

地面覆盖对苹果树体生长和果实品质的影响

李宏建,王 宏*,于年文,张秀美,里程辉,宋 哲

(辽宁省果树科学研究所,辽宁熊岳 115009)

摘要:【目的】揭示苹果树叶片光合参数、树体生长量和果实品质对不同覆盖物的差异性反应,为苹果园地面管理覆盖物的合理选择提供参考依据。【方法】以辽宁省果树科学研究所自主选育的‘望山红’/‘辽砧 109’组合苹果树为试材,果园地面分别覆盖农用地毯、碎木屑和园艺地布,以清耕为对照,调查地面覆盖后土壤地温、土壤含水量、叶片光合参数、树体生长量、果实品质的差异。【结果】2016年、2017年农用地毯、碎木屑、园艺地布、清耕(CK)土壤温度随土层深度增加而降低,土壤含水量随土层深度增加而升高。与清耕(CK)相比,园艺地布覆盖提高土壤温度,农用地毯和碎木屑覆盖降低土壤温度;农用地毯、碎木屑、园艺地布覆盖能提高土壤含水量。3种覆盖处理均能提高叶片净光合速率、水分利用效率、叶绿素相对含量。其中,农用地毯覆盖后叶片净光合速率、水分利用效率、叶绿素相对含量变异系数最小、稳定性优于其他处理,而碎木屑覆盖季节性差异明显、变异系数高、稳定性差。3种覆盖处理均能提高单叶质量、叶片厚度、树高、覆盖率、总枝量,影响枝类组成比例。其中,农用地毯覆盖后单叶质量、叶片厚度、覆盖率、总枝量、中枝、短枝比例等指标高于同期其他处理,而长枝比例低于其他处理。春季园艺地布覆盖后的新梢长度显著高于其他处理,而夏季农用地毯和碎木屑覆盖后的新梢生长速度快。农用地毯覆盖后果实单果质量、硬度、可溶性固形物、固酸比等指标最高,其次为碎木屑。农用地毯、碎木屑、园艺地布覆盖后显著提高果面红色着色程度,提高果实中葡萄糖、果糖、蔗糖、莽草酸含量,降低苹果酸、柠檬酸含量。【结论】综合比较3种覆盖物对土壤温度、土壤含水量、植株叶片参数、树体生长量和果实品质的影响,作用效果从高到低分别为农用地毯、碎木屑和园艺地布。

关键词: 苹果;覆盖物;农用地毯;光合参数;枝类组成;品质

中图分类号:S661.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)03-0296-12

Effects of mulching on the growth and fruit quality of apple trees

LI Hongjian, WANG Hong*, YU Nianwen, ZHANG Xiumei, LI Chenghui, SONG Zhe

(Liaoning Institute of Pomology, Xiongyue 115009, Liaoning, China)

Abstract:【Objective】In order to reveal the different responses of leaf photosynthetic parameters, tree growth and fruit quality of ‘Wang Shan Hong’ Fuji apple to different mulching materials, the present experiment was conducted to provide references for the reasonable selection of mulching materials for the orchard soil management.【Methods】The sample trees were 4 years old ‘Wang Shan Hong’ Fuji on ‘Liaozhen 109’ dwarf rootstocks, which were bred by Liaoning Institute of Pomology. The ground mulching materials were horticultural fabric, agricultural carpets, wood chips with no-mulching as a contrast. The differences in soil temperature, soil moisture content, leaf photosynthetic parameters, tree growth and fruit quality were investigated.【Results】The orchard ground was covered by horticultural fabric, agricultural carpets and wood chips with clean tillage as the control, and the different soil layer temperatures showed a trend of ‘rising first and then decreasing’ in 2016 and 2017. The peak values appeared in August 19, 2016 and August 16, 2017, respectively. With the increase of soil depths, soil temperatures decreased. Compared with the no-mulching treatment, soil temperatures increased with horticultural fabric, and reduced with agricultural carpets or wood chips. In 2016 and 2017, soil moisture

收稿日期:2018-08-21

接受日期:2018-12-10

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-27);辽宁省果树产业技术体系(LNGSCYTX-13/14-3);辽宁省中央引导地方科技发展专项—地方科技创新项目示范(2016-2018)

作者简介:李宏建,男,副研究员,硕士,从事苹果栽培生理生化研究工作。Tel:13840758126, E-mail:5lihongjian@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13940725660, E-mail:wanghong3034@163.com

contents also showed a trend of 'rising first and then decreasing', and soil moisture contents increased with the increase of soil depths. After the orchard ground was covered by horticultural fabric, agricultural carpets and wood chips, the soil water contents at different soil layers were improved. Among them, the stable effect of soil moisture contents was obvious after the ground was covered with horticultural fabric but the effect was the worst with no-mulching. Compared with no-mulching, after the ground was covered with horticultural fabric, agricultural carpets and wood chips, the leaf net photosynthetic rate, water use efficiency and relative chlorophyll contents increased. There were significant differences in photosynthetic parameters among different treatments. After the ground was covered with horticultural fabric, the coefficient of variation with leaf net photosynthetic rate, water use efficiency and relative chlorophyll contents were the smallest and the stability was better than other treatments. After the ground was covered with wood chips, the net photosynthetic rate, water use efficiency and relative chlorophyll contents were significantly improved in the midium and late period of 2017, but the coefficient of variation was the highest, and the stability was the worst. After the orchard ground was covered with horticultural fabric, agricultural carpets and wood chips, the leaf fresh weight, leaf thickness, tree height, coverage rate and the amount of total branches increased. The composition proportion of different types of branches was affected. In 2016 and 2017, after the ground was covered with agricultural carpets, the leaf fresh weight, leaf thickness, tree height, coverage rate, total branche amounts and the ratio of medium-length shoots to spurs were the highest, and the ratio of long shoots was the lowest. In spring, the length of new shoots was the longest after the ground was covered with horticultural fabric, and in summer, the growth rate of new shoots was the faster after it was covered with agricultural carpets or wood chips. The fruit mass, firmness, soluble solids, TSS/TA, fruit color (*a* and *b*) setting increased, titratable acidity and fruit color (value *L*) decreased after it was covered with agricultural carpets or wood chips. Among them, the fruit mass, firmness, soluble solids and TSS/TA were the highest after it was covered with horticultural fabric, followed by wood chips. After the ground was covered with horticultural fabric, agricultural carpets and wood chips, the red color on fruit surface was significantly improved, but the brightness was slightly worse. There were differences in the contents of soluble sugar and organic acid in fruits after the ground was covered with different types of materials. The contents of glucose, fructose, sucrose and shikimic acid increased, but the contents of malic acid and citric acid reduced.【Conclusion】The effects of three different mulching materials on soil moisture contents, soil temperatures, leaf photosynthetic parameters, tree growth and fruit quality were compared. The comparative effects showed in a descending order: agricultural carpet, wood chips and horticultural fabric.

Key words: Apple; Mulching materials; Agricultural carpet; Photosynthetic parameters; Branch composition; Fruit quality

果园地面管理系统 (OFMS orchard floor management systems) 是在果园内通过调节土壤水分的蒸腾和地面热能的吸收为果树生长提供适宜环境的地面管理方法。常用的管理方法主要有清耕法、生草法、免耕法及覆盖法等4种类型^[1-2]。地面覆盖法在我国有悠久的历史,但是直到塑料薄膜的出现,该耕作制度才得到了快速发展。地面覆盖法应用多集中于大田作物,果树上应用较少,覆盖法与清耕法等其他管理方法相比优势明显,因此,近年来果园覆盖

得到众多研究者的重视,并被广泛应用^[1-3-8]。

果园地表覆盖后可以提高土壤保墒蓄水能力,调节微域生态环境,改善土壤理化性状,提高根系生物量。以往的研究多集中于地表覆盖模式的选择和地表覆盖对果树根系特征、土壤水分、养分变化的响应等方面^[9-14]。地表覆盖模式多选择生草、地膜(白色、黑色)、地布、秸秆等覆盖材料,由于地域气候环境的差异性,导致不同覆盖材料在不同地区的表现也存在较大的差异^[6,15-19]。孙文泰等^[4,6,12]认为覆草是

甘肃陇东旱塬区适宜的地表覆盖方式,能提高土壤含水量,利于根系和树体生长,增大果实单果质量。尹晓宁等^[5]研究提出陇东雨养果园覆盖麦草效果最好,叶片水分利用效率高、枝条生长量大、单果质量高。刘小勇等^[7]认为陇东旱地果园垄膜覆盖能提高0~40 cm浅层土壤温度。闫文涛等^[10]认为果园自然生草利于15~60 cm土层水分的保持,是辽西地区果园适合的推广模式。张义等^[15]认为地表覆盖模式影响枝类组成和产量,砂石覆盖能提高根系水分含量和中短枝比例,是黄土沟壑区适宜的地表覆盖模式。陈汝等^[16-17]提出泰安地区白色地膜覆盖能提高冠层内光照强度、叶片净光合速率和果实品质。郭学军等^[18]认为渭北旱塬地区覆黑膜能提高树体产量,生草覆盖利于树体生长和提高果实品质。黄萍等^[19]认为农用地毯、园艺地布等覆盖能提高叶片净光合速率,而园艺地布覆盖促进新梢生长,透明塑料膜促进植株生长作用最小。综上所述,地面覆盖影响苹果树叶片、根系和果实品质等生理指标,不同地区对覆盖材料的反应存在明显的差异性。因此,在果园覆盖材料的选择和应用上应综合考虑本地区实际情况和气候环境等因素。

辽宁苹果园的传统管理方式多采用清耕法。果园清耕虽然可以提高表层土壤的疏松程度,控制杂草生长,但辽宁果园多为山地种植,长期清耕会破坏地表植被和土壤微域环境、损伤毛细根、增加水土流失的风险。近年来,随着劳动力成本的逐年增长,主要依靠人工完成的果园清耕使果园用工成本投入大幅增加,为简化耕作管理方式,实现果园可持续发展,本研究以前人研究成果为指导,结合辽宁地区气候特点和产业现状,分别选择园艺地布、农用地毯、碎木屑等覆盖材料,以清耕处理为对照,比较4种处理方式对苹果园土壤温度、土壤含水量,树体生长和果实品质的差异反应,为辽宁地区果园地面适宜覆盖材料的选择提供参考依据。

1 材料和方法

试验于2016—2017年在辽宁省果树科学研究所苹果试验区进行。试验区果园地势平坦,灌溉条件良好,土壤为轻砂壤土,土壤有机质含量(w,后同)1.33%,全氮含量0.64%,速效磷含量70.3 mg·kg⁻¹,速效钾含量107 mg·kg⁻¹,土壤孔隙度43.6%,田间持水量13.53%。年平均气温-9.0℃,1月平均气

温-9.2℃,7月平均气温24.6℃,极端最低气温-31.7℃,年降水686 mm,无霜期178 d。

1.1 试验材料

供试苹果品种为‘望山红’富士,2014年种植2年生分枝大苗,基砧为‘辽砧109’,树形为纺锤形,株行距2 m×4 m,行向为南北方向,管理水平较高。

1.2 试验设计

试验设4个处理,2016年4月分别将园艺地布(厚度0.3 mm的黑色塑料编织布)、农用地毯(厚度0.5 cm的棉质纺织纤维)、碎木屑[长度×宽度×厚度分别为(2.0~3.0) cm×(1.5~2.0) cm×(1.0~1.5) cm的苹果枝干木段]等覆盖材料,沿南北行向覆盖于树冠周围地面,覆盖物宽度为2 m,以清耕(不覆盖任何材料并及时除草)作为对照。为了保证各处理处于覆盖状态,在试验期间应及时补覆,碎木屑覆盖厚度为10~15 cm。试验采用单因素随机区组设计,每个处理10株树。

1.3 测定项目和和方法

2016年(6月18日、7月20日、8月19日、9月19日)、2017年(5月16日、6月14日、7月15日、8月16日、9月15日)上午10:00~11:00测量土层深度0~10.0 cm、10.1~20.0 cm和20.1~30.0 cm土壤温度和土壤含水量,具体参照尹晓宁等^[5]的方法。

2016年(6月15日、7月18日、8月17日、9月20日)、2017年(5月10日、6月12日、7月10日、8月15日、9月25日)上午9:00—11:00选取试验树东南方向、外围枝条成熟叶片,分别用美国LI-COR公司的LI-6400P型便携式光合仪和日本KONICA公司的SPAD-502 PLUS叶绿素仪测定叶片光合参数和叶绿素相对含量,具体参照吕三三等^[20]和闫丽娟等^[21]的方法。

2016年(5月6日、6月5日、7月4日、8月4日、9月4日)、2017年(5月5日、6月4日、7月5日、8月5日、9月5日)用软皮尺测量新梢长度;2016年8月9日和2017年8月11日随机采试验树基部粗度、长度基本相同的新梢中部第6、7、8完整无损叶片,测定单叶质量和叶片厚度;2016年10月6日和2017年10月10日分别测定树高、覆盖率,调查树体枝类组成结构,包括短枝、中枝、长枝的数量,计算总枝数量和枝类比例,具体参照尚志华等^[22]和张强等^[23]的方法。

2016年10月20日和2017年10月22日随机采收试验树上成熟果实,测定果实相关品质指标。果

实单果质量、硬度、可滴定酸含量、可溶性糖含量和维生素C含量分别采用百分之一天平、GY-1型硬度计、酸碱滴定法、蒽酮比色法和2,6-二氯酚酞滴定法测定;果皮色差参数采用色差计(Konica Minolta CR-400,USA)测定果实赤道部位阳面的色差值,具体参照马瑞娟等^[24]的方法;2017年采用美国DION-EX U3000高效液相色谱仪测定果实可溶性糖和有机酸组分含量,具体参照闫忠业等^[25]的方法。

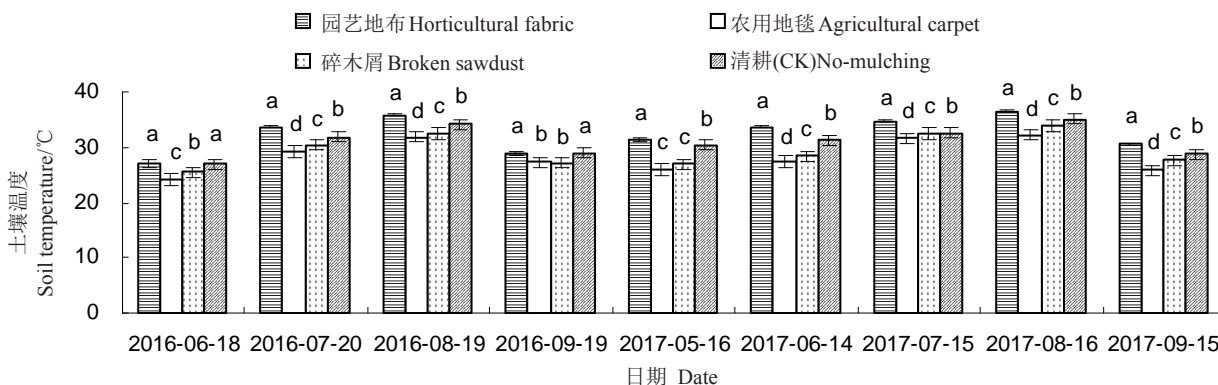
1.4 数据处理与分析

数据采用Excel软件进行统计处理,差异显著性分析采用SPSS13.0数据分析软件。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖物对土壤温度和土壤含水量的影响

由图1~3可见,各处理土壤温度的变化趋势相似,土壤温度均随土层深度的增加而下降。与清耕



不同小写字母表示相同时间不同覆盖处理差异显著($p < 0.05$),下同。

Different small letters meant significant difference among treatments in the same time at $p < 0.05$ level. The same below.

图1 不同覆盖物对0~10.0 cm 土层土壤温度的影响

Fig.1 Effect of different mulching materials on the soil temperture in 0-10.0 cm soil depth

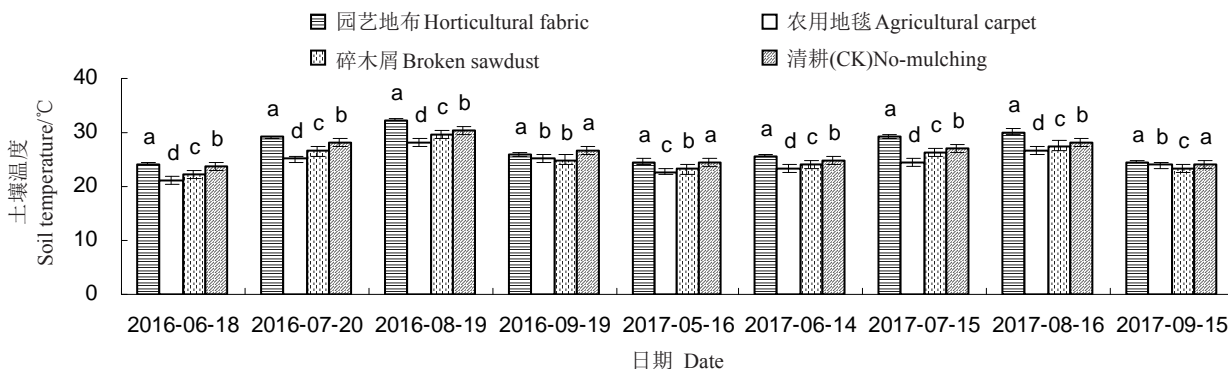


图2 不同覆盖物对10.1~20.0 cm 土层土壤温度的影响

Fig. 2 Effect of different mulching materials on the soil temperture in 10.1-20.0 cm soil depth

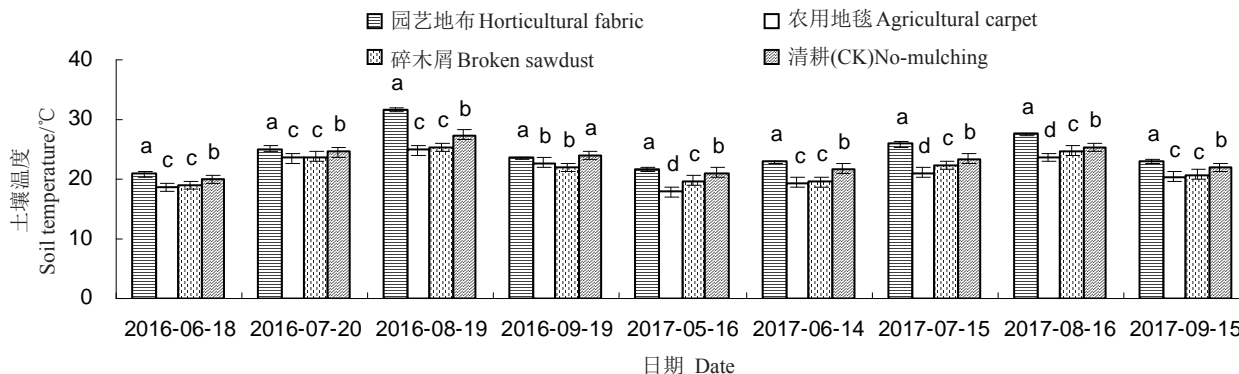


图3 不同覆盖物对20.1~30.0 cm 土层土壤温度的影响

Fig. 3 Effect of different mulching materials on the soil temperture in 20.1-30.0 cm soil depth

(CK)相比,园艺地布覆盖能提高土壤温度,而农用地毯和碎木屑覆盖降低土壤温度。由表1可见,农用地毯覆盖后土层深度0~10.0 cm和20.1~30.0 cm的变异系数最高,土层深度10.1~20.0 cm的变异系

数最低,由此说明,农用地毯覆盖后土层深度10.1~20.0 cm地温稳定。清耕(CK)土层深度0~10.0 cm和20.1~30.0 cm变异系数最低,10.1~20.0 cm变异系数最高,由此说明,清耕(CK)后土层深度10.1~20.0 cm地温变化明显,稳定性较差。

表1 不同覆盖物对不同土层深度土壤温度和含水量变异系数的影响

Table 1 Effect of different mulching materials on the variable coefficient

土层深度 Soil depth/ cm	覆盖处理 Mulching treatment	变异系数 CV/%	
		土壤温度 Soil temperature	土壤含水量 Soil moisture content
0~10.0	园艺地布 Horticultural fabric	9.32	15.31
	农用地毯 Agricultural carpet	9.86	12.38
	碎木屑 Broken sawdust	9.56	15.81
	清耕(CK)No-mulching	7.97	17.81
10.1~20.0	园艺地布 Horticultural fabric	10.18	15.17
	农用地毯 Agricultural carpet	8.04	12.86
	碎木屑 Broken sawdust	8.86	13.99
	清耕(CK)No-mulching	11.34	17.84
20.1~30.0	园艺地布 Horticultural fabric	9.62	15.70
	农用地毯 Agricultural carpet	10.97	9.31
	碎木屑 Broken sawdust	10.04	15.16
	清耕(CK)No-mulching	9.38	19.16

由图4~6可见,各处理土壤含水量随土层深度的增加呈现上升的变化趋势,与清耕(CK)相比,3种覆盖处理均能提高不同土层的土壤含水量。由表1可见,各处理不同时期的土壤含水量变异系数存在差异,农用地毯覆盖后土层深度0~10.1 cm、10.1~20.0 cm和20.1~30.0 cm的土壤含水量变异系数低,而清耕(CK)土壤含水量变异系数高,由此表明,农用地毯覆盖对土壤含水量的稳定作用效果明显,而清耕(CK)土壤含水量变化差异大、稳定性差。

2.2 不同覆盖物对叶片光合参数的影响

由图7可见,与清耕(CK)相比,3种覆盖处理均能提高叶片净光合速率。从整体变化趋势看,试验初期各处理叶片净光合速率差异不明显,试验中后期差异显著。其中,2016年7月18日至2017年5月10日农用地毯覆盖叶片净光合速率高于其他处理,

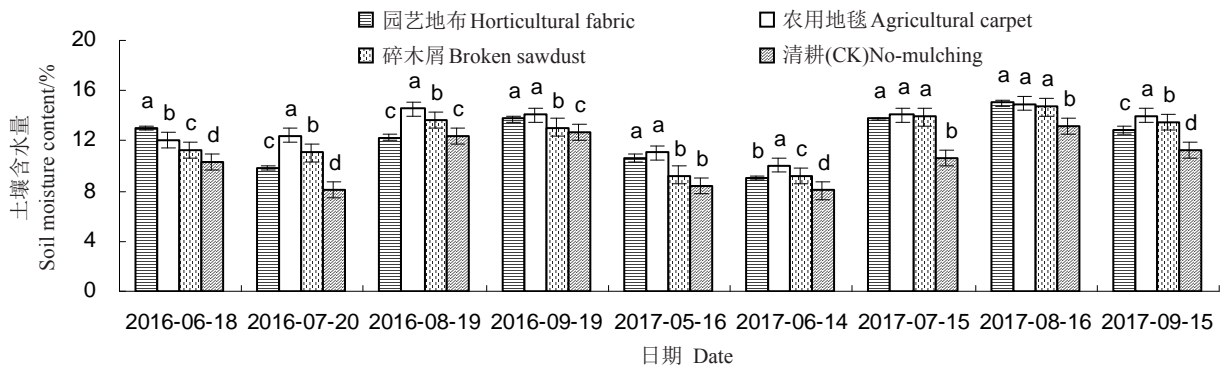


图4 不同覆盖物对0~10.0 cm 土层土壤含水量的影响

Fig. 4 Effect of different mulching materials on the soil moisture content in 0-10.0 cm soil depth

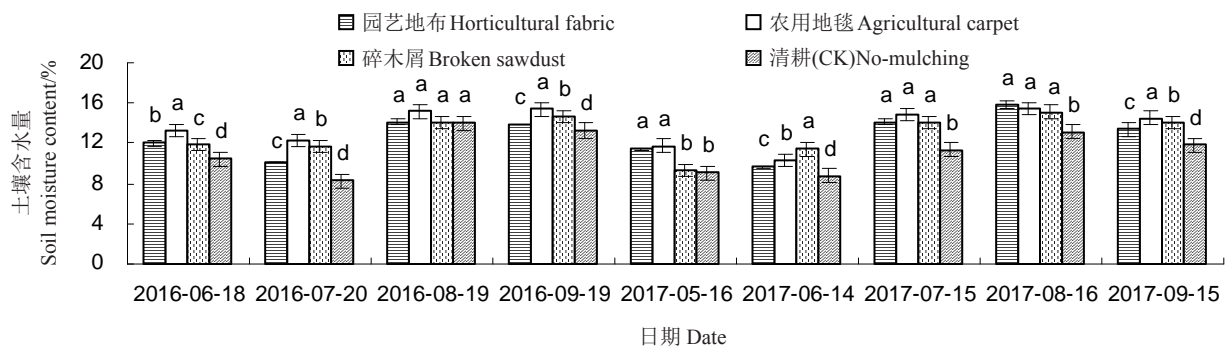


图5 不同覆盖物对10.1~20.0 cm 土层土壤含水量的影响

Fig. 5 Effect of different mulching materials on the soil moisture content in 10.1-20.0 cm soil depth

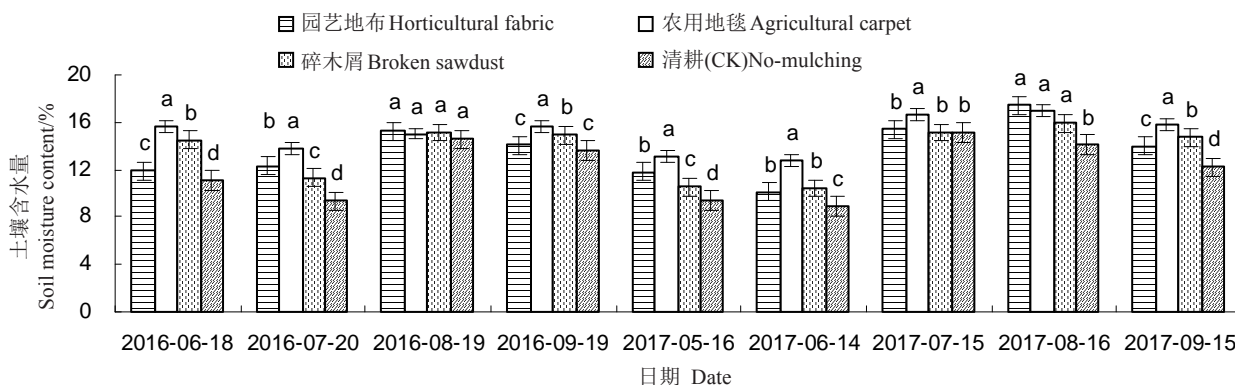


图6 不同覆盖物对 20.1~30.0 cm 土层土壤含水量的影响

Fig. 6 Effect of different mulching materials on the soil moisture content in 20.1-30.0 cm soil depth

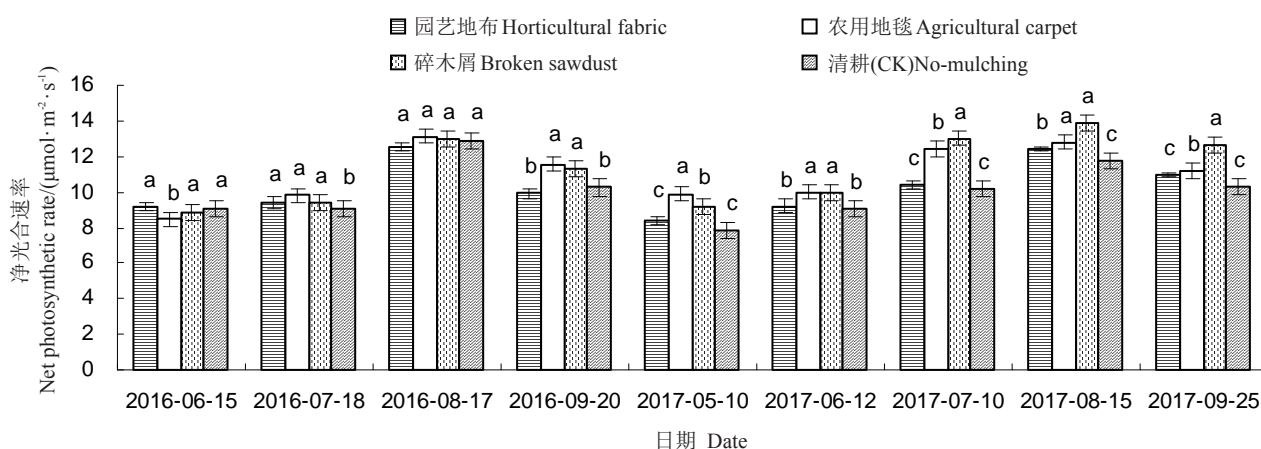


图7 不同覆盖物对叶片净光合速率的影响

Fig. 7 Effect of different mulching materials on the net photosynthetic rate in leaves

2017年7月10日至9月25日碎木屑覆盖叶片净光合速率增长速度加快。由表2可见,园艺地布、农用地毯、碎木屑和清耕(CK)的叶片净光合速率变异系数分别为13.44%、13.52%、16.21%和14.45%。由此

说明,农用地毯覆盖后叶片净光合速率稳定性优于其他处理,而碎木屑稳定性较差。

表2 不同覆盖物对叶片光合参数和叶绿素相对含量变异系数的影响

Table 2 Effect of different mulching materials on the photosynthetic parameters and relative content of chlorophyll in leaves

覆盖处理 Mulching treatment	变异系数 CV/%		
	叶片净光合速率 Net photosynthetic rate	水分利用效率 Water use efficiency	叶绿素相对含量 Relative content of chlorophyll
园艺地布 Horticultural fabric	13.44	10.88	10.54
农用地毯 Agricultural carpet	13.52	9.47	9.31
碎木屑 Broken sawdust	16.21	12.42	11.74
清耕(CK) No-mulching	14.45	12.23	9.55

显著提高叶片水分利用效率。其中,农用地毯覆盖提高2016年和2017年春季的叶片水分利用效率效果显著,而碎木屑覆盖提高夏季和秋季的叶片水分利用效率效果显著。由表2可见,农用地毯覆盖叶片水分利用效率变异系数最低,其次为园艺地布,而碎木屑最高。由此说明,农用地毯覆盖叶片水分利用效率稳定作用效果最好,而碎木屑覆盖虽然可以提高夏季和秋季叶片水分利用效率,但稳定作用效果较差。

由图9可见,与清耕(CK)相比,3种覆盖处理均能提高叶片叶绿素相对含量。其中,2016年7月18日至2017年6月12日农用地毯覆盖叶片叶绿素相对含量最高,其次为碎木屑。2017年7月10日至9月25日碎木屑覆盖叶片叶绿素相对含量高于其他

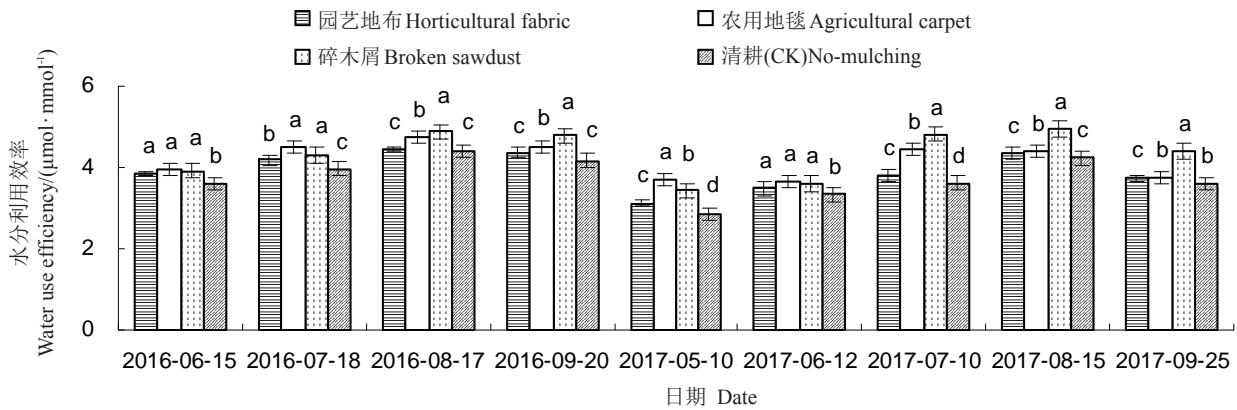


图 8 不同覆盖物对叶片水分利用效率的影响

Fig. 8 Effect of different mulching materials on the water use efficiency in leaves

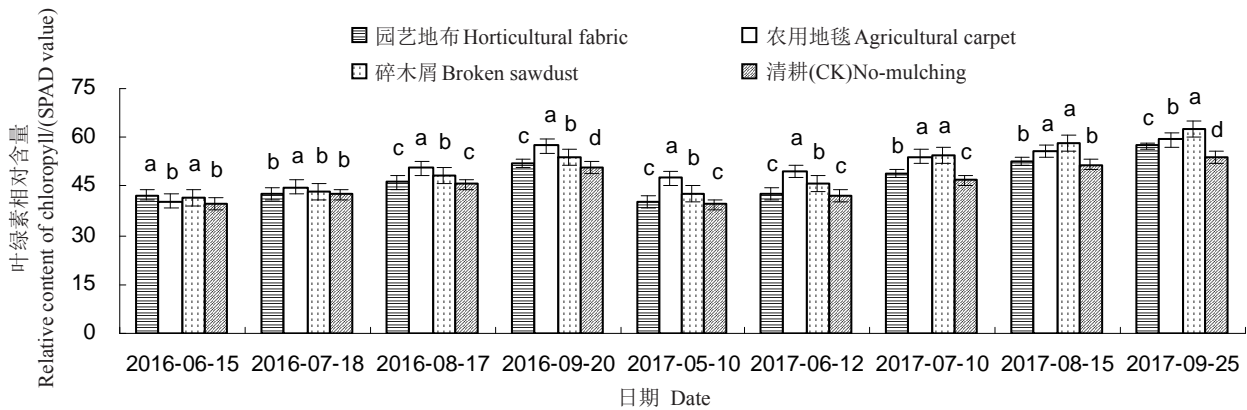


图 9 不同覆盖物对叶片叶绿素相对含量的影响

Fig. 9 Effect of different mulching materials on the relative content of chlorophyll in leaves

处理。由此表明,果园地面覆盖初期,农业地毯覆盖提高叶片叶绿素相对含量效果明显,随着覆盖时间的延长,碎木屑覆盖作用效果优于其他处理。比较各处理叶片叶绿素相对含量变异系数发现,农用地毯最低,其次为清耕(CK),而碎木屑最高。由此说明,在整个试验过程中,农用地毯对叶绿素相对含量的稳定性优于其他处理,其次为清耕(CK),而碎木屑稳定性较差。

2.3 不同覆盖物对树体生长量的影响

由表 3 可见,2016 年、2017 年 3 种覆盖处理均可提高单叶质量和叶片厚度。其中,农用地毯覆盖的叶片质量和厚度最高,清耕(CK)最低。2016 年、2017 年 3 种覆盖处理树高和覆盖率均高于清耕(CK)。其中,农用地毯覆盖的树高最高,其次为碎木屑;农用地毯对幼树覆盖率提高程度大,与其他处理差异显著。由此说明,不同覆盖处理对树体生

表 3 不同覆盖物对叶片质量和树体生长量的影响

Table 3 Effect of different mulching materials on the leaves quality and tree growth

年份 Year	覆盖处理 Mulching treatment	单叶质量 Leaf fresh mass/g	叶片厚度 Leaf thickness/mm	树高 Height/m	覆盖率 Coverage rate/%
2016	园艺地布 Horticultural fabric	0.95±0.04 b	0.39±0.02 b	2.85±0.10 b	54.08±2.05 c
	农用地毯 Agricultural carpet	1.07±0.06 a	0.45±0.02 a	3.05±0.06 a	60.18±2.92 a
	碎木屑 Broken sawdust	0.98±0.05 b	0.42±0.02 a	2.92±0.07 a	57.65±2.43 b
	清耕(CK) No-mulching	0.90±0.04 c	0.35±0.02 c	2.74±0.08 c	50.12±3.06 d
2017	园艺地布 Horticultural fabric	0.98±0.05 b	0.46±0.02 a	3.35±0.07 ab	66.25±2.52 c
	农用地毯 Agricultural carpet	1.16±0.02 a	0.48±0.02 a	3.38±0.09 a	72.50±2.61 a
	碎木屑 Broken sawdust	1.03±0.08 b	0.39±0.02 b	3.42±0.07 a	68.75±2.45 b
	清耕(CK) No-mulching	0.93±0.04 c	0.37±0.02 b	3.30±0.07 b	65.40±3.19 c

长度的影响存在差异性,其中,农用地毯覆盖对树体生长量的提高幅度明显优于其他处理。

由图10可见,2016年和2017年各处理新梢生长均表现相似的变化趋势,即前期增长速度较快,后期增长速度趋缓。2016年5月6日至6月5日和2017年5月5日至6月4日园艺地布覆盖的新梢长

度高于其他处理,2016年7月4日至9月4日和2017年7月5日至9月5日农用地毯覆盖的新梢长度高于其他处理。由此说明,春季园艺地布覆盖适宜新梢的生长,随着夏季气温和降雨量的增加,园艺地布覆盖的土壤温度升高、新梢生长速度减缓,而农用地毯覆盖的土壤含水量和土壤温度比较适宜新梢生长,

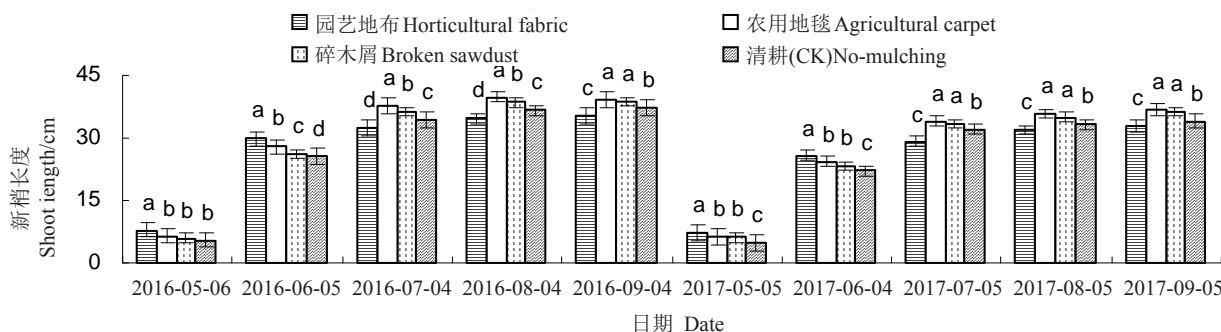


图10 不同覆盖物对新梢生长动态的影响

Fig. 10 Effect of different mulching materials on the new shoots growth

因此新梢生长速度加快。

由表4可见,3种覆盖处理均可显著提高苹果幼树总枝量。其中,2016年、2017年农用地毯覆盖的总枝量均最高,分别为 10.81×10^4 条· hm^{-2} 和 18.85×10^4 条· hm^{-2} ,与其他处理间差异显著,其次是碎木屑和园艺地布。比较2016年、2017年各处理枝类组成比例发现,与清耕(CK)相比,3种覆盖处理均可降低

长枝比例,提高短枝比例。其中,农用地毯覆盖的长枝比例最低,2016年和2017年分别为14.98%和16.71%,其次是园艺地布;2016年和2017年农用地毯覆盖的短枝比例最高,分别为44.48%和38.46%。由此说明,3种覆盖处理可以提高总枝量,而且影响枝类组成比例,其中,农用地毯覆盖处理效果显著优于其他处理。

表4 不同覆盖物对枝类组成的影响

Table 4 Effect of different mulching materials on the branch composition

年份 Year	覆盖处理 Mulching treatment	枝类组成比例 The composition proportion of different branches/%			总枝量 Total branches/ ($\times 10^4$ 条· hm^{-2})
		长枝 Long shoots	中枝 Medium shoots	短枝 Spur shoots	
2016	园艺地布 Horticultural fabric	17.79±0.57 b	38.83±1.12 a	43.38±1.49 a	9.93±0.23 b
	农用地毯 Agricultural carpet	14.98±1.29 d	40.54±0.85 a	44.48±2.12 a	10.81±0.45 a
	碎木屑 Broken sawdust	16.38±1.05 c	39.63±1.03 a	43.99±0.80 a	10.03±0.26 b
	清耕(CK) No-mulching	21.18±0.89 a	39.45±1.78 a	39.37±1.75 b	8.83±0.29 c
2017	园艺地布 Horticultural fabric	21.22±0.48 b	44.48±0.95 a	34.30±1.26 b	17.58±0.48 c
	农用地毯 Agricultural carpet	16.71±0.85 d	44.83±1.21 a	38.46±1.53 a	18.85±0.53 a
	碎木屑 Broken sawdust	19.71±1.06 c	44.96±1.18 a	35.33±0.95 b	18.06±0.43 b
	清耕(CK) No-mulching	23.08±1.46 a	44.46±1.30 a	32.46±0.68 c	17.16±0.52 d

2.4 不同覆盖物对果实品质的影响

由表5可见,综合比较2016年、2017年各处理果实品质发现,与清耕(CK)相比,3种覆盖处理均可提高单果质量、果实硬度、可溶性固形物和固酸比,降低可滴定酸含量。其中,农用地毯覆盖对果实单果质量、果实硬度、可溶性固形物含量和固酸比提高幅度最大。覆盖处理影响果实色泽,可以提高果实

色差值的a和b值。其中,农用地毯覆盖的果实果面红色程度艳丽、底色较黄,果实色差值的a和b值高于其他处理,而清耕(CK)的a和b值最低,果实着色最差,果面红色最浅、底色最淡。清耕(CK)的L值最高,果面光泽度好、光亮程度高。分析原因认为,由于清耕(CK)果园地面反光程度高,照射到地面的太阳光被反射回树冠内,增加冠内光照强度,提高果面

表5 不同覆盖物对果实品质的影响

Table 5 Effect of different mulching materials on the fruit quality

年份 Year	覆盖处理 Mulching treatment	单果质量 Fruit mass/g	硬度 Firmness/ (kg·cm ⁻²)	w(可溶性 固形物) Soluble solids/%	w(可滴 定酸) Titratable acidity/%	固酸比 TSS/TA	色差值 Color difference value		
							L	a	b
2016	园艺地布 Horticultural fabric	242.09±9.32 c	8.85±0.32 b	13.65±0.25 b	0.37±0.02 b	36.89±2.38 b	48.06±2.05 a	30.46±1.42 c	13.19±0.42 c
	农用地毯 Agricultural carpet	258.42±6.27 a	9.18±0.41 a	14.36±0.32 a	0.35±0.02 b	41.03±2.15 a	46.29±2.12 b	35.42±1.39 a	16.28±0.38 a
	碎木屑 Broken sawdust	250.06±8.06 b	9.02±0.39 b	14.13±0.28 a	0.36±0.01 b	39.25±2.25 a	43.16±2.06 c	33.28±1.65 b	15.06±0.33 b
	清耕(CK) No-mulching	239.18±10.48 d	8.76±0.29 c	13.02±0.43c	0.39±0.01 a	33.38±2.08 c	50.18±1.28 a	29.15±1.59 c	12.46±0.27 c
2017	园艺地布 Horticultural fabric	256.74±11.39 b	9.16±0.19 c	13.75±0.33 b	0.41±0.03 a	34.06±2.61 c	49.00±1.51 b	31.86±1.48 c	15.21±0.24 b
	农用地毯 Agricultural carpet	265.69±5.48 a	9.45±0.23 a	15.13±0.61 a	0.39±0.02 b	38.88±2.02 a	45.46±2.41 c	37.19±1.13 a	17.36±0.60 a
	碎木屑 Broken sawdust	259.83±3.56 b	9.34±0.28 b	13.73±0.44 b	0.37±0.02 c	36.84±2.50 b	44.07±2.85 c	35.17±1.48 b	13.34±1.18 c
	清耕(CK) No-mulching	247.81±20.77 c	9.14±0.18 c	13.40±0.44 b	0.42±0.01 a	31.73±1.73 d	54.11±2.30 a	30.65±1.29 c	12.00±0.27 d

的光泽度。

由表6可见,各处理果实可溶性糖组分中果糖含量最高,葡萄糖含量最低;而有机酸组分中苹果酸含量最高,其次为奎宁酸,莽草酸含量最低。3种覆盖处理均可提高果实中葡萄糖、果糖和蔗糖含量。其中,农用地毯覆盖的果实葡萄糖、果糖和蔗糖含量均最高,与其他处理间差异显著;园艺地布覆盖的果

实果糖和蔗糖含量均高于碎木屑,两者间差异显著。各处理果实中有机酸组分含量存在明显差异。其中,清耕(CK)果实中苹果酸和柠檬酸含量最高,碎木屑覆盖的果实中奎宁酸含量最高,园艺地布覆盖的果实中莽草酸含量最高。由此说明,覆盖处理影响果实中可溶性糖和有机酸组分含量,果实口感存在差异性。

表6 不同覆盖物对果实可溶性糖和有机酸组分的影响

Table 6 Effect of different mulching materials on the soluble sugar and organic acid content of fruit

w/(mg·g⁻¹)

覆盖处理 Mulching treatment	葡萄糖 Glucose	果糖 Fructose	蔗糖 Sucrose	苹果酸 Malic acid	奎宁酸 Quinic acid	莽草酸 Shikimic acid	柠檬酸 Citric acid
园艺地布 Horticultural fabric	30.09±0.19 b	56.26±0.89 b	44.85±0.79 b	4.325 4±0.059 1 a	0.402 8±0.010 8 b	0.003 7±0.000 4 a	0.044 8±0.002 2 b
农用地毯 Agricultural carpet	35.19±0.24 a	59.96±1.36 a	50.13±0.51 a	3.313 7±0.042 1 b	0.417 0±0.004 2 a	0.003 4±0.000 4 b	0.038 8±0.003 8 c
碎木屑 Broken sawdust	30.36±0.69 b	49.86±1.05 c	42.69±0.74 c	3.952 7±0.085 4 c	0.436 5±0.008 3 a	0.002 9±0.000 2 c	0.049 8±0.001 9 a
清耕(CK) No-mulching	26.94±0.43 c	42.85±0.29 d	33.67±0.69 d	4.545 9±0.072 9 d	0.427 0±0.017 3 a	0.002 6±0.000 3 c	0.050 8±0.003 4 a

3 讨 论

3.1 不同覆盖物对叶片光合参数和树体生长量的影响

果园地面覆盖使地面呈半封闭状态,能减少土壤中的水分进入到空气中,降低土壤地表水分蒸发量,增加水分在土壤中的横向传输,植物根系获得更加充足的水分,利于提高叶片的光合能力^[26]。本研究中,叶片净光合速率在不同时期存在季节性的变

化差异,2016年、2017年各处理叶片净光合速率峰值分别出现在8月17日和8月15日。2016年试验初期,各处理叶片净光合速率差异不明显,2016年9月20日至2017年5月10日农用地毯覆盖的叶片净光合速率显著高于其他处理,随后增长幅度趋缓;2017年7月10日至9月25日碎木屑覆盖的叶片净光合速率增长速度明显加快,数值高于其他处理。分析原因认为,辽宁地区春季气候干旱少雨,与清耕(CK)相比,通过地面覆盖可以提高土壤含水量,间

接影响叶片净光合速率。随着夏季的来临,降雨量逐渐增加,农用地毯覆盖的叶片净光合速率逐渐提高。农用地毯作为纤维织物具有良好的吸水效果,它可将雨水吸收并缓慢释放,更好的保持土壤水分,有利于根系生长和叶片进行光合作用,因此,2016年夏、秋季和2017年春季农用地毯覆盖叶片净光合速率高于其他处理。而碎木屑作为有机物料,会逐渐腐烂和降解,覆盖一年后腐烂速度明显加快。碎木屑腐烂过程中会释放出较多的二氧化碳,可以为叶片光合作用提供更多的碳源,因此,碎木屑覆盖叶片的净光合速率在2017年夏、秋季期增长速度明显加快。果园地面覆盖后土壤水分蒸发量降低、干湿交替程度减缓,叶片蒸腾速率平稳,因此水分利用效率也会得到显著的提高。

本研究中,与清耕(CK)相比,3种覆盖处理均能提高叶片质量、厚度和叶绿素相对含量,提高树高、覆盖率和总枝量,这一结果与董海强等^[27]、黄萍^[19]和郭学军等^[18]的研究结论相一致。分析原因认为,由于果园地面覆盖后土壤温度和土壤含水量明显增加,根系活力增强,根系吸收养分的速率得到显著提高,利于苹果树地上部叶片和枝条的生长。综合比较3种覆盖物对树体生长量的影响,发现农用地毯覆盖效果显著,其次为碎木屑和园艺地布。分析原因认为,3种覆盖物中农用地毯作为纤维织物对水分的吸收能力强,透水透气效果好;园艺地布为塑料编织物,虽具有良好的渗水性和透气性,但在降雨过程中依然会有大量雨水通过膜面流失,造成水分的浪费;碎木屑主要为苹果枝干,地面覆盖后木屑彼此间具有较大的空隙,水分蒸腾速率较快。因此,3种覆盖物的土壤温度和土壤含水量存在差异性。果园地面覆盖后,根系活力得到一定的提升,促进植株地上部新梢和叶片的生长。但是,炎热的夏季受太阳辐射的影响,果园地温和气温升高速度较快,温度的持续升高反而会抑制根系活力。对于大多数果树来说,根系生长的适宜温度为20~25℃^[28],园艺地布为黑色塑料编织物,导热能速度快,提高地温效果要优于农用地毯和碎木屑,地温超过根系生长最适温度上限,反而抑制根系活力;而农用地毯和碎木屑厚度高、空隙大、传热能力低,地温升高速度慢,可以为根系提供适宜的生长温度,利于根系对养分的吸收和利用,从而影响植株地上部生长。因此,农用地毯和碎木屑在提高叶片质量、光合参数及树体生长量

等方面的效果优于园艺地布和清耕(CK)。

3.2 不同覆盖物对果实品质的影响

果园覆盖能促进果树生长发育,有效提高果树产量,改善果实品质^[29]。本研究中发现,与清耕(CK)相比,果园覆盖后果实单果质量、硬度、可溶性固形物、固酸比等指标均有所提高。这一结果与曹欣冉等^[30]和郭学军等^[18]的研究结果一致。分析原因认为,果实单果质量的显著提高,可能与覆盖后土壤含水量的增加有关,果实膨大期对水分需求量大,土壤含水量增高可以促进果实细胞分裂和膨大。另外,果园覆盖后土壤生态环境得到显著改善,根系代谢加快、对土壤养分利用效率增加,旺盛的根系代谢促进植株地上部枝叶的生长,茂盛的枝叶为果实发育提供充足的养分供应。因此,果园覆盖后果实可溶性固形物、固酸比等含量均显著提高,果实内在品质得到改善。比较果实色差值发现,清耕(CK)处理的果面光亮程度最高,其次为园艺地布。分析原因认为,果园清耕后地面反光程度高,反射太阳光能力强,可以为叶片和果实着色提供部分反射光。而园艺地布为黑色材质的塑料编织物,其表面具有一定的反光程度,虽然照射在园艺地布上的光大部分会被黑色地布吸收,但仍有部分光能被反射,从而影响果面光亮程度。因此,与其他处理相比,清耕(CK)和园艺地布覆盖能够提高果面光亮程度。

4 结 论

与清耕(CK)相比,农用地毯、碎木屑、园艺地布覆盖能提高土壤含水量,而农用地毯和碎木屑覆盖降低土壤温度。3种覆盖处理能提高叶片净光合速率、水分利用效率、叶绿素相对含量、单叶质量、覆盖率、总枝量等,影响枝类组成比例。地面覆盖后果实单果质量、硬度、可溶性固形物、固酸比和果面红色着色程度显著提高,果实中可溶性糖和有机酸组分存在差异性。综合比较3种覆盖物对土壤温度、土壤含水量、植株叶片参数、树体生长量和果实品质的影响,作用效果从高到低分别为农用地毯、碎木屑和园艺地布。

参考文献 References:

- [1] IBRAHIM I T, SVEN E S, DAVID H. Floor management systems in an organic apple orchard affect fruit quality and storage life[J]. Hort Science, 2015, 50(3): 434-441.
- [2] 姚胜蕊,薛炳焯. 果园地面管理研究进展[J]. 山东农业大学学

- 报,1999,30(2):186-192.
YAO Shengrui, XUE Bingye. A review of orchard floor management[J]. Journal of Shandong Agricultural University, 1999, 30(2):186-192.
- [3] 高登涛,郭景南,魏志峰,杨朝选. 果园地面覆盖对土壤质量和苹果生长发育的影响[J]. 果树学报,2010,27(5):770-777.
GAO Dengtao, GUO Jingnan, WEI Zhifeng, YANG Chaoxuan. Effect of orchard mulch on soil quality, growth and development of apple trees[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(5):770-777.
- [4] 孙文泰,董铁,刘兴禄,赵明新,尹晓宁,牛军强,马明. 覆盖处理苹果细根分布与土壤物理性状响应关系研究[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(2):88-95.
SUN Wentai, DONG Tie, LIU Xinglu, ZHAO Mingxin, YIN Xiaoning, NIU Junqiang, MA Ming. Relationship between root distribution of apple and soil physical properties by different ground covering approaches[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(2):88-95.
- [5] 尹晓宁,刘兴禄,董铁,牛军强,孙文泰,马明. 苹果园不同覆盖材料对土壤与近地微域环境及树体生长发育的影响[J]. 中国生态农业学报,2018,26(1):83-95.
YIN Xiaoning, LIU Xinglu, DONG Tie, NIU Junqiang, SUN Wentai, MA Ming. Effects of different mulching materials on soil and near-surface environment and of apple orchard tree growth[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(1):83-95.
- [6] 孙文泰,马明,董铁,刘兴禄,赵明新,尹晓宁,牛军强. 地表覆盖对陇东旱塬苹果根系生长与越冬前后树体贮藏营养的影响[J]. 果树学报,2016,33(11):1367-1378.
SUN Wentai, MA Ming, DONG Tie, LIU Xinglu, ZHAO Mingxin, YIN Xiaoning, NIU Junqiang. Effects of mulching on root growth and nutrient reservation in over wintering apple trees grown in the dry area of eastern Gansu[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(11):1367-1378.
- [7] 刘小勇,李红旭,李建明,王玮,赵明新,孙定虎. 不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响[J]. 生态学报,2014,34(3):746-756.
LIU Xiaoyong, LI Hongxu, LI Jianming, WANG Wei, ZHAO Mingxin, SUN Dinghu. The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3):746-756.
- [8] 廖小龙. 不同土壤覆盖方式对库尔勒香梨园微气候及生长发育的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
LIAO Xiaolong. The Influence of different soil coverage on the orchard microclimate and growth development of Kolar Fragrant Pear[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2014.
- [9] AUGUSTYN M, WALDEMAR T, ZBIGNIEW B, KRZYSZTOF R, BARBARA M. Effects of orchard mulching with reflective mulch on apple tree canopy irradiation and fruit quality[J]. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 2007, 15(8): 41-53.
- [10] 闫文涛,仇贵生,张怀江,孙丽娜,程存刚,李壮,赵德英. 辽西苹果园三种地面管理模式对土壤理化性状和昆虫群落的影响[J]. 果树学报,2014,31(5):801-808.
YAN Wentao, QIU Guisheng, ZHANG Huaijiang, SUN Lina, CHENG Cungang, LI Zhuang, ZHAO Deying. The effects of three ground management modes on soil physical-chemical properties and insect community in the apple orchard of western Liaoning[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5):801-808.
- [11] 王浩,王磊,王杰,蒋飞,刘海明,叶军,邓楠林,许文平,张才喜,王世平. 透湿性反光膜覆盖对柑橘树体微环境、新梢生长及果实发育的影响[J]. 果树学报,2017,34(8):996-1006.
WANG Hao, WANG Lei, WANG Jie, JIANG Fei, LIU Haiming, YE Jun, DENG Nanlin, XU Wenping, ZHANG Caixi, WANG Shiping. Effects of vapor-permeable reflective film mulching on citrus tree micro-environment, shoot growth and fruit development[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(8):996-1006.
- [12] 孙文泰,刘兴禄,董铁,尹晓宁,牛军强,马明. 陇东旱塬苹果园不同覆盖措施对土壤性状、根系分布和果实品质的影响[J]. 果树学报,2015,32(5):841-851.
SUN Wentai, LIU Xinglu, DONG Tie, YIN Xiaoning, NIU Junqiang, MA Ming. Root distribution, soil characteristics, root distribution and fruit quality affected by different mulching measures in apple orchard in the dry area of eastern gansu[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(5):841-851.
- [13] 孙文泰,马明,董铁,刘兴禄,赵明新,尹晓宁,牛军强. 陇东旱塬苹果根系分布规律及生理特性对地表覆盖的响应[J]. 应用生态学报,2016,27(10):3153-3163.
SUN Wentai, MA Ming, DONG Tie, LIU Xinglu, ZHAO Mingxin, YIN Xiaoning, NIU Junqiang. Response of distribution pattern and physiological characteristics of apple roots grown in the dry area of eastern gansu to ground mulching[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(10):3153-3163.
- [14] 孙文泰,赵明新,尹晓宁,董铁,刘兴禄,牛军强,马明. 陇东旱地果园地表覆盖方式对苹果光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3):19-25.
SUN Wentai, ZHAO Mingxin, YIN Xiaoning, DONG Tie, LIU Xinglu, NIU Junqiang, MA Ming. Effects of different mulch modes on apple photosynthesis in dry-land orchards of East Gansu province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(3):19-25.
- [15] 张义,谢永生,郝明德,摄晓燕. 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.
ZHANG Yi, XIE Yongsheng, HAO Mingde, SHE Xiaoyan. Effects of different mulching cover patterns on soil character and growth and yield of apple orchards[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(2):279-286.
- [16] 陈汝,王金政,薛晓敏,聂佩显,王来平. 不同覆盖材料对苹果冠层环境叶片光合作用和果实品质的影响[J]. 河北农业科学,2016,20(4):9-11.
CHEN Ru, WANG Jinzheng, XUE Xiaomin, NIE Peixian,

- WANG Laiping. Effects of different cover materials on environment of canopy, photosynthesis ability and fruit quality of apple tree[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2016, 20(4):9-11.
- [17] 陈汝,王金政,薛晓敏,王贵平,聂佩显,王来平. 覆盖对王林苹果冠层环境及叶片净光合速率和果实品质的影响[J]. *天津农业科学*, 2016, 22(4):13-16.
- CHEN Ru, WANG Jinzheng, XUE Xiaomin, WANG Guiping, NIE Peixian, WANG Laiping. Effects of mulching on the environment of leaf canopy, net photosynthetic rate and fruit quality of 'Wanglin' apple tree[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2016, 22(4): 13-16.
- [18] 郭学军,韩张雄,马锋旺. 不同覆盖方式对苹果园土壤状况及果树生长与果实的影响[J]. *西北农林科技大学学报*, 2013, 41(9): 112-118.
- GUO Xuejun, HAN Zhangxiong, MA Fengwang. Effect of different mulching treatments on changes of soil properties, growth of fruit tree, yield and quality of fruit[J]. *Journal of Northwest A&F University*, 2013, 41(9):112-118.
- [19] 黄萍,曹辉,张瑞雪,纪拓,李燕歌,杨洪强. 苹果根系生理和叶片光合对地面不同覆盖物的差异反应[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(1):160-169.
- HUANG Ping, CAO Hui, ZHANG Ruixue, JI Tuo, LI Yange, YANG Hongqiang. Different response of apple root physiology and leaf photosynthesis to mulching of different materials[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(1):160-169.
- [20] 吕三三,杜国栋,刘志琨,吕德国,李爽. 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.
- LV Sansan, DU Guodong, LIU Zhikun, LÜ Deguo, LI Shuang. Effects of orchard mulching grass on the microstructure and function of photo system in apple leaves[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(1):130-139.
- [21] 闫丽娟,杨洪强,苏倩,门秀巾,张玮玮. 施用炭化苹果枝粉末对平邑甜茶生长及根系构型的影响[J]. *园艺学报*, 2014, 41(7):1436-1442.
- YAN Lijuan, YANG Hongqiang, SU Qian, MEN Xiujin, ZHANG Weiwei. Effects of carbonized powder of apple branch on the growth and root architecture of *malus hupehensis*[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2014, 41(7):1436-1442.
- [22] 尚志华,魏钦平,孙丽珠,王小伟,张强,付立华. 乔砧富士苹果改良高干开心形树冠郁闭的评判参数[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(1):132-139.
- SHANG Zhihua, WEI Qiping, SUN Lizhu, WANG Xiaowei, ZHANG Qiang, FU Lihua. Judgement parameters of canopy overcrowded for reformative high trunk open centre shape of Fuji apple with standard rootstock[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(1):132-139.
- [23] 张强,魏钦平,王小伟,尚志华,刘军,刘松忠,孙志鸿. 乔砧富士苹果树冠枝梢数量和分布对产量与品质的影响[J]. *园艺学报*, 2010, 37(8):1205-1212.
- ZHANG Qiang, WEI Qiping, WANG Xiaowei, SHANG Zhihua, LIU Jun, LIU Songzhong, SUN Zhihong. Effects of shoot numbers and distribution in canopy on yields and qualities of Fuji apple with standard rootstock[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(8):1205-1212.
- [24] 马瑞娟,张斌斌,张春华,蔡志翔,颜志梅. 采前除袋铺设反光膜对桃果实着色及相关基因表达的影响[J]. *园艺学报*, 2015, 42(11):2123-2132.
- MA Ruijuan, ZHANG Binbin, ZHANG Chunhua, CAI Zhi-xiang, YAN Zhimei. Effect of bag removing with reflective film mulching before harvest on fruit coloration and expression of anthocyanin related genes in peach[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(11):2123-2132.
- [25] 闫忠业,伊凯,刘志,王冬梅,吕天星,李春敏,陈东玫. '红玉'×'金冠'苹果杂交代果实糖酸组分遗传分析[J]. *果树学报*, 2017, 34(2): 129-136.
- YAN Zhongye, YI Kai, LIU Zhi, WANG Dongmei, LÜ Tianxing, LI Chunmin, CHEN Dongmei. A study of genetic trend of sugar and acid components in the fruits of apple hybrid progeny of 'Jonathan' × 'Golden Delicious' [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(2):129-136.
- [26] 李世清,李东方,李凤民. 半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J]. *西北农林科技大学学报*, 2003, 31(5):21-29.
- LI Shiqing, LI Dongfang, LI Fengmin. Soil ecological effects of mulch in semi-arid farmland ecosystem[J]. *Journal of Northwest A&F University*, 2003, 31(5):21-29.
- [27] 董海强,李丙智,王金锋,王俊峰,刘富庭,李雪薇. 不同覆盖方式对苹果树体生长及土壤理化特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2015, 24(8):101-109.
- DONG Haiqiang, LI Bingzhi, WANG Jinfeng, WANG Junfeng, LIU Futing, LI Xuewei. Effects of different mulching patterns on growth of apple trees and soil physicochemical properties[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(8):101-109.
- [28] 郝荣庭. 果树栽培学总论[M]. 北京:中国农业出版社, 2004: 51.
- XI Rongting. The pomology cultivation general theory[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2004:51.
- [29] 张坤,王发林,刘小勇,尹晓宁. 地面覆盖对果园土壤水热分布和果实品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(11): 125-130.
- ZHANG Kun, WANG Falin, LIU Xiaoyong, YIN Xiaoning. Effects of ground cover mulch on soil water and heat distribution and fruit quality of orchard[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(11):125-130.
- [30] 曹欣冉,安贵阳,张紫嫣. 几种覆盖方式对旱地苹果园土壤养分、酶活性及树体生长的影响[J]. *西北农业学报*, 2016, 25(5): 788-794.
- CAO Xinran, AN Guiyang, ZHANG Ziyang. Influence of different mulchings on soil nutrients, enzyme activity and tree growth in non-irrigation apple orchard[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(5):788-794.