

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.01.007

商品有机肥配施对果园土壤肥力和 “蜜脆”苹果果实品质的影响

张秀志, 郭甜丽, 焦学艺, 刘晨露,
李宇星, 马锋旺, 符轩畅, 李翠英

旱区作物逆境生物学国家重点实验室/陕西省苹果重点实验室/西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100

摘要: 苹果生产中普遍存在化肥施用过量和有机肥投入不足的现象, 使果园土壤质量差、肥力低, 导致树体营养供应不足, 影响苹果产量和品质, 因此研究苹果化肥减施增效和土壤改良的技术对促进苹果产业绿色安全高质量发展具有重要意义。本研究以“蜜脆”苹果为材料, 设置商品有机肥替代化肥, 配施菌肥、黄腐酸或硅肥的不同施肥处理, 分析不同处理土壤 pH 值、有机质、土壤养分、叶片生长和果实品质的变化。结果表明, 商品有机肥配施菌肥、土壤改良剂后, 土壤 pH 值降低, 土壤有机质及速效氮、磷、钾质量分数增加, 因而使土壤肥力提高, 以“商品有机肥+黄腐酸+1/2 化肥”处理对土壤的改善效果较好; “蜜脆”苹果叶片的 SPAD 值(叶绿素相对含量)提高, 氮、磷、钾、钙、镁等多种营养元素的积累量增加, 从而促进了叶片的生长; 同时, “蜜脆”苹果果实的可溶性固形物和钙、镁质量分数增加, 可滴定酸比例降低, 因而固酸比增大, 提高了果实品质。就叶片生长和营养以及果实品质而言, 3 个处理之间差异无统计学意义。两年检测分析结果显示, “商品有机肥+黄腐酸+1/2 化肥”处理的综合效果较好。

关键词: 苹果; 有机肥; 土壤肥力; 营养元素; 果实品质

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2022)01-0065-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Combined Application of Commercial Organic Fertilizer on Soil Fertility and Fruit Quality of ‘Honeycrisp’ Apple

ZHANG Xiuzhi, GUO Tianli, JIAO Xueyi, LIU Chenlu,
LI Yuxing, MA Fengwang, FU Xuanchang, LI Cuiying

State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas/ Shaanxi Key Laboratory of Apple/
College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: Excessive application of chemical fertilizer and insufficient input of organic fertilizer commonly exist in apple production, which leads to poor quality and low fertility of soil in apple orchards. It results

收稿日期: 2021-06-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201100/30); 杨凌科技项目(2018NY-11)。

作者简介: 张秀志, 硕士研究生, 主要从事果树生理生态的研究。

通信作者: 李翠英, 博士, 副教授。

in insufficient nutrient supply to apple trees and affects the yield and quality of fruit. Therefore, it is of great significance to study the technology of reducing and increasing the efficiency of chemical fertilizer application, fulvic acid and silicon fertilizer, and soil improvement, in order to promote the green, safe and high-quality development of apple production. In this study, the changes of pH value, organic matter and nutrients contents of soil, the growth of leaf and the fruit quality of ‘Honeycrisp’ apple under different fertilization treatments were analyzed. The results showed that after applying commercial organic fertilizer combined with microbial fertilizer, fulvic acid and silicon fertilizer, and soil conditioners, the pH value of soil was decreased, the organic matter content of soil and the contents of available nitrogen, phosphorus and potassium were increased, resulting in the increased fertility of soil. The effect of commercial organic fertilizer + fulvic acid + 1/2 chemical fertilizer, had a better effect on soil amendment. The SPAD value of leaves of ‘Honeycrisp’ apple was increased, and the accumulation of N, P, K, Ca and Mg were increased, which promoted the growth of leaves. At the same time, the contents of soluble solids, Ca and Mg were increased, while the titratable acid content was decreased, resulting in the increased ratio of solid to acid. Overall, there were no significant differences among the three treatments on growth and nutrient level of leaves and fruit quality. Based on the analysis of two years, the treatment of commercial organic fertilizer + fulvic acid + 1/2 chemical fertilizer had a better overall effect.

Key words: apple; organic fertilizer; soil fertility; nutrient element; fruit quality

苹果是我国重要的水果,但苹果园普遍不科学施用氮肥,磷肥施用过量,钾肥和有机肥投入不足^[1-2],导致果园有机质含量下降,土壤板结,影响树体生长和果实的品质及产量^[3].土壤肥力是土壤各方面特性的整体反映,对于果树至关重要,所以如何通过提高土壤肥力来提高产量显得尤为重要.研究表明,有机肥中含有丰富的有机质和微量元素,通过添加有机肥,能够促进土壤修复和保育,提高土壤的肥力^[4].菌肥含有微生物菌群、活性酶、有机质和多种微量元素,主要通过微生物菌群的活动,间接或直接分解、合成等方式来改善植物生长环境及营养条件,促进植物生长,提高农产品的产量和品质^[5].黄腐酸能够溶于酸、碱和水中,在植物生长发育及生理生化等方面发挥作用,促进根系发育,提高作物的抗旱能力^[6];同时,也可以促进植物的光合作用,从而提高作物品质和产量^[7].硅肥“融地美”是一种土壤改良剂,能够改良土壤理化性质和促进农作物生长,还可以缓解重金属毒害^[8].

有机肥配施不仅能够节约成本,还能通过改善土壤结构,提高土壤的持水能力,为果树的生长提供更多的土壤水分^[9],从而增强树体吸收来促进果树的生长,提高果实品质^[10].研究有机肥不同配施方案的效应,对于研发苹果化肥减施增效技术、促进苹果产业高效绿色安全发展具有重要的意义.因此,本试验研究商品有机肥与菌肥、黄腐酸、硅肥配施对果园土壤肥力和“蜜脆”苹果果实品质的影响,以期苹果化肥减施增效和土壤改良提供依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地位于陕西省咸阳市武功县代家乡金果子合作社,地处东经 108°20′,北纬 34°27′,海拔 500~600 m,年均气温 9.1 °C,日均温差 10.5 °C,年温差 29 °C,年降水量 550 mm.土壤为黄壤土.以“蜜脆”苹果为材料,基砧为八棱海棠,中间砧为 M26.于 2016 年春季定植,株行距为 1.5 m×4 m,树形为高纺锤形.

1.2 试验方法

试验共设计 4 个处理(表 1),施肥方式为基肥沟施.每组处理 20 株树,4 个重复(5 株树为一个重复).

表 1 试验设计的施肥方案

编号	处 理	基肥单株用量	5 月追肥单株用量 (尿素+磷酸二胺)	7 月追肥单株用量 (硫酸钾)
对照	化肥	1 kg 复合肥	0.3 kg+0.3 kg	0.2 kg
T1	商品有机肥+菌肥+1/2 化肥	2 kg+2 kg+0.5 kg	0.3 kg+0.3 kg	0.2 kg
T2	商品有机肥+硅肥+1/2 化肥	2 kg+4 mL+0.5 kg	0.3 kg+4 mL+0.3 kg	0.2 kg+4 mL
T3	商品有机肥+黄腐酸+1/2 化肥	2 kg+50 g+0.5 kg	0.3 kg+50 g+0.3 kg	0.2 kg+50 g

1.3 测定内容及方法

1.3.1 叶片相关指标测定

2019 年和 2020 年的 6—10 月上旬, 使用 SPAD 502 叶绿素仪测量成熟期叶片 SPAD 值(叶绿素相对含量), 每株树测定 2 片成熟叶, 5 株的叶片为一个重复, 测定百叶厚、百叶鲜质量、百叶干质量。2019 年和 2020 年 8 月叶片烘干后测定叶片 N, P, K, Ca, Mg 的质量分数。

采用 H_2SO_4 加 H_2O_2 方法消煮叶片干样, 用高分辨自动化学分析仪(AA303040487, 德国 SEAL)测定 N, P 质量分数; 用火焰光度计(M410 blue notes, 深圳市伟峰仪器仪表有限公司, 英国)测定 K 含量。采用 HNO_3 加 H_2O_2 方法消煮叶片干样, 用原子吸收分析仪(PinAAcle500, 珀金埃尔默仪器有限公司, 美国)测定 Ca, Mg 质量分数。

1.3.2 果实品质指标测定

2019 年、2020 年果实成熟期采集果实, 每个处理随机选择 30 个果实, 测定单果质量、果实纵径和横径。采用便携数显折光仪(AL-1, ATAGO 中国分公司, 日本)测定可溶性固形物(TSS)比例; 将果汁稀释 50 倍后, 采用便携式酸度计(GMK-855, G-WON, Korea)测定可滴定酸比例, 计算糖酸比; 采用手持色差仪(CR-400, 东莞承泰电子仪器有限公司, 日本), 测定果实 4 个不同点的果面 L^* , a^* , b^* 值, 以 4 次测定的平均值作为该果实相应着色指标的值, 并计算 CI 值, $CI=1\ 000\ a^*/(L^*b^*)$ 。

1.3.3 土壤相关指标测定

于 2019 年、2020 年在距离树干 50~60 cm 范围内选择取样点, 用土钻取 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm 的土样, 每个处理取 5 个点, 分层混匀土样。取一部分土样用 pH 计(奥豪斯 ST2100, 奥豪斯仪器有限公司, 美国)测定 pH 值, 另一部分风干后过目筛, 测定土壤的速效氮、磷、钾以及有机质质量分数。用总有机碳分析仪(TOC-L, 岛津制作所, 日本)测定土壤有机质; 用高分辨自动化学分析仪(AA303040487, SEAL, 德国)测定速效氮和速效磷; 用火焰光度计(M410 blue notes, 深圳市伟峰仪器仪表有限公司, 英国)测定速效钾。

1.4 数据分析

用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 软件进行数据统计分析, 并运用 one-way ANOVA 方法对每个变量进行 Tukey 检验($p<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 商品有机肥配施对果园土壤的影响

2.1.1 土壤 pH 值

3 个处理中, 2020 年各土层土壤 pH 值整体上较 2019 年有所下降, 并且, 商品有机肥配施后, 各土层土壤 pH 值比对照有不同程度的降低。两年间, T1, T2 处理后 20~40 cm 土层的 pH 值均低于对照且差异有统计学意义, 而 0~20 cm 降低与对照相比差异无统计学意义; T3 处理各土层 pH 值均低于对照且差异

有统计学意义,降低幅度 1.91%~4.38%(表 2)。可见,商品有机肥配施能够整体上降低土壤 pH 值,以 20~40 cm 土层变化较明显,且 T3(商品有机肥+黄腐酸+1/2 化肥)处理后各土层 pH 值降低幅度较大;这可能是因为黄腐酸呈强酸性,降低土壤 pH 值的能力更强。

表 2 商品有机肥配施对土壤 pH 值的影响

处理	2019 年			2020 年		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
对照	8.37±0.01a	8.45±0.03a	8.52±0.04a	8.16±0.10a	8.25±0.06a	8.16±0.06a
T1	8.31±0.07a	8.36±0.02b	8.44±0.03b	8.11±0.02ab	8.07±0.04bc	8.05±0.03ab
T2	8.31±0.01a	8.38±0.01b	8.51±0.00a	8.14±0.03a	8.11±0.07b	8.02±0.01ab
T3	8.21±0.04b	8.21±0.04c	8.15±0.04c	8.00±0.02b	7.99±0.04c	7.88±0.16b

注:同列不同小写字母表示差异在 5%水平有统计学意义。

2.1.2 土壤有机质

3 个处理对 0~40 cm 土层中有机质的质量分数影响不同,而对 40~60 cm 土层影响不大,与对照相比, T1, T2, T3 处理两年间 20~40 cm 土层的有机质质量分数均明显增加,且 2019 年 3 个处理 0~20 cm 土层有机质质量分数也都高于对照且差异有统计学意义,3 个处理间整体差异无统计学意义(表 3)。总体来看,商品有机肥配施能够改善浅层(0~20 cm 和 20~40 cm)土壤中有机质质量分数。

表 3 商品有机肥配施对土壤有机质质量分数的影响

g/kg

处理	2019 年			2020 年		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
对照	14.67±0.14b	12.17±0.14d	9.61±0.03a	14.90±0.32ab	8.20±0.17d	7.68±0.29a
T1	16.26±0.13a	12.93±0.12c	8.69±0.08b	15.29±0.20a	9.88±0.52c	8.28±0.30a
T2	15.94±0.49a	15.43±0.29a	9.32±0.15a	14.27±0.48b	14.86±0.30a	8.33±0.01a
T3	16.10±0.20a	14.14±0.02b	9.30±0.19a	15.14±0.03ab	11.63±0.05b	8.20±0.23a

注:同列不同小写字母表示差异在 5%水平有统计学意义。

2.1.3 土壤速效氮、磷、钾质量分数

两年间,3 个处理土壤速效氮质量分数均不同程度高于对照,且与 2019 年相比,2020 年 0~40 cm 土层中土壤速效氮质量分数有所增加,而 40~60 cm 土层中两年间差异不明显。2019 年 3 个处理各土层速效氮质量分数均高于对照且差异有统计学意义,增加幅度 8.63%~25.91%,且 T3 显著高于 T1 和 T2。2020 年, T3 处理各土层速效氮质量分数均高于对照且差异有统计学意义,增加幅度 6.37%~44.00%,并且也显著高于 T1 和 T2 处理(表 4)。说明商品有机肥配施可以明显提高土壤速效氮水平,以 T3 处理效果较好。

两年间,3 个处理的土壤速效磷质量分数均高于对照,各处理间整体差异无统计学意义。2019 年,与对照相比, T1, T2, T3 处理 0~20 cm 土层中速效磷质量分数增加了 40.48%, 9.75% 和 30.05%; T1 处理 20~40 cm、T2 处理 40~60 cm 土层也高于对照且差异有统计学意义。2020 年, T1, T3 处理各土层速效磷质量分数均高于对照,增加幅度分别为 21.81%~34.06%, 16.26%~57.58%; 而 T2 处理 20~40 cm 和 40~60 cm 土层也高于对照且差异有统计学意义(表 5)。说明商品有机肥配施也能提高土壤速效磷质量分数,不同配施处理间差异无统计学意义。

两年间,3 个处理土壤速效钾质量分数不同程度高于对照, T1 处理在 0~20 cm, 40~60 cm 土层中速效钾质量分数均高于对照, T2 处理 20~40 cm 土层也高于对照, T3 处理在两年间各土层中速效钾质量分数均高于对照,增加幅度 6.24%~30.87%,差异有统计学意义(表 6)。说明商品有机肥配施提高

了土壤速效钾质量分数, T3 处理效果更好.

综上, 商品有机肥配施能够增加土壤中的速效氮、磷、钾质量分数, 以 T3(商品有机肥+黄腐酸+1/2 化肥)处理综合效果更好.

表 4 商品有机肥配施对土壤速效氮质量分数的影响

mg/kg

处理	2019 年			2020 年		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
对照	47.97±1.51c	44.15±0.42c	40.44±0.15c	55.72±0.53c	52.16±1.12b	40.34±0.90c
T1	54.80±1.81b	47.44±1.09b	45.48±1.41b	55.80±0.17c	52.99±1.76b	44.45±0.55b
T2	52.11±0.77b	48.07±1.23b	44.46±1.05b	59.70±0.26b	54.40±0.87b	42.91±0.97b
T3	60.40±0.29a	54.99±0.65a	51.55±1.36a	67.58±1.75a	60.31±0.65a	58.09±0.42a

注: 同列不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义.

表 5 商品有机肥配施对土壤速效磷质量分数的影响

mg/kg

处理	2019 年			2020 年		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
对照	56.08±2.00d	47.95±1.35b	3.95±0.54b	59.28±0.60c	37.69±1.31c	5.61±0.31c
T1	78.78±2.46a	52.15±1.34a	4.13±0.33b	79.47±5.10a	45.91±0.85a	7.08±0.80b
T2	61.55±1.34c	41.03±1.11c	7.20±0.29a	59.44±0.39c	41.36±0.79b	8.63±0.30a
T3	72.93±1.49b	22.43±1.42d	4.05±0.29b	68.92±4.38b	44.32±1.33a	8.84±0.42a

注: 同列不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义.

表 6 商品有机肥配施对土壤速效钾质量分数的影响

mg/kg

处理	2019 年			2020 年		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
对照	163.22±1.54c	99.56±1.81c	85.30±0.94b	229.75±5.15c	204.25±3.15c	132.00±1.31c
T1	169.34±1.54ab	100.07±0.00c	100.58±2.37a	266.50±5.32b	212.75±0.89bc	143.75±1.39b
T2	166.79±2.83bc	122.99±3.57a	87.34±2.83b	236.00±2.27c	215.00±6.55b	140.75±2.05b
T3	173.41±1.54a	106.18±2.18b	96.51±1.81a	277.00±4.34a	233.25±3.65a	172.75±2.31a

注: 同列不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义.

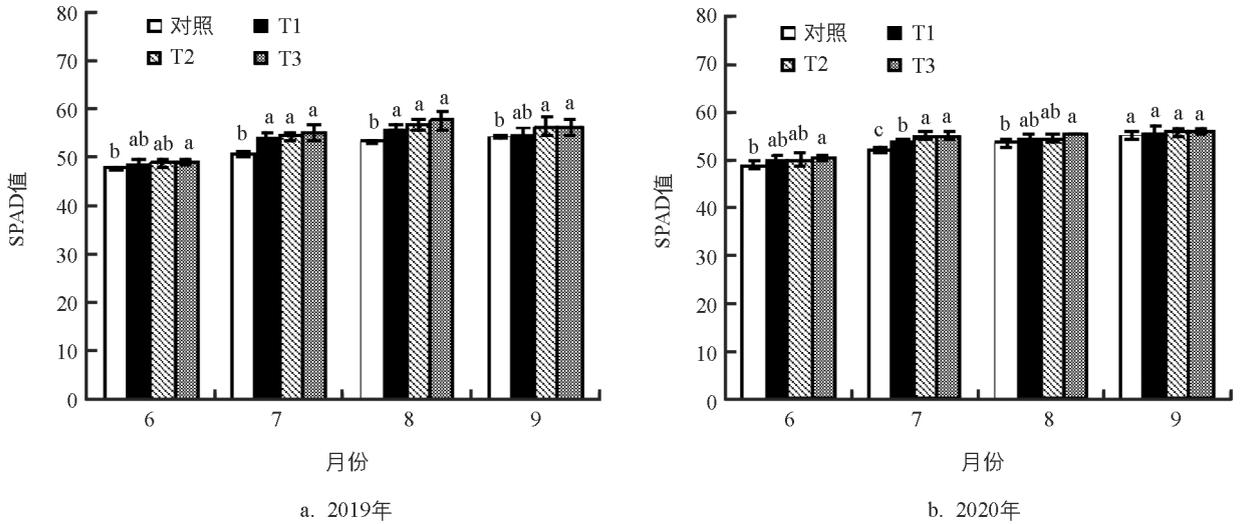
2.2 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果叶片的影响

2.2.1 叶片 SPAD 值

在 3 个处理间, 两年的叶片 SPAD 值在整体上差异不明显. T1 处理在 2019 年 7—8 月、2020 年 7 月时叶片 SPAD 值高于对照, T2 处理在 2019 年 7—9 月、2020 年 7 月时叶片 SPAD 值高于对照, 且差异均有统计学意义; 而 T3 处理除 2020 年 9 月叶片 SPAD 值略高于对照外, 两年间其余时间叶片 SPAD 值均高于对照, 且差异有统计学意义, 增加幅度 2.61%~8.69%(图 1). 说明商品有机肥配施有助于提高叶片 SPAD 值, 整体上以 T3 处理表现更好.

2.2.2 叶片生长

2019 年, 与对照相比, 6 月和 9 月时 3 个处理的百叶厚均高于对照且差异有统计学意义, 增加幅度 4.41%~26.70%. 2020 年, 除 T1 处理 8 月时百叶厚略高于对照外, 其余时间各处理均高于对照且差异有统计学意义, 增加幅度 7.12%~18.91%. 3 个处理间百叶厚整体差异不大, 但以 T3 处理整体增加幅度稍高(表 7).



相同月份不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义。

图 1 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果叶片 SPAD 值变化的影响

表 7 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果叶片百叶厚的影响

mm

年份	处理	6 月	7 月	8 月	9 月
2019	对照	29.45±0.22b	37.25±1.88a	44.80±1.75a	32.93±0.63d
	T1	31.15±0.62a	36.65±0.39a	44.25±2.26a	37.15±0.75c
	T2	30.75±0.66a	37.03±0.46a	45.25±0.34a	39.35±0.96b
	T3	31.01±0.64a	37.00±0.46a	45.45±0.69a	42.85±0.68a
2020	对照	28.50±0.43b	28.88±1.99b	29.14±1.16b	29.03±0.85b
	T1	30.68±0.71a	32.98±0.72a	30.73±0.81b	31.28±1.05a
	T2	30.53±0.74a	32.20±0.51a	34.65±1.24a	32.05±1.11a
	T3	31.58±0.89a	33.98±0.66a	33.25±0.82a	32.08±0.55a

注：同列不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义。

两年间, 3 个处理百叶鲜质量、百叶干质量较之对照均有不同程度的增加, 且 2020 年增加幅度整体高于 2019 年. 两年间 T3 处理百叶鲜质量和百叶干质量始终高于对照(百叶鲜质量增加 7.76%~22.22%, 百叶干质量增加 12.63%~32.38%), 且差异有统计学意义; T1 处理百叶鲜质量除 2019 年 8 月、百叶干质量除 2019 年 9 月外, 其余时间均与对照差异有统计学意义; T2 处理除在 2019 年 6—8 月百叶鲜质量、2019 年 7—8 月百叶干质量外, 其余时间均与对照差异有统计学意义. 3 个处理间整体差异无统计学意义(表 8).

2.2.3 叶片营养元素质量分数

3 个处理中, 两年间叶片 N, P, K, Ca, Mg 元素质量分数与对照相比均有不同程度的增加. 2019 年, T3 处理叶片 N, P 质量分数都高于其他处理, 且差异有统计学意义, 分别比对照高 5.26%, 9.14%, 但其他处理与对照差异无统计学意义; T1, T2 和 T3 处理叶片 K, Mg 质量分数均高于对照, 且差异有统计学意义; 3 个处理 Ca 质量分数均有所增加, 但仅 T1 处理与对照差异有统计学意义. 2020 年, 3 个处理叶片 N, P, Ca, Mg 质量分数均高于对照, 且差异有统计学意义; K 质量分数除 T1 处理外, 其余处理与对照差异均无统计学意义. 整体而言, 3 个处理间大量元素质量分数差异无统计学意义, T1 处理微量元素质量分数增加更明显(表 9).

表 8 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果叶片百叶鲜质量和百叶干质量的影响

g

年份	指标	处理	6 月	7 月	8 月	9 月
2019	百叶鲜质量	对照	84.23±3.36b	93.08±1.54b	92.33±1.69b	92.18±1.59d
		T1	95.55±2.99a	99.73±2.50a	94.13±0.48b	95.23±0.59c
		T2	88.60±2.55ab	96.65±2.18ab	93.28±0.81b	103.18±1.85b
		T3	94.05±3.61a	100.30±4.23a	105.03±2.59a	106.68±0.95a
	百叶干质量	对照	32.45±0.22b	34.98±0.49b	37.43±1.09c	41.23±1.54b
		T1	37.45±1.34a	40.60±2.75a	41.90±0.88b	42.93±1.09b
		T2	35.70±1.16a	35.60±0.72b	38.60±1.70bc	46.30±0.90a
		T3	36.55±1.58a	39.88±2.28a	46.65±2.27a	48.35±0.22a
2020	百叶鲜质量	对照	66.63±2.30c	62.88±1.21b	65.83±2.34c	76.65±0.92c
		T1	84.03±0.72a	72.93±1.03a	83.14±1.67a	89.43±0.57b
		T2	72.78±0.29b	74.30±1.18a	81.19±1.69ab	88.28±2.95b
		T3	74.95±1.37b	74.90±1.21a	78.46±0.92b	93.68±1.04a
	百叶干质量	对照	22.90±0.80b	24.55±1.76b	25.86±1.09b	32.18±0.46b
		T1	28.45±1.18a	30.40±1.10a	35.80±0.75a	41.93±0.39a
		T2	26.15±0.70a	28.70±1.51a	34.20±0.61a	43.30±1.42a
		T3	27.38±1.28a	29.00±1.29a	34.06±1.04a	42.60±0.93a

注:同列不同小写字母表示差异在 5%水平有统计学意义。

表 9 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果叶片营养元素质量分数的影响

mg/g

处理	2019 年					2020 年				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
对照	27.78±0.12b	1.97±0.02b	7.56±0.63c	2.54±0.14b	2.66±0.06c	28.80±0.59c	2.57±0.06b	6.71±0.04b	2.08±0.20c	2.15±0.07c
T1	27.86±0.31b	1.99±0.00b	9.35±0.12ab	3.14±0.27a	4.33±0.32a	32.03±0.30a	3.10±0.17a	7.24±0.04a	4.60±0.31a	4.36±0.29a
T2	28.14±0.32b	1.98±0.01b	8.83±0.37b	2.73±0.04b	4.26±0.48a	30.69±0.61b	3.04±0.06a	6.90±0.22b	4.43±0.27a	3.13±0.13b
T3	29.24±0.59a	2.15±0.04a	9.88±0.19a	2.61±0.10b	3.54±0.20b	30.07±0.36b	3.03±0.10a	6.72±0.04b	3.24±0.14b	3.00±0.31b

注:同列不同小写字母表示差异在 5%水平有统计学意义。

2.3 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果果实的影响

2.3.1 果实外观品质

与对照相比,3 个处理对苹果外观品质产生了一定影响,表现为单果质量增加,横径增大,颜色指数(CI)更高,并且处理对果实大小的影响相对较为明显,而对果形指数无明显影响,且整体而言两年间以 T2 处理对苹果果实外观的影响较明显.2019 年,T2 处理单果质量、横径均高于对照且差异有统计学意义,分别增加了 12.94%,9.16%和 5.16%,且单果质量和横径高于 T1,T3 处理且差异有统计学意义;T2,T3 处理各指标比对照虽略有增加,但与对照之间差异无统计学意义.2020 年,3 个处理对果实外观品质的影响较 2019 年更明显,其中 T2 处理果实大小、着色均优于对照,单果质量、横径、颜色指数分别增加了 12.63%,8.93%,6.62%和 40.04%,T1 和 T3 处理对果实部分指标也产生了明显的影响(表 10).说明商品有机肥配施能够促进果实增大和果实着色.

表 10 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果果实外在品质的影响

年份	处理	单果质量/g	纵径/mm	横径/mm	果形指数	颜色指数(CI)
2019	对照	240.98±8.90b	65.96±0.53b	85.45±1.11b	0.77±0.01a	15.18±4.94a
	T1	248.07±7.02b	68.22±3.32ab	86.23±0.62b	0.79±0.04a	20.61±4.86a
	T2	272.16±14.84a	72.00±1.01a	89.86±1.52a	0.80±0.02a	23.42±4.66a
	T3	248.48±4.85b	68.40±4.13ab	86.30±0.53b	0.79±0.05a	16.91±2.95a
2020	对照	236.40±10.70b	62.04±2.37b	81.51±1.77b	0.76±0.02a	14.41±1.95b
	T1	246.86±9.23ab	65.41±1.74a	86.14±2.77a	0.76±0.02a	16.34±2.03ab
	T2	266.26±3.24a	67.58±0.22a	86.91±0.82a	0.78±0.01a	20.18±2.92a
	T3	257.69±9.76a	64.94±1.33ab	85.78±1.98a	0.76±0.01a	14.96±1.09b

注：同列不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义。

2.3.2 果实内在品质

两年间, 3 个处理均一定程度上影响了苹果果实的内在品质, 与对照相比, 整体表现为可溶性固形物比例增加, 可滴定酸比例下降, 固酸比增大, 果实脆度增加, 但处理间整体差异不明显。2019 年, 3 个处理可溶性固形物比例与对照差异无统计学意义, 但可滴定酸显著降低(变化幅度 27.08%~47.92%, T1 处理含量最低), 因此固酸比显著增大; 硬度无显著变化, 但脆度有所增加, 且 T2 处理高于对照, 差异有统计学意义。2020 年, T3 处理可溶性固形物比例比对照提高, 且差异有统计学意义, 但可滴定酸略增加; T1, T2 处理可滴定酸比例低于对照, 而固酸比高于对照, 且差异有统计学意义; 各处理脆度略有增加, 硬度变化不明显(表 11)。综上, 商品有机肥配施能够改善苹果果实内在品质, 主要表现为降低可滴定酸从而增大固酸比。

表 11 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果果实内在品质的影响

年份	处理	可溶性固形物/%	可滴定酸/%	固酸比	硬度/(kg·cm ⁻²)	脆度/(kg·sec)
2019 年	对照	13.23±0.45a	0.48±0.02a	27.71±1.23c	0.22±0.01a	5.10±0.07b
	T1	13.55±0.64a	0.25±0.02c	55.03±6.20a	0.25±0.02a	5.15±0.03b
	T2	13.72±0.56a	0.32±0.06bc	44.57±8.92ab	0.24±0.01a	5.34±0.05a
	T3	14.01±0.61a	0.35±0.05b	40.94±4.99b	0.24±0.00a	5.14±0.07b
2020 年	对照	11.31±0.50b	0.37±0.03a	30.46±2.79b	0.20±0.01a	4.97±0.18a
	T1	11.90±0.37ab	0.26±0.06b	48.15±13.59a	0.22±0.03a	5.12±0.15a
	T2	11.92±0.53ab	0.23±0.03b	51.91±7.55a	0.20±0.01a	5.17±0.05a
	T3	12.49±0.49a	0.41±0.02a	30.80±2.23b	0.22±0.00a	5.17±0.00a

注：同列不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义。

2.3.3 果实 Ca 和 Mg 质量分数

两年间, 3 个处理苹果果实果皮和果肉中 Ca, Mg 质量分数均有不同程度增加。T1 处理苹果果肉中 Ca 质量分数高于对照且差异有统计学意义, 果皮和果肉 Mg 质量分数也有增加趋势; T2 处理在 2019 年果皮、果肉中的 Ca 和 Mg 质量分数均高于对照, 且差异有统计学意义, 2020 年虽有增加但与对照差异无统计学意义; T3 处理 2019 年果肉 Ca、果皮 Mg 质量分数高于对照且差异有统计学意义(表 12)。说明商品有机肥配施有助于提高果实 Ca, Mg 质量分数。

表 12 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果果实钙镁元素质量分数的影响

mg/g

年份	处理	Ca		Mg	
		果皮	果肉	果皮	果肉
2019	对照	0.48±0.04c	0.37±0.01c	1.62±0.03b	0.45±0.03c
	T1	0.65±0.03b	0.58±0.06a	1.71±0.07ab	0.80±0.07a
	T2	0.85±0.03a	0.46±0.01b	1.88±0.06a	0.59±0.04b
	T3	0.50±0.01c	0.64±0.02a	1.81±0.12a	0.56±0.07bc
2020	对照	0.65±0.03a	0.49±0.02b	0.84±0.01b	0.38±0.05a
	T1	0.65±0.02a	0.89±0.03a	1.07±0.14a	0.39±0.03a
	T2	0.73±0.01a	0.55±0.05b	1.01±0.04ab	0.40±0.04a
	T3	0.81±0.15a	0.51±0.01b	1.01±0.05ab	0.42±0.04a

注:同列不同小写字母表示差异在 5%水平有统计学意义。

3 讨论

3.1 商品有机肥配施对果园土壤肥力的影响

目前果园以施用化肥为主,导致土壤肥力严重下降。长期施用有机肥在增加有机质含量的同时,可降低土壤次生盐渍化状况的发生^[11]和促进土壤微生物增加及土壤的酶活性的提高^[12],也可提高土壤养分的有效性^[13]。有机肥与氮、磷、钾肥配施是较好的施肥模式,有机肥中的有机酸可以增加土壤中的有机成分,从而增加土壤的养分含量^[14]。土壤改良剂能够在一定程度上改变土壤的理化性质,提高土壤保肥力,促进土壤营养均衡^[15-16]。因此,施用有机肥和土壤改良剂来改良土壤对苹果的生产特别重要。本研究也证明,施加有机肥和菌肥、黄腐酸或硅肥,降低了各土层中的土壤 pH 值,增加了土壤有机质质量分数,提高了土壤速效氮、磷和钾质量分数。

3.2 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果植株叶片生长和营养元素的影响

植物叶片的 SPAD 值是评价植物长势的有效手段^[17-18]。研究发现施加黄腐酸水溶肥和有机肥配施能够提高叶片 SPAD 值、叶面积、百叶干质量和百叶鲜质量^[19];施加有机肥、有机肥与化肥配施能显著增加梨树叶片的叶绿素含量以及大量元素和微量元素的含量^[20]。在本研究中发现,有机肥与菌肥、黄腐酸或硅肥配施后,叶绿素含量有所增加,同时也促进了叶片生长,这与赵佐平等^[21]研究结果一致。本研究也发现,有机肥配施能够增加叶片的营养元素含量,这可能由于土壤中的有机肥、菌肥、黄腐酸或硅肥促进了土壤中营养元素的释放和树体的吸收,从而促进了叶片中元素的增加。

3.3 商品有机肥配施对“蜜脆”苹果果实品质的影响

有研究发现,通过增加土壤有机质含量可以促进果实的可溶性固形物含量,改善果实的品质,从而提高产量^[22-24];本研究在配施有机肥并减施化肥后发现果实的品质有所提高。果实中钙含量的高低直接影响果实的硬度和果实品质,缺钙可能会出现苦痘病、水心病等生理病害^[25]。有研究发现,生物有机肥可以提高富士苹果果实的商品率,而且合理的氮、磷、钾配比也能够平衡苹果的矿质元素含量^[26]。本研究表明,通过施加有机肥和菌肥、黄腐酸或硅肥,苹果果肉和果皮中的钙元素有所增加,这有益于降低“蜜脆”苹果果实苦痘病的发生,提高果实品质。

4 结论

本研究通过分析不同施肥处理后苹果园土壤肥力、苹果叶片生长与养分、果实品质相关指标的变化,研究了有机肥配施的效应。结果表明,增施商品有机肥并配施菌肥、黄腐酸或硅肥,各处理明显降低了土壤 pH 值,增加了有机质和土壤营养元素的质量分数,从而提高了土壤肥力。并且,各处理促进了“蜜脆”苹果叶片的生长与营养元素的积累,增加了果实可溶性固形物比例,降低了可滴定酸比例,增大了固酸比,且果实 Ca, Mg 质量分数增加,从而提高了果实品质。两年研究结果显示, T3 处理“商品有机肥+黄腐酸+1/2 化肥”综合效果更好。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 赵佐平. 施肥对渭北旱塬富士苹果产量及品质的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [3] 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): 1003-1009.
- [4] 康丽春, 郑琴, 陈叶青, 等. 我国有机肥生产与产品效能综述 [J]. 土壤科学, 2019, 7(2): 73-83.
- [5] VELTHOF G L, OUDENDAG D, WITZKE H P, et al. Integrated Assessment of Nitrogen Losses from Agriculture in EU-27 Using MITERRA-EUROPE [J]. Journal of Environmental Quality, 2009, 38(2): 402-417.
- [6] 李捷, 杨小鹏, 冯建军. 不同条件下黄腐酸对春小麦生长和水分利用的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 52-55.
- [7] 回振龙, 李朝周, 史文焯, 等. 黄腐酸改善连作马铃薯生长发育及抗性生理的研究 [J]. 草业学报, 2013, 22(4): 130-136.
- [8] 赫强, 甄胜民, 王龙, 等. 寒地水稻苗期喷施融地美试验 [J]. 现代化农业, 2014(3): 1-2.
- [9] 杜春燕. 有机肥替代化肥对果实产量、品质及土壤肥力的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [10] 冯焕德, 党志国, 倪斌, 等. 羊粪发酵肥替代化肥对芒果园土壤性状、叶片营养及果实品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 190-195.
- [11] 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.
- [12] 付崇毅, 张秀芳, 王玉静, 等. 施用有机肥和硫磺粉对北方日光温室南丰蜜橘生长及石灰性土壤化学性质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013(2): 17-21.
- [13] LIANG B, YANG X Y, HE X H, et al. Long-Term Combined Application of Manure and NPK Fertilizers Influenced Nitrogen Retention and Stabilization of Organic C in Loess Soil [J]. Plant and Soil, 2012, 353(1/2): 249-260.
- [14] LIU C G, LI F R, ZHOU L M, et al. Effect of Organic Manure and Fertilizer on Soil Water and Crop Yields in Newly-Built Terraces with Loess Soils in a Semi-Arid Environment [J]. Agricultural Water Management, 2013, 117: 123-132.
- [15] 刘慧军, 刘景辉, 于健, 等. 土壤改良剂对燕麦土壤理化性状及微生物量碳的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 68-72, 77.
- [16] 张强, 魏钦平, 刘惠平, 等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案 [J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1654-1661.
- [17] FILELLA I, PENUELAS J. The Red Edge Position and Shape as Indicators of Plant Chlorophyll Content, Biomass and Hydric Status [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(7): 1459-1470.
- [18] EL-SHIKHA D M, BARNES E M, CLARKE T R, et al. Remote Sensing of Cotton Nitrogen Status Using the Canopy Chlorophyll Content Index (CCCI) [J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51(1): 73-82.
- [19] 何流, 徐新翔, 贾志航, 等. 黄腐酸类肥料在苹果上的减肥增效效果 [J]. 北方园艺, 2018(18): 16-21.
- [20] 刘茂, 柴仲平, 盛建东, 等. 施用有机肥对库尔勒香梨叶片营养元素及果实产量、品质的影响 [J]. 北方园艺, 2014(10): 159-163.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] SAS-PASZT L, PRUSKI K, ZURAWICZ E, et al. The Effect of Organic Mulches and Mycorrhizal Substrate on Growth, Yield and Quality of Gold Milenium Apples on M. 9 Rootstock [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2014, 94(2): 281-291.
- [24] MARATHE R A, SHARMA J, MURKUTE A A, et al. Response of Nutrient Supplementation through Organics on Growth, Yield and Quality of Pomegranate [J]. Scientia Horticulturae, 2017, 214: 114-121.
- [25] 郑伟尉, 李瑞臣, 赵素香, 等. 不同类型土壤的含钙量与苹果的钙素营养 [J]. 落叶果树, 2005, 37(3): 1-3.
- [26] 刘东兴. 改良物质对盐碱土的改良作用及对植被生长发育的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.