

极端干旱区枣园人工生草对土壤理化性质的影响

马晓燕¹, 王志鑫¹, 郝康伟¹, 席琳乔², 韩路^{1*}

(¹塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300; ²塔里木大学动物科学学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:【目的】探讨人工生草对南疆枣园土壤理化性状的影响及其演变特征, 为极端干旱区改进果园土壤管理措施与推广生草技术提供理论依据。【方法】试验以南疆枣园为研究对象, 在枣树行间间作三叶草(*Trifolium repens* L.)、早熟禾(*Poa annua* L.), 以清耕为对照(CK), 于种植后第3年分别测定0~60 cm土壤容重、颗粒组成、持水量、贮水量、渗透速率与有机质、速效养分等性状, 分析生草栽培对土壤理化性质的影响。【结果】(1)生草栽培降低土壤容重, 改变颗粒组成, 提高土壤含水量, 增加孔隙度与通气度, 明显改善土壤物理结构, 影响主要集中在0~40 cm土层。(2)生草栽培提高土壤持水量和贮水量, 降低最佳含水量下限和灌溉定额, 土壤持水贮水性能及有效性水分供给、涵养水源功能得到显著提升。生草区最大、毛管、田间持水量和土壤吸持、滞留、饱和贮水量分别较清耕高4.02%、3.54%、3.49%和8.42 mm、0.96 mm、9.42 mm, 最佳含水量下限、灌溉定额则分别降低2.37 mm、3.84 mm。(3)生草栽培提高枣园土壤入渗性能, 水分快速入渗转化为土壤水、减少地表径流, 提高土壤水分利用率。生草区土壤初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率和渗透系数分别较清耕高0.73、0.29、0.32、0.10 mm·min⁻¹。(4)生草栽培提高枣园土壤品质, 生草区土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别较清耕高4.10 g·kg⁻¹、18.48 mg·kg⁻¹、49.58 mg·kg⁻¹、61.12 mg·kg⁻¹。(5)早熟禾对0~20 cm土壤改良效应大于三叶草, 其他层次三叶草优于早熟禾, 种植三叶草更佳。【结论】人工生草能明显降低土壤容重, 改善土壤物理结构, 增持土壤水分, 提高土壤入渗性能和有机质、养分含量, 提升土壤品质。南疆枣园以种植三叶草效果较好。

关键词: 枣园; 人工生草; 土壤水文物理特性; 土壤养分; 土壤品质; 南疆

中图分类号: S665.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2020)08-1184-12

Effects of interrow grass planting on soil quality characteristics in jujube orchard in the extremely arid areas of southern Xinjiang

MA Xiaoyan¹, WANG Zhixin¹, HAO Kangwei¹, XI Linqiao², HAN Lu^{1*}

(¹College of Plant Science, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; ²College of Animal Science, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China)

Abstract: 【Objective】Jujube is one of the important fruits and has a long history of planting in China. The superior natural conditions with ample light and heat resources, rare precipitation, long duration of sunshine, long frost-free period, large diurnal temperature difference, few pests and diseases, no industrial pollution, and adequate soils are very suitable for the growth and development of jujube in southern Xinjiang. In the past decades, jujube has been introduced and cultivated in many northwest regions due to its excellent ecological adaptability, high production and popularity in domestic market. Jujube industry therefore plays an important role in rural economy, farmers' income and in eliminating poverty and achieving prosperity in the poverty areas in southern Xinjiang. In 2018, the planting area of jujube reached 4×10^5 hm² with a production of 2.4 million tons. It has become an important pillar industry in local rural areas. It is well known that soil organic matters and nutrients are fundamental for sustainable

收稿日期: 2020-02-24 接受日期: 2020-05-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501407); 兵团南疆科技攻关项目(2018AB037); 园艺产业技术创新人才培养示范基地(2019CB001)

作者简介: 马晓燕, 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 干旱区农业生态环境调控。Tel: 15739771605, E-mail: 1821625407@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13565699028, E-mail: hlzky@163.com

orchard production. However, poor soil quality and water shortage are the adverse factors, and traditional orchard soil management with clear tillage has led to a series of ecological and environmental problems such as soil water decrease, soil property deterioration, surface roughness, soil erosion, pesticide use increase, environmental pollution, loss of biodiversity and weakening of system resistance in a long run, which leads to reduce agricultural productivity and decrease economic benefit, and restrict the sustainable development of horticulture industry. Currently, inter-row planting grass is a recommended soil management practice in orchards. It improves soil physical and chemical properties, reduces soil water evaporation, increases soil organic matter content, maintains soil nutrient balance, ameliorates orchard ecological environment, and effectively solves the potential negative effect due to long-term clean tillage in orchard. However, there has been limited investigation on the influence of artificially planted grass on soil quality in extremely arid areas of southern Xinjiang. In order to provide theoretical and practical basis for orchard soil-water management technique, the effects of inter-row planting white clover (*Trifolium repens*), bluegrass (*Poa annua*) and clear tillage on soil physical-chemical properties in a jujube orchard were studied in the extreme arid area. **【Methods】**The experiment was conducted in a jujube orchard with three treatments: inter-row planting white clover (*Trifolium repens*) or bluegrass (*Poa annua*), and the clean tillage (CK). The grasses were planted in the spring of 2016. The average sowing volume was 15-22.5 kg · hm⁻², with mowing twice a year. In the third year after successive grass planting, soil samples were taken at different layers from 0 to 60 cm using the five-point method from March to September 2018. We tried to minimize the disturbance of soil samples during the collection and transport processes. The soil physical-chemical properties including soil bulk density, porosity, water-holding capacity and nutrient content were measured. **【Results】**Interrow grass planting could reduce soil bulk density, increase soil water content and porosity, change soil particle composition and significantly improve the physical structure of soil, especially in 40 cm soil layer. Interrow grass planting enhanced the water-holding capacity of soil, and reduced the optimal lower limit of water content and irrigation quota. The soil water holding capacity, available water content and water retention function were improved significantly. The maximum capacity, capillary capacity, field capacity and soil saturated water content, soil absorbed water content, soil retained water content in grass treatment within 60 cm were increased by 4.02%, 3.54%, 3.49% and 8.42 mm, 0.96 mm, 9.42 mm compared to CK, respectively, and the optimal lower limit of water content and irrigation quota decreased by 2.37 mm, 3.84 mm, respectively. Interrow grass planting enhanced soil infiltration capacity. The irrigation water could rapidly infiltrate into soil, reduce runoff and improve the utilization of soil water. The soil initial permeability rate, steady permeability rate, average permeability rate and permeability coefficient in grass treatments within 60 cm were increased by 0.73 mm · min⁻¹, 0.29 mm · min⁻¹, 0.32 mm · min⁻¹, and 0.10 mm · min⁻¹ compared to CK, respectively. Interrow grass planting improved the soil quality. The soil organic matter and available N, P, K content were increased by 4.10 g · kg⁻¹, 18.48 mg · kg⁻¹, 49.58 mg · kg⁻¹, 61.12 mg · kg⁻¹ compared to CK, respectively. White clover was better than bluegrass in improving soil quality. **【Conclusion】**Interrow grass planting can significantly improve soil physical-chemical properties, and improve soil quality. The effect of planting clover was much better in orchard, southern Xinjiang.

Key words: Jujube orchard; Artificial-planted grass; Soil hydraulic-physical properties; Soil nutrient; Soil quality; Southern Xinjiang

新疆土地资源充足,光热资源丰富,气候干燥、病虫害少,昼夜温差大,具有发展林果业的优越自然条件。新疆对优势资源进行了战略调整和转化,将发展特色林果业作为加快新疆农村经济发展的支柱产业。红枣作为新疆重要的特色林果之一,其种植面积达 40 万 hm^2 ,但绝大部分果农仍采取清耕方式对果园土壤进行耕作管理,而长期清耕会因耕作措施、施肥和农药使用量不当等造成果园地表裸露、土壤结构破坏、地力衰退、生物多样性丧失、土壤养分不均衡等一系列土壤退化问题,影响着果树生长和产量、经济效益提高^[1-3]。近年来,生草作为针对清耕果园土壤产生潜在负面危害而采取的现代化果园管理模式得到推广^[1-4]。果园生草不但能改善土壤物理性状,提高果园蓄水保墒能力,减少灌溉次数,提高土壤肥力,增加土壤有机质,提高土壤酶活性和微生物数量;而且还可改善果园小气候,增加天敌数量,减少果树病虫害发生,促进果树生长、花芽分化和开花结果,提高果品品质与产量^[1-17]。目前果园生草主要有自然生草和人工种草两种模式^[8],而新疆果园生草制推广较慢,其主要原因是缺少适宜的草种、生草配套栽培技术及综合管理措施。此外,新疆干旱多风少雨,水资源短缺且时空分布不均,土壤有机质含量普遍较低。因此,改革新疆果园土壤管理制度与栽培模式,完善果园生草配套技术,提高果园土壤质量与综合肥力已成为新疆果业优化升级及可持续发展亟待解决的迫切任务。

众多学者就不同生草草种、生草模式对不同树种果园土壤理化性质及对果树生长发育的影响进行了研究。前人报道生草降低果园土壤容重,增加耕作层孔隙度^[1,6-7,9,12,17],提高水稳性团聚体含量^[1]和土壤贮水持水能力^[1,6-7,16];白三叶比黑麦草耗水量小,对果园土壤物理性状改良效果佳^[1]。自然生草不仅明显降低梨园 0~40 cm 土壤含盐量(电导率)^[8-9],且提高了土壤有机质含量^[8,11,14]、表层土壤酶活性^[8,11]及土壤矿质营养元素(Fe、Zn)含量,优化了耕作层土壤物理性状,提升了果实鲜食品质^[4,14]。惠竹梅等^[15]、左玉环等^[2]报道生草能提高土壤全氮、碱解氮、有效磷含量和土壤微生物数量、酶活性及土壤肥力,三叶草、紫花苜蓿优于高羊茅;而霍颖等^[14]指出沙地梨园中种植黑麦草的效果更好。学者报道生草能提高土壤水分利用率^[3]与综合肥力^[11],促进

果树花芽分化和开花结果^[5],提高产量与果品品质^[3,10]。近年来国内果园生草研究主要集中在苹果、葡萄、梨、柿、柑橘等果园,因研究的生态条件、树种、生草种类、生草年限等不同,研究结果并不一致^[1-17],但对新疆极端干旱区果园间作牧草生产可行性研究报道较少。笔者选择在塔里木灌区成龄枣园间作禾本科与豆科牧草,比较分析行间生草栽培对枣园土壤理化性状的影响,以期揭示果园间作生草后土壤物理性质与牧草的互动效应及其演变特征,为新疆果园土壤管理及生草栽培技术的应用推广提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在塔里木大学园艺试验站进行,该站位于塔克拉玛干沙漠北缘、塔里木河干流上游(40°35' N, 80°50' E;海拔 1 006 m)的塔里木灌区,属典型暖温带大陆性干燥气候和典型灌溉农业。区内光热资源丰富,年日照时数 2 900 h,年均气温 10.7 °C,年最高温度 40.6 °C,年最低温度 -23.0 °C,≥10 °C 的积温为 4 113 °C,无霜期 220 d。年平均降雨量 48.5 mm,年平均蒸发量大于 1 988.4 mm。风沙灾害频繁,春、夏季多大风天气,是该地区风沙危害的主要季节。

试验枣园为 10 a 生的骏枣园,面积 0.27 hm^2 ,栽植密度为 2 m×1 m,东西行向,灌溉采用漫灌方式。枣树为盛产期,生长健壮,树势中等,无病虫害。试验前枣园土壤采取清耕措施,处理前 0~20 cm 土壤有机质含量(w,后同)为 11.75 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 33.48 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 15.32 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 87.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤含盐量 1.86 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验区地势平坦、土质等自然条件和栽培管理方式基本一致。试验草种为白三叶草(*Trifolium repens* L.)和早熟禾(*Poa annua* L.)。

1.2 试验设计

试验共设 3 个处理:(1)行间播种白三叶(II, SH);(2)行间播种早熟禾(III, PA);(3)清耕(I, CK)。于 2016 年 4 月上旬在枣树行间条播白三叶与早熟禾,播种量分别为 15 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、22.5 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,以清耕枣园为对照,采用单因素随机区组试验设计,3 次重复,共 9 个小区,小区面积 300 m^2 。清耕处理是人工将果园杂草除净,无任何覆盖。生长季

不使用除草剂,生草后至土壤取样时果树行间生草区均未施肥,生草区每年刈割2次,覆盖于行间或树盘。试验期间主要根据枣树生长的水分需求进行适时灌溉,枣树按大田管理标准正常施肥,以保证果树生长对营养、水分的需求。其他枣园管理措施(枣树修剪、病虫害防治等)相同。

1.3 样品采集

土壤样品于2018年3、5、7、9月中旬在各处理小区按5点取样法,用土钻取0~60 cm土样,每20 cm一层,各层土样用铝盒封装,用于测定土壤含水量;剩余土样各层分别混合均匀后采用四分法分取土样0.5 kg作为1个样品,共108份土样,剔除植物残根等杂物后用塑料袋装好,带回实验室风干。

2018年6月中旬各小区在枣树行间挖取土壤剖面2个,按20 cm等距离划分土壤层次,用环刀(100 cm³)分别于0~20、>20~40、>40~60 cm土层深度分别采集2个土样,将环刀密封带回实验室进行土壤物理性质的测定。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤水文物理性质测定 采用烘干法测定土壤含水量,简易比重计法测定土壤颗粒组成,环刀浸水法测定土壤容重、孔隙度、持水量等各项水文物理参数^[18],由公式计算一定土层深度内的土壤吸持贮水量、滞留贮水量和饱和贮水量^[16],即: $W_c=1\ 000\times P_c\times h$; $W_o=1\ 000\times P_o\times h$; $W_i=1\ 000\times P_i\times h$ 。式中: W_c 、 W_o 、 W_i 分别为土壤吸持贮水量、滞留贮水量和饱和贮水量(mm); P_c 、 P_o 、 P_i 分别为毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度(%); h 为土层深度(m)。其他相关参数计算参照国家林业行业标准《森林土壤水分—物理性质的测定》(LY/T 1215—1999)^[19]。

1.4.2 土壤入渗性能测定 采用单环渗透筒法测定水分在土壤中的渗透速度^[20]。测定时将装有原状土柱的环刀下端套上有网孔且垫有滤纸的底盖,上端放置一个相同大小环刀并将接口密封,严防从接口处漏水。将结合好的环刀放在漏斗上,放上漏斗架,漏斗下面承接盛水容器。从上端向环内加水,保持水与环刀上沿基本相平。当漏斗下方滴下第一滴水时开始计时,第1、3、5、10、15 min称量并记录一次通过土柱渗透出的水量,直到单位时间内渗出水量相等为止。计算出不同时段土壤入渗水量以及土壤初渗速率、稳渗速率及渗透系数,计算方法参照国家标准《森林土壤渗透性的测定》

(GB 7838—87)^[21]。

1.4.3 土壤养分测定 土壤有机质含量用重铬酸钾-油浴加热法测定,碱解N用碱解扩散法测定,有效P用钼锑抗比色法测定,速效K用火焰光度法测定^[22]。

1.5 数据处理与分析

统计分析采用SAS6.12软件处理,Duncan法进行多重比较,差异显著性用不同大小写字母表示。

2 结果与分析

2.1 生草栽培对枣园土壤容重与颗粒组成的影响

由表1可知,3种处理0~20 cm土壤容重均低于下层土壤,且随土层深度增加呈增大趋势。与清耕相比,0~60 cm各层土壤容重均为生草区<清耕,生草区0~20 cm、>20~40 cm、>40~60 cm土壤容重分别比清耕降低5.65%、5.10%、4.45%,且二者间差异显著($p < 0.05$)。表明生草栽培能明显降低土壤容重,主要影响集中在0~40 cm土层。2种生草间各层土壤容重均无显著差异($p > 0.05$),但早熟禾对表层土壤容重的影响大于三叶草;三叶草对>20~60 cm土层的影响高于早熟禾,这是由2种生草根系分布深度与穿插作用不同所致。

3种处理土壤砂粒、粉粒含量(除清耕)自表层沿剖面均呈递减趋势,黏粒含量则呈增加趋势(表1)。生草区0~60 cm各层土壤粉粒含量均高于清耕区,砂粒与黏粒含量则均低于清耕区,二者在土壤颗粒组成方面差异显著($p < 0.05$)。与清耕相比,生草区0~60 cm土壤粉粒含量增加30.21%,砂粒与黏粒含量分别降低3.46%、24.40%;0~40 cm粉粒、黏粒含量与清耕区差异显著($p < 0.05$),>40~60 cm则不显著($p > 0.05$)。表明生草栽培能明显改良土壤质地、改善通气性能,影响主要在0~40 cm土层。但生草类型不同其影响程度不同。三叶草0~60 cm土壤砂粒、黏粒含量均低于早熟禾,粉粒含量则相反,白三叶对土壤质地的效应强于早熟禾。

2.2 生草栽培对枣园土壤孔隙度的影响

表1可知,3种处理土壤孔隙度均随土壤深度增加而降低,生草区0~20 cm土壤孔隙度增幅较明显,与清耕区差异显著($p < 0.05$)。与清耕相比,生草区0~60 cm土壤毛管、非毛管、总孔隙度分别增加12.51%、4.23%、10.48%,二者毛管、总孔隙度间差异均显著($p < 0.05$);0~40 cm、>40~60 cm土壤

表1 生草栽培对枣园土壤物理性质的影响

Table 1 Effect of interrow grass planting on soil physical properties in jujube orchard

模式 Model	土层深度 Depth of soil layer/ cm	土壤容重 Soil bulk density/ (g·cm ⁻³)	土壤颗粒组成 Soil particle composition/%			土壤孔隙度 Soil porosity/%			孔隙比 Porosity ratio	毛管/非毛管比 Ratio of capillary and noncapillary	土壤通 气度 Soil aeration
			砂粒 Sand	粉粒 Silt	黏粒 Clay	毛管孔隙度 Capillary porosity	非毛管孔隙度 Noncapillary porosity	总孔隙度 Total porosity			
三叶草 <i>T. repens</i>	0~20	1.20 b	72.63 b	22.29 a	5.07 b	38.49 b	12.94 a	51.43 a	1.06 a	2.97 ab	19.12 a
	>20~40	1.23 b	71.70 a	21.84 a	6.46 b	37.93 a	11.95 a	49.88 a	1.00 a	3.18 a	18.96 a
	>40~60	1.29 b	70.01 a	20.54 a	9.45 a	37.22 a	11.08 a	48.30 a	0.93 a	3.36 a	18.51 a
	均值 Average value	1.24 b	71.45 b	21.56 a	6.99 b	37.88 a	11.99 a	49.87 a	0.99 a	3.16 a	18.86 ab
早熟禾 <i>P. annua</i>	0~20	1.18 b	72.18 b	22.89 a	4.93 b	39.67 a	12.60 a	52.27 a	1.10 a	3.15 a	21.33 a
	>20~40	1.25 b	71.97 a	20.37 a	7.66 ab	37.70 a	11.65 a	49.35 a	0.97 a	3.24 a	19.21 a
	>40~60	1.31 b	71.27 a	18.79 a	9.94 a	36.20 a	10.51 a	46.71 a	0.88 a	3.44 b	18.14 a
	均值 Average value	1.25 b	71.80 b	20.68 a	7.51 b	37.86 a	11.59 a	49.44 a	0.98 a	3.27 a	19.56 a
清耕 Clean tillage, CK	0~20	1.26 a	76.78 a	15.09 b	8.13 a	34.48 c	11.79 b	46.27 b	0.86 b	2.92 b	18.27 a
	>20~40	1.31 a	74.01 a	16.37 b	9.62 a	33.90 b	11.18 a	45.08 b	0.82 b	3.03 a	17.90 a
	>40~60	1.36 a	71.80 a	17.19 a	11.01 a	32.60 b	10.96 a	43.56 b	0.77 b	2.97 c	17.85 a
	均值 Average value	1.31 a	74.20 a	16.22 b	9.59 a	33.66 b	11.31 a	44.97 b	0.82 b	2.98 b	18.01 b

注:3种处理同一土层进行比较,同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: The trait values of the same soil layers in three treatments were compared, and different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$). The same below.

总孔隙分别提高 11.08%、9.07%,影响主要在 0~40 cm 土层。三叶草、早熟禾 0~60 cm 各层土壤总孔隙度均与清耕间差异显著($p < 0.05$),0~20 cm 土壤总孔隙度分别比清耕提高 11.17%、12.98%,>40~60 cm 分别提高了 10.11%、9.16%,表明早熟禾对提高表层土壤孔隙度优于三叶草,下层则相反。

生草栽培明显提高了土壤孔隙度,但 3 种处理 0~60 cm 土层孔隙度均表现为非毛管孔隙度小于毛管孔隙度,表明生草栽培未改变土壤孔隙的基本状态。与清耕相比,生草栽培增加了各层土壤毛管孔隙度,二者各土层间差异均显著($p < 0.05$);而生草区明显增加 0~20 cm 土层非毛管孔隙度,对>20~60 cm 影响不显著($p > 0.05$)。由于牧草类型不同,其对孔隙大小的影响不同。三叶草与早熟禾 0~60 cm 土壤毛管、非毛管孔隙度分别比清耕提高了 12.54%、5.99%与 12.47%、2.44%;0~20 cm 土壤则分别增加了 11.64%、9.79%与 15.07%、6.86%,表明早熟禾对表层(0~20 cm)土壤孔隙度影响大于三叶草,而三叶草对 0~60 cm 土壤孔隙度的影响较大。

与清耕相比,生草区 0~60 cm 土壤孔隙比、毛管/非毛管比、土壤通气度均增大,分别比清耕提高 21.04%、8.18%、6.80%,二者间差异均显著($p <$

0.05)。比较 2 种生草,早熟禾 0~20 cm 土壤孔隙比、0~40 cm 土壤通气度、0~60 cm 毛管/非毛管比均高于三叶草,其他土层则低于三叶草。但 2 种生草在 0~60 cm 各土层间均无显著差异(除>40~60 cm 毛管/非毛管比外)。综上所述,生草栽培改善土壤孔隙状况,明显提高了土壤通气性。

2.3 生草栽培对枣园土壤含水量的影响

如图 1 所示,枣园行间生草能明显提高 0~60 cm 土壤含水量,比清耕增加 22.89%,与清耕差异显著($p < 0.05$)。生草 0~60 cm 各层土壤含水量均高于清耕,自表层沿垂直剖面依次比清耕提高 26.14%、20.53%、22.12%,增幅逐渐减小。2 种生草相比,二者 0~60 cm 各层土壤含水量均无显著差异($p > 0.05$);但三叶草 0~20 cm、>20~40 cm、>40~60 cm 土壤含水量分别比早熟禾提高 3.08%、8.66%、7.00%,表明干旱区果园生草栽培能明显抑制土壤水分蒸发,增持土壤水分;三叶草优于早熟禾。

2.4 生草栽培对枣园土壤持水与贮水性能的影响

如表 2 所示,3 种处理土壤最大、毛管、田间持水量均自表层沿土壤剖面逐渐降低,生草区变幅较大。与清耕相比,生草区 0~60 cm 土壤最大、

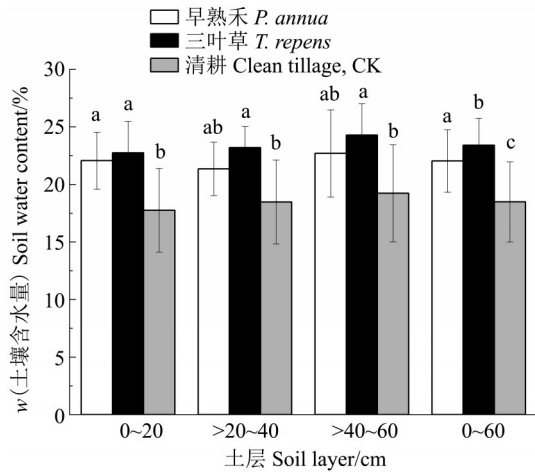


图 1 生草栽培对枣园土壤水分的影响

Fig. 1 Effect of interrow grass planting on soil water content in jujube orchard

毛管、非毛管、田间持水量分别提高 13.13%、12.49%、21.10%、12.93%，除非毛管持水量外，生草区与清耕差异显著 ($p < 0.05$)。0~60 cm 各层土壤最大、毛管、田间持水量均表现为三叶草 > 早熟禾 > 清耕，尤其三叶草各层均与清耕差异显著 ($p < 0.05$)，而早熟禾则不显著。表明生草栽培能提高枣园土壤持水能力和涵养水源功能，三叶草优于早熟禾。

3 种处理土壤贮水量指标变化与土壤持水量一致，均随土层深度增加而降低，生草区各层均明显高于清耕区 (表 2)。与清耕相比，生草区 0~60 cm 土壤吸持、滞留、饱和贮水量分别高于清耕 12.51%、4.23%、10.48%，除滞留贮水量外均与清耕差异显著 ($p < 0.05$)。三叶草与早熟禾 0~60 cm 土壤吸持、

表 2 生草栽培对枣园土壤持水与贮水性能的影响

Table 2 Effect of interrow grass planting on soil water-holding capacity in jujube orchard

模式 Model	土层深度 Depth of soil layer/cm	土壤持水量 Soil water-holding capacity/%				贮水量 Water content/mm			合理灌溉定额 Rational irrigation quota/mm	最佳含水量下限 The optimal lower limit of soil water content/mm
		最大持水量 Maximum capacity	毛管持水量 Capillary capacity	非毛管持水量 Nonapillary capacity	田间持水量 Field capacity	吸持贮水量 Soil absorbed water content	滞留贮水量 Soil retained water content	饱和贮水量 Soil saturated water content		
三叶草 <i>T. repens</i>	0~20	36.02 a	33.52 a	2.50 b	32.31 a	76.98 b	25.89 a	102.87 a	24.16 b	56.36 b
	>20~40	35.81 a	32.35 a	3.47 a	30.92 a	75.86 a	23.89 a	99.75 a	23.76 c	55.43 b
	>40~60	34.22 a	31.94 a	2.29 a	29.79 a	74.44 a	21.03 a	95.47 a	22.46 b	54.41 b
	均值 Average value	35.35 a	32.60 a	2.75 a	31.01 a	75.76 a	23.60 a	99.36 a	23.46 c	55.40 c
早熟禾 <i>P. annua</i>	0~20	35.84 a	32.32 ab	3.53 a	30.94 ab	79.34 a	25.20 a	104.54 a	24.57 b	57.79 b
	>20~40	33.44 b	31.22 ab	2.22 b	30.14 a	75.40 a	23.30 a	98.83 a	24.33 b	56.57 b
	>40~60	32.54 ab	30.04 ab	2.50 a	28.57 ab	72.40 a	22.16 a	94.68 a	23.28 b	55.68 b
	均值 Average value	33.94 b	31.19 b	2.75 a	29.88 b	75.71 a	23.55 a	99.35 a	24.06 b	56.68 b
清耕 Clean tillage, CK	0~20	31.42 b	29.53 b	1.89 b	28.37 b	68.95 c	23.58 b	92.53 b	26.68 a	61.25 a
	>20~40	30.93 c	28.41 b	2.52 b	26.81 b	67.80 b	22.36 a	90.19 b	26.30 a	60.37 a
	>40~60	29.54 b	27.14 b	2.40 a	25.71 b	65.20 b	21.93 a	87.09 b	25.42 a	58.02 a
	均值 Average value	30.63 c	28.36 c	2.27 a	26.96 c	67.32 b	22.62 a	89.94 b	26.13 a	59.88 a

滞留、饱和贮水量无显著差异 ($p > 0.05$)，但早熟禾表层 (0~20 cm) 土壤吸持与饱和贮水量分别比三叶草高 2.36 mm、1.67 mm，而 >20~60 cm 则小于三叶草，表明早熟禾表层土壤贮蓄水分和供给植物有效性水分的潜在能力高于三叶草，而下层土壤贮水供水能力低于三叶草。

生草区 0~60 cm 土壤合理灌溉定额、最佳含水量下限均低于清耕区，分别降低了 9.08%、6.41%，且

均与清耕差异显著 ($p < 0.05$, 表 2)。与清耕相比，生草区自表层沿剖面垂直方向各土层合理灌溉定额、最佳含水量下限依次降低，其中合理灌溉定额依次减少了 2.32 mm、2.26 mm、2.55 mm，表明行间生草能降低果园灌溉水量，节省灌溉用水。2 种生草相比，三叶草 0~60 cm 土壤合理灌溉定额、最佳含水量下限比早熟禾低 0.60 mm、1.28 mm，且各土层值均低于早熟禾，表明三叶草在节水效果方面优

于早熟禾。

2.5 生草栽培对枣园土壤渗透性能的影响

由图2可见,行间生草0~60 cm土壤初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率和渗透系数均高于清耕,分别提高了15.53%、25.68%、13.46%、13.04%,均与清耕差异显著($p < 0.05$)。表明生草栽培能提高土壤透水性能。生草区0~20 cm土壤初渗速率、>20~40 cm稳渗速率与清耕差异极显著($p < 0.01$),0~20 cm土壤渗透系数与清耕差异显著($p < 0.05$),而>40~60 cm初渗速率与清耕无显著

差异($p > 0.05$)。可见,生草对不同土层的效应存在差异,对表层土壤影响较明显,总体表现生草与清耕间的差异随土层深度增加呈减小趋势。生草类型不同,其对土壤入渗性能的影响不同。早熟禾、三叶草0~20 cm土壤初渗速率、平均渗透速率分别比清耕提高15.85%、12.50%,12.92%、5.77%;稳渗速率与渗透系数分别则提高了6.25%、11.76%,3.75%、3.92%;三叶草>20~60 cm的土壤入渗值均高于早熟禾(图2)。表明早熟禾提升0~20 cm土壤入渗性能优于三叶草,而对>20~60 cm土壤作

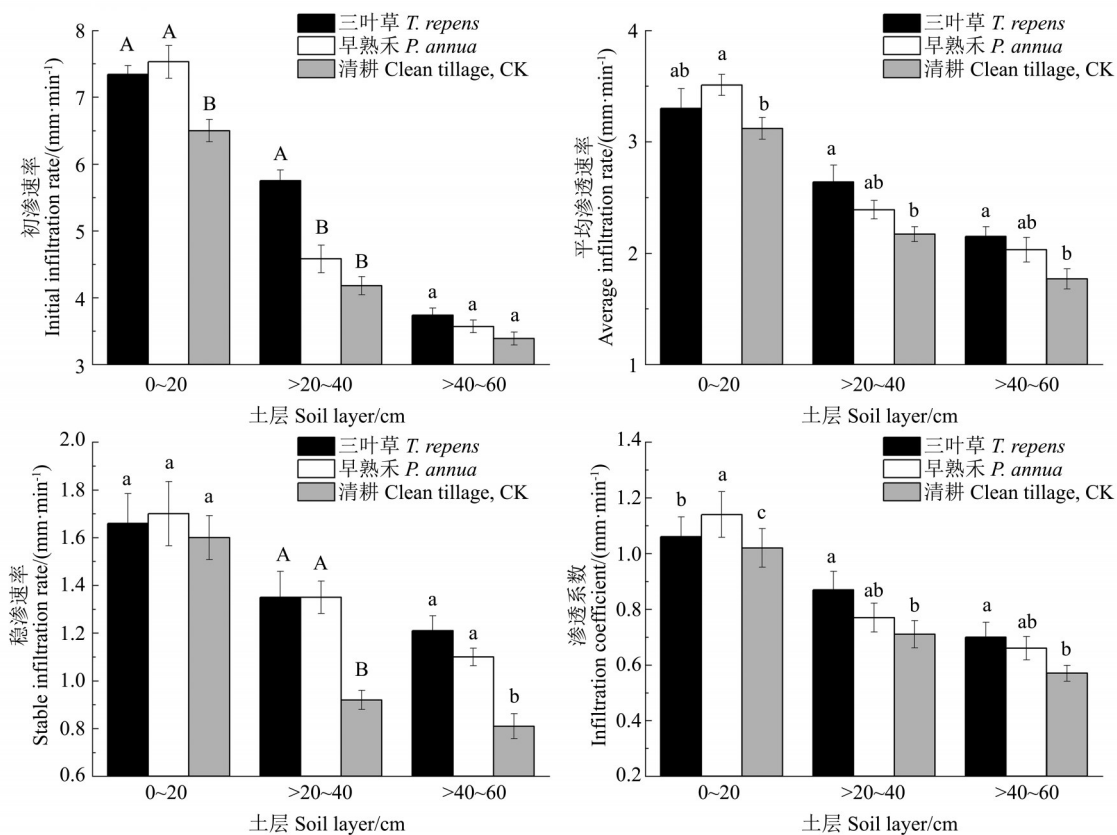


图2 生草栽培对枣园土壤入渗性能的影响

Fig. 2 Effect of interrow grass planting on soil permeability in jujube orchard in extremely arid region of south Xinjiang

用弱于三叶草。

2.6 生草栽培对枣园土壤养分含量的影响

由图3可看出,枣园土壤有机质含量随土层加深而下降,0~20 cm土壤有机质含量最高,是>40~60 cm的1.19倍。生草区0~60 cm土壤有机质含量是清耕区的1.56倍,且各土层有机质含量均明显高于清耕区,其中0~20 cm土壤有机质含量与清耕差异显著($p < 0.05$),>20~60 cm仅三叶草与清耕差异显著($p < 0.05$)。2种生草相比较,二者0~60 cm土壤各土层有机质含量均无显著差异($p > 0.05$),

但三叶草各土层有机质含量均高于早熟禾,表明三叶草培肥地力的效果优于早熟禾。

枣园土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量也随土层深度增加而降低(图3),生草区各土层速效养分含量与清耕的差异更加显著(与有机质相比),0~60 cm土壤碱解氮、有效磷、速效钾分别是清耕区的1.62、5.49、1.84倍,且各层土壤速效养分含量均与清耕差异显著($p < 0.05$),表明生草栽培能明显提高土壤速效养分含量,促进果树生长。2种生草相比较,尽管早熟禾与三叶草0~60 cm各土层速效养分含量均无

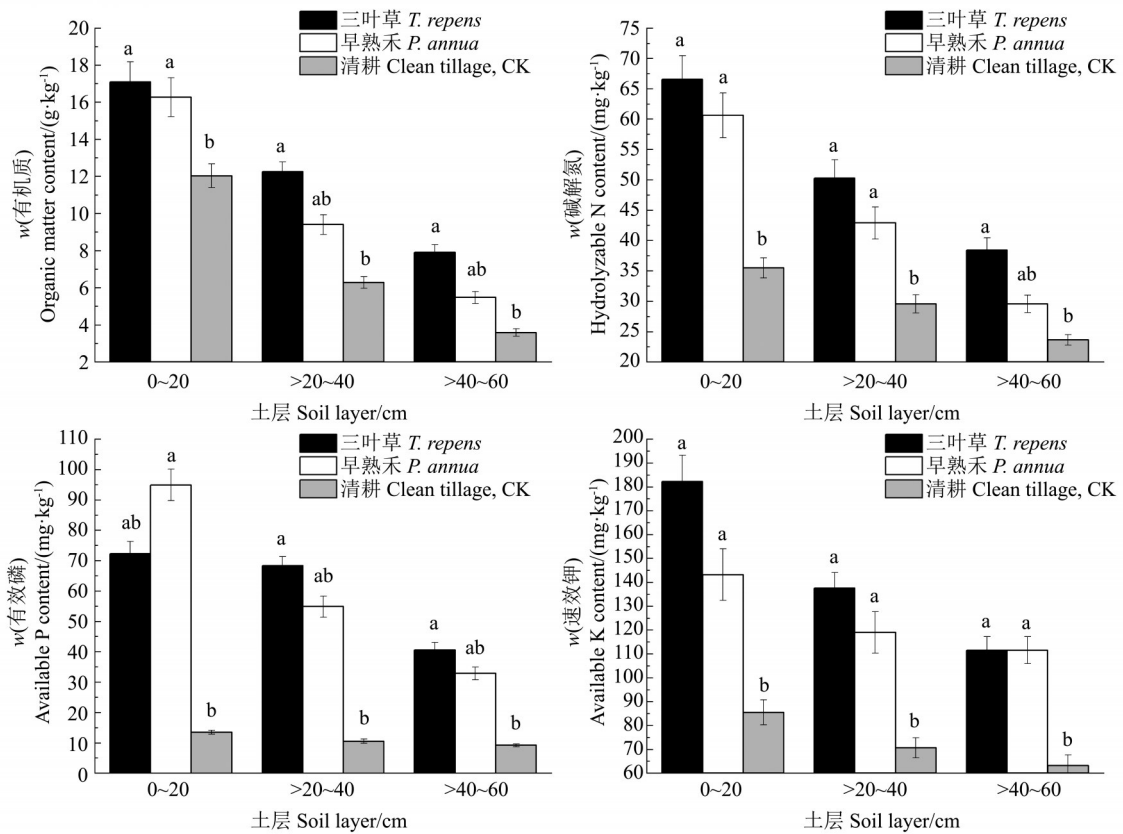


图3 生草栽培对枣园土壤养分含量的影响

Fig. 3 Effect of interrow grass planting on soil nutrient in jujube orchard in the extremely arid region of south Xinjiang

显著差异($p > 0.05$),但除早熟禾 0~20 cm 土壤有效磷含量高于三叶草外,三叶草 0~60 cm 各土层速效养分含量均高于早熟禾。表明果园行间种植三叶草对活化土壤速效养分的作用强于早熟禾,而早熟禾对活化表层土壤有效磷的作用较强。

3 讨论

生草制是果园有机化栽培和产业转型升级的重要途径,长期间作生草能够有效地减少土壤水分蒸发,优化土壤结构,提高土壤持水能力和酶活性,培肥地力,降低土壤含盐量及改善果园生态环境^[1-17]。但生草与果树争肥争水的传统观念及生草果园技术不配套是制约果园生草技术在中国有效推广应用的主要因素^[3,8,11,23-24]。因此,满足南疆特色林果业产业升级与提质增效的迫切需求,探讨干旱区果园间作生草对土壤理化性状的影响及其可行性是十分必要的。

3.1 生草栽培对枣园土壤物理性质的影响

从本试验结果可以看出,南疆枣园生草栽培能提高 0~60 cm 土壤含水量、土壤孔隙度、土壤孔隙

比、毛管/非毛管比、土壤通气度,增加土壤粉粒含量,而降低土壤容重、砂粒与黏粒含量,明显改善土壤物理结构,协调土壤透水性、通气性和持水性能,利于果树根系生长发育,这与前人研究结果基本一致^[1,9,16-17,25-26]。生草对土壤物理性质的影响随土层加深而逐渐减弱,影响主要集中在 0~40 cm 土层。由于生草种类不同,早熟禾对表层(0~20 cm)土壤容重、孔隙度等影响明显,而三叶草对 0~60 cm 土壤的影响大于早熟禾,表明枣园种植豆科牧草(三叶草)比禾本科牧草(早熟禾)能更好改善土壤结构,提高土壤生态功能。一方面,因为生草栽培增加了果园草被地表覆盖,减缓了土壤水分蒸散;同时豆科牧草覆盖度及生物量大,明显降低枣园土壤水分蒸发,因而提高土壤含水量,这与国内相关报道结果一致^[9-10,25]。另一方面,生草根系在土体内不断向四周扩展,根系死亡腐烂后在土壤中形成诸多不规则大孔隙^[17],土壤有机质分解时产生的腐殖酸可使分散的土粒互相胶结^[1],土壤颗粒受牧草根系缠绕并受到根系释放的分泌物黏结而造成土壤结构的重新排列^[1,26],导致土壤结构发生改变,因而改变

土壤颗粒组成、降低土壤容重,使孔隙度增加和通气性增强。此外,因牧草种类不同,影响土壤效应的范围也有差异。早熟禾根系为须根系,没有明显的主根,集中分布在耕作层^[27],因而对表层土壤性状(如容重、孔隙度)影响明显;而三叶草为直根系的固氮牧草,具有明显的主根和粗细不等的侧根,根系分布深且穿插能力强,明显影响表层以下土壤性状;固氮作用增加土壤氮素进而促进地上、地下生长,大量有机质分解和根系分泌物的作用显著改善土壤物理结构。

3.2 生草栽培对枣园土壤持水贮水和入渗性能的影响

土壤水文参数是评价土壤保持水土、涵养水源、调节水循环的重要指标。持水性能反映土壤持水、供水与调蓄能力,土壤贮水量反映了土壤贮蓄和调节水分的潜在能力;吸持贮水量反映土壤供给植物根系吸水、叶面蒸腾而维持植物生长发育的能力,滞留贮水量反映土壤贮存水分与涵养水源的能力^[16,19,26]。许多研究表明,土壤持水、入渗能力与土壤孔隙度、有机质含量、结构性密切相关^[16-17,24],生草栽培改善土壤物理性状,降低土壤容重、提高土壤总孔隙度^[1,16,25-26],因而势必对土壤持水贮水和渗透性能产生影响。南疆枣园生草栽培提高0~60 cm土壤最大、毛管、田间与土壤吸持、滞留、饱和贮水量,降低灌溉定额,表明生草栽培能提高枣园土壤持水贮水能力,增加供给果树有效性水分的能力及缓解旱情,节约农业灌溉用水,实现节水增效。这与苹果园、梨园等生草后土壤持水量、贮水量均明显高于清耕^[16,26],土壤蓄纳更多的水分,提高土壤水分利用效率,有效缓解旱情的结果一致^[1,3,9-10,16-17]。因为生草根系向下及四周扩展生长,土壤中根系及地上部有机残体增加,促进微生物活动、酶活性增强^[8-9,15,28],从而熟化土壤,改变土壤颗粒组成,降低土壤容重,提高土壤孔隙度,提高了生草区土壤持水贮水能力。由于白三叶、早熟禾改善土壤结构及孔隙度强弱范围不同,其对土壤持水与贮水性能的影响存在差异。三叶草0~60 cm土壤最大、毛管、田间持水量及>20~60 cm土壤吸持、饱和贮水量均高于早熟禾,而土壤合理灌溉定额、最佳含水量下限及0~20 cm土壤吸持、饱和贮水量均低于早熟禾,表明三叶草在土壤水分保持、涵养水源与节水效果等方面优于早熟禾。这是因为豆科牧草与禾

本科牧草根系类型、分布范围与穿插、黏结作用不同,豆科牧草(三叶草)根系可以释放较多的酶,并给土壤留下了更多富含氮素的有机残体,促进了土壤生物学活性的增强^[2,8-9,15],对改善土壤物理性状的作用强于早熟禾。前人研究指出果园覆盖条件下土壤水分损失为清耕的1/3,降低合理灌溉定额0.32 mm,每年可减少灌溉1~2次^[10]。本试验结果表明,生草栽培可降低枣园灌溉定额0.99 mm,节约干旱区农业灌溉用水,与前人研究结果一致^[10]。

土壤入渗性能是水分循环的重要环节,其受土壤理化性质(土壤孔隙度、容重、质地、紧实度、含水量、有机质含量)和土壤小气候等因素影响^[20]。生草枣园0~60 cm土壤初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率和渗透系数分别比清耕提高15.53%、25.68%、13.46%、13.04%,均与清耕差异显著($p < 0.05$)。表明生草栽培能提高土壤透水性能,促进水分快速入渗转化为土壤水,减少地表径流^[29],提高土壤水分利用率^[3]。因为生草栽培后牧草根系穿插、分割作用及根系残体、地上部有机质腐解增加土壤腐殖质^[27-28]、降低土壤容重、提高土壤孔隙度,从而明显提高生草枣园土壤入渗性能。对于极端干旱区来说,农业灌溉水快速入渗转化为土壤水、减少表面蒸发,提高农业用水利用率和水分生产效率是果树生产的关键。三叶草0~60 cm土壤入渗指标高于早熟禾,因此,干旱区果园种植三叶草的效果优于早熟禾。

3.3 生草栽培对枣园土壤养分的影响

提高果实产量、品质必须首先提高土壤品质^[11]。土壤有机质含量和质量是土壤肥力的重要特征,是影响土壤理化性质、通气性、抗蚀力、涵养水源能力、供肥保肥能力和养分有效性等的关键因子^[14]。本试验结果表明,生草枣园土壤有机质含量随土层加深而下降,各层土壤有机质含量均明显高于清耕区,0~20 cm表现明显(1.64倍)。生草栽培能减少土壤水分蒸发^[3],保持与贮蓄土壤水分^[1,16],且大量牧草根系残体和地上有机物在土壤微生物作用下腐解为腐殖质,增加了土壤有机碳含量,主要集中在耕作层;而清耕区土壤水分蒸发快,地上凋落物供给少,以及强光、高温作用下土壤呼吸降解加快^[11],造成清耕区土壤有机质显著低于生草区。大量试验也证明,果园行间种植豆科和禾本科牧草或禾豆混播均明显提高土壤各层次有机质或腐殖酸含量^[2,8,11-13,15,30]。对于干旱区土壤贫瘠和水资源短

缺的林果业来说,提高土壤有机质含量有助于促进果园土壤水、肥、气、热等肥力因子的良性运转。

土壤速效养分含量直接关系到果树根系的吸收、生长及果树产量、果实品质,而土壤 N、P、K 等矿质营养元素的协调、均衡供应是保证果树正常生长发育和优质高效的关键^[8]。本研究中,生草栽培枣园 0~60 cm 各层土壤碱解 N、有效 P、速效 K 均明显高于清耕对照,分别是清耕区的 1.62、5.49、1.84 倍。表明生草地上凋落物、根系分泌物提高了土壤微生物、酶活性^[2,8-9,15,27],活化了土壤有机态 N、P、K 及将缓效态或难溶性养分转化为速效态或易溶性养分,增强土壤 N、P、K 供给能力。大量试验结果表明,行间生草提高土壤有机质、全 N、P、K,碱解 N、有效 P、速效 K 含量^[2,8,11-15,30-31]。但吴玉森等^[8]报道 2 a 自然生草 0~20 cm 表层土壤 N、P、K 等矿质元素含量低于清耕,7 a 后则高于清耕;3 a 生草 0~40 cm 土壤全 P、有效 P 含量降低^[15]。另外生草类型与种植年限不同,对 N、P、K 的效应存在差异。4 a 生草碱解 N、有效 P、速效 K 含量高于 3 a^[14],5 a 后生草果园 N、P、K 含量普遍提高^[8]。种植豆科牧草提高土壤微生物数量、酶活性及土壤全 N、碱解 N、有效 P、速效 K 含量,白三叶在增加土壤养分及提高氮肥利用效率方面显著高于其他草种^[12-13,15,31-33];禾草类(黑麦草、高羊茅)活化有机态 P 的作用大于三叶草^[15,32],而三叶草活化 N 的作用大于黑麦草^[32]。也有学者报道在提高土壤有机质和养分含量方面,黑麦草优于豆科牧草^[14,30]。本试验也发现,除早熟禾 0~20 cm 土壤有效 P 含量高于三叶草外,三叶草 0~60 cm 各土层有机质、碱解 N、有效 P、速效 K 含量均高于早熟禾,说明禾本科(早熟禾)活化 P 的能力较强,这与李会科等^[32]、惠竹梅等^[15]研究结果相似。可见,果园地力培肥的调控效果因生草种类不同存在明显差异,种植单一草种难以满足矿质营养元素均衡协调供应、全面改善土壤理化性质。因此,南疆果园开展禾豆混作是全面提升土壤品质、优化果园生态环境和可持续发展的重要途径。

4 结 论

(1)南疆枣园行间生草可改变土壤颗粒组成,降低土壤容重,提高土壤含水量,增加土壤孔隙度,明显改善土壤物理结构,其影响主要集中在 0~40 cm 土层。

(2)行间生草可提高枣园土壤最大、毛管、田间持水量和土壤吸持、滞留、饱和贮水量,增强果树有效性水分的供给能力与涵养水源功能,土壤持水贮水性能得到显著改善。

(3)行间生草可提高枣园土壤初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率和渗透系数,促进水分快速入渗转化为土壤水,减少地表径流,提高土壤水分利用率。

(4)行间生草可提高枣园土壤有机质、碱解 N、有效 P、速效 K 含量,促进枣园土壤水、肥、气、热等肥力因子的良性运转,土壤品质得到提高。种植三叶草的效果优于早熟禾。

参考文献 References:

- [1] 李会科,张广军,赵政阳,李凯荣. 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,2008,41(7): 2070-2076.
LI Huike, ZHANG Guangjun, ZHAO Zhengyang, LI Kairong. Effects of different herbage on soil quality characteristics of non-irrigated apple orchard in Weibei Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 2070-2076.
- [2] 左玉环,刘高远,杨莉莉,梁连友,同延安. 陕西渭北柿子园种植白三叶草对土壤养分和生物学性质的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(2):518-524.
ZUO Yuhuan, LIU Gaoyuan, YANG Lili, LIANG Lianyou, TONG Yan'an. Effect of planting white clover on nutrients and biological properties of soils in persimmon orchard of Weibei, Shaanxi province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(2): 518-524.
- [3] 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(3):151-158.
BAI Gangshuan, ZOU Chaoyu, DU Sheni. Effects of self-sown grass on soil moisture and tree growth in apple orchard on Weibei dry plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(3): 151-158.
- [4] RAMOS M E, BENITEZ E, GARCIA P A, ROBLES A B. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality[J]. Applied Soil Ecology, 2010, 44(1): 6-14.
- [5] GARCIA-MORENO J, GORDILLO-RIVERO Á J, ZAVALA L M, JORDAN A, PEREIRA P. Mulch application in fruit orchards increases the persistence of soil water repellency during a 15-years period[J]. Soil and Tillage Research, 2013, 130: 62-68.
- [6] ÇERCIOGLU M, ANDERSON S H, UDAWATTA R P, AL-AGELE S. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties[J]. Geoderma, 2019, 343: 247-253.
- [7] LING Q, ZHAO X N, WU P T, GAO X D, SUN W H. Effect of the fodder species canola (*Brassica napus* L.) and daylily (*Hemerocallis fulva* L.) on soil physical properties and soil water con-

- tent in a rainfed orchard on the semiarid Loess Plateau, China [J]. *Plant Soil*, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04318-0>.
- [8] 吴玉森,张艳敏,冀晓昊,张芮,刘大亮,张宗营,李文燕,陈学森. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(1): 99-108.
WU Yusen, ZHANG Yanmin, JI Xiaohao, ZHANG Rui, LIU Daliang, ZHANG Zongying, LI Wenyan, CHEN Xuesen. Effects of natural grass on soil nutrient, enzyme activity and fruit quality of pear orchard in Yellow River Delta[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(1): 99-108.
- [9] 王艳廷,冀晓昊,张艳敏,吴玉森,安萌萌,张芮,王立霞,张晶,刘文,李敏,李文燕,陈学森. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤物理性状及微生物多样性的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(16): 5374-5384.
WANG Yanting, JI Xiaohao, ZHANG Yanmin, WU Yusen, AN Mengmeng, ZHANG Rui, WANG Lixia, ZHANG Jing, LIU Wen, LI Min, LI Wenyan, CHEN Xuesen. Effects of self-sown grass on soil physical properties and microbial diversity of pear orchards in Yellow River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(16): 5374-5384.
- [10] 谷艳蓉,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]. *草业科学*, 2009, 26(12): 103-107.
GU Yanrong, ZHANG Hailing, HU Yanhong. Effect of natural grasses cover on soil properties and yield and quality of peach [J]. *Pratacultural Science*, 2009, 26(12): 103-107.
- [11] 陈学森,张瑞洁,王艳廷,王楠,姜生辉,许海峰,刘静轩,王得云,曲常志,张艳敏,姜远茂,毛志泉. 苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响[J]. *园艺学报*, 2016, 43(12): 2325-2334.
CHEN Xuesen, ZHANG Ruijie, WANG Yanting, WANG Nan, JIANG Shenghui, XU Haifeng, LIU Jingxuan, WANG Deyun, QU Changzhi, ZHANG Yanmin, JIANG Yuanmao, MAO Zhiquan. Effects of growing hairy vetch (*Vicia villosa*) on the soil nutrient, enzyme activities and microorganisms in apple orchard [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(12): 2325-2334.
- [12] QIAN X, GU J, PAN H J, ZHANG K Y, SUN W, WANG X J, GAO H. Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2015, 70: 23-30.
- [13] 惠竹梅,李华,龙妍,张瑾,庞学良. 葡萄园行间生草体系中土壤微生物数量的变化及其与土壤养分的关系[J]. *园艺学报*, 2010, 37(9): 1395-1402.
HUI Zhumei, LI Hua, LONG Yan, ZHANG Jin, PANG Xueliang. Variation of soil microbial populations and relationships between microbial factors and soil nutrients in cover cropping system of vineyard[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(9): 1395-1402.
- [14] 霍颖,张杰,王美超,姚允聪. 梨园行间种草对土壤有机质和矿质元素变化及相互关系的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(7): 1415-1424.
HUO Ying, ZHANG Jie, WANG Meichao, YAO Yuncong. Effects of inter-row planting grasses on variations and relationships of soil organic matter and soil nutrients in pear orchard[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(7): 1415-1424.
- [15] 惠竹梅,岳泰新,张瑾,程建梅,李华. 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.
HUI Zhumei, YUE Taixin, ZHANG Jin, CHENG Jianmei, LI Hua. Relationship between soil biological characteristics and nutrient content under intercropping system of vineyard in northwestern semiarid area[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(11): 2310-2317.
- [16] 高茂盛,廖允成,李侠,黄金辉. 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.
GAO Maosheng, LIAO Yuncheng, LI Xia, HUANG Jinhui. Effects of different mulching patterns on soil water-holding capacity of non-irrigated apple orchard in the Weibei Plateau[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(10): 2080-2087.
- [17] 李洪兵,赵西宁,王娟,黄俊,高晓东. 生草和树枝覆盖对果园土壤持水性能的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(1): 136-141.
LI Hongbing, ZHAO Xining, WANG Juan, HUANG Jun, GAO Xiaodong. Effects of ground covers and mulches on soil water-holding capacity in jujube orchards[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(1): 136-141.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Methods for soil physical properties[M]. Beijing: Science Press, 1978.
- [19] 中华人民共和国林业行业标准. 森林土壤水分—物理性质的测定: LY/T 1215—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
National standards of the People's Republic of China. Determination of forest soil water-physical properties: LY/T 1215—1999 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1999.
- [20] 刘霞,张光灿,李雪蕾,邢先双,赵玫. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 1-5.
LIU Xia, ZHANG Guangcan, LI Xuelei, XING Xianshuang, ZHAO Mei. Characteristics of soil infiltration and water-holding of different forest vegetation in ecological rehabilitation of small watershed[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(6): 1-5.
- [21] 中华人民共和国国家标准. 森林土壤渗透性的测定: GB 7838—87[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.
Forestry-Industrial Standards of the People's Republic of China. Determination of forest soil permeability: GB 7838—87[S]. Beijing: Standards Press of China, 1987.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
BAO Shidan. Soil agro-chemical analysis (3rd ed.)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [23] 贾如浩,杨建利,赵西宁,高晓东,宋小林,张伟. 二元覆盖对苹果树低耗水生育期土壤水分的影响[J]. *应用生态学报*,

- 2019, 30(12): 4082-4090.
- JIA Ruhao, YANG Jianli, ZHAO Xining, GAO Xiaodong, SONG Xiaolin, ZHANG Wei. Effects of binary coverage on soil water content in apple orchards during low-water consumption growth period[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(12): 4082-4090.
- [24] DU S N, BAI G S, YU J. Soil properties and apricot growth under intercropping and mulching with erect milk vetch in the loess hilly-gully region[J]. Plant Soil, 2015, 390(1): 431-442.
- [25] 寇建村, 杨文权, 程国亭, 韩明玉. 行间种植不同草种对幼龄苹果园土壤特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(4): 145-152.
- KOU Jiancun, YANG Wenquan, CHENG Guoting, HAN Mingyu. Effects of different grasses between rows of apple trees on soil characteristics of 1-year-old orchard[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(4): 145-152.
- [26] 孙计平, 张玉星, 吴照辉, 李英丽, 张召. 生草对梨园土壤物理特性的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5): 194-195.
- SUN Jiping, ZHANG Yuxing, WU Zhaohui, LI Yingli, ZHANG Zhao. Effect of planting herbage on soil physical properties of pear orchard[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(5): 194-195.
- [27] 孙计平, 张玉星, 李英丽, 张江红, 张召. 生草对梨园土壤微生物、酶活性和腐殖质含量的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(增刊): 129-135.
- SUN Jiping, ZHANG Yuxing, LI Yingli, ZHANG Jianghong, ZHANG Zhao. Effect of sod culture on soil microbes, enzyme activities and humus composition of pear orchard[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(Suppl.): 129-135.
- [28] WERNER M R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management[J]. Applied Soil Ecology, 1997, 5(2): 151-167.
- [29] JORDAN A, ZAVALA L M, GIL J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain[J]. Catena, 2010, 81(1): 77-85.
- [30] 陈苏, 谢建坤, 黄文新, 陈登云, 彭晓剑, 付学琴. ‘南丰蜜橘’园生草对土壤有机碳及其组分的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(3): 285-292.
- CHEN Su, XIE Jiankun, HUANG Wenxin, CHEN Dengyun, PENG Xiaojian, FU Xueqin. Effects of sod culture on soil organic carbon and its components in a ‘Nanfeng tangerine’ orchard[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(3): 285-292.
- [31] 彭玲, 文昭, 安欣, 姜翰, 姜远茂. 果园生草对¹⁵N利用及土壤累积的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 950-956.
- PENG Ling, WEN Zhao, AN Xin, JIANG Han, JIANG Yuanmao. Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of ¹⁵N in apple orchard[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(4): 950-956.
- [32] 李会科, 张广军, 赵政阳, 李凯荣. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤养分的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 477-480.
- LI Huike, ZHANG Guangjun, ZHAO Zhengyang, LI Kairong. Effects of interplanting of herbage on soil nutrient of non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(2): 477-480.
- [33] SANCHEZ E E, GIAYETTO A, CICHON L, FERNANDEZ D, ARUANI M C, CURETTI M. Cover crops influence soil properties and tree performance in an organic apple (*Malus domestica* Borkh.) orchard in northern Patagonia[J]. Plant Soil, 2007, 292(1): 193-203.