

李晓龙, 马 军, 褚燕南, 等. 宁夏引黄灌区果园生草处理对土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(7): 1227-1233.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.07.009

宁夏引黄灌区果园生草处理对土壤理化性质的影响

李晓龙¹, 马 军¹, 褚燕南¹, 岳海英¹, 王 芳², 岳芬芬³, 刘 婷³, 李 元³,
王 媛³, 吴 昊⁴, 贾永华¹, 田建文¹

(1.宁夏农林科学院园艺研究所, 宁夏 银川 750001; 2.宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 宁夏 银川 750001; 3.沙坡头区林业技术推广服务中心, 宁夏 中卫 755000; 4.宁夏回族自治区农业综合开发中心, 宁夏 银川 750001; 5.宁夏农林科学院, 宁夏 银川 750001)

摘要: 本研究选用多年生黑麦草、紫花苜蓿、高羊茅、长柔毛野豌豆 4 种功能草种, 以清耕和自然生草作为对照, 探究不同生草处理对果园土壤理化性质的影响。结果表明, 与多年生黑麦草生草处理相比, 紫花苜蓿与长柔毛野豌豆生草处理可以显著提高 0~20 cm 土层土壤总孔隙度和 0~20 cm、21~40 cm 土层田间持水量 ($P<0.05$), 显著降低 0~20 cm 土层土壤容重 ($P<0.05$)。与处理前相比, 2022 年 10 月紫花苜蓿与长柔毛野豌豆生草处理的土壤有机质含量、全盐含量、碱解氮含量 (0~20 cm 土层)、有效钾含量 (0~20 cm 土层) 显著提高 ($P<0.05$), 土壤 pH (0~20 cm 土层) 显著降低 ($P<0.05$)。因此, 在干旱和半干旱地区可以选择苜蓿和长柔毛野豌豆进行果园生草处理。本研究结果为改良果园土壤, 提高水果产量提供了理论依据。

关键词: 宁夏引黄灌区; 果园生草; 土壤; 理化性质

中图分类号: S545 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)07-1227-07

Effects of orchard grass cultivation treatment on physicochemical properties of soils in the Yellow River irrigation zone of Ningxia

LI Xiaolong¹, MA Jun¹, CHU Yannan¹, YUE Haiying¹, WANG Fang², YUE Fenfen³, LIU Ting³,
LI Yuan³, WANG Yuan³, WU Hao⁴, JIA Yonghua¹, TIAN Jianwen¹

(1. Institute of Horticulture, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750001, China; 2. Ningxia Institute of Agricultural Product Quality Standards and Testing Technology, Yinchuan 750001, China; 3. Forestry Technology Extension and Service Center of Shapotou District, Zhongwei 755000, China; 4. Center for Comprehensive Agricultural Development, Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China; 5. Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750001, China)

收稿日期: 2023-11-23

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目 (2021BBF02014、2022BBF02035); 宁夏回族自治区自然科学基金项目 (2023AAC03430); 农业农村部现代苹果产业技术体系银川苹果综合试验站项目 (CARS-27); 宁夏农林科学院“十四五”农业高质量发展和生态保护科技创新示范项目 (NGSB-2021-1-01)

作者简介: 李晓龙 (1985-), 男, 宁夏银川人, 博士研究生, 主要研究方向为果树学。 (E-mail) 262450313@qq.com

通讯作者: 田建文, (E-mail) 572865067@qq.com; 贾永华, (E-mail) 529843423@qq.com

Abstract: In this study, four functional grass species of *Lolium perenne* L., *Medicago sativa* L., *Festuca elata* and *Vicia villosa* Roth were selected to investigate different grass cultivation treatments on the physical and chemical properties of orchard soils, using clear tillage and naturally growing grass as controls. The results showed that compared with *L. perenne* L. cultivation treatment, *M. sativa* and *V. villosa* cultivation treatments could significantly increase soil total porosity of 0–20 cm soil layer and field capacity of 0–20 cm and 21–40 cm soil layers ($P<0.05$),

and could significantly reduce soil volumetric weight of 0–20 cm soil layer ($P<0.05$). Compared with soils before treatment, soil organic matter content, total salt content, alkali-hydrolyzed nitrogen content (0–20 cm soil layer) and available potassium content (0–20 cm soil layer) of *M. sativa* and *V. villosa* cultivation treatments detected in October of 2022 increased significantly ($P<0.05$), and soil pH value (0–20 cm soil layer) reduced significantly ($P<0.05$). Therefore, in arid and semi-arid areas, *M. sativa* and *V. villosa* can be selected for orchard grass cultivation treatment. The results of this study provide a theoretical basis for improving orchard soil and increasing fruit yield.

Key words: Yellow River irrigation zone of Ningxia; orchard grass cultivation; soil; physicochemical properties

中国是世界上果园面积最大、水果产量最高的国家。2020 年,中国果园面积为 1.549×10^7 hm²,占全球果园面积的 28%,水果产量 2.5×10^8 t,占全球水果总产量的 23%^[1]。水果产业已成为中国农民增收致富、中国农业经济发展的支柱产业^[2]。然而,由于果园长期实行清耕,果园出现了土壤肥力退化、果实品质下降、水果产量下降等一系列问题,严重制约了水果产业的发展,因此,需要评估果园生草处理对土壤理化性质的影响^[3]。

果园生草处理可以增加植物多样性,构建良好的果园生态系统^[4],已有研究表明,果园生草可改善土壤理化性质^[5-7],降低土壤氮素淋失率^[8],提高土壤团聚体稳定性^[9]。对葡萄园进行生草处理可维持良好的土壤结构,使土壤大孔隙率、总孔隙度减少,促进土壤密度的增加^[10];自然生草处理并适时刈割,可使浅层土壤的孔隙度显著提高,土壤容重显著降低^[11];与处理前土壤相比,生草处理 4 年和 8 年梨园土壤容重分别降低 4.26% 和 7.18%,孔隙度分别增加 11.54% 和 44.77%,毛管持水量分别增加 32.91% 和 109.62%,排水能力分别提高 21.98% 和 56.62%^[12]。与清耕相比,生草处理土壤有机质含量与土壤不同形式碳氮组分含量均可提高 10% 以上^[13];对柑橘园进行生草处理后,土壤的氮、磷、钾含量显著高于清耕区^[14];生草处理土壤 pH 接近中性^[15]。有研究表明,生草处理会显著增加果园土壤有机碳、总氮、有效氮、速效磷和总钾含量,显著降低土壤总磷和有效钾含量^[16]。长柔毛野豌豆、多年生黑麦草、紫花苜蓿、高羊茅耐旱性、耐寒性较强,生长速度快,生物产量高,并且能够通过固氮改善土壤理化性质^[17]。

苹果产业是宁夏引黄灌区农业的重要组成部分,苹果栽培面积约 3.3×10^4 hm²。该地区土壤盐碱含量高,降雨量少,改善土壤理化性质对提高苹果产

量具有重要意义。果园生草有助于土壤理化性质的改善,但其在宁夏地区土壤及气候条件下对土壤理化性质的改变作用并不明确。本研究拟选用 4 种草种,探究 3 年生草处理对土壤主要理化性质的影响,以期对宁夏地区果园土壤改良提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地点

试验地点位于宁夏青铜峡市邵岗镇甘城子村,海拔 1 420 m,东经 105.93°,北纬 30.09°,年降雨量约 200 mm,全年平均温度 5~18 °C,土壤类型为黏质土。

1.2 试验材料

试验园主栽品种为蜜脆 (*Malus domestica* Borkh.cv.Honeycrisp),基砧为青砧 1 号,树龄 2 年,株行距 1.5 m×4.0 m,试验园面积 2 hm²,供水模式为漫灌,每年供水 5 次。选择 4 种草种在果园内进行生草处理,分别为多年生黑麦草 (*Lolium perenne* L.)、高羊茅 (*Festuca elata*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.)、长柔毛野豌豆 (*Vicia villosa* Roth),草种来源于银川市兴庆区农资城商铺。

1.3 试验设计

生草试验于 2020 年 3 月下旬土壤返潮后开始,于 3 月 20 日播种草种,采用条播方式播种,播种宽度 2 m,播种深度 2 cm。播种量及播种面积如表 1 所示,当草生长至 40~50 cm 高时利用割灌机刈割还田。

试验采取随机区组设计,将试验园划分为 3 个区域,每个区域均设计 4 个人工生草处理,每个区域的同一草种区域内均有 1~2 行果树。待草种全部播种完成后压实土壤。在试验阶段,果园施肥及供水均按照果园标准统一管理,不单独对草种进行施肥与供水。

1.4 样品采集与测定

土壤物理性质的测定:于 2022 年 10 月采集不同

处理的土壤,测定土壤总孔隙度、容重等物理性质。

表 1 不同草种的播种量及播种面积

Table 1 Sowing amount and area of different grass varieties

草种	播种量 (kg/m ²)	重复 次数	播种面积 (m ²)
多年生黑麦草(<i>Lolium perenne</i>)	3 335	3	1 200
紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)	1 334	3	1 200
高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1 334	3	1 200
长柔毛野豌豆(<i>Vicia villosa</i> Roth)	1 334	3	1 200

土壤化学性质的测定:为明确生草 3 年间不同处理的土壤氮磷钾等指标动态变化特征,于 2020 年 4 月土壤扰动之前分别采集不同处理的土壤,测定土壤氮、磷、钾等化学物质的含量,此后于每年 4 月与 10 月采集不同处理的土壤,共采集 6 次土壤。

土壤采集方法:采用 5 点取样法,用土钻分别取 0~20 cm 深度土壤与 21~40 cm 深度土壤。同一深度的土壤混合均匀后作为 1 个土壤样品,同一深度、每个处理取 3 个土壤样品,共采集土壤样品 36 个。将土壤样品用无菌塑料袋封装好,用于各项指标的测定。

田间持水量参考张建军等^[18]的方法测定,有机质含量采用重铬酸钾外加热法^[19]测定,采用凯氏定氮仪测定全氮含量,全钾含量采用氢氧化钠熔融法测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定,速效钾含量按鲍士旦^[20]的方法测定,pH 采用电位法测定,全盐含量采用电导法测定。

1.5 数据统计

利用 IBM SPSS Statistics 26 对数据进行正态性检验与统计,利用 T 检验与方差分析法(ANOVA)进行显著性分析,利用 Origin 作图。

2 结果与分析

2.1 不同生草处理对土壤物理性质的影响

2022 年 10 月检测土壤物理性质,如表 2 所示,在 0~20 cm 土壤深度,与对照相比,MS 处理和 VS 处理土壤容重分别显著降低 7.52%、9.02% ($P<0.05$),LP 处理、NG 处理、FA 处理土壤容重与对照无显著差异 ($P>0.05$)。在 0~20 cm 土壤深度,MS 处理、NG 处理、FA 处理、VS 处理土壤总孔隙度均显著高于对照 ($P<0.05$)。在 0~20 cm 土壤深度,MS 处理和 VS 处

理土壤田间持水量显著高于 LP 处理、NG 处理、FA 处理和对照 ($P<0.05$)。在 21~40 cm 土壤深度,MS 处理土壤总孔隙度显著高于对照 ($P<0.05$),LP 处理、NG 处理、FA 处理、VS 处理与对照相比无显著差异 ($P>0.05$)。在 21~40 cm 土壤深度,LP 处理、MS 处理、NG 处理、FA 处理、VS 处理的土壤容重和对照无显著差异 ($P>0.05$)。在 21~40 cm 土壤深度,MS 处理和 VS 处理土壤田间持水量显著高于 LP 处理、NG 处理、FA 处理和对照 ($P<0.05$)。

表 2 不同处理土壤的物理性质

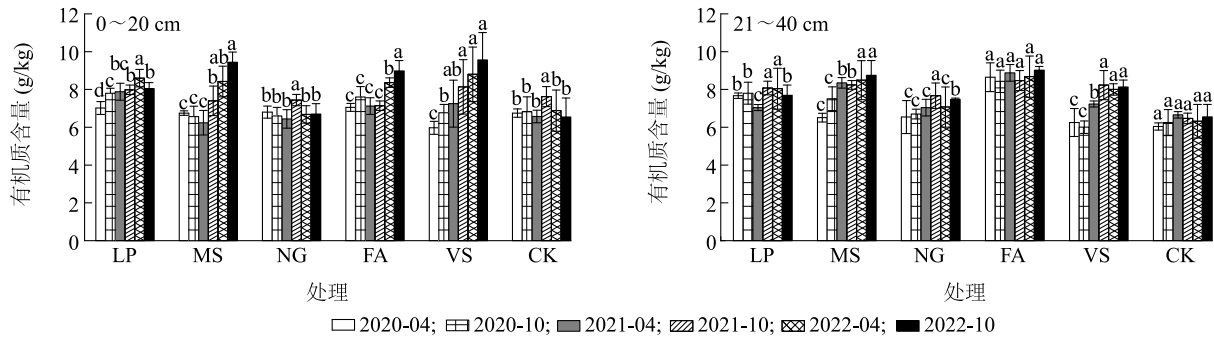
Table 2 Physical properties of soils under different treatments

土壤深度 (cm)	处理	总孔隙度 (%)	容重 (g/cm ³)	田间持水量 (%)
0~20	LP	45.62±3.33c	1.31±0.27a	21.58±2.06c
	MS	54.78±3.67a	1.23±0.22b	31.25±2.13a
	NG	47.68±2.45b	1.30±0.18a	26.56±1.07b
	FA	51.44±4.33a	1.25±0.11ab	28.56±2.15b
	VS	52.68±4.67a	1.21±0.32b	31.26±3.06a
	CK	44.17±4.27c	1.33±0.12a	22.16±3.17c
21~40	LP	40.65±4.44b	1.37±0.12a	20.16±2.67c
	MS	45.26±5.23a	1.36±0.18a	27.19±2.17a
	NG	41.21±5.06b	1.38±0.20a	23.55±3.07b
	FA	42.23±3.67b	1.40±0.17a	22.46±2.57c
	VS	43.68±3.67ab	1.37±0.15a	26.78±2.67a
	CK	42.21±3.06b	1.39±0.14a	20.14±2.13c

LP:多年生黑麦草生草处理;MS:紫花苜蓿生草处理;NG:自然生草处理;FA:高羊茅生草处理;VS:长柔毛野豌豆处理;CK:清耕。同一列数据后不同小写字母表示同一土壤深度不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 不同功能草种下土壤主要化学性质变化特征

如图 1 所示,在 0~20 cm 土壤深度,与 2020 年 4 月相比,2022 年 10 月 VS 处理土壤有机质含量显著提升 27.17%,MS 处理有机质含量显著提升 39.85%,FA 处理土壤有机质含量显著提升 21.49% ($P<0.05$),2022 年 10 月 NG 处理、对照土壤有机质含量与 2020 年 4 月相比无显著差异 ($P>0.05$)。在 21~40 cm 土壤深度,与 2020 年 4 月相比,2022 年 10 月 VS 处理土壤有机质含量显著提升 30.08%,MS 处理土壤有机质含量显著提升 34.41% ($P<0.05$)。0~20 cm 土壤深度各处理土壤有机质含量上升幅度整体上高于 21~40 cm 土壤深度,说明随着土壤深度的增加,生草处理对土壤有机质含量的影响逐渐减小。



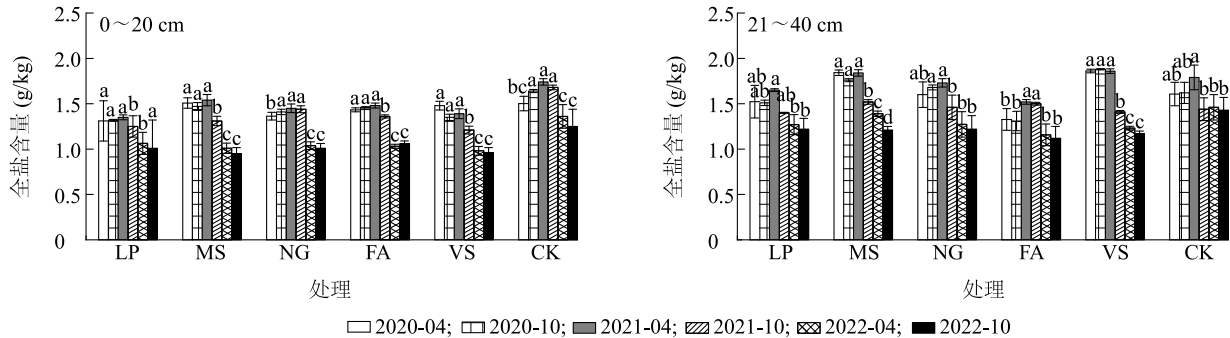
LP: 多年生黑麦草生草处理; MS: 紫花苜蓿生草处理; NG: 自然生草处理; FA: 高羊茅生草处理; VS: 长柔毛野豌豆处理; CK: 清耕。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 不同处理土壤的有机质含量

Fig.1 Content of organic matter in soils under different treatments

如图2所示, 0~20 cm 土壤深度土壤全盐含量总体低于20~40 cm 土壤深度。在0~20 cm 土壤深度, 与2020年4月相比, 2022年10月MS处理土壤全盐含量显著下降37.00% ($P < 0.05$), VS处理土壤全盐含量显著下降35.09% ($P < 0.05$), FA处理土壤全盐含量显著下降26.03% ($P < 0.05$), NG处理土壤全盐含量显著下降25.90% ($P < 0.05$), LP处理土

壤全盐含量显著下降22.96% ($P < 0.05$)。在21~40 cm 土壤深度, 与2020年4月相比, 2022年10月MS处理土壤全盐含量显著下降34.31% ($P < 0.05$), VS处理土壤全盐含量显著下降37.29% ($P < 0.05$)。随着生草处理年限的增加, 各处理土壤全盐含量整体呈下降趋势, 且生草处理下土壤全盐含量的下降幅度大于清耕对照, 说明生草处理可以减轻土壤盐碱化程度。



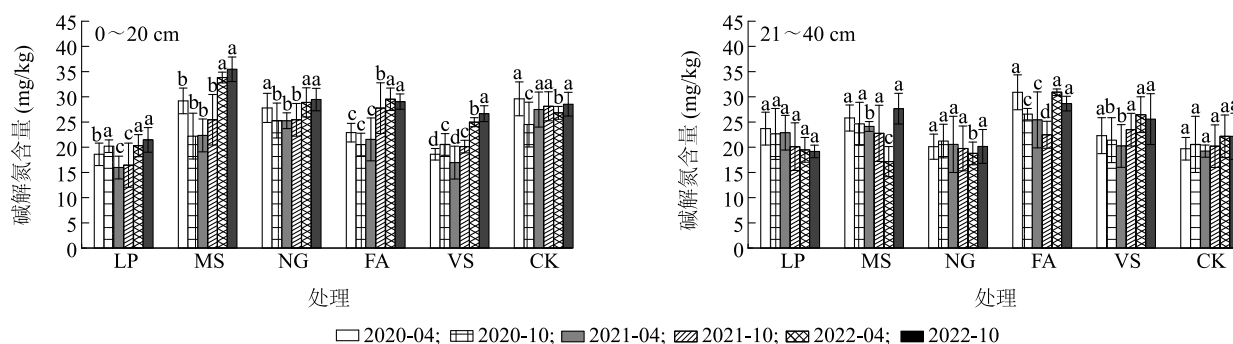
LP: 多年生黑麦草生草处理; MS: 紫花苜蓿生草处理; NG: 自然生草处理; FA: 高羊茅生草处理; VS: 长柔毛野豌豆处理; CK: 清耕。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 不同处理土壤的全盐量

Fig.2 Content of total salt in soils under different treatments

如图3所示, 在0~20 cm 土壤深度, 与2020年4月相比, 2022年10月VS处理土壤碱解氮含量显著提高43.33% ($P < 0.05$), FA处理土壤碱解氮含量显著提高21.17% ($P < 0.05$), MS处理土壤碱解氮含量显著提高17.68% ($P < 0.05$)。碱解氮含量可作为土壤氮素有效性的指标, 说明0~20 cm 土层LP处理、VS处理、FA处理和MS处理果园土壤中有效氮含量较处理前显著提升。如图4所示, 0~20 cm 土壤深度土壤有效磷含量总体高于21~40 cm 土壤深度。

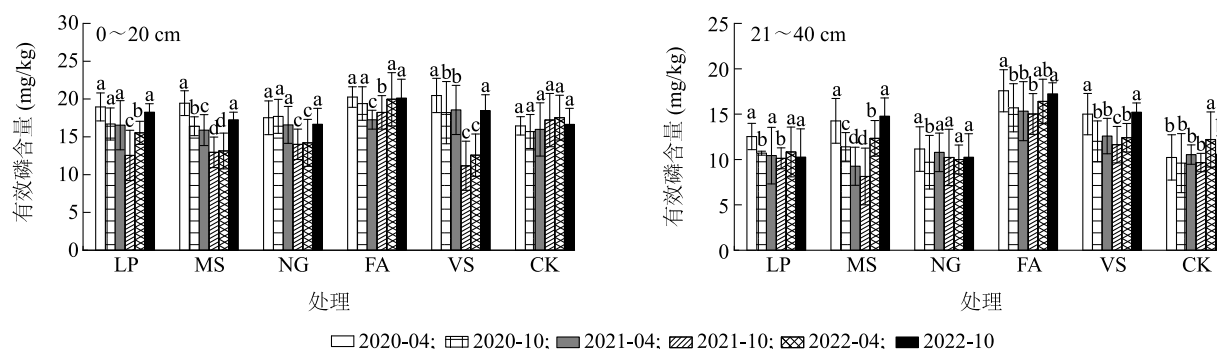
如图5所示, 0~20 cm 土壤深度土壤有效钾含量总体高于21~40 cm 土壤深度。在0~20 cm 土壤深度, 与2020年4月相比, 2022年10月VS处理土壤有效钾含量显著提高19.55% ($P < 0.05$), MS处理土壤有效钾含量显著提高11.51% ($P < 0.05$)。在21~40 cm 土壤深度, 2022年10月各处理的土壤有效钾含量与2020年4月相比无显著差异 ($P > 0.05$)。如图6所示, 在0~20 cm 土壤深度, 与2020年4月相比, 2022年10月MS处理土壤pH



LP:多年生黑麦草生草处理;MS:紫花苜蓿生草处理;NG:自然生草处理;FA:高羊茅生草处理;VS:长柔毛野豌豆处理;CK:清耕。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 不同处理土壤的碱解氮含量

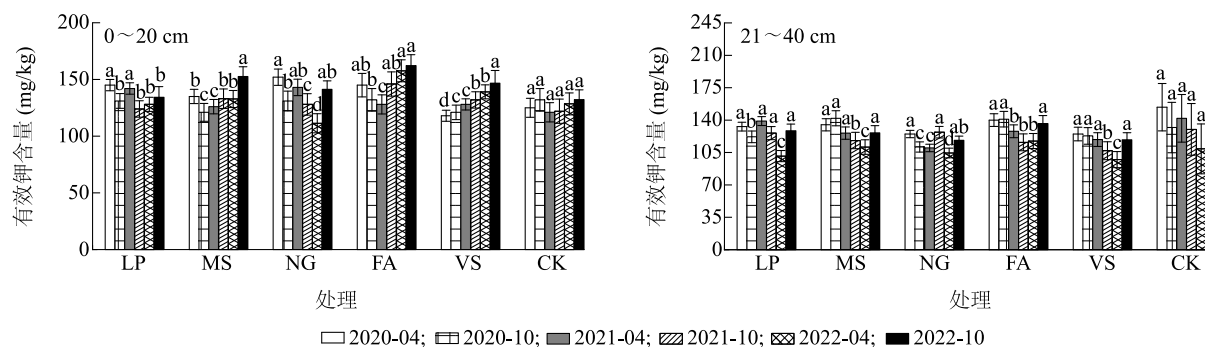
Fig.3 Content of alkali-hydrolyzed nitrogen in soils under different treatments



LP:多年生黑麦草生草处理;MS:紫花苜蓿生草处理;NG:自然生草处理;FA:高羊茅生草处理;VS:长柔毛野豌豆处理;CK:清耕。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图4 不同处理土壤的有效磷含量

Fig.4 Content of available phosphorus in soils under different treatments



LP:多年生黑麦草生草处理;MS:紫花苜蓿生草处理;NG:自然生草处理;FA:高羊茅生草处理;VS:长柔毛野豌豆处理;CK:清耕。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图5 不同处理土壤的有效钾含量

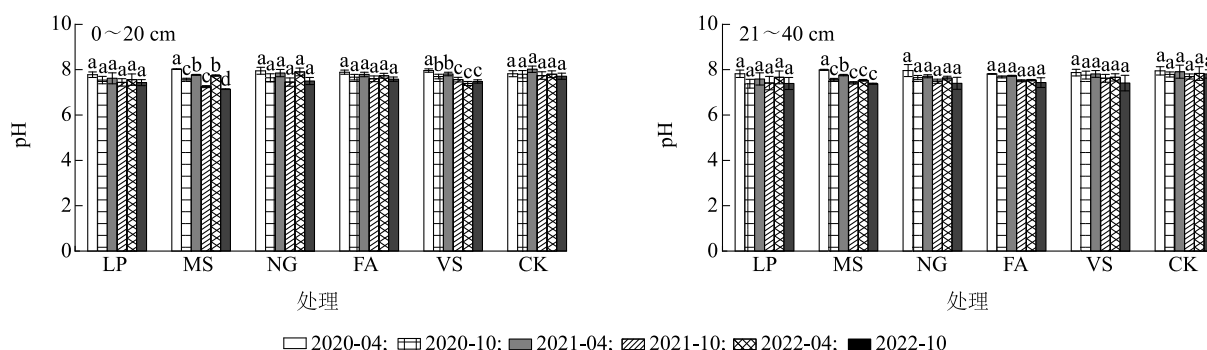
Fig.5 Content of available potassium in soils under different treatments

显著降低 10.97% ($P < 0.05$), VS 处理土壤 pH 显著降低 6.03% ($P < 0.05$)。在 21~40 cm 土壤深度,与 2020 年 4 月相比,2022 年 10 月 MS 处理土壤有效钾含量显著降低 7.63% ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 果园生草处理对土壤物理性质的影响

果园生草处理可增加土壤孔隙度,降低土壤容



LP:多年生黑麦草生草处理;MS:紫花苜蓿生草处理;NG:自然生草处理;FA:高羊茅生草处理;VS:长柔毛野豌豆处理;CK:清耕。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 6 不同处理土壤的 pH

Fig.6 pH of soils under different treatments

重,提高土壤渗水能力^[21]。在渭北平原果园进行生草处理可使0~40 cm 土壤深度的土壤容重降低6.51%,且浅层土壤容重降低幅度大于深层土壤^[22]。与清耕相比,果园生草处理可使土壤容重下降4.7%~10.8%,土壤孔隙度增加2.5%~5.5%^[23]。紫云英刈割还田处理可提高土壤通气度,降低土壤容重,田间持水量提高9.98%,且紫云英刈割还田处理对0~40 cm 深度的土壤性质影响较大^[24]。本研究中,4 种草种的生草处理均可不同程度地影响土壤物理性质,在0~20 cm 土壤深度,紫花苜蓿、高羊茅和长柔毛野豌豆生草处理土壤总孔隙度显著高于多年生黑麦草处理、自然生草处理和清耕对照 ($P < 0.05$),表明紫花苜蓿、高羊茅和长柔毛野豌豆生草处理可以显著提高土壤的通气性,促进微生物对有机碳的分解和利用,提高有机质含量^[25]。在21~40 cm 土壤深度,紫花苜蓿生草处理土壤总孔隙度显著高于多年生黑麦草生草处理、高羊茅生草处理、自然生草处理和清耕对照 ($P < 0.05$)。由于生草处理可以降低地表蒸发量,从而提升了土壤持水量^[26]。在0~20 cm 土壤深度,紫花苜蓿和长柔毛野豌豆生草处理土壤容重显著低于多年生黑麦草生草处理、自然生草处理和清耕对照 ($P < 0.05$)。土壤容重降低可以有效提高土壤持水能力,增强土壤抗侵蚀能力^[27]。

3.2 果园生草处理对土壤化学性质的影响

已有研究表明,在草生长初期(<3 年),果树与草之间存在养分竞争。在草生长中期(3~5 年),由于根际微生物的作用和根系分泌物的积累,土壤养分(有机质、N、P、K)含量显著增加,为果树生长创造了有利环境^[28]。本研究发现,在0~20 cm

土壤深度,与2020 年4 月相比,2022 年10 月长柔毛野豌豆生草处理土壤碱解氮含量显著提高 ($P < 0.05$),高羊茅生草处理土壤碱解氮含量显著提高 ($P < 0.05$),紫花苜蓿生草处理土壤碱解氮含量显著提高 ($P < 0.05$)。在0~20 cm 土壤深度,与2020 年4 月相比,2022 年10 月长柔毛野豌豆生草处理土壤有效钾含量显著提高 ($P < 0.05$)。有研究认为,草生长前期,草自身的营养需求要大于对土壤营养的供给^[29],本研究中,生草处理后部分土壤营养含量表现的先降后升的趋势,验证了上述研究结果。

3.3 果园间作草种选择

果园草种的选择受气候影响较大,例如在温带半湿润气候区,苹果园三叶草生草处理对土壤理化性质的改良效果优于黑麦草,而在暖温带半湿润气候区,三叶草和多年生黑麦草生草处理的效果均优于冠紫云英、紫花苜蓿和高羊茅生草处理^[30]。黑麦草的耐寒性和耐热性都较差,而干旱和半干旱地区降雨量少,冬季严寒,不利于多年生黑麦草生长。相反,紫花苜蓿、长柔毛野豌豆更耐寒和耐旱,更适于在干旱和半干旱地区种植。并且紫花苜蓿、长柔毛野豌豆是多年生豆科草本植物,根部积累了大量的根瘤菌,可固定空气中的氮,具有较强的固氮能力,最终可作为绿肥增加苹果园的肥力^[31]。因此,在开展果园生草处理时,不仅要考虑草种对土壤肥力的消耗,还需要考虑草种是否适应当地气候条件。后续还可以监测不同草种播种后的鲜草产量、杂草防效、越冬返青率等指标,并结合不同草种的管理成本进行进一步评估。

4 结论

果园生草处理已成为发达国家生态果园建设的

主流模式。然而,中国果园仍以传统的清耕模式为主。本研究结果表明,在宁夏引黄灌区,紫花苜蓿和长柔毛野豌豆牧草生草处理可以显著改善果园土壤的理化性质。本研究结果为改良果园土壤,提高水果产量提供了理论依据。

参考文献:

- [1] REN J, LI F D, YIN C B. Orchard grass safeguards sustainable development of fruit industry in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 382: 135291.
- [2] HU Y X, ZHAN P J, THOMAS B W, et al. Organic carbon and nitrogen accumulation in orchard soil with organic fertilization and cover crop management: a global meta-analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 852: 158402.
- [3] 黄国华, 宁心怡, 卢玉鹏, 等. 基于果园生草模式的固碳潜力及影响研究进展[J]. *北方园艺*, 2023(14): 146-153.
- [4] ZHANG Y, HAN M Z, SONG M N, et al. Intercropping with aromatic plants increased the soil organic matter content and changed the microbial community in a pear orchard[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12(12): 616932.
- [5] WEI H, XIANG Y Z, LIU Y, et al. Effects of sod cultivation on soil nutrients in orchards across China: a meta-analysis[J]. *Soil & Tillage Research*, 2017, 169: 16-24.
- [6] FOURIE J C, LOUW P J E, AGENBAG G A. Cover crop management in a chardonnay/99 richter vineyard in the coastal region, South Africa. 2. Effect of different cover crops and cover crop management practices on grapevine performance[J]. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2006, 27(1): 178-186.
- [7] MATTHIAS S, ROLAND G. Facilitation of weed seed predation by living mulch and cover crops[J]. *Weed Research*, 2022, 62(5): 328-339.
- [8] MANEVSKI K, BORGESSEN C D, ANDERSEN M N, et al. Reduced nitrogen leaching by intercropping maize with red fescue on sandy soils in North Europe: a combined field and modeling study[J]. *Plant Soil*, 2014, 388: 67-85.
- [9] BIDDOCU M, FERRARIS S, PITACCO A, et al. Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard North-West Italy[J]. *Soil and Tillage Research*, 2017, 165: 46-58.
- [10] PALESE A M, VIGNOZZI N, CELANO G, et al. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard[J]. *Soil & Tillage Research*, 2014, 144: 96-109.
- [11] WANG P, WANG Y, WU Q S. Effects of soil tillage and planting grass on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and soil properties in citrus orchards in southeast China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2016, 155: 54-61.
- [12] 孙计平, 张玉星, 吴照辉, 等. 生草对梨园土壤物理特性的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(5): 194-199.
- [13] 郭晓睿, 宋涛, 邓丽娟, 等. 果园生草对中国果园土壤肥力和生产力影响的整合分析[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(11): 4021-4028.
- [14] SHUI J G, WANG Q Z, LIAO G Q, et al. Ecological and economic benefits of vegetation management measures in citrus orchards on red soils[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(2): 214-221.
- [15] 李芳东, 吕德国, 于云政, 等. 果园生草试验及适生草种评价[J]. *北方果树*, 2012(6): 9-11.
- [16] PRADEL E, PIERI P. Influence of a grass layer on vineyard soil temperature[J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2000, 6: 59-67.
- [17] TAHIR M, LI C, ZENG T, et al. Mixture composition influenced the biomass yield and nutritional quality of legume-grass pastures[J]. *Agronomy*, 2022, 12(6): 1449.
- [18] 张建军, 朱金兆. 水土保持监测指标的观测方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [19] 史可. 重铬酸钾外加热法在施用生物炭土壤有机质含量测定中的应用改进[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 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.
- [22] 李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 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(2): 477-480.
- [23] 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]. *土壤肥料*, 2003(1): 25-27.
- [24] 刘伟, 罗玲, 钟奇, 等. 生草和地布覆盖对攀枝花地区芒果园土壤性质及果实品质的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2021, 27(2): 261-270.
- [25] 张振境. 龙眼园生草栽培草种引种试种表现及对果园土壤的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [26] 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.
- [27] 黄金辉, 廖允成, 高茂盛, 等. 耕作和覆盖对黄土高原果园土壤水分和温度的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 2652-2658.
- [28] YANG L, MAO Y, HU Y, et al. Effects of orchard grass on soil fertility and apple tree nutrition[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(2): 325-337.
- [29] 焦峰, 温仲明, 焦菊英, 等. 黄丘区退耕地植被与土壤水分养分的互动效应[J]. *草业学报*, 2006(2): 79-84.
- [30] TANG W Z, YANG H S, WANG W E, et al. Effects of living grass mulch on soil properties and assessment of soil quality in chinese apple orchards: a meta-analysis[J]. *Agronomy*, 2022, 12(8): 1974.
- [31] LIU X J, TAHIR M, LI C H, et al. Mixture of alfalfa, orchardgrass, and tall fescue produces greater biomass yield in south-west China[J]. *Agronomy*, 2022, 12(10): 2425.

(责任编辑: 成纾寒)