

土壤调理剂和生草互作对果园酸化 土壤化学性质及产量的影响

孙 瑶¹, 马金昭^{2*}, 傅国海^{3*}, 张培莘¹, 马荣辉⁴, 孙景宽², 董凯凯²

(1. 烟台市农业技术推广中心, 山东 烟台 264000; 2. 滨州学院山东省黄河三角洲生态环境
重点实验室, 山东 滨州 256603; 3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125;
4. 山东省土壤肥料总站, 山东 济南 250100)

摘 要: 土壤调理剂和生草技术是改善果园土壤质量、提高苹果产量和品质的有效措施。通过大田试验, 设置不同类型的土壤调理剂和生草的裂区试验, 主区为土壤调理剂处理: 不施土壤调理剂(CK)、生石灰(QL)、化学土壤调理剂(KB)、腐植酸类土壤调理剂(SC)和生物有机肥(BOM), 副区为清耕(CT)和生草(GR)处理, 共设10个处理, 研究土壤调理剂和生草互作效果。结果表明: 土壤调理剂和生草处理在苹果产量、可溶性固形物和Vc含量上存在显著的交互作用, SC与BOM处理较CK显著增加了苹果的产量和Vc含量, GR较CT处理显著增加了苹果的可溶性固形物、Vc含量和固酸比。各土壤调理剂较CK处理的土壤pH显著增加了5.1%~12.6%, GR较CT的土壤pH也显著提高了9.1%, 且与土壤调理剂处理交互作用显著。对于土壤有机质和碱解氮含量, SC和BOM处理较CK得到了显著增加, GR较CT也得到了显著增加。BOM-GR处理较KB-GR处理显著增加了叶片的SPAD值以及叶片的全氮、全钙和全镁含量。SC-GR处理较QL-GR和KB-GR处理显著增加了叶片全磷和全钾含量。SC、BOM处理和GR配施能够有效地改善土壤质量, 增加苹果的产量和品质。

关键词: 苹果; 酸化土壤; 土壤调理剂; 生草; 土壤性质; 产量; 品质

果树是农业经济发展中的重要组成部分, 我国果树的种植面积和产量均为世界第一^[1-2]。然而在我国果园种植中存在严重的土壤酸化问题, 如75%以上的山东果园出现不同程度的土壤酸化, 特别是以棕壤为主的胶东地区土壤酸化最为严重, 且随着种植年限的增加, 有日益严重的趋势^[3-5]。土壤酸化容易造成土壤矿质元素的流失和土壤肥力下降, 促进重金属的活化进而毒害植物, 并能影响土壤微生物及土壤酶的活性, 最终导致苹果产量与品质的降低^[5-7]。

土壤改良剂施用是改良酸化土壤的主要方法, 并具有保持水分和释放养分作用, 对土壤和植物产生有益的影响, 其种类主要包括石灰类、微生物肥

料、有机肥料、生物炭等^[3, 8]。石灰是最为常见的酸化土壤改良剂, 可在短时间内显著提高土壤pH值, 然而有研究表明长期使用可能加速提高土壤矿化速率, 造成离子失衡、土壤板结和复酸化等问题^[9-10]; 另外研究表明有机肥能提高土壤肥力, 增加土壤微生物的活性, 有效提高土壤对酸碱的缓冲性, 进而提高作物产量^[7, 11]; 张瑞清等^[6]发现添加果木和稻壳生物质炭后土壤交换性酸显著降低了0.38~1.84 cmol/kg, 提高了土壤pH值; 于晓东等^[12]和陈士更等^[3]研究发现, 腐植酸类土壤调理剂使土壤pH有效提高0.07~0.45个单位, 并能改善土壤理化性质。然而由于不同改良剂的有效成分、作用机理不同, 其施用效果特别是在不同土壤类型上的施用效果差异较大^[9]。

在我国传统果园管理中主要以清耕为主, 长期易破坏土壤结构, 减少土壤有机质含量, 影响果树的生长发育^[13]。国内外大量研究发现, 与清耕相比, 果园生草技术能够有效改善土壤结构、提高蓄水保墒能力、增加土壤有机质、提高土壤微生物和土壤酶的活性, 并能有效减少除草剂和人工成本

收稿日期: 2020-02-22; 录用日期: 2020-05-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201100); 滨州学院博士基金项目(2019Y10)。

作者简介: 孙瑶(1985-), 女, 山东烟台人, 农艺师, 博士, 从事土壤肥料与农技推广研究。E-mail: sunyao0538@163.com。

通讯作者: 马金昭, E-mail: mjz167448612@163.com; 傅国海, E-mail: fuguohai@agri.gov.cn。

的投入,是果园增产增效的方式之一^[14-17]。Qian等^[14]研究发现植体覆盖的土壤中总有机碳含量显著增加了16%~44%,白三叶和小冠花覆盖下的土壤总氮比未覆盖的提高了50%,井赵斌等^[16]发现鸭茅、黑麦草和三叶草混种后土壤中的细菌、真菌、放线菌数量分别较对照增加了121.63%、49.23%和31.86%。然而果园生草技术对于酸化土壤的改良效果研究较少,特别是生草与土壤调理剂互作对酸化果园的改良效果鲜有报道。

本研究采用土壤调理剂和生草技术互作的方式,探讨其对土壤酸化果园苹果产量、品质、土壤与植株养分含量的影响,以期为果园的酸化土壤改良提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2015年10月~2016年11月在山东省栖霞市观里镇乔家宝苹果园(37°21'N, 120°74'E)进行,年平均气温10.5~11℃,全年 $\geq 10^\circ\text{C}$,有效积温为3858.7℃,无霜期170~180 d,年总降水量为750 mm以下。供试品种为红富士,树龄12年,株行距3 m×4 m,840株/hm²。果园地势平坦,土壤类型为棕壤(筒育湿润淋溶土),其0~40 cm土层基本理化性状为:pH 4.50,有机质9.09 g/kg,碱解氮102.4 mg/kg,有效磷53.4 mg/kg,速效钾215.0 mg/kg,交换性钙1.296 g/kg,交换性镁0.189 g/kg。

供试土壤改良剂为生石灰(当地石灰厂购买,CaO $\geq 85.0\%$)、化学土壤调理剂(烟台科宝生物肥业有限公司提供,CaO $\geq 35.0\%$,MgO $\geq 8.0\%$,pH 8.5~11.0,1.0~4.5 mm粒度 $\geq 80.0\%$)、腐植酸类土壤调理剂(山东创新腐植酸科技股份有限公司提供,pH 9.0~11.0、有机质 $\geq 60\%$ 、腐植酸 $\geq 60\%$ 、K₂O $\geq 10\%$)和生物有机肥(烟台地元生物科技有限公司提供,固体粉剂,有效活菌数 ≥ 2 亿/g,有机质 $\geq 65\%$)。复合肥(15-15-15)和复合肥(17-8-15)均由众德肥料(烟台)有限公司提供;基肥的有机肥(有机质 $\geq 45\%$,N+P₂O₅+K₂O $\geq 5\%$)由山东宝源生物科技股份有限公司提供。

果园生草品种为鼠茅草(*Vulpia myuros*),播种期为上一年9月底到10月上旬,播种量为22.5 kg/hm²,播种方式采用撒播,行间生草方式,草带

距离树盘外缘50 cm左右。播种前将鼠茅草种子与细沙混合均匀,在无风天气撒播到果园,播种后用铁耙轻拉覆土,然后镇压,防止种子吊干。于次年6月份自然枯萎,无需刈割。

1.2 试验设计

采用裂区试验设计,以不同土壤调理剂为主区:不施土壤调理剂(CK)、生石灰(QL)、化学土壤调理剂(KB)、腐植酸类土壤调理剂(SC)和生物有机肥(BOM);以果园清耕(CT)与生草(GR)为副区,共设10个处理:(1)不施土壤调理剂+清耕(CK-CT);(2)不施土壤调理剂+生草(CK-GR);(3)生石灰+清耕(QL-CT);(4)生石灰+生草(QL-GR);(5)化学土壤调理剂+清耕(KB-CT);(6)化学土壤调理剂+生草(KB-GR);(7)腐植酸类土壤调理剂+清耕(SC-CT);(8)腐植酸类土壤调理剂+生草(SC-GR);(9)生物有机肥+清耕(BOM-CT);(10)生物有机肥+生草(BOM-GR)。其中生石灰和化学土壤调理剂用量均为1500 kg/hm²,在翌年3月中旬将生石灰或化学土壤调理剂分别与细沙混合,全园撒施后用铁耙轻拉覆土;生物有机肥和腐植酸土壤调理剂的用量均为5 kg/株,采用放射性沟施,深度为20 cm。每个处理选择树势一致的9棵果树作为一次重复,重复3次。

施肥按照当地常规方法进行:上一年果实采收后(10~11月)施基肥:复合肥(15-15-15)1.5 kg/株,有机肥10.0 kg/株;次年果树萌芽期(3月中旬)第一次追肥:复合肥(15-15-15)1.5 kg/株,牛粪37.5 t/hm²;果实膨大期(6月底至7月初)第二次追肥:复合肥(17-8-15)1.5 kg/株。基肥和追肥的施肥方法是距离苹果树主干50~60 cm处挖深和宽均为20 cm左右的放射沟约5~6条,牛粪为农民自行购买,在全园均匀撒施。果树追肥和施用土壤调理剂时,先将鼠茅草移开,施用结束后,及时将鼠茅草移回原位,压实、浇水。各处理的剪枝、病虫害防治和疏花疏果等田间管理措施均与当地农民习惯保持一致。

1.3 样品采集与测定

苹果产量及品质测定:于2016年10月9日一次性收获采收果实,各小区产量以实际全部收获称量为准。每个处理选取3株树,分别从每株树上、中、下层随机选取10个单果称重,计算单果质量,称重后装箱,带回实验室备用。采用自动数字折

射仪 (ATAGO RX-5000 α) 测定果实的可溶性固形物, NaOH 中和滴定法测定果实中的可滴定酸, 2, 6-二氯酚靛酚钠滴定法测定果实中 Vc 的含量^[18]。

土壤样品采集与测定: 于 2016 年果实收获期进行土壤取样, 采用土钻 ($\Phi=4$ cm) 在距离树干 1 ~ 1.5 m 范围内避开施肥部位随机选取 5 个点, 取 0 ~ 40 cm 的土样。将土样充分混匀后带回实验室摊平晾干, 待自然风干后, 分别过 2 和 0.25 mm 筛保存待测。土壤 pH 采用赛多利斯 Sartorius 酸度计 PB-10 测定; 有机质采用重铬酸钾外加热法测定; 碱解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用钼蓝比色法测定; 速效钾采用醋酸铵提取、火焰光度法测定^[19]。

果树叶片采集及营养元素含量测定: 于 2016 年 7 月中旬, 随机采供试树上生长健壮的新梢中部完整叶片, 每树取 50 片叶片带回实验室于烘箱内 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min, 80 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重, 使用植株磨样机磨碎过筛待测。叶片经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮, 全氮采用凯氏定氮法, 全磷采用钒钼黄比色法, 全钾采用火焰光度法^[19]。叶片全量的钙、镁、铜、锌、铁、锰采用微波消解-原子吸收法测定^[18]。

1.4 数据处理

试验数据处理采用 Excel 2010 软件, 并用 SAS 8.0 统计软件采用双因素分析方法进行差异显著性分析及 ANOVA 方差分析; 采用 Sigmaplot 12.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 土壤调理剂和生草互作对苹果产量的影响

土壤调理剂和生草条件对苹果产量存在显著的交互作用, 其中未施用土壤调理剂的 CK-CT 和 CK-GR 处理的产量最低 (表 1)。与未施用土壤调理剂 CK 处理相比, SC、BOM、QL 和 KB 均显著提高了苹果产量, 且 QL 和 KB 较高, 较 CK 显著增加了 12.9% 和 12.0%, 但 SC 和 BOM 之间以及 QL 和 KB 之间的产量无显著差异。GR 和 CT 条件下的苹果产量没有显著差异。QL-CT 处理的产量较 BOM-CT、SC-CT 和 CK-CT 处理分别显著增加了 5.2%、4.4% 和 13.5%, KB-GR 处理的产量较 KB-CT 和 CK-GR 分别显著增加了 7.5% 和 16.5%。土壤调理剂和生草条件对苹果的单果重存在显著的

交互作用, SC、QL 和 KB 处理的单果重较 CK 处理显著增加 6.0% ~ 8.5%, GR 亦较 CT 处理显著增加了 12.3%。

表 1 土壤调理剂和生草互作下的苹果产量和单果重

处理		产量 (t/hm ²)	单果重 (g)	较 CK/CK-CT 增产 (%)
a	CK	76.7c	250.3b	—
	QL	86.6a	271.7a	12.9
	KB	85.9a	265.3a	12.0
	SC	83.0b	267.7a	8.2
	BOM	83.8b	261.7ab	9.3
b	CT	82.9a	248.1b	—
	GR	83.5a	278.5a	—
a × b	CK-CT	77.1e	237.5d	—
	CK-GR	76.4e	263.0bc	-0.9
	QL-CT	87.5ab	271.3ab	8.7
	QL-GR	85.8bc	272.0ab	7.6
	KB-CT	82.8d	245.7cd	7.9
	KB-GR	89.0a	285.0ab	9.6
	SC-CT	83.8cd	245.3cd	8.9
	SC-GR	82.1d	290.0a	9.3
	BOM-CT	83.2cd	240.7cd	7.3
	BOM-GR	84.5cd	282.7ab	9.9
P 值	a	<0.0001	0.0368	—
	b	0.1468	<0.0001	—
	a × b	0.0008	0.0195	—

注: 表中第一列中 a 代表不同土壤调理剂类型, b 代表生草或清耕。在同一因素、同列的数据后标有不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 土壤调理剂和生草互作对苹果品质的影响

土壤调理剂和生草处理对苹果的可溶性固形物和 Vc 含量存在显著的交互作用 (表 2)。QL 处理的可溶性固形物含量最低, 较 CK、SC 和 BOM 显著减少了 4.7% ~ 7.5%; SC-GR 处理的可溶性固形物含量最高, 较 CK-CT 和 SC-CT 处理分别显著增加了 14.9% 和 8.6%。SC、BOM、QL 和 KB 处理的 Vc 含量均较 CK 处理得到了显著提高, 其中 SC-GR 较其余处理均有显著提高。与 CT 处理相比, GR 处理的可溶性固形物、Vc 和固酸比分别显著增加了 9.8%、16.1% 和 8.2%。

表 2 土壤调理剂和生草互作下的苹果品质

处理		可溶性 固形物（ % ）	Vc （ mg/kg ）	可滴定酸 （ % ）	固酸比
a	CK	12.9ab	120.8b	0.349a	36.9a
	QL	12.3c	149.2a	0.342a	36.0a
	KB	12.5bc	147.6a	0.345a	36.4a
	SC	13.3a	147.2a	0.355a	37.6a
	BOM	12.9ab	136.7a	0.342a	37.8a
b	CT	12.2b	129.8b	0.345a	35.5b
	GR	13.4a	150.7a	0.348a	38.4a
a × b	CK-CT	12.1e	101.8e	0.337a	35.9a
	CK-GR	13.7ab	139.8c	0.360a	38.0a
	QL-CT	11.1f	149.6bc	0.335a	33.2c
	QL-GR	13.5abc	148.7bc	0.349a	38.8a
	KB-CT	12.3de	144.7bc	0.360b	34.1bc
	KB-GR	12.8cde	150.5b	0.330a	38.7a
	SC-CT	12.8 de	129.1d	0.347a	36.8a
	SC-GR	13.9a	165.3a	0.362a	38.4a
	BOM-CT	12.8bcd	124.2d	0.343a	37.4a
	BOM-GR	13.0cde	149.3bc	0.340a	38.2a
P 值	a	0.0106	0.0002	0.7948	0.2347
	b	<0.0001	<0.0001	0.6588	0.0002
	a × b	0.0038	0.0020	0.2579	0.0689

2.3 土壤调理剂和生草互作对土壤 pH 和养分含量的影响

土壤调理剂和生草条件对土壤的化学性质产生影响, 且对土壤的 pH 存在显著的交互作用 (表 3)。QL、KB 和 BOM 处理的 pH 较 CK 显著增加了 9.9% ~ 12.6%, 较 SC 处理显著增加了 4.6% ~ 7.1%; SC 较 CK 的 pH 显著增加了 5.1%。GR 处理的 pH 较 CT 显著增加了 9.1%。在各处理中以 CK-CT 的 pH 最低, 其余处理土壤的 pH 均得到了显著提高。SC 和 BOM 处理的土壤有机质较 CK 显著提高了 14.3% 和 18.4%, QL 与 CK 处理之间并未有显著差异; GR 较 CT 处理显著提高了 12.9%。SC 和 BOM 处理较 CK 处理显著增加了土壤中碱解氮的含量, 而 BOM 处理的有效磷和速效钾含量与 CK 相比未有显著变化。GR 较 CT 显著增加了土壤中碱解氮的含量, 而对于有效磷和速效钾含量无显著差异。

2.4 土壤调理剂和生草互作对叶片 SPAD 值的影响

不同土壤调理剂和生草条件下的叶片叶绿素 SPAD 值与 CK-CT 处理差异显著 (图 1)。CK-CT 处理的 SPAD 值最低, 其余各处理较其显著增加了 4.9% ~ 11.4%。在相同的土壤调理剂 (SC、BOM、QL 和 KB) 处理中, GR 与 CT 间的 SPAD 值无显著差异, 而未添加土壤调理剂的 CK-GR 处理的叶片 SPAD 值较 CK-CT 处理得到了显著增加。

表 3 土壤调理剂和生草互作下的土壤 pH 和养分含量

处理		pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
a	CK	4.53c	9.8d	86.1c	56.0c	243.4bc
	QL	5.01a	10.3cd	112.3b	59.8bc	275.6a
	KB	5.10a	10.6bc	97.0c	67.7a	252.2b
	SC	4.76b	11.2ab	112.5ab	63.3ab	254.6ab
	BOM	4.98a	11.6a	126.2a	53.6c	223.5c
b	CT	4.72b	10.1b	102.2b	61.1a	239.9a
	GR	5.15a	11.4a	111.4a	59.1 a	259.9a
a × b	CK-CT	4.20e	9.2f	73.7e	56.8bcd	255.1abc
	CK-GR	4.85c	10.5cde	98.5cd	55.0cd	231.7bcd
	QL-CT	4.84c	9.8ef	108.7bcd	63.3abc	267.7ab
	QL-GR	5.17a	10.8cd	115.9abc	56.4bcd	283.5a
	KB-CT	5.03abc	10.1de	93.1d	70.1a	220.8bcd
	KB-GR	5.17a	11.1bc	100.8cd	65.3ab	283.7a
	SC-CT	4.46d	10.5cde	103.2bcd	61.0abcd	247.8abcd
	SC-GR	5.06abc	11.9ab	121.7ab	65.6ab	261.4abc
	BOM-CT	5.08ab	10.7cd	132.2a	54.1d	208.0d
	BOM-GR	4.89bc	12.5a	120.2ab	53.1d	239.1bcd
P 值	a	<0.0001	0.0009	0.0007	0.0076	0.0039
	b	<0.0001	<0.0001	0.0408	0.3408	0.3408
	a × b	0.0010	0.6084	0.1047	0.4736	0.4736

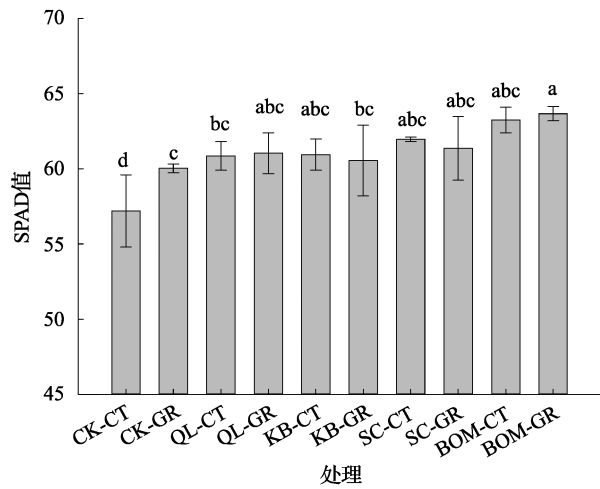


图1 土壤调理剂和生草互作下的苹果叶片 SPAD 值

注: 不同字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.5 土壤调理剂和生草互作对叶片营养元素的影响

土壤调理剂和生草互作对苹果叶片营养元素含

量的影响显著 (图2)。BOM-CT 处理的叶片全氮含量较 KB-GR 处理得到了显著增加, 而其余各处理间差异不显著。CK-CT 和 KB-CT 处理的叶片全磷含量最低; 除 CK-GR 处理外, SC-GR 处理较其余处理的全磷含量显著增加了 18.2% ~ 62.5%。SC-GR 处理叶片全钾含量较 BOM-GR 除外的其他处理显著增加了 12.4% ~ 39.7%, SC-GR 处理显著提高了叶片全磷和全钾的含量。除 BOM-GR 和 QL-GR 处理的全钙含量增加外, 各处理无显著性差异。QL-CT 处理的全镁含量较 QL-GR 和 BOM-GR 除外的其余处理显著增加了 21.3%~65.5%。QL-CT、SC-CT 和 BOM-GR 处理的全锰含量较 CK-CT 分别显著增加了 20.4%、19.6% 和 18.9%。SC-GR、BOM-GR、QL-GR 和 KB-GR 处理的全铜含量较 CK-CT 和 CK-GR 处理显著降低了 16.1% ~ 29.9%。CK-GR 较 CK-CT 处理的全锌含量显著增加了 37.6%, 各处理间的叶片全铁含量无显著性差异。

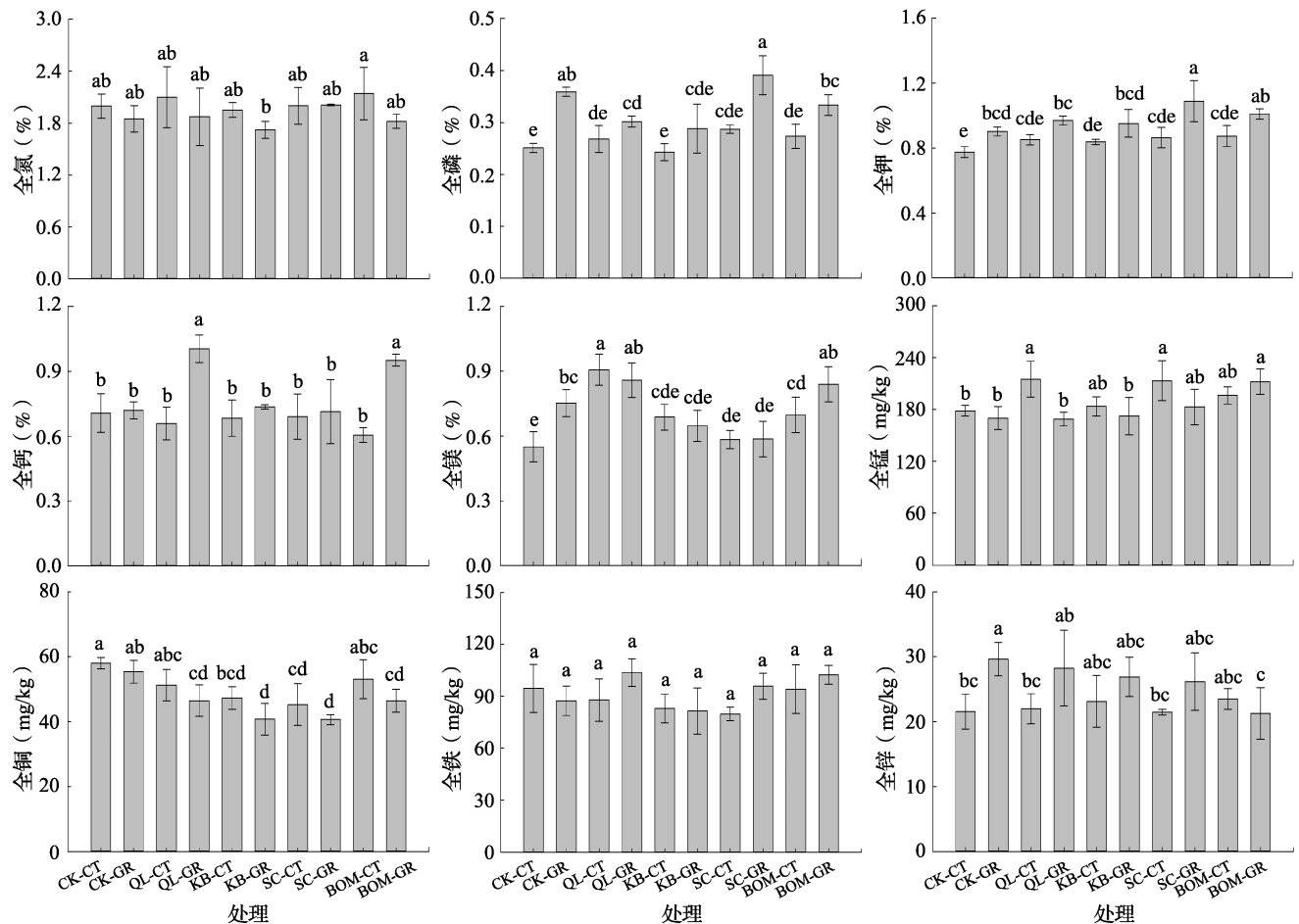


图2 土壤调理剂和生草互作下的苹果叶片营养元素含量

2.6 相关性分析和主成分分析

对苹果产量、品质和土壤的化学性质进行相关性分析,发现土壤的 pH、速效钾与苹果的产量呈显著的正相关关系(表 4)。果实的 Vc 含量与土壤的 pH、有机质、碱解氮和有效磷呈显著的正相关关系;固酸比和土壤有机质呈显著的正相关关系。从表中可知,土壤的 pH、有机质和碱解氮的增加可以显著提高苹果果实的 Vc 含量,有机质可显著提高苹果的固酸比。

表 4 土壤化学性质与苹果产量、品质的相关性分析

	产量	可溶性 固形物	可滴 定酸	Vc	固酸比
pH	0.474**	0.324	0.131	0.657**	0.257
有机质	0.289	0.495	0.005	0.577**	0.487**
碱解氮	0.337	0.304	0.002	0.429*	0.288
有效磷	0.287	-0.229	0.180	0.386*	-0.339
速效钾	0.411*	-0.057	-0.161	0.229	0.111

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

果树叶片的营养元素含量可以影响苹果的产量和品质,同时也对土壤的理化性质产生一定的反馈效应,并且各环境因子之间也相互影响。因此有必要在众多的营养元素因子中提取出主要的因子,即需要对叶片的营养元素进行主成分分析(表 5)。依据主成分特征值 >1 的原则,共可选取 4 个主成分,累计贡献率达 75.4%,能够较好地反映 9 个指标的表达信息。从主因子载荷向量可以看出,第一

表 5 叶片各营养元素的主成分分析

因子	F1	F2	F3	F4
全氮	-0.3079	0.2358	0.4567	0.4014
全磷	0.4226	-0.1243	0.3522	0.2134
全钾	0.5146	0.0317	0.2970	-0.6565
全钙	0.3494	0.4202	-0.2231	-0.2841
全镁	0.0755	0.5713	0.0461	0.1079
全铜	-0.3549	0.2998	-0.3121	0.3690
全铁	0.2491	0.5062	-0.1400	0.0837
全锰	-0.2257	0.2338	0.6377	-0.2159
全锌	0.3085	-0.1557	-0.6011	0.7120
特征值	2.6154	1.6925	1.4607	1.0171
贡献率 (%)	29.06	18.81	16.23	11.30
累计贡献 率 (%)	29.06	47.87	64.10	75.40

主因子 F1 贡献率是 29.06%,是以全磷和全钾为代表的营养元素因子;第二主因子 F2 累计贡献率为 47.87%,其中起主要作用的正向负载因子是全镁、全铁和全钙;第三主因子 F3 累计贡献率达 64.10%,以全锰和全氮为主要正向负载因子;第四主因子 F4 累计贡献率可达 75.40%,全锌正向负荷量最大。

3 讨论

3.1 土壤调理剂和生草互作对土壤 pH 和营养元素的影响

土壤酸化是指土壤中的 H^+ 增加,取代土壤胶体表面吸附的盐基离子引起 pH 下降的过程^[6]。果园土壤酸化的主要原因是长期过量施用氮肥造成土壤中积累的 NH_4^+ 经过硝化作用产生大量的 H^+ ,导致 pH 降低^[20]。在本试验中,添加土壤调理剂均会有效地提高 pH 值,并且和生草处理具有显著的交互作用(表 2),其主要原因是改良剂本身含有的碱性物质能够起到中和作用,其中的一些大分子物质还能够与土壤中的部分离子结合成盐,形成能够相互转化的缓冲体系^[9]。有机肥不仅含有植物必需的营养元素,还能够提高微生物活性,改善土壤理化性质,试验中施用有机肥调理剂显著提高了土壤 pH 和有机质含量,进而增加了果树的产量,这与孙瑶等^[7]的研究一致。腐植酸类土壤调理剂的有机质含量较 CK 处理显著增加了 14.3%,因为其自身含有多种官能团的大分子芳香化合物,可以作为有机碳源补充土壤中有机质含量^[3]。本研究中 SC 处理显著增加了土壤的碱解氮和有效磷含量,主要原因可能是因为腐植酸可以显著提高土壤中微生物数量和活性,进而增加土壤中速效养分的含量。果园生草是维持土壤肥力的有效方法之一,能够降低土壤容重、增加土壤孔隙度,提高土壤有机碳和养分含量,本试验中生草处理显著增加了土壤 pH、有机质和碱解氮含量,主要因为鼠茅草可提高土壤孔隙度,改善土壤的物理性状^[21],并在次年 6 月份自然枯萎,这不仅有效地避免了与果树争水争肥,还在其枯萎后的降解过程中增加了土壤的 C/N 值^[22],进而起到改善土壤质量的作用。

3.2 土壤调理剂和生草互作对苹果产量和品质的影响

苹果树的生长依赖于土壤环境状况,土壤的理化性质与苹果的产量和品质密切相关。秦旭

等^[23]研究发现土壤调理剂能够有效改善果园土壤结构、提高果树产量和品质;李丹等^[9]发现,施用多种土壤调理剂均能提高土壤 pH,进而提高辣椒的产量和品质;陈士更等^[3]、于晓东等^[12]施用腐植酸土壤调理剂改善了土壤理化性质,显著提高了小麦和苹果的产量。本试验中,各土壤调理剂均能有效地提高苹果的产量,并在前人研究基础上发现能和生草处理产生显著的交互作用(表 1)。矿质营养是植物生长发育、品质提高的物质基础,不仅可以促进苹果树体生长健壮、代谢旺盛,还能增强其抵御逆境的能力,本试验中增施土壤调理剂和生草互作增加了苹果叶片部分营养元素的含量(图 2),并在果实的可溶性固形物和 Vc 方面有显著的交互作用,并且生草较清耕处理显著增加了果实的可溶性固形物和 Vc 含量(表 2)。添加不同土壤调理剂和生草处理均较 CK-CT 处理显著增加了苹果叶片的 SPAD 值,提高了作物的光合作用。长期生草能够有效地提高果园土壤营养元素含量和土壤酶的活性^[24],通过分析发现,叶片中的全磷和全钾含量是第一主因子的代表因子(表 5),这可能与果园长期过量施用氮肥有关;土壤调理剂和生草处理提高土壤的 pH,可显著增加苹果产量和 Vc 含量,有机质与果实的固酸比和 Vc 含量密切相关。

4 结论

土壤调理剂和生草对提高苹果的产量和部分品质指标具有显著的交互作用。施用土壤调理剂各处理的产量较不施处理显著增加了 8.2% ~ 12.9%;对于可溶性固形物和 Vc 含量,SC-GR 较 CK-CT 处理得到了显著提高;生草较清耕处理显著提高了果实的可溶性固形物、可滴定酸和固酸比。土壤调理剂均可显著提高土壤 pH 值,与生草有显著的交互作用。施用腐植酸土壤调理剂和生物有机肥较不施调理剂均可显著提高土壤有机质含量。在相同生草条件下,生物有机肥处理较化学土壤调理剂显著增加了叶片的 SPAD 值以及叶片的全氮、全钙和全镁含量。综上所述,腐植酸和有机肥土壤调理剂和生草互作可更好地改良果园酸化土壤,提高苹果的产量和品质。

参考文献:

[1] 王依,陈成,雷玉山,等. 果园生草对土壤环境及果实品质相关因素研究进展[J]. 北方园艺, 2017 (19): 174-179.

[2] 左玉环,刘高远,杨莉莉,等. 陕西渭北柿子园种植白三叶草对土壤养分和生物学性质的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30 (2): 518-524.

[3] 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.

[4] 王见月,刘庆花,李俊良,等. 胶东果园土壤酸度特征及酸化原因分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26 (16): 164-169.

[5] 王富国,宋琳,冯艳,等. 不同种植年限酸化果园土壤微生物学性状的研究[J]. 土壤通报, 2011, 42 (1): 46-50.

[6] 张瑞清,杨剑超,孙晓,等. 两种生物炭对果园酸化土壤改良效果的研究[J]. 山东农业科学, 2016, 48 (2): 74-79.

[7] 孙瑶,王一鸣. 有机肥对苹果产质量及烟台果园酸化土壤化学性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43 (36): 194-196.

[8] Wang X, Wang J, Song S, et al. Preparation and properties of soil conditioner microspheres based on self-assembled potassium alginate and chitosan [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 9: 247.

[9] 李丹,王道泽,赵玲玲,等. 不同土壤改良剂对设施蔬菜土壤酸化的改良效果研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33 (27): 112-116.

[10] 郑祥洲,郭宝玲,王英男,等. 施用新型土壤调理剂改善烟草产量品质及土壤理化性质[J]. 热带作物学报, 2019, 40 (7): 1278-1283.

[11] 王梅. 钙-蒙脱石和石灰对两种酸性土壤的改良研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.

[12] 于晓东,郭新送,洪丕征,等. 不同配方腐植酸型土壤调理剂对滨海盐碱地土壤性质及小麦产量的影响[J]. 腐植酸, 2019 (5): 52-57.

[13] 陈学森,张瑞洁,王艳廷,等. 苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43 (12): 2325-2334.

[14] Qian X, Gu J, Pan H, et al. Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils [J]. European Journal of Soil Biology, 2015, 70: 23-30.

[15] 焦润安,张舒涵,李毅,等. 生草影响果树生长发育及果园环境的研究进展[J]. 果树学报, 2017, 34 (12): 1610-1623.

[16] 井赵斌,杨勇,阮小凤. 行间生草对甜柿果园土壤微生物和酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2019 (9): 105-110.

[17] 杜毅飞,方凯凯,王志康,等. 生草果园土壤微生物群落的碳源利用特征[J]. 环境科学, 2015, 36 (11): 4260-4267.

[18] Ma J Z, Zhang M, Liu Z G, et al. Effects of foliar application of the mixture of copper and chelated iron on the yield, quality, photosynthesis, and microelement concentration of table grape (*Vitis vinifera* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 254:

- 106–115.
- [19] 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.
- [20] 张昊青, 赵学强, 张玲玉, 等. 石灰和双氰胺对红壤酸化和硝化作用的影响及其机制 [J]. 土壤学报, 2021, 58 (1): 169–179.
- [21] 李艳红, 石德杨, 张培莘, 等. 鼠茅草对苹果园土壤物理性状及产量的影响 [J]. 中国果树, 2017 (4): 17–19.
- [22] 梁斌, 董静, 隋方功, 等. 果园土壤中鼠茅草的降解特性及其对氮素供应的影响 [J]. 草业学报, 2016, 25 (3): 245–250.
- [23] 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.
- [24] 吴玉森, 张艳敏, 冀晓昊, 等. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (1): 99–108.

Effects of soil conditioner and growing grass on yield and soil chemical properties in orchard acidic soils

SUN Yao¹, MA Jin-zhao^{2*}, FU Guo-hai^{3*}, ZHANG Pei-ping¹, MA Rong-hui⁴, SUN Jing-kuan², DONG Kai-kai²
(1. Yantai Agricultural Extension Center, Yantai Shandong 264000; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Eco-Environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou Shandong 256603; 3. National Agricultural Technology Extension and Service Center, Beijing 100125; 4. Soil and Fertilizer Station of Shandong Province, Jinan Shandong 250100)

Abstract: Soil conditioners and interplanting grass in orchard play important roles for improving soil quality, apple yield and fruit quality. A field experiment with different types of soil conditioners and growing grass was carried out in this research using a split-plot design to study on the interaction effects, in which the type of soil conditioner was the main plot and the grass was subplot. The experiment consisted of five soil conditioner treatments, including no soil conditioner (CK), quick lime (QL), chemical soil conditioner (KB), humic acid soil conditioner (SC), and biological organic fertilizer (BOM), in combination with two grass treatments including clear tillage (CT) and growing grass (GR), a total of 10 treatments. The results indicated that there were significant interactions between soil conditioner and grass on the yield, soluble solids and vitamin C content of apple. The apple yield and vitamin C contents in SC and BOM treatments were increased significantly compared with CK treatment and the soluble solids, vitamin C contents and solid acid ratio in GR treatment were significant higher than in CT treatment. The soil conditioner treatments significantly improved the soil pH by 5.1% ~ 12.6% than CK treatment, and the pH of GR also was 9.1% higher than CT treatment, evidencing a clear interaction between soil conditioner and growing grass. For soil organic matter and alkaline nitrogen, SC and BOM treatments were significant higher than CK treatment, and GR was higher than CT. BOM-GR treatment increased significantly SPAD value, total nitrogen, total calcium and total magnesium contents of apple leaves, compared with KB-GR treatment. The total phosphorus and total potassium in SC-GR was higher than in QL-GR and KB-GR treatments. Consequently, the application of soil conditioner and growing grass in orchard could not only improve the soil quality, but also increased the yield and fruit quality.

Key words: apple; acidified soil; soil conditioner; growing grass; soil properties; yield; fruit quality