

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.01.031.

邵发琦, 李改民, 柯斧, 等. 肥水蚓坑措施下不同施肥对土壤养分和山地苹果生产的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(1): 197-203.

SHAO Faqi, LI Gaimin, KE Fu, et al. The Effect of Different Fertilization on Soil Nutrient and Mountain Apple Production Under the Fertilizer Water Earthworm Pit Measures[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(1): 197-203.

# 肥水蚓坑措施下不同施肥对土壤养分和山地苹果生产的影响

邵发琦<sup>1,2</sup>, 李改民<sup>3</sup>, 柯斧<sup>1</sup>, 张文慧<sup>1</sup>, 李夏<sup>1</sup>,

白岗栓<sup>4</sup>, 孙本华<sup>2,5</sup>, 高明霞<sup>6</sup>, 冯浩<sup>4,5,6</sup>

(1.安康市农业科学研究院, 陕西 安康 725021; 2.西北农林科技大学 资源环境学院/

农业农村部西北旱地农业绿色低碳重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3.河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院,

郑州 450001; 4.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 5.西北农林科技大学

中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100; 6.西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**陕北黄土高原丘陵沟壑区是山地苹果重要产区,为提升山地果园土壤养分和果实品质及产量,以“肥水蚓坑”措施为基础,通过田间试验探讨不施肥、单施化肥、有机无机肥配施(牛粪+化肥、菇渣+化肥、牛粪+菇渣+化肥)等不同施肥对山地果园土壤养分、叶片营养、苹果产量与品质的影响。结果表明:(1)不施肥处理的土壤有机质含量和速效养分含量均低于施肥处理,其中,单施化肥处理低于有机无机肥配施处理,牛粪+菇渣+化肥处理的效果优于其他施肥处理。(2)施肥处理的苹果叶片不同生育期的全氮、磷、钾含量均显著高于不施肥对照,有机无机肥配施处理优于单施化肥处理。(3)不施肥处理与施肥处理的苹果果实硬度和果形指数无显著差异,施肥处理均可显著提高苹果产量和果实可溶性固形物、可溶性糖及维生素C含量,牛粪+菇渣+化肥优于其他处理,单施化肥的果实可滴定酸含量显著高于不施肥和有机无机肥配施。单施化肥的果实糖酸比与不施肥无显著差异,却显著低于有机无机肥配施。综上,“肥水蚓坑”结合有机无机肥配施可以减少化肥的施用,提高土壤养分含量,确保苹果提质增产,牛粪+菇渣+化肥(牛粪:菇渣=1:1)是山地苹果提质增产的优质管理模式,值得在陕北黄土丘陵沟壑区山地果园推广应用。

**关键词:**山地苹果; 肥水蚓坑; 有机无机肥配施; 土壤养分; 产量品质

中图分类号:S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2023)01-0197-07

## The Effect of Different Fertilization on Soil Nutrient and Mountain Apple Production Under the Fertilizer Water Earthworm Pit Measures

SHAO Faqi<sup>1,2</sup>, LI Gaimin<sup>3</sup>, KE Fu<sup>1</sup>, ZHANG Wenhui<sup>1</sup>, LI Xia<sup>1</sup>,

BAI Gangshuan<sup>4</sup>, SUN Benhua<sup>2,5</sup>, GAO Mingxia<sup>6</sup>, FENG Hao<sup>4,5,6</sup>

(1.Ankang Municipality Agricultural Science Research Institute, Ankang, Shaanxi 725021, China; 2.College of Natural

Resources and Environment/Key Laboratory of Low-carbon Green Agriculture in Northwestern China, Ministry of

Agriculture and Rural Affairs, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3.The First Geological

Exploration Institute, Henan Bureau of Geo-Exploration and mineral Exploitation, Zhengzhou 450001, China;

4.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 5.Institute of

Water Saving Agriculture in Arid Region of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

6.College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The hilly and gully area of the Loess Plateau in northern Shaanxi is an important production area for

收稿日期:2021-10-27

修回日期:2021-11-05

资助项目:国家高技术研究发展计划(2013AA102904);高等学校学科创新引智计划资助(B12007);延安山仑院士工作站科研项目“黄土高原经济林(果)节水增效技术与绿色发展”(20181201)

第一作者:邵发琦(1992—),男,甘肃庄浪人,硕士研究生,主要从事果业生产技术推广和服务工作。E-mail:1145276435@qq.com

通信作者:孙本华(1972—),男,江苏淮安人,教授,研究方向为土壤化学和土壤生态。E-mail:sunbenhua@nwfufu.edu.cn

<http://stbcj.paperonce.org>

mountain apples. In order to improve the soil nutrients, fruit quality and yield of mountain orchards, based on the ‘fertilizer water earthworm pit’ measures, through field experiments, effects of different fertilization such as no fertilization, single application of chemical fertilizers, combined application of organic and inorganic fertilizers (cow manure + chemical fertilizer, mushroom residue + chemical fertilizer, cow manure + mushroom residue + chemical fertilizer), on soil nutrients, leaf nutrition, apple yield and quality in mountain orchards had been monitored. The results show that: (1) the soil organic matter content and available nutrients in the treatment without fertilization were lower than those in the fertilization treatment; Among the treatments, the soil organic matter content and available nutrients under single application of chemical fertilizer were lower than those of the combined application of organic and inorganic fertilizers, and the treatment of cow manure + mushroom residue + chemical fertilizer had better effects on improving soil nutrients than other fertilization treatments; (2) the total nitrogen, phosphorus and potassium contents of apple leaves in different growth stages of fertilization treatment were significantly higher than those of no fertilization control, and the combined application of organic and inorganic fertilizers were better than that of single application of chemical fertilizers; (3) there were no significant difference in apple fruit hardness and fruit shape index between no fertilization treatment and fertilization treatment; fertilization treatments had significantly increased apple yield, soluble solids, soluble sugar and vitamin C content, and cow manure + mushroom residue + chemical fertilizer was better than other treatments; The titratable acid content of single application of chemical fertilizer was significantly higher than that of no application and combined application of organic and inorganic fertilizers; there were no significant difference between the sugar-acid ratio of single application of chemical fertilizer and no application of fertilizer, but they were significantly lower than that of combined application of organic and inorganic fertilizers. To sum up, the combination of ‘fertilizer water earthworm pit’ combined with organic and inorganic application could reduce the application rate of chemical fertilizers, increase soil nutrient content, and ensure the quality and production of apples. Cow manure + mushroom residue + chemical fertilizer was a high-quality management model for mountain apples to improve quality and increase production. Cow manure + mushroom residue + chemical fertilizer (cow manure : mushroom residue = 1 : 1) should be popularization and application in mountain orchards in the loess hilly and gully regions of northern Shaanxi.

**Keywords:** mountain apple; fertilizer water earthworm pit; combined application of organic and inorganic fertilizers; soil nutrients; yield and quality

目前我国苹果产业由原来的四大主产区向苹果优生区发展,逐渐呈现“西进北扩”的趋势<sup>[1]</sup>。近年来陕北黄土丘陵沟壑区已成为陕西省山地苹果发展的新区域,苹果栽植面积已超过 23.1 万  $\text{hm}^2$ 。陕北黄土丘陵沟壑区山地苹果多栽植于坡地,土壤贫瘠且无灌溉水源,且当地果农重施化肥,轻施有机肥,基肥和追肥比例及施肥时间不合理,尤其是以尿素为主的大量氮肥投入,导致土壤硝态氮向深层土壤迁移并累积,严重污染土壤环境及树体营养平衡<sup>[2-3]</sup>。果园土壤养分的高低以及施肥状况好坏是决定果园生产力的基本要素,不仅影响树体的健康生长,而且还影响苹果品质和产量<sup>[4]</sup>。大量研究表明施用化肥可以及时供给作物速效养分,但长期单施化肥会增加土壤容重,降低田间持水量,导致土壤物理性质趋劣<sup>[5-7]</sup>。采

用有机无机肥配施可以结合化肥的速效性和有机肥的长效性,既能够显著提高土壤肥力、水分和养分的保持和供应,同时也能够保证作物产量的提高和品质的改善<sup>[8-9]</sup>,从而避免长期单施化肥对土壤产生的不良影响<sup>[10-11]</sup>。许多研究均表明,有机无机肥配施能有效提高苹果产量和果实维生素 C 含量、果形指数、可溶性固形物含量以及糖酸比,降低果实可滴定酸含量<sup>[12-14]</sup>。此外,采用有机无机肥配施时,用有机肥或有机固体废弃物代替部分化肥,能够加快养分的快速转化和利用,对于山地苹果达到高产、优质和高效等具有重要意义。

为了解决山地果园水肥供需矛盾,近年来,延安当地推广一种节水施肥技术—肥水坑施<sup>[15]</sup>,该技术在山地果园保水保肥方面取得了良好的效果,但对园

地周边废弃物的利用和快速转化的研究报道较少。在前人的研究和设计基础上,对“肥水坑施”进行较大的优化和改进,通过接种蚯蚓加快有机废弃物的转化,形成具有施肥、集雨、保水和保肥为一体的干旱半干旱区山地苹果园农业固体废弃物原位快速转化的“肥水蚓坑”技术<sup>[16]</sup>。基于“肥水蚓坑”技术,本研究探讨不同施肥对山地果园土壤养分、叶片营养、苹果产量和品质的影响,为陕北丘陵沟壑区山地果园可持续发展提供理论依据与实践指导,促使该技术得到进一步推广应用。

# 1 材料与方法

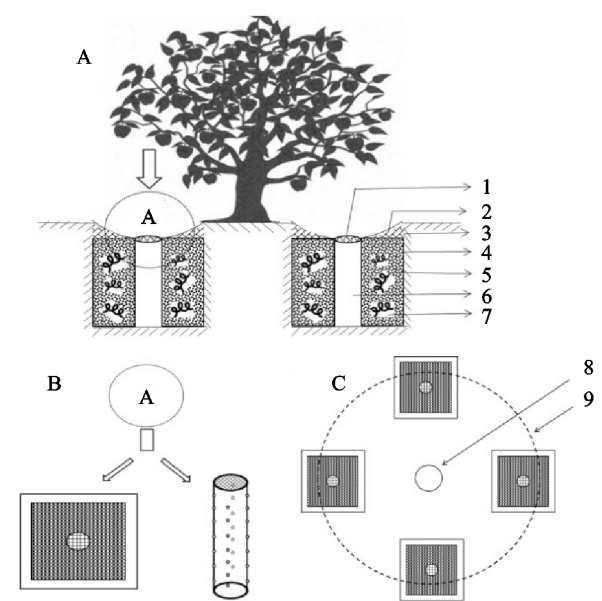
## 1.1 试验园基本概况

试验园位于陕北黄土丘陵沟壑区的延安市宝塔区河庄坪镇余家沟村(36°11′—37°09′N, 109°21′—110°03′E),海拔 1 300 m。该区属于干旱半干旱季风气候带,年降水量大约为 500 mm,春季降雨很少,夏季多暴雨,降水主要集中在 7—9 月份且年际变化较大,年平均气温为 9.4℃,无霜期 170~186 d。试验园为典型的山地雨养果园,面积 1 500 m<sup>2</sup>,树龄为 25 a(2019 年),品种红富士,砧木为海棠(*Malus prunifolia*),株行距 4 m×5 m。试验园土壤为黄绵土,0—20 cm 土层有机质 8.01 g/kg,全氮 0.63 g/kg,碱解氮 39.13 mg/kg,速效磷 11.81 mg/kg,速效钾 130 mg/kg;20—40 cm 土层有机质 6.87 g/kg,全氮 0.29 g/kg,碱解氮 28.34 mg/kg,速效磷 9.36 mg/kg,速效钾 109 mg/kg。

## 1.2 “肥水蚓坑”技术简介

“肥水蚓坑”技术(有机固体废弃物+集水措施+蚯蚓+集雨坑)是一种具有集水、保水、施肥和保肥为一体的干旱半干旱区山地苹果园有机固体废弃物原位快速转化的复合技术<sup>[16]</sup>。该技术以每棵果树的树干为中心,在果树树冠外缘投影边缘向主干方向 20 cm 处,东西南北对称各挖一个集雨坑(坑口为长方形,长 100 cm、宽 40 cm、深 60 cm),在集雨坑中央放置一根带有 PVC 配套地漏的 PVC 多孔透水管(管长 60 cm,直径 11 cm,每个管面设置 4 排 15 个透水孔,透水孔直径为 1 cm),在透水管周围填埋调配有机固体废弃物(由秸秆、树枝、菌渣、畜禽粪便等有机固体废弃物中的 2 种或 2 种以上组成),并用回填土在表面进行覆盖压实,集雨坑表面修成凹面状并用加厚型黑色塑料膜覆盖于凹坑面(坑面最深处为 10 cm,整个坑面呈凹形)之上,四周边缘部位用土压盖固定,并将 PVC 多孔透水管的朝上一端露出地面 1 cm,每个集雨坑各引种活蚯蚓(品种为赤子爱

胜蚓,1.0 kg/棵),以坑内调配有机固体废弃物为食,加快腐解(图 1)。



注:图 A 为肥水蚓坑正视图;图 B 为图 1A 处的向局部放大图;图 C 为图 A 俯视图;1.PVC 配套地漏;2.黑色塑料膜;3.凹坑面;4.集雨坑;5.调配有机固体废弃物;6.PVC 多孔透水管;7.蚯蚓;8.树干;9.树冠投影正下方。

图 1 肥水蚓坑措施田间工程图解

## 1.3 试验设计

试验共设置 5 个处理,分别为:(1) 对照不施肥,(2) 单施化肥,(3) 牛粪+化肥,(4) 菇渣+化肥,(5) 牛粪+菇渣+化肥(牛粪:菌渣=1:1)。所使用化肥分别为尿素(N 含量 46%)、过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量 16%)和硫酸钾(K<sub>2</sub>O 含量 50%),有机物料为牛粪(水分含量 51.94%,有机碳 17.12 g/kg,N 1.69%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.89%,K<sub>2</sub>O 0.76%)和菇渣(水分含量 65.99%,有机碳 38.26 g/kg,N 1.70%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.51%,K<sub>2</sub>O 2.12%),各有机物料按照湿重施 100 kg/棵,有机物料和化肥混合均匀施于坑内 0~60 cm,有机物料和过磷酸钙作为基肥在秋季一次性施入。由于不同有机物料养分含量差异较大且施用量不能满足果树的正常生长,不足的养分均以单施化肥为标准,用化肥来补齐。化肥中的氮肥和钾肥分 2 次施用,氮肥和钾肥 60%作为基肥在秋季施入,剩余 40%在幼果膨大期以追肥方式施入(表 1)。蚯蚓种的投放时间在 2020 年 3 月左右,在坑内 0—20 cm 土层之间,每株树投放蚯蚓大约 1.0 kg。选择树势健壮,生长状况一致果树共 25 株,采用单株小区试验,一个单株为一个小区,每个处理重复 5 次。不同处理果园的除草、果树修剪、疏花疏果、病虫害防治和果实套袋等其他田间管理措施均一致。

## 1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤样品的采集与测定 土壤样品在 2020

年 10 月苹果成熟期进行采集,在肥水蚓坑内,用土钻分别采集 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 土层土样,分层混合后风干备用。土壤有机质用重铬酸钾容量法(外加热)测定;全氮采用硫酸消煮—凯氏定氮法测定;土壤碱解氮采用碱解扩散法测定;土壤有效磷采用  $\text{NaHCO}_3$  浸提—钼蓝比色法测定;土壤速效钾采用  $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提—火焰光度法测定<sup>[17]</sup>。

表 1 不同施肥处理结合肥水蚓坑措施的试验方案

施肥 时间	处理	有机物料(kg/棵)			化肥(kg/棵)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
基肥	CK	0	0	0	0	0	0
	F	0	0	0	0.84	0.5	0.84
	CM	0.81	0.42	0.37	0.35	0.08	0.62
	MR	0.58	0.17	0.72	0.49	0.33	0.41
	CMMR	0.70	0.30	0.55	0.42	0.2	0.51
追肥	CK	0	0	0	0	0	0
	F	0	0	0	0.56	0	0.56
	CM	0	0	0	0.24	0	0.41
	MR	0	0	0	0.33	0	0.27
	CMMR	0	0	0	0.28	0	0.34

注:CK 为对照不施肥;F 为单施化肥;CM 为牛粪+化肥;MR 为菇渣+化肥;CMMR 为牛粪+菇渣+化肥(牛粪:菌渣=1:1),下同。

1.4.2 叶片样品的采集与测定 分别在幼果期、果实采前膨大期和成熟期采集苹果叶片,每个处理从树冠东西南北上中下 4 个方向 12 处采集 100 片叶子,混合均匀。采集的叶片分为两部分,一部分用于测定叶片的生长情况,其中叶片干重和湿重采用 XY500-2C 天平测定;百叶厚用游标卡尺测定;叶面积采用叶面积仪(SHY-150)测定;叶绿素采用便携式叶绿素仪测定。另一部分叶片用于测定叶片养分,叶片先用自来水冲洗,再用蒸馏水清洗,然后置于烘箱在 105℃ 条件下杀青 30 min,调节温度至 60~70℃ 条件下直至烘干,用粉碎机磨细过筛,保存备用。叶片全氮、磷、钾使用浓  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}_2$  消煮,全氮和磷含量采用流动注射分析仪测定,全钾采用火焰光度计测定<sup>[17]</sup>。

1.4.3 果实样品的采集与测定 苹果成熟后期,每个小区(单株)进行采摘,测定苹果产量。从每棵树的东西南北 4 个方向随机选取 6 个大小均匀的苹果样品,用于果实品质的测定。其中果实纵横径用游标卡尺测定;硬度用艾德堡邵氏硬度计测定;可溶性固形物用 WYT 系列优质糖度计测定;可溶性糖用蒽酮比色法测定;可滴定酸用 NaOH 滴定法测定;Vc 用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定<sup>[18]</sup>。

1.5 数据分析和统计

使用 Excel 进行数据计算和作图,使用 SPSS 软件进行单因素方差分析和多重比较(LSD 法, $p<0.05$ )。

2 结果与分析

2.1 不同施肥对土壤养分的影响

肥水蚓坑措施下,0—20 cm 土层,有机无机肥配施(牛粪+化肥、菇渣+化肥、牛粪+菇渣+化肥)处理的土壤有机质含量显著高于单施化肥和不施肥,单施化肥的与不施肥之间无显著差异。碱解氮、有效磷和速效钾含量均表现为牛粪+菇渣+化肥>牛粪+化肥≈菇渣+化肥>单施化肥>不施肥。20—40 cm 土层,有机无机肥配施(牛粪+化肥、菇渣+化肥、牛粪+菇渣+化肥)处理的土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量均显著高于单施化肥和不施肥,单施化肥与不施肥之间无显著差异。40—60 cm 土层,有机无机肥配施(菇渣+化肥、牛粪+菇渣+化肥)处理的土壤有机质含量显著高于不施肥,牛粪+化肥、单施化肥和不施肥之间无显著差异;碱解氮含量表现为菇渣+化肥和牛粪+菇渣+化肥的显著高于单施化肥和不施肥,单施化肥、牛粪+化肥与不施肥之间无显著差异;各处理的土壤速效磷和速效钾含量均无显著差异(图 1)。

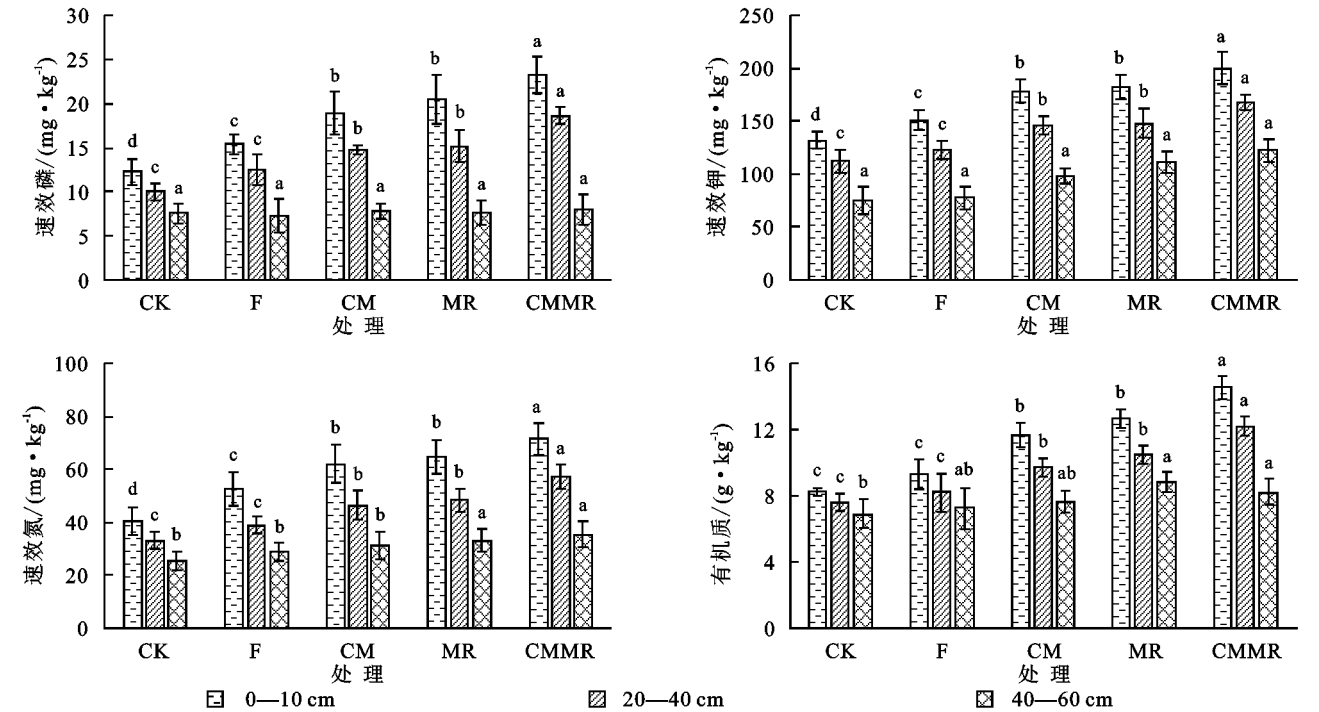
2.2 不同施肥对叶片养分的影响

2.2.1 全氮 对照不施肥和单施化肥处理苹果叶片全氮含量总体表现为幼果期>采前膨大期>成熟期,有机无机配施肥处理总体趋势表现为幼果期>成熟期>采前膨大期。幼果期单施化肥、牛粪+化肥、菇渣+化肥和牛粪+菇渣+化肥的叶片全氮含量分别较对照不施肥提高了 37.7%,31.4%,32.0%,45.3%,各施肥处理均显著高于( $p<0.05$ )对照,但不同施肥处理之间无显著差异;果实采前膨大期分别提高了 47.8%,34.9%,36.6%,52.4%,均显著高于( $p<0.05$ )对照,且菇渣+化肥和牛粪+菇渣+化肥处理显著高于( $p<0.05$ )单施化肥和牛粪+化肥处理;成熟期分别提高了 35.8%,44.3%,49.0%,62.8%,均显著高于( $p<0.05$ )对照,其中牛粪+菇渣+化肥显著高于( $p<0.05$ )其他施肥处理(表 2)。

2.2.2 全磷 对照不施肥和单施化肥处理苹果叶片全磷含量总体趋势表现为成熟期>幼果期>采前膨大期,有机无机配施肥处理(牛粪+化肥、菇渣+化肥、牛粪+菇渣+化肥)总体趋势表现为成熟期>采前膨大期>幼果期。幼果期单施化肥、牛粪+化肥、菇渣+化肥和牛粪+菇渣+化肥的叶片磷含量分别较对照不施肥提高了 5.3%,6.8%,7.6%,20.5%,均显著高于( $p<0.05$ )对照,其中牛粪+菇渣+化肥处理显著高于( $p<0.05$ )其他施肥处理;果实采前膨大期分别提高了 6.2%,11.6%,13.2%,25.6%,不同处

理之间的差异与幼果期相同;果实成熟期分别提高了 10.2%,18.8%,19.5%,29.7%,有机无机配施肥处理

显著高于( $p<0.05$ )单施化肥处理,单施化肥处理显著高于( $p<0.05$ )对照不施肥(表 2)。



注:图中小写字母表示同一土层不同处理间存在显著( $p<0.05$ )差异。

图 2 肥水蚓坑措施下不同施肥处理的土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾

表 2 不同处理对山地苹果不同生育期叶片营养的影响

g/kg

处理	幼果期			采前膨大期			成熟期		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CK	16.01±2.46b	1.32±0.13c	8.27±0.13b	14.17±0.95c	1.29±0.20c	6.96±0.20c	13.84±1.53c	1.28±0.07c	6.84±0.07c
F	22.04±1.30a	1.39±0.12b	9.56±0.12a	20.94±1.95b	1.37±0.22b	7.45±0.23b	18.79±2.25b	1.41±0.23b	8.02±0.22b
CM	21.03±1.54a	1.41±0.12b	9.48±0.12a	19.12±0.84b	1.44±0.27b	7.87±0.18a	19.97±1.53b	1.52±0.18a	8.87±0.27a
MR	21.13±1.46a	1.42±0.07b	9.79±0.07a	19.35±2.69a	1.46±0.20b	8.04±0.23a	20.62±1.99b	1.53±0.23a	8.91±0.20a
CMMR	23.26±1.93a	1.59±0.23a	10.12±0.23a	21.59±2.46a	1.62±0.18a	8.45±0.20a	22.53±2.16a	1.66±0.20a	9.13±0.18a

注:表中同列不同小写表示不同处理间存在显著( $p<0.05$ )差异,下同。

2.2.3 全钾 不同处理苹果叶片全钾含量总体表现为幼果期>成熟期>采前膨大期,但对照不施肥处理表现为幼果期>采前膨大期>成熟期。幼果期单施化肥、牛粪+化肥、菇渣+化肥和牛粪+菇渣+化肥的叶片钾含量分别较对照不施肥提高了 15.6%,14.6%,18.4%,22.4%,不同施肥处理的叶片全钾含量均显著高于( $p<0.05$ )对照,但不同施肥处理之间无显著差异;果实采前膨大期分别提高了 7.0%,13.1%,15.5%,21.4%,成熟期分别提高了 17.3%,29.7%,30.3%,33.5%,果实采前膨大期和成熟期有机无机配施肥处理均显著高于( $p<0.05$ )单施化肥,单施化肥显著高于( $p<0.05$ )对照,但有机无机肥配施处理之间无显著差异(表 2)。

2.3 不同施肥对苹果叶片生长的影响

不同处理对成熟期叶片百叶厚影响差异不显著。与对照不施肥相比,不同施肥处理均显著增加( $p<0.05$ )了叶面积和比叶重,但单施化肥与有机无机配

施肥处理之间无显著差异。施肥均显著增加( $p<0.05$ )了百叶鲜重、和叶绿素含量,单施化肥和有机无机配施肥(牛粪+化肥和菇渣+化肥)处理间无显著差异,但三者均显著低于( $p<0.05$ )牛粪+菇渣+化肥处理。施肥均显著增加( $p<0.05$ )了百叶干重,有机无机配施肥显著( $p<0.05$ )高于单施化肥,但有机无机配施肥处理之间无显著差异(表 3)。

2.4 不同施肥对苹果产量和品质的影响

施肥处理的果实硬度和果形指数均略高于对照,相互之间无显著差异。不同施肥处理均显著增加了( $p<0.05$ )果实可溶性固形物含量和维生素 C 含量,其中牛粪+菇渣+化肥处理维生素 C 含量显著高于( $p<0.05$ )其他施肥处理。单施化肥可显著提高( $p<0.05$ )果实的可滴定酸含量,而有机无机配施肥处理则与对照不施肥之间无显著差异。不同施肥处理均显著提高( $p<0.05$ )了果实可溶性糖含量,其中牛粪+菇

渣+化肥处理显著高于( $p<0.05$ )其他施肥处理。有机渣+化肥)糖酸比和产量显著高于单施化肥和对照处理,且牛粪+菇渣+化肥处理最高(表 4)。

表 3 不同施肥结合肥水蚓坑措施对山地苹果叶片的影响

处理	百叶 鲜重/g	百叶 干重/g	百叶厚/ cm	叶面积/ cm <sup>2</sup>	叶绿素	比叶重/ (g·cm <sup>-2</sup> )
CK	64.71±3.21c	30.45±3.11c	3.16±0.03a	32.27±0.35b	50.58±2.12c	0.0094±0.001b
F	71.79±4.13b	33.13±2.54b	3.20±0.02a	34.24±0.21a	53.43±3.85b	0.0100±0.002a
CM	73.93±4.54b	36.54±2.01a	3.26±0.01a	34.05±0.16a	54.28±3.41b	0.0107±0.001a
MR	71.07±3.57b	35.24±1.93a	3.27±0.02a	34.29±0.24a	54.77±4.10b	0.0103±0.004a
CMMR	73.80±2.98a	38.12±1.57a	3.29±0.07a	34.37±0.25a	56.03±4.02a	0.0111±0.002a

表 4 不同施肥结合肥水蚓坑措施对山地苹果产量和果实品质的影响

处理	产量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	硬度/ (kg·cm <sup>-2</sup> )	可溶性糖/%	可滴定酸/%	可溶性 固形物/%	维生素 C/ (mg·100 g <sup>-1</sup> )	糖酸比	果形指数
CK	38.50±2.13c	8.12±0.52a	10.33±0.13c	0.38±0.003b	11.36±0.25c	3.13±0.08c	27.18±0.96c	0.85±0.21a
F	46.05±3.14b	8.28±0.61a	11.46±0.06b	0.41±0.011a	12.82±0.37b	4.35±0.24b	27.95±0.54c	0.86±.034a
CM	48.65±4.42b	8.64±0.81a	11.44±0.36b	0.38±0.012b	12.28±0.64b	4.65±0.86b	30.11±1.02b	0.87±0.42a
MR	47.25±3.25b	8.76±0.36a	11.58±0.15b	0.38±0.002b	12.58±0.42b	4.29±0.51b	30.47±0.89b	0.87±0.23a
CMMR	51.55±4.56a	8.98±0.15a	12.34±0.24a	0.37±0.016b	13.34±0.21a	5.02±0.97a	33.35±1.12a	0.88±0.14a

3 讨论与结论

土壤肥力的高低是作物是否高产稳产的决定性因素,其中,土壤有机质、速效氮、速效磷和速效钾养分含量作为评价土壤肥力的重要指标<sup>[19-20]</sup>。苹果作为多年生植物,由于其生长位置固定且根系较深,吸收土壤养分的位置也相对固定,因此,施肥位置、种类、施肥量都会影响果树对养分的吸收利用<sup>[21-23]</sup>。增施有机肥是有效提高果园土壤肥力和增产的主要措施<sup>[24]</sup>,本研究通过不施肥、单施化肥、有机无机配施肥比较研究,土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量基本表现为表层(0—20 cm)>中层(20—40 cm)>下层(40—60 cm),有机无机配施效果优于化肥处理,其中牛粪+菇渣+化肥效果最明显,这与张超等<sup>[25]</sup>和赵佐平等<sup>[26]</sup>研究结果较为一致,表明菌渣的腐解速率低于牛粪的腐解速率,菌渣在苹果生长后期可以继续补充养分,促进果树生长发育<sup>[27]</sup>;同时果园树盘下接种蚯蚓可以增加土壤有机质和速效养分的含量<sup>[28]</sup>,这与吴迪等<sup>[29]</sup>在设施菜地上施用 3 种不同的有机物料(商品有机肥、腐熟牛粪、腐熟牛粪+菌渣)接种蚯蚓后,腐熟牛粪+菌渣对提高土壤肥力效果最优研究结果一致,因而本试验各施肥处理均提高了土壤碱解氮和有效钾的含量,其中牛粪+菌渣+化肥处理最好。

叶片作为苹果光合作用和合成养分的主要器官,对树体从外界所吸收的矿质营养最为敏感,氮、磷、钾三大矿质元素作为苹果生长重要的物质基础,对苹果的周年不同生育期生长、发育等一系列生理活动具有十分重要的意义<sup>[30]</sup>。赵佐平等<sup>[26]</sup>研究表明,萌芽期

单施化肥(NPK)处理叶片 N,P,K 养分含量高于有机无机肥配施(MNPK)和单施有机肥(M)处理,而果实膨大期至成熟期,有机无机肥配施(MNPK)及单施有机肥(M)处理的叶片 N,P,K 含量显著高于单施化肥(NPK 和 PK)处理。陈倩等<sup>[31]</sup>研究表明,与不施有机肥相比,有机无机肥配施显著提高了单株叶片总氮量,且有机无机肥分次配施的效果要优于有机无机肥一次性配施。本研究结果表明,在苹果树秋季施肥的基础上,次年春季追施化肥,从幼果期到果实成熟期有机无机肥配施(牛粪+化肥、菇渣+化肥、牛粪+菇渣+化肥)优于单施化肥(NPK)处理,其中牛粪+菌渣+化肥处理最好,其主要原因是由于苹果是多年生植物,根系较深且固定,施肥水平、施肥位置和管理措施都会影响树体的生长和发育<sup>[21,32]</sup>。本研究结合肥水蚓坑措施,蚯蚓的引种会改善土壤结构,分解和转化有牛粪和菌渣等有机固体废弃物,加快土壤养分的循环与转化,提高土壤中磷素的利用率,再加上集雨坑具有收集地表径流和雨水的作用,两者结合形成水肥耦合效应,从而促进果树对养分的吸收和利用,导致苹果叶片矿质营养元素含量的增加<sup>[33]</sup>。

施肥不仅影响叶片矿质养分含量外,还影响叶片的鲜重、干重、叶面积、厚度、叶绿素含量等方面<sup>[13]</sup>。评价苹果口感、风味及品质的好坏是受果实硬度、糖酸比和果形指数等指标的综合影响<sup>[34]</sup>。大量研究表明,有机无机配施肥可以促进果树根系、枝条、叶片等器官的生长和养分的吸收<sup>[14-15,35]</sup>。本研究结果表明,各施肥处理均提高了叶片鲜重、干重、叶面积、叶绿素含量,有机无机配施肥效果均优于单施化肥,施用牛

粪+化肥和菌渣+化肥两者效果相当,但施用牛粪或菌渣没有两者混合(牛粪+菌渣+化肥)施用效果好,这与吴迪等<sup>[29]</sup>人研究结果基本一致。在肥水蚓坑措施下,施用牛粪+化肥和菌渣+化肥对果实品质影响总体一致,且牛粪+菌渣+化肥处理对提高果实品质和产量效果最优。产生这些结果的原因可能包括以下几方面:(1) 苹果在生长初期,养分消耗较少,随着生育期的进行,菌渣同牛粪的作用相似,可以作为有机肥料为后期苹果的生殖生长作为养分的补充<sup>[27]</sup>;(2) 蚯蚓作为土壤生态系统的工程师,可以促进土壤养分循环、改善土壤物理结构,生成的蚯蚓粪和一些分泌物可以增加果树对养分的吸收和利用,弥补有机肥缓效的特点<sup>[36]</sup>,在施肥坑内接种的蚯蚓,以牛粪和菌渣为食,经过蚯蚓的消化系统,在体内多种酶的作用下,牛粪和菌渣可以迅速分解、转化成为蚯蚓自身或其他土壤生物易利用的营养物质,而这些营养物质为菌渣中大量的有益微生物生长提供良好的环境。(3) 肥水蚓坑措施的应用,可以减少地表径流量,广泛收集雨水,达到以水调肥,水肥耦合,加强了土壤蓄水保墒的能力,另外,食用菌渣相对牛粪较疏松,可以改善土壤物理结构和持水性能,从而增加果树对土壤养分和水分的充分利用,另外,食用菌渣相对牛粪较疏松,还能改善土壤结构<sup>[27]</sup>。

综上,“肥水蚓坑”结合有机无机肥配施可以减少化肥的施用,提高土壤养分含量,确保苹果提质增产,牛粪+菇渣+化肥(牛粪:菇渣=1:1)是山地苹果提质增产的优质管理模式,值得在陕北黄土丘陵沟壑区山地果园推广应用。

参考文献:

[1] 李青华,张静,王力,等.黄土丘陵沟壑区山地苹果林土壤干化及养分变异特征[J].土壤学报,2018,55(2):503-514.

[2] 温美娟,郑伟,赵志远,等.不同施肥与间套绿肥对果园水热特征及硝态氮累积的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(6):1119-1128.

[3] 王小英,同延安,刘芬,等.陕西省苹果施肥状况评价[J].植物营养与肥科学报,2013,19(1):206-213.

[4] 孙霞,柴仲平,蒋平安,等.水氮耦合对苹果光合特性和果实品质的影响[J].水土保持研究,2010,17(6):271-274.

[5] Zhang S L, Yang X Y, Wiss M, et al. Changes in physical properties of a loess soil in China following two long-term fertilization regimes [J]. Geoderma, 2006, 136:579-587.

[6] Kaiser M, Ellerbrock R H. Functional characterization of soil organic matter fractions different in solubility originating from a long-term field experiment [J]. Geoderma, 2005,127:196-206.

[7] 史银光,李花,李平儒,等.长期施用化肥或不同有机物

对壤土土壤物理性质的影响[J].西北农业学报,2010,19(9):124-130.

[8] 李明霞,杜社妮,白岗栓,等.渭北黄土高原苹果生产中的问题及解决方案[J].水土保持研究,2010,17(4):252-257.

[9] 于昕阳,翟丙年,金忠宇,等.有机无机肥配施对旱地冬小麦产量、水肥利用效率及土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):320-324.

[10] 居玛汗·卡斯木,张丽娜,范鹏,等.黄土高原不同生态类型区果园地土壤肥力特征综合评价及其区域差异特征研究[J].水土保持研究,2015,22(1):316-323.

[11] 杨世琦,张爱平,杨正礼,等.黄土高原果园土壤有机质变化趋势分析:以陕西省为例[J].水土保持研究,2009,16(1):27-31.

[12] 杨莉莉,王永合,韩稳社,等.氮肥减量配施有机肥对苹果产量品质及土壤生物学特性的影响[J].农业环境科学学报,2021,40(3):631-639.

[13] 李涛涛,翟丙年,李永刚,等.有机无机肥配施对渭北旱塬红富士苹果树生长发育及产量的影响[J].果树学报,2013,30(4):591-596.

[14] 赵佐平,闫莎,刘芬,等.陕西果园主要分布区氮素投入特点及氮负荷风险分析[J].生态学报,2014,34(19):5642-5649.

[15] 宋小林,吴普特,赵西宁,等.黄土高原肥水坑施技术下苹果树根系及土壤水分布[J].农业工程学报,2016,32(7):121-128.

[16] 孙本华,邵发琦,李改民,等.一种山地果园有机物料原位快速转化提升土壤肥力的方法[P].CN112492914A,2021-03-16.

[17] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.

[18] 曹建康,姜维波,赵玉梅.果蔬采后生理生化试验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2008.

[19] 俄胜哲,杨志奇,罗照霞,等.长期施肥对黄土高原黄绵土区小麦产量及土壤养分的影响[J].麦类作物学报,2016,36(1):104-110.

[20] 陈欢,曹承富,张存岭,等.基于主成分—聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J].土壤学报,2014,51(3):609-617.

[21] 许海港,季萌萌,葛顺峰,等.不同水平位置施肥对‘嘎啦’苹果<sup>15</sup>N吸收、分配与利用的影响[J].植物营养与肥科学报,2015,21(5):1366-1372.

[22] 张紫嫣,安贵阳,鲁成.营养钵育苗及施肥种类对富士苹果苗生长发育的影响[J].西北农业学报,2018,27(3):384-393.

[23] 周罕觅,张富仓, Roger Kjelgren,等.水肥耦合对苹果幼树产量、品质和水肥利用的效应[J].农业机械学报,2015,46(12):173-183.

[24] 王玫,徐少卓,刘宇松,等.生物炭配施有机肥可改善土壤环境并减轻苹果连作障碍[J].植物营养与肥科学报,2018,24(1):220-227.

佳范围为 0~25 mg/L,对于全氮含量较高的土壤样品,在使用流动分析仪测定时需适当稀释。

## 4 结论

(1) 连续流动分析仪测定土壤全氮时具有分析速度快、消耗试剂少、准确度和精密度较高等优点,对大批量的样品进行检测非常经济、快捷。该方法与凯氏定氮法相比无显著差异,表明这两种测定方法在黄土高原土壤中具有可比性。

(2) 流动分析仪法对全氮含量的测定不受土地利用方式和土壤质地的影响,可用于不同管理措施和不同类型土壤。

### 参考文献:

- [1] Stevenson F J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients [M]. New York: John Wiley & Sons, Hoboken, 1986.
- [2] Chen B Q, Liu E K, Tian Q Z, et al. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, 34(2): 429-442.
- [3] Mooshammer M, Wanek W, Hammerle I, et al. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling [J]. *Nature Communication*, 2014, 5: 1-7.
- [4] Marschner H. mineral nutrition of higher plants[M]. 2nd Edition. London: Academic Press, 1995: 313-404.
- [5] Sáez-Plaza P, Navas M J, Wybraniec S, et al. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, working scale, instrumental finish, and quality control[J]. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2013, 43(4): 224-272.
- [6] Bremner J M. Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods[M]. New York :John Wiley & Sons, 2020.
- [7] McLeod S. Determination of total soil and plant nitrogen using a micro-distillation unit in a continuous flow analyzer [J]. *Analytica Chimica Acta*, 1992, 266: 113-117.
- [8] 夏倩,刘凌,王流通,等.连续流动分析仪在水质分析中的应用[J].*分析仪器*, 2012(2): 64-68.
- [9] 罗宏德,王沙毅.连续流动分析技术的发展与应用[J].*现代科学仪器*, 2010(5): 131-132.
- [10] 鲍士旦.土壤氨化分析[M].北京:中国农业出版社, 2000.
- [11] 贝美容,罗雪华,杨红竹. AA3 型连续流动分析仪(CFA)同时测定橡胶叶全氮、全磷、全钾的方法研究[J].*热带作物学报*, 2011, 32(7): 1258-1264.
- [12] 宋书会,张金尧,汪洪.连续流动分析仪与自动凯氏定氮仪测定土壤全氮含量比较[J].*中国土壤与肥料*, 2019(5): 207-212.
- [13] 张英利,许安民,尚浩博,等. AA3 型连续流动分析仪测定土壤和植物全氮的方法研究[J].*西北农林科技大学学报*, 2006, 34(10): 128-132.
- [14] 温云杰,李桂花,黄金莉,等.连续流动分析仪与自动凯氏定氮仪测定小麦秸秆全氮含量之比较[J].*中国土壤与肥料*, 2015(6): 146-151.
- [15] 武娟,章明洪.用 AA3 型连续流动分析仪测定复混肥料中氨态氮的方法研究[J].*化肥工业*, 2008, 35(3): 27-31.
- [16] 毛红祥,桂素萍,肖植特. AA3 型连续流动分析仪测定有机肥料全氮含量[J].*中国土壤与肥料*, 2015(3): 116-119.
- [17] 刘雪梅,黄元仿.应用激光粒度仪分析土壤机械组成的试验研究[J].*土壤通报*, 2005, 36(4): 579-582.
- [25] 张超,张海,周旭,等.苹果专用肥对果园土壤理化性质及苹果产量、品质的影响[J].*中国土壤与肥料*, 2017(4): 24-30.
- [26] 赵佐平,高义民,刘芬,等.化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响[J].*园艺学报*, 2013, 40(11): 2229-2236.
- [27] 刘景坤,吴松展,程汉亭,等.食用菌菌渣基质化利用研究进展[J].*热带作物学报*, 2019, 40(1): 191-198.
- [28] 薛进军,辛德惠,吴文良,等.成龄苹果园树盘养蚯蚓的综合效应研究[J].*中国果树*, 1994(1): 20-21, 26.
- [29] 吴迪,刘满强,焦加国,等.不同有机物料接种蚯蚓对设施菜地土壤培肥及作物生长的影响[J].*土壤*, 2019, 51(3): 470-476.
- [30] 温美娟,党娜,翟丙年,等.施肥配合薄膜生草二元覆盖有效提高渭北苹果的产量和品质[J].*植物营养与肥料学报*, 2016, 22(5): 1339-1347.
- [31] 陈倩,刘照霞,邢玥,等.有机无机肥分次配施对嘎啦苹果生长、<sup>15</sup>N-尿素吸收利用及损失的影响[J].*应用生态学报*, 2019, 30(4): 1367-1372.
- [32] 田海成,韩明玉,李丙智,等.3 种管理措施对红富士苹果生长发育及品质的影响[J].*西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2007, 35(9): 132-136.
- [33] 田歌,李慧峰,田蒙,等.不同水肥一体化方式对苹果氮素吸收利用特性及产量和品质的影响[J].*应用生态学报*, 2020, 31(6): 1867-1874.
- [34] 张艳珍,程存刚,赵德英,等.施氮水平对富士苹果果实钙形态及品质的影响[J].*植物营养与肥料学报*, 2021, 27(1): 87-96.
- [35] 周天华,樊庆忠.有机肥对红富士苹果生长及品质的影响[J].*中国土壤与肥料*, 2008(2): 52-55.
- [36] 程思远,李欢,梅慧玲,等.接种蚯蚓与添加有机物料对茶园土壤结构的影响[J].*土壤学报*, 2021, 58(1): 259-268.