

不同覆草量苹果园土壤水温效应及 对树体生长的影响

尹晓宁, 马明, 刘兴禄, 董铁, 牛军强, 孙文泰, 张坤

(甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要: 将麦草覆盖应用于果园, 研究不同覆盖用量 22 000 kg·hm⁻²(T1)、33 000 kg·hm⁻²(T2)、44 000 kg·hm⁻²(T3)和清耕(CK)在整个生长期对 19 年生生长富 2 号苹果园 0~100 cm 土壤水分、5~25 cm 土壤温度、树体生长量及果实品质的影响。结果表明:在旱情较重的 4—7 月, 3 种覆草处理的平均含水量随覆草量的增加而增大, 其中 T2 和 T3 处理极显著 ($P < 0.01$) 高于 CK, 高出 8.98%~27.09%; 且 3 种覆草处理 0~20、20~40 cm 土层的含水量极显著 ($P < 0.01$) 高于 CK, 高出 9.36%~73.77%; 4—8 月 3 种覆草处理的各深度地温低于 CK, 4—6 月份极显著 ($P < 0.01$) 低于 CK, 低出 2.11℃~8.02℃; 相反, 9—11 月份高于 CK。覆草处理 5~20 cm 深度土温日变幅极显著 ($P < 0.01$) 低于 CK, 低出 0.39℃~3.63℃。果实单果重和产量以 T2 处理最高, 3 种覆草处理每公顷产量较 CK 极显著 ($P < 0.01$) 提高, 高出 10.70%~20.83%; 产量水分利用效率覆草处理较 CK 极显著 ($P < 0.01$) 增高, 高出 9.87%~20.87%。覆草对树体生长量、枝类比例影响不大。综合各种效应及投入产出比, 陇东黄土高原苹果园覆草量以 22 000~33 000 kg·hm⁻²较经济适宜。

关键词: 覆草量; 土壤水分; 土壤温度; 树体生长; 投入产出比

中图分类号: S152.7; S152.8; S661.1 文献标志码: A

Effects of wheat straw-mulching on soil moisture and soil temperature and tree growth in apple orchard

YIN Xiao-ning, MA Ming, LIU Xin-lu, DONG Tie, NIU Jun-qiang,
SUN Wen-tai, ZHANG Kun

(Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The wheat straw mulching with different amounts (22 000 kg·hm⁻²(T1), 33 000 kg·hm⁻²(T2) and 44 000 kg·hm⁻²(T3)) and clean tillage(CK) were used in orchards to study its influence on the soil moisture in 0~100 cm soil depth, the soil temperature in 5~25 cm soil depth, tree growth and fruit quality during the whole growth period of 19-year-old Nagafu No.2 tree. Results showed that from April to July the average soil moisture in the depth of 0~100 cm of corresponding three treatments increased with the increase of wheat straw amounts; the average moisture contents of T2 and T3 were significantly ($P < 0.01$) higher than that of CK in same period, increased by 8.98%~27.09%, and the soil moisture contents in 0~20 cm and 20~40 cm two soil layers of three wheat straw mulching treatments were also significantly ($P < 0.01$) higher than that of CK in the same soil layer, increased by 9.36%~73.77%. From April to August the soil temperature in 5~25 cm soil depth in three wheat straw mulching treatments was lower than that in CK, significantly ($P < 0.01$) from April to June, decreased by 2.11℃~8.02℃. But it was higher than that in CK from September to November. Daily amplitude in 5~20 cm soil depth in wheat straw mulching treatments was very significantly ($P < 0.01$) lower than that in CK, decreased by 0.39℃~3.63℃. The single fruit weight and yield of T2 were all the highest in four treatments, the yields of three wheat straw mulching treatments were significantly ($P < 0.01$)

收稿日期: 2016-01-26

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项“甘肃雨养农田苹果水分高效利用技术研究与示范”(201303104); 甘肃省苹果产业科技攻关项目“雨养区果园覆盖方式及保墒沃土技术研发与示范”(GPCK2010-1); 国家苹果产业技术体系(CARS-28)

作者简介: 尹晓宁(1969—), 男, 甘肃静宁人, 副研究员, 主要从事果园水肥及果树生理方面的研究。E-mail: 1959822608@qq.com。

通信作者: 马明(1964—), 男, 甘肃秦安人, 研究员, 主要从事果树栽培与生理方面的研究。E-mail: maning65118@163.com。

higher than CK, increased by 10.70% ~ 20.83%. Water use efficiency of fresh yield of wheat straw mulching treatments was significantly ($P < 0.01$) higher than CK, increased by 9.87% ~ 20.87%. Wheat straw mulching treatments had little effect on tree growth and shoot ratio. In view of comprehensive effects and input and output ratio, it was suitable for apple orchard to apply wheat straw mulching with 22 000 ~ 33 000 kg·hm⁻² in this area.

Keywords: wheat straw mulching amount; soil moisture; soil temperature; tree growth; input and output ratio

秸秆免耕覆盖作为一项有效的保墒措施,近年来在我国北方干旱半干旱地区农作物抗旱栽培中已引起重视并被逐渐应用。普遍认为秸秆覆盖具有协调地温、改善土壤水分状况、增加土壤有机质和速效养分含量,促进土壤团粒结构形成、降低容重和提高空隙度等改善土壤理化性状的作用,以及拦蓄雨水减轻土壤水蚀风蚀,抑草免耕防止水土流失等良好的生态效应。大田作物上多数研究证明,秸秆覆盖调控了土壤水分供给,作物生长前期降低土壤无效蒸发耗水,后期增加植株叶面有效蒸腾耗水,协调土壤与作物间水分供需,达到增加产量,从而提高水分利用效率的目的^[1-5],但也有因覆盖前期地温降低的报道^[6-7]。麦秸不同覆盖用量对果园土壤环境和树体的影响究竟有何差别,至今未见相关的系统研究报道;再者苹果栽培的株行距较宽,裸露面积较大,现行的覆盖用量^[8-13]远高于大田作物^[1-5],覆盖无疑增加了生产成本。黄土高原陇东旱塬苹果主要栽培区属典型大陆性季风气候,年降雨不均,冬春干旱,降雨多集中在7月下旬至9月底,土壤水分处于季节性亏缺状态,果树产量与质量不稳,果园水分管理成为影响当地果树可持续高效发展的主要因素之一。如何充分利用其抗旱保墒,经济有效地促进

干旱半干旱雨养区果园的高效持续发展,成为亟待解决的问题。

本文以当地产麦草为试材,于2011年3—11月整个苹果生长期,通过全园定量覆盖试验,系统研究了不同覆盖用量的土壤水温效应,对树体生长以及产量质量的影响,综合评估确定出果园中适宜的覆盖用量,以期为生产中大面积应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验设在甘肃省泾川县飞云乡元朝村,属半干旱完全雨养农业区;当地年均气温 10℃,无霜期 174 d,年平均日照 2 274 h,年平均降雨量在 450 mm 左右,常年多风,年蒸发量在 1 300 mm 以上。试验区为黑垆土,土层深度 > 10 m,土壤容重 1.25 g·cm⁻³,田间持水量 29.48%。参试苹果树品种为 19 年生“长富 2 号”,基砧为怀来海棠 (*Malus robusta* Rehd),树冠采用改良纺锤型,有 8~9 个大枝,树高 3.0 m;株行距 2.5 m × 3.5 m,南北行向。当年株施尿素 1 kg、氮磷钾复合肥 (N 17%、P₂O₅ 10%、K₂O 18%) 2 kg。试验区设有自动气象站。2011 年花芽膨大前至果实采收 (3 月 17 日—9 月 26 日) 降雨量为 349.3 mm,各测定时段的降雨量见表 1。

表 1 果树生长期土壤水分不同测定时段的降雨量
Table 1 Rainfall in different sampling points during growth stages

项目 Items	03-17— 04-13	04-14— 04-27	04-28— 05-17	05-18— 05-31	06-01— 06-16	06-17— 07-20	07-21— 08-14	08-15— 09-26	09-27— 11-20
物候期 Phenophase	花芽膨大 期 Expanding stage of flower bud	花期 Flowering stage	坐果和新 梢生长期 Fruit setting and shoot growth stage	新梢生长 期 Shoot growth stage	新梢停长 期 Withhold growing period of shoots	幼果膨大 期 Growth stage of young fruit	果实迅速 膨大期 Fruit rapid enlargement stage	膨大后期及 成熟期 Late fruit enlargement and maturity stage	采收及落叶 期 Post-harvest and defoliation period
降雨量 Rainfall/mm	6.3	3.5	30	5	0	38	36.5	230	23

注:测定时段后一日为水分测定时间。

Note: The later date of each measuring period is measuring date.

1.2 试验设计

于 2011 年 3 月 17 日苹果花芽膨大初期,选择树势中庸,树相接近的地块试验。包括对照共 4 个

处理,完全随机排列,小区面积 140 m²,3 次重复。麦草秸秆均匀覆盖全园地面,用量分别为 22 000 kg·hm⁻² (T1)、33 000 kg·hm⁻² (T2) 和 44 000

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T3)(经踩踏紧实后相应厚度分别约 10、15 cm 和 20 cm), 铺设完成后撒少量湿土使麦草层紧贴地面, 防风防火; 对照(CK)为清耕, 常规管理。

1.3 测定项目与方法

(1) 水分测定

排除有边际效应的树行, 单株重复; 在树冠近外围距主干 1.2 m 的株间处定点测定土壤水分, 每 20 cm 一层, 测定深度 1.0 m, 共 5 层, 采用烘干法 (105°C , 10 h) 测定土壤质量含水量, 并按公式 $W = h \times p \times b \times 10$ 计算土壤储水量 (W 为土壤储水量, mm; h 为土层深度, cm; p 为土壤容重, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; b 为土壤质量含水量, %) [14]。按公式 $ET = P - \Delta W$ 计算不同生育期及全生育期内群体蒸散量 (ET 为该生育期内群体蒸散量即农田耗水量; P 为该时段降雨量; ΔW 为作物该生育期间土壤储水变化量) [15]。覆盖处理前共同测一次基础水分含量。测定时期分旱情较重的 4 月中旬至 6 月中旬每月中旬及月底各测定一次, 此后至果实采摘前每月中旬测定一次, 在落叶后深秋测定最后一次, 共计 9 次。

(2) 温度测定

温度计安置在近树冠外围距主干 1.0 m 处的两株间, 在同一水平线上由北向南依次插入 5、10、15、20、25 cm 5 支直插式曲管温度计, 间距 1~2 cm。在 4—11 月份每月的 5、10、15、20、25、30 日测定; 具体每天选在早晨 6:30 左右日出前后、中午 14:30 左右和下午 18:30 左右日落前后共三次。不同深度土层的日均温以每天三次的测定值平均后计, 各月以 6 天的均值比较, 并以此最大值与最小值之差为生长期地温变幅; 不同深度地温日变幅为一天三次测定中的最大值与最小值之差, 各月以 6 天的均值比较。

(3) 果实测定

9 月 27 日果实成熟期, 单株重复, 每株随机采摘树冠中部一大枝上处于树冠外围及内膛的 15 个果实, 一周后测定各个性状及水分含量, 计算鲜产量或干产量, 并按公式 $WUE = Y/ET$ 计算产量水平水分利用效率 (WUE 为鲜产量或干产量水平水分利用效率, 相应 Y 为鲜产量或干产量, ET 为生育期内群体蒸散量) [15], 以均值比较。计算投入产出比。

(4) 枝类调查

11 月下旬落叶后, 单株重复, 调查新梢生长量及其枝类组成, 计算所占比例, 以均值比较。

1.4 数据处理

数据采用 DPS 标准版, 选择 Duncan 进行多重比较。采用 Microsoft Excel 2003 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同处理果树生长期土壤水分含量

2.1.1 0~100 cm 土层土壤平均含水量动态 从图 1 及表 1 可知, 各处理的土壤含水量随降雨量呈相似波浪型分布。整个生长期 3 种覆盖处理的平均含水量变动幅度均小于 CK, 且覆草量越大变幅越小。干早期(4—7 月)一致表现为覆盖处理的含水量高于 CK, 覆草量越大含水量愈高。覆盖处理与 CK 比较: 4 月中旬开花前后至 7 月下旬幼果膨大期, T3 和 T2 处理的土壤平均含水量 17.70%~21.00% 和 17.41%~20.62% 均极显著 ($P < 0.01$) 高于 CK (15.07%~17.09%); T1 在有适度降雨的 5 月份坐果及新梢生长期和 7 月下旬幼果膨大期, 其土壤平均含水量 18.41%~18.90% 极显著 ($P < 0.01$) 高于同期 CK (16.44%~17.07%), 在降雨稀少、叶幕未形成的 4 月份花期前后和连续干旱的 6 月中旬幼果期, 其土壤平均含水量 (16.22%~16.63%) 较 CK 的 15.07%~16.26% 高 2.23%~7.59%。覆盖处理间比较: T3 的土壤平均含水量始终极显著 ($P < 0.01$) 高于 T1, T2 显著 ($P < 0.05$) 高于 T1, T3 与 T2 间差异不显著 ($P < 0.05$)。再者, 干早期 T3 及 T2 的平均含水量始终高于基础含水量 17.32%, 而 T1 仅在 5 月份和 7 月下旬高于此值, CK 则始终低于基础含水量。7 月下旬后当地降雨增多, 8 月中旬所有处理的含水量达到基础值以上, T3 (20.41%) 和 T2 (20.36%) 均极显著 ($P < 0.01$) 高于 CK (18.02%), T1 (18.77%) 较 CK 高 4.17%。9 月底果实成熟期及 11 月下旬落叶期 3 种覆盖麦草处理及 CK 的平均含水量较高, 在 21.89%~22.88% 之间, 但相互间差异均不显著。结合各生育阶段的降雨量, 5 月底前叶幕尚未完全形成, 果园以蒸发耗水为主, CK 的蒸散量高于覆盖处理, 以 3 月中旬至 4 月中旬的花芽膨大期 (T3、T2、T1 和 CK 的蒸散量分别为 -3.50、0.03、15.03 mm 和 19.57 mm) 及 4 月底至 5 月中旬的坐果和新梢生长期 (T3、T2、T1 和 CK 的蒸散量分别为 -11.23、-3.82、0.46 mm 和 16.07 mm) 较明显, T3、T2 的蒸散量出现负值, 说明经过该生育阶段土壤储水量的增加大于降雨量, 可能有 100 cm 以下土层的水分补给。5 月底后叶幕形成, 果园基本被枝叶遮挡, 果园耗水转为以树体蒸腾为主, 覆盖处理的蒸散量高于对照, 以 7 月下旬至 8 月中旬的果实迅速膨大期 (T3、T2、T1 和 CK 的蒸散量分别为 39.26、39.82、37.22 mm 和 24.55 mm) 较明显。

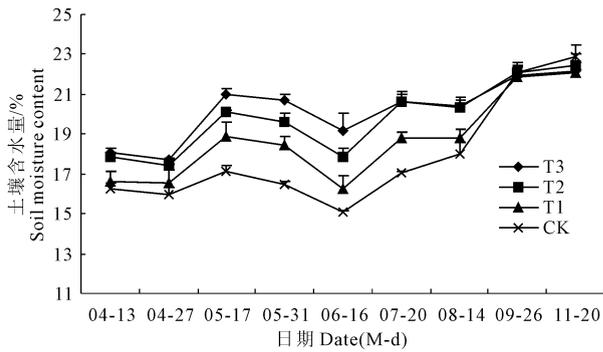


图 1 不同处理果树生长期 0~100 cm 土层平均含水量动态变化

Fig.1 Dynamic changes of average soil moisture in 0~100 cm soil layer of different treatments at growth stages

注:图上所标为标准差,下同。

Note:Standard deviation is marked in figure. The same below.

2.1.2 0~100 cm 各土层土壤水分动态 由图 2 和表 1 知,整个生长期各土层不同处理的含水量基本也随降雨量在高低波动,0~100 cm 间 5 个土层各覆盖麦草处理的土壤含水量变动幅度均较 CK 小,覆盖草量越大变幅越小。

干旱期(4—7 月)3 种覆盖处理 0~60 cm 土层和 CK 0~40 cm 土层的含水量受该生育阶段的降雨量影响较大。据各土层基础含水量及其含水量变动幅度,T3、T2 的果园耗水主要在 0~60 cm 土层,而 T1

和 CK 还涉及深层。具体干旱期 0~60 cm 间土壤的含水量顺序为 T3>T2>T1>CK。其中覆盖处理 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的含水量分别为 17.05%~24.19%和 17.00%~22.45%,均极显著($P<0.01$)高于 CK(11.63%~19.16%和 14.81%~17.78%)。40~60 cm 土层覆盖处理的含水量 16.25%~21.16%基本高于 CK(15.53%~16.79%),除 4 月份和 6 月中旬外(T1 低于 CK)均极显著($P<0.01$)高于 CK;此层适量降雨(5 月中旬和 7 月下旬前)和持续的干旱(6 月中旬前)对覆盖处理的含水量影响大于 CK。CK 该土层的含水量波浪式下降。除 20~40 cm 土层,T3 的含水量在 5—7 月份极显著($P<0.01$)或显著高于 T1。60~100 cm 间两土层含水量的顺序为 T3>T2>CK>T1。T3 和 T2 在 5 月底至 7 月下旬均显著($P<0.05$)高于 CK,而 T1 60~80 cm 土层在 4 月份或 80~100 cm 土层在 4 月中旬、6 月中旬和 7 月下旬均显著($P<0.05$)低于 CK;T3 和 T2 的含水量均极显著($P<0.01$)高于 T1。80~100 cm 土层 T1 和 CK 的含水量持续降低,T1 降幅大于 CK。

7 月下旬后降雨增多,8 月中旬深层土壤含水量各处理都得到提高,除 0~20 cm 土层外其它土层各处理间的含水量差异明显降低,但仍以 T3 或 T2 显著高于 T1 和 CK。9 月底及 11 月下旬各处理不同土层的含水量持续提高,但同层各处理间差异不显著。

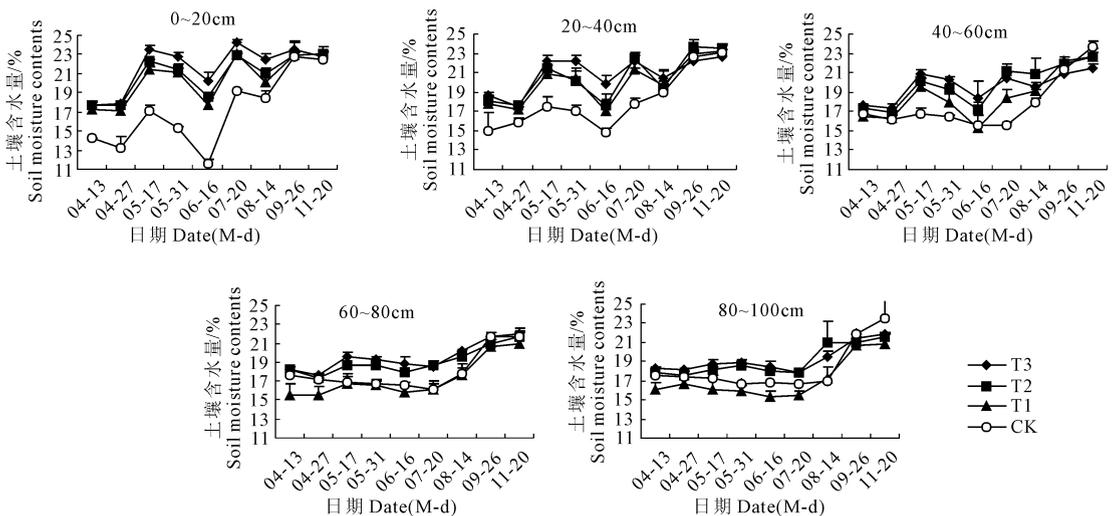


图 2 各土层不同处理果树生长期土壤含水量动态变化

Fig.2 Dynamic changes of soil moisture of 0~100 cm soil depth of different treatments at growth stages

由图 2 知,干旱期覆盖处理 0~100 cm 间 5 个土层的含水量基本随土层深度增加逐渐降低(除 4 月份外),CK 主要特点为上一层的含水量低于下一层,但在适量降雨后的 5 月中旬和 7 月下旬浅层和深层的含水量较高而中间土层较低,CK 土壤水分分布受

近期降雨量的影响较大。对各生育阶段不同土壤深度耗水量分析,3 月中旬至 4 月中旬 T3 的 60~100 cm 深度土壤,及 4 月底至 5 月中旬 T3 的 40~100 cm 深度土壤、T2 的 60~100 cm 深度土壤和 T1 的 60~80 cm 土层含水量均明显增高,可能有其以下土层

水分补给。

2.2 不同处理果树生长期土壤温度

2.2.1 5~25 cm各深度土壤日均温比较 由图3知,4—8月份5~25 cm 5个土壤深度各处理的日均温基本以由大到小的幅度逐月上升(CK以6月份的较大);各深度升幅顺序均为T3或T2>T1>CK,覆盖处理逐月升幅(6月份升幅较CK低0.16℃~1.23℃外)高出CK 0.16℃~5.10℃,这是覆盖保温累积效应所致。至8月份不同深度各处理的日均温达到全年的最大值(CK 5 cm和10 cm深度在6月达到最大值),但各深度均为T3<T2<T1<CK,且随月份推移同深度间日均温差总体均在逐渐缩小。4—6月份3种覆盖麦草处理5个土壤深度的日均温(7.34℃~17.87℃)均较CK(13.72℃~21.23℃)极显著($P<0.01$)降低,低出范围在2.11℃~8.02℃之间;7—8月低出0.62℃~1.88℃。同深度覆盖处理间日均温差由0.01℃~1.85℃降到0.03℃~

0.71℃。均以较浅深度的温差略大。相反,9—11月份5个土壤深度各处理的日均温逐月降低,覆盖处理降幅较CK低0.01℃~1.83℃,降幅顺序基本为T3<T2<T1<CK。覆盖处理20 cm和25 cm两个深度降温延缓延后,降幅顺序为11月份>9月份>10月份,其它包括CK各深度均以9月份较大。5个深度的日均温顺序基本变为T2>T3>T1>CK,覆盖处理较对照高0.02℃~1.61℃,覆盖处理间相差0.03℃~0.88℃,且均变为随月份和深度增加温差逐渐增大。T2的日均温高于T3是因9月后覆盖麦草的保温效应是基于此前的低温效应顺序及大小。生长期5个深度覆盖处理的地温变幅在11.48℃~13.50℃之间,CK在13.16℃~15.27℃之间,均随土壤深度增加变幅越小,且每一深度变幅顺序基本为T3<T2<T1<CK。5~25 cm土壤平均温度变化规律与各深度相似。

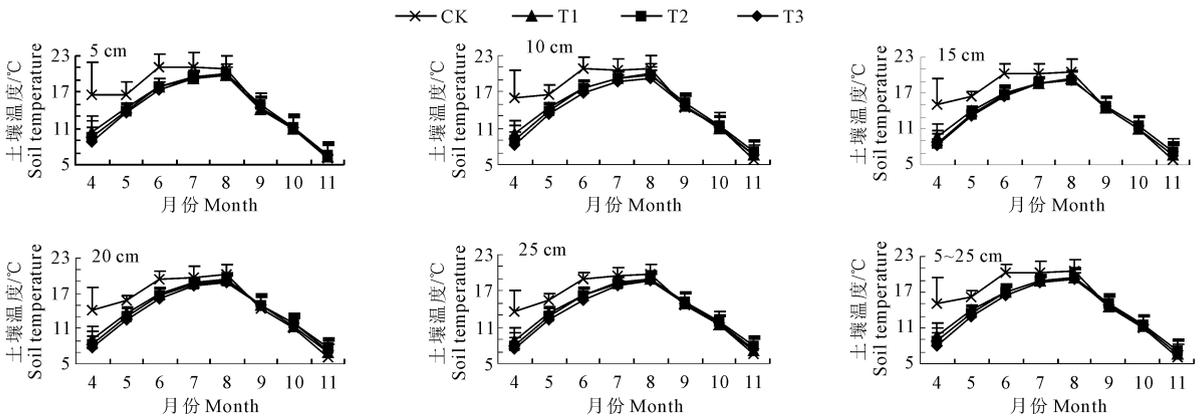


图3 5~25 cm各土壤深度不同处理日均温生长期动态变化

Fig.3 Dynamic changes of daily average temperature of 5~25 cm soil depths of different treatments at growth stages

由图3可知,4月份至8月份4种处理日均温均随土层深度逐渐加深,温差也逐渐减小,覆盖处理温差在0.02℃~1.69℃之间,CK在0.12℃~2.94℃之间。9—11月份4种处理各自不同土层深度间的日均温曲线出现了交错,即随月份推移均逐渐过渡到依深度增加温度逐渐升高,温差也逐渐增大,覆盖处理在0.01℃~1.39℃之间,CK在0.00℃~0.74℃之间。

2.2.2 5~25 cm各深度土层地温日变幅 由图4知,4—6月份4种处理5~25 cm 5个土层深度的地温日变幅均较大,此后减小。4—8月份各覆盖麦草处理5个深度地温日变幅(0.18℃~3.65℃)基本极显著($P<0.01$)小于CK(0.43℃~11.65℃);9—11月份除25 cm外,各覆盖麦草处理5~20 cm 4个土层深度的日变幅(0.18℃~1.50℃)仍基本极显著

($P<0.01$)小于CK(0.39℃~3.63℃)。覆盖处理间5个土层深度的日变幅始终差异不显著($P<0.05$)。4种处理均随土层深度增加日变幅逐渐降低。

2.3 不同处理的树体生长量

从表2看出,不同处理的生长量、总枝量及枝类比例间差别较小,差异均不显著($P<0.05$)。其中新梢长度、粗度、节间数3种覆盖麦草处理的略高。覆盖麦草处理<5 cm和5~15 cm的中短枝在69.8%~72.5%之间,CK为74.6%;相应覆盖麦草处理>15 cm的长枝比例略高于CK。

2.4 不同处理的果实性状、产量水分利用效率和经济效益比较

从表3知,3种覆盖麦草处理的单果重均极显著($P<0.01$)高于CK,T2显著($P<0.05$)高于T1,但CK的可溶性固形物含量和酸度显著($P<0.05$)

或极显著 ($P < 0.01$) 高于 3 种覆盖麦草处理, 糖酸度比相反。果形指数和硬度各处理之间差别较小。

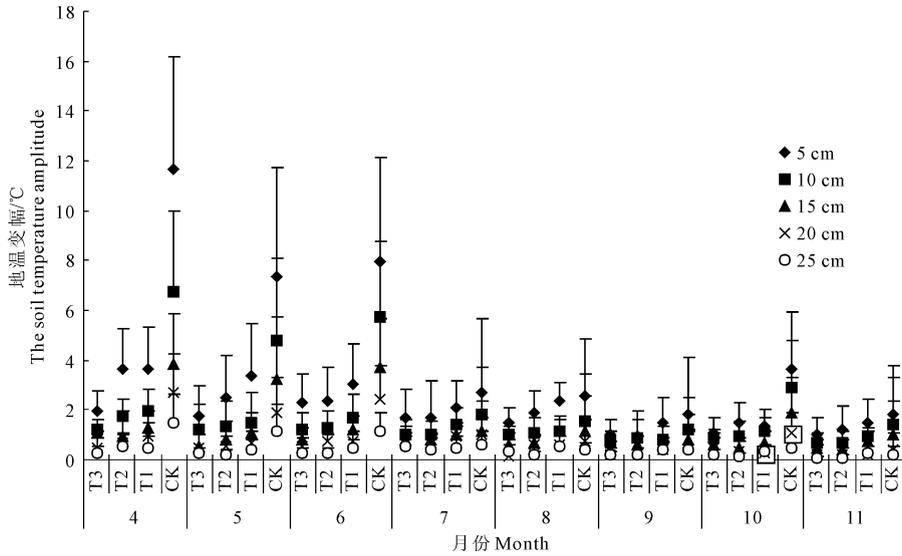


图 4 不同处理果树生长期 5~25 cm 土层各深度地温日变幅

Fig.4 The temperature daily amplitude of 5~25 cm soil depths of different treatments at growth stages

表 2 不同处理的树体生长量及枝类组成

Table 2 Growth amount and shoots composition of plants of different treatments

处理 Treatment	新梢长 Shoot length /cm	新梢粗 Shoot thickness /mm	节间数 Number of internodes	节间长 Length of internodes /cm	总枝量 Total quantity of branches /(branches·hm ⁻²)	不同枝类比例 Different branches ratio/%			
						< 5 cm	5~15 cm	15~30 cm	> 30 cm
T1	29.3 ± 3.2a	4.8 ± 0.4a	12 ± 0.8a	2.4 ± 0.1a	965378 ± 235587a	51.8 ± 6.0a	20.7 ± 2.3a	15.7 ± 4.0a	11.8 ± 4.9a
T2	30 ± 4.1a	4.7 ± 0.4a	11.8 ± 1.1a	2.5 ± 0.2a	975436 ± 145183a	50.1 ± 4.3a	19.7 ± 6.2a	18.6 ± 6.0a	11.6 ± 5.7a
T3	29.5 ± 4.2a	5 ± 0.1a	12.2 ± 0.7a	2.4 ± 0.3a	932574 ± 154745.1a	53.8 ± 9.1a	16.7 ± 2.5a	20.3 ± 6.8a	9.2 ± 5.4a
CK	29 ± 3.1a	4.6 ± 0.4a	11.4 ± 0.6a	2.5 ± 0.1a	962177 ± 475951a	54.1 ± 6.5a	20.5 ± 6.3a	19.8 ± 1.4a	5.6 ± 4.4a

注:表中数据为平均值 ± 标准差,同列不同小、大写字母分别表示差异达显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) 水平,下同。

Note: The data was average ± standard deviation in table. Different small and capital letters in the same column meant significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels respectively. The same below.

表 3 不同处理的果实性状

Table 3 Fruit quality of different treatments

处理 Treatment	单果重 Single fruit weight/g	果形指数 Fruit-type index	去皮硬度 Peeled fruit firmness /(kg·cm ⁻²)	可溶性固形物含量 Soluble solids content/%	酸度 Acidity /%	糖酸比 Sugar-acid ratio
T1	187.8 ± 7.4bA	0.889 ± 0.035aA	8.9 ± 0.21aA	13.67 ± 0.39bAB	0.438 ± 0.032bB	31.48 ± 1.87aA
T2	205.0 ± 8.5aA	0.888 ± 0.010aA	8.49 ± 0.21aA	12.97 ± 0.42bB	0.424 ± 0.026bB	30.97 ± 1.41aAB
T3	194.3 ± 11.2abA	0.899 ± 0.007aA	8.56 ± 0.37aA	13.27 ± 0.57bB	0.467 ± 0.113bAB	31.76 ± 2.16aA
CK	169.7 ± 10.8cB	0.905 ± 0.014aA	8.91 ± 0.26aA	14.52 ± 0.64aA	0.588 ± 0.088aA	26.47 ± 3.94bB

从表 4 知,自萌芽期至果实采收时不同处理的耗水量接近。3 种覆盖麦草处理产量均极显著 ($P < 0.01$) 高于 CK, T2 又显著 ($P < 0.05$) 高于 T1。鲜产量水分利用效率 T3 和 T2 均极显著 ($P < 0.01$) 高于 CK, T1 显著 ($P < 0.05$) 高于 CK, T2 又极显著 ($P < 0.01$) 高于 T1。干产量水分利用效率仍以 T2 最高,

其次依次为 T3、T1 和 CK。

从表 5 看出,3 种覆盖增加果园麦草费用投入 11 005.5 ~ 22 011.0 元·hm⁻²,但减少了锄草成本 13 500 元·hm⁻²,总投入 T1 较 CK 低 2 496 元·hm⁻², T2 和 T3 分别高 3 008.3 元·hm⁻²和 8 511 元·hm⁻²;产量分别较 CK 增加 3 312.1、6 446.7 kg·hm⁻²和

4 488.2 kg·hm⁻², 收益分别增加 19 210.18、37 390.86 元·hm⁻²和 26 031.56 元·hm⁻², 总投入与收益比 T1 和 T2 分别为 3.55 和 3.53, 而 T3 和 CK 均为 3.07, 从经济学的角度考虑, 前者优于后者。其

中果价按当年市场平均 5.8 元·kg⁻¹, 麦草价按 0.50 元·kg⁻¹; 锄草费用按人工 100 元·天⁻¹计, 整个生育期 135 个工·hm⁻²; 其它费用包括肥料投入及花果管理等相同。

表 4 不同处理的产量水分利用效率

Table 4 Water use efficiency of different treatments

处理 Treatment	土壤储水量/mm Soil water storage		耗水量 Water consumption /mm	鲜产量 Fresh yield /(kg·hm ⁻²)	鲜产量水分 利用效率 Water use efficiency of fresh yield /(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	干产量 Dry yield /(kg·hm ⁻²)	干产量水分 利用效率 Water use efficiency of dry yield /(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
	花芽膨大前 Before bud enlargement	果实采收时 Harvest					
T1	216.5	273.6 ± 7.19aA	292.2 ± 7.19aA	34260.6 ± 1340.00bA	117.25 ± 4.59bBC	4967.8 ± 194.30aA	17.00 ± 0.67aA
T2	216.5	275.9 ± 9.08aA	289.9 ± 9.08aA	37395.2 ± 1553.34aA	128.99 ± 5.36aA	5186.7 ± 215.45aA	17.89 ± 0.74aA
T3	216.5	274.1 ± 12.13aA	291.7 ± 12.13aA	35436.7 ± 2047.64abA	121.48 ± 7.02abAB	5021.4 ± 290.15aA	17.21 ± 0.99aA
CK	216.5	275.8 ± 1.53aA	290.0 ± 1.53aA	30948.5 ± 1967.19cB	106.72 ± 6.78cC	4821.8 ± 306.49aA	16.63 ± 1.06aA

表 5 不同处理的投入产出比较

Table 5 Comparison of input and earnings of different treatments

处理 Treatment	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	收益/(元·hm ⁻²) Gross earnings /(yuan·hm ⁻²)	投入/(元·hm ⁻²) Input/(yuan·hm ⁻²)			总投入/(元·hm ⁻²) Gross input /(yuan·hm ⁻²)	收益/总投入 Gross earnings /gross input
			用草费用 Cost of straw	锄草费用 Cost for weeding	其它费用 Other cost		
T1	34260.6	198711.5	11005.5	0.0	45000.0	56006	3.55
T2	37395.2	216892.2	16508.3	0.0	45000.0	61508	3.53
T3	35436.7	205532.7	22011.0	0.0	45000.0	67011	3.07
CK	30948.5	179501.3	0.0	13500.0	45000.0	58500	3.07

3 结论与讨论

本研究表明在干旱期的 4—7 月份, 1 m 深土层的土壤平均含水量随覆盖麦草量增加而增大, 3 种覆盖麦草处理较不覆盖(对照)高出 2.23% ~ 27.09%, 可使覆盖处理的土壤平均含水量保持在 16.22% ~ 21.00% 之间, 相对含水量达到 55.02% ~ 71.23%, 基本在苹果根系最适合生长的 60% ~ 80% 范围^[16], 起到了不同的蓄墒保墒作用; 而不覆盖的情况下土壤含水量始终低于覆盖前, 当季降雨不足以补偿土壤水分蒸散。麦草覆盖改变了土壤水分传导^[1,3-4,17-19]。麦草层可不同程度隔断蒸发面与下层土壤的毛管联系, 减弱土壤与大气间乱流交换, 降低扩散进入大气的水汽传导速率, 使土壤含水量明显提高; 其次, 覆盖层还可保护土壤表层免受雨滴的直接冲击, 土壤保持疏松多孔, 利于土壤导水, 蓄水能力增强^[3]。5 月底前树体叶幕未完全形成, 果园覆盖麦草耗水较少, 即覆盖降低了前期地表无枝叶遮蔽时的土壤无效蒸发; 此后进入果实膨大期耗水

增高, 即增加了后期苹果树体生长需水关键期^[20]的有效蒸腾, 因此协调了果园水分供需, 增加了光合产物, 从而提高了水分利用效率。这与程来亮和罗新书^[21]及虎胆·吐马尔拜^[1]的研究结论一致, 也与沈裕琥等^[4]的观点相同。

干旱期果园覆草后土壤各层总体表现为上一土层较下一土层的含水量高, 而不覆盖以浅层土壤的含水量低于深层为主要特征, 且 4—7 月份 3 种覆盖麦草量处理 0 ~ 40 cm 间两土层的含水量均极显著 ($P < 0.01$) 高于对照, 同时说明覆盖麦草后土壤表层的含水量显著提高。覆盖量 33 000 kg·hm⁻² 和 44 000 kg·hm⁻² 的处理 40 ~ 100 cm 间各土层的含水量也较不覆盖(对照)高, 其中部分土层 4—5 月份可能还有 100 cm 以下土壤水分的上移补给, 也在杨文治、邵明安^[14]的黄土高原土壤水分“双向补偿层”范围内。覆盖量较大两处理蒸散耗水主要在 0 ~ 60 cm 间, 而覆盖量最少的处理主要还涉及 60 ~ 100 cm 土层, 该土层含水量干旱期始终低于基础值和对照, 尤其 80 ~ 100 cm 土层的含水量在干旱期持续降低, 且

降幅大于对照。分析认为果园覆草量在 33 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 及以上基本隔绝了土壤毛管与大气间的联系,果园以蒸腾耗水为主;而 22 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 用量未完全阻断这种联系,除株体蒸腾外,果园地表以毛管水形式蒸发耗水始终存在,在气候等因素的作用下土壤中汽态水和毛管水^[22]从较深土层向较浅土层运移,部分直接逸入大气,部分在麦草层的阻隔下滞留在表层补偿了蒸散耗水,使得表层土壤的含水量始终处于较高状态,而深层的含水量降低,水分上移。刘建新^[6]在相近覆盖量下也有类似报道。3—4月雨水稀少多风、地面枝叶遮被少,及6月份持续干旱空气干燥,加剧了这一水分蒸发散失。不覆盖(对照)土壤则经历由恒速到减速再到慢速的蒸发失水过程^[14],土壤表层变干后较深土层失水相对减缓。覆盖土壤表层较高稳定的含水量对整个干旱期的抗旱保墒起到了重要作用,也有利于苹果树吸收根的表层发生^[16]。

本研究同时表明,春夏(4—8月份)覆盖麦草能降低 5~25 cm 土壤温度 0.62℃~8.02℃,降低程度随覆草量增加而增大,但随月份推移逐渐减弱。4月初覆盖 5~25 cm 深度地温达到根系生长下限 7℃^[16]的时间较不覆盖推迟 5~10 d 左右;4—5月份覆盖地温(7.34℃~14.49℃)低于苹果根系最适生长的温度下限 15℃^[16],而不覆盖(13.72℃~16.67℃)基本在下限以上。春季覆盖麦草的低温效应有利于保墒而对根系的生长和养分吸收可能有一定的延缓作用,但对树体正常生长未产生不良影响。5月底前正值开花坐果前后及新梢生长前期,所需养分由果树上一季枝干根中的贮藏养分提供^[23];此后果实膨大期覆盖适宜的地温(15.58℃~19.98℃)和较高的含水量利于新根的大量发生和养分的集中吸收,又促进了果实的发育和枝叶的生长。秋季(9—11月份)覆盖麦草有保温作用(高出不覆盖 0.02℃~1.61℃),保温性随覆草量增加而增大,也随月份推移越明显。9月中下旬覆盖和不覆盖的地温同时降到了最适根系生长下限,但11月上旬覆盖地温降到根系生长下限时间较不覆盖推迟 5~10 d 左右。覆盖麦草的秋季保温效应可延长根系生长,增加养分吸收和树体贮藏,利于来年恢复再生产^[24]。整个生长期覆盖不同土壤深度日均温间总体差异、不同深度地温日变幅及生长期地温变幅均较不覆盖小,这是由于果园覆盖麦草也改变了土壤热量传递^[1,3-4,17-19]。麦草覆盖层对太阳辐射的反射率高,减少了地面热能获取,也可有效地反射覆盖下土壤的长波辐射,减缓热量散失。9月份之前土

壤总体处于储热升温阶段^[25],麦秸覆盖以反射光照降低土温为主,而此后土壤处于放热降温阶段^[25],覆盖以反射土壤辐射保持土温为主,因而覆盖麦草处理生长期土壤不同深度地温差异小、变化也平缓。这一变化特征同样有利于新根的发生^[16]。

本试验 3 种覆盖麦草处理单果重及折合每公顷产量均极显著($P < 0.01$)高于对照。覆草后土壤恒稳适宜的水温条件有利于根系活力和根量的提高^[16,26-29],二者又促进了土壤水分养分(包括麦秸分解形成的有机质^[8-10,26,30]和速效养分^[8,10,13,26,30])的吸收和利用^[10,31],为光合器官叶片的充分建成提供了必要条件;覆盖物麦草也改善了树冠主要是中下层的光、热环境^[29,32];光合外在条件的改善和叶片内在质量的提高^[21,31,33-35]为光合速率的显著提高^[21,31,34-35]和增产奠定了基础。覆盖麦草 15 cm 处理的产量最高(其显著($P < 0.05$)高于覆盖麦草 10 cm 处理),这可能与覆盖量对土壤环境造成的影响不同有关。杨洪强、束怀瑞^[16]认为良好的水分和通气状况利于壮树和稳产,而水分过多过少都不利于根系生长和吸收能力的最佳发挥。其次,本试验可溶性固型物含量不覆盖显著($P < 0.05$)高于覆盖麦草 15 cm 处理,也高于其它覆盖麦草处理,这是地面覆盖后果实中水分的增加要多于光合产物增加,与覆草后树体各器官含水量增加的观点一致^[4,34],也与作者之前研究^[36]及相关报道^[32]相同,但也有覆盖后果实可溶性固型物含量增高的报道^[8,12],可能与试验地条件不同等有关。覆盖对盛果期苹果树营养生长的影响与有关报道不同^[12,31,34],可能由于试验果树树龄不同。本试验为接近 20 年生的盛果期成龄大树,树势中庸,结果量较大,树体养分及水分的消耗主要供给果实生长,因而未对营养生长产生明显影响。

总之,干旱期覆盖麦草量 22 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 土壤 1 m 平均含水量较不覆盖高出 2.23%~12.02%,虽旱情较重时保墒不显著,但仍可极显著提高产量 10.70%,投入产出比较高,为 3.55;覆盖量 33 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 保墒性即达到极显著,土壤含水量提高 8.98%~20.83%,产量高出 20.83%,为最高,投入产出比为 3.53;覆盖量 44 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的土壤含水量最高,高出 10.79%~27.09%,但产量仅高出 13.50%,而投入产出比较低,为 3.07。综合各主要指标,大龄苹果园覆草量在 22 000~33 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (覆盖厚度约 10~15 cm)比较适宜。考虑到麦草覆盖用量较大等因素,应继续开展果园秸秆不完全覆盖等方面的试验研究,以求达到更大的经济和生态效益。

参考文献:

- [1] 虎胆·吐马尔拜. 秸秆覆盖保墒效果探讨[J]. 灌溉排水, 1997, 16(3):23-27.
- [2] 刘婷, 贾志宽, 张睿, 等. 秸秆覆盖对旱地土壤水分及冬小麦水分利用效率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(7):68-76.
- [3] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 等. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2):59-66.
- [4] 沈裕琥, 黄相国, 王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1):45-50.
- [5] 王玉坤, 赵勇, 袁庄麦田秸秆覆盖保墒措施的研究[J]. 灌溉排水, 1991, 10(1):7-13.
- [6] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7):1249-1258.
- [7] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7):15-19.
- [8] 刘建新. 覆草对果园土壤肥力及苹果产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1):102-105.
- [9] 刘建新, 王鑫, 杨建霞. 覆草对果园土壤腐殖质组成和生物学特性的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4):93-95.
- [10] 吕德国, 赵新阳, 马怀宇, 等. 覆草对苹果园土壤养分和微生物的影响[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(6):104-106.
- [11] 高茂盛, 廖允成, 李侠, 等. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10):2080-2087.
- [12] 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.
- [13] 高茂盛, 温晓霞, 黄灵丹, 等. 耕作和秸秆覆盖对苹果园土壤水分及养分的影响[J]. 自然资源学报, 2010, 25(4):547-555.
- [14] 扬文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [15] 梁银丽, 党廷辉, 张成娥. 黄土区农田生态系统生产力研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000:72-75.
- [16] 杨洪强, 束怀瑞. 苹果根系研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007:21-35.
- [17] 扬改河, 冯永忠, 任广鑫, 等. 旱区农业理论与实践[M]. 西安: 世界图书出版公司西安公司, 1993.
- [18] 袁家富. 麦田秸秆覆盖效应及增产作用[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3):61-65.
- [19] 李春勃, 范丙全, 孟春香, 等. 麦秸覆盖旱地棉田少耕培肥效果[J]. 生态农业研究, 1995, 3(3):52-55.
- [20] 王进鑫, 张晓鹏, 高保山, 等. 渭北旱塬红富士苹果需水量与限水灌溉效应研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1):69-72, 80.
- [21] 程来亮, 罗新书. 覆草、覆膜对苹果叶片光合速率日变化的影响[J]. 果树科学, 1991, 8(3):135-138.
- [22] 林成谷. 土壤学(北方本)[M]. 北京: 农业出版社, 1983:66-69.
- [23] 曲泽洲. 果树栽培学总论[M]. 北京: 农业出版社, 1985:101-110.
- [24] 樊亮. 表层土壤管理措施对苹果产量与树体贮藏营养的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [25] 易明晖. 气象学与农业气象学[M]. 北京: 农业出版社, 1990:32-43.
- [26] 王洪刚. 果园覆草技术综合效应研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3):55-57.
- [27] 杨萍, 邱慧珍, 海龙, 等. 表层土壤调控措施对苹果根系形态及活力的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 4(2):89-95.
- [28] 姜远茂, 张宏彦, 张福锁. 北方落叶果树养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007:57-118.
- [29] 曲泽洲, 冯学文. 苹果与气候[M]. 北京: 中国农业出版社, 1989:120-129.
- [30] 薛少平, 朱琳, 姚万生, 等. 麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6):71-73.
- [31] 王齐瑞, 谭晓风, 张琳. 覆草栽培对甜樱桃生长及光合速率的影响[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(1):24-28.
- [32] 刘克长, 任中兴, 李申安, 等. 不同覆盖措施下龙廷杏梅园地小气候效应研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5):145-148.
- [33] 吕三三, 杜国栋, 刘志琨, 等. 期覆草对苹果叶片显微结构及光系统功能的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(1):130-139.
- [34] 王孝威, 郑王义, 杨晓霞, 等. 覆草、覆膜对旱地苹果幼树生长发育的影响[J]. 山西农业科学, 2002, 30(2):46-48.
- [35] 孙文泰, 赵明新, 尹晓宁, 等. 陇东旱地果园地表覆盖方式对苹果光和特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(3):19-25.
- [36] 尹晓宁, 马明, 张坤, 等. 不同覆盖条件对陇东旱塬苹果园土壤水分及果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2012, 30(1):34-39.