

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

杨莉莉, 王永合, 韩稳社, 马林英, 杨乖成, 韩艳云, 同延安

引用本文:

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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1160>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长期施肥对黄土旱塬农田土壤微生物量碳、氮、磷的影响

李春越, 郝亚辉, 薛英龙, 王益, 党廷辉

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1783-1791 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0240>

不同施肥措施对华北潮土区玉米田土壤微生物碳源代谢多样性的影响

刘红梅, 安克锐, 王慧, 张思宇, 赵建宁, 杨殿林, 张贵龙

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2336-2344 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0509>

化肥有机肥配施对盐渍化土壤氨挥发及玉米产量的影响

周慧, 史海滨, 徐昭, 郭珈玮, 付小军, 李正中

农业环境科学学报. 2019, 38(7): 1649-1656 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1406>

渭北旱地麦田配施有机肥减量施氮的作用效果

张昊青, 于昕阳, 翟丙年, 金忠宇, 马臣, 王朝辉

农业环境科学学报. 2017, 36(1): 124-133 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016-0827>

长期施用有机肥对潮土土壤肥力及硝态氮运移规律的影响

李彦, 孙翠平, 井永苹, 罗加法, 张英鹏, 仲子文, 孙明, 薄录吉, 刘兆辉

农业环境科学学报. 2017, 36(7): 1386-1394 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0316>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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.

YANG Li-li, WANG Yong-he, HAN Wen-she, et al. Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer on apple yield and quality and soil biological characteristics[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(3): 631–639.



开放科学 OSID

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

杨莉莉¹, 王永合², 韩稳社¹, 马林英¹, 杨乖成¹, 韩艳云¹, 同延安^{1*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省旬邑县土肥站, 陕西 旬邑 711300)

摘要:为改善当前苹果园不合理施肥现状,探究适合苹果园提质增效的施肥方案,以红富士苹果为试材,设置常规施肥、优化减氮、有机肥替代25%氮肥、有机肥替代50%氮肥4个处理,其中后3个处理的总施氮量一致,为常规施肥的一半,试验连续进行两年后测定果实产量、品质、土壤微生物量碳氮以及土壤酶活性。结果表明:优化减氮处理产量与常规施肥差异不显著,氮肥偏生产力是常规施肥的2倍以上;有机肥替代50%氮肥处理的产量最高,比常规施肥处理增加5.4%。优化减氮处理和有机肥替代氮肥处理的果实可溶性糖和糖酸比均显著高于常规施肥;施用有机肥的处理可滴定酸显著低于施化肥处理,糖酸比相反;有机肥替代50%氮肥处理的品质最佳,可溶性固形物、可溶性糖、糖酸比分别比常规施肥高1.8%、2.7%、16.9%。土壤微生物量碳氮、土壤酶活性与土层深度及有机肥的施用有关,特别是在20~40 cm土层深度,有机肥替代氮肥处理的土壤微生物量碳氮、土壤 β -1,4-N-乙酰氨基葡萄糖苷酶、 β -1,4-葡萄糖苷酶、纤维二糖水解酶活性均显著高于常规施肥处理,且两两之间呈显著或极显著正相关关系。因此,在陕西省苹果园可以推荐常规施氮量减少一半的情况下用有机肥替代50%氮肥,以节省化肥、增加产量、改善品质、提升土壤质量,促进果园的可持续发展。

关键词:产量;品质;化肥减量;有机肥;配施;土壤微生物量;土壤酶活性

中图分类号:S154;S661.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2021)03-0631-09 **doi:**10.11654/jaes.2020-1160

Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer on apple yield and quality and soil biological characteristics

YANG Li-li¹, WANG Yong-he², HAN Wen-she¹, MA Lin-ying¹, YANG Guai-cheng¹, HAN Yan-yun¹, TONG Yan-an^{1*}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Soil and Fertilizer Workstation of Xunyi County, Shaanxi Province, Xunyi 711300, China)

Abstract: This study aimed to improve the current practice of unreasonable fertilization in apple orchards and to explore a suitable fertilization scheme for improving the soil and fruit quality and fertilizer efficiency of apple orchards. Red Fuji apples were treated using four methods of fertilizer application: conventional fertilization (T1), optimized nitrogen reduction (T2), replacing 25% of nitrogen fertilizer with organic fertilizer (T3), and replacing 50% of nitrogen fertilizer with organic fertilizer (T4). The total amount of nitrogen applied in the T2, T3, and T4 conditions was half of that applied in T1. The fruit yield and quality, soil microbial biomass carbon and nitrogen, and soil enzyme activities were determined two years after the experiment. The fruit yield was not significantly different between T1 and T2, and the partial productivity of nitrogen fertilizer in T2 was more than twice that in T1. T4 had the highest fruit yield, which was 5.4% higher than that in T1. T2, T3 and T4 had a significantly higher fruit soluble sugar and sugar-acid ratio than those in T1. Compared with those in T1

收稿日期: 2020-10-07 录用日期: 2021-01-05

作者简介: 杨莉莉(1988—),女,河南项城人,博士研究生,主要研究方向为植物营养与调控。E-mail: yalili2009@163.com

*通信作者: 同延安 E-mail: tongyanan@nwfau.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200106)

Project supported: National Key R&D Program of China(2017YFD0200106)

and T2, T3 and T4 had significantly lower titratable acid and a significantly higher sugar-acid ratio. T4 had the best fruit quality, and the ratios of soluble solids, soluble sugar, and sugar-acid ratio in T4 were 1.8%, 2.7%, and 16.9% higher than those in T1, respectively. Soil microbial biomass carbon and nitrogen and soil enzyme activities were related to the soil layer depth and the application of organic fertilizer; particularly at a soil layer depth of 20~40 cm, the soil microbial biomass carbon and nitrogen and the activities of soil β -1,4-N-acetyl-glucosaminidase, β -1,4-glucosidase, and cellobiohydrolase were significantly higher in T3 and T4 than in T1; there was a significant or extremely significant positive correlation between each pair of them. Given these results, it is recommended to reduce the amount of nitrogen applied in conventional fertilization by half, and replace 50% of nitrogen fertilizer with organic fertilizer in the apple orchards of Shaanxi Province so as to conserve chemical fertilizers, increase fruit yield, improve soil and fruit quality, and ultimately promote the sustainable development of apple orchards.

Keywords: yield; quality; fertilizer reduction; organic fertilizer; combined application; soil microbial biomass; soil enzyme activity

农作物的收获,每年从土壤中带走大量养分,这些养分主要靠施肥进行补充。化学肥料的使用,在增加产量的同时也带来了其他问题,如作物品质下降、土壤板结、土壤肥力降低、肥料利用率低、土壤和水体污染等。当前化学肥料的过量施用主要是氮肥的过量施用^[1-2],其中果树、蔬菜等经济作物施用氮肥过量较为突出。陕西省是我国的苹果生产大省,果园化学氮肥施用过量现象严重,王小英等^[3]调查2005—2009年陕西省苹果施肥状况发现化学氮肥投入过量比例为72%,数量达12.83万t;杨莉莉等^[4]通过估算认为目前陕西省苹果园N、P₂O₅、K₂O施用量分别过量15.12万、4.46万、1.19万t;赵帅翔等^[5]对黄土高原苹果园的调查发现,氮肥过量施用的果农比例高达90%以上。过量氮肥投入导致果实品质下降、果园氮素累积、硝酸盐淋溶风险增加、土壤酸化加剧,造成资源浪费和环境氮负荷^[6]。因此,如何有效减少化学氮肥用量对陕西省果园可持续发展至关重要。

有机肥料含有丰富的有机质和各种养分,它不仅能直接为作物提供养分,而且能活化土壤中的养分并增强土壤生物学活性,促进物质转化,提高土壤肥力,改善作物品质等。为了保持农业的可持续发展,有机肥被认为是化学肥料的有效替代品^[7]。已有大量研究证明有机肥替代化肥可以增加作物产量^[8]、改善作物品质^[9-10]、增加土壤有机质和养分含量^[11]、降低土壤容重^[12]、提高微生物数量以及酶活性^[13]。有机肥替代化肥大多是在常规施肥的基础上进行,对于减量施肥后再进行有机肥替代化肥的研究较少。本研究在优化减氮基础上用有机肥替代部分氮肥,通过对苹果最重要的产量、品质的分析以及对土壤肥力影响较大的土壤微生物量碳氮和土壤酶活性的研究,确定最佳施肥措施,以期为陕西省苹果园的减氮高效、绿色可持续发展提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于陕西省旬邑县张洪镇新丰村(35°06'N, 108°16'E),该地属黄土高原沟壑区原地,海拔1150 m,年平均日照2390 h,年平均气温9.1℃,年降水量约600 mm。供试材料为红富士,砧木为八棱海棠,2004年栽植,株行距3 m×4 m,果园共0.2 hm²。土壤类型为黑垆土,试验地基础土壤肥力:有机质13.9 g·kg⁻¹,碱解氮56.0 mg·kg⁻¹,速效磷22.7 mg·kg⁻¹,速效钾338.5 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验从2017年10月31日秋季施肥开始进行两年。共4个处理,分别为:常规施肥(化肥N 800 kg·hm⁻², T1)、优化减氮(化肥N 400 kg·hm⁻², T2)、有机肥替代25%氮肥(有机肥N 100 kg·hm⁻²+化肥N 300 kg·hm⁻², T3)、有机肥替代50%氮肥(有机肥N 200 kg·hm⁻²+化肥N 200 kg·hm⁻², T4),每个处理3次重复,随机区组排列,每6棵果树为一个小区。除常规处理氮肥为800 kg·hm⁻²,其余3个处理的氮肥用量均为400 kg·hm⁻²,有机肥替代25%氮肥和有机肥替代50%氮肥均是在减氮的基础上进行;所有处理的磷钾养分投入一致,P₂O₅为300 kg·hm⁻²,K₂O为400 kg·hm⁻²。化学氮肥为尿素(N 46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 16%),钾肥为硫酸钾(K₂O 52%);有机肥为商品有机肥,有机质含量为488.8 g·kg⁻¹,N、P₂O₅、K₂O含量分别为1.65%、1.40%、1.36%。在果树一个生长周期(果实收获后至下一个果实收获)内仅施肥两次,即基肥和追肥。有机肥和化学磷肥作为基肥在每年10月下旬一次性施入,化学氮钾肥60%作为基肥,40%作为追肥在6月初膨果期施入。追肥和基肥均是开沟施入,沟宽30~40 cm,深约30 cm,基肥是行间条施,追肥是

株间条施。所有试验果树长势一致,其他田间管理,如病虫害防治、灌溉等与农户一致。

1.3 测定项目和方法

在2018年和2019年10月果实收获时,分别从果树的东西南北4个方向各摘取果实样品5个,每小区采摘20个果实,带回实验室测定果实品质;同时计量每小区的所有果实质量,作为小区的产量。为了试验效果更显著,试验的第二年,即2019年10月在果实收获的同时分层采集土壤样品,每20 cm为一层,共取3层(0~20、20~40、40~60 cm),每小区采集6个点(不施肥区、施肥区、株间各取2个点),混匀后作为一个土壤样品带回实验室,用于土壤指标测定。

果实品质的测定参考曹建康等^[14]的方法,可溶性固形物用糖度仪测定,可溶性糖用蒽酮试剂法测定,可滴定酸用NaOH中和滴定法测定,维生素C用2,6-二氯酚酚滴定法测定,单果质量测定是随机选取100个果实的平均质量,果实果径分级用分级圈,品质结果为2019年数据。土壤酶(碱性磷酸酶AKP、 β -1,4-N-乙酰基氨基葡萄糖苷酶NAG、 β -1,4-葡萄糖苷酶 β G、纤维二糖水解酶CBH)活性测定采用微孔板荧光法^[15],土壤样品4次重复,标准和阴性4次重复,空白和淬灭3次重复,该方法是在低底物浓度条件下,通过检测酶裂解释放荧光基团(4-甲基伞形酮酰)所发出的荧光强度进行测定,能直接、快速、灵敏地反映微生物胞外酶活性。4-甲基伞形酮酰激发波长为365 nm,检测波长为450 nm。计算公式为:

$$A_b = FV / (e v_1 t m)$$

$$F = (f - f_b) / q - f_s$$

$$e = f_r / (c_s v_2)$$

$$q = (f_q - f_b) / f_r$$

式中: A_b 为土壤样品的酶活性, $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; F 为校正

后的样品荧光值; V 为土壤悬浊液的总体积; e 为荧光释放系数; v_1 为微孔板每孔中加入的样品悬浊液的体积; t 为暗培养时间; m 为鲜土样换算成干土样的结果; f 为酶标仪读取样品微孔的荧光值; f_b 为空白微孔的荧光值; q 为淬灭系数; f_s 为阴性对照微孔的荧光值; f_r 为参考标准微孔的荧光值; c_s 为参考标准微孔的浓度; v_2 为加入参考标准物的体积; f_q 为淬灭标准微孔的荧光值。

酶活性综合指标 GME 为土壤酶活性的几何平均值,常被用来反映酶活性的综合指标,计算公式为:

$$GME = \sqrt[n]{A_1 \times A_2 \times A_3 \times \dots \times A_n}$$

式中: A_i 表示不同酶的活性($i=1,2,3,\dots,n$)。

土壤微生物量碳(SMBC)、微生物量氮(SMBN)用氯仿熏蒸- K_2SO_4 浸提法测定,新鲜土壤经氯仿熏蒸24 h后,用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SO}_4$ 溶液(液土比4:1)浸提1 h,滤液分别用TOC-L分析仪和流动分析仪测定。

N 肥偏生产力=施 N 产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)/施 N 量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.4 数据处理

采用Excel 2007和IBM SPSS statistics 20.0软件对数据进行统计分析,采用单因素AVNOVA($P<0.05$)进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥减量配施有机肥对苹果产量的影响

由表1可以看出,2019年的单果质量和产量整体优于2018年,这是由于2018年4月7日果园遭遇了严重的冻害。在试验进行第一年,不同处理对果实单果质量的影响无显著差异,但T4处理的产量显著高于T1、T2、T3处理,分别高出27.5%、25.9%、27.2%。试验第二年,T1处理的单果质量和产量均显著低于T4

表1 氮肥减量配施有机肥对苹果单果质量、产量和氮肥偏生产力的影响

Table 1 Response of apple single fruit weight, yield and partial productivity of nitrogen fertilizer to reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer

处理 Treatments	单果质量 Single fruit weight/g		产量 Yield/(t·hm ⁻²)		氮肥偏生产力 Partial productivity of nitrogen/(kg·kg ⁻¹)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
T1	160.67±3.06a	185.67±4.04b	12.96±0.15b	30.93±0.75b	16.20	38.67
T2	160.33±3.21a	190.33±0.58ab	13.12±0.18b	31.72±0.98ab	32.80	79.32
T3	162.33±2.52a	192.00±2.00a	12.99±0.38b	31.22±0.51ab	32.48	78.06
T4	162.00±4.36a	195.50±3.97a	16.52±0.80a	32.59±0.68a	41.30	81.46

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P<0.05$). The same below.

处理。T4处理的偏生产力最高,是T1处理的两倍以上,减氮施肥3个处理的氮肥偏生产力均高于常规施肥。

2.2 氮肥减量配施有机肥对果实品质的影响

不同果实直径所占比例见表2,减氮处理的大果所占比例较高,且T4处理的大果(直径>80 mm)所占比例最高,达32.7%。各处理对果实维生素C含量的影响差异不显著(表3),T4处理的可溶性固形物含量显著高于仅施化肥处理,常规施肥处理的可溶性糖和糖酸比显著低于减氮处理,有机肥替代氮肥处理的可滴定酸含量显著($P<0.05$)低于优化减氮处理,糖/酸比高于优化减氮处理,表明施氮过高不利于果实品质的提升,优化减氮基础上有机肥替代部分氮肥利于改善果实品质。

2.3 氮肥减量配施有机肥对微生物量碳氮的影响

除常规施肥处理,SMBC随着土壤深度的增加而减少,不同处理对SMBC的影响主要在0~40 cm土层(图1)。T2处理的0~20 cm土层SMBC显著高于T1处理,而显著低于T4处理;3个减氮处理的20~40 cm土层SMBC比常规施肥处理分别高出61%、63%和75%。

所有处理的SMBN随着土层加深而减少,不同处理SMBN在各个土层内均有显著差异(图2)。常规施肥的SMBN在20~40 cm和40~60 cm土层显著低于有机肥替代部分氮肥的处理,T3处理SMBN在0~20 cm土层显著低于T2处理($P<0.05$),在0~60 cm土层显著

低于T4处理。

2.4 氮肥减量配施有机肥对土壤酶活性的影响

不同处理之间4种土壤酶活性均有差异,除AKP外,其他3种酶活性均是T4处理的最高(图3)。T1处理的AKP活性在20~40 cm土层显著低于T4处理,在40~60 cm土层显著低于T3和T4处理,即施用有机肥

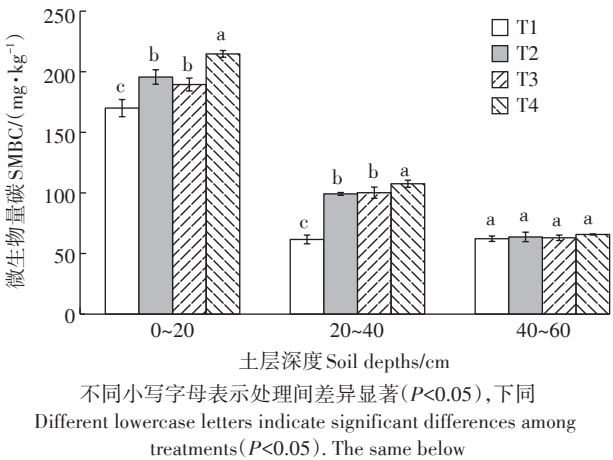


图1 氮肥减量配施有机肥对土壤微生物量碳的影响
Figure 1 Effect of reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer on soil microbial biomass carbon

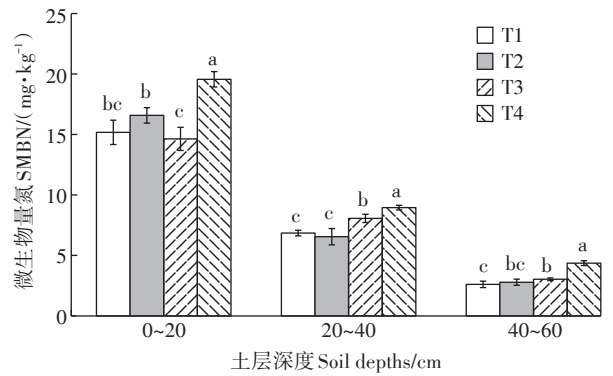


图2 氮肥减量配施有机肥对土壤微生物量氮的影响
Figure 2 Effect of reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer on soil microbial biomass nitrogen

表2 氮肥减量配施有机肥对果实不同果径占比(%)的影响
Table 2 Effects of different treatments on the percentage(%) of different fruit diameters

处理Treatments	60~70 mm	70~80 mm	>80 mm
T1	20.0	55.7	24.3
T2	19.0	54.7	26.3
T3	16.7	54.3	29.0
T4	19.0	48.3	32.7

表3 氮肥减量配施有机肥对果实内在品质的影响(2019年)
Table 3 The internal fruit quality of different treatments with nitrogen fertilizer and organic fertilizer(2019)

处理Treatments	可溶性固形物Soluble solids/%	可溶性糖Soluble sugar/%	可滴定酸Titratable acid/%	维生素C Vitamin C/(mg·kg ⁻¹)	糖/酸Sugar/acid
T1	13.23±0.06b	11.04±0.14b	0.31±0.01a	20.18±0.36a	35.71±0.14c
T2	13.24±0.05b	11.33±0.01a	0.30±0.01a	20.06±0.22a	37.88±1.70b
T3	13.26±0.05ab	11.31±0.03a	0.27±0.01b	20.77±0.48a	41.60±0.59a
T4	13.47±0.12a	11.34±0.06a	0.27±0.01b	20.52±0.21a	41.74±0.38a

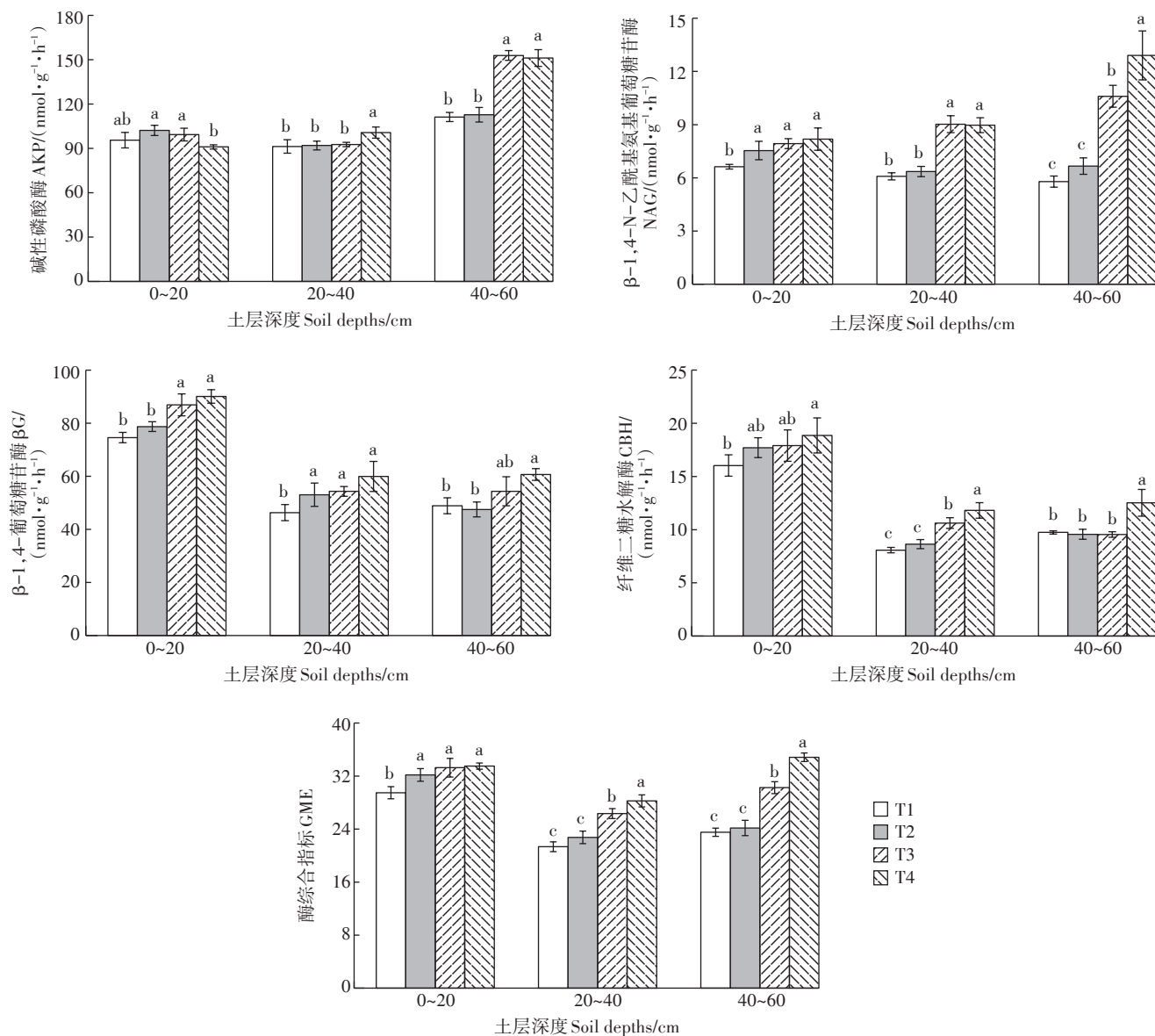


图3 氮肥减量配施有机肥对土壤酶活性的影响

Figure 3 Effect of reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer on soil enzyme activity

处理的AKP酶活性随土层加深而增加。施用有机肥的两个处理的NAG活性均显著高于常规施肥处理,在20~40、40~60 cm土层显著高于优化减氮处理;T1处理的βG和CBH活性在0~60 cm土层均显著低于T4处理,与T2处理差异不显著。仅施用化肥的两个处理的4种土壤酶活性在上下土层中的变化较小,T4处理40~60 cm土层与0~20 cm土层相比,AKP、NAG活性分别增加了66%、58%,βG、CBH活性分别降低了33%、34%。

从4种酶的综合指标分析,0~60 cm土层中均是T1处理最低;减氮的3个处理中,有机肥替代部分氮

肥处理的20~60 cm土层酶活性综合指标显著高于仅施化肥的处理。表明优化减氮基础上有机肥替代部分氮肥利于增加土壤酶活性。

2.5 各指标之间的相关性分析

土壤酶和土壤微生物量均与土壤微生物活动关系密切,微生物量碳氮和各种土壤酶活性及果实产量的相关性见表4。在0~20 cm土层,SMBC与产量呈显著正相关关系,与SMBN、NAG、βG、CBH呈极显著正相关关系,SBMN与产量呈显著正相关关系;在20~40 cm土层,SMBC与除AKP之外的其他3种酶呈显著或极显著正相关关系,SMBN与4种酶活性之间均

表4 产量、微生物量碳氮、土壤酶活性的相关性分析
Table 4 Correlation analysis of yield, SMBC and SMBN, soil enzyme activity

土层深度 Soil depths/cm		SMBC	SMBN	AKP	NAG	βG	CBH
0~20	SMBN	0.805**					
	AKP	-0.179	-0.457				
	NAG	0.736**	0.504	-0.067			
	βG	0.764**	0.515	-0.237	0.848**		
	CBH	0.764**	0.435	0.004	0.458	0.675*	
	产量	0.587*	0.672*	-0.423	0.618*	0.576	0.385
20~40	SMBN	0.545					
	AKP	0.465	0.693*				
	NAG	0.674*	0.856**	0.500			
	βG	0.743**	0.650*	0.826**	0.674*		
	CBH	0.707*	0.869**	0.617*	0.935**	0.723**	
	产量	0.521	0.386	0.379	0.385	0.423	0.426
40~60	SMBN	0.624*					
	AKP	0.381	0.687*				
	NAG	0.449	0.849**	0.929**			
	βG	0.32	0.792**	0.779**	0.848**		
	CBH	0.372	0.859**	0.446	0.600*	0.692*	
	产量	0.020	0.580*	0.206	0.433	0.303	0.574

注: *表示指标之间相关性显著($P<0.05$); **表示指标之间相关性极显著($P<0.01$)。

Note: * indicates the correlation between the indicators is significant at the 5% level; ** indicates the correlation between the indicators is significant at the 1% level.

呈显著或极显著正相关关系;在40~60 cm土层, SMBN与产量、SMBC、4种酶活性均呈显著或极显著正相关关系。总体来看,4种酶之间除AKP活性与其他酶的关系不显著,其他3种酶活性相互之间呈显著或极显著正相关关系;SMBC主要在0~20 cm与酶活性关系密切,而SMBN主要在20~60 cm与酶活性关系密切。

3 讨论

3.1 氮肥减量配施有机肥利于增加苹果产量

当前陕西省苹果园普遍存在施氮过量的情况,过量施用氮肥对作物增产不利。本试验条件下,氮肥减半基础上有机肥替代50%氮肥处理两年的产量均显著高于常规施肥处理,特别是第一年的增产效果非常显著,这可能与有机肥增加了树体的抗性有关^[16];2018年遭遇了严重的冻害,造成果园大幅减产,而有机肥替代50%氮肥处理施入土壤中的有机肥较多,增强了树体的抗性,减少了损失。优化减氮处理的氮用量比常规施肥减少一半,但产量并未减少,这与彭福田等^[17]的研究结果一致,高氮水平反而不利于产量的增加,这可能与常规施肥施入的氮过量有关。过量

施氮导致果树营养生长过剩,生殖生长受到抑制,同时造成养分吸收不平衡,从而影响树体生长和产量形成^[18-19]。本研究在减氮施肥的3个处理中,有机肥替代部分氮肥处理的增产作用较好,并且随有机肥替代量的增加增产效果更显著,这与张迎春等^[20]对莴笋的研究结果一致,但与钱银飞等^[21]对不同猪粪用量与化肥配施的研究结果不同,随着猪粪用量的增加,水稻产量先增加后降低,这可能是作物种类和试验条件不同造成有机肥与化肥配施的效果不同。适量有机肥配施化肥可以改变土壤微生物特性、促进根系生长等,从而促进作物生长^[20,22-23],增加作物产量。

3.2 减氮配施有机肥促进果实品质的提升

不同施肥处理对果实品质的影响不同,减氮施肥处理的大果率、可溶性固形物、可溶性糖、糖酸比均比常规施肥处理增加,可滴定酸含量降低,增加了果实的商品率和风味。这与任静等^[24]和陈磊等^[25]的研究结果一致,过高的施氮量降低果实可溶性固形物和糖含量、增加可滴定酸含量,果实品质下降。原因可能是过量施氮导致氮代谢旺盛,消耗了更多的碳骨架和还原力,降低了植物同化速率,影响光合产物输出,最终使果实中糖含量降低^[26]。有机肥替代部分氮肥的

处理对苹果果实品质的影响更显著,且和有机肥替代化肥的比例有关,本研究有机肥替代50%化肥处理的品质最佳。伍晓轩等^[27]对小麦的研究认为,有机氮无机氮比例为1:1时利于小麦产量品质的协同提升,这与本研究结论相似。有机肥可以通过调节养分平衡、植物内源激素平衡、碳氮代谢平衡等来改善作物品质^[28]。

3.3 氮肥减量配施有机肥增加土壤微生物量碳氮

土壤微生物生物量是指土壤中体积小于 $5\mu\text{m}^3$ 的活微生物总量,是土壤有机质中最活跃和最易变化的部分。微生物量碳氮是反映土壤微生物生物量的重要微生物学指标^[29]。微生物量碳氮与土壤养分循环密切相关,是反映土壤肥力和土壤质量高低的指标之一,受有机肥的影响较大。本研究中同一施氮水平下,有机肥替代50%氮肥处理的土壤微生物量碳氮高于不施有机肥的优化减氮处理,这与前人研究结果类似^[30],有机肥与化肥配合施用增加土壤微生物量碳氮。曲成闯等^[31]和郭振等^[32]研究认为土壤微生物量碳氮的增加与施入有机肥的量呈正相关关系,本研究结果与之相同,有机肥替代50%氮肥处理的微生物量碳氮高于有机肥替代25%氮肥处理。原因是有机肥的投入提供了碳源,使土壤微生物增殖,并分解有机物质,提供植物所需的养分,养分的增加又促进土壤微生物数量和种群丰富度极大增加;无机氮肥又能提供大量氮源,从而使土壤微生物生物量碳氮增加^[33]。优化减氮处理微生物量氮与常规施肥处理之间无显著差异,0~40 cm微生物量碳显著高于常规施肥处理,原因与施入高氮使土壤氮增加,C/N下降,加速土壤原有有机碳分解,导致土壤有机质含量下降有关,并且施用高量化肥可能破坏微生物生存环境,使微生物数量减少^[33-34]。

3.4 氮肥减量配施有机肥促进土壤酶活性增加

土壤酶是有机物分解和养分循环的主要生物学机制,它可以作为生物多样性、生态系统功能和土壤肥力的指标,测定酶活性是了解土壤生物学过程的有效工具^[15]。本研究选取国内外最广泛测定的^[35]4种与有机质密切相关的酶(AKP、NAG、 β GL、CBH)进行研究。磷酸酶可以将磷从不可用的、有机结合的形式转化为可被微生物和植物吸收的磷酸根离子,从而提高土壤磷的有效性;乙酰氨基葡萄糖苷酶是参与氮循环的重要物质,可降解几丁质和肽聚糖,水解来自壳二糖的氨基葡萄糖; β -葡萄糖苷酶和纤维二糖水解酶属于可降解纤维素的水解酶,可以表征碳代谢活性。

本研究中有有机肥替代化肥处理的4种酶活性高于仅施化肥处理,且有机肥用量越高的处理酶活性越强,这与大多数研究结果一致^[13,36],原因是有机肥的施用增加了土壤微生物可利用碳源,使微生物保持较高活性,增加了微生物多样性和数量^[37-38],从而促使土壤酶活性的增加。但也有研究认为过多的有机肥反而会使土壤酶活性降低^[39],这可能与不同土壤性质有关。

土壤的生物学指标通常比化学、物理特性对土壤条件变化的反应更快,本研究发现优化减氮和有机肥替代部分氮肥在施氮量减少一半的情况下,有机肥替代50%氮肥的效果更显著。可能是当地常年的常规施肥使土壤氮过量,导致土壤养分不平衡、微生物数量和种群丰富度降低,而优化减氮以及优化减氮后有机肥替代部分氮肥改变了土壤中的碳氮比例,引起土壤微生物的活性改变,增加了土壤微生物量碳氮以及土壤酶活性,促进作物根系的代谢增强和树体对土壤养分的吸收^[27],从而提升果实产量和品质。

4 结论

(1)优化减氮基础上有机肥替代50%氮肥显著增加果实产量和果实大果率、可溶性固形物、可溶性糖、糖酸比,降低果实可滴定酸含量。

(2)优化减氮基础上有机肥替代50%氮肥显著增加土壤微生物量碳氮和土壤 β -1,4-N-乙酰氨基葡萄糖苷酶、 β -1,4-葡萄糖苷酶、纤维二糖水解酶活性。

因此,在陕西省苹果园建议推荐化学肥料减半的基础上用有机肥替代50%氮肥,以节省化肥用量,增加产量,改善品质,提升土壤质量,利于果园的可持续发展。

参考文献:

- [1] Sun B, Zhang L X, Yang L Z, et al. Agricultural non-point source pollution in China: Causes and mitigation measures[J]. *Ambio*, 2012, 41(4): 370-379.
- [2] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报 2014, 20(4): 783-795. JU Xiao-tang, GU Bao-jing. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(4): 783-795.
- [3] 王小英, 同延安, 刘芬, 等. 陕西省苹果施肥状况评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 206-213. WANG Xiao-ying, TONG Yan-an, LIU Fen, et al. Evaluation of the situation of fertilization in apple fields in Shaanxi Province[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(1): 206-213.

- [4] 杨莉莉, 胡凡, 李水利, 等. 基于GM(1, 1)模型的不同措施下陕西省苹果园化肥消耗量预测分析[J]. 中国农学通报, 2020, 36(23): 74-80. YANG Li-li, HU Fan, LI Shui-li, et al. Prediction and analysis of fertilizer consumption of apple orchard in Shaanxi Province under different measures based on GM(1, 1) model[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(23): 74-80.
- [5] 赵帅翔, 张卫峰, 姜远茂, 等. 黄土高原苹果过量施氮因素分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 484-491. ZHAO Shuai-xiang, ZHANG Wei-feng, JIANG Yuan-mao, et al. Factors leading to excessive nitrogen fertilization on apple in the Loess Plateau[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(2): 484-491.
- [6] 赵佐平. 陕西苹果园土壤污染现状评估分析[J]. 北方园艺, 2015(11): 192-196. ZHAO Zuo-ping. Assessment of the current soil pollution situation in apple orchards of Shaanxi Province[J]. *Northern Horticulture*, 2015(11): 192-196.
- [7] Shi Y L, Liu X R, Zhang Q W, et al. Biochar and organic fertilizer changed the ammonia-oxidizing bacteria and archaea community structure of saline-alkali soil in the North China Plain[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2020, 20(1): 12-23.
- [8] 李菊梅, 徐明岗, 秦道珠, 等. 有机肥无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 51-56. LI Ju-mei, XU Ming-gang, QIN Dao-zhu, et al. Effects of chemical fertilizers application combined with manure on ammonia volatilization and rice yield in red paddy soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 51-56.
- [9] 汤宏, 曾掌权, 张杨珠, 等. 化学氮肥配施有机肥对烟草品质、氮素吸收及利用率的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(4): 183-191. TANG Hong, ZENG Zhang-quan, ZHANG Yang-zhu, et al. Leaf quality, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of tobacco under combination of chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(4): 183-191.
- [10] 周江明. 有机-无机肥配施对水稻产量、品质及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 234-240. ZHOU Jiang-ming. Effect of combined application of organic and mineral fertilizers on yield, quality and nitrogen uptake of rice[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(1): 234-240.
- [11] 侯红乾, 刘秀梅, 刘光荣, 等. 有机无机肥配施比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(3): 516-523. HOU Hong-qian, LIU Xiu-mei, LIU Guang-rong, et al. Effect of long-term located organic-inorganic fertilizer application on rice yield and soil fertility in red soil area of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(3): 516-523.
- [12] Yunus A, Samanhudi, Brahmanto N, et al. Artemisia annua respon to various types of organic fertilizer and dose in lowland[J]. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2018, 142(1): 012021.
- [13] 宋震震, 李絮花, 李娟, 等. 有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 525-533. SONG Zhen-zhen, LI Xu-hua, LI Juan, et al. Long-term effects of mineral versus organic fertilizers on soil labile nitrogen fractions and soil enzyme activities in agricultural soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(3): 525-533.
- [14] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 24-54. CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 24-54.
- [15] Deforest J L. The influence of time, storage temperature, and substrate age on potential soil enzyme activity in acidic forest soils using MUB-linked substrates and l-DOPA[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(6): 1180-1186.
- [16] 徐艳丽, 鲁剑巍, 周世力, 等. 有机、无机肥及其配施对芨芨草生长及抗寒性的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(10): 97-101. XU Yan-li, LU Jian-wei, ZHOU Shi-li, et al. Effect of organic, inorganic fertilizer and combined application on tall fescue growth and cold-resistance[J]. *Pratacultural Science*, 2005, 22(10): 97-101.
- [17] 彭福田, 姜远茂, 顾曼如, 等. 不同负荷水平下氮素对苹果果实生长发育的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(6): 690-694. PENG Fu-tian, JIANG Yuan-mao, GU Man-ru, et al. Effect of nitrogen on apple fruit development in different load[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(6): 690-694.
- [18] 魏斌, 李友明, 翟广生, 等. 氮素营养对猕猴桃营养功能特征及果实产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(12): 98-101. WEI Bin, LI You-ming, ZHAI Guang-sheng, et al. Effects of nitrogenous nutrition on nutritional functional traits and fruit yield of *Actinidia lindl*[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2015, 43(12): 98-101.
- [19] 彭福田, 姜远茂, 顾曼如, 等. 氮素对苹果果实内源激素变化动态与发育进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 208-213. PENG Fu-tian, JIANG Yuan-mao, GU Man-ru, et al. Effect of nitrogen on apple fruit hormone changing trends and development[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(2): 208-213.
- [20] 张迎春, 颜建明, 李静, 等. 生物有机肥部分替代化肥对莴笋及土壤理化性质和微生物的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 196-205. ZHANG Ying-chun, XIE Jian-ming, LI Jing, et al. Effects of partial substitution of chemical fertilizer by bio-organic fertilizer on *Asparagus* lettuce and soil physical-chemical properties and microorganisms[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, 33(4): 196-205.
- [21] 钱银飞, 邵彩虹, 邱才飞, 等. 猪粪与化肥配施对双季稻产量及氮素吸收利用的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(8): 27-34. QIAN Yin-fei, SHAO Cai-hong, QIU Cai-fei, et al. Effects of combined application of pig manure and chemical fertilizer on yield and nitrogen uptake and utilization of double cropping rice[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2019, 31(8): 27-34.
- [22] 靳晓拓, 马继勇, 周彦好, 等. 化肥减量配施有机肥下芒果园土壤细菌多样性及群落结构特征[J]. 热带作物学报, 2019, 40(6): 1205-1212. JIN Xiao-tuo, MA Ji-yong, ZHOU Yan-yu, et al. Bacterial diversity and community structure characteristics of mango orchard soil under reduced chemical fertilizer and increased organic fertilizer application[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(6): 1205-1212.
- [23] 李梦梅, 龙明华, 黄文浩, 等. 生物有机肥对提高番茄产量和品质的机理初探[J]. 中国蔬菜, 2005, 1(4): 18-19. LI Meng-mei, LONG

- Ming-hua, HUANG Wen-hao, et al. Studies on the mechanism of bio-organic manure on improving yield and quality of tomato[J]. *China Vegetables*, 2005, 1(4):18-19.
- [24] 任静, 刘小勇, 韩富军, 等. 施氮水平对旱塬覆沙苹果园土壤酶活性及果实品质的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8):206-213. REN Jing, LIU Xiao-yong, HAN Fu-jun, et al. Effects of nitrogen fertilizer levels on soil enzyme activity and fruit quality of sand-covered apple orchard in Loess Plateau of eastern Gansu[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(8):206-213.
- [25] 陈磊, 伍涛, 张绍铃, 等. 丰水梨不同施氮量对果实品质形成及叶片生理特性的影响[J]. 果树学报, 2010, 27(6):871-876. CHEN Lei, WU Tao, ZHANG Shao-ling, et al. Effects of nitrogen fertilizer on fruit quality and leaf physiological metabolism of Hosui pear[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(6):871-876.
- [26] 曹翠玲, 李生秀, 苗芳. 氮素对植物某些生理生化过程影响的研究进展[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(4):96-101. CAO Cui-ling, LI Sheng-xiu, MIAO Fang. The research situation about effects of nitrogen on certain physiological and biochemical process in plants[J]. *Acta Univ Agric Boreali-occidentalis*, 1999, 27(4):96-101.
- [27] 伍晓轩, 杨洪坤, 朱杰, 等. 不同有机肥种类配施化学氮肥对丘陵旱地小麦产量和籽粒蛋白质品质的影响[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(3):283-287. WU Xiao-xuan, YANG Hong-kun, ZHU Jie, et al. Effects of combined application of chemical N and different organic fertilizer on yield and grain protein quality of hilly dryland winter wheat[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2019, 37(3):283-287.
- [28] 沈中泉, 郭云桃, 袁家富. 有机肥料对改善农产品品质的作用及机理[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2):54-60. SHEN Zhong-quan, GUO Yun-tao, YUAN Jia-fu. Effect of organic manure on qualities of crops[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1995, 1(2):54-60.
- [29] 王晓娟, 何海军, 连晓荣, 等. 整合分析不同施肥运筹下中国农田土壤微生物量的变化特征[J]. 土壤与作物, 2019, 8(2):119-128. WANG Xiao-juan, HE Hai-jun, LIAN Xiao-rong, et al. A meta-analysis approach to assess the effects of fertilizations on soil microbial biomass in China's farmlands[J]. *Soils and Crops*, 2019, 8(2):119-128.
- [30] 安世花, 罗安焕, 王小利, 等. 长期施肥对黄壤旱地及水田土壤微生物生物量碳、氮的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(6):73-80. AN Shi-hua, LUO An-huan, WANG Xiao-li, et al. Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen in dryland and paddy field of yellow soil[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2019, 48(6):73-80.
- [31] 曲成闯, 陈效民, 张志龙, 等. 生物有机肥提高设施土壤生产力减缓黄瓜连作障碍的机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(5):814-823. QU Cheng-chuang, CHEN Xiao-min, ZHANG Zhi-long, et al. Mechanism of bio-organic fertilizer on improving soil productivity for continuous cucumber in greenhouse[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2019, 25(5):814-823.
- [32] 郭振, 王小利, 徐虎, 等. 长期施用有机肥增加黄壤稻田土壤微生物量碳氮[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(5):1168-1174. GUO Zhen, WANG Xiao-li, XU Hu, et al. A large number of long-term application of organic fertilizer can effectively increase microbial biomass carbon and nitrogen in yellow paddy soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(5):1168-1174.
- [33] 薛菁芳, 高艳梅, 汪景宽, 等. 土壤微生物量碳氮作为土壤肥力指标的探讨[J]. 土壤通报, 2007, 38(2):247-250. XUE Jing-fang, GAO Yan-mei, WANG Jing-kuan, et al. Microbial biomass carbon and nitrogen as an indicator for evaluation of soil fertility[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(2):247-250.
- [34] 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤, 等. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4):549-552. XU Yang-chun, SHEN Qi-rong, LEI Bao-kun, et al. Effect of long-term no-tillage and application of organic manure on some properties of soil fertility in rice/wheat rotation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4):549-552.
- [35] Sinsabaugh R L, Lauber C L, Weintraub M N, et al. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale[J]. *Ecology Letters*, 2008, 11(11):1252-1264.
- [36] 巩庆利, 翟丙年, 郑伟, 等. 渭北旱地苹果园生草覆盖下不同肥料配施对土壤养分和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(1):205-212. GONG Qing-li, ZHAI Bing-nian, ZHENG Wei, et al. Effects of grass cover combined with different fertilization regimes on soil nutrients and enzyme activities in apple orchard in Weibei dryland, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(1):205-212.
- [37] 袁英英, 李敏清, 胡伟, 等. 生物有机肥对番茄青枯病的防效及对土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7):1344-1350. YUAN Ying-ying, LI Min-qing, HU Wei, et al. Effect of biological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microorganism[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(7):1344-1350.
- [38] 胡可, 李华兴, 卢伟盛, 等. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2):303-306. HU Ke, LI Hua-xing, LU Wei-sheng, et al. Effect of microbial organic fertilizer application on soil microbial activity[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(2):303-306.
- [39] 田小明, 李俊华, 王成, 等. 连续3年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3):481-488. TIAN Xiao-ming, LI Jun-hua, WANG Cheng, et al. Effects of continuous application of bio-organic fertilizer for three years on soil nutrients, microbial biomass and enzyme activity[J]. *Soils*, 2014, 46(3):481-488.