

不同耕作模式对枣园根层土壤理化性状的影响

尹婷婷^{1,2}, 王守乐², 杜振涛³, 赵勇⁴, 张欢¹, 吴正保⁵, 赵世荣^{1*}, 樊丁宇^{2*}

(1.新疆农业大学 园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2.新疆农业科学院园艺作物研究所, 乌鲁木齐 830091;

3.塔里木大学 园艺与林学院, 阿拉尔市 843300; 4.山东省农业交流合作中心, 济南 250000;

5.新疆林科院 经济林研究所, 乌鲁木齐 830063)

摘要:【目的】针对南疆喀什地区枣园长期利用清耕管理模式造成枣树根层土壤养分降低、土壤结构严重受损等问题, 本文拟通过研究不同耕作模式对灰枣园土壤理化性状的影响, 为南疆枣园管理选择适宜的耕作方式提供数据参考。【方法】以南疆典型灰枣园为研究对象, 枣园行间设置清耕、免耕、间作油菜三种不同耕作方式, 分析三种耕作模式下枣园不同根层土壤理化性状(土壤温湿度、容重、孔隙度、有机质、全氮含量、全磷含量等)的变化特征。【结果】与清耕相比, 免耕与间作油菜模式下枣树根层土壤含水量明显增加, 间作油菜最为明显, 高出 10.93%~27.49%; 免耕与间作油菜模式均显著降低枣树根层 0~40 cm 土壤容重, 增加土壤孔隙度, 但是对 40~60 cm 土层容重和孔隙度的影响较小; 在 0~60cm 土层间作油菜模式电导率显著降低, 较清耕分别降低 7.21%、13.28 %、10.51 %, 在 20~40 cm 较免耕分别降低 6.50 %、6.43 %; 间作油菜显著提升 0~20cm、20~40cm、40~60cm 土层全钾含量, 较清耕分别提升 17.28%、13.90%、20.74%, 较免耕分别提升 11.03%、13.19%, 在 40~60cm 土层间作油菜和免耕的土壤全钾含量无显著性差异; 在 20~40cm 土层, 间作油菜的碱解氮、有效钾、有机质含量显著增加, 较清耕分别提高 33.49%、15.53%、52.97%; 在 0~60cm 土层, 免耕处理下土壤速效磷的含量最高。【结论】在喀什地区的土壤和气候光照条件下, 间作油菜一种较优的枣园耕作模式。

关键词: 灰枣园; 耕作; 油菜; 土壤理化性状

中图分类号:

文献标识码:

文章编号:

Study on the effect of different tillage patterns on the physico-chemical properties of date palm soils

YinTingting^{1,2}, Wang Shoule², DuZhengtao³, ZhaoYong⁵, Zhang Huan¹, Wu Zhengbao⁴, Zhao Shirong^{1*}, FanDingyu^{2*}

(1. College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Institute of Horticultural Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alar 843300, China; 4. The Agricultural Exchange and Cooperation Center of Shandong Province, Jinan 250000, China; 5. Institute of Economic Forestry, Xinjiang Academy of Forestry Science, Urumqi 830063, China.)

Abstract: 【Objective】 For the southern Xinjiang Kashgar area date palm garden long-term implementation of clear-tillage system, resulting in the decline of soil physical properties, soil nutrient reduction, serious damage to soil structure and other issues, this article intends to study the impact of different tillage modes of grey jujube garden soil physicochemical properties for the southern Xinjiang date palm garden management selection of suitable tillage methods to provide data references. 【Methods】 Taking the typical grey jujube gardens in South Xinjiang as the research object, three different tillage methods, namely, clear tillage, no-tillage and intercropping with rapeseed, were set up between the rows of jujube gardens, to analyse the physicochemical properties of the soil at different depths of different treatments of jujube gardens (Soil temperature and humidity, bulk weight, porosity, organic matter, total nitrogen content, total phosphorus content, etc.), and to determine the effects of different tillage methods on the soil of grey jujube gardens in South Xinjiang. The changes in soil physical and chemical properties (soil temperature, water content, bulk weight, porosity, conductivity, PH, organic matter, total nitrogen content, total phosphorus content, total potassium content, quick-acting phosphorus content, effective potassium content, and alkaline dissolved nitrogen content) were characterised. 【Result】 Compared with clear tillage, the soil water content of jujube root layer increased significantly under no-tillage and intercropping rape mode, and intercropping rape

was the most obvious, which was 10.93%~27.49% higher; no-tillage and intercropping rape mode both significantly reduced the soil capacity of jujube root layer from 0~40 cm and increased the soil porosity, but the effect on the capacity and porosity of soil layer from 40~60 cm was small; the electrical conductivity was significantly reduced by the intercropping rape mode from 0~60 cm, which was 7.21%, 13.28% and 10.51% lower than clear tillage respectively, and 6.50% and 6.43% lower than no-tillage at 20~40 cm; intercropped rape In the 0~60 cm soil layer, intercropping oilseed rape significantly reduced the mode conductivity by 7.21%, 13.28% and 10.51% compared with that of clear tillage, and by 6.50% and 6.43% compared with that of no-tillage in the 20~40 cm soil layer; intercropping oilseed rape significantly increased the total potassium content of the 0~20 cm, 20~40 cm and 40~60 cm soil layers by 17.28%, 13.90% and 20.74% compared with that of clear tillage and by 11.03% compared with that of no-tillage, and the whole potassium content of the 0~60 cm soil layer was significantly improved. No-tillage improved 11.03% and 13.19% respectively, and there was no significant difference in soil total potassium content between intercropped oilseed rape and no-tillage in the 40-60cm soil layer; in the 20-40cm soil layer, alkaline dissolved nitrogen (ADN), effective potassium (EK), and organic matter (OM) contents of intercropped oilseed rape increased significantly, and increased by 33.49%, 15.53%, and 52.97% respectively compared with that of the clear-cutting soil; in the 0-60cm layer, the soil under the no-tillage treatment had the The content of quick-acting phosphorus was the highest.【Conclusion】Intercropping oilseed rape is a better farming mode for date palm orchards under the soil and climatic light conditions in Kashgar region.

Key words: grey date palm orchard; tillage; oilseed rape; soil physicochemical properties

0 引言

【研究意义】枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 是原产我国的特有果树^[1], 是我国经济林重要组成部分。新疆红枣面积与产量均占全国面积第一, 其产区主要分布在南疆四地州, 对国家乡村振兴、农民增收及地区经济发展发挥着重要的作用^[2]。南疆地区昼夜温差大、光照条件充足、土壤质地疏松, 这种独特的气候和土壤条件促进枣树生长生产。南疆地区枣园普遍盛行传统耕作技术(清耕), 有效减少果园杂草的生长, 降低杂草与枣树间养分竞争作用, 但是行间无覆盖加剧土壤蒸腾作用, 导致保墒效果变差^[3]。同时, 长期采用单一的耕作方式会导致土壤板结、肥力下降, 不利于果树的根系发育^[4]。因此, 选择合理的耕作模式对枣园土壤质量健康发展及林果优质高产具有重要意义。【前人研究进展】果园生草是一种合理的管理方式, 可有效的提高土壤肥力, 改善土壤结构^[5-6]。它能够增加土壤覆盖率, 提高土壤蓄水保墒水平, 对土壤结构改善、养分有效性维持均有促进作用^[7-10]。果园生草有自然生草和人工生草两种模式。自然生草改善果园土壤物理性状, 且随着生草年限的增长, 效果越明显^[11]。高君等^[12]研究发现, 自然生草可显著提高果园土壤有机质、全氮、速效养分含量。王祖梅等^[13]研究发现, 相对于清耕, 行间种植百喜草提高枇杷果园土壤有机质、碱解氮、速效钾含量。果园行间间作绿肥能有效改善土壤温湿度状况, 翻压后能够提高土壤养分, 提高肥料利用效率^[14-15]。葛永申等^[16]研究发现, 人工生草模式下果园土壤有机质、速效磷及有效钾含量显著高于自然生草, 其中间作油菜处理的效果最好。吉爽秋等^[17]研究表明, 生草不同处理方式下人工生草+覆盖处理的土壤含水量、养分有效性明显高于自然生草。果园生草管理模式为我们枣园合理管理方式的选择提供一个思路。研究表明, 枣园生草能有效降低土壤容重, 提高土壤含水量与养分有效性, 增加生物的多样性, 改善土壤结构功能^[18-20]。枣树根系主要分布在 0~60 cm 土层, 但目前关于生草模式下枣园土壤理化性状的研究大部分都是针对 0~20 cm 土层, 对根层整体性研究鲜有报道, 这对我们理解枣园生草模式下土壤理化性状时空变化特征的整体性认识具有一定的局限性。同时, 探索生草管理对枣园根层土壤物理性状的影响将加强生草模式-土功结构功能关系的系统性理解, 对推行果园生草具有重要的理论意义。【本研究切入点】灰枣是新疆喀什地区种植面积最大的主栽品种, 枣园行间管理主要采用清耕这一传统模式, 能有效抑制杂草的生长, 方便管理, 但长期进行清耕易破坏土壤结构, 不利于果园土壤健康可持续发展, 还影响果品品质和生产效益。【拟解决关键问题】本文针对南疆喀什枣区枣园长期实行清耕制, 造成土壤理化性质下降, 土壤结构严重受损等问题, 设置清耕、免耕(自然生草)、间作油菜这 3 种耕作模式对枣园根层土壤(0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm)理化性状的影响研究, 探索适宜该地区的枣园耕作方式, 以期为南疆地区枣园土壤长效管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于新疆喀什地区麦盖提县央塔克乡哈曼阔依地村灰枣园,地处北纬 38°59′ 18″ 东经 77°45′ 53″,海拔高度 1120 m,属于温带大陆性气候,全年热量丰富,日照充足,气温年变幅和昼夜温差大,年平均气温 11.8℃,无霜期达到 214 d,年平均降水量 42.3 mm,非常适合枣树的生长,是红枣种植优生区。枣园地势平坦,土壤类型为沙壤土,肥力中等,土壤理化性质如下:pH 值 7.8,土壤有机质含量 5.7 g kg⁻¹、全氮含量 0.38 g kg⁻¹、有效磷含量 36.43 mg kg⁻¹、有效钾含量 0.9 g kg⁻¹。枣园株行距 1.5 m×4 m,灰枣品种于 2009 年嫁接。

1.2 试验设计

试验共设 3 个处理,每处理设 3 个小区,每处理小区面积为 10 亩。分别是:(1)免耕自然生草:对土壤不进行耕作或少耕处理,让其自然生草,当草长到 40~60 cm 后进行割刈,然后覆盖在树盘、行间;(2)清耕:灌水 3 周后,行间旋耕机翻耕,耕深 15~18 cm,后地表裸露,无杂草;(3)间作油菜处理:3 月初行间播种油菜,在 6 月底 7 月初进行翻耕作为绿肥,耕深 15~18 cm。枣园 4 月中旬、5 月中旬、7 月初进行漫灌。各处理的土壤、树形、地形等条件及田间管理措施一致。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤物理性质的测定

(1) 土壤温度与含水量的测定

在 5 月 25 日,浇水 7 d 后选择路格 L99-TWS 土壤温度水分记录仪进行测定(此时期是枣树保花保果的重要时期),在试验地的中间处避开根系,距离枣树根部 100 cm 处,去除被测土壤的表面的覆盖物,挖掘深度为 80 cm、宽为 40 cm 的土壤剖面,保持下层土壤原有松紧程度,紧握传感器,分别在 20 cm、40 cm、60 cm 土层处垂直插入土壤,然后填埋压实,确保与土壤紧密接触。待稳定 5 d 后,记录土壤温度与水分含量。

(2) 土壤容重和孔隙度的测定

在 7 月(果实膨大期)、8 月(果实白熟期)、9 月(果实全红期)分别进行取样,距离枣树主干 50 cm 处选取 3 个点,用环刀分别选取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 的土壤样品,首先去除表层土壤,将环刀垂直压入土壤中,直至土壤填满环刀;然后用铁铲挖去环刀周围多余的土,取出环刀,用小刀去除多余的土壤后盖上盖子。采用烘干法^[21]测定土壤容重,土壤容重和孔隙度的计算公式:

$$\text{土壤容重} = (M_2 - M_1) / V \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{土壤孔隙度} = (1 - \text{土壤容重} / \text{土壤密度}) \times 100\% \quad (2)$$

(1) 中 M_1 : 环刀质量(g); M_2 : 环刀重+烘干土重(g); V : 环刀容积 100 cm³。(2) 中土壤密度为 2.65 g cm⁻³。

1.3.2 土壤化学性质的测定

在 9 月中旬,将每种管理模式枣园划分成 3 个小区,每小区 9 个土壤采样点,用土钻分别钻取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层的土壤样品,将同一土层的土样混合均匀,按照四分法保留 1kg 左右。去除土壤中的石块、植物残根等,经风干过后,用 0.25 mm 筛进行过筛,然后装入标记好的自封袋中,用来测定土壤化学指标^[18]。

土壤有机质用重铬酸钾-外加热法测定;pH 用酸度计测定;土壤电导率采用电导率仪进行测定;土壤全氮含量用半微量开氏蒸馏法测定,碱解氮含量用碱解扩散法测定;土壤全钾含量用 NaOH 熔融火焰光度法测定,有效钾含量用 2.0 mol L⁻¹ 硝酸浸提火焰光度法测定;土壤全磷含量用 HClO₄-H₂SO₄ 氧化钼锑抗比色法测定,有效磷含量用 0.5 mol L⁻¹ 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定^[22]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2021 软件对试验原始数据进行整理和分析。采用 SPSS 26 软件对数据进行统计分析,利用单因素方差法对各处理指标的平均值进行差异显著性检验(LSD 法、Duncan 法, $P < 0.05$),结果均表示

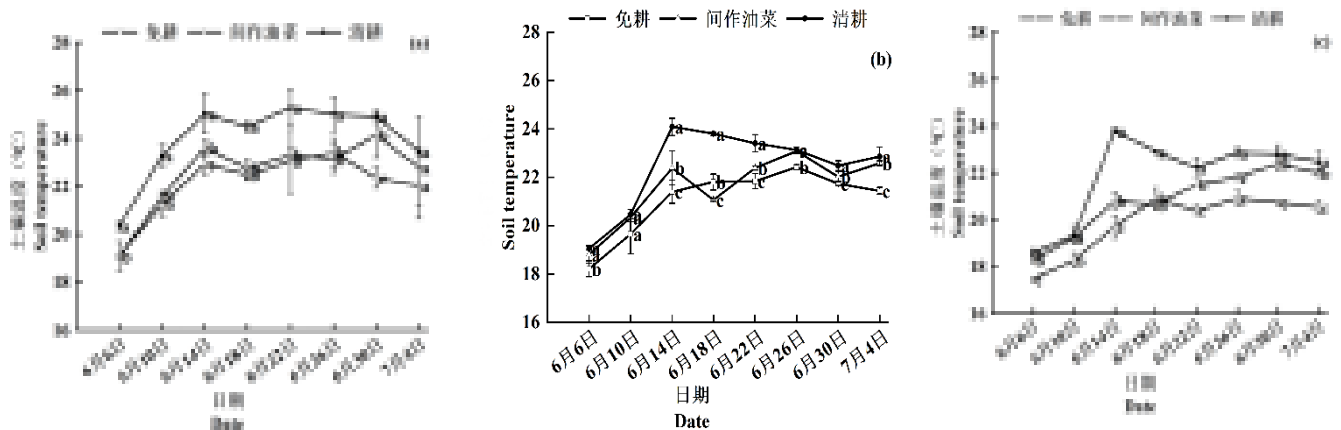
为“平均值±标准差”；利用因子分析中的主成分分析法对各土壤养分因子进行降维，得出综合反映土壤肥力状况的指标特征值和特征向量。采用 Origin 2021 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 耕作模式对枣园土壤物理性质的影响

2.1.1 耕作模式对枣园土壤温度的影响

如图 1 所示，各耕作处理对枣园 0~60 cm 土层温度的变化趋势大体一致，各土层温度变化都较平缓，均表现为免耕<间作油菜<清耕。在 0~20 cm 土层，6 月 10 日、6 月 14 日、6 月 18 日、6 月 22 日、6 月 26 日（灌水 11 d、15 d、19 d、23 d、27 d）免耕和间作油菜模式土壤温度显著低于清耕，免耕模式较清耕降低 2.1℃、2.1℃、2.0℃、2.3℃、1.6℃，间作油菜模式较清耕降低 1.7℃、1.4℃、1.8℃、2.0℃、1.9℃。6 月 30 日（灌水 31 d）免耕模式土壤温度显著低于清耕和间作油菜模式，较清耕和间作油菜模式分别降低 2.6℃、1.8℃，间作油菜模式土壤温度显著低于清耕，较清耕降低 0.8℃。在 20~40 cm 土层，6 月 14 日和 6 月 18 日（灌水 15 d、19 d）土壤温度达到峰值，清耕的土壤温度较间作油菜和免耕分别提高 1.7℃、2.7℃和 2.8℃、2.0℃。在 40~60 cm 土层，6 月 14 日和 6 月 18 日土壤温度最高，清耕模式土壤温度较间作油菜和免耕分别提高 3.0℃、4.0℃和 2.3℃、2.0℃。6 月 22 日、6 月 26 日、6 月 30 日、7 月 4 日（灌水 23 d、27 d、31 d、35 d）免耕模式土壤温度较清耕和间作油菜相比下降明显，较清耕降低 1.8℃、2.0℃、2.1℃、1.9℃，较间作油菜降低 1.1℃、0.9℃、1.6℃、1.4℃，其它时间各处理与清耕相比均无明显



差异。

图 1 耕作模式对不同深度土壤温度的影响

Fig. 2 Effect of tillage pattern on soil temperature content at different depths

注：a：0~20 cm 土层，b：20~40 cm 土层，c：40~60 cm 土层

2.1.2 耕作模式对枣园土壤含水量的影响

如 2 所示，各耕作处理对枣树根层 0~60 cm 土壤含水量的变化趋势大体一致，都呈现出先上升后下降的趋势，其中间作油菜模式效果最为显著，其次是免耕，最后是清耕。在 0~20 cm 土层 6 月 10 日、6 月 14 日、6 月 18 日、6 月 22 日、6 月 26 日、6 月 30 日、7 月 4 日（灌水 11 d、15 d、19 d、23 d、27 d、31 d、35 d）间作油菜模式土壤含水量较清耕分别提升 18.97%、13.09%、15.57%、24.92%、22.09%、19.92%、27.49%。较免耕分别提升 10.93%、15.63%、21.49%、19.63%、27.69%、21.61%。在 20~40 cm 土层，6 月 10 日、6 月 14 日、6 月 18 日（灌水 11 d、15 d、19 d）间作油菜模式土壤含水量较清耕分别提升 13.53%、18.12%、15.57%，较免耕分别提升 7.25%、8.48%、7.36%。在 40~60 cm 土层，6 月 6 日、6 月 10 日、6 月 14 日、6 月 18 日、7 月 4 日（灌水 7 d、11 d、15 d、19 d、35 d）间作油菜模式土壤含水量较清耕分别提升 11.36%、6.74%、11.91%、7.75%、9.04%。6 月 14 日和 7 月 4 日（灌水 15 d、35 d）间作油菜模式土壤含水量较免耕模式分别提升 1.67%和 8.89%，6 月 14 日免耕模式较清耕提升 3.76%，7 月 4 日免耕模式较清耕相比无明显差异。

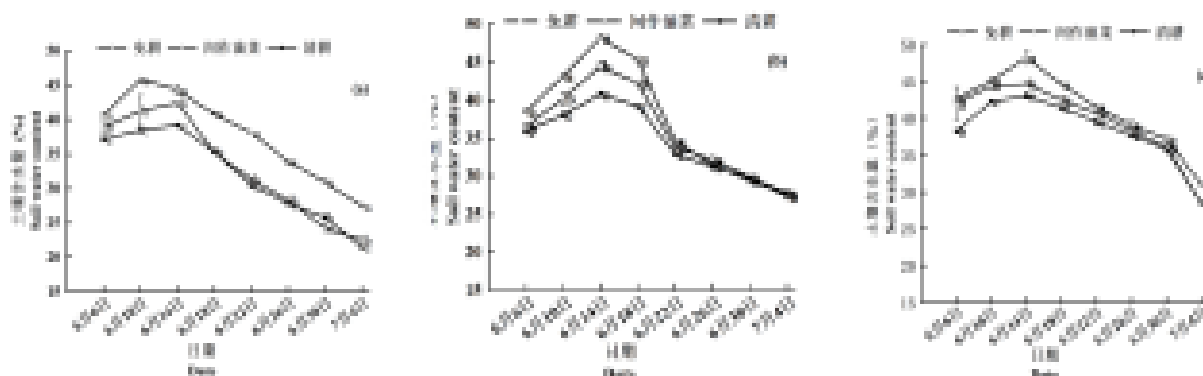


图2 耕作模式对不同深度土壤含水量的影响

Fig. 2 Effect of tillage pattern on soil water content at different depths

注: a: 0~20 cm 土层, b: 20~40 cm 土层, c: 40~60 cm 土层

2.1.3 耕作模式对枣园容重的影响

由图3可以看出,在不同耕作模式处理下7~9月灰枣生长期0~20 cm土层的土壤容重变化大体一致。7月各处理的土壤容重均无显著性差异,8~9月间作油菜模式土壤容重较清耕分别降低5.15%、5.80%,免耕模式土壤容重较清耕和间作油菜相比较无显著性差异。在20~40 cm土层,7月免耕模式土壤容重较清耕和间作油菜相比较无显著性差异,间作油菜模式土壤容重较清耕降低4.23%。8月免耕模式土壤容重较清耕降低3.38%,间作油菜模式土壤容重较免耕和清耕分别降低4.23%、7.75%。9月免耕和间作油菜模式土壤容重较清耕分别降低3.45%、6.38%。在40~60 cm土层,8月间作油菜模式土壤容重较清耕降低2.90%,免耕模式土壤容重较间作油菜和清耕相比无显著差异,7月和9月免耕和间作油菜模式土壤容重与清耕相比无显著差异。说明免耕和间作油菜都能有效的降低土壤容重,其中间作油菜模式最为显著,降低0~60 cm土层土壤容重。

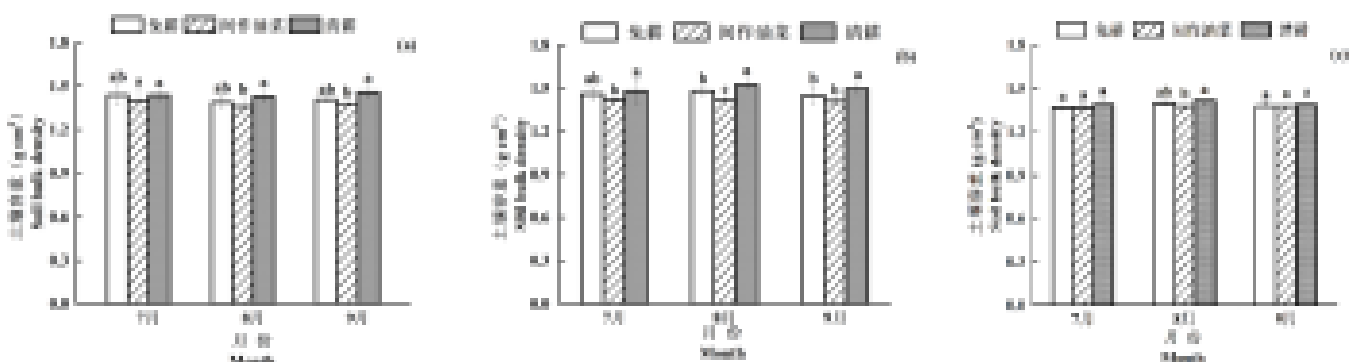


图3 耕作模式对不同深度土壤容重的影响

Fig. 3 Effect of tillage pattern on soil capacity at different depths

注: a: 0~20 cm 土层, b: 20~40 cm 土层, c: 40~60 cm 土层

(注: 表中不同小写字母表示处理间差异显著, $P < 0.05$)

2.1.4 耕作模式对枣园孔隙度的影响

由图4可以看出,在0~20 cm土层中,8月免耕和间作油菜模式较清耕相比无显著性差异,7月间作油菜模式土壤孔隙度分别较免耕和清耕提高6.52%、6.89%,9月间免耕和间作油菜模式土壤孔隙度分别较清耕提高4.21%、7.09%。结合图5可以发现在0~20 cm土层,在8~9月免耕和清耕模式降低土壤容重,增加土壤孔隙度。在20~40 cm土层中,7月间作油菜模式土壤孔隙度较清耕提高5.23%,免耕较间作油菜处理和清耕相比无显著性差异。8~9月免耕和间作油菜模式土壤孔隙度都高于清耕,分别较清耕提高5.41%、8.77%和4.44%、7.62%。在40~60 cm土层,8月间作油菜模式土壤孔隙度较清耕提高2.8%,7月和

9月各行间耕作处理较清耕相比较都无显著性差异。结合图5可以发现,在红枣7~9月的生长季节内免耕和间作油菜均能有效的降低0~40cm土层土壤容重,提高土壤孔隙度,增加土壤的透气性。

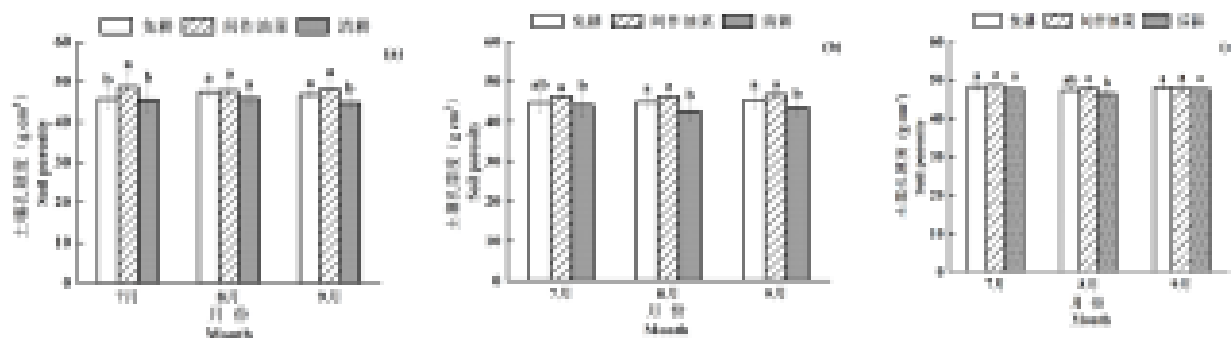


图4 耕作模式对不同深度土壤孔隙度的影响

Fig. 4 Effect of tillage pattern on soil porosity at different depths

注: a: 0~20 cm 土层 b: 20~40 cm 土层 c: 40~60 cm 土层

(注: 表中不同小写字母表示处理间差异显著, $P < 0.05$)

2.2 不同耕作模式对枣园土壤化学性状的影响

2.2.1 不同耕作模式对枣园土壤 pH 值、电导率的影响

由图5可知,在枣园0~60cm土层,三个处理的土壤pH值均无显著性差异。在0~20cm、20~40cm土层,间作油菜模式电导率显著低于其他两个处理,较免耕和清耕分别降低6.50%、7.21%;6.43%、13.28%。在40~60cm土层,免耕和间作油菜模式的电导率显著低于清耕,较清耕分别降低5.54%、10.51%。

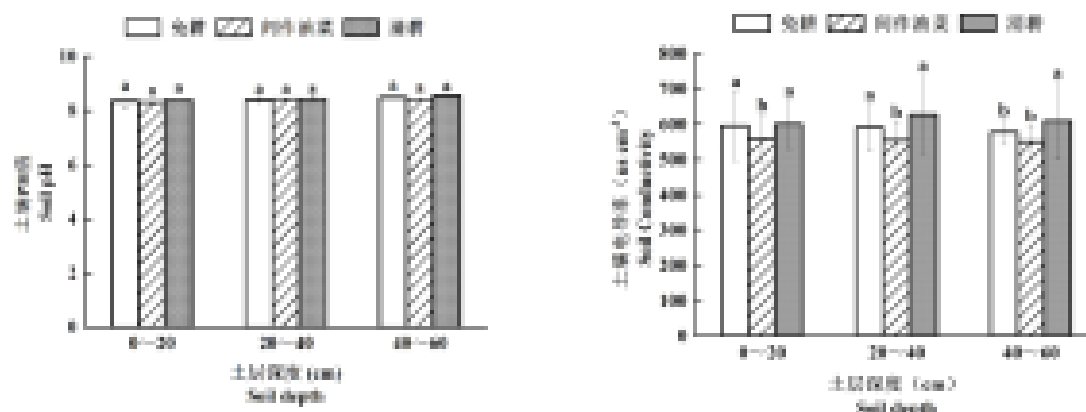


图5 耕作模式对不同深度土壤 pH 值和电导率的影响

Fig. 5 Effect of ploughing pattern on soil pH and conductivity at different depths

注: 表中不同小写字母表示处理间差异显著, $P < 0.05$

2.2.2 不同耕作模式对枣园土壤养分的影响

由表可知,在枣园0~60cm土层,三个处理枣园土壤全磷含量、全氮含量均无显著性差异。在0~20cm土层,间作油菜模式全钾、碱解氮显著高于其他两个处理,较免耕和清耕分别提高11.03%、17.87%和17.28%、35.40%。免耕模式速效磷显著高于其他两个处理,分别较间作油菜和清耕提高54.18%、57.85%。在20~40cm土层,间作油菜模式全钾、碱解氮、有效钾、有机质含量显著高于清耕,较清耕分别提高13.90%、33.49%、15.53%、52.97%;与免耕相比,全钾含量较免耕提高13.90%。免耕模式速效磷含量显著高

于间作油菜和清耕，较间作油菜和清耕分别提高 7.01%、14.57%。在 40~60 cm 土层，间作油菜模式全钾含量显著高于清耕，较清耕提高 20.74%，与免耕相比无显著性差异。免耕模式速效磷含量显著高于间作油菜和清耕，较间作油菜和清耕分别提升 22.17%、23.98%。其他指标无显著性差异。

表 1 耕作模式对枣园不同土层深度土壤养分的影响

Table 1 Effect of tillage patterns on soil nutrients at different soil depths in date palms								
处理 Treatment	土层 Soil Level cm ⁻¹	全磷 Total Phosphorusg kg ⁻¹	全氮 Total phosphorusg kg ⁻¹	全钾 Total Potassiumg g ⁻¹	速效磷 Quick-acting phosphorusmg kg ⁻¹	碱解氮 Alkaline Nitrogenmg kg ⁻¹	有效钾 Effective potassiummg kg ⁻¹	有机质 Organic matterg kg ⁻¹
免耕	0~20 cm	1.51±0.67a	0.93±0.19a	17.23±1.21	58.99±29.56a	44.78±19.14b	1.08±0.76a	16.78±5.26a
间作油菜		0.96±0.11a	0.87±0.17a	19.13±1.28	38.26±19.91b	52.52±10.25a	1.08±0.46a	16.97±3.31a
清耕		0.92±0.02a	0.82±0.16a	16.23±2.34	37.37±9.15b	38.79±17.42b	1.04±0.15a	16.22±2.08a
免耕	20~40 cm	1.09±0.35a	0.57±0.21a	18.06±1.59	44.28±38.35a	39.46±16.90a	1.04±0.08ab	11.57±2.53a
间作油菜		0.89±0.37a	0.63±0.9a	20.57±2.17	41.38±1.57b	41.93±8.24a	1.19±0.10a	14.41±4.26a
清耕		0.87±0.27a	0.54±0.11a	18.06±1.59	38.65±1.92b	31.41±0.64b	1.03±0.03b	9.42±1.14b
免耕	40~60 cm	0.67±0.23a	0.45±0.18a	16.51±0.63a	46.90±3.40a	26.08±7.97a	1.05±0.16a	8.06±2.12a
间作油菜		0.68±0.19a	0.43±0.10a	18.22±0.09	38.39±1.46b	27.59±6.65a	1.09±0.07a	8.13±2.16a
清耕		0.63±0.12a	0.35±0.05a	15.09±2.35	37.83±1.18b	25.93±8.20a	1.05±0.10a	5.67±0.79a

注：表中不同小写字母表示处理间差异显著，P<0.05

2.3 主成分分析

主成分分析是利用降维把多个指标转化为少数几个不相关综合指标（主成分）的一种统计分析方法。表 2 列出通过主成分分析得到的各主成分的特征值、方差贡献率及积累贡献率，依据提取主成分个数的积累贡献率≥85%的原则，前 4 个主成分的方差积累贡献率能够反映各指标 91.735%的信息，因此，选用前 4 个主成分量可以基本反应整个数据的变化。

表 2 各主成分的特征及其贡献率

Table 2 Characteristics of the principal components and their contributions									
变量 Component	0~20 cm			20~40 cm			40~60 cm		
	特征值 eigenvalue (math.)	方差贡献率	累积贡献率	特征值 eigenvalue (math.)	方差贡献率	累积贡献率	特征值 eigenvalue (math.)	方差贡献率	累积贡献率
		variance contribution%	Cumulative contribution rate%		variance contribution n%	Cumulative contribution rate%		variance contribution n%	Cumulative contribution rate%
1	2.77	30.73	30.73	3.76	41.80	41.80	2.90	32.20	32.20
2	2.53	28.09	58.83	2.13	23.68	65.47	2.71	30.07	62.27
3	1.39	15.45	74.27	1.57	17.44	82.91	1.46	16.24	78.50
4	1.09	12.16	86.43	0.79	8.82	91.74	1.06	11.76	90.26
5	0.77	8.50	94.92	0.39	4.37	96.10	0.66	7.27	97.53
6	0.41	4.52	99.44	0.22	2.42	98.52	0.14	1.51	99.04
7	0.04	0.42	99.86	0.12	1.33	99.85	0.07	0.79	99.83
8	0.01	0.14	100.00	0.01	0.15	100.00	0.02	0.17	100.00

由表 3 可知，在 0~20 cm 土层，第一主成分载荷值在-0.002-0.372 之间，土壤全氮含量的载荷值最大，其次是有机质，分别为 0.372、0.318。第二主成分载荷值在-0.031-0.406 之间，土壤碱解氮的载荷值最大，其次是速效磷。在 20~40 cm 土层，第一主成分载荷值在-0.057-0.437 之间，除土壤 pH 值、全磷的载荷值为负值，其余指标均为正值，有效钾的载荷值最大，其次是有机质，分别为 0.437、0.326。第二主成分载荷值在-0.072-0.669，全磷的载荷值最大，其次是碱解氮、全氮，分别为 0.669、0.243、0.214。在 40~60 cm 土层，第一主成分载荷值在-0.021-0.427 之间，土壤全钾、速效磷的载荷值均为负值，其余指标都是正

值，全氮的载荷值最大，其次是有机质、有效钾，分别为 0.427、0.322、0.275。第二主成分载荷值在-0.152-0.361 之间，速效磷的载荷值最大。

表 3 主成分分析旋转后的成分载荷矩阵
Table 3 Component loading matrix after principal component analysis rotation

测定 Analy- is items	0~20 cm				20~40 cm				40~60 cm			
	第一主成分 1 st principal component	第二主成分 2 nd principal component	第三主成分 3 rd principal component	第四主成分 4 th principal component	第一主成分 1 st principal component	第二主成分 2 nd principal component	第三主成分 3 rd principal component	第四主成分 4 th principal component	第一主成分 1 st principal component	第二主成分 2 nd principal component	第三主成分 3 rd principal component	第四主成分 4 th principal component
pH 值	0.137	-0.255	-0.119	-0.433	-0.068	0.02	0.422	-0.208	0.199	0.148	-0.562	0.12
电导率	-0.122	0.146	0.377	-0.102	-0.057	0.172	-0.514	-0.202	0.062	0.289	0.199	0.027
有机质	0.318	-0.204	0.286	-0.16	0.326	-0.072	-0.081	-0.134	0.322	-0.152	-0.006	-0.242
全磷	0.052	-0.031	-0.011	0.661	-0.259	0.669	-0.203	-0.197	0.05	0.11	0.013	0.779
全氮	0.372	0.101	-0.073	0.363	0.126	0.214	0.042	0.095	0.427	0.052	-0.13	0.22
全钾	-0.321	-0.166	0.096	0.076	0.216	0.109	0.056	-0.129	-0.021	-0.378	0.241	0.036
速效磷	-0.002	0.372	-0.001	-0.003	0.043	-0.087	0.023	0.867	-0.123	0.361	0.076	0.17
碱解氮	0.118	0.406	-0.242	-0.013	0.075	0.243	0.166	0.153	0.167	0.112	0.346	0.245
有钾	0.079	-0.154	0.622	0.023	0.437	-0.278	-0.018	0.198	0.275	0.233	-0.092	-0.162

综上所述，按第一、第二主成分载荷值从小到大进行排序的结果，0~20 cm 土层、20~40 cm 土层、40~60 cm 土层主成分载荷值大小顺序比较杂乱，其规律不是很明显，但土壤有机质、全氮、全钾、速效磷、碱解氮、全磷的载荷值，表现的较为突出，说明这 6 项土壤养分指标对土壤肥力起到很大的作用，且不同耕作处理对土壤根层的影响是存在差异的。

3 讨论

果园生草对土壤含水量的影响一直是研究的重点，也是果园生草推广的理论依据之一^[23]。生草栽培有利于保持土壤水分，特别是在炎热的 6、7 月份，能减少土壤水分的蒸发率，能有效的改善土壤温度，在夏季可降低土壤温度，减少高温的出现；在冬季还可起到保温的作用，减少冻害^[24]。与土壤水分相比，土壤颗粒热容量相对较低，而热传导性较高，因此，导致土壤水分较土壤温度变化幅度大^[25-26]。在果园适当的覆草能够克服地膜覆盖和清耕引起的土温过高的缺点，减少对土壤水分的消耗，降低土壤温度，提高保墒效果^[27-28]。陈久红等研究表明果园生草可以显著提高 0~40 cm 土层土壤含水量，其中在行间种植白三叶和自然生草对土壤的保水效果最好^[29]。李国怀等研究也表明柑橘园生草栽培可提高未灌水条件下 7 月份后夏秋高温连旱季节（7~11 月份）的土壤含水率^[30]。本试验表明与清耕相比，免耕和间作油菜可显著提高 0~40 cm 土层土壤含水量，其中间作油菜模式还可显著提升 40~60 cm 土层土壤含水量。油菜的生物量大，它的根茎可以吸收大量的水分，能蓄水保墒，减少土壤水分的蒸发。这与赵伟亮等^[31]人在苹果园间作绿肥的试验研究结果一致。在果园进行生草不仅可以增加土壤的覆盖面积，还能减少太阳光线对土壤的直接照射，从而降低土壤温度，减少土壤的蒸散量，增强土壤的保水能力，提高土壤含水量和抗旱能力^[32-34]。

土壤容重与土壤孔隙度密切相关，在一定程度上影响着土壤水肥气热的分布，直接影响着果树根系的生长和养分的吸收^[35]。免耕和间作油菜减少机械对土壤的直接耕作，避免耕层被破坏，对土壤起到一定的改良作用，在一定程度上降低土壤容重，增加土壤孔隙度，有利于土壤水分和气体的交换^[36]。本试验表明免耕和间作油菜模式可以显著降低 0~40 cm 土层土壤容重并增加土壤孔隙度，其对 40~60 cm 土层土壤容重

的影响较小。这与李会科等^[37]在果园生草研究表明,果园生草可显著降低 0~40 cm 土层土壤容重,增加土壤孔隙度,随着土层的深入逐渐递减的研究结果一致。李承想^[38]、全亮等^[39]在枣园生草亦有类似的结论。

土壤有机质是土壤肥力的物质基础,也是评价土壤肥力的一个重要指标。果园进行生草和覆盖处理为果树发育提供 C、N 来源,增加土壤有机质和土壤养分的含量^[40-41]。这与本试验进行主成分分析的结果相似,从前 4 个主成分量得出免耕和间作油菜模式可增加土壤有机质、氮、磷、钾含量。王中堂的研究表明在枣园行间种植长柔毛野豌豆,可提高土壤全氮、有效磷、有效钾和有机质含量^[42]。果园行间种植油菜可增加土壤有机质、全氮、全磷、速效磷、碱解氮和速效钾含量^[43]。封帆等研究结果表明,在果园进行生草处理可显著增加土壤有机质和土壤基础养分,降低土壤 pH 值,其中间作油菜处理下的土壤有机质、土壤速效钾和碱解氮含量的增加最为显著^[44]。本试验研究表明在枣园间作油菜能显著提高 20~40 cm 土层有机质含量,且随着土层的加深逐渐降低。这可能与土壤耕作深度及油菜的根系分布有关,油菜根系主要集中在土壤耕作层 0~30 cm 土层,根系更新及植物残体翻压到土层中分解成腐殖质进而提高土壤有机质含量。这与前人在梨园^[29]、苹果园^[31]、枣园^[45]生草上的研究结果一致。氮、磷、钾是果树生长发育的必要元素,影响着果实品质和产量的可持续发展。果园生草对土壤氮、磷、钾的影响因地域、环境、树体的不同而有所差异^[31]。本试验表明免耕和间作油菜模式均能显著降低土壤电导率,免耕可显著提高 0~60 cm 土层土壤速效磷含量,间作油菜模式能显著提高 0~40 cm 土层碱解氮、有效钾含量以及 0~60 cm 土层全钾含量。这与陈燕的研究发现,在果园生草可以增加 0~60 cm 土层土壤全钾含量,降低 40~60 cm 土壤 pH 值和电导率,增加 0~40 cm 土层土壤碱解氮含量和 0~20 cm 土层土壤有机质、速效养分含量的结果相似^[46]。高露等人研究发现,枣园生草可以有效的提高 0~40 cm 土层土壤有机质、全氮、全磷和碱解氮的含量及土壤有效养分的含量^[47]。梅丽认为绿肥进行翻压利用,能增加土壤有机质、矿质元素含量,具有改善土壤结构增加土壤综合肥力的作用^[48]。本试验发现,通过枣园生草对枣树生长发育及土壤理化性状的影响表明,不同耕作模式对枣园根层土壤理化性状的影响不同,所得结论基本与前人研究结果一致。

4 结论

与清耕相比,免耕和间作油菜模式均能有效的降低根层土壤温度,提高其土壤含水量,降低土壤容重,提高土壤孔隙度,改善土壤物理性状;间作油菜模式可显著提高 0~60 cm 土层全钾含量,0~40 cm 土层碱解氮含量,20~40 cm 土层有机质、有效钾含量;免耕模式显著提升 0~60 cm 土层土壤速效磷含量;此外免耕和间作油菜模式均可显著降低土壤电导率。在清耕、免耕、间作油菜这三种耕作模式中,间作油菜模式效果最好。说明在枣树行间种植油菜可以改善耕层土壤物理性状,增加土壤养分,促进枣园生草,为枣园土壤长效管理提供科学依据。

参考文献

- 刘孟军,王玖瑞,刘平,等.中国枣生产与科研成就及前沿进展[J].园艺学报,2015,42(09):1683-1698.
- 刘洋,李斌,董云成,等.南疆红枣种植与收获现状调研[J].新疆农机化,2021(03):32-34+44.
- 李虹辰,赵西宁,高晓东,等.鱼鳞坑与覆盖组合措施对陕北旱作枣园土壤水分的影响[J].应用生态学报,2014,25(08):2297-2303.
- 朱蕾.不同耕作方式对酿酒葡萄园土壤、树体生长、果实品质与产量的影响[J].西北园艺(果树),2023,(03):44-47.
- Bu LD, Liu JL, Zhu L, et al. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region[J]. Agricultural Water Management, 2013, 123:71-78.
- Ranells N N, Waggar M G. Nitrogen Release from Grass and Legume Cover Crop Monocultures and Bicultures[J]. Agronomy Journal, 1996, 88(5):777-782.
- Hui Wei, Yangzhou Xiang, Ying Liu, et al. Effects of sod cultivation on soil nutrients in orchards across China: A meta-analysis[J]. Soil & Tillage Research, 2017, 169:16-24.
- 李国鹏,林景新,吴铭涎,等.果园生草对番石榴果实品质的影响[J].中国南方果树,2023,52(03):41-45+49.

- 刘蝴蝶,郝淑英,曹琴,等.生草覆盖对果园土壤养分、果实产量及品质的影响[J].土壤通报,2003(03):184-186.
- 吴田乡,盛婧,朱普平,等.果园生草覆盖的生态效应研究进展及展望[J].江苏农业科学,2023,51(03):28-34.
- 黄素芳,芮松青,岳明强,等.金丝小枣园自然生草对果实品质及土壤养分的影响[J].北方园艺,2018(16):55-60.
- 高君,杨林先,徐小迪,等.自然生草对梨园土壤性状、叶片和果实品质的影响[J].北方果树,2023(01):12-15.
- 王祖梅,杨茂进,杨雨珂,等.长期实施梯田和生草措施对红壤坡地果园土壤养分的影响[J].土壤通报,2024,55(02):412-419.
- 卢明,陈松柏,詹林庆,等.施用有机肥和间作绿肥对柑橘生产及其果园土壤的影响[J].中国农技推广,2022,38(11):61-64.
- 宁万军,张强,黄闽敏,等.绿肥间作翻压处理对新新2号核桃性状及土壤养分的影响[J].果树学报,2022,39(11):2124-2132.
- 葛永申,岳绪国,万春雁,等.果园不同生草方式对土壤养分及微生物的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2024,45(02):42-50.
- 吉爽秋,李旭娇,张弛,等.生草不同处理方式对果园土壤温度、含水量及养分的影响[J].草学,2021(06):58-65+70.
- Rupp, D. GREEN COVER MANAGEMENT TO OPTIMIZE THE NITROGEN SUPPLY OF GRAPEVINES[J].Acta Horticulturae, 1996(427):57-62.
- 吴振美,盖志君,孙梦洁,刘占科.不同生草类型对冬枣园土壤理化性状和品质的影响[J].农业工程技术,2023,43(25):43-45.
- 马晓燕,王志鑫,郝康伟,等.极端干旱区枣园人工生草对土壤理化性质的影响[J].果树学报,2020,37(08):1184-1195.
- 日本土壤物理性测定委员会,翁德衡.土壤物理性测定法[M].重庆:重庆科学技术文献出版社,1979:40-68.
- 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- 惠竹梅,李华,周攀,等.行间生草对葡萄园土壤水分含量及贮水量变化的影响[J].草业学报,2011,20(1):62-68.
- 周乃富,袁军,高超,等.生草栽培对油茶林地土壤理化性质的影响[J].经济林研究,2014,32(03):76-80.
- 宋振伟,郭金瑞,邓艾兴,等.耕作方式对东北春玉米农田土壤水热特征的影响[J].农业工程学报,2012,28(16):108-114.
- HILLEL D.Environmental Soil Physics[M].San Diego, CA, USA:Academic Press, 1998.
- 张超博,李有芳,李思静,等.土壤管理方式对伏早期柑橘生长及土壤温度和水分的的影响[J].华南农业大学学报,2019,40(3):45-52.
- 黄玉杰,唐明明,刘道纯.覆草和浇水量对桃树幼苗生长及土壤温湿度的影响[J].经济林研究,2021,39(01):184-190.
- 陈久红,鲁晓燕,李永丰,等.生草对库尔勒香梨梨园土壤理化性质的影响[J].黑龙江农业科学,2019(07):71-79.
- 李国怀,伊华林.生草栽培对柑橘园土壤水分与有效养分及果实产量、品质的影响[J].中国生态农业学报,2005(02):161-163.
- 赵伟亮,宋璐瑶,席琳乔,等.间作绿肥对苹果园空气温湿度和土壤养分的影响[J].塔里木大学学报,2021,33(03):71-77.
- 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.
- 白岗栓,邹超煜,杜社妮.渭北旱塬果园自然生草对土壤水分及苹果树生长的影响[J].农业工程学报,2018,34(03):151-158.
- 谷艳荣,张海玲,胡燕红.果园自然生草覆盖对土壤理化性状及大桃产量和品质的影响[J].北京农业,2010(S1):165-169.
- Biswas S , Hazra G C , Purakayastha T J , et al.Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders[J].Geoderma, 2017, 292:34-48.
- 刘敏,赵财,范虹,等.长期间作及免耕对土壤物理性状及作物产量的影响[J].中国农学通报,2023,39(02):28-35.
- 李会科,张广军,赵政阳,等.渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响[J].中国农业科学,2008(07):2070-2076.
- 李承想,袁德义,韩志强,等.生草栽培对南方鲜食枣园土壤理化性质的影响[J].经济林研究,2015,33(04):70-74.
- 全亮,冯一峰,熊仁次,等.生草栽培对枣园微域环境及土壤理化性状的影响[J].北方园艺,2016(09):183-187.
- 李锁胜,王佳武,张岩波,等.干旱区枣园种草对土壤养分和红枣品质的影响[J].现代农业科技,2021,(09):54-55.
- 张洋,倪九派,谢德体.果园覆盖土壤生态效应研究进展[J].农业工程,2013,3(06):1-6.
- 王中堂,沙建川,解小锋,等.枣园生草处理对土壤养分和细菌群落的影响[J].核农学报,2022,36(02):456-465.
- 肖雨欣.山地旱作果园行间种植油菜对土壤水分养分和果树生长及产量的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2023.
- 封帆,谢开云,艾比布拉·伊马木,等.果园生草对苹果园杂草控制、土壤养分及果树营养状况的影响[J].新疆农业科学,2023,60(04):982-991.
- 全亮.枣园适宜草种筛选及生草栽培对枣园微域环境和果实品质的影响[D].阿拉尔:塔里木大学,2016.
- 陈燕.自然生草对梨园土壤理化性质、采前采后果实品质及糖代谢影响研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2023.
- 高露,岳坤,唐文林,等.枣园生草对土壤养分及果实品质的影响[J].新疆农业科学,2020,57(01):86-96.
- 梅丽.几种绿肥作物种植技术及养分释放特性研究[D].武汉:华中农业大学,2012.