



# 果园间作模式下杏树与苜蓿的根系分布特征 及其土壤理化性质研究

姜黎<sup>1,2</sup>, 郑银<sup>1,3</sup>, 刘国军<sup>1</sup>, 王波<sup>1</sup>, 田长彦<sup>1\*</sup>

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 2 中国科学院吐鲁番荒漠植物园, 新疆吐鲁番 838008; 3 石河子大学, 新疆石河子 832003)

**摘要:** 该研究采用田间小区试验, 设计杏树 (*Prunus armeniaca*) 下清耕 (CK) 和杏树间作紫花苜蓿 (T) 2 个处理, 实地采集测定各样地不同土层紫花苜蓿的根系生物量以及杏树的侧根系生物量, 并测定土壤 pH、电导率及其土壤有机质和速效氮含量, 分析果园间作模式下紫花苜蓿对果树侧根系垂直分布特征及其土壤理化性质的影响, 为果园间作苜蓿模式的推广提供理论依据。结果表明: (1) CK 与 T 处理下的杏树侧根生物量在土壤中的垂直分布都主要集中在 20~60 cm 土层, 其生物量分别为 750.8 g 和 737.6 g, 分别占总侧根生物量的 64.4% 和 64.5%; 紫花苜蓿根系生物量分布呈倒金字塔型, 且主要分布在 0~40 cm 土层 (166.3 g), 其中 0~20 cm 土层的根系生物量最高 (97.4 g), 占根系总生物量的 35.8%。(2) 与 CK 处理相比, T 处理可有效增加果园表层土壤的有机质含量、速效态氮含量、硝态氮含量和铵态氮含量, 其中, 在 0~20 cm 土层分别显著增加 17.1%、40.8%、28.5% 和 40.8%, 在 20~40 cm 土层分别显著增加 36.1%、23.1%、60.2% 和 23.8%, 并显著降低了表层土壤电导率, 但对土壤 pH 无显著影响。研究认为, 杏园间作牧草紫花苜蓿虽然杏树与苜蓿根系会发生较小资源的竞争, 但有利于改善林下土壤的理化性质和养分状况, 能够有效促进果树的生长发育。

**关键词:** 杏树; 紫花苜蓿; 林下间作; 根系分布; 土壤理化性质

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

## Characteristics of Root Distributions of *Prunus armeniaca* and *Medicago sativa* and Soil Physical and Chemical Properties under Orchard Intercropping Mode

JIANG Li<sup>1,2</sup>, ZHENG Yin<sup>1,3</sup>, LIU Guojun<sup>1</sup>, WANG Bo<sup>1</sup>, TIAN Changyan<sup>1\*</sup>

(1 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2 Turpan Eremophytes Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Turpan, Xinjiang 838008, China; 3 Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract:** As a modern orchard soil management system at present, the intercropping *Medicago sativa* (*M. sativa*) model has been widely used in the orchards management at home and abroad. In this study, two treatments were designed for the clean tillage of *Prunus armeniaca* (*P. armeniaca*) (CK) and *P. armeniaca* intercropping *M. sativa* (T) in the field experiment. We measured the *M. sativa* root biomass and *P.*

收稿日期: 2017-06-30; 修改稿收到日期: 2017-12-11

基金项目: 中国科学院西部博士项目 (XBBS-2014-12); 国家重点研发计划 (2016YFC0501403); 中国博士后科学基金面上项目 (2014M562489)

作者简介: 姜黎 (1980—), 男, 助理研究员, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: jiangli015@126.com

\* 通信作者: 田长彦, 硕士, 研究员, 博士生导师, 主要从事绿洲农业与绿洲生态研究。E-mail: tianchy@ms.xjb.ac.cn

*armeniaca* lateral root biomass, and soil pH, conductivity, soil organic matter and available nitrogen content in all kinds of soil layer to analyze the influence of orchard intercropping mode on vertical distribution characteristics of *P. armeniaca* lateral root biomass and *M. sativa* root biomass, and soil physical and chemical properties, for the sake of providing theoretical basis for the orchard intercropping mode. The mayor results showed: (1) the vertical distributions of *P. armeniaca* lateral root biomass under both CK and T treatments mainly concentrated in the 20 to 60 cm, the *P. armeniaca* lateral root biomasses of CK and T treatments were 750.8 g and 737.6 g, accounting for 64.4% and 64.5% of the total iateral root biomass, respectively. The distribution of *M. sativa* root was gold tower type, mainly distributed in soil layer of 0 to 40 cm, and the biomass of *M. sativa* root in soil layer of 0 to 40 cm was 166.3 g, the biomass (97.4 g, accounting for 35.8% of the total root biomass) was the highest in soil layer of 0—20 cm. (2) Compared to CK treatment, T treatment could effectively increase the contents of organic matter, available nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen of the surface soil in orchard. In 0—20 cm soil layer, they significantly increased 17.1%, 40.8%, 28.5% and 40.8%, respectively. In the 20—40 cm soil layer, they significantly increased 36.1%, 23.1%, 60.2% and 23.1%, respectively. T treatment and effectively reduced electrical conductivity of the surface soil, but did not significantly reduce pH of the surface soil. Therefore, the research suggested that fruit trees compete with *M. sativa* root was relatively small, but the intercropping grass could improve the physical and chemical properties undergrowth soil, and could promote the growth of fruit trees.

**Key words:** *Prunus armeniaca* ; *Medicago sativa* ; intercropping; root distribution; soil physical and chemical properties

生草栽培是指在果树行间或全园种植牧草作为覆盖物的一种种植模式,它作为一种现代化果园土壤管理制度,目前在国内外果园管理上已广泛利用<sup>[1-2]</sup>。果树行间的土地长期清耕不种植物,会造成果园微生物群落多样性和酶活性下降、土壤养分严重失衡,甚至致使果园呈现可持续发展的态势<sup>[3]</sup>。相对于果树行间的土地清耕模式,有研究表明,果园生草栽培不仅可以保证一定的牧草产量<sup>[3-4]</sup>,而且能够增加土壤水分含量和有机质含量,有利于改善林下土壤的理化性质<sup>[5]</sup>;同时,还可以增加害虫天敌数量,减少果树病虫害发生,提高果实品质和产量<sup>[6]</sup>。因此,生草栽培是生态果园的重要标志,也是发展生态果园成为果园可持续发展的必由之路。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是一种多年生、优质的豆科牧草<sup>[7]</sup>,作为苹果(*Malus sieversii*)<sup>[3]</sup>、枣树(*Ziziphus jujuba* Mill)<sup>[4]</sup>、梨树(*Pyrus pyrifolia*)<sup>[8]</sup>、核桃(*Juglans regia*)<sup>[9]</sup>和杏树(*Prunus armeniaca*)<sup>[10]</sup>等果园间作的主要牧草,越来越多研究表明果树间作苜蓿模式具有提高土壤肥力<sup>[5]</sup>、优化果园生态环境<sup>[11]</sup>、提高果树产量和品质<sup>[12]</sup>等多种功能。目前,仅有王齐瑞等<sup>[10]</sup>研究涉及到湿润区杏-紫花苜蓿生草栽培系统根系分布及生长动态,但未曾研究生草栽培系统对其土壤理化性质的影响;然而,很少有研究关注干旱区果园生草复合系统根系分布及果园间作苜蓿对其土壤理化性质的影响。

因此,通过探索干旱区果园生草复合系统根系分布与土壤理化性质的研究,不仅为探讨果园间作苜蓿模式的可行性提供科学依据,还对加强果园生草管理有着重要生产指导意义。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于2016年3月~10月在中国科学院新疆生态与地理研究所策勒沙漠研究站完成。试验地位于塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲外围(37°0'N,80°43'E),属温带大陆性干旱气候,常年多风并以西北风为主导风向;年平均气温11.9℃,极端最高气温41.9℃,极端最低气温-23.9℃;年均降水量仅35.1mm,且主要集中在5月和7月,年蒸发量高达2595.3mm。土壤以风沙土为主。

1.2 材料及处理

试验地为8年杏园。果树南北行向,株行距为10m×10m;平均基径20.0cm,平均树高5.0m,平均冠幅550×495cm。2014年4月行间播种紫花苜蓿,经过2年培育后紫花苜蓿密度为150~180株·m<sup>-2</sup>,且分布均匀。2016年10月进行实验。从3月中旬开始,田间管理采用漫灌,每月灌溉1次,灌溉量为1350m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>。整个紫花苜蓿生长季及时除草。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 根系生物量 于2016年10月中旬进行根

系生物量测定。设计杏树下清耕(CK)和杏树间作紫花苜蓿(T)2 个处理,实地采集测定各样地不同土层紫花苜蓿的根系生物量以及杏树的侧根系生物量,在 2 个处理样地各随机选取 3 个 1 m×1 m 土壤剖面样方进行挖掘,以 20 cm 为 1 层,采用小土铲进行根系和土壤取样,将根系除杂、洗净,挖至到无根系为止;取样点均位于树干一侧,距树干 1.0~1.2 m。每层取出的土壤过 0.25 mm 筛,将土壤和植物根系分开。其中,采集的土壤样品每层过筛混合后用四分法取回 1 kg 左右。采集的根系样品按根系颜色不同将杏树和苜蓿根系分开,再按根系直径(D)大小把根样分为粗根(疏导根, $D>1\text{ mm}$ )和细根(吸收根, $D<1\text{ mm}$ );然后将样品烘干至恒重、冷却后称取质量,即为根系干重<sup>[9]</sup>。

**1.3.2 土壤理化性质** 土壤风干后,粉碎至全部通过 0.25 mm 筛孔,供理化性质分析。土壤 pH 值采用梅特勒 Seven Easy 型 pH 计测定,电导率采用 DDSJ-308A 型电导率仪测定,土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定,其速效氮(包括铵态氮和硝态氮)含量采用流动分析仪测定。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行统计分析,采用 LSD 法在 0.05 水平进行多重比较分析。

2 结果与分析

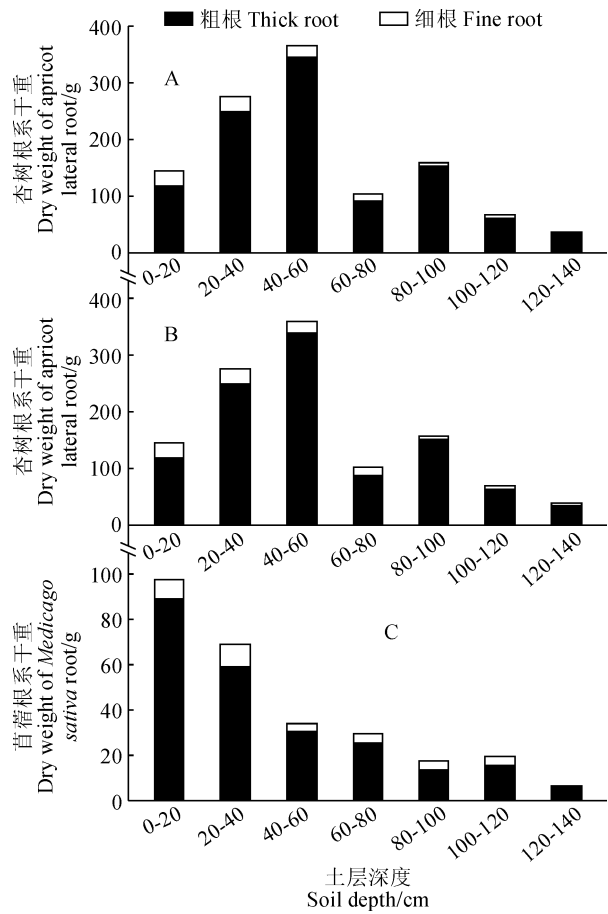
2.1 杏园间作对杏树与紫花苜蓿地下生物量垂直分布特征的影响

从杏树的根系质量垂直分布来看,其根系垂直深度达到了 140 cm;杏树下清耕(CK)和杏树间作紫花苜蓿(T)2 个处理的杏树侧根生物量在土壤中的分布都主要集中在 20~60 cm 土层,占到总侧根重量的 44%以上,且有较粗的侧根;两者杏树细根在 0~60 cm 土壤中分布比较均匀,但深度超过 60 cm 以后明显逐渐减少(图 1,A 和 B),但与 CK 处理相比较,无论 T 处理下杏树侧根生物量或细根系生物量,在相同土层中,两者根系生物量均变化不显著。同时,从紫花苜蓿根系分布情况来看,其根系分布呈倒金字塔型,根系垂直深度达到了 160 cm,苜蓿根系主要分布在 0~40 cm 土层,0~40 cm 土层根系质量为 166.3 g,占整个根系质量的 60%左右,其中细根占到了细根总量的 53.20%(图 1,C);而且 0~20 cm 的根系生物量最高(97.4 g,占根系总生物量的 35.8%),其中细根生物量为 8.5 g,占细根总生物量的 24.5%。就质量而言,杏树和紫花苜

蓿根系中均以粗根占绝对优势,尤其是在浅层土壤中。

2.2 杏园清耕与间作苜蓿处理下土壤 pH 值和电导率垂直分布特征

如图 2,A 所示,在整个土层剖面(0~140 cm)中,CK 处理下的土壤 pH 值变化范围为 8.34~8.58,间作苜蓿(T)处理下的土壤 pH 值变化范围为 7.98~8.59,平均值分别为 8.33 和 8.49;随着土壤深度的增加,与 CK 处理相比,T 处理下的土壤 pH 值在 0~60 土层略有下降,而在 60~140 土层变化均不明显,但两者在整个土层差异均未达到显著水平( $P>0.05$ )。同时,CK 与 T 处理下的土壤电导率值在整个土层剖面变化范围分别为 0.80~



A. 清耕地;B. 间作地杏树;C. 间作地紫花苜蓿

图 1 杏园清耕(CK)和间作紫花苜蓿(T)处理下杏树和紫花苜蓿根系生物量垂直分布特征的变化

A. Clean tillage of *P. armeniaca*;B. *P. armeniaca* under *P. armeniaca* intercropping *M. sativa*;C. *M. sativa* under *P. armeniaca* intercropping *M. sativa*

Fig. 1 Biomass of *P. armeniaca* lateral root under CK treatment (A) and T treatment (B) and *M. sativa* under T treatment (C)

0.90 mS/cm 和 0.70~0.85 mS · cm<sup>-1</sup>, 平均值分别为 0.78 和 0.86 mS · cm<sup>-1</sup>; 与 CK 处理相比, T 处理下的各土层土壤电导率变化主要集中在 0~60 cm 土层(图 2, B)。其中, 在 0~20 cm 土层, T 处理下的土壤电导率比 CK 处理显著下降了 22.22%, 在 20~40 cm 土层则显著下降了 17.6%, 在 40~60 cm 土层显著下降了 16.7%, 且在各土层的下降幅度均达到显著水平( $P<0.05$ )。可见, 间作苜蓿虽不能有效地改善杏树间作苜蓿各土层中的 pH 值, 但可有效地降低上层土壤(0~60 cm)中的电导率。

2.3 杏园清耕与间作苜蓿处理下土壤有机质含量垂直分布特征

如图 3 所示, 从不同土层的垂直分布来看, CK 与 T 处理下的土壤有机质含量均随深度增加而逐渐减少, 并主要集中在 0~40 cm 土层。其中, 与 CK 处理相比, T 处理下的土壤有机质含量在 0~20 cm 土层显著增加了 17.1%, 在 20~40 cm 土层显著增加了 36.1% ( $P<0.05$ )。试验结果表明间作苜蓿可有效地增加杏树果园表层(0~40 cm)土壤中的有机质含量。

2.4 杏园清耕与间作苜蓿处理下速效氮、铵态氮和硝态氮含量垂直分布特征

图 4 显示, CK 与 T 处理下的土壤速效氮含量

在整个土壤剖面分别处于 18.85~41.50 g · kg<sup>-1</sup> 和 18.58~47.24 g · kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值分别为 28.07 和 27.67 g · kg<sup>-1</sup>; 与 CK 处理相比, T 处理下的各层中的土壤速效氮含量变化主要集中在 0~40 cm 土层和 100~120 cm 土层(图 4, A)。其中, T 处理下的土壤速效氮含量在 0~20 cm 土层比 CK 处理中显著增加了 40.8%, 在 20~40 cm 土层比 CK 处理显著增加了 23.1%, 但在 100~120 cm 土层却比 CK 处理显著下降了 55.4% ( $P<0.05$ )。

其次, CK 与 T 处理下的土壤铵态氮含量在整个土壤剖面分别处于 12.03~25.21 g · kg<sup>-1</sup> 和 12.28~27.00 g · kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值分别为 16.48 和 16.34 g · kg<sup>-1</sup>; 与 CK 处理相比, T 处理下的中各层土壤铵态氮含量变化主要集中在 0~40 cm 土层和 100~120 cm 土层(图 4, B)。其中, T 处理下的土壤铵态氮含量在 0~20 cm 土层比 CK 处理显著增加了 40.8%, 在 20~40 cm 土层比 CK 处理显著增加了 23.8%, 但在 100~120 cm 土层却比 CK 处理显著下降了 55.4% ( $P<0.05$ )。

另外, CK 与 T 处理下的土壤硝态氮含量在整个土壤剖面分别处于 6.30~16.29 g · kg<sup>-1</sup> 和 6.30~20.24 g · kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值分别为 11.59 和 11.33 g · kg<sup>-1</sup>; 与 CK 处理相比, T 处理下的各层土壤硝态氮含量变化主要集中在 0~40 cm 土层、60~80 cm 土层和 100~120 cm 土层(图 4, C)。其中, T 处理下的土壤硝态氮含量在 0~20 cm 土层比清耕地显著增加了 28.5%, 在 20~40 cm 土层比 CK 处理显著增加了 60.2%, 在 60~80 cm 土层比 CK 处理显著增加了 52.4%, 但在 100~120 cm 土

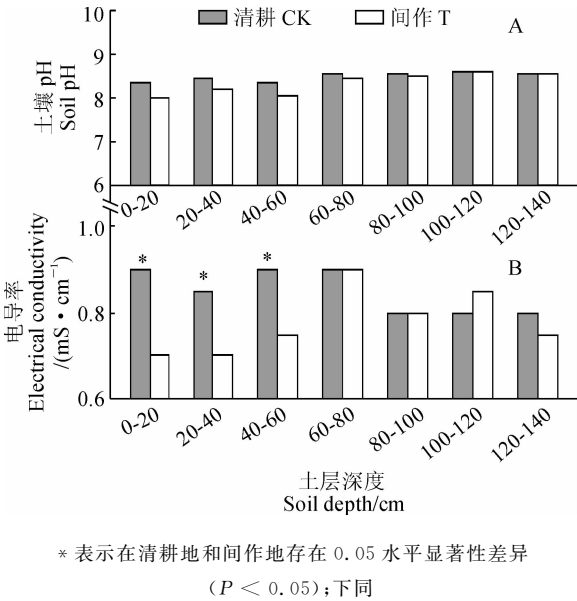


图 2 杏园清耕(CK)和间作苜蓿(T)处理下土壤 pH 值和电导率的变化

\* indicate significant difference between CK and T treatment at 0.05 level( $P<0.05$ ). The same as below

Fig. 2 Soil pH and conductance under CK treatment and T treatment

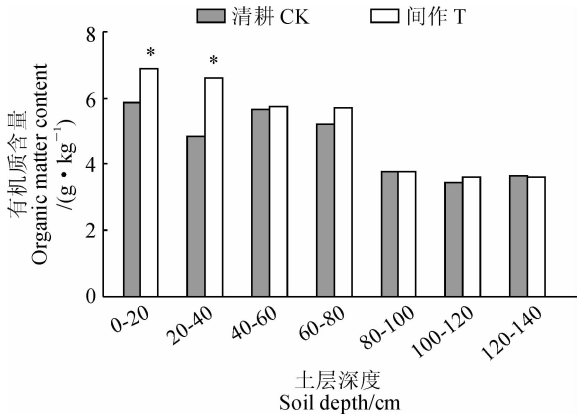


图 3 杏园清耕(CK)和间作苜蓿(T)处理下土壤有机质含量的变化

Fig. 3 Organic matter content under CK treatment and T treatment

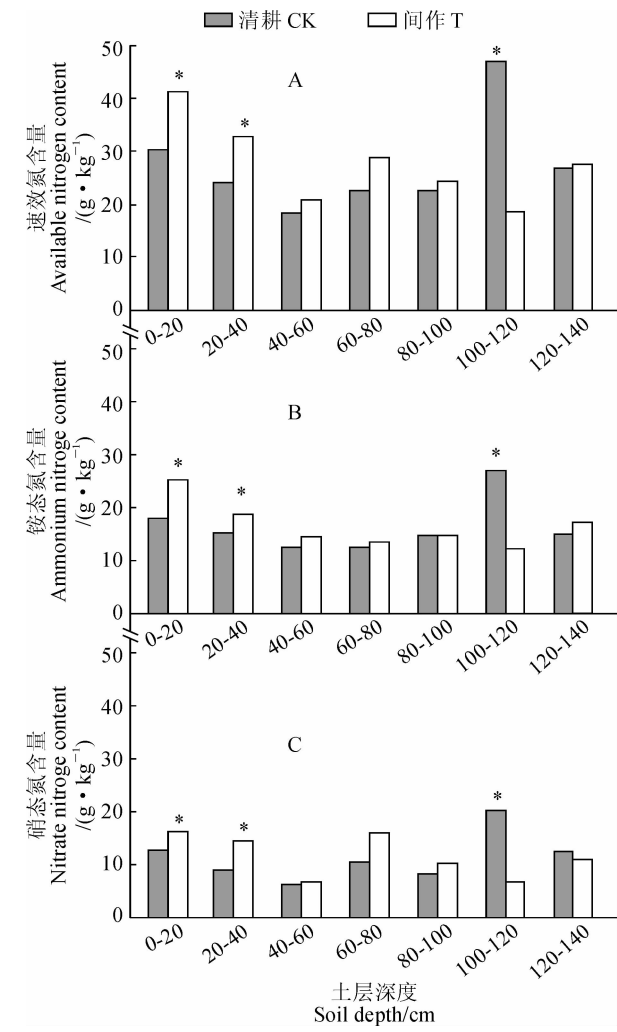


图4 杏园清耕(CK)和间作苜蓿(T)处理下土壤速效氮、铵态氮和硝态氮含量的变化  
Fig. 4 Available nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen contents under CK treatment and T treatment

层却比 CK 处理显著下降了 66.3% ( $P<0.05$ )。以上试验结果表明间作苜蓿可有效地改善杏树果园上层土壤(0~40 cm)中的速效氮含量、铵态氮含量和硝态氮含量。

### 3 讨论

本试验结果表明 8 年生杏树的根系长已经达到了 140 cm,这与王齐瑞等<sup>[10]</sup>的研究结果相似,而他们的研究中 4 年生杏树的根系长也为 140 cm。本研究中清耕地和间作地的杏树侧根生物量在土壤中的分布都主要集中在 20~60 cm 土层,占到总侧根重量的 44% 以上,且有较粗的侧根;两者的杏树细根在 0~60 cm 土壤中分布均比较均匀,但与清耕地相比较,无论间作地杏树的侧根生物量或细根系生

物量,在相同土层中,两种根系生物量均变化不显著,试验结果说明了间作苜蓿对杏树的疏导根和吸收根生长未产生显著的影响;而紫花苜蓿根系干重垂直分布呈倒金字塔型,其根系长已经达到了 160 cm,且主要分布在 0~40 m 土层,这与王齐瑞等<sup>[10]</sup>的研究结果相似,而其苜蓿根系长仅为 70 cm。因此,从杏树与苜蓿的根系分布来看,果树会与苜蓿根系存在很少部分的层叠,两者对养分的吸收可能会产生较小程度的竞争。

杏树与紫花苜蓿间作还可改善果园表层土壤理化性质的变化,其中果树间作牧草区的土壤电导率(0~60 cm 土层)均低于清耕对照区。果园生草可能引起土壤电导率改变的原因主要有两个方面,一是生草改变了土壤物理和化学特性及土壤温度、水分等生态条件<sup>[14]</sup>,而土壤电导率与土壤水分、温度有着密切的关系,从而导致表层土壤电导率的改变;二是所生牧草的根系及植株使得土壤中的矿质元素逐渐吸收到了植株地上部,使得矿质元素含量发生改变,最终导致表层土壤电导率的改变。

另外,杏树与紫花苜蓿间作还可改善果园表层土壤养分含量的变化。首先,土壤有机质含量是土壤肥力的重要特征之一,是制约土壤理化性质、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<sup>[15]</sup>。本研究中间作紫花苜蓿可有效地增加 0~40 cm 土层的有机质含量,表明间作牧草而增加的有机质主要积累于果园表层土壤,其含量随深度增加而逐渐减少,这与哈斯亚提等<sup>[4]</sup>和谷艳蓉等<sup>[16]</sup>的研究结果相似。因此,杏树间作苜蓿可显著提高土壤有机质含量,是解决果园土壤有机质含量低下的有效途径。

其次,杏树间作苜蓿还显著改善了果园土壤的氮素养分含量。其中,相对于杏树清耕地来说,杏树间作苜蓿地土壤速效氮、铵态氮和硝态氮含量增加主要集中在 0~40 cm 土层,但在 100~120 cm 土层却表现出显著下降趋势。这表明间作牧草对果园不同深度土壤氮素养分的影响效应差异较大。同时,间作牧草对果园土壤养分的影响效应变异大小与牧草品种有关。吴玉森等<sup>[17]</sup>在梨园研究发现,在 0~20 cm 表土层,自然生草 2 年的土壤硝态氮含量均显著低于清耕地土壤,而自然生草 7 年的土壤硝态氮含量均极显著高于清耕地土壤,但在 20~40 cm 亚表土层,生草 2~7 年的土壤硝态氮含量均极显著低于清耕地土壤。果园间作黑麦草(*Lolium perenne*)的土壤速效氮含量显著低于清耕地,而果

园间作白三叶(*Trifolium repens*)的土壤速效氮含量显著高于清耕处理<sup>[18]</sup>。葡萄园间作白三叶草和苜蓿使土壤速效氮、全氮含量显著升高,但间作高羊茅(*Festuca elata* Keng)却使碱解氮和全氮含量显著降低<sup>[19]</sup>。果园间作豆科牧草可提高土壤硝态氮和铵态氮的含量,同时可降低土壤的含水量,有助于减少雨季氮素的深层渗漏<sup>[20]</sup>。本研究结果表明在100~120 cm 土层,果树间作苜蓿地的土壤速效氮、铵态氮和硝态氮含量均显著低于相应的果园清耕地,推测果园清耕地无任何阻碍物,更有利于果园施肥中氮素向深层渗漏。因此,推测果园间作苜蓿改善土壤的养分主要可能由以下三个方面引起。一是

牧草的生长会消耗土壤的养分,会与果树发生养分竞争;二是牧草可能会大幅度增加土壤的微生物数量,促进有机质的分解,从而增加土壤氮等矿质养分含量;三是豆科牧草具有固氮作用,且种植苜蓿亦可增加氮素利用效率<sup>[21-23]</sup>。

综上所述,在杏树与紫花苜蓿间作系统中,虽然杏树可能会与苜蓿根系存在相对较小的养分竞争,但果树间作紫花苜蓿可有效地增加表层土壤中的养分含量,同时间套紫花苜蓿降低了表层土壤中的电导率。因此,杏树间作苜蓿有效改善了干旱区果园土壤土壤理化性质和表层土壤养分水平,从而促进了杏树生长。

参考文献:

[1] 唐梁楠. 用地与养地结合, 提高果园土壤肥力途径探讨[J]. 中国土壤与肥料, 1990, (5): 26-29.  
TANG L N. The discussion of utilization of land combined with cultivating land to improve soil fertility in orchard [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 1990, (5): 26-29.

[2] 杨 华, 吴亚维, 韩秀梅, 等. 苹果园生草对土壤矿质营养影响的研究[J]. 农技服务, 2016, **33**(13): 82-83.  
YANG H, WU YW, HAN XM, *et al.* Effects of living mulch in soil mineral nutrition in apple orchards [J]. *Agricultural Technology Service*, 2016, **33**(13): 82-83.

[3] 王 超, 白 龙, 赵 波, 等. 温带果园适宜草种及其播量的初步筛选[J]. 草业科学, 2014, **31**(2): 284-289.  
WANG C, BAI L, ZHAO B, *et al.* Preliminary screening of appropriate grass species and seeding rate for orchard in Shenyang area [J]. *Pratacultural Science*, 2014, **31**(2): 284-289.

[4] 哈斯亚提·托逊江, 刘 晨, 哈丽代·热合木江, 等. 红枣与牧草间作对果园土壤养分及小环境的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, **41**(1): 327-329.  
HASIYATI·T X J, LIU C, HAYIDAI·R H M J, *et al.* Effects of red jujube intertplanting herbage on soil nutrients and small environment in orchard[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, **41**(1): 327-329.

[5] 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, **41**(7): 2 070-2 076.  
LI H K, ZHANG G J, ZHAO Z Y, *et al.* Effects of different herbage on soil quality characteristics of non-irrigated apple orchard in Weibei loess plateau[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, **41**(7): 2 070-2 076.

[6] 史 进, 李文胜, 张俊苗. 生草对树冠不同部位果实产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2016, (19): 22-27.  
SHI J, LI W S, ZHANG J M. Influence of sod culture to yield and quality of different parts of apple tree crown [J]. *North-ern Horticulture*, 2016, (19): 22-27.

[7] MCCALLUM M H. Water use by lucerne and effect on crops in the Victorian Wimmera [J]. *Crop & Pasture Science*, 2001, **52**(2): 193-201.

[8] 卢立华, 韩 颖, 宋海森. 山地梨园紫花苜蓿生草栽培试验[J]. 中国果树, 2009, (5): 26-28.  
LU LH, HAN Y, SONG H S. Cultivation experiment of pear-alfalfa[J]. *China Fruits*, 2009, (5): 26-28.

[9] 刘国军, 曾凡江, 雷加强, 等. 核桃-紫花苜蓿复合栽培的根系分布及生长动态[J]. 干旱区研究, 2015, **32**(3): 504-508.  
LIU G J, ZENG F J, LEI J Q *et al.* Root distribution and growing of walnut trees anf *Medicago sativa* sod-culture pattern[J]. *Arid Zone Reseach*, 2015, **32**(3): 504-508.

[10] 王齐瑞, 樊 巍, 谭晓风. 杏-紫花苜蓿生草栽培系统根系分布及生长动态[J]. 林业科学, 2008, **44**(8): 141-144.  
WANG Q R, FAN W, TAN XF. Root distribution and growing of apricat-alfalfa sod-cultur pattern[J]. *Scientia Sil-vae Sinicae*, 2008, **44**(8): 141-144.

[11] 曹 铨, 沈禹颖, 王自奎, 等. 生草对果园土壤理化性状的影响研究进展[J]. 草业学报, 2016, **25**(8): 180-188.  
CAO Q, SHEN Y Y, WANG Z K, *et al.* Effects of living mulch in soil physical and chemical properties in orchards; a review[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, **25**(8): 180-188.

[12] 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, **34**(3): 184-186.

LIU H D, HAO S Y, CAO Q, *et al.* Effect of grass cover on soil nutrient and yield and quality of apple [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, **34**(3): 184-186.

[13] 洪绶曾, 吴义顺, 于康富, 等. 根蘖型苜蓿引种的研究[J]. 中国草业科学, 1987, **4**(1): 1-4.

HONG F Z, WU Y S, YU K F. Study on the introduction of creeping-rooted alfalfa [J]. *Pratacltural Science*, 1987, **4**(1): 1-4.

[14] 郝淑英, 刘蝴蝶, 牛俊玲, 等. 黄土高原区果园生草覆盖对土壤物理性状、水分及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2003, (1): 25-27.

HAO S Y, LIU H D, NIU J L, *et al.* Effects of herbage-mulching to the apple yield and soil water and other soil physical properties in the Loess Plateau[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2003, (1): 25-27.

[15] 霍 颖, 张 杰, 王美超, 等. 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): 1 415-1 424.

HUO Y, ZHANG J, WANG M C, *et al.* 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): 1 415-1 424.

[16] 谷艳蓉, 张海伶, 胡艳红. 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**(1): 103-107.

GU Y Y, ZHANG H L, HU Y H. Effect of natural grasses cover on soil properties and yield and quality of peach[J]. *Pratacultural Science*, 2009, **26**(1): 103-107.

[17] 吴玉森, 张艳敏, 冀晓昊, *et al.* 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 Y S, ZHANG Y M, JI X H, *et al.* 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.

[18] QIAN X, GU J, PAN H J, *et al.* 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.

[19] XI Z M, LI H, LONG Y, *et al.* 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): 1 395-1 402.

[20] STORK P R, JERIE P H. Initial studies of the growth, nitrogen sequestering, and de-watering potential of perennial grass selections for use as nitrogen catch crops in orchards [J]. *Crop & Pasture Science*, 2003, **54**(1): 27-37.

[21] HOAGLAND L, CARPENTERBOGGS L, GRANAT-STEIN D, *et al.* Orchard floor management effects on nitrogen fertility and soil biological activity in a newly established organic apple orchard[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, **45**(1): 11-18.

[22] YAO S, THIES J E. Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial activity and alter soil microbial community composition[J]. *Plant and Soil*, 2005, **271**(1): 377-389.

[23] KAMH M, HORST W J, AMER F, *et al.* Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops[J]. *Plant and Soil*, 1999, **211**(1): 19-27.

(编辑:裴阿卫)