



张靖,刘强,谢忠清,等. 柠檬酸与磷肥互作对河西绿洲灌区土壤理化性状及甜叶菊产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2022(7):37-42.

柠檬酸与磷肥互作对河西绿洲灌区土壤理化性状及甜叶菊产量和品质的影响

张靖,刘强,谢忠清,赵玺,张亚萍,周彦芳,施志国,张英英

(甘肃省农业工程技术研究院/甘肃-安徽甜叶菊资源评价与综合利用实验室,甘肃 武威 733006)

摘要:为提高河西绿洲灌区甜叶菊品质,以甜叶菊品种谱星6号为试验材料,通过田间随机区组试验,在氮、钾肥相同的基础上,比较了不同水平柠檬酸(15、30和45 kg·hm⁻²)与磷肥(45和90 kg·hm⁻²)互作后的土壤理化性状、甜叶菊产量和品质以及相关关系。结果表明,不同水平柠檬酸的施用对土壤pH影响的差异不显著。柠檬酸的施用能够有效降低土壤全盐量,且浓度越大影响越显著。有机质、全氮、有效磷以及微量元素铁、锰、铜、锌含量在柠檬酸与磷肥互作下显著提高。本试验条件下,速效钾含量随着柠檬酸的增施,整体呈现降低趋势。柠檬酸与磷肥互作,均能显著促进甜叶菊叶片对氮、磷、钾养分的吸收;叶片干物质积累明显,产量显著增加,最高达5367.60 kg·hm⁻²,相对增产49.9%,最高净收益为3.50万元·hm⁻²,较CK处理增收2.39万元·hm⁻²。适宜的柠檬酸与磷肥配比,一定程度上能够促进甜叶菊叶片中总苷以及各主要类别的糖苷含量的增加,总苷量最高可达13.78%。土壤全盐与甜叶菊产量和品质呈负相关,土壤养分与甜叶菊产量和品质呈显著正相关。综上所述,该区在常规肥料的基础上施用一定量的柠檬酸,能够显著提高土壤养分含量,有效提高甜叶菊产量及品质。

关键词:柠檬酸;磷肥;甜叶菊;土壤理化性状;产量与品质

甜叶菊(*Stevia rebaudiana* Bertoni),菊科多年生草本植物,原产于南美洲,有效成分甜菊糖苷是一种高甜度、低热量的天然甜味剂,因其具有降血糖、降血压等方面的药理作用而得到国内外市场的一致认可^[1-2]。我国大面积种植甜叶菊开始于20世纪80年代,发展至今每年产量可达2000 t^[3-4]。甘肃河西绿洲地区是我国主要的农作物育种基地^[5]。近年来,随着市场对甜菊糖苷需求量的增大,河西地区甜叶菊的繁育面积也逐年上升,目前已发展成为该区农户增收的主要经济作物之一^[3,6]。所以随着甜叶菊的扩繁,以及人们生活水平的提高,对甜叶菊的产量以及品质有了更高的要求,使得甜叶菊的市场竞争压力变大。前人为了提高甜叶菊的产量和品质采取了各种有效措施。杨永恒等^[7]通过“1314”试验比较了不同氮、磷、钾使用量对盆栽甜叶菊生长以及产量和品质的影响,结果表明合理的氮、磷、钾配施时,甜叶菊干物质质量以及品质显著增加,最高可达到

4.58 g和24.71%。石岩等^[8]研究表明使用磷肥对甜叶菊整个植株结构有显著影响。李国清等^[9]通过追施钾肥,甜叶菊的前期生长以及后期叶片产量均有一定提升。合理配施锌、硼、锰和钼也能显著促进甜叶菊的生长发育^[10]。可见合理施肥管理是甜叶菊增产增收的一项有效途径^[11]。

河西地区属于石灰性土壤,pH较高,土壤中碱性物质对矿物元素的固持作用使得有效养分含量较低,从而引起作物减产^[12-13]。而柠檬酸作为小分子有机酸,可以有效活化石灰性土壤中的难溶性营养元素,增加土壤有效养分浓度,提高作物对营养成分的吸收率^[14-16]。同时研究也表明柠檬酸的施用能够降低土壤酸碱度,这与甜叶菊不适宜在碱性较高的土壤中生长这一习性相匹配^[17-18]。因此,为了进一步提高河西绿洲灌区甜叶菊的产量与品质,扩大该区市场竞争力,本试验利用柠檬酸与磷肥互作的效应,初步探讨此效应对河西绿洲灌区土壤理化性状以及甜叶菊产量和品质的影响,从而为当地甜叶菊生产过程中科学施肥提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于河西走廊石羊河流域,属大陆性干旱气候,海拔约1740 m,年均气温7.7℃,年

收稿日期:2022-04-24

基金项目:甘肃省科技计划重点研发项目(17YF1NH051);甘肃省青年科技基金计划(20JR5RA072);甘肃省青年科技基金计划(20JR10RA484)。

第一作者:张靖(1990—),女,硕士,助理研究员,从事植物营养与肥料研究。E-mail:756507942@qq.com。

通信作者:刘强(1971—),男,博士,研究员,从事土壤肥料与作物栽培研究。E-mail:944614087@qq.com。

均降雨量 194.75 mm,年均日照时数 2 724.8 h,无霜期 150 d 左右。试验区耕层 0~20 cm 土壤基础理化性状:pH 8.79,电导率 856 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,有机质 17.96 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 1.61 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 40.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 164 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 材料

供试甜叶菊品种为谱星 6 号。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 大田试验,覆膜种植,每条膜下铺设两条等宽滴灌带。每小区宽 7.0 m,长 4.5 m,覆 5 条膜,每膜等宽移栽甜叶菊苗 4 行,株距约 0.2 m,每行约 22.5 株,每小区约移栽 450 株。试验共设置 7 个处理,除对照不施肥外,各施肥处理均施 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 氮肥,120 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 钾肥,柠檬酸和磷肥具体施用量详见表 1。其中,氮肥为尿素(N 46%);钾肥为硫酸钾(K_2O 26%);柠檬酸为化学试剂($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$);磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 12%)。

表 1 各处理柠檬酸和磷肥施用量
单位: $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

处理	柠檬酸	磷肥(P_2O_5)
CK	0	0
T1	15	45
T2	15	90
T3	30	45
T4	30	90
T5	45	45
T6	45	90

柠檬酸和磷肥在种植前作为底肥随深耕一次性施入;氮肥的 1/3 作为底肥,剩余 2/3 分别在移栽后 40 和 80 d 随水滴入;钾肥在生长后期随水分 4 次滴入。2021 年 5 月 16 日移栽,定植后立即滴灌,滴水至每株甜叶菊苗底部有小水坑为止,以确保移栽后的成活率。后期管理方式同当地大田。

1.3.2 测定项目及方法 干、鲜重及产量和收益的测定:收获期,每个小区选取长势均一的甜叶菊植株,将叶片全部摘下,带回实验室,用电子天平测定鲜重,之后用烘箱 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 0.5 h,75 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重后测量干重,并折算产量。

产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)=叶片干重 \times 小区总株数/小区面积 $\times 10\ 000$

净收益=总产值-总成本

叶片养分吸收量的测定:用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消

煮后分别测定叶片氮磷钾含量。
植株养分吸收量=干重 \times 植株养分含量
土壤理化性状的测定:收获后每个小区取耕层 0~20 cm 土样多点混合,测定其 pH、全盐、有机质、全氮、有效磷、速效钾以及有效态铁、锰、铜、锌含量^[19]。
1.3.3 数据分析 试验数据采用 Excel 2017 和 SPSS 20.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 对土壤理化性状的影响

由表 2 可知,柠檬酸和磷肥互作后的土壤 pH 与 CK 处理相比均无显著差异。全盐含量,CK 处理略高于其他施肥处理;不同水平的柠檬酸,即 T1T2、T3T4、T5T6 三组全盐量呈现降低趋势,从平均 0.57 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 降至 0.46 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,降幅为 19.30%;高磷肥处理(T2、T4、T6)相对低磷肥处理(T1、T3、T5)全盐量明显增加,增幅为 15.09%~27.50%,说明单纯提高磷肥,会增加土壤盐分。土壤有机质和全氮表现相同,各施肥处理均高于 CK,且随着柠檬酸施用水平的增加,整体呈现增加趋势,相对 CK 处理分别增加 2.00%~15.10%和 1.40%~6.29%;而在相同柠檬酸不同磷肥施用量下,即 T1 和 T2 之间、T3 和 T4 之间、T5 和 T6 之间,有机质和全氮含量变化不显著。有效磷含量,各施肥处理相比 CK 均显著增加,其中以高柠檬酸处理 T5、T6 含量最高,平均为 52.46 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,比 CK 增加 102.55%,比中低水平柠檬酸处理平均增加 40.68%。不同浓度柠檬酸处理间速效钾含量随着柠檬酸的增施,整体呈现降低趋势,从平均 188.83 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 降低至 154.66 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,降幅达到 18.10%。土壤微量元素铁、锰、铜、锌的含量,相比 CK,各处理均有所增加,以高柠檬酸处理增加效果最为明显。

2.2 对甜叶菊叶片养分吸收的影响

由表 3 可知,相对 CK 处理,甜叶菊叶片的氮、磷、钾养分均有所增加,增幅分别为 6.28%~10.63%、2.70%~24.32%和 2.60%~13.54%,其中均以高柠檬酸与高磷肥搭配效果最好,氮、磷、钾养分含量分别达到 2.29%、0.46% 和 2.18%;不同柠檬酸处理间,随着柠檬酸施用量的增加,氮、磷、钾含量均呈现增加趋势;相同柠檬酸处理,随着磷肥施用量的增多,氮、磷、钾含量略微增加,且在中水平柠檬酸处理下,增加最为明显。在收获期甜叶菊叶片氮、磷、钾的累计吸收量,施

肥处理显著高于 CK;各施肥处理之间,以高柠檬酸配施高磷肥处理表现最好,达到 0.89,0.18 和0.84 g·株⁻¹,相比 CK 处理分别提高 67.92%、100.00%和 71.43%。

表 2 不同处理土壤理化性状

处理	pH	全盐/ (g·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有效铁/ (mg·kg ⁻¹)	有效锰/ (mg·kg ⁻¹)	有效铜/ (mg·kg ⁻¹)	有效锌/ (mg·kg ⁻¹)
CK	8.49 abc	0.66 a	16.03 c	1.43 c	25.90 d	136.00 d	3.99 c	4.53 bc	1.00 c	1.51 d
T1	8.46 bc	0.53 c	16.48 bc	1.45 bc	45.43 b	191.66 a	4.52 b	4.42 c	1.12 b	1.90 c
T2	8.53 ab	0.61 ab	16.35 bc	1.48 abc	35.15 c	186.00 a	4.49 b	4.54 bc	1.12 b	1.65 d
T3	8.47 bc	0.49 c	16.89 b	1.49 abc	34.81 c	169.33 b	4.57 b	4.46 c	1.13 b	2.49 ab
T4	8.55 ab	0.57 bc	16.92 b	1.50 ab	33.75 c	155.33 c	4.40 b	4.49 bc	1.13 b	2.33 b
T5	8.43 c	0.40 d	18.42 a	1.52 ab	54.86 a	154.66 c	5.22 a	4.84 ab	1.26 a	2.62 a
T6	8.58 a	0.51 c	18.45 a	1.52 a	50.06 ab	154.66 c	4.81 b	4.90 a	1.21 ab	2.52 ab

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。下同。

表 3 不同处理甜叶菊叶片养分吸收状况

处理	养分含量/%			养分吸收量/(g·株 ⁻¹)		
	氮	磷	钾	氮	磷	钾
CK	2.07±0.00 d	0.37±0.01 b	1.92±0.08 d	0.53±0.02 f	0.09±0.01 d	0.49±0.00 f
T1	2.20±0.01 c	0.39±0.02 b	1.97±0.03 cd	0.64±0.03 e	0.11±0.01 cd	0.57±0.03 e
T2	2.21±0.02 c	0.44±0.03 a	2.07±0.11 abc	0.79±0.06 bc	0.15±0.00 b	0.74±0.04 bc
T3	2.23±0.02 bc	0.38±0.02 b	2.02±0.04 bcd	0.71±0.02 d	0.12±0.01 c	0.64±0.04 de
T4	2.26±0.03 ab	0.45±0.00 a	2.14±0.07 ab	0.85±0.03 ab	0.17±0.01 ab	0.80±0.04 ab
T5	2.27±0.02 a	0.44±0.03 a	2.08±0.10 abc	0.77±0.04 cd	0.15±0.01 b	0.70±0.07 cd
T6	2.29±0.01 a	0.46±0.02 a	2.18±0.02 a	0.89±0.02 a	0.18±0.01 a	0.84±0.02 a

2.3 对甜叶菊经济产值的影响

由表 4 可知,甜叶菊叶片干、鲜重各施肥处理均较对照 CK 显著增加,增幅分别为12.53%~49.90%、14.12%~21.64%(P<0.05);相同柠檬酸处理,不同施磷量,叶片干鲜重均随着磷肥量的增加而增加;不同柠檬酸水平下,叶片干鲜重也有所增加,其中鲜重变化不显著,干重变化显著。甜叶菊产量以叶片计,各施肥处理较 CK 增产显

著,以 T6 高柠檬酸高磷肥处理增产最多,达到 5 536.66 kg·hm⁻²,相对增产 49.89%;各施肥处理中,低、中、高水平柠檬酸处理下,产量平均为 4 639.07,4 963.32 和 5 195.00 kg·hm⁻²,呈现增加趋势,中水平较低水平增加 7.00%,高水平较中水平增加 4.67%,增加幅度有所降低。总产值和净收益均表现为高施肥量处理最大,最高净收益为 3.50 万元·hm⁻²,比 CK 处理增加2.39 万元·hm⁻²,比其他施肥处理增加 0.19 万~1.84 万元·hm⁻²。

表 4 不同处理甜叶菊产量及收益

处理	叶片干重/(g·株 ⁻¹)	叶片鲜重/(g·株 ⁻¹)	干鲜比/%	产量/(kg·hm ⁻²)	总产值/(万元·hm ⁻²)	净收益/(万元·hm ⁻²)
CK	25.85±1.26 e	122.65±1.48 d	21.09	3693.80±180.51 e	5.17	1.11
T1	29.09±1.60 d	139.97±4.52 c	20.82	4155.73±229.43 d	5.82	1.66
T2	35.85±3.23 abc	146.55±4.91 abc	24.46	5122.40±462.28 ab	7.17	3.01
T3	31.91±1.35 cd	141.26±2.60 bc	22.60	4559.03±193.53 cd	6.38	2.18
T4	37.57±1.66 a	147.91±5.21 ab	25.41	5367.60±237.57 a	7.51	3.31
T5	33.97±2.25 b	143.23±5.24 abc	23.77	4853.33±321.66 bc	6.79	2.55
T6	38.75±1.11 a	149.19±2.12 a	25.98	5536.66±159.37 a	7.75	3.50

注:以当季市场价计算总产值,其中,干叶片收购价 14 元·kg⁻¹,柠檬酸 30 元·kg⁻¹,尿素 2.75 元·kg⁻¹,过磷酸钙 1.50 元·kg⁻¹,硫酸钾 3.00 元·kg⁻¹;其他费用,如:土地租赁费、种苗费、机耕费、地膜农药费、水费、人工费等,合计约 4.065 万元·hm⁻²。

2.4 对甜叶菊叶片品质的影响

甜菊糖苷(steviol glycosides)是各类糖苷的

总称,其主要有甜菊苷(stevioside,STV)、莱鲍迪苷 A(rebaudiosides A,RA)、莱苞迪苷 C(rebau-

diosides C, RC)、莱苞迪苷 D(rebaudiosides D, RD)等,且甜叶菊植株以叶片中糖苷含量最高^[3]。由表 5 可知,各施肥处理的总苷含量均高于CK处理,最高为13.97%,比CK增加21.69%;各施肥处理中,平均总苷含量随着柠檬酸水平的增加而增加,从12.23%增至13.78%;中低水平的柠

檬酸,在追加磷肥后,总苷也增加;高柠檬酸处理中,总苷含量随着施磷量的增加反而显著减少。各类糖苷含量,以 RA 和 STV 占比最高,平均占比为72.85%和13.15%。因总苷含量为各类糖苷含量的总和,所以各类糖苷变化趋势同总苷一致。

表 5 不同处理甜叶菊叶片糖苷含量 单位: %

处理	总苷	RA	STV	RC	RD
CK	11.48±0.06 e	8.48±0.18 d	1.25±0.04 e	0.94±0.03 c	0.03±0.00 d
T1	11.74±0.16 e	8.67±0.11 d	1.65±0.04 cd	0.98±0.04 c	0.05±0.01 cd
T2	12.72±0.04 d	9.44±0.14 b	1.77±0.01 bc	1.00±0.06 c	0.10±0.01 b
T3	13.19±0.21 c	8.94±0.03 c	1.77±0.02 bc	1.13±0.03 b	0.08±0.01 bc
T4	13.81±0.21 ab	10.11±0.15 a	1.86±0.05 ab	1.13±0.04 b	0.15±0.03 a
T5	13.97±0.25 a	10.18±0.04 a	1.98±0.16 a	1.25±0.04 a	0.14±0.02 a
T6	13.58±0.14 b	10.10±0.22 a	1.61±0.09 d	1.17±0.02 b	0.10±0.02 b

2.5 土壤理化性状与甜叶菊产量品质相关性分析

由表 6 可知,土壤全盐量与甜叶菊叶片总苷含量呈极显著负相关。土壤有机质、全氮量与叶片产量、总苷含量均呈极显著正相关关系。土壤有效磷与叶片总苷含量呈显著正相关关系,但是与产量的相关性不显著。土壤微量元素中的铁、铜、锌与叶片总苷含量均呈极显著正相关关系,其

中铜、锌含量与产量也呈显著或极显著正相关。叶片养分含量与产量和产量与总苷含量均呈现极显著正相关关系。以上结果显示,此试验中增产的主要因子为土壤中的有机质、全氮、有效铜、锌以及叶片养分含量;甜叶菊叶片糖苷含量增加的主要因子为有机质,全氮,有效态的铁、铜、锌,以及叶片养分含量。

表 6 土壤理化性状与产量品质的相关性

项目		土壤理化性状									叶片养分			叶片产量	
		pH	全盐	有机质	全氮	有效磷	速效钾	有效铁	有效锰	有效铜	有效锌	氮	磷		钾
土壤理化性状	全盐	0.162													
	有机质	0.084	−0.745 * *												
	全氮	0.094	−0.590 * *	0.776 * *											
	有效磷	−0.158	−0.748 * *	0.752 * *	0.497 *										
	速效钾	−0.147	−0.053	−0.273	−0.106	0.194									
	有效铁	−0.070	−0.802 * *	0.749 * *	0.629 * *	0.797 * *	0.100								
	有效锰	0.221	−0.401	0.703 * *	0.488 *	0.522 *	−0.414	0.565 * *							
	有效铜	−0.169	−0.690 * *	0.769 * *	0.682 * *	0.764 * *	0.074	0.689 * *	0.545 *						
	有效锌	0.015	−0.803 * *	0.794 * *	0.618 * *	0.598 * *	−0.123	0.666 * *	0.354	0.657 * *					
叶片养分	氮	0.213	−0.681 * *	0.715 * *	0.705 * *	0.645 * *	0.189	0.672 * *	0.447 *	0.809 * *	0.765 * *				
	磷	0.509 *	−0.363	0.597 * *	0.572 * *	0.417	−0.047	0.408	0.397	0.452 *	0.430	0.662 * *			
	钾	0.592 * *	−0.366	0.460 *	0.513 *	0.318	−0.033	0.472 *	0.300	0.396	0.517 *	0.698 * *	0.653 * *		
叶片产量		0.424	−0.236	0.575 * *	0.669 * *	0.381	0.058	0.414	0.349	0.576 * *	0.548 *	0.741 * *	0.687 * *	0.690 * *	
叶片总苷含量		0.159	−0.568 * *	0.700 * *	0.660 * *	0.471 *	−0.139	0.603 * *	0.406	0.648 * *	0.829 * *	0.814 * *	0.670 * *	0.663 * *	0.776 * *

注: * 和 ** 表示 0.05 和 0.01 水平(双侧)存在相关性。

3 讨论

前人大量研究表明,柠檬酸作为植物根分泌的常见低分子有机酸,可以明显改善土壤环境,显著提高土壤养分有效性^[20-22]。许学慧等^[17]通

过施用不同活化剂,对人工污染的土壤进行盆栽土培试验,结果表明添加活化剂会降低土壤的 pH,其中以柠檬酸的影响最为显著。唐佳等^[23]研究显示,柠檬酸能够降低土壤 pH,且降低幅度

随其浓度的升高而增加。龚芳芳等^[24]将外源柠檬酸施入石灰性黄壤后,土壤 pH 明显降低。而本研究采用大田试验,结果显示不同水平柠檬酸的施用对土壤 pH 的影响差异不显著,这与前人研究结果不一致,是否由于大田试验引起还有待探究。土壤平均全盐量随着柠檬酸的增施呈现降低趋势,从 $0.57 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降至 $0.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,说明柠檬酸的施用能够有效降低土壤全盐量,且浓度越大影响越显著,这与李彬等^[25]的研究结论相类似。有机质、全氮的含量,在柠檬酸与磷肥互作下,相比 CK 处理增加 15.1% 和 6.3%。赵鹏志等^[26]将不同浓度的柠檬酸施入黑土后,对土壤酶活性与养分的相关性进行研究,结果显示添加柠檬酸可显著增加土壤有机质含量,这与柠檬酸对土壤酶活性以及微生物量的影响有关^[27],其具体变化机理还有待进一步探究。磷素容易被碱性土壤固持,使其有效性降低,因此补施一定量的小分子有机酸可以大大提高有效磷含量^[28],本研究结果与此一致。前人将柠檬酸施入土壤后,对土壤微生物种群结构进行研究,结果显示溶钾功能性细菌的数量增加,加速了矿物钾的释放,从而提高了环境中土壤有效钾含量^[29-30]。本试验条件下,速效钾含量随着柠檬酸的增施,整体呈现降低趋势,这与李小燕等^[31]的研究结果不一致,具体原因还有待后续进一步探究。微量元素铁锰铜锌含量随柠檬酸的增加而增加,说明柠檬酸与一定量的磷肥互作有助于微量元素的积累,这与肖艳等^[32-33]的研究结果相同。

柠檬酸对土壤养分的活化作用可以促进植物生长发育^[34]。本研究得出,柠檬酸与磷肥互作能显著促进甜叶菊叶片对氮、磷、钾养分的吸收;叶片干物质积累明显增加,产量显著增加。这是因为低分子有机酸施入土壤后,提高了土壤酶活性,促进了微生物活动,活化了土壤养分,从而有利于作物对养分的吸收,进而达到增产增收的目的^[35-36]。甜叶菊叶片中总苷以及各主要类别的糖苷含量均有所增加,其中以高水平柠檬酸处理对应的总苷含量最高,平均达到 13.78%,说明在施用普钙(过磷酸石灰)的基础上施加柠檬酸,可以有效提高甜叶菊糖苷含量。高柠檬酸处理中,总苷含量随着施磷量的增加反而显著减少,说明柠檬酸与磷肥需要适宜的配比才能增效。对土壤理化性状与甜叶菊产量品质的相关性分析的结果表明,各类土壤养分含量的增加均能显著提高甜叶菊产量与品质。

4 结论

本试验结果表明,不同水平柠檬酸的施用对土壤 pH 影响的差异不显著;柠檬酸的施用能够有效降低土壤全盐量,且浓度越大影响越显著;有机质、全氮、有效磷以及微量元素铁、锰、铜、锌含量,在柠檬酸与磷肥互作下显著提高,说明一定量柠檬酸与磷肥互作可以有效提高土壤养分含量;本试验条件下,速效钾含量随着柠檬酸的增施,整体呈现降低趋势。柠檬酸与磷肥互作能显著促进甜叶菊叶片对氮磷钾养分的吸收,叶片干物质积累明显,产量显著增加,最高达 $5\,367.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,相对增产 49.9%,最高净收益为 $3.50 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$,相对 CK 处理增收 $2.39 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。适宜的柠檬酸与磷肥配比条件下,甜叶菊叶片中总苷以及各主要类别的糖苷含量均有所增加,总苷量最高可达 13.78%。对土壤理化性状与甜叶菊产量品质的相关性分析结果表明,各类土壤养分含量的增加均能显著提高甜叶菊产量及品质。

参考文献:

- [1] 孙传范,李进伟.甜菊糖苷研究进展[J].食品科学,2010,31(9):338-340.
- [2] 吴则东,张文彬,吴玉梅,等.世界甜叶菊发展概况[J].中国糖料,2016,38(4):62-65.
- [3] 赵永平.灌溉和施氮对甜叶菊光合特性和产量品质的调控[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [4] 漆慧娟.甜叶菊多倍体诱导及其生物学特性的研究[D].杭州:浙江农林大学,2014.
- [5] 毛德新,崔海成,殷学云.影响河西走廊甜叶菊产量和品质的因素[J].中国糖料,2016,38(3):75-76.
- [6] 董海涛,孙宏义.土壤中风沙土含量对甜叶菊生长的影响[J].中国沙漠,2016,36(3):688-694.
- [7] 杨永恒,张永侠,徐晓洋,等.氮磷钾肥配施对甜菊生长产量及糖苷相关指标的影响[J].植物资源与环境学报,2018,27(1):17-26.
- [8] 石岩,孙景文.甜叶菊高效栽培技术与实践[M].北京:中国农业出版社,2013.
- [9] 李国清,马磊,石岩.不同钾肥处理对甜叶菊生长发育及产量的影响[J].中国糖料,2011(1):36-38.
- [10] 杨永恒,徐晓洋,孙玉明,等.微量元素配施对甜菊生长和甜菊糖苷含量的影响[J].中国糖料,2018,40(2):5-10,15.
- [11] 徐新娟,张亚姣,娄笛,等.甜叶菊施肥与生长调节剂应用研究进展[J].北方园艺,2020(24):129-136.
- [12] 杨建文.甘肃河西地区不同盐碱土壤微生物数量、酶活及理化因子的研究[D].兰州:西北师范大学,2012.
- [13] 王永壮,陈欣.低分子量有机酸对土壤磷活化及其机制研究进展[J].生态学杂志,2018,37(7):2189-2198.
- [14] 秦萍,张俊华,孙兆军,等.土壤结构改良剂对重度碱化盐土的改良效果[J].土壤通报,2019,50(2):414-421.
- [15] 刘强,姚拓,马晖玲.菌肥与柠檬酸互作对石灰性土壤生物学特性及草坪质量的影响[J].草业学报,2014,23(5):223-230.

- [16] 刘慧,栗杰.外源低分子量有机酸对土壤钙、磷释放动力学特性的影响[J].北方园艺,2016(23):163-167.
- [17] 许学慧,兰亭.活化剂添加对重金属污染土壤性状的影响[J].干旱区资源与环境,2022,36(2):105-109.
- [18] 周群喜,杨秋萍.甜叶菊苗床死苗原因与防治措施[J].种子科技,2012,30(7):43-44.
- [19] 鲍士旦.土壤酸化分析[M].北京:中国农业出版社,2013.
- [20] MORADI N,SADAGHIANI M H R,SEPEHR E, et al. Effects of low molecular weight organic acids on phosphorus sorption characteristics in some calcareous soils[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry,2012,36:459-468.
- [21] 朱永官,段桂兰.土壤-微生物-植物系统中矿物风化与元素循环[J].中国科学:地球科学,2014,44(6):1107-1116.
- [22] 刘永红,马舒威,岳霞丽,等.土壤环境中的小分子有机酸及其环境效应[J].华中农业大学学报,2014,33(2):133-138.
- [23] 唐佳,王艳,伏毅,等.低分子有机酸对土壤中镍的活化作用研究[J].安徽农业科学,2021,49(5):87-89.
- [24] 龚芳芳,樊卫国.外源柠檬酸对石灰性黄壤养分活化及刺梨实生苗养分吸收与生长的影响[J].中国农业科学,2018,51(11):2164-2177.
- [25] 李彬,李跃飞.不同改良剂对保护地次生盐渍化土壤改良效果的研究[J].中国农学通报,2021,37(32):116-119.
- [26] 赵鹏志,陈祥伟,杨小燕,等.低分子有机酸对东北黑土酶活性与养分关系的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(1):105-112.
- [27] 叶莹莹,刘淑娟,张伟,等.喀斯特峰丛洼地植被演替对土壤微生物生物量碳、氮及酶活性的影响[J].生态学报,2015,35(21):6974-6982.
- [28] 李建强,田勇.柠檬酸对土壤磷素活化效果分析[J].绿色科技,2018(20):139-140.
- [29] KAUR G,REDDY M S. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocal sites[J]. European Journal of Soil Biology,2014,61:35-40.
- [30] RASHID M I, MUJAWAR L H, SHAHZAD T, et al. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils[J]. Microbiological Research,2016,183:26.
- [31] 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.
- [32] 肖艳,张怀文,王克武,等.柠檬酸对土壤养分的活化及对作物吸收 Fe、P 的影响[J].生态环境,2004(4):638-640.
- [33] 陈韩英,祝奕炜.不同有机酸对黄褐土矿质元素活化作用的比较研究[J].中国农学通报,2021,37(24):84-90.
- [34] 孙瑞,凌婉婷,党红交,等.柠檬酸对土壤吸附五氯酚的影响[J].中国环境科学,2011,31(8):1321-1326.
- [35] 贾海江,路丹,韦建玉,等.不同活化剂对两种富硒土壤上烤烟生长及吸收累积硒的影响[J].广东农业科学,2019(12):56-65.
- [36] 赵成林.氮素减量调控和磷活化对夏玉米生理特性及生物学特性的影响[D].泰安:山东农业大学,2019.

Effects of Interaction of Citric Acid and Phosphate Fertilizer on Soil Physical and Chemical Properties and Stevia Yield and Quality in Hexi Oasis Irrigation Area

ZHANG Jing, LIU Qiang, XIE Zhong-qing, ZHAO Xi, ZHANG Ya-ping, ZHOU Yan-fang, SHI Zhi-guo, ZHANG Ying-ying

(Gansu Agricultural Engineering Technology Research Institute/Gansu-Anhui Stevia Resource Evaluation and Comprehensive Utilization Laboratory, Wuwei 733006, China)

Abstract: In order to improve the quality of stevia in Hexi Oasis Irrigation Area, using stevia variety Puxing No.6 as the experimental material, the field random block experiment was conducted to compare the soil physical and chemical properties after the interaction of different levels of citric acid ($15, 30, 45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) and phosphate fertilizers ($45, 90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), stevia yield, quality and related relationships. The results showed that the effects of different levels of citric acid on soil pH were not significantly different. The application of citric acid could effectively reduce the total soil salt content, and the higher the concentration, the more significant the effect. The contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus and trace elements iron, manganese, copper and zinc were significantly increased under the interaction of citric acid and phosphate fertilizer. Under the experimental conditions, the content of available potassium showed a decreasing trend as a whole with the increase of citric acid. The interaction of citric acid and phosphorus fertilizer could significantly promote the absorption of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in stevia leaves. The dry matter accumulation in leaves was obvious, and the yield was significantly increased, up to $5\ 367.60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a relative increase of 49.9%, the highest net income was $35\ 000 \text{ yuan} \cdot \text{ha}^{-1}$, an increase of $23\ 900 \text{ yuan} \cdot \text{ha}^{-1}$ compared with CK treatment. With a suitable ratio of citric acid and phosphorus fertilizer, the content of total glycosides and various main types of glycosides in stevia leaves increased, and the total glycoside content was up to 13.78%. The total soil salt was negatively correlated with the yield and quality of stevia, and the soil nutrients were significantly positively correlated with the yield and quality of stevia. In this area, a certain amount of citric acid was applied on the basis of conventional fertilizers, which could significantly improve the soil nutrient content and increase the yield and quality of stevia.

Keywords: citric acid; phosphate fertilizer; stevia; soil physical and chemical properties; yield and quality