanut and common bermudagrass on nitrogen and water uptake of young citrus trees[J]. *J Plant Nutr*, 2010, 33(2): 200-218.

[9] 江才伦, 彭良志, 付行政, 等. 三峡库区柑橘园不同土壤管理方式对土壤温度的影响 [J]. *果树学报*, 2014, 31(3): 401-409.

[10] 韩世刚. 重庆市高温伏旱气候特征及其预报方案研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2010.

[11] 符学三, 全汝君. 免耕对柑橘园主要害虫、天敌及植株结果的影响 [J]. *中国南方果树*, 1994, 23(2): 24-25.

[12] 刘毅, 陶勇, 万开元, 等. 丹江口库区坡耕地柑橘园不同覆盖方式下地表径流氮磷流失特征 [J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(11): 1340-1344.

[13] 黄晶, 高菊生, 刘淑军, 等. 湘南红壤坡地幼龄橘园套种

不同作物的生态环境效应 [J]. *湖南农业科学*, 2011(19): 108-111.

[14] 韩文斌, 谢树果, 杜春梅, 等. 四川丘陵区橘园间作豆科绿肥的效应 [J]. *中国南方果树*, 2014, 43(5): 62-63.

[15] 张雯娟, 张正桂, 刘永忠, 等. 3 种常见草种对橘园杂草控制能力及对柑橘根系分布的影响 [J]. *中国南方果树*, 2018, 47(1): 22-29.

[16] 李青, 袁韬. 柑橘园不同土壤管理方法比较试验 [J]. *中国南方果树*, 2002, 31(1): 11-13.

[17] 钟东洋, 周玲, 毛小福, 等. 林业化学除草剂在不同植被类型的应用 [J]. *南方林业科学*, 2010(2): 41-43.

[18] 白宝璋, 金锦子, 白崧, 等. 玉米根系活力 TTC 测定法的改良 [J]. *玉米科学*, 1994, 2(4): 44-47.

[19] 邓鹏飞, 石进婧, 游纯城. 临川区近 10 年气象条件变化对柑橘产量的影响 [J]. *气象与减灾研究*, 2014, 37(3): 68-72.

[20] 张义, 谢永生, 郝明德, 等. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 279-286.

[21] WU J, CHEN M, DONG C, et al. Effects of land cover on soil temperature, humidity and moisture in phoebe bournei forest[J]. *Agr Sci Tech*, 2015, 16(12): 2725-2729.

[22] 周静. 红壤水分条件对柑橘生理生态要素影响及其作用机理研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2008.

[23] 邓丰产, 安贵阳, 郁俊娟, 等. 渭北旱塬苹果园的生草效应 [J]. *果树学报*, 2003, 20(6): 506-508.

[24] 史进, 李文胜, 张俊苗. 生草栽培对果园生态环境和果实品质的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2016, 53(4): 647-654.

[25] 何天富. 柑橘学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 62-72, 308-313.

[26] 孙霞, 柴仲平, 蒋平安, 等. 土壤管理方式对苹果园土壤理化性状的影响 [J]. *草业科学*, 2011, 28(2): 189-193.

[27] PALESE A M, VIGNOZZI N, CELANO G, et al. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard[J]. *Soil Till Res*, 2014, 144: 96-109.

[28] 赵政阳, 李会科. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤水分的影响 [J]. *园艺学报*, 2006, 33(3): 481-484.

[29] 邹亚丽, 呼丽萍, 施海燕. 果草系统土壤理化特征 [J]. *草业科学*, 2013, 30(4): 541-545.

[30] 柴华, 何念鹏. 中国土壤容重特征及其对区域碳贮量估算的意义 [J]. *生态学报*, 2016, 36(13): 3903-3910.

[31] LAURENT A S, MERWIN I A, THIES J E. Long-term orchard groundcover management systems affect soil microbial communities and apple replant disease severity[J]. *Plant Soil*, 2008, 304(1/2): 209-225.

[32] 李发林, 林晓兰, 黄炎和, 等. 果园种植牧草对果树树木生长及其根系活力的影响 [J]. *热带农业科学*, 2009, 29(7): 20-24.

[33] 熊忠华, 黎鑫林, 刘勇, 等. 不同生草间作对柑橘根系活力及枝梢生长的影响 [J]. *生物灾害科学*, 2017, 40(1): 14-18.

[34] 焦润安, 张舒涵, 李毅, 等. 生草影响果树生长发育及果园环境的研究进展 [J]. *果树学报*, 2017, 34(12): 1610-1623.