

不同施肥模式对山东烟区丘陵砂质土物理性质的影响

杨 杰¹, 欧开元¹, 马志远², 王恩忠², 苏兆亮², 郝爱峰², 陈淑满¹, 王建彬¹, 杨秉鹭¹, 陈为习¹, 陈庆平¹, 王彬³, 侯 欣³, 孟凡超^{4*}

¹山东临沂烟草有限公司, 山东 临沂

²山东淄博烟草有限公司, 山东 淄博

³山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安

⁴中国烟草总公司山东省公司, 山东 济南

收稿日期: 2026年9月3日; 录用日期: 2026年10月6日; 发布日期: 2026年10月15日

摘 要

为揭示不同施肥模式对山东丘陵砂质植烟土壤物理性状的调控效应, 明确水肥一体化的土壤保育效果, 以莒南、沂源两地烟田为对象, 研究常规施肥漫灌(CK)、控释肥漫灌(T1)、水肥一体化滴灌(T2)对烟草全生育期土壤物理指标的影响。结果表明: 与CK相比, T2处理采收后土壤容重降至0.98 g/cm³, 降低8.41%; 总孔隙度达62.84%, 提高5.24%; 毛管持水量31.31%, 提高21.36%; 土壤空气含量52.58%, 提高1.15%。T2在全生育期稳定土壤含水量、降低容重、提升孔隙结构与保水能力方面效果最优; T1可改善部分指标, 但波动明显; CK土壤结构稳定性差。综合改良效应为: 水肥一体化 > 控释肥 > 常规施肥。研究可为砂质烟区土壤保育与绿色生产提供数据支撑。

关键词

水肥一体化, 烟草, 土壤物理性质, 土壤容重, 土壤孔隙度

Effects of Different Fertilization Modes on Physical Properties of Hilly Sandy Soil in Tobacco-Growing Areas of Shandong Province

Jie Yang¹, Kaiyuan Ou¹, Zhiyuan Ma², Enzhong Wang², Zhaoliang Su², Aifeng Chi², Shuman Chen¹, Jianbin Wang¹, Binglu Yang¹, Weixi Chen¹, Qingping Chen¹, Bin Wang³, Xin Hou³, Fanchao Meng^{4*}

*通讯作者。

文章引用: 杨杰, 欧开元, 马志远, 王恩忠, 苏兆亮, 郝爱峰, 陈淑满, 王建彬, 杨秉鹭, 陈为习, 陈庆平, 王彬, 侯欣, 孟凡超. 不同施肥模式对山东烟区丘陵砂质土物理性质的影响[J]. 农业科学, 2026, 16(10): 1479-1488.

DOI: 10.12677/hjas.2026.1610177

¹Shandong Linyi Tobacco Limited Company, Linyi Shandong²Shandong Zibo Tobacco Limited Company, Zibo Shandong³College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong⁴Shandong Corporation of China National Tobacco Company, Jinan Shandong

Received: September 3, 2026; accepted: October 6, 2026; published: October 15, 2026

Abstract

To reveal the regulatory effects of different fertilization modes on physical properties of hilly sandy tobacco-growing soil in Shandong and clarify the soil conservation effect of water-fertilizer integration, field experiments were conducted in Junan and Yiyuan tobacco areas. Three treatments were set up: conventional fertilization with flood irrigation (CK), controlled-release fertilizer with flood irrigation (T1), and water-fertilizer integration with drip irrigation (T2). The results showed that compared with CK, after harvest, T2 significantly decreased soil bulk density to 0.98 g/cm³ by 8.41%, increased total porosity to 62.84% by 5.24%, enhanced capillary water-holding capacity to 31.31% by 21.36%, and improved soil air content to 52.58% by 1.15%. T2 displayed the best performance in stabilizing soil water content, reducing bulk density, optimizing pore structure and enhancing water retention during the whole growth period. T1 could improve partial indicators with obvious fluctuations, while CK showed the poorest soil structure stability. The comprehensive improvement effect ranked as: water-fertilizer integration > controlled-release fertilizer > conventional fertilization. This study can provide data support for soil conservation and green production in sandy tobacco areas.

Keywords

Water-Fertilizer Integration, Tobacco, Soil Physical Properties, Soil Bulk Density, Soil Porosity

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

土壤[1]是烟草生长发育的载体, 土壤物理性状直接决定土壤通气、透水、保水、供肥能力及根系伸展空间, 是构成土壤肥力的核心基础, 也是影响烟叶产量形成与品质优劣的关键环境因子[2]。适宜的土壤容重、合理的孔隙比例、稳定的水分状况, 能够促进烟株根系健壮发育, 提高养分与水分利用效率, 保障烟草团棵、旺长、成熟等关键生育阶段顺利推进[3]。近年来, 随着植烟集约化程度不断提升, 传统施肥方式与大水漫灌模式长期应用, 导致部分烟田出现土壤板结、结构退化、孔隙度下降、保水保肥能力减弱等问题, 不仅制约烟叶产质量提升, 也对烟田可持续利用造成潜在压力。

山东莒南、沂源地处黄淮主产烟区, 气候条件适宜、土壤类型以棕壤为主, 是优质烤烟重要生产基地, 在全国烤烟布局中占据重要地位。但长期以来, 当地烟田管理多沿用传统基肥 + 追肥[4]、大水漫灌模式, 存在水肥利用率低、土壤环境波动大、耕层物理性状稳定性不足等问题。如何通过科学水肥管理措施改善土壤物理结构、维持土壤基础功能稳定, 已成为当地烟草高质量发展亟待解决的技术问题。

水肥一体化技术借助滴灌系统将水分与养分同步、精准、均匀地输送至作物根区土壤, 具有节水节肥、减少土壤扰动、避免大水冲刷压实等优势, 已在粮食、蔬菜、果树等作物上广泛应用, 并被证实能够

有效改善土壤结构、提升土壤保水能力。控释肥通过缓慢释放养分[5]，减少施肥次数，降低养分流失，也在一定程度上减轻了频繁农事操作对土壤的破坏。然而，针对莒南、沂源典型烟区，系统对比水肥一体化、控释肥与常规施肥模式在烟草全生育期内对土壤容重、孔隙度、含水量等关键物理指标动态变化影响的研究仍较为缺乏，尤其缺乏对土壤结构保持效应的综合评价。

基于此，本研究以莒南、沂源烟区田间定位试验为依托，系统分析不同水肥管理措施下烟草全生育期土壤基础物理性质变化规律，量化评价各处理对土壤物理环境的改良效果[6]，明确水肥一体化在土壤物理性状保持方面的优势，最终确立不同处理的土壤改良效应排序，为烟田土壤健康保育、水肥资源高效利用及烤烟优质丰产提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验地概况

试验分别在山东省临沂市莒南县植烟乡镇与淄博市沂源县核心烟区同步开展，两地均属暖温带半湿润季风气候，四季分明，光照充足，年均气温 12.8~14.1℃，年降水量 650~820 mm，降雨主要集中在 6~8 月，与烟草旺长期需水规律基本吻合，但季节分布不均易出现阶段性干旱。试验地块地势平坦，排灌便利，土壤类型为棕壤，耕层深厚，前茬作物非茄科，符合烟草轮作要求。试验开展前对两地基础土壤理化性状进行测定，0~20 cm 土层基础理化指标基本一致，土壤容重 1.18~1.22 g/cm³，总孔隙度 53%~56%，有机质含量 12.6~15.3 g/kg，pH 5.8~6.5，适宜优质烤烟生长[7]。两地试验田块肥力均匀，田间管理条件一致，确保试验结果具有区域代表性与可比性。

2.2. 试验材料

供试烤烟品种为当地主栽优质品种，具有适应性强、长势稳健、品质优良等特点。供试肥料：(1) 常规烟草专用复合肥，为当地烟区常规施用肥料；(2) 烟草专用控释复合肥[8]，控释期 120 d，养分释放与烟草生育期需肥规律基本匹配；(3) 灌溉与施肥设备：水肥一体化处理采用压力补偿式滴灌管、施肥罐、过滤器等组成完整滴灌施肥系统，保证水肥均匀供应；常规处理与控释肥处理采用传统畦灌漫灌方式[9]。

2.3. 试验设计

试验采用随机区组设计，设置 3 个处理，每处理 3 次重复，小区面积 40 m²，小区间设隔离行，防止水肥串流。各处理除灌溉与施肥模式不同外，移栽密度、起垄方式、病虫害防治、除草、打顶抹杈等田间管理措施完全一致，按照当地优质烤烟生产技术规程执行。处理设置如下：常规施肥处理(CK)：70%基肥 + 30%追肥；控释肥处理(T1)：(10-10-20) 20 公斤 + 微生物菌剂底施，中后期根据天气情况追施冲施中微量元素肥料或高钾型(10-5-35)大量元素水溶肥料；水肥一体化处理(T2)：采用滴灌 + 水溶肥模式，根据烟草不同生育期需水需肥规律，将水溶肥溶解于灌溉水中，通过滴灌系统随水施用，少量多次、精准供应[10]，具体施肥方案见表 1。

Table 1. Fertilization scheme
表 1. 施肥方案

处理	N-P-K	总施用量(kg)	追肥施用量(kg)
CK	10-10-20	25-25-50	7.5-7.5-15
T1	10-9-23	13-12-30	2.5-1.25-8.75
T2	10-10-30	7.5-7.5-18	1-0.5-4.5

常规施肥水分管理方案:

常规施肥对照组(CK)采用传统沟灌/人工浇灌,施肥与水分管理完全分离,无滴灌设施;灌溉周期依据山东烟区传统经验,移栽后浇定根水,缓苗后遇干旱才灌溉,团棵期、旺长期根据降雨情况 15~20 天灌溉一次,成熟期基本自然降雨;灌溉量无精准量化,以土壤表层湿润、烟株不萎蔫为标准,不做精准调控,完全遵循当地传统烤烟水分管理模式。

控释肥 + 微生物菌剂处理水分管理方案:

控释肥 + 微生物菌剂处理(T1)同样采用常规沟灌/人工浇灌,仅在缓苗后、封埯时少量滴灌补水肥,其余时期与 CK 保持一致;灌溉周期为移栽后定根水,缓苗期、团棵期、旺长期 15~20 天灌溉一次,成熟期以自然降水为主;灌溉量按经验控制,不做精准计量,仅在追肥时配合少量灌溉促进养分吸收,整体水分管理模式与当地传统方式相同,无精准水肥调控措施。

水肥一体化处理灌溉与施肥详情:

水肥一体化处理采用滴灌方式,全生育期遵循少量多次、水肥同步原则,灌溉周期按烟株生育期调整:移栽定植期浇足定根水,缓苗期后每 7~10 天灌溉施肥一次,旺长期根据墒情缩短至 5~7 天一次,成熟期间隔 10 天左右;单次灌溉量控制在每亩 8~12 m³,以湿润根系密集层、不积水渗漏为宜;施肥浓度严格把控,水溶肥(高磷 10-30-10、高钾 10-5-35)稀释浓度为 0.2%~0.3%,微生物菌剂、中微量元素、壳聚糖等按说明稀释,总肥液浓度不超过 0.3%,避免烧根,同时可配合叶面喷施氨基酸,依据烟叶长势与天气灵活复配补肥。

2.4. 土壤样品采集与指标测定

分别在移栽前、团棵期、旺长期、成熟期、采收后 5 个时期采集土壤样品。每个小区采用“S”形 5 点取样法,采集 0~20 cm 耕层原状土与混合土样,装入密封袋,做好标记,带回实验室自然风干或立即进行指标测定。

测定指标与方法:土壤重量含水率:采用 105℃烘干法,称取一定量新鲜土样,烘干至恒重,计算含水量百分比。土壤体积含水率:由重量含水量乘以土壤容重换算得到[11]。土壤容重:采用 100 cm³ 环刀法,采集原状土样,烘干称重,计算单位体积干土质量。总孔隙度:根据土壤容重与土粒密度(取值 2.65 g/cm³)计算:总孔隙度(%) = (1 - 容重/2.65) × 100%。毛管孔隙度:采用环刀浸水法,测定土壤毛管持水量并计算毛管孔隙度。毛管持水量:通过环刀吸水法测定,反映土壤毛管孔隙保水能力。土壤空气含量:土壤空气含量(%) = 总孔隙度 - 土壤体积含水量,表征土壤通气状况[12]。

2.5. 数据处理

采用 Excel2021 进行数据整理与计算,Origin2023 进行图表绘制,采用 SPSS 软件进行标准误差计算、单因素方差分析和 Tukey 多重比较(p < 0.05)。

3. 结果与分析

3.1. 不同施肥模式对土壤含水率影响

土壤含水量是反映土壤供水能力与水肥管理效果的直接指标[13]。由图 1 可知,移栽前各处理土壤重量含水量无显著差异,具有良好一致性。

团棵期:土壤重量含水量表现为 T1 (13.99%) > T2 (12.76%) > CK (10.15%)。控释肥与水肥一体化含水量显著高于常规处理,水分供给更稳定。旺长期:含水量为 T2 (9.54%) > CK (8.96%) > T1 (6.96%),水肥一体化维持最优水分状态,控释肥出现明显水分亏缺。成熟期:含水量为 T2 (10.99%) > CK (9.54%) > T1 (9.35%),水肥一体化水分充足且稳定,有利于烟叶成熟。采收后:含水量为 T2 (12.35%) > CK (11.30%) >

T1 (10.73%), 水肥一体化土壤仍保持较高含水量, 保水效果最持久。

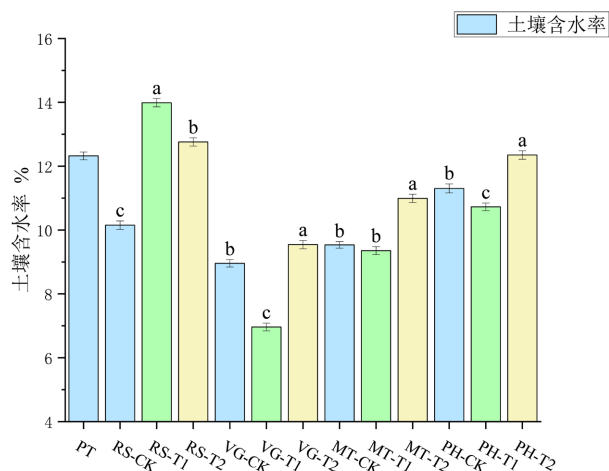


Figure 1. Dynamics of soil water content across different growth stages and comparison among different fertilization treatments

图 1. 不同时期含水率变化及不同施肥模式的含水率比较

整体来看, 水肥一体化(T2)在全生育期稳定维持较高含水量, 波动最小; 常规处理(CK)含水量偏低; 控释肥(T1)前期偏高、中后期显著下降, 水分稳定性最差。

3.2. 不同施肥模式对土壤容重的影响

土壤容重决定土壤疏松程度与根系伸展空间[14]。

根据图 2 可得, 团棵期: 土壤容重大小为 T1 (1.18 g/cm^3) > CK (1.09 g/cm^3) > T2 (1.03 g/cm^3)。旺长期: 容重为 T1 (1.12 g/cm^3) > CK (1.06 g/cm^3) > T2 (1.03 g/cm^3)。成熟期: 容重为 T2 (1.03 g/cm^3) > CK (0.99 g/cm^3) > T1 (0.94 g/cm^3)。采收后: 容重为 T1 (1.13 g/cm^3) > CK (1.07 g/cm^3) > T2 (0.98 g/cm^3)。全生育期平均容重由大到小依次为: 控释肥 > 常规施肥 > 水肥一体化。

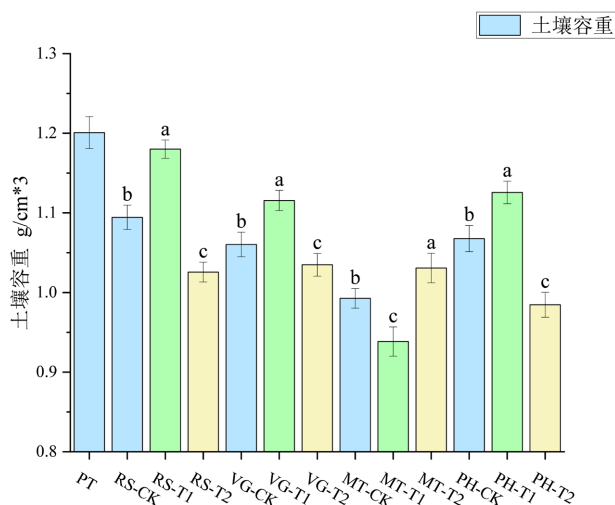


Figure 2. Dynamics of soil bulk density across different growth stages and comparison among different fertilization treatments

图 2. 不同时期土壤容重变化及不同施肥模式的土壤容重比较

水肥一体化处理容重最低、土壤最疏松，控释肥因漫灌导致土壤压实最明显。

3.3. 不同施肥模式对土壤总孔隙度的影响

总孔隙度反映土壤通气、透水与蓄水综合能力[15]。

由图 3 可知，团棵期：总孔隙度为 T2 (61.29%) > CK (58.70%) > T1 (55.47%)。旺长期：总孔隙度为 T2 (60.95%) > CK (59.99%) > T1 (57.90%)。成熟期：总孔隙度为 T1 (64.59%) > T2 (61.11%) > CK (62.54%)。采收后：总孔隙度为 T2 (62.84%) > CK (59.71%) > T1 (57.52%)。

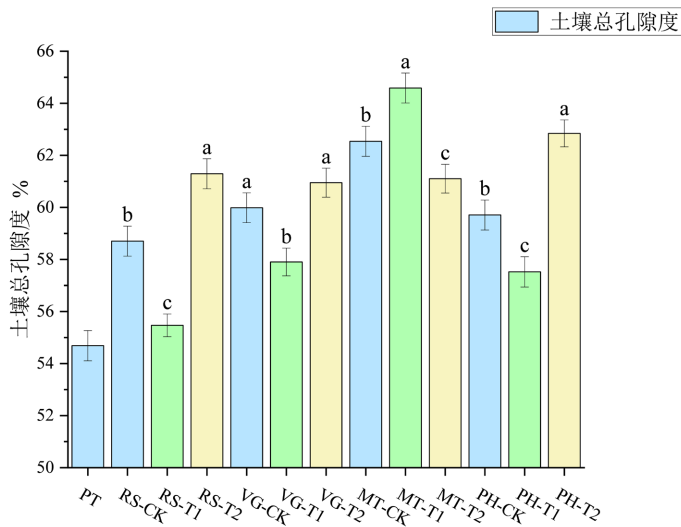


Figure 3. Changes in soil total porosity at different growth stages and comparison under various fertilization regimes
图 3. 不同时期土壤总孔隙度变化及不同施肥模式的土壤总孔隙度比较

全生育期整体表现为：水肥一体化总孔隙度最高且最稳定，常规施肥居中，控释肥最低且波动大，说明滴灌能显著保护土壤孔隙结构。

3.4. 不同施肥模式对土壤毛管孔隙度的影响

毛管孔隙度决定土壤保水与供水能力。

表 2 显示，团棵期：毛管孔隙度为 CK (36.35%) > T1 (36.07%) > T2 (31.69%)。旺长期：毛管孔隙度为 T1 (32.55%) > CK (32.16%) > T2 (30.93%)。成熟期：毛管孔隙度为 T2 (36.49%) > T1 (30.44%) > CK (28.74%)。采收后：毛管孔隙度为 T1 (34.87%) > T2 (30.64%) > CK (26.18%)。

Table 2. Other physical properties of soil
表 2. 土壤其他物理性质

名称	处理	毛管孔隙度(容积) (%)	毛管持水量(%)	土壤含水率(体积) (%)	土壤空气含量(%)
移栽前(PT)	CK	27.08 ± 0.52	23.89 ± 0.33	14.43 ± 0.33	43.98 ± 1.02
团棵期 (RS)	CK	36.35 ± 161	33.40 ± 0.42	10.51 ± 0.54	49.45 ± 1.41
	T1	36.07 ± 0.73	30.63 ± 0.7	17.01 ± 161	39.21 ± 1.54
	T2	31.69 ± 1.84	31.13 ± 1.12	12.40 ± 0.38	50.34 ± 2.19

续表

旺长期 (VG)	CK	32.16 ± 0.95	30.73 ± 1.32	10.16 ± 1.52	50.84 ± 1.28
	T1	32.55 ± 1.56	29.44 ± 0.59	8.17 ± 1.68	50.34 ± 1.80
	T2	30.93 ± 1.18	29.97 ± 1.68	9.58 ± 0.35	51.99 ± 2.32
成熟期 (MT)	CK	28.74 ± 1.29	30.17 ± 2.01	9.16 ± 0.55	56.87 ± 1.15
	T1	30.44 ± 1.41	33.01 ± 1.05	8.96 ± 0.46	57.02 ± 2.58
	T2	36.49 ± 1.52	35.90 ± 1.68	11.15 ± 1.20	51.23 ± 1.67
采摘后 (PH)	CK	26.18 ± 1.01	25.80 ± 1.35	11.25 ± 1.65	51.98 ± 1.42
	T1	34.87 ± 1.87	31.34 ± 1.59	11.88 ± 1.03	46.97 ± 2.45
	T2	30.64 ± 1.75	31.31 ± 1.56	11.39 ± 0.89	52.58 ± 1.93

成熟期与采收后，水肥一体化毛管孔隙度显著上升并保持高位，表明其能持续提升土壤保水持肥能力，更符合烟草中后期生长需求。

3.5. 不同施肥模式对土壤毛管持水量的影响

毛管持水量表征土壤保水能力强弱。

表 2 显示，团棵期：毛管持水量为 CK (33.40%) > T2 (31.13%) > T1 (30.63%)。旺长期：毛管持水量为 CK (30.73%) > T2 (29.97%) > T1 (29.44%)。成熟期：毛管持水量为 T2 (35.90%) > T1 (33.01%) > CK (30.17%)。采收后：毛管持水量为 T1 (31.34%) > T2 (31.31%) > CK (25.80%)。

从旺长期到成熟期，水肥一体化毛管持水量持续升高并达到最大值，保水能力显著优于其他处理；常规处理持续下降，保水能力衰退最明显。

3.6. 不同施肥模式对土壤空气含量的影响

土壤空气含量反映土壤通气状况，直接影响根系呼吸。

表 2 显示，团棵期：土壤空气含量为 T2 (50.34%) > CK (49.45%) > T1 (39.21%)。旺长期：空气含量为 T2 (51.99%) > CK (50.84%) > T1 (50.34%)。成熟期：空气含量为 T1 (57.02%) > CK (56.87%) > T2 (51.23%)。采收后：空气含量为 T2 (52.58%) > CK (51.98%) > T1 (46.97%)。

全生育期内，水肥一体化土壤空气含量最高且最稳定，通气状况最优；控释肥处理通气波动大，团棵期与采收后明显偏低。

3.7. 全生育期土壤物理性状综合评价

结合表 2，综合土壤含水量、容重、总孔隙度、毛管孔隙度、毛管持水量、空气含量六项指标可以看出：

水肥一体化(T2)：全生育期土壤疏松、孔隙度高、含水量稳定、保水性强、通气良好，对土壤物理结构的保持与改良效果最优。控释肥(T1)：减少了施肥扰动，但受漫灌影响，土壤压实明显，含水量与孔隙度波动大，改良效果中等。常规施肥(CK)：土壤结构稳定性差，含水量波动大，保水与通气能力较弱，对土壤物理性状保持效果最差。

综上，三种施肥模式对土壤物理性状的综合改良效应为：水肥一体化 > 控释肥 > 常规施肥。

4. 讨论

4.1. 水肥一体化对土壤容重与孔隙结构的调控机制

土壤容重与孔隙度变化本质上是土壤团聚体稳定性与颗粒排列方式改变的结果[16]。传统漫灌水流冲击力大,易破坏土壤团聚体,导致细小颗粒堵塞孔隙,造成土壤沉实板结,容重上升、孔隙度下降。本研究中,常规处理虽经耕作扰动,但长期漫灌仍使土壤物理性状难以维持稳定。控释肥处理因一次性施肥减少了田间追肥操作,但灌溉方式仍为漫灌,土壤压实问题依然存在,因此容重偏高、总孔隙度偏低[17]。

水肥一体化采用滴灌方式,水流缓慢均匀渗入根区,不产生径流、不冲刷土表、不破坏土壤结构,有效避免了大水漫灌对土壤团聚体的破坏。同时,精准水肥供应促进烟株根系生长,根系穿插、分泌物及微生物活动有利于土壤团聚体形成,进一步降低容重、提高孔隙度[18]。本研究结果显示,水肥一体化处理全生育期土壤容重最低、总孔隙度最高,与上述机制高度吻合。毛管孔隙度提高则增强了土壤保水持肥能力,非毛管孔隙保持合理比例则保障通气透水,形成了适于烟草生长的优良孔隙环境。

4.2. 水肥一体化对土壤水分稳定性的提升效应

烟草不同生育期水分需求差异显著,旺长期需水强度最大,对水分亏缺极为敏感[19]。常规处理漫灌灌溉不均,水分蒸发与深层渗漏严重,土壤含水量波动剧烈,旺长期易出现水分不足。控释肥处理前期含水量偏高,但后期消耗过快,导致旺长期水分亏缺明显。水肥一体化通过按需供给、少量多次,使土壤水分始终维持在适宜范围,既避免干旱,也防止过湿缺氧,特别在旺长期与成熟期表现出显著优势。

同时,水肥一体化改善土壤孔隙结构,提高毛管持水量,增强土壤自身保水能力,减少水分无效损耗,提高水分利用效率。在莒南、沂源烟区季节性干旱背景下,水肥一体化对稳定土壤水分[20]、保障烟草正常生长具有重要现实意义。

4.3. 不同处理土壤改良效应差异成因及实践意义

本研究明确土壤改良效应为水肥一体化 > 控释肥 > 常规施肥,其差异核心在于水肥供应方式与土壤扰动强度不同。常规施肥 + 漫灌模式对土壤结构破坏最大[21],土壤物理性状劣化明显;控释肥减少了施肥次数,对土壤有一定保护作用,但漫灌方式限制了改良效果;水肥一体化从根源上减轻了对土壤的物理破坏,同时优化根区水肥环境,促进土壤结构良性发育,实现了土壤物理性质的持续保持与改善[22]。

从生产实践看,常规模式管理粗放、水肥浪费严重;控释肥省工省时,但土壤改良效果有限;水肥一体化兼具节水、节肥、保土、增产潜力,符合烟田绿色发展要求。在莒南、沂源烟区推广水肥一体化,不仅能提升烟叶质量,还可实现土壤保育与可持续利用,生态效益与经济效益显著[23]。

4.4. 研究不足与展望

本研究仅聚焦土壤基础物理性质,未涉及土壤化学性质、微生物群落、酶活性及根系形态等指标[24],未来可开展多因素耦合研究,深入揭示水肥一体化改良土壤的综合机制。同时,可结合多年定位试验,探究长期水肥一体化应用对土壤演替规律的影响,为技术优化提供更全面支撑[25]。

5. 结论

本研究以山东莒南、沂源烟区为对象,系统研究了常规施肥、控释肥、水肥一体化 3 种模式对烟草全生育期土壤基础物理性质的影响,通过对土壤含水量、容重、总孔隙度、毛管孔隙度[26]、毛管持水量及土壤空气含量等指标综合分析,得出以下结论:

水肥一体化处理能够显著降低烟草全生育期土壤容重, 提高土壤总孔隙度、毛管孔隙度与毛管持水量, 优化土壤孔隙结构, 保持土壤疏松通透, 有效缓解土壤板结[27], 对土壤物理环境的改良与稳定作用最为突出。水肥一体化可精准调控土壤水分, 使烟草各生育期含水量保持稳定适宜状态, 尤其在旺长期与成熟期优势明显, 提升土壤保水供水能力, 增强烟株抗逆性[28]。

控释肥处理对土壤物理性状具有一定改善作用, 可在一定程度上提高土壤保水能力, 减少农事操作对土壤的扰动, 但受漫灌方式限制[29], 整体改良效果弱于水肥一体化。

常规施肥漫灌处理土壤紧实度高、孔隙结构稳定性差、水分波动幅度大、保水能力弱[30], 对土壤物理性质的保持效果最差, 长期应用易导致土壤结构退化。

综合土壤容重、孔隙度、含水量、毛管持水量等核心物理指标评价, 3种处理对烟田土壤的改良效应强弱顺序为: 水肥一体化 > 控释肥 > 常规施肥[31]。

研究结果证实, 水肥一体化技术在维持烟草生长过程中土壤基础物理性质、保育烟田土壤健康方面具有显著优势[32], 适宜在山东莒南、沂源烟区大面积推广应用, 对推动烟草生产绿色高效发展、实现烟田可持续利用具有重要理论与实践价值。

基金项目

中国烟草总公司山东省公司山东烟区丘陵砂质土壤保育技术项目, 项目编号(KN326)。

参考文献

- [1] 崔光周, 张警予, 王子臣, 等. 追施不同钾肥对水肥一体化滴灌烟草生长、产量及产值的影响[J]. 中南农业科技, 2025, 46(S1): 1-6.
- [2] 于东海, 窦金钢, 侯中华, 等. 半干旱区烟草滴灌水肥一体化技术规程[J]. 现代农业科技, 2025(15): 196-199+206.
- [3] 孟凡武, 赵鑫, 崔明祥, 等. 水肥一体化技术在烤烟种植中的应用研究[J]. 粮油与饲料科技, 2025(12): 200-202.
- [4] 周艳宾, 李敏, 马建彬, 等. 水肥药一体化技术对植烟土壤理化性质和烤烟产质量的影响[J]. 四川农业科技, 2025(5): 39-43.
- [5] Fu, X.K., Wu, X., Wang, H., Chen, Y., Wang, R. and Wang, Y. (2023) Effects of Fertigation with Carboxymethyl Cellulose Potassium on Water Conservation, Salt Suppression, and Maize Growth in Salt-Affected Soil. *Agricultural Water Management*, **287**, Article ID: 108436. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108436>
- [6] 侯金权, 刘雅琴, 王州庆, 等. 缓控释肥在烟草上的应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2026, 54(4): 6-10.
- [7] 侯金权, 周佳民, 黄文坤, 等. 缓控释肥在烤烟生产应用中的研究进展[J]. 安徽农学通报, 2025, 31(19): 49-52.
- [8] 黄莉莉. 基层农业中的土壤改良与肥料利用技术研究[J]. 河北农机, 2024(21): 82-84.
- [9] 武立丹. 浅谈设施果蔬土壤改良及水肥一体化利用技术[J]. 农业开发与装备, 2024(4): 202-204.
- [10] Selim, E. and Ali Mosa, A. (2012) Fertigation of Humic Substances Improves Yield and Quality of Broccoli and Nutrient Retention in a Sandy Soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **175**, 273-281. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100062>
- [11] 王占海, 肖让. 水肥一体化条件下增施有机肥 + 土壤调理剂对商品玉米生长及盐碱地改良效应的研究[J]. 农业科技与信息, 2022(23): 9-13.
- [12] 潘兴兵, 封俊, 简连均, 等. 掺混控释肥对不同酸碱土壤烤烟根系和烟叶产质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(12): 95-100.
- [13] 刘欣玲. 水肥一体化模式种植花生对风沙区土壤改良作用[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2020.
- [14] 赵晨浩. 新型保水剂和保水型控释肥的研制及对土壤持水性状改良的机制[D]: [博士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [15] Solaiman, Z.M., Shafi, M.I., Beamont, E. and Anawar, H.M. (2020) Poultry Litter Biochar Increases Mycorrhizal Colonisation, Soil Fertility and Cucumber Yield in a Fertigation System on Sandy Soil. *Agriculture*, **10**, Article No. 480. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100480>
- [16] 王黎, 梁梅, 范江, 等. 缓/控释肥在烟草上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2018(24): 12+14.

- [17] 陈清. 规模化农场生产要和水肥一体化技术相结合[J]. 中国农资, 2018(26): 5.
- [18] 周红伟. 设施蔬菜水肥一体化自动控制及土壤改良技术集成研究与示范[Z]. 青海省, 西宁市蔬菜科学研究所, 2017.
- [19] 郝进德, 李智强, 刘军. 额敏县蒙古乡食葵水肥一体化土壤改良及防治食葵列当效果试验[J]. 现代农业科技, 2017(15): 27-28.
- [20] 孟凡武, 王俊岩, 田海东, 等. 控释肥在砂性土壤条件下烟叶生产技术开发与推广探析[J]. 现代农业科技, 2017(7): 67-70.
- [21] 李红梅, 祝青凤, 周勤, 等. 福海县食葵水肥一体化对土壤改良及列当的防治效果[J]. 农村科技, 2017(4): 22-24.
- [22] 郑祥洲, 张晶, 张玉树, 等. 控释专用肥在烤烟生产上的应用[J]. 中国农学通报, 2016, 32(10): 53-57.
- [23] 郑新生, 杨启华, 王海涛. 胶粘型烟草专用控释肥使用效果研究[J]. 现代农业科技, 2015(22): 195-196+198.
- [24] Chanthai, S., Machikowa, T., Wonprasaidee, S. and Boonkerd, N. (2013) Effects of Fertigation, Water Application Frequency and Soil Amendment on Tomato Production. *Acta Horticulturae*, **984**, 187-195. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2013.984.20>
- [25] 吴大贵. 缓控释肥在常见农作物上的施用技术[J]. 农村新技术, 2014(6): 8-9.
- [26] 何永秋, 刘国顺, 高传奇, 等. 缓/控释肥在烟草上的应用与展望[J]. 中国农学通报, 2012, 28(28): 109-113.
- [27] 吴大贵. 缓控释肥及其施用技术[J]. 农技服务, 2012, 29(3): 297+299.
- [28] 张西森. 潍坊市设施农业耕地土壤退化改良技术模式探析[J]. 现代农业科技, 2009(24): 267-268.
- [29] 王先伟, 赵伟庆, 季建军, 等. 控释肥在烟草生产上的应用[J]. 现代农业科技, 2008(23): 192-193.
- [30] 耿毓清, 张民, 段路路, 等. 控释肥残膜对土壤物理性质及油菜生长效应的影响[J]. 水土保持学报, 2006(4): 94-97.
- [31] 尹凤武. 水肥一体化技术在现代烟草种植中的应用研究[J]. 粮油与饲料科技, 2025(4): 195-197.
- [32] Junaedi, M., Saporso, S. and Rifan, M. (2018) Physiological Aspects of Cauliflower Plants Affected by Fertigation Intervals and Doses of Various Inter-Season Soil Ameliorants in Coastal Sandy Land. *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, **6**, 84-91. <https://doi.org/10.18196/pt.2018.084.84-91>