

DOI: 10.3969/j.issn.0488-5368.2025.03.013

· 资源环境 ·

有机肥添加对渭北旱塬苹果园土壤水氮及果实产量和品质的影响

赵鹏^{1,3}, 冯浩^{2,3}, 董勤各^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 针对黄土高原渭北旱塬苹果园土壤肥力低、蓄水保墒能力弱等问题, 研究不同土壤改良模式对渭北旱塬苹果园土壤水分、土壤硝态氮以及苹果产量和品质的影响, 为渭北旱塬苹果产业的高效稳定发展提供技术支撑。本研究以 8 a 生‘烟富 10’苹果为试验材料, 设置了商品有机肥(OF)、商品有机肥+微生物菌剂(OFM)、商品有机肥+光合细菌菌剂(OFP)和商品有机肥+微生物菌剂+光合细菌菌剂(OFMP) 4 种有机肥添加方式, 以不添加有机肥为对照(CK), 研究了不同处理对苹果园土壤含水量、土壤硝态氮、果树枝条及苹果产量与品质的影响。结果表明: 与对照相比, 不同有机肥添加方式对土壤含水量、土壤硝态氮含量、新梢长度、果实硬度、果实可溶性固形物、固酸比和产量均有改善, 各处理中 OFMP 处理和 OFM 处理效果较为显著。同时, OFMP 处理的果树叶片叶绿素含量显著高于 OFM 处理, 并且 OFP 处理的果树叶片叶绿素含量显著高于 OF 处理, 表明在施肥条件相同的情况下, 添加光合细菌菌剂可显著提升叶片叶绿素含量。但各处理下, 苹果可滴定酸含量与 CK 相比无显著性差异。OFMP 处理的增加效益比增加投入值最大为 2.06。整体上, 商品有机肥配施微生物菌剂和光合细菌菌剂的施肥方式可以增加土壤水分和土壤硝态氮含量, 改善苹果品质, 提高产量, 与其他处理相比改善效果最佳, 且经济效益最高。

关键词: 有机肥; 微生物菌剂; 渭北旱塬; 苹果

中图分类号: S663 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2025)03-0067-08

Effects of Organic Fertilizer Additions on Soil Water and Nitrogen As Well As Fruit Yield and Quality in Apple Orchards of Weibei Dryland Plateau

ZHAO Peng^{1,3}, FENG Hao^{2,3}, DONG Qinge^{2,3}

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Soil and Water Conservation Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The apple orchards in the Weibei dryland plateau of the Loess Plateau face challenges such as low soil fertility and poor moisture retention. This study investigates the effects of different organic fertilizer application methods on soil moisture, nitrate nitrogen content, and apple yield and quality to provide technical support for the efficient and stable development of the apple industry in this region. Eight-year-old ‘Yanfu 10’ apple trees were used as experimental materials, with five treatments: (1) commercial organic fertilizer alone (OF), (2) commercial organic fertilizer combined with a microbial agent (OFM), (3) commercial organic fertilizer

收稿日期: 2024-03-14 修回日期: 2024-04-07

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1900703)

第一作者简介: 赵鹏(1999-), 男, 主要从事土壤改良和农业水土高效利用。

通信作者: 董勤各。

combined with a photosynthetic bacterial agent (OFP), and (4) commercial organic fertilizer combined with both microbial and photosynthetic bacterial agents (OFMP). A control treatment (CK) without organic fertilizer application was also included. The effects of these treatments on soil moisture content, soil nitrate nitrogen, shoot growth, apple yield, and fruit quality were examined. The results showed that all organic fertilizer treatments improved soil moisture content, nitrate nitrogen levels, new shoot length, fruit firmness, soluble solids, solid-acid ratio, and yield compared to the control. Among the treatments, OFMP and OFM had the most pronounced effects. Additionally, the chlorophyll content in the leaves of trees under the OFMP treatment was significantly higher than that under the OFM treatment, while the OFP treatment also led to a significantly higher chlorophyll content than OF treatment. This indicated that the addition of photosynthetic bacterial agents could significantly enhance chlorophyll content under the same fertilization conditions. However, there was no significant difference in fruit titratable acid content among treatments compared to the control. The OFMP treatment achieved the highest economic benefit, with a benefit-to-cost ratio of 2.06. Overall, the combined application of commercial organic fertilizers with microbial and photosynthetic bacterial agents improves soil moisture and nitrate nitrogen content, enhances fruit quality, increases yield, and provides the greatest overall benefits compared to other treatments.

Key words: Organic fertilizer; Microbial agent; Weibei dryland Plateau; Apple

引言

陕西渭北旱塬位于黄土高原中南部,光热资源丰富,昼夜温差大,其独特的生态环境有助于高品质苹果的生产,该区苹果产量和品质更是国内苹果产业的引领者,苹果产业的发展也成为当地农民增收的重要支柱产业^[1,2]。然而,该区苹果园土壤质量下降、有机质含量变低、无机肥用量过多、施肥配比不均衡等不利因素制约着当地苹果产业的绿色、高效和可持续发展^[3-6]。因此,如何通过土壤改良提升果园土壤肥力和蓄水保墒能力,对促进渭北旱塬果园农业的可持续发展,以及农民经济效益的提高均具有重要的科学与技术价值。

有研究表明,有机肥中有机质含量高、养分丰富、肥效持久,可以起到保水保肥、改善土壤质量、增加土壤微生物活性等作用,促进植物根系对养分的吸收与转化、提高养分的有效性,达到提高作物产量改善作物品质的效果^[7-9]。路克国等^[10]研究发现与不施肥相比,施用有机肥的处理土壤容重降低了 12.5%,土壤毛管孔隙度增加了 9.8%,表明施用有机肥有利于提高土壤保水保肥和通气能力,显著改善土壤结构。李来贵等^[11]研究发现,增施有机肥可提高苹果硬度及可溶性固形物含量,果实商品率及品质显著提高,果实风味更佳。此外微生物菌剂的使用也可以通过大量有益微生物活动,促使土壤形成团粒结构、增加通透性、提升土壤肥力、改善土壤质量、丰富土壤中的营养物质,同时促进果树根系生长、提高果树对养分的利用率、增强果

树的抗逆境能力^[12-14]。侯亚玲等^[15]研究发现,土壤中添加枯草芽孢杆菌后,土壤中水分的迁移能力显著降低,土壤团聚体的结构得到改善,为果树生长发育创造良好且稳定的土壤环境。以往研究验证了有机肥或微生物菌剂的单独使用可以有效改善土壤环境,提高作物的产量和品质。但将有机肥与微生物菌剂结合使用针对渭北旱塬区苹果园土壤改良和果实品质提升的研究较为缺乏。

因此,本研究以陕西省旬邑县 8 a 生矮化苹果‘烟富 10’为供试对象,研究不同土壤改良技术下对渭北旱塬苹果园土壤水分、土壤硝态氮以及苹果产量和品质的影响,并筛选适宜的土壤改良技术,为渭北旱塬苹果产业的高效可持续发展提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验区位于陕西省旬邑县第一季现代农业科技有限公司(35°1'37"N,108°27'34"E,海拔 1 430 m)。多年平均气温 10.9 °C,昼夜温差 12.6 °C,年降水量 680 mm,无霜期 170 d,年日照时间 2 390 h,土壤类型为褐土,土壤平均容重为 1.48 g/cm³,土壤全氮含量为 0.81 g/kg,有机质含量为 8.51 g/kg,速效磷含量为 13.01 mg/kg,速效钾含量为 110.47 g/kg。

1.2 试验材料

供试材料为苹果树,品种为‘烟富 10’,树龄为 8 a,种植株行距为 1.5 m×4 m。商品有机肥主要

原料为羊粪,购自湖北新洋丰肥业股份有限公司,有机质含量 $\geq 45\%$ 。微生物菌剂为枯草芽孢杆菌,购自山东安丘市天赐生物肥料有限公司,有效活菌数为 50 亿/g。光合细菌菌剂为沼泽红假单胞菌,购自平顶山美尚农业科技有限公司,有效活菌数 ≥ 10 亿/g。

1.3 试验处理

试验于2022年4月初开始,试验区果树全部覆地布,设置5种有机肥添加方式:商品有机肥(OF),商品有机肥+微生物菌剂(OFM),商品有机肥+光合细菌菌剂(OFP),商品有机肥+微生物菌剂+光合细菌菌剂(OFMP),不添加有机肥与菌剂(CK),每个处理9棵果树,3次重复,共15个试验小区。有机肥与微生物菌剂的施肥方式为双沟条施,在距树干两侧约40 cm的地方开沟,宽度为20 cm,深度设置为40 cm,分别为有机肥9 kg/棵,微生物菌剂8 g/棵,于试验开始时一次性施完。光合细菌菌剂为叶面喷施,施用量为1.5 g/棵,将光合细菌菌剂原液稀释1 000倍后,用干净喷壶均匀喷湿叶面即可,试验开始后每隔30 d喷施一次,共计喷施4次。商品有机肥、微生物菌剂和光合细菌菌剂的施肥量根据当地调研和商家推荐量综合确定。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤含水量测定 2022年分别于试验布设后的每个月将各处理随机抽取3株果树,利用土钻在距树干40 cm处取0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm土样,剔除杂质混匀,装于小铝盒,用烘干法测土壤含水量。

1.4.2 土壤硝态氮 2022年分别于果树生长的各生育期将各处理随机抽取3株果树,利用土钻在距树干40 cm处取0~20、20~40、40~60 cm土样,经风干研磨后过1 mm筛,用2 mol/L的KCl溶液浸提,用AA3型流动分析仪(AutoAnalyzer-III,德国Bran+Luebbe公司)测量土壤里的硝态氮。

1.4.3 果树生长指标 叶绿素含量测定:在果实成熟时,每个处理选取3棵果树,从树干外围不同方向上采集叶片各3片,每株12片,用SPAD502叶绿素仪测定叶片叶绿素相对含量。

新梢生长量:开花坐果期时,在树的四个方向同样高度的部位,选取长势相同的8个新梢枝条并挂牌标记,开始测量新梢长度,每隔1个月测量1次,共测量5次。

1.4.4 果实指标 果实品质测定:在10月中下旬果实成熟期于树体东南西北4个方向各采集2个果实,每个处理24个果实组成混合样品,用于测定

果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖含量、VC。果实硬度采用质构仪测定,可溶性固形物含量采用PAL-1数显糖度计测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定,可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定,VC含量采用2,6-二氯酚酚滴定法。果实产量测定:在10月中下旬果实成熟期于树体东南西北4个方向各采集2个果实,每个处理24个果实,依次称重,同时记录每颗果树苹果数量,计算果实单果重和单株产量。

1.5 计算及统计方法

试验采用Excel 2016进行数据基础整理,应用IBM SPSS Statistics 19进行显著性分析,应用origin 2018进行绘图。

2 结果与分析

2.1 有机肥添加对果园土壤水分的影响

图1表示不同处理0~100 cm土层土壤平均含水率在2022年随时间的变化趋势。对于整体水分变化过程而言,在果树开始发育时,土壤水分消耗逐渐增强,此时降雨量小对土壤水分补给作用弱,土壤水分随时间推移开始变小。在开花坐果期,土壤含水率达到了最低值,在开花坐果期的后期有所回升,主要原因是降水量增多。果实膨大期持续时间长,此时温度辐射较高使得果树蒸腾量变大,但这个时期降雨量最大,因此土壤水分随时间推移出现大幅度回升的现象。随着时间进一步推移到达果实成熟期,果树对土壤水分的消耗减弱,此时大部分处理土壤含水量变化幅度不大。从图1也能看出,不同的有机肥添加方式提高了土壤含水量,整个生育期各处理的平均含水量大小顺序为OFMP>OFM>OFP>OF>CK,CK处理的平均含水量最低为17.51%,OFMP处理的平均含水量最高为20.56%,较CK提升了17.35%。

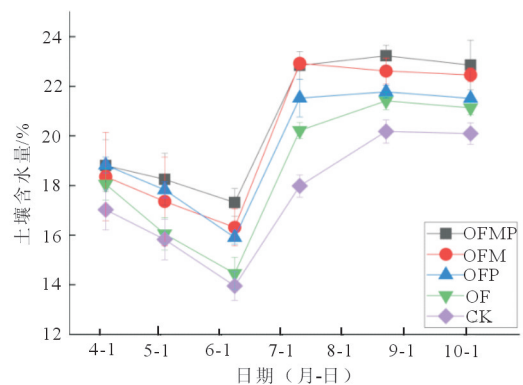


图1 2022年苹果生育期内土壤水分动态变化
由图2可知,不同处理下不同生育期的土壤含

水量在不同土层深度呈现的规律不尽相同。土壤水分变化规律随土壤深度出现先增大后减小的整体趋势(萌芽期 OFP、OF 和 CK 处理除外),而最小值出现在土壤表层或 100 cm 的土层。对于萌芽期,40~60 cm 土层 OFMP 和 OFM 处理土壤含水量显著高于 OFP、OF 和 CK 处理,其余土层差异不显著。对于开花坐果期,由于降水量少,表层土壤(0~20 cm)水分含量较 20 cm 以下土层含水量低,各处理水分含量一般在 20~40 cm 土层达到最大,40~100 cm 土层含水量不断降低。在 0~100 cm 土层,OFMP 处理土壤平均含水量最高,为 23.46%,相较于土壤含水量最低的 CK 处理提升了 10.29%。在果实膨大期,果树生长旺盛,果树对水分需求旺盛,但随着降雨的增多,此时各处理土壤含水量(20~60 cm)较高,受果树需水量增大的影响,60~100 cm 深度土层土壤含水量显著降低,此时 OFMP 处理的土壤含水量最高为 23.14%。果实成熟期降雨减少,且果树的对水分的消耗减弱,这一阶段土壤含水量(20~40 cm)为生育期内最高值,

此时 OFMP 处理的土壤含水量最高为 23.42%,CK 处理的土壤含水量最低为 21.17%。试验表明,生育期内因不同的有机肥添加方式,影响了 0~100 cm 土层的土壤含水量的垂直分布情况。总体来看,OFMP 处理效果最好,提升土壤含水量最大。

2.2 有机肥添加对果园土壤硝态氮的影响

2022 年各关键生育期 0~60 cm 土壤硝态氮的时空分布如图 3 所示,苹果生育期内土壤硝态氮含量受有机肥不同添加方式的影响显著。CK 处理的土壤硝态氮含量在整个生育期都保持了较低的水平。各处理 0~60 cm 土层硝态氮含量的趋势基本一致,即施肥后含量较大,然后逐渐下降。各处理 0~20 cm 硝态氮含量的最高值在 9.79~38.80 mg/kg 之间(图 3a),高于 20~40 cm 土层的 3.85~30.66 mg/kg 和 40~60 cm 土层的 5.02~34.02 mg/kg(图 3b 和图 3c),OFMP 处理的峰值均显著高于其他处理。OFMP 处理 3 个土层平均硝态氮含量分别为 24.23 mg/kg、19.72 mg/kg 和 18.57 mg/kg,均高于 OFM、OFP 和 OF 处理。

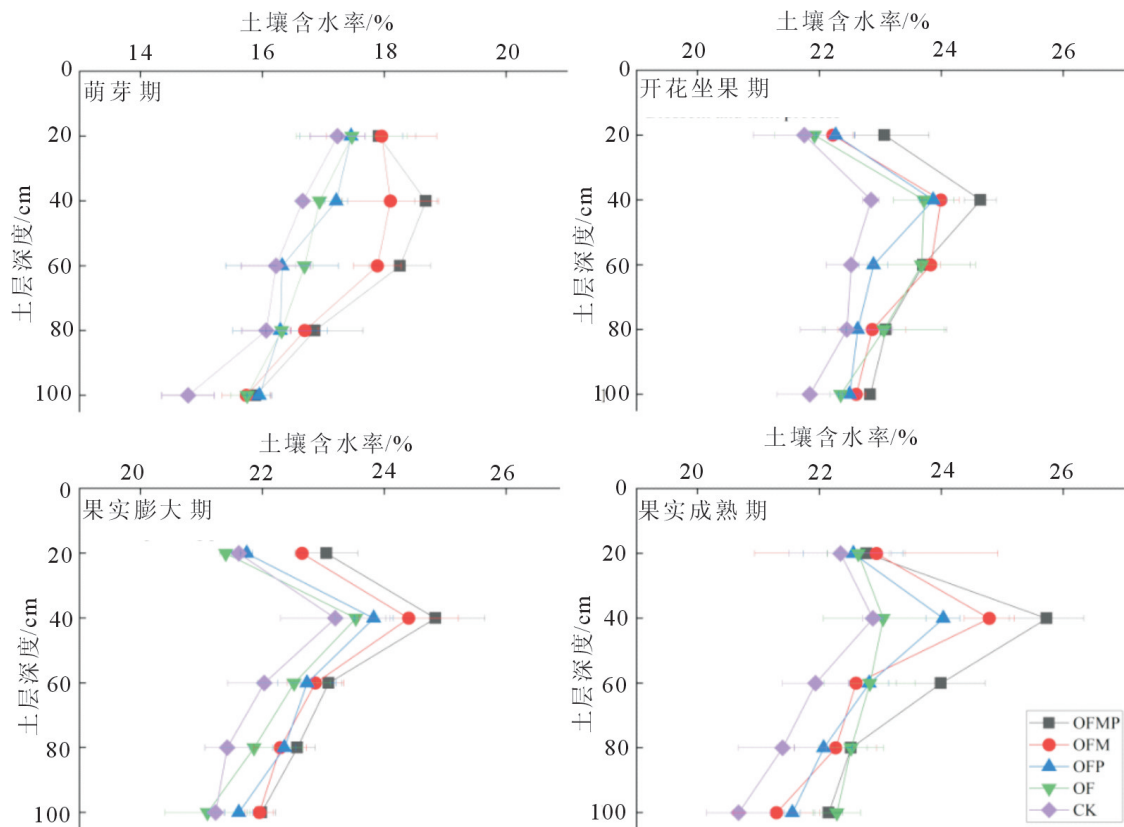


图 2 2022 年各处理在不同生育期下 0~100cm 土壤含水量垂直分布情况

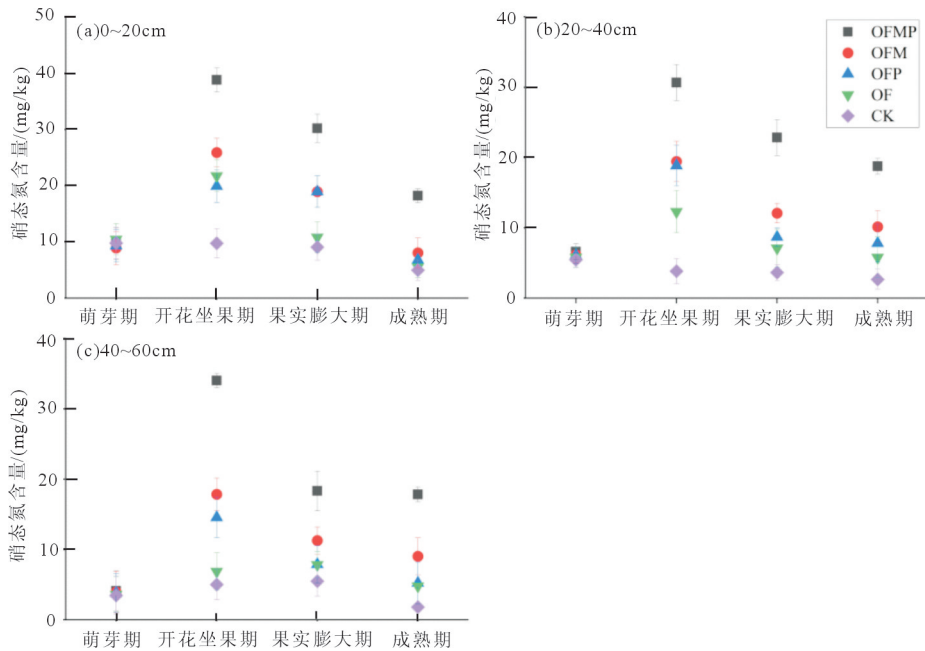


图3 2022年各生育期0~60 cm土壤硝态氮含量

2.3 有机肥添加对苹果树叶片叶绿素的影响

图4是2022年不同有机肥添加方式对苹果树叶片叶绿素的影响见图4。由图4可知,各处理的苹果叶片叶绿素含量相较于CK处理均有显著提升,OFMP、OFM、OFP和OF处理相比于CK处理分别提高了12.56%、7.74%、10.64%和5.95%,其中OFMP处理的叶片叶绿素含量最高为59.78。此外发现OFMP处理的叶绿素含量显著高于OFM处理,OFP处理的叶绿素含量显著高于OF处理,说明在其余施肥条件相同的情况下,光合细菌菌剂的使用促进了叶片叶绿素含量的提升。

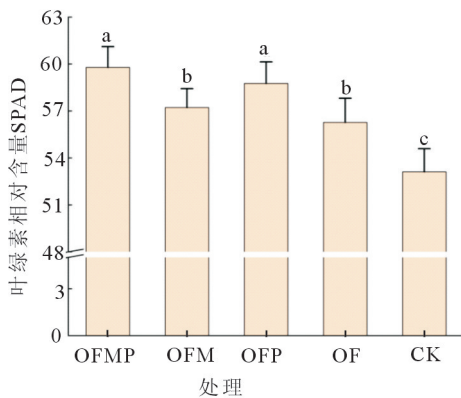


图4 不同处理对叶绿素含量的影响

2.4 有机肥添加对苹果树新梢长度的影响

不同有机肥添加方式下的苹果树新梢生长随时间的变化见图5。由图5可知,不同处理下的苹果树新梢长度随时间的变化规律基本一致,均呈“慢-快-慢”的变化趋势,在萌芽期到开花坐果期,新梢增长速度逐渐加快,在果实膨大期初期时速度达到最大,后续又逐渐变慢。整个生育期内各试验

处理的新梢长度均大于CK处理。由图6可知,不同有机肥添加方式下苹果树新梢最终长度存在显著差异,OFMP、OFM、OFP和OF处理下苹果树新梢最终长度分别比CK处理显著增加了32.35%、26.47%、19.11%和14.71%。其中,OFMP处理下苹果树新梢最终长度最高。

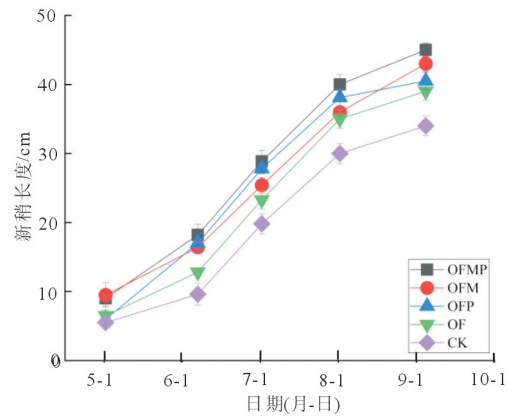


图5 不同处理对苹果树新梢长度的影响

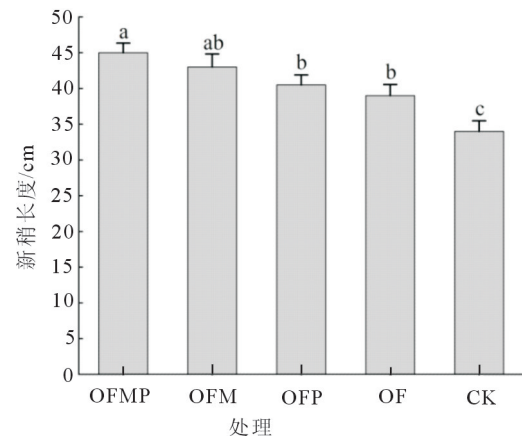


图6 不同处理对苹果树新梢最终长度的影响

2.5 有机肥添加对苹果果实产量的影响

由表 1 可知,在不同的有机肥添加方式下,各试验处理的单果质量都显著高于 CK 处理。提升单果质量最大的处理是 OFMP 处理,相较于 CK 处理,提升了 33.95%;提升单果质量最小的处理是 OF 处理,相较于 CK 处理,提升了 11.72%。单株产量的变化趋势与单果质量的变化相近。在有机

肥的不同添加方式下,各个试验处理的单株产量都显著大于 CK 处理。提升单株产量的最大的处理是 OFMP 处理,相较于 CK 处理,提升了 57.17%;提升单株产量最小的处理是 OFP 处理,相较于 CK 处理,提升了 22.18%。整体上,OFMP 处理下的苹果产量最高。

表 1 不同处理对单果质量和果实产量的影响

处理	单果质量		单株产量	
	实测值/g	提升比例/%	实测值/g	提升比例/%
OFMP	257.68±3.79a	33.95	22.68±1.40a	57.17
OFM	250.02±2.46a	29.97	21.25±1.22ab	47.26
OFP	251.85±5.38a	30.92	17.63±2.10c	22.18
OF	214.92±6.15b	11.72	18.91±1.46bc	31.05
CK	192.37±6.41c		14.43±1.27d	

2.6 有机肥添加对苹果果实品质的影响

由表 2 可知,不同的有机肥添加方式对苹果果实品质的影响存在着差异。OFMP、OFM 和 OFP 处理的果实硬度相比于 CK 有显著提升,其中 OFMP 处理的果实硬度提升最大为 9.20%。OFMP 和 OFM 处理下的苹果可溶性固形物含量显著高于 OF 和 CK 处理,所有处理中 OFMP 的可溶性固形物含量最大。不同的有机肥添加方式对苹果可滴定酸含量有不同程度的减小,其中可滴定酸含量最

小的是 OFM 处理,但所有处理之间均无显著性差异。OFMP 处理下的固酸比最大为 68.58,相比于 CK 显著增加了 41.78%,其次是 OFM 处理,相比于 CK 显著增加了 35.87%,OFP 与 OF 处理的固酸比也高于 CK 处理,但无显著性差异。VC 含量的最大值出现在 OFP 处理,为 6.01 mg/kg。总体而言,不同的有机肥添加方式一定程度上提升了果实品质,OFMP 处理下的提升效果最佳。

表 2 不同处理对苹果品质的影响

处理	硬度 (N/cm ²)	可溶性固形物 /%	可滴定酸/%	固酸比	VC(mg/kg)
OFMP	10.45±0.19a	17.01±0.61a	0.25±0.03a	68.58±5.83a	5.11±0.38ab
OFM	10.23±0.14b	16.49±0.18a	0.24±0.05a	65.72±3.02ab	4.51±0.12bc
OFP	10.05±0.11bc	15.52±0.14ab	0.27±0.01a	58.31±6.81abc	6.01±0.76a
OF	9.83±0.09cd	15.23±0.60bc	0.28±0.02a	55.11±8.2bc	4.21±0.56bc
CK	9.57±0.11d	14.78±0.93c	0.29±0.05a	48.37±6.29c	3.91±0.04c

2.7 有机肥添加对经济效益的影响

由表 3 可知,各有机肥处理相比于 CK 处理提高了 22.18%~57.17% 的苹果产值,其中 OFMP 处理产值提高最大。OFMP、OFM、OFP 和 OF 处理的

增加效益比增加投入值分别为 2.06、1.76、0.81 和 1.17,其中 OFMP 处理带来的效益最大,而 OFP 处理没有带来效益。

表3 经济效益分析

处理	产量 (kg/hm ²)	产值(元/hm ²)	肥料投入 (元/hm ²)	较CK处理增加的 其他成本(元/hm ²)	增加的效益/增加的投入
OFMP	37 784.88	294 722.06	38 168.06	13 814	2.06
OFM	35 402.50	276 139.50	38 018.12	12 464	1.76
OFP	29 371.58	229 098.32	37 634.94	13 814	0.81
OF	31 504.06	245 731.67	37 485.00	12 464	1.17
CK	24 040.38	187 514.96	0	0	—

注:苹果:7.8元/kg,有机肥:2.5元/kg,微生物菌剂:40元/kg,光合细菌菌剂:60元/kg,较CK处理增加的其他成本:施肥的设备和人工等总费用。

3 讨论与结论

土壤水分是可被作物直接利用的唯一水资源。研究发现有机肥的使用可以增加土壤中有机质的含量^[16],有机质通过促进土壤水稳性团聚体结构的形成,进而促进土壤水分的保持^[17,18]。张帅普等^[19]研究表明,土壤有机质量与土壤水分正相关。本研究发现在各处理中OFMP处理与OFM处理对土壤含水量的提升较大,这是由于在有机肥施用中添加了微生物菌剂,微生物菌剂中的有效菌群可以促进土壤中难溶性养分的溶解和释放,提高土壤养分和已有养分的利用率^[20],从而提升土壤有机质含量,最终提高土壤水分。硝态氮是可被植物直接吸收利用的主要氮源^[21]。本研究发现各处理0~20 cm土层的硝态氮含量高于20~40 cm土层和40~60 cm土层,这是因为矮化苹果的根系较浅,主要根系分布在地下40~50 cm,因此这附近土壤中的硝态氮被苹果根系大量吸收。而各处理中OFMP处理的硝态氮含量最高,是因为微生物菌剂可使养分在分解过程中生成腐殖酸,腐殖酸与土壤中的氮形成腐殖酸铵,可减少氮素的流失,增加土壤中氮素含量^[22],并且光合细菌菌剂中的沼泽红假单胞菌可将大气中的分子氮转化为植物可利用的铵,补充植株生长发育所需要的氮素,缓解植株从土壤中的氮吸收^[23]。

本试验中,光合细菌菌剂对叶片叶绿素含量有显著提高,与有机肥、微生物菌剂配合施用后,促进的效果更佳。这与赵蕾^[24]等人的研究结果相同。孙守文^[25]等提出可以通过叶绿素含量来推测植物的营养状况,由此可推测OFMP处理的植物营养状况最好。新梢是反映果树生长的重要指标。有研究发现水分是影响幼苗生长的关键因素^[26],较高的土壤含水量促进果树对养分的吸收,进而促进新梢生长^[27]。这与本研究结论基本一致,土壤含水量最高的处理对应的新梢长度也最长。

由上述试验还可以发现,不同的有机肥添加方

式一定程度上提升了果实品质,OFMP处理下的提升效果最佳,主要表现在果实硬度、可溶性固形物、固酸比和产量的提升。这与刘洋洋^[28]等人的研究结果相同。其原因是有机肥中有机质含量高,养分丰富,肥效持久^[29-31],为果树生长提供了良好的养分环境。并且微生物菌剂的配施,可促进土壤微生物活性,活化土壤中的潜在养分,提高果树对土壤养分的利用,进而促进果树对有效养分的吸收利用,最终提高果实品质。但不同的有机肥添加方式对苹果可滴定酸含量的影响不显著,这与杨顺强等人^[32]的研究结果相似,有研究表明可滴定酸含量与肥料养分含量有关,苹果钾含量的增加可降低可滴定酸含量^[33-35]。有机肥的施用虽然提供了丰富的养分,但没有额外补充钾肥,苹果需钾量大,因此无法保证速效养分的大量供应,使得对苹果可滴定酸含量的减少不显著。

基于以上研究发现,不同方式的有机肥添加可以使土壤含水量、土壤硝态氮含量、新梢长度、果实硬度、果实可溶性固形物、固酸比和产量增加,在其余施肥条件相同的情况下,光合细菌菌剂的添加可显著提升叶片叶绿素含量,但各处理对苹果可滴定酸含量的影响不显著。在所有处理中,商品有机肥配施微生物菌剂与光合细菌菌剂处理的综合效果最优,且经济效益最大。因此本研究结果认为,在渭北旱塬苹果园中商品有机肥+微生物菌剂+光合细菌菌剂的有机肥添加方式最佳。试验虽然对渭北旱塬苹果园中有机肥的添加方式做了一定探究,但是否存在更加合理的施用方式有待进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 赵佐平, 同延安, 刘芬, 等. 渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 1 003-1 009.
- [2] 路永莉. 苹果园水肥一体化和钾肥肥效研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [3] 束怀瑞. 关于苹果产业新动能的几点思考[J]. 落叶果树, 2018, 50(2): 1-2.

- [4] Wang N, Wolf J, Zhang FS, *et al.* Towards sustainable intensification of apple production in China—Yield gaps and nutrient use efficiency in apple farming systems [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(4): 716 - 725.
- [5] 黄鸿翔, 李书田, 李向林, 等. 我国有机肥的现状与发展前景分析[J]. *土壤肥料*, 2006(1): 3-8.
- [6] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(20): 4 207-4 229.
- [7] 郭蓉. 施用有机肥和产胞外多聚物菌株在改善土壤团聚体结构及生物活性中的作用[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [8] 郑朝霞, 王颖, 石磊, 等. 陕西省苹果主产区土壤有机质、氮磷钾养分含量与分布特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(5): 1 191-1 198.
- [9] 付丽军, 张爱敏, 王向东, 等. 生物有机肥改良设施蔬菜土壤的研究进展[J]. *中国土壤与肥料*, 2017(3): 1-5.
- [10] 路克国, 朱树华, 张连忠. 有机肥对土壤理化性质和富士苹果果实品质的影响[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2003, 31(3): 205-208.
- [11] 李来贵, 李永伟, 魏海云, 等. 有机肥对苹果品质影响的试验研究[J]. *山西果树*, 2019, 40(1): 7-8.
- [12] Lessmann M, Ros GH, Young MD, *et al.* Global variation in soil carbon sequestration potential through improved cropland management[J]. *Global Change Biology*, 2021.
- [13] 田伟, 刘伟, 宋伊真, 等. 复合微生物肥料对设施生菜生长发育及土壤特性的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 36(4): 260-266.
- [14] Chang E, Chung R, Tsai Y. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(2): 132-140.
- [15] 侯亚玲, 周蓓蓓, 王全九. 枯草芽孢杆菌对盐碱土面蒸发及水盐分布的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2): 306-311.
- [16] 周喜荣, 张丽萍, 孙权, 等. 有机肥与化肥配施对果园土壤肥力及鲜食葡萄产量与品质的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2019, 53(6): 861-868.
- [17] 刘秀, 司鹏飞, 张哲, 等. 地膜覆盖对北方旱地土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(21): 7 870-7 877.
- [18] 何修道, 党宏忠, 王立, 等. 北方地区植物篱系统土壤水分特征曲线模拟与分析[J]. *草业学报*, 2016, 25(7): 42-51.
- [19] 张帅普, 邵明安. 绿洲边缘土壤水分与有机质空间分布及变异特征[J]. *干旱区研究*, 2014, 31(5): 812-818.
- [20] 王艳平, 李萍, 吴文强, 等. 生物有机肥和微生物菌剂对北京山区连作茶藨生长及土壤肥力的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2014, 3(3): 1-10.
- [21] 李晨阳, 孔祥强, 董合忠. 植物吸收转运硝态氮及其信号调控研究进展[J]. *核农学报*, 2020, 34(5): 982-993.
- [22] 吕亮雨, 段国珍, 李发毅, 等. 微生物菌剂对枸杞生长及土壤养分的影响[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(1): 168-175.
- [23] 苏品, 张德咏, 张卓, 等. 光合细菌的农用微生物功能解读[J]. *中国生物防治学报*, 2021, 37(1): 30-37.
- [24] 赵蕾. 施肥中添加菌剂对土壤微生物及富士苹果生长、结果的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.
- [25] 孙守文, 赵蕾, 古丽·米热, 等. 干旱区红富士苹果新叶和功能叶叶绿素 SPAD 值变化规律研究[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2013, 31(5): 582-586.
- [26] 钟韵, 费良军, 曾健, 等. 根域水分亏缺对涌泉灌苹果幼树产量品质和节水的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(21): 78-87.
- [27] 李中杰, 费良军, 郝琨, 等. 涌泉灌下水氮耦合对陕北山地苹果光合特性、产量和水氮利用的影响[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(3): 967-975.
- [28] 刘洋洋, 束怀瑞, 陈伟. 混施微生物菌剂和有机肥对‘新红星’苹果解袋后果实品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2021(1): 169-17.
- [29] 刘远芝. 开发利用有机肥料的值及对策[J]. *四川农业科技*, 2004(5): 8.
- [30] 李晗. 辽宁省畜禽粪肥有机肥资源利用中的问题及对策[J]. *农业科技与装备*, 2013(4): 13-14.
- [31] 贝凯月, 向春阳, 赵秋, 等. 有机肥替代化肥对设施蔬菜土壤有效态 Fe、Mn、Cu 含量的影响[J]. *华北农学报*, 2020, 35(6): 148-154.
- [32] 杨顺强, 罗家刚, 吴银梅, 等. 沼肥和化肥配合施用对苹果品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2013, 42(1): 63-66.
- [33] 哈蓉, 王昊, 杨波, 等. 化肥减量配施有机肥对苹果生长品质及土壤养分的影响[J]. *农业与技术*, 2023, 43(17): 5-8.
- [34] 岳宗伟, 李嘉骁, 孙向阳, 等. 化肥有机肥配施对土壤性质、樱桃果实品质和产量的影响[J]. *浙江农业学报*, 2023, 35(9): 2 192-2 201.
- [35] 刘伟锋, 张磊, 杨文英, 等. 骏枣园土壤养分与枣果实品质间的典型相关性分析[J]. *经济林研究*, 2021, 39(2): 104-114+122.