

陇东旱塬地表覆盖方式对苹果生育后期叶片质量及根际土壤微环境的影响

孙文泰,董铁,刘兴禄,尹晓宁,牛军强,马明

(甘肃省农业科学院林果花卉研究所,甘肃 兰州 730070)

摘要:为探明陇东旱塬区不同覆盖方式对苹果生育后期叶片质量、根际生态环境的影响,以16 a生,连续6 a覆盖的盛果期“长富2号”苹果树为试材,设清耕(CK)、覆膜、麦草覆盖、覆黑膜+麦草(膜+草)等4个处理,调查叶片养分、活性氧代谢功能,测定0~100 cm内不同深度土层土壤水分、容重、有机质等,对根际土壤微生物数量及土壤酶活性进行分析。结果表明:麦草覆盖处理可有效提高苹果叶片叶绿素与淀粉含量,增幅分别为CK的2.79%、29.09%;根系集中分布层(20~40 cm)土壤水分、有机质含量增高,分别为CK的102.93%,135.96%;土壤容重仅为CK的96.32%,并有效提高各土层土壤酶活性,特别提高土壤表层(0~20 cm)酶活性,脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性为CK的157.14%、218.5%、118.02%、193.21%,可有效提高土壤中微生物总量,为CK的134.19%,其中细菌与真菌的数量增高,放线菌的数量降低;根系活力与土壤水分、孔隙度、微生物含量及脲酶、蔗糖酶等呈极显著正相关,与土壤容重、过氧化氢酶呈极显著负相关。覆膜与膜+草处理对叶片及土壤环境改善效果较差。综合分析根际土壤理化性状及土壤酶、微生物空间分布特征等,认为麦草覆盖处理是陇东旱塬区苹果园适宜的地表覆盖方式。

关键词:苹果园;地表覆盖方式;苹果;叶片质量;根际生态环境;土壤酶;土壤微生物

中图分类号:S661.1 文献标志码:A

Effects of ground mulching on leaf quality in late apple growth stage and rhizosphere environment in the dryland of eastern Gansu Province

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

(Institute of Forestry, Fruits and Floriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The objective of this study is to identify the effects of ground mulching on the leaf quality at late growth stages of apple as well as rhizosphere environment in Longdong arid areas. Leaf nutrients and reactive oxygen metabolism of the 16-years-old apple trees with six consecutive years coverage were measured, which included conventional tillage (CK) with three coverage types of plastic mulching, straw mulching, and film + straw. Soil moisture, soil bulk density, and organic matter content in different layers were determined as well as the soil microorganisms and soil enzyme activity in the rhizosphere. The results indicated that straw mulching increased leaf chlorophyll and starch contents by 2.79% and 29.09%, respectively. In the concentrated layer of apple roots (20~40 cm), straw mulching increased content of soil moisture by 102.93% and organic matter content by 135.96% over the control. Also, the soil bulk density was reduced by 96.32%. The activities of urease, alkaline phosphatase, catalase, and sucrase in top 20 cm soil layer were significantly increased by 157.14%, 218.5%, 118.02%, and 193.21% over that of the control, respectively. The amount of microorganisms in the soil with straw mulching was 134.19% of that in the control and the population of bacteria and fungi were increased, but the population of actinomycetes was reduced in other soil layers. Also, soil moisture, porosity, microbial population, and activity of urease

收稿日期:2017-11-28

修回日期:2018-03-12

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0201135);国家自然科学基金(31760555,3176110476,31560540);公益性行业(农业)科研专项(201303104);甘肃省苹果产业科技攻关项目(GPCK 2011-1);国家苹果产业技术体系平凉综合试验站项目(GARS-27);甘肃省农科院院地合作项目(2017GAAS57);农业部西北地区果树科学观测试验站项目(S-10-18)

作者简介:孙文泰(1983-),女,山东潍坊人,硕士,助理研究员,研究方向为果树栽培生理与生态。E-mail:swt830312@126.com

通信作者:马明(1965-),男,甘肃秦安人,研究员,主要从事果树育种与栽培研究。E-mail:maming65118@163.com

and sucrase were positively associated with root activity. In addition, there were negative correlations between soil bulk density, catalase, and root activity. The treatments of plastic mulching and film + straw did not improve the leaf quality and soil rhizosphere environment as much as straw mulching. The results of soil physical and chemical properties, soil enzyme, and microbial community distribution showed that the straw mulching is a better option for improving most of the parameters in apple orchard in dryland of the eastern Gansu.

Keywords: apple orchard; ground mulching; apple leaf quality; rhizosphere environment; soil enzyme; soil microorganism

甘肃陇东旱塬区是我国优质苹果产区,降雨量少,季节分布不均,土壤蓄水能力差,长久以来果园清耕制管理造成土壤持续恶化,生产力下降,影响树体可持续性健康发展,果实品质下降^[1-2],急需一项改善根际土壤微域环境、蓄水保墒的栽培模式。

根域环境是果树根系与土壤生态系统物质能量交换,促进树体营养吸收、运输、生长发育、光合积累的重要生化空间^[3]。果园地面覆盖可通过改善果树根域环境,达到调整根系组成、生长分布,提高根系生理功能的目的,进而影响树体营养与生殖生长的平衡及贮藏营养的积累^[4-6]。当前果园覆盖的研究多针对土壤水分保蓄、叶片营养元素、光合性能、果实品质等方面^[7],但对于根际生态环境的改善及生育后期叶片质量、养分积累鲜有研究。本文针对不同覆盖条件下苹果生育后期叶片质量、土壤理化性状空间异质性变化规律、根际土壤酶活性与土壤微生物数量对土壤微域环境特性的响应展开研究,旨在提出改善果园生态系统管理的覆盖技术,对于建立土壤质量健康评价系统、改善根际生态环境、增强树势、提高果实品质与产量具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验果园概况与试验设计

试验于甘肃省静宁县威戎镇新华村进行,海拔1 600 m,年均降雨量450.8 mm,主要集中于7—9月,年均日照时数2 238 h,无霜期159 d,年平均气温7.1℃。土壤为黄绵土,pH值7.6~8.6。试材为果园16 a生盛果期‘长富2号’苹果树,砧木山定子,株行距3 m×4 m。设置覆膜、麦草覆盖与清耕3种方式,共4个处理。处理1:清耕(CK);处理2:麦草覆盖,2010年秋进行覆盖,以33 750 kg·hm⁻²的麦草覆于全园整个行间与树盘下,厚度为15 cm;处理3:覆膜,于2011年春季土壤解冻前,树行两边斜面覆黑色地膜。行间免耕。处理4:覆黑膜+麦草(简称:膜+草),沿行向树盘两侧覆膜,宽1.30 m,覆膜所剩行间40 cm宽度覆麦草,厚度15 cm。各覆盖

处理连续覆盖6 a,选取生长一致的树体,单株小区,每处理5次重复,各覆盖处理间设置保护行(清耕)^[8]。

1.2 试验方法

0~100 cm土层分为5个土壤层(垂直方向20 cm一层),水平方向距树60 cm处用100 cm³环刀取样,测定土壤容重、土壤孔隙度、含水量等。测定土壤酶及土壤微生物的土样采集采用“S”形取样,不同处理5个土层用土钻取样,混匀并四分法留样^[8]。土样按试验需要分成2份,分别测定土壤微生物数量及土壤酶活性。

土壤酶活性测定:蔗糖酶用硫代硫酸钠滴定法;过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法;脲酶用苯酚钠比色法;碱性磷酸酶用磷酸苯二钠比色法^[9]。微生物群落研究方法:均采用培养基培养,稀释平板涂布法计算^[9]。

叶片采样方法:2015—2017年每年10月下旬分别在树冠东、西、南、北4个方向的外围(距树干大于1.5 m)第1层主枝选取生长势好且长势一致的新梢的第4~7片无机械损伤、无病虫害的叶作为测定叶片,每3株树为1个取样单元,重复3次。叶绿素用SPAD-520叶绿素仪直接测定,叶面积用YMJ-C型叶面积测量仪测定叶片的叶长、叶宽、叶片总面积,在果园中利用YS-938型电子秤测定叶片的百叶鲜质量;将每个测定过鲜质量的叶片分装到保鲜袋带回实验室,一部分于105℃烘箱烘30 min,再于75℃烘箱烘至恒重,称量叶片干质量,最后粉碎后制成待测样品。叶片N用凯氏定氮法测定,P用钒钼黄比色法测定,K用火焰光度计法测定^[10];比叶重(g·cm⁻²)=叶片重量/叶面积;一部分叶片-80℃超低温冰箱保存,叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用NBT(氮蓝四唑)光化还原法^[10];过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法^[10];过氧化氢酶(CAT)活性测定采用KMnO₄滴定法^[10];丙二醛(MDA)含量测定采用TBA(硫代巴比妥酸)法^[10];细胞膜透性用DDS-307电导仪测定^[10];细胞膜相对透性(%)=L₁/L₂×100%,式中,L₁

表示根系杀死前外渗液的电导值; L_1 表示根系杀死后外渗液的电导值。脯氨酸(PRO) 测定采用酸性茚三酮比色法^[10]; 可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝 G-250 法^[11]; 可溶性糖测定采用蒽酮比色法^[10]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 软件计算叶片生理指标、土壤理化性状指标、土壤酶活性及微生物数量等, 并绘制图表; 利用 SPASS 13.0 软件进行差异显著性分析等。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖方式对苹果生育后期叶片质量的影响

由表 1 可知, 各覆盖处理不同程度影响了生育后期叶片的叶面积、比叶重、叶绿素及 N、P、K 含量, 以麦草覆盖处理效果最为显著, 分别为 CK 的 119.70%、121.62%、102.79%、108.64%、114.71%、114.41%, 并且其叶片膜脂过氧化产物 MDA、渗透调节物质脯氨酸、抗氧化酶(SOD、POD)与 CK 相比均呈现不同程度下降趋势, 分别为 CK 的 33.33%、83.47%、66.52%、60.26%。叶片在生育后期的光合

产物积累、转化与落叶后养分回流、翌年再分配有紧密关系。各覆盖处理叶片可溶性糖与 CK 相比有所下降, 这是由于更多的可溶性糖向其他器官运输及转化为淀粉用于器官建造及营养贮藏, 有利于生育后期碳素营养向枝条及根系回流, 其中麦草覆盖、膜+草、覆膜处理的淀粉积累分别为 CK 的 129.09%、116.61%、100.72%。

2.2 不同覆盖方式对根际土壤理化性状的影响

由图 1 中可知, 各处理随着土层深度的增加, 土壤容重、pH 值逐渐增大, 土壤含水量、孔隙度与有机质的变化趋势与之相反。随土层深度增加, CK 土壤容重先减小后增大, 孔隙度变化趋势与之相反。相比其他处理, CK 的表层土壤(0~20 cm)含水量与孔隙度最低、容重最大。在 0~100 cm 的 5 个土层中, 20~40 cm 土层土壤容重最小、土壤孔隙度最大、土壤含水量较高, 利于根系生长。麦草覆盖与膜+草处理可显著降低 0~100 cm 土层土壤容重, 提高土壤孔隙度、含水量; 麦草覆盖处理 20~40 cm 土层土壤含水量、土壤孔隙度、有机质为 CK 的 102.71%、107.72%、135.96%, 而容重仅为 CK 的 96.32%; 膜+

表 1 不同覆盖条件下苹果生育后期叶片特性

Table 1 Leaf characteristics at late growth stages of apple under different mulching

处理 Treatment	长 Length /cm	宽 Width /cm	长宽比 Length : width	叶面积 Leaf area /cm ²	百叶重 Hundred-leaf weight/g	比叶重 Specific leaf weight /(g · cm ⁻²)	叶绿素 Chlorophyll (SPAD)	N /(g · kg ⁻¹)	P /(g · kg ⁻¹)
清耕 Clean tillage	8.01±0.15Bb	5.42±0.11Bb	1.48±0.04Ab	31.01±1.09Bb	45.73±0.45Dd	0.37±0.02Bbc	58.04±0.29Bb	24.3±0.3Bb	2.04±0.02Cc
覆膜 Plastic mulching	8.01±0.13Bb	5.19±0.06Cc	1.54±0.03Aa	30.29±0.73Bb	54.67±0.48Bb	0.39±0.02Bb	56.46±0.53Bc	24.6±0.6Bb	2.05±0.03Cc
麦草 Straw mulching	8.73±0.11Aa	5.89±0.02Aa	1.48±0.01Ab	37.12±0.67Aa	57.87±1.06Aa	0.45±0.01Aa	59.66±0.60Aa	26.4±0.7Aa	2.34±0.02Aa
膜+草 Film+straw	8.79±0.06Aa	5.79±0.02Aa	1.52±0.01Aab	36.35±1.13Aa	50.3±0.13Cc	0.34±0.03Bc	57.3±0.76Bbc	25.4±0.7AaBb	2.24±0.05Bb
处理 Treatment	K /(g · kg ⁻¹)	淀粉 Starch /(g · kg ⁻¹)	可溶性糖 Soluble sugar /%	可溶性蛋白 Soluble protein /(mg · g ⁻¹)	脯氨酸 Proline /(μg · g ⁻¹)	SOD /(U · g ⁻¹)	POD /(U · g ⁻¹)	丙二醛 (MDA) /(nmol · g ⁻¹)	
清耕 Clean tillage	5.83±0.03Cc	12.58±0.93Ab	3.71±0.16Aa	3.69±0.09Cc	33.15±1.40Aa	22.85±1.8Aa	42±0.56Aa	4.5±0.53Aa	
覆膜 Plastic mulching	5.92±0.07Cc	12.67±1.53Ab	3.34±0.15Aa	3.99±0.12BCc	31.21±0.82ABa	17.39±1.15BCc	39.72±1.90Aab	4.9±0.44Aa	
麦草 Straw mulching	6.67±0.06Aa	16.24±1.52Aa	3.62±0.29Aa	4.99±0.15Aa	27.67±0.47Bb	15.2±0.36Cc	25.31±0.75Bc	1.5±0.10Bc	
膜+草 Film+straw	6.08±0.05Bb	14.67±0.83Aab	3.61±0.22Aa	4.32±0.27Bb	27.73±1.89Bb	19.92±0.92ABb	38.99±1.46Ab	2.5±0.44Bb	

注:同列内不同小写字母表示经检验在 0.05 水平上差异显著, 不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

Note: different capital and lowercase letters indicate significant difference at $P<0.01$ and $P<0.05$ levels, respectively.

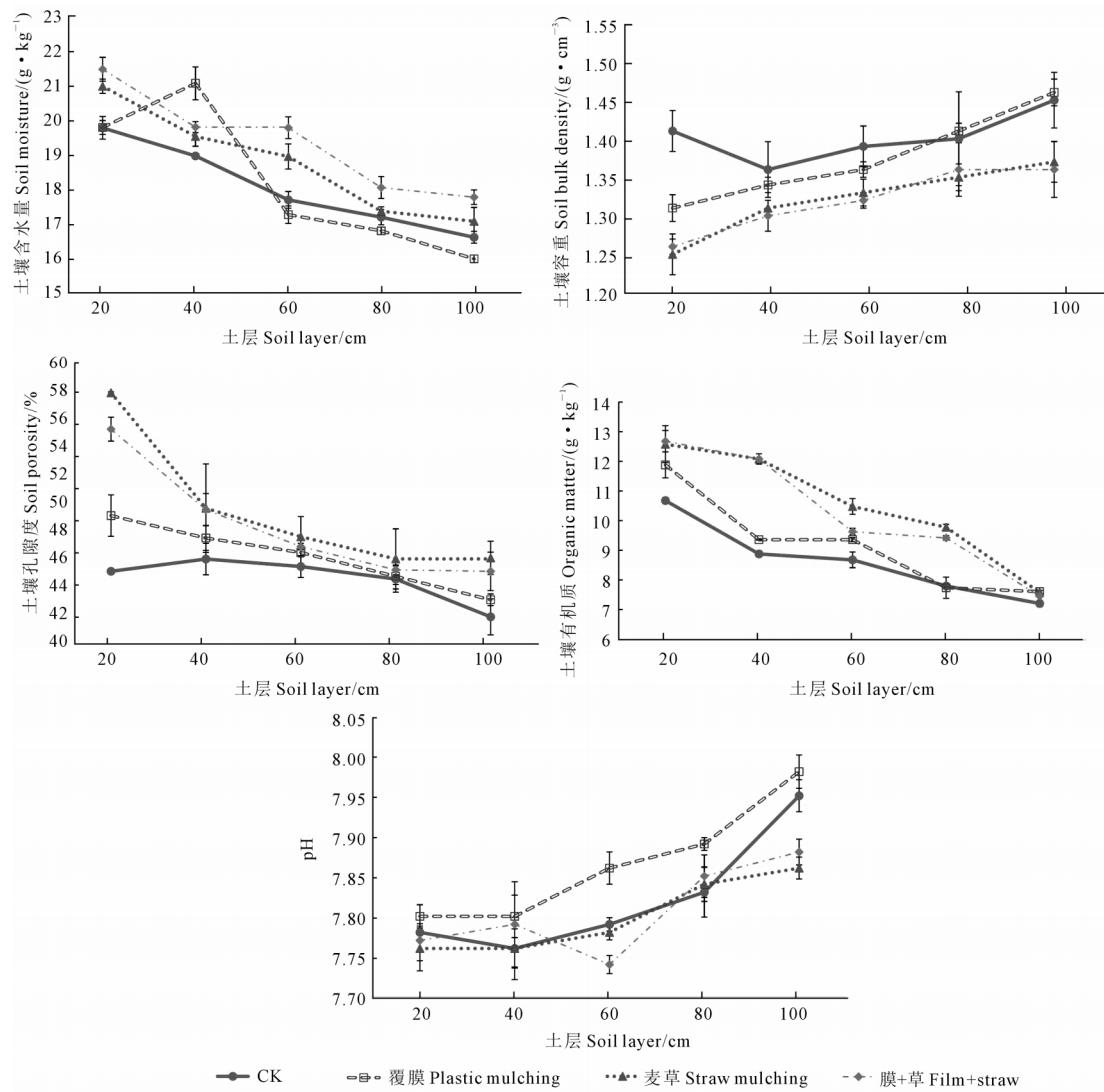


图1 不同覆盖方式下垂直方向土壤理化性质的变化

Fig1 The vertical change of soil physical and chemical properties under different mulching

草处理则对0~20 cm土层改善效果最为显著,土壤含水量、土壤孔隙度为CK的108.48%、122.02%,容重仅为CK的89.36%;覆膜处理对60 cm以下深层土壤的理化性状改善效果欠佳,其60~80 cm、80~100 cm土层含水量、容重、土壤孔隙度仅为CK的97.74%、100.71%、100.42%;96.30%、100.69%、102.84%。各覆盖处理均可提高土壤有机质含量,并随土层深度的增加,改善效果降低,其中以麦草覆盖效果最为显著,各土层有机质为CK的117.76%、135.96%、120.69%、125.64%、105.56%。这是由于麦草腐解增加有机质含量的同时,有效改善根域微环境生态条件,优化土壤微生物活性与数量,可利用有机质积累。

2.3 不同覆盖方式对土壤酶活性的影响

土壤酶是有机物代谢的催化剂,其活性的高低可反映土壤养分转化、利用能力的强弱,是土壤代

谢活性的标志。由表2可知,各处理脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性随土层深度的增加而降低,CK、麦草覆盖、覆膜、膜+草处理80~100 cm底层土壤中上述3种酶活性分别为0~20 cm表层土壤的30.61%、22.08%、20.9%、20.83%;36.43%、34.9%、18.78%、29.09%;24.42%、28.64%、26.68%、27.21%。这是由于深层土壤的熟化程度、物理结构、水分及养分状况不及表层土壤,造成微生物种群较少,代谢活力较弱,而土壤酶主要来自于微生物、动植物活体分泌及残体分解^[12],因此深层土壤中土壤酶活性较低。过氧化氢酶活性的变化趋势与之相反,各处理底层土壤酶活性为表层的138.74%、142.75%、149.15%、140.16%。这与酶活性表层富集效应相异。由于深层土壤容重增大,土壤孔隙度减小,透气性差,土壤过氧化氢酶活性提高,有利于缓解根际土壤生态环境对根系的胁迫伤害。各覆盖处理均

表2 不同覆盖方式下土壤酶活性的变化

Table 2 The change of soil enzyme activity under different mulching

土层/cm Soil layer	脲酶 Urease/(mg · g ⁻¹)				碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase/(mg · g ⁻¹)			
	CK	麦草 Straw mulching	覆膜 Plastic mulching	膜+草 Film+ straw	CK	麦草 Straw mulching	覆膜 Plastic mulching	膜+草 Film+ straw
	0~20	0.49±0.04Bc	0.77±0.02Aa	0.67±0.05Ab	0.72±0.02Aab	19.24±0.16Dd	42.04±0.15Aa	36.95±0.47Cc
20~40	0.22±0.01Dd	0.39±0.02Aa	0.28±0.02Cc	0.33±0.02Bb	18.98±0.54Cd	27.52±0.6Aa	22.17±1.16Bc	25.63±1.15Ab
40~60	0.2±0.03Bb	0.28±0.03Aa	0.21±0.02ABb	0.24±0.04ABab	15.54±0.75Dd	27.39±0.64Aa	21.53±0.71Cc	24.58±0.53Bb
60~80	0.17±0.03Bb	0.26±0.02Aa	0.15±0.01Bb	0.24±0.02Aa	10.57±0.61Cd	23.44±0.95Aa	12.93±0.42Cc	18.99±1.52Bb
80~100	0.15±0.01ABb	0.17±0.01Aa	0.14±0.01Bb	0.15±0.01ABb	7.01±0.11Cc	14.67±1.28Aa	6.94±0.07Cc	11.42±0.55Bb

土层/cm Soil layer	过氧化氢酶 Catalase/(mg · g ⁻¹)				蔗糖酶 Sucrase/(mg · g ⁻¹)			
	CK	麦草 Straw mulching	覆膜 Plastic mulching	膜+草 Film+ straw	CK	麦草 Straw mulching	覆膜 Plastic mulching	膜+草 Film+ straw
	0~20	1.11±0.05Bb	1.31±0.04Aa	1.18±0.04ABb	1.27±0.05Aa	22.97±0.24Dd	44.38±0.63Aa	28.86±0.4Cc
20~40	1.32±0.06Aa	1.36±0.04Aa	1.30±0.06Aa	1.33±0.06Aa	14.19±0.44Bb	26.76±0.94Aa	27.63±1.11Aa	26.87±1.00Aa
40~60	1.33±0.06Aa	1.58±0.05Aa	1.45±0.26Aa	1.51±0.08Aa	12.59±0.98Cc	21.56±0.66Aa	17.6±1.06Bb	20.37±1.50ABA
60~80	1.46±0.08Bb	1.79±0.03Aa	1.73±0.05Aa	1.74±0.04Aa	10.72±0.37Bc	16.27±0.56Aa	10.77±0.95Bc	12.54±1.30Bb
80~100	1.54±0.04Bc	1.87±0.01Aa	1.76±0.06Ab	1.78±0.03Ab	5.61±0.24Dd	12.71±0.83Aa	7.7±0.39Cc	10.85±0.59Bb

能提高土壤酶活性,以覆草处理于土壤表层效果最为显著,其脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性分别为CK的157.14%、218.50%、118.02%、193.21%。

2.4 不同覆盖方式对土壤微生物分布的影响

由图2可知,麦草覆盖、覆膜处理0~100 cm各土层土壤微生物总量为CK的134.19%、105.48%,其中麦草覆盖处理显著提高苹果根系集中分布层(0~40 cm)土壤微生物数量,覆膜处理趋势与之相反。而膜+草处理0~100 cm微生物总量仅为CK的94.39%,在40~80 cm土层均低于CK。

果园土壤微生物以细菌为主,放线菌次之,真菌数量最少。不同的地表覆盖方式改变土壤中的水、肥、气、热等条件,为微生物的生长创造适宜的环境条件。由表3可知,麦草覆盖处理显著增加了各土层细菌与真菌的数量,减少了放线菌的数量,以20~40 cm土层效果最为显著,细菌、真菌、放线菌为CK的220.04%、247.51%、94.87%;覆膜处理次之。从空间分布看,土壤细菌、真菌、放线菌数量均随土层加深呈下降趋势,各处理上下层差异均达到显著水平。

2.5 土壤酶活性与土壤微生物含量相关性分析

土壤微生物数量在根域土壤中分布变化主要受土壤营养物质、植物生物学特性、根系分泌物、土壤结构、土壤水热状况、通气状况等影响,而土壤酶主要来自于微生物、动植物活体分泌及残体分解^[12]。

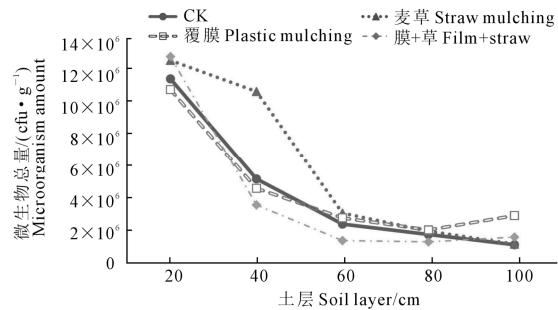


图2 不同覆盖方式对土壤微生物总量的影响

Fig.2 The influence of mulching on soil microorganism population

由表4可知,4种土壤酶与微生物数量均成极显著相关,其中蔗糖酶、脲酶与微生物相关性最高,过氧化氢酶则呈极显著负相关。

2.6 不同覆盖方式下根系活力与土壤理化性状、土壤酶活性、微生物含量的相关性分析

土壤理化性状、土壤酶活性、微生物数量共同构建了土壤微域生态环境,根系的生长、生理活性、活力及其分泌产生的次生代谢物质与土壤微域生态环境互相影响、相互制约。由表5可知,各处理根系活力与土壤水分、土壤孔隙度、脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶呈极显著正相关,与土壤pH值基本无相关;其中各覆盖处理根系活力与土壤容重呈极显著负相关,表明良好的土壤理化性状,合理的土壤微生物种群结构、土壤酶活性,共同创造了优良的根际生态环境,推动土壤物质能量的代谢循环,诱导果树拥有活跃的根系功能。

表3 不同覆盖方式下土壤微生物数量的变化

Table 3 The change of soil microbial population under different mulching

微生物种类 Microbial species	处理 Treatment	土层 Soil layer/cm				
		0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
细菌 Bacteria /(\times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1})	CK	0.998\pm0.01BCc	0.459\pm0.012Bb	0.19\pm0.0140Bc	0.145\pm0.030Bc	0.095\pm0.003Cd
	覆膜 Plastic mulching	0.92\pm0.005BCb	0.374\pm0.017Cc	0.206\pm0.004Bb	0.175\pm0.003Aa	0.244\pm0.003Aa
	麦草 Straw mulching	1.138\pm0.026Aa	1.01\pm0.009Aa	0.273\pm0.003Aa	0.168\pm0.004Ab	0.103\pm0.005Cc
	膜+草 Film+straw	1.084\pm0.071ABA	0.271\pm0.003Dd	0.112\pm0.003Cd	0.112\pm0.004Cd	0.137\pm0.003Bb
真菌 Fungus /(\times 10^3 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1})	CK	24.13\pm0.66Dd	9.22\pm0.03Cc	4.00\pm0.05Bb	1.80\pm0.02Bb	9.20\pm0.09Aa
	覆膜 Plastic mulching	31.02\pm0.66Cc	15.41\pm1.40Bb	5.13\pm0.09Aa	6.86\pm0.03Aa	1.53\pm0.03Bb
	麦草 Straw mulching	85.43\pm1.08Aa	22.82\pm0.06Aa	2.85\pm0.12Cc	1.40\pm0.09Cc	0.52\pm0.04Cc
	膜+草 Film+straw	37.82\pm0.82Bb	4.27\pm0.10Dd	0.12\pm0.02Dd	0.01\pm0.001Dd	0.13\pm0.02Dd
放线菌 Actinomycetes /(\times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1})	CK	15.16\pm0.08Cc	6.43\pm0.18Bb	5.24\pm0.10Bb	3.32\pm0.03Aa	1.95\pm0.06Cc
	覆膜 Plastic mulching	16.19\pm0.14Bb	8.95\pm0.04Aa	7.47\pm0.09a	3.07\pm0.05Bb	5.14\pm0.04DAa
	麦草 Straw mulching	12.04\pm0.04Dd	6.10\pm0.15Bc	3.76\pm0.07Cc	3.08\pm0.04Bb	1.51\pm0.06Dd
	膜+草 Film+straw	20.30\pm0.62Aa	9.06\pm0.04Aa	2.85\pm0.04Dd	2.05\pm0.06Cc	2.50\pm0.03Bb

表4 土壤酶活性与土壤微生物含量的相关性

Table 4 Correlation between soil enzyme activity and soil microbial population

	细菌 Bacteria	真菌 Fungus	放线菌 Actinomycetes
蔗糖酶 Sucrase	0.805 **	0.833 **	0.775 **
脲酶 Urease	0.896 **	0.875 **	0.859 **
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.729 **	0.747 **	0.697 **
过氧化氢酶 Catalase	-0.723 **	-0.763 **	-0.828 **

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关, 下同。

Note: ** denote correlation is significant at 0.01 level, the same below.

表5 不同覆盖处理下根系活力与土壤理化性状、土壤酶活性、微生物含量的相关性

Table 5 Correlation between root activity and soil physical-chemical properties, soil enzyme activity, and soil microbial population under different mulching

项目 Item	处理 Treatment	土壤水分 Soil moisture	容重 Soil bulk density	孔隙度 Soil porosity	有机质 Organic matter	pH	细菌 Bacteria	真菌 Fungus	放线菌 Actinomycetes	脲酶 Urease	碱性磷 酸酶 Alkaline phosphatase	过氧化 氢酶 Catalase	蔗糖酶 Sucrase
根系 活力 Root activity	CK	0.868 **	-0.267	0.600 **	0.971 **	-0.419	0.941 **	0.941 **	0.937 **	0.901 **	0.888 **	-0.920 **	0.936 **
	覆膜 Plastic mulching	0.781 **	-0.953 **	0.932 **	0.933 **	-0.573 *	0.754 **	0.861 **	0.895 **	0.930 **	0.961 **	-0.914 **	0.961 **
	麦草 Straw mulching	0.717 **	-0.854 **	0.751 **	0.950 **	-0.413	0.941 **	0.994 **	0.954 **	0.945 **	0.933 **	-0.969 **	0.956 **
	膜+草 Film+straw	0.575 *	-0.927 **	0.939 **	0.971 **	-0.288	0.747 **	0.737 **	0.863 **	0.917 **	0.948 **	-0.961 **	0.957 **

高了叶片叶面积、比叶重、叶绿素及 N 含量, 生长期各指标分别达到 CK 的 119.70%、121.62%、102.79%、108.64%, 积累淀粉含量为 CK 的 129.09%。而叶片衰老与活性氧积累呈正相关, 麦草覆盖处理膜质过氧化产物 MDA 仅为 CK 的 33.33%, 有效延缓生育后期叶片衰老, 提高养分积累, 对翌年的果树生长有极其重要的意义。

3 讨论

叶片质量对树体生长、营养的吸收利用、果实品质至关重要, 其不仅受叶片光辐射水平影响, 同时也与土壤微域生态环境及树体营养运输、平衡有密切关系^[13]。氮素是叶片光合作用必不可少的功能元素, 生育后期叶片叶面积、比叶重大, 叶绿素、叶片氮含量高, 则可维持叶片高光合速率, 增加生育后期树体养分积累^[14]。覆盖对土壤微域生态环境的改善, 必然给根系生长发育提供更适宜的环境, 提高根系活力, 从而供给叶片更多的养分, 提高叶片质量, 更好地避免秋季气温降低、土壤干旱对树体的伤害。本试验结果表明, 麦草覆盖极显著提

土壤酶活性直接影响土壤养分被树体吸收、利用能力的强弱, 是土壤代谢能力的标志^[15]。本试验结果表明, 各处理脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性随土层深度的增加而逐渐降低, 这可能是由于深层土壤的有机质含量、物理结构、水分及养分状况不及表层土壤, 代谢活力较弱, 而土壤酶主要来自于微生物分泌、分解, 因此深层土壤中土壤酶活性较低;

过氧化氢酶活性变化趋势则相反,与酶活性表层富集效应规律不同,其活性与好氧微生物、土壤肥力有密切关系。由于深层土壤容重增大,土壤孔隙度减小,透气性差,为保护深层根系细胞结构及正常生理活性,促使过氧化氢酶活性提高。

土壤微生物是有机质、养分循环的动力,与土壤酶一同推进土壤物质、能量代谢循环,其数量及群体结构分布受土壤营养、根系分泌物、土壤理化状况等影响^[16-17]。本试验中,土壤表层有机质含量高,水热通气条件好,有利于微生物生长。随土层深度的增加,土壤有机质含量下降,土壤水热气等生态因子逐渐不适合土壤微生物生存繁殖,表现出表层土壤微生物数量明显高于深层土壤。

麦草覆盖处理显著增加了土壤酶活性、细菌的数量,减少放线菌数量,其脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性比覆膜处理提高了14.93%、13.78%、11.02%、53.78%。这是由于覆盖麦草不但可减缓土壤水分蒸发,优化土壤结构,而且麦草本身为有机成分,腐解后淋溶至下层土壤,为微生物生长提供充足营养;由于覆盖麦草后土壤肥力提高,土质疏松、透气性好,有效增加喜温暖湿润环境的细菌数量,可向土壤中分泌更多的酶^[18]。地膜覆盖虽然不能直接增加土壤酶活性,但良好局部水肥气热条件,促进土壤养分可利用性的提高,加快微生物繁殖,但由于缺乏有机物,使微生物的营养源及生殖条件受限,导致细菌数量减少和放线菌大幅增多。

土壤酶、微生物参与土壤中各生化反应,影响有机物质分解、营养物质循环、能量转移。树体获取物质与能量是通过根系实现的,因此土壤酶活性、微生物数量的变化规律必然会影响根系在土壤中的生长、活力。本试验结果表明,覆盖麦草条件下,土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性、微生物数量与根系活力呈极显著正相关,过氧化氢酶呈极显著负相关,覆膜处理中各土壤酶、微生物数量与根系活力相关性较覆草低,这可能是由于覆膜条件下,土壤透气性较差,影响土壤微生物活性、土壤营养物质代谢强度,根系生长受到影响。

4 结 论

合理的土壤微生物种群结构与适宜的土壤理化环境,共同构建了适合根系生长发育的根域环境,促使果树拥有良好的根类组成、活跃的根系功能,从而延缓叶片衰老、提高回流养分的累积,是果树优质生产的基础。本研究表明,麦草覆盖处理有

利于提高生育后期叶片质量及养分积累,优化土壤微生物种群结构,提高土壤酶活性,有利于提高树体对干旱冷凉环境的抗逆性和适应性,是陇东旱塬区一项保墒沃土、优化生态环境的果园管理方式。

参 考 文 献:

- [1] 刘国锋.不同土壤表层管理措施对陇东旱塬苹果园土壤的生态效应研究[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [2] 刘小勇,李红旭,李建明,等.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.
- [3] 程存刚.渤海湾北部苹果园土壤系统有机化过程的动力因素研究与优化[D].沈阳:沈阳农业大学,2013.
- [4] 孙文泰,刘兴禄,董铁,等.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.
- [5] 孙文泰,马明,董铁,等.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.
- [6] 孙文泰,董铁,刘兴禄,等.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.
- [7] 周江涛,吕德国,秦嗣军.不同有机物覆盖对冷凉地区苹果园土壤水温环境及速效养分的影响[J].应用生态学报,2014,25(9):2551-2556.
- [8] 孙文泰,马明,董铁,等.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.
- [9] 王倩.不同覆盖模式对旱地苹果园土壤养分、微生物和酶活性影响的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [10] 李合生.植物生理学和生物化学的实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [11] 李玲.植物生理学实验[M].北京:科学出版社,2009.
- [12] 孙步蕾.残根对连作平邑甜茶幼苗生物量及土壤环境影响的研究[D].泰安:山东农业大学,2014.
- [13] 陈锡龙,罗文文,韩明玉,等.纺锤形苹果树冠层不同区位叶片光合有效辐射积累与叶片质量关系的研究[J].果树学报,2013,30(6):952-957.
- [14] 丁宁,姜远茂,彭福田,等.分次追施氮肥对红富士苹果叶片衰老及15N吸收、利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(3):758-764.
- [15] 惠竹梅,岳泰新,张瑾,等.西北半干旱区葡萄园生草体系中土壤生物学特性与土壤养分的关系[J].中国农业科学,2011,44(11):2310-2317.
- [16] 陈汝.苹果园土壤微生物多样性及酵母菌新种研究[D].泰安:山东农业大学,2012.
- [17] 陈伟.苹果园土壤微生物类群与栽培环境关系的研究[D].泰安:山东农业大学,2017.
- [18] 陈月星,温晓霞,孙瑜琳,等.地表覆盖对渭北旱作苹果园土壤细菌群落结构及多样性的影响[J].微生物学报,2015,55(7):892-904.