

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22105

硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施对酸化果园土壤化学性质及苹果产量和品质的影响

陈海宁¹, 高文胜², 郑磊³, 樊兆博¹, 刘保友^{1*}, 刘宏斌³

(1. 山东省烟台市农业科学研究院, 山东 烟台 265500; 2. 山东省农业技术推广中心, 山东 济南 251000; 3. 菏泽金正生态工程有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘要:以烟台地区苹果主栽品种烟富3为试材,通过连续5年的定位试验,研究了硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施对酸化果园土壤化学性质、果树叶片功能、果实产量和品质的影响。结果表明:与空白对照相比,硅钙钾镁肥处理提高了土壤pH、碱解氮、速效钾、交换性钙镁含量及阳离子交换量,硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施后的土壤有机质、速效钾、交换性钙含量和阳离子交换量显著高于对照,分别提高11.6%、24.8%、24.7%和1.55 cmol/kg。单施硅钙钾镁肥提高了叶片SPAD值和叶面积,分别较对照提高6.05%和8.39%;硅钙钾镁肥和黄腐酸钾配施显著改善叶片功能,叶片SPAD值和叶面积分别较对照提高11.9%和16.1%。单施硅钙钾镁肥及其与黄腐酸钾配施均能显著提高单果重和产量,分别较对照增加9.4%~11.8%和11.4%~14.8%;果实可溶性固形物、固酸比、维生素C含量和硬度分别较对照增加了8.6%~10.2%、14.1%~16.8%、10.1%~12.3%和3.2%~3.8%,差异显著。综合评价,硅钙钾镁肥可有效改良土壤,改善苹果叶片功能,提高苹果产量和品质;硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施比单施硅钙钾镁肥效果更加显著。

关键词:硅钙钾镁肥;黄腐酸钾;土壤性质;产量;品质

山东是中国苹果种植第二大省,苹果产量居全国首位,是农民增收的支柱产业。果园土壤酸化是苹果产区存在的突出问题,以棕壤为主的胶东地区果园土壤酸化最为严重,偏酸性果园占全部果园的比例高达88.4%^[1]。土壤酸化影响土壤养分的有效性,土壤中钙、镁和钾等盐基离子加速淋溶,进而导致果实苦痘病、痘斑病和水心病的发生^[2];同时,土壤酸化会促进土壤中有害金属元素锰等溶出,造成锰中毒而引发苹果粗皮病等^[3];土壤酸化也可导致土壤中微生物群落发生变化,不利于营养物质的转化^[1]。土壤酸化已成为苹果产量及品质提高的重要限制因子,严重影响了苹果产业的可持续发展。

石灰是传统而有效的酸化土壤改良剂,但长期施用会破坏土壤结构、造成土壤板结、土壤“复酸化”^[4],还会引起土壤钙、钾、镁等元素的平衡失调而导致减产^[5-6]。近年来,白云石、粉煤灰、磷石膏、磷矿粉、碱渣和工业废弃物等一些矿物和工业废弃物也被用于改良酸化土壤。硅钙钾镁肥是磷石膏、钾长石等在高温下煅烧而形成的环保型碱性土壤调理剂,不仅能调酸改土,改善土壤理化性状,改善作物农艺性状,提高果实产量和品质,还能有效克服石灰等易造成土壤板结的不足^[7]。刘升基等^[8]研究表明苹果园施用硅钙钾镁肥后,果实硬度提高20.8%,可溶性糖和维生素(Vc)含量分别提高19.0%和21.9%,果实着色率提高34.2%,单产增加15.3%,粗皮病、苦痘病显著减少;秦旭等^[9]研究表明,梨园施用硅钙钾镁肥后,土壤pH提高0.22~0.73,土壤有机质、阳离子交换量和速效养分含量也显著提升;高文胜等^[10-12]研究发现,施用硅钙钾镁肥提高了樱桃园、葡萄园、桃园的土壤pH、阳离子交换量、交换性钙镁等含量,果实品质明显改善。

黄腐酸钾是腐植酸中活性最好、抗逆性最强的

收稿日期:2022-03-03;录用日期:2022-03-17

基金项目:2021年山东省重点研发计划(重大科技创新工程)(2021CXGC010802、2021CXGC010602);国家重点研发计划课题(2018YFC1900205);泰山产业领军人才工程项目(LJNY202125);山东省果品产业技术体系(SDAIT-06-11);烟台市科技发展计划项目(2021NYNC015)。

作者简介:陈海宁(1981-),博士,高级农艺师,主要从事植物营养与新型肥料研究。E-mail:heninchen2015@163.com。

通讯作者:刘保友,E-mail:baoyou1022@163.com。

物质,分子量较小,更易被作物吸收利用^[13];能改良土壤结构^[14],调节土壤酸碱度^[15],促进根系发育^[16],提高果实产量和品质^[17-18]。有研究表明,硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施能有效提高土壤酶活性,促进桃树根系生长^[19]。硅钙钾镁肥和黄腐酸对土壤改良和果树的生长发育均有重要作用,然而,迄今对于二者配施效果的研究较少。我国土壤改良研究起步较晚,大都局限于短期盆栽试验。酸化土壤改良是一项长期的系统工程,开展长期定位试验,综合评价长期施用土壤改良剂对果园生产的影响,对精准研发和科学应用土壤改良剂具有重要指导意义。笔者于2017~2021年连续5年在苹果园进行了硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施的定位试验研究,探讨其对土壤酸化果园苹果产量、品质及土壤理化性状,以期对酸化果园土壤改良及苹果产业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2017~2021年连续5年在山东省栖霞市谢家沟村苹果园(120.89°E, 37.31°N)进行。该地年平均气温11.3℃,年平均降水量约650mm,无霜期约207d,四季分明,光照充足,属暖温带季风型半湿润气候。试验园地势平坦,土壤有机质8.29mg/kg, pH 5.40, 碱解氮78.3mg/kg, 有效磷64.9mg/kg、速效钾125.1mg/kg, 土壤类型为棕壤。

供试苹果品种为烟富3/M26/平邑甜茶,10年生(2017年),株行距为3m×4m。

供试硅钙钾镁肥,含氧化钙24.67%、氧化镁10.76%、氧化硅34.11%、氧化钾4.69%、五氧化二磷6.08%,pH 8~9。供试黄腐酸钾,含腐植酸55%、黄腐酸50%、氧化钾12%、有机质75%,pH 8~10。

1.2 试验方法

试验共设3个处理:(1)空白对照(CK);(2)硅钙钾镁肥处理(T1);(3)硅钙钾镁肥+黄腐酸钾处理(T2)。选取生长势基本一致的苹果树,每个处理30株树,10株为一小区,每个小区之间设置保护行。根据预试验结果,确定本试验中硅钙钾镁肥的用量为1125kg/hm²,黄腐酸钾用量为7.5kg/hm²。硅钙钾镁肥在翌年3月中旬均匀撒到树盘后用铁耙轻拉覆土;黄腐酸钾可与其他肥料一起采

用放射性沟施,深度为20~30cm。试验期间各处理其他肥料用量及施用方法完全相同,果园各处理的剪枝、病虫害防控、疏花疏果等农艺措施与当地农民习惯保持一致。

1.3 样品采集与测定

叶面积指数和SPAD值:每株树在4个方位随机选取新梢中部叶片10片,测定SPAD值和叶面积指数。叶面积用LI-3000C便携式叶面积仪测定,SPAD值用SPAD-502Plus叶绿素测量仪测定。

苹果产量和品质:在2021年10月10日一次性采收全部果实计算单株产量。每株树在4个方位随机采取果实30个,用于单果重、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、硬度等指标的测定。单果重用百分之一电子天平称量,果实硬度采用GY-1型手持硬度计测定。蒽酮比色法测定果实可溶性糖含量;氢氧化钠中和滴定法测量果实可滴定酸含量;2,6-二氯酚靛酚法测定Vc含量^[20]。

土壤样品采集与测定:采用土钻在树冠外缘正下方内侧避开施肥部位取0~30cm土层的土壤。每个处理采集1个混合土样,每个混合土样分别由5株树的土壤混合而成,每株对角线4点取样。土样带回室内,晾干,磨细,过1mm筛,检测。土壤pH采用雷磁DZ-2型自动电位滴定仪测定;土壤有机质采用油浴加热-K₂Cr₂O₇容量法检测;土壤碱解氮采用碱解扩散法测定;土壤有效磷采用盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法测定;土壤速效钾采用火焰光度法测定;阳离子交换量采用中性醋酸铵交换法测定;交换性钙、镁离子采用醋酸铵交换-EDTA络合滴定法;土壤有效性铁、锌、铜、锰采用原子吸收分光光度法测定^[21]。

2 结果与分析

2.1 不同处理对叶片SPAD值、叶面积的影响

由表1可知,5年的定位试验表明,硅钙钾镁肥和黄腐酸钾配施显著增加了叶片SPAD值和叶面积,分别较对照提高了11.9%和16.1%。与对照相比,单施硅钙钾镁肥的叶片SPAD值提高了6.05%,差异不显著;叶面积增加了8.39%,差异达显著水平。硅钙钾镁肥和黄腐酸钾配施后,叶面积显著高于单施硅钙钾镁肥处理,增加了7.10%,但两个处理间叶片SPAD值差异不显著。

表 1 不同处理叶片 SPAD 值、叶面积

处理	SPAD 值	叶面积 (cm ²)
CK	47.9b	28.6c
T1	50.8ab	31.0b
T2	53.6a	33.2a

注：同列不同小写字母表示处理间差异达显著水平 ($P<0.05$)。下同。

2.2 不同处理对苹果产量及经济效益的影响

由表 2 可知，苹果园连续施用 5 年硅钙钾镁肥后，果实单果重及产量显著高于对照，分别提高了 9.4% ~ 11.8% 和 11.4% ~ 14.8%。与单施硅钙钾镁肥相比，黄腐酸钾和硅钙钾镁肥配施有助于增加单果重和产量，分别提高了 2.22% 和 3.04%，但无显著差异。与对照相比，苹果园施用硅钙钾镁肥、硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施，虽然在一定程度上提高了成本，但是经济效益增加显著，增收幅度分别为 24337.5 和 35175 元 /hm²。

表 2 不同处理苹果产量及经济效益

处理	单果重 (g)	产量 (t/hm ²)	增产率 (%)	成本 (元 /hm ²)	产值 (万元 /hm ²)	增收 (元 /hm ²)
CK	242.7b	55.9b	—	—	33.54	—
T1	265.4a	62.3a	11.4	14062.5	37.38	24337.5
T2	271.3a	64.2a	14.8	14625.0	38.52	35175.0

注：苹果单价为 6 元 /kg。成本为每公顷施用硅钙钾镁肥和黄腐酸钾的费用，硅钙钾镁肥的市场价格为 2500 元 /t，黄腐酸钾的市场价格为 15000 元 /t。

2.3 不同处理对果实品质的影响

由表 3 可知，硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施可显著改善果实品质，与对照相比，果实可溶性固形物、

固酸比、Vc 含量和硬度分别增加了 10.2%、16.8%、12.3% 和 3.8%。单施硅钙钾镁肥的果实可溶性固形物、固酸比和 Vc 含量较对照分别提高了 8.6%、14.1%、10.1%，差异显著。与单施硅钙钾镁肥相比，硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施处理的果实品质略有改善，但差异不显著。此外，施用硅钙钾镁肥处理显著增加了果实硬度，提高果实耐运输和耐储藏性能。

表 3 不同处理果实品质

处理	可溶性固形物 (%)	Vc (mg/100 g)	硬度 (kg/cm ²)	可滴定酸 (%)	固酸比
CK	12.8b	4.24b	8.22b	0.39a	32.7b
T1	13.9a	4.67a	8.48a	0.37ab	37.3a
T2	14.1a	4.76a	8.53a	0.37b	38.2a

2.4 不同处理对土壤化学性质的影响

连续 5 年施用硅钙钾镁肥能显著提高土壤的 pH、土壤碱解氮和交换性镁的含量 (表 4)。与对照相比，单施硅钙钾镁肥的土壤 pH 提高了 0.40，而黄腐酸钾与硅钙钾镁肥配施后土壤 pH 提高了 0.66；单施硅钙钾镁肥，土壤碱解氮和交换性镁分别提高了 21.6% 和 15.7%，增施黄腐酸钾后，土壤碱解氮和交换性镁分别提高了 36.8% 和 29.6%。硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施后，土壤有机质、速效钾、交换性钙含量显著高于对照，分别提高了 11.6%、24.8% 和 24.7%。此外，两者配施还显著提高了土壤的阳离子交换量，与对照相比增加了 1.55 cmol/kg。硅钙钾镁肥的施用对土壤有效磷的变化没有产生显著影响。

表 4 不同处理土壤 pH、有机质、土壤养分及阳离子交换量

处理	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	交换性钙 (mg/kg)	交换性镁 (mg/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)
CK	5.31c	8.08b	78.28c	54.51a	117.02b	468.53b	105.05c	9.79b
T1	5.71b	8.58ab	95.21b	57.56a	134.27ab	545.25ab	121.56b	10.39ab
T2	5.97a	9.02a	107.07a	50.91a	146.04a	584.44a	136.13a	11.34a

2.5 土壤化学性质与苹果产量、品质之间的相关分析

如表 5 所示，苹果产量与土壤 pH、速效钾、交换性镁含量和土壤阳离子交换量呈显著正相关关系 ($P<0.05$)。苹果品质方面，果实可溶性固形物含量与土壤碱解氮、交换性镁的含量呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)，此外，土壤 pH、有机质和速效钾含量也显著影响可溶性固形物含量 ($P<0.05$)。

果实 Vc 含量与土壤 pH、有机质和速效钾含量呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)。土壤有机质、速效钾和交换性钙含量显著影响果实硬度。果实固酸比与土壤碱解氮、速效钾和交换性镁含量呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)。综上所述，土壤的 pH、有机质、碱解氮、速效钾及交换性钙镁含量均不程度地影响果实的口感和风味，对提高果实品质有不可替代的作用。

表 5 土壤化学性质与苹果产量、品质之间的相关性

指标	产量	可溶性固形物	Vc	硬度	可滴定酸	固酸比
pH	0.673*	0.792*	0.818**	0.855**	-0.745*	0.820**
有机质	0.530	0.731*	0.914**	0.742*	-0.716*	0.774*
碱解氮	0.856**	0.862**	0.744*	0.863**	-0.786*	0.875**
有效磷	-0.255	-0.273	-0.129	-0.228	0.303	-0.295
速效钾	0.752*	0.792*	0.839**	0.746*	-0.823**	0.849**
交换性钙	0.341	0.581	0.731*	0.732*	-0.832**	0.727*
交换性镁	0.679*	0.855**	0.795*	0.656	-0.835**	0.901**
阳离子交换量	0.695*	0.654	0.290	0.517	-0.490	0.618

注: * 表示差异在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上极显著相关。

3 讨论

土壤酸化显著影响土壤的有机质转化、营养元素有效性及土壤保肥能力,影响果园土壤生产力和果树生长发育,影响果实品质的提高和产业的可持续发展^[7]。硅钙钾镁肥是一种新型的环保型土壤调理剂,在土壤环境改良方面有明显的作用。李小燕等^[22]研究发现,硅钙钾镁肥与红壤混合培养 150 d 后土壤 pH 提高 1.11。硅钙钾镁肥显著提高南方水稻土壤 pH,且提高幅度随施用次数和用量的增加而增大^[23-25]。此外,施用硅钙钾镁肥还能提高土壤有效硅和盐基离子的含量,降低土壤交换性 H^+ 和 Al^{3+} ,但对土壤有机质、全氮、全磷和碱解氮含量基本无影响。栗方亮等^[26-27]和李敏等^[28]的研究也得到相似结果。孙希武等^[19]发现,硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施显著提高土壤中碱解氮、有效磷、速效钾和有效硅等含量。本研究表明,连续 5 年施用硅钙钾镁肥使果园土壤 pH 提高 0.44 ~ 0.66,土壤有机质、碱解氮、速效钾、交换性钙镁和阳离子交换量等指标也有不同程度的提高,这与先前文献中报道关于硅钙钾镁肥对土壤化学性质的影响基本一致。硅钙钾镁肥释放的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ 等交换性盐基离子替代土壤胶体吸附的交换性 H^+ 和 Al^{3+} ,提高土壤的盐基饱和度^[22]; SiO_3^{2-} 进入土壤后水解产生 OH^- ,也会中和土壤中的 H^+ 和 Al^{3+} ^[29],提高土壤 pH。土壤酸度的降低和交换性钙镁含量的增加相同步,硅钙钾镁肥中的钾缓慢释放,成为土壤速效钾的有效补充。

硅钙钾镁肥在改良酸化土壤的同时,还能促进作物生长、提高作物产量和品质。有研究表明,硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施能有效提高土壤酶活性,

促进桃树根系生长^[19]。张青等^[30]研究表明,施用硅钙钾镁肥后,番茄产量增加 4.89% ~ 6.72%,Vc 含量提高 1.33% ~ 7.63%,可溶性糖含量提高 1.33% ~ 10.13%。涂玉婷等^[31]通过田间试验发现增施 750 kg/hm² 的硅钙钾镁肥,香蕉产量提高 3.82% ~ 5.64%,果实果指长显著增加,增幅达 5.3% ~ 14.7%。马存金等^[32]通过大田试验表明硅钙钾镁肥用量达 1500 kg/hm² 时,根系生理活性指标平均提高 28.62%,叶片钾含量提高 0.35 个百分点,总植物碱降低 0.35 个百分点,上等烟比例提高 6.9 个百分点。高文胜等^[12]在桃上的多年田间试验表明,硅钙钾镁肥用量 1125 kg/hm² 时,桃产量提高 24.98%,桃单果重和可溶性固形物含量分别提高 17.% 和 15.4%。秦旭等^[33]通过葡萄田间试验发现,施用硅钙钾镁肥后葡萄单穗重、产量、可溶性固形物含量和硬度分别增加了 21.9%、32.7%、16.9% 和 23.4%。孙希武等^[19]发现硅钙钾镁肥配施黄腐酸钾可显著提高叶片叶绿素含量和净光合速率,促进植株生长。本研究中,施用硅钙钾镁肥后,苹果单果重及产量分别提高了 9.4% ~ 11.8% 和 11.4% ~ 14.8%,差异显著,果实可溶性固形物、固酸比、Vc 含量和硬度分别增加 8.6% ~ 10.2%、14.1% ~ 16.8%、10.1% ~ 12.3% 和 3.2% ~ 3.8%,且硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施的效果更加显著。黄腐酸钾是一种天然的土壤改良剂,通过离子交换、螯合、络合和吸附等形式,活化土壤养分,推测这也是硅钙钾镁肥和黄腐酸钾复配后效果更加显著的原因。

因此,在土壤酸化果园进行硅钙钾镁肥和黄腐酸钾配合施用可以改善土壤 pH,同时硅钙钾镁肥和黄腐酸钾中含有果树生长所必需的中量元素及植物生长调节物质,可被果树直接吸收利用,对提高果实产量和品质有非常重要的作用。

4 结论

(1) 酸化苹果园连续 5 年施用硅钙钾镁肥后, 土壤 pH、土壤碱解氮和交换性镁的含量显著提高。硅钙钾镁肥与黄腐酸钾配施后, 土壤有机质、速效钾、交换性钙含量分别较对照提高了 11.6%、24.8% 和 24.7%, 差异显著; 还显著提高了土壤的阳离子交换量, 但对土壤有效磷的变化没有产生显著影响。

(2) 硅钙钾镁肥和黄腐酸钾配施显著增加了苹果叶片 SPAD 值和叶面积, 分别较对照提高了 11.9% 和 16.1%; 苹果单果重和产量分别提高了 11.8% 和 14.8%, 差异显著; 果实可溶性固形物、固酸比、Vc 含量、硬度分别增加了 10.2%、16.8% 和 12.3% 和 3.8%, 显著改善果实品质、果实风味和耐储性增强。

(3) 土壤部分化学性质显著影响苹果产量和品质。本研究中, 苹果产量与土壤 pH、速效钾、交换性镁含量和土壤阳离子交换量呈显著正相关关系 ($P<0.05$)。果实可溶性固形物含量与土壤 pH、有机质、速效钾含量呈显著正相关关系 ($P<0.05$)。果实 Vc 含量与土壤 pH、有机质和速效钾含量呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)。果实固酸比与土壤碱解氮、速效钾和交换性镁含量呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)。

参考文献:

- [1] 尹承苗, 王玫, 王嘉艳, 等. 苹果连作障碍研究进展 [J]. 园艺学报, 2017, 44 (11): 2215-2230.
- [2] 葛顺峰, 季萌萌, 许海港, 等. 土壤 pH 对富士苹果生长及碳氮利用特性的影响 [J]. 园艺学报, 2013, 40 (10): 1969-1975.
- [3] 国一凡, 王丽霞, 杨毅, 等. 有机-无机复合土壤调理剂在苹果上的应用研究 [J]. 山东农业科学, 2020, 52 (9): 94-98.
- [4] 陈士更, 张民, 丁方军, 等. 腐植酸土壤调理剂对酸化果园土壤理化性状及苹果产量和品质的影响 [J]. 土壤, 2019, 51 (1): 83-89.
- [5] 刘琼峰, 蒋平, 李志明, 等. 湖南省水稻主产区酸性土壤施用石灰的改良效果 [J]. 湖南农业科学, 2014 (13): 29-32.
- [6] 蔡东, 肖文芳, 李国怀. 施用石灰改良酸性土壤的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (9): 206-213.
- [7] 马存金, 陈剑秋, 李明丽, 等. 硅钙钾镁肥的研发生产及在果树上的应用 [J]. 落叶果树, 2020, 52 (1): 49-52.
- [8] 刘升基, 史桂平, 王静波, 等. 硅钙镁肥在苹果等作物上的应用试验 [J]. 烟台果树, 2008 (4): 21.
- [9] 秦旭, 王志刚, 胡兆平, 等. 土壤调理剂在梨上应用效果的研究 [J]. 山东农业科学, 2017, 49 (5): 88-90.
- [10] 高文胜, 崔秀峰, 秦旭, 等. 土壤调理剂在丘陵砂壤地甜樱桃上的应用研究 [J]. 落叶果树, 2017, 49 (3): 6-9.
- [11] 高文胜, 秦旭, 胡兆平, 等. 土壤调理剂在葡萄上的应用效果研究 [J]. 农学学报, 2017 (6): 63-66.
- [12] 高文胜, 秦旭, 王志刚, 等. 土壤调理剂在桃上应用效果的研究 [J]. 中国农学通报, 2017 (34): 131-134.
- [13] 孙力, 马志军, 肖宇. 黄腐植酸在农业中的应用研究 [J]. 黑龙江科学, 2013, 5 (10): 40-41, 23.
- [14] 李瑞波. 生物腐植酸与生态农业 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [15] 宋营. 黄腐酸钾肥在蔬菜生产中应用研究 [J]. 吉林蔬菜, 2014 (5): 36-37.
- [16] 陈修德, 陈修森, 李玲, 等. 黄腐酸肥料对日光温室中油 5 号桃的增产提质效果 [J]. 落叶果树, 2021, 53 (6): 16-18.
- [17] 窦森, 李艳, 关松, 等. 腐殖物质特异性及其产生机制 [J]. 土壤学报, 2016, 53 (4): 821-831.
- [18] 闫嘉欣, 常青, 杨治平, 等. 黄腐酸液体配方肥对大棚黄瓜产量及品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (10): 47-51.
- [19] 孙希武, 彭福田, 肖元松, 等. 硅钙钾镁肥配施黄腐酸钾对土壤酶活性及桃幼树生长的影响 [J]. 核农学报, 2020, 34 (4): 870-877.
- [20] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [21] 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, 2000.
- [22] 李小燕, 张舒予, 赵秉强, 等. 硅钙钾镁肥及引入柠檬酸对红壤和潮土 pH 值及养分含量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2021 (1): 101-108.
- [23] 冀建华, 李絮花, 刘秀梅, 等. 硅钙钾镁肥对南方稻田土壤酸性和盐基离子动态变化的影响 [J]. 应用生态学报, 2019, 30 (2): 583-592.
- [24] 李敏, 叶舒娅, 刘枫, 等. 硅钙镁磷钾肥不同用量对超级稻产量及磷钾吸收利用的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (30): 122-126.
- [25] 韩科峰, 陈余平, 胡铁军, 等. 硅钙钾镁肥对浙江省酸性水稻土壤的改良效果 [J]. 浙江农业学报, 2018, 30 (1): 117-122.
- [26] 栗方亮, 张青, 王利民, 等. 连续施用土壤调理剂对茄子品质及土壤性状的影响 [J]. 福建农业学报, 2017, 32 (7): 768-773.
- [27] 栗方亮, 张青, 王焯平, 等. 土壤调理剂对蜜柚产量、品质及土壤性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2018, 34 (6): 39-44.
- [28] 李敏, 叶舒娅, 刘枫, 等. 硅钙镁磷钾肥用量对油菜产量及磷钾吸收利用的影响 [J]. 中国农学通报, 2015, 31 (30): 114-118.
- [29] Castro G S A, Crusciol C A C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation [J].

- Geoderma, 2013, 195/196: 234–242.
- [30] 张青, 栗方亮, 王煌平, 等. 不同品种及用量的硅钙镁磷钾肥对番茄产量、品质及土壤 pH 的影响 [J]. 磷肥与复肥, 2015, 30 (12): 46–49.
- [31] 涂玉婷, 彭智平, 黄继川, 等. 施用不同品种硅钙钾镁肥对香蕉产量、品质及土壤养分的影响 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (4): 40–45.
- [32] 马存金, 任士伟, 郑磊, 等. 硅钙钾镁肥用量对烟草根系发育及烟叶质量的影响 [J]. 中国农学通报, 2020, 36 (31): 7–12.
- [33] 秦旭, 张柏松. 土壤调理剂在葡萄上应用效果初探 [J]. 北方园艺, 2014 (15): 179–182.

Effects of silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer combined with fulvic acid potassium on soil chemical properties, yield and quality of fruit in apple orchard with acidified soils

CHEN Hai-ning¹, GAO Wen-sheng², ZHENG Lei³, FAN Zhao-bo¹, LIU Bao-you^{1*}, LIU Hong-bin³ (1. Yantai Academy of Agricultural Science, Yantai Shandong 265500; 2. Shandong Agricultural Technology Extension Center, Jinan Shandong 251000; 3. Heze Kingenta Ecological Engineering Co., Ltd, Heze Shandong 274000)

Abstract: Effects of silicon-calcium-potassium magnesium fertilizer combined with fulvic acid potassium on soil chemical properties, leaf function, fruit yield and quality in Yanfu 3 apple orchard with acidified soils were studied in Yantai area. The results showed that soil pH value, the contents of alkali-hydrolyzable nitrogen, available potassium, exchangeable calcium and magnesium, and cation exchange capacity were increased by silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer, compared with control. The contents of soil organic matter, available potassium, exchangeable calcium and cation exchange capacity were significantly increased by 11.6%, 24.8%, 24.7% and 1.55 cmol/kg, respectively, by applying silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer combined with fulvic acid potassium. Leaf SPAD value and leaf area increased significantly by 11.9% and 16.1% compared with control by applying silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer combined with fulvic acid potassium, while increased by 6.05% and 8.39% when applying silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer alone. Applying silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer combined with fulvic acid potassium significantly increased fruit weight and yield by 9.4% ~ 11.8% and 11.4% ~ 14.8%, respectively. Fruit soluble solid, solid acid ratio, Vc content and fruit firmness increased significantly by 8.6% ~ 10.2%, 14.1% ~ 16.8%, 10.1% ~ 12.3% and 3.2% ~ 3.8%, respectively. Comprehensive evaluation showed that silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer could effectively improve soil chemical properties, function of apple leaves, and yield and quality of fruit. Effects of silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer combined with fulvic acid potassium was more significant than silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer alone in apple orchard with acidified soils.

Key words: silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer; potassium fulvic acid; soil properties; yield; quality