

绿肥施用对复垦果园土壤水分特性的影响

张卫华

陕西陕果果育研究院有限公司, 陕西 咸阳

收稿日期: 2026年4月7日; 录用日期: 2026年5月11日; 发布日期: 2026年7月6日

摘要

目的: 复垦土地重新建植果园面临着土壤砾石含量高、肥力不足等问题。研究绿肥种植对整治后土壤水分特性的改良效果, 可以为关中地区整治后果园土壤水分高效管理和地力提升提供理论依据与技术支持。方法: 以杨陵壤土为试验对象, 砾石含量分4个水平: 5%, 10%, 20%和30%。设置3种绿肥处理: 清耕对照(CK)、毛叶苕子种植(HV)、黑麦草种植(RG), 采用随机区组设计, 3次重复。测定容重、孔隙度、饱和导水率、水分特征曲线、田间持水量、饱和含水量等指标, 通过统计分析明确不同处理间的差异及绿肥改良机制。结果: 砾石含量的增加使得土壤容重升高, 总孔隙度增加, 土壤的饱和导水率增加, 但是田间持水量和饱和含水量降低。与CK相比, HV处理和RG处理均能显著改善土壤物理性状及水分特性。两种绿肥相比, 毛叶苕子对土壤结构及水分特性的综合改良效果显著优于黑麦草。结论: 砾石含量的增加对杨陵壤土的土壤水分特性具有一定的影响。毛叶苕子、黑麦草均可有效修复整治后土壤水分特性, 其中毛叶苕子改良效果更优, 可作为杨陵区及同类区域整治后苹果园的优先绿肥品种, 配合盛花期翻压还田, 实现土壤水分高效利用与果园可持续生产。

关键词

土地复垦, 苹果园, 毛叶苕子, 黑麦草, 土壤水分特性, 土壤改良

Effects of Green Manure Application on Soil Moisture Characteristics in Reclaimed Orchards

Weihua Zhang

Shaanxi Fruit Breeding Research Institute Co., Ltd., Xianyang Shaanxi

Received: April 7, 2026; accepted: May 11, 2026; published: July 6, 2026

Abstract

Objective: Reclaimed land used for orchard replanting faces problems such as high soil gravel

content and insufficient fertility. Studying the effect of green manure planting on improving soil moisture characteristics after reclamation can provide theoretical basis and technical support for efficient soil moisture management and soil fertility improvement in orchards after reclamation in the Guanzhong Plain. **Methods:** Yangling soil was used as the experimental subject, with gravel content divided into four levels: 5%, 10%, 20%, and 30%. Three green manure treatments were set up: clean cultivation control (CK), hairy vetch planting (HV), and ryegrass planting (RG), using a randomized block design with three replicates. Bulk density, porosity, saturated hydraulic conductivity, water characteristic curve, field capacity, and saturated water content were measured. Statistical analysis was used to clarify the differences between different treatments and the green manure improvement mechanism. **Results:** Increased gravel content led to higher soil bulk density, increased total porosity, and increased saturated hydraulic conductivity, but decreased field capacity and saturated water content. Compared with the control (CK), both the HV and RG treatments significantly improved soil physical properties and water characteristics. Among the two green manures, hairy vetch showed a significantly better overall improvement effect on soil structure and water characteristics than ryegrass. **Conclusion:** Increased gravel content has a certain impact on the soil water characteristics of Yangling hilly soil. Both hairy vetch and ryegrass can effectively repair the soil water characteristics after remediation, with hairy vetch showing a better improvement effect. It can be used as a priority green manure variety for apple orchards in Yangling District and similar areas after remediation, combined with plowing and incorporating into the field during the peak flowering period to achieve efficient soil water utilization and sustainable orchard production.

Keywords

Land Reclamation, Apple Orchard, Hairy Vetch, Ryegrass, Soil Water Characteristics, Soil Improvement

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

陕西是我国苹果主产区，苹果产业已成为当地农业经济的支柱产业，陕西苹果种植规模长期稳居全国首位，占全国苹果种植总面积的30%以上，是我国苹果种植面积最大的省份。2024年全国苹果总产量为5128.5万吨，陕西省苹果总产量达1449.9万吨，占全国总产量的28%以上，2025年陕西苹果产量进一步提升至1521.4万吨，持续保持增长态势[1]。随着苹果产业规模化、标准化的进一步发展，土地复垦作为优化果园布局、提升土地利用效率的重要手段，在苹果园建设中得到一定的应用。陕西全面加强耕地保护，通过引导各地复垦优质土地，全省耕地总量连续3年实现净增加，增量达164.82万亩。土地复垦不可避免会出现砾石含量增多、有机质及养分流失等问题，进而改变土壤物理性状，影响土壤水分的传导、持蓄与蒸发过程，制约果树生长及果实品质提升[1]-[3]。

绿肥种植是果园土壤生态改良的重要措施，具有成本低、无污染、改土效果显著等优势，可通过增加土壤有机质、优化土壤孔隙结构、抑制杂草生长等途径，改善土壤水分特性，提升土壤保水保肥能力[4][5]。毛叶苕子(长柔毛野豌豆, *Vicia villosa* Roth)作为豆科绿肥，具有生长迅速、固氮能力强、适应性广等特点，可快速补充土壤有机质，改善土壤理化性状；黑麦草(*Lolium perenne* L.)作为禾本科绿肥，茎叶茂密，覆盖效果好，能有效抑制土壤水分蒸发，减少杂草竞争。目前，关于绿肥对果园土壤水分特性的改良研究较多，但聚焦土地复垦后苹果园、对比毛叶苕子与黑麦草两种绿肥水分调控效应的研究较少，

尤其缺乏针对土地复垦后苹果园的针对性研究。

土地复垦对土壤物理性状及水分特性的影响已成为国内外研究热点。已有研究表明, 土地复垦过程中的机械压实与土壤扰动会导致土壤容重升高、孔隙度降低, 破坏土壤孔隙结构, 进而降低土壤饱和和导水率, 减少土壤持水量, 并加剧土壤水分蒸发[6] [7]。研究发现, 土地复垦后土壤砂粒含量呈增加趋势, 这会降低土壤保水能力, 导致土壤水分有效性下降[8]; 针对渭北苹果园的研究也表明, 土地复垦后若缺乏有机培肥措施, 土壤有机质流失严重, 土壤结构发生劣化, 从而显著影响土壤水分的传导与保蓄[9]。

绿肥作为土壤改良的重要材料, 其对果园土壤水分特性的改良效应已得到广泛验证。毛叶苕子作为豆科绿肥, 根系发达, 可穿透紧实土壤以增加孔隙度, 同时其固氮作用能提升土壤肥力, 间接改善土壤水分特性。黑麦草茎叶覆盖可减少太阳辐射、降低土壤表面温度、抑制土壤水分蒸发, 且残体分解后能增加土壤有机质并优化土壤结构。已有研究对比了不同绿肥品种的改良效果, 发现豆科绿肥在提升土壤养分(如全氮、全磷)方面效果显著, 而禾本科绿肥在降低土壤容重、增加有机质含量方面具有优势; 在抑制土壤水分蒸发方面, 覆盖作物的残体覆盖可有效减少蒸发量, 但不同品种的效果存在差异。然而, 目前针对土地复垦后苹果园, 系统对比毛叶苕子与黑麦草对土壤水分特性改良效果的研究仍较为匮乏, 难以满足整治后果园土壤管理的实际需求[10]-[12]。综上, 现有研究已明确土地复垦对土壤水分特性的负面影响及绿肥的改良作用, 但针对整治后苹果园的针对性研究不足, 且缺乏两种典型绿肥(豆科、禾本科)的对比分析。本研究聚焦这一研究空白, 开展相关试验研究, 为整治后苹果园土壤改良提供技术支撑。

本研究以杨陵塿土为对象, 系统探究土地复垦对土壤水分特性的影响, 对比毛叶苕子与黑麦草的改良效果, 明确两种绿肥的作用机制及差异, 为整治后苹果园土壤水分高效管理提供科学依据, 助力陕西苹果产业绿色高质量发展。

2. 材料与方法

2.1. 试验地点与试验设置

试验在位于陕西杨陵区的陕果产业科研创新基地(34°18'N, 108°02'E)进行, 该区域属于暖温带半湿润大陆性气候, 年均气温 12.9℃, 年均降水量 635.1 mm, 年均蒸发量 1200 mm, 无霜期 211 d, 降水主要集中在 7~9 月, 土壤类型为塿土。供试土壤的颗粒组成如下表 1, 土壤的基本理化性质如下表 2。

Table 1. Soil particle composition

表 1. 供试土壤的颗粒组成

	黏粒 <0.002	粉粒 0.002~0.02	砂粒 0.02~2	土壤质地
含量	25%	42%	33%	砂质壤土

Table 2. Basic physical and chemical properties of soil

表 2. 土壤的基本理化性质

性质	全氮 g/kg	全磷 g/kg	全钾 g/kg	有机质含量 g/kg	容重 g/cm ³	pH (1:1 水土比)
	0.85	0.58	20.3	9.3	1.35	8.6

试验果园设置 4 种不同水平的砾石含量: 5%, 10%, 20%和 30%, 以风干土的质量分数计。砾石颗粒在 2~20 mm 之间, 与表层 20 cm 土壤充分混合后, 设置清耕对照(CK)、毛叶苕子种植(HV)、黑麦草种植(RG)三种植方式, 共 12 种处理。采用随机区组设计, 其中, 1) 清耕对照(CK)为土地复垦后不种植

绿肥, 采用常规清耕管理, 定期清除杂草, 不施用任何有机肥。2) 毛叶苕子处理(HV): 于 2024 年秋季播种毛叶苕子(种子纯度 $\geq 95\%$, 发芽率 $\geq 85\%$), 播种量为 22.5 kg/hm^2 , 采用条播方式, 行距 30 cm , 播种深度 $2\sim 3 \text{ cm}$; 2025 年盛花期(5 月中下旬), 将毛叶苕子刈割后翻压还田, 翻压深度为 $15\sim 20 \text{ cm}$ 。3) 黑麦草处理(RG): 于 2024 年秋季播种黑麦草(种子纯度 $\geq 95\%$, 发芽率 $\geq 85\%$), 播种量为 30 kg/hm^2 , 采用撒播方式, 播种深度 $1\sim 2 \text{ cm}$; 2025 年 4 月中下旬, 将黑麦草刈割后覆盖于果园地表, 覆盖厚度为 $5\sim 8 \text{ cm}$, 自然腐烂。期间各处理灌溉、病虫害防治等管理措施保持一致, 确保试验条件的统一性。土壤各项理化性质等于 2026 年 1 月采样测定。

2.2. 测定项目与方法

土壤 N、P、K、有机质: 在每个小区采用五点取样法, 采集 $0\sim 20 \text{ cm}$ 的土壤样品, 采集 3 个重复, 风干备用。土壤氮素采用凯氏定氮法测定, 磷、钾含量分别采用紫外-可见分光光度法、火焰光度法测定, 土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定。

土壤容重与孔隙度: 采用环刀法, 选取 100 cm^3 环刀采集土壤样品, 烘干后称量, 计算土壤容重, 总孔隙度根据容重和土壤密度(取 2.65 g/cm^3)计算, 毛管孔隙度采用张力计法测定, 非毛管孔隙度=总孔隙度-毛管孔隙度;

土壤饱和导水率: 采用双环入渗法, 测定土壤饱和状态下的入渗速率, 计算饱和导水率;

土壤持水量: 采用烘干法, 测定土壤田间持水量、饱和含水量。

2.3. 数据处理

采用 Excel 进行数据整理与核对; 采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析, 对不同处理间的指标进行单因素方差分析(ANOVA), 采用 LSD 法进行多重比较($P < 0.05$)。

3. 结果与分析

3.1. 不同砾石含量对土壤基本物理性状的影响

不同的砾石含量改变了土壤的基本物理性状(表 3)。砾石含量对土壤基本物理性状影响显著, 随砾石含量增加, 土壤容重总体上升: 5% 和 10% 处理容重分别为 1.32 和 1.35 g/cm^3 , 与原状土的容重无显著差异, 显著低于 20% 和 30% 处理的 1.43 和 1.46 g/cm^3 。这是因为砾石自身密度较高(通常可达 $2.6\sim 2.8 \text{ g/cm}^3$), 其掺入增加了单位体积土体的固相质量; 同时, 砾石填充了部分土壤孔隙, 减少了孔隙体积, 从而共同导致容重随砾石含量升高而增大。此外, 当砾石含量超过 20% 时, 砾石间的接触点增多, 可能形成刚性骨架结构, 进一步压缩周围细粒土壤的团聚空间, 使容重出现更明显的跃升。

总孔隙度总体上呈现降低的趋势, 两两之间差异并不显著, 但是砾石含量在 30% 时与 5% 的差异显著; 毛管孔隙度的变化规律与总孔隙度相似, 但 5% 与 20% 处理较高, 显著高于 10% 与 30% 处理。结果表明, 20% 砾石含量反而改良了土壤孔隙结构, 获得了相对优良的性状, 而过高或过低砾石含量均可能劣化物理性状。这是因为适量砾石(如 20%)可在土壤中形成稳定的刚性骨架, 支撑颗粒间孔隙, 防止细粒物质过度填充而压实; 同时砾石与土粒界面处的微孔隙增加了毛管孔隙的迂回度和有效连通性, 从而在总孔隙度略降的情况下改善了孔隙质量。此外, 当砾石含量过低($\leq 10\%$)时, 缺乏骨架支撑, 土壤易发生沉降致密, 孔隙被细粒物质充填; 而含量过高($\geq 30\%$)时, 砾石间紧密接触会挤占大量孔隙空间并阻断毛管通道, 使总孔隙度和毛管孔隙度均显著下降, 尤其是 30% 处理与 5% 处理之间产生显著差异。

表 4 结果表明, 饱和导水率随砾石含量升高而显著增大。当砾石含量由 5% 增至 30% 时, 饱和导水率由 0.48 cm/d 急剧上升至 9.46 cm/d , 增幅近 20 倍。各处理间差异显著, 表明砾石的存在显著增加了土壤

大孔隙和优先流通道,从而大幅提高了导水能力。饱和含水量随砾石含量增加呈下降趋势。5%砾石处理下为 $0.47 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 30%处理下降至 $0.32 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。统计上,5%与10%处理无显著差异,而20%和30%处理显著低于前者。这是由于砾石本身几乎不持水,且其增加会排挤细质土壤的体积,导致整体孔隙度降低。田间持水量亦随砾石含量增加而降低。5%处理为 $0.38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 30%处理降至 $0.28 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。统计分组显示:5%与10%处理间无显著差异,20%与30%处理间无显著差异,但高砾石含量(20%、30%)显著低于低砾石含量(5%、10%)。这表明砾石含量超过10%后,土壤持水能力发生显著下降。萎蔫含水量同样呈现递减规律,说明砾石增加不仅减少了有效水储量,也降低了土壤对强吸力水分的保持能力。

Table 3. Basic physical and chemical properties of soil in different gravel contents

表 3. 不同砾石含量的土壤基本物理性状

砾石含量 (%)	容重 (g/cm^3)	总孔隙度 (%)	毛管孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)
5	$1.32 \pm 0.03\text{a}$	$48.6 \pm 3.2\text{a}$	$38.2 \pm 0.9\text{a}$	$10.4 \pm 0.5\text{a}$
10	$1.35 \pm 0.04\text{a}$	$45.3 \pm 2.0\text{ab}$	$35.1 \pm 0.8\text{ab}$	$10.2 \pm 0.4\text{a}$
20	$1.43 \pm 0.07\text{b}$	$47.8 \pm 3.1\text{a}$	$37.5 \pm 0.8\text{ab}$	$10.3 \pm 0.4\text{a}$
30	$1.46 \pm 0.04\text{b}$	$44.2 \pm 2.9\text{bc}$	$34.3 \pm 0.7\text{bc}$	$9.9 \pm 0.3\text{b}$

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

Table 4. Soil water properties in different gravel contents

表 4. 不同砾石含量的土壤水分特性

砾石含量 (%)	饱和导水率 (cm/d)	饱和含水量 (cm^3/cm^3)	田间持水量 (cm^3/cm^3)	萎蔫含水量 (cm^3/cm^3)
5	$0.48 \pm 0.05\text{a}$	$0.47 \pm 0.03\text{a}$	$0.38 \pm 0.05\text{a}$	$0.12 \pm 0.02\text{a}$
10	$0.54 \pm 0.08\text{b}$	$0.44 \pm 0.07\text{ab}$	$0.35 \pm 0.08\text{a}$	$0.10 \pm 0.04\text{ab}$
20	$3.57 \pm 0.35\text{c}$	$0.39 \pm 0.10\text{b}$	$0.31 \pm 0.03\text{b}$	$0.08 \pm 0.02\text{bc}$
30	$9.46 \pm 1.04\text{d}$	$0.32 \pm 0.11\text{c}$	$0.28 \pm 0.07\text{b}$	$0.07 \pm 0.03\text{c}$

综合而言,砾石含量的增加显著改变了杨凌壤土的水力特性:饱和导水率显著提升,而饱和含水量、田间持水量及萎蔫含水量均呈下降趋势。这种变化主要归因于砾石对土壤孔隙结构及细颗粒体积的替代效应。在实际农业生产或水分管理过程中,当砾石含量超过10%~20%时,需特别关注土壤持水能力的降低及入渗增强可能带来的养分淋失风险。

3.2. 绿肥施用对土壤基本物理性状的影响

绿肥施用显著改善了复垦土壤的容重与孔隙结构。在同一砾石含量水平下,绿肥处理(HV、RG)相比对照(CK)普遍降低了土壤容重(降幅约2%~5%),并提高了总孔隙度(增幅约2%~8%),说明绿肥施用有助于改善土壤结构、增加疏松度(表5)。然而,绿肥对饱和导水率的影响规律不甚一致:在0%和10%砾石含量下,绿肥处理并未明显提升导水率(甚至略有降低);在20%和30%砾石含量下,绿肥处理则显著提高了导水率(HV₀和RG分别比CK提高22%和14%以上)。这种差异可能与低砾石含量下土壤基质本身导水能力较弱、绿肥分解产物暂时堵塞孔隙有关,而高砾石含量下形成的优先流路径则放大了绿肥的改良效果。

Table 5. Effects of green manure application on soil bulk density, total porosity, and saturated hydraulic conductivity
表 5. 绿肥施用对土壤容重、总孔隙度和饱和导水率的影响

砾石含量 (%)	绿肥处理	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	饱和导水率 (cm/d)
5%	CK	1.32 ± 0.06a	48.6 ± 3.2a	0.48 ± 0.05a
	HV	1.28 ± 0.04b	52.2 ± 2.9ab	0.47 ± 0.14a
	RG	1.27 ± 0.05b	50.1 ± 3.5b	0.45 ± 0.17a
10%	CK	1.35 ± 0.09a	45.3 ± 2.0a	0.54 ± 0.08a
	HV	1.30 ± 0.10b	49.2 ± 2.5b	0.47 ± 1.04b
	RG	1.29 ± 0.07b	47.2 ± 1.9c	0.64 ± 1.64c
20%	CK	1.43 ± 0.07a	47.8 ± 3.1a	3.57 ± 0.55a
	HV	1.38 ± 0.14b	53.2 ± 6.0a	4.36 ± 1.12b
	RG	1.39 ± 0.04b	48.7 ± 2.7a	4.08 ± 1.84b
30%	CK	1.46 ± 0.11a	44.2 ± 7.9a	9.46 ± 1.04a
	HV	1.42 ± 0.13a	49.2 ± 3.6a	8.77 ± 2.36b
	RG	1.43 ± 0.06a	48.7 ± 8.1a	8.53 ± 3.01b

4. 结论

本研究通过设置不同砾石含量(5%、10%、20%、30%)与绿肥处理(清耕对照 CK、毛叶苕子 HV、黑麦草 RG)，系统探究了土地复垦后土壤物理性状及水分特性的变化规律，并对比了两种典型绿肥的改良效果。主要结论如下：

1) 砾石含量是调控复垦土壤物理与水分特性的关键因素。随砾石含量增加，土壤容重显著上升(从 5% 的 1.32 g/cm³ 增至 30% 的 1.46 g/cm³)，总孔隙度及毛管孔隙度呈降低趋势，但 20% 砾石含量处理表现出相对优化的孔隙结构(总孔隙度 47.8%，毛管孔隙度 37.5%)，表明适量砾石可形成骨架支撑作用，改善孔隙连通性。水分特性方面，饱和导水率随砾石含量增加呈指数级增长(从 0.48 cm/d 增至 9.46 cm/d)，而饱和含水量、田间持水量及萎蔫含水量均显著下降，说明砾石增多虽大幅提升排水能力，但会严重削弱土壤持水保肥能力。当砾石含量超过 10% 时，持水能力发生显著降低，需在水分管理中加以重视。

2) 绿肥施用对复垦土壤具有明显的物理改良效应。与清耕对照相比，毛叶苕子(HV)和黑麦草(RG)处理均可有效降低土壤容重(降幅约 2%~5%)，提高总孔隙度(增幅约 2%~8%)。然而，绿肥对饱和导水率的影响因砾石含量而异：在低砾石含量(5%、10%)下，绿肥处理未显著提升导水率，甚至略有降低，可能与绿肥分解初期产物暂时堵塞孔隙有关；在高砾石含量(20%、30%)下，绿肥处理显著提高了饱和导水率(较 CK 提高 14%~22%)，表明砾石形成的优先流路径放大了绿肥的改良效果。

3) 两种绿肥的综合表现相近，但存在细微差异。毛叶苕子在提升总孔隙度方面略优于黑麦草(尤其在 20% 砾石含量下，HV 处理总孔隙度达 53.2%，显著高于 RG 的 48.7%)，而黑麦草在降低容重方面与毛叶苕子相当。两种绿肥均可作为土地复垦后苹果园土壤改良的有效措施，建议根据实际管理目标(如侧重培肥或覆盖抑蒸)选择适宜品种。

综上，土地复垦导致的砾石含量增加会显著改变土壤水力功能，适度砾石(约 20%)配合绿肥种植可在一定程度上缓解持水能力下降的矛盾，同时利用优先流提升深层渗漏与排水性能。本研究仅分析了杨陵塿土的砾石含量对土壤水力功能的改变，土质单一且研究周期较短，因此在其他土地整治果园中的应用

还需要进行本地化验证。尤其是对根系、土壤微生物的研究还需要进一步加强。建议在杨陵壤土的土壤条件下,适当考虑配套种植毛叶苕子或黑麦草,以改善土壤结构、增强水分调控能力,为苹果产业绿色高质量发展提供技术支撑。

基金项目

陕西农业发展集团内部科研项目“关中平原苹果园绿肥种植技术体系构建及其对土壤改良和果实品质的影响”(NFJC2025-40)。

参考文献

- [1] 中国果品流通协会. 2025 产季苹果产销形势分析报告[R/OL]. <https://news.foodmate.net/2025/10/727378.html>, 2025-10-09.
- [2] 2025 年全省经济运行稳中向好圆满收官[EB/OL]. https://tj.shaanxi.gov.cn/tjsj/tjxx/qs/202601/t20260123_3607209.html, 2026-01-22.
- [3] 王慧芳, 邵明安, 王明玉. 小碎石与细土混合介质的导水特性[J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1086-1093.
- [4] 彭新华, 熊鹏, 谢婉玉, 等. 绿肥: 现代可持续农业的支柱[J]. 土壤与作物, 2026, 15(1): 1-18.
- [5] 曹卫东, 包兴国, 徐昌旭, 等. 中国绿肥科研 60 年回顾与未来展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1450-1461.
- [6] 王晓彤, 胡振琪, 梁宇生. 基于 Hydrus-1D 的黄河泥沙充填复垦土壤夹层结构优化[J]. 农业工程学报, 2022, 38(2): 76-86.
- [7] 李舒怡, 袁遥遥, 张晨晨, 等. 黄土塬区土壤饱和导水率对果园还耕的响应特征[J]. 水土保持学报, 2025, 39(1): 66-72.
- [8] 白晨赟, 田涵洋, 乔江波, 等. 黄土塬区土地利用方式对土壤主要理化性质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(4): 223-229.
- [9] 魏彬萌, 王益权. 渭北果园土壤物理退化特征及其机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 694-701.
- [10] 延安市农业科学研究所, 陕西省农业技术推广中心. 陕北苹果园绿肥种植模式对土壤物理性质及果实品质和产量的影响[J]. 中国果树, 2022(1): 24-28.
- [11] 王小龙, 刘凤之, 史祥宾, 等. 行内生草对葡萄根系生长和土壤营养状况的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(S1): 230-237.
- [12] 赵炯平, 江智敏, 菅攀锋, 等. 不同种类绿肥翻压对植烟土壤理化性状的影响[C]//中国烟草学会 2016 年度优秀论文汇编——烟草农业主题. 中国烟草学会, 2016: 1104-1108.