

不同施肥处理对番茄产量品质及土壤有效态重金属含量的影响

赵 明, 蔡 葵, 孙永红, 赵征宇, 王文娇, 陈建美

(青岛市农业科学研究院, 山东 青岛 266100)

摘 要:以露地番茄(*Solanum lycopersicom* L.)为试材,进行了施用有机肥、无机肥及有机无机肥配施对番茄产量、品质和土壤有效态重金属含量的影响研究。结果表明,在施氮量相同条件下,有机肥与无机肥配施番茄产量增幅较大,以 6:4 养分配施比例产量最高,总产量比对照提高了 15.6%。施用无机肥番茄果实可溶性糖含量和可滴定酸含量较高,维生素 C 含量以施用有机肥处理的最高;番茄果实的营养品质和口感以施用有机肥处理的最好。番茄果实中可溶性糖、酸和维生素 C 含量的变化规律与肥料施用无相关性,可能是受番茄产量高低的影响。施用有机肥番茄果实硝酸盐含量明显低于施用无机肥和有机无机肥配施处理,亚硝酸盐含量则以施用无机肥和低有机肥配施量处理的含量较低。施肥有明显降低番茄果实 Hg 含量的作用,但却提高了 Pb 和 As 含量,对 Cu、Zn 和 Cd 含量的影响较小;施用有机肥可显著降低番茄果实 Cr 含量。施肥提高了土壤有效态 Zn 和 Cd 含量,降低了土壤有效态 Pb 含量,对土壤有效态 Cr 和 As 含量的影响较小;施用有机肥使土壤有效态 Cu 含量显著降低,而使土壤有效态 Hg 的含量提高;施用无机肥可提高土壤有效态 Cu 的含量。不同施肥处理番茄果实重金属含量变化与土壤有效态重金属含量变化不一致的主要原因,可能是由于施肥改变了番茄的生物产量,从而产生对植株吸收重金属元素的生物稀释作用造成。各试验处理番茄果实硝酸盐和亚硝酸盐及重金属含量均远低于国家蔬菜或食品中污染物限量标准,说明合理施用有机肥、无机肥和有机无机肥配施不会造成番茄果实硝酸盐、亚硝酸盐以及重金属污染。

关键词:施肥;露地番茄;品质产量;土壤;重金属

中图分类号:S147.34 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)06-1072-07

Influence of Organic and Chemical Fertilizers on Tomato Yield, Quality, and the Content of Available Heavy Metals in Soil

ZHAO Ming, CAI Kui, SUN Yong-hong, ZHAO Zheng-yu, WANG Wen-jiao, CHEN Jian-mei

(Qingdao Academy of Agricultural Science, Qingdao 266100, China)

Abstract: In this study, a series of experiments were conducted to investigate the influence of organic and chemical fertilizers on the yield, quality of tomato (*Solanum lycopersicom* L.) and on the content of available heavy metal elements in tomato fruit and soil. The results showed that incorporated application of organic and chemical fertilizers significantly increased the tomato yield when nitrogen application was identical. The highest total yield of tomato was found in the treatment which combined rate of organic and chemical fertilizer was 6:4, and the total yield increased by 15.6% compared with the control. We found that the contents of soluble sugar and organic acid in fruit increased in chemical fertilizer treatment, but the content of Vc was the highest in the organic fertilizer treatment. Comparatively, the fruit taste and nutritional quality of fruits were the best in organic fertilizer treatment. However statistical results indicated there were no obvious relativity between the content of soluble sugar, organic acid or Vc and the treatments of fertilizer. In addition, the nitrate concentration of fruit was lower in treatment of organic fertilizer than that of in treatment of organic or in incorporated treatment of organic and chemical fertilizer, but the nitrite concentration of fruit was comparatively lower in the chemical fertilizer treatment or in low rate of organic fertilizer treatment. Our study also indicat-

收稿日期:2009-10-28

基金项目:青岛市科技局科技计划项目(07-2-1-22-nsh)

作者简介:赵 明(1958—),男,高级农艺师,主要从事土壤肥料研究与农化分析。E-mail:zhaomingqd@163.com

ed that (1)In incorporated treatment of organic and chemical fertilizer, the content of Hg in tomato fruits significantly decreased comparing with the control treatment, but the contents of Pb and As increased, meanwhile concentration of Cu, Zn, and Cd in tomato fruits did not have obvious change. In the same treatment, the contents of available Pb decreased; the concentration of available Cr, As did not have obvious change.(2)In treatment of organic fertilizer, content of available Cu in soil was decreased significantly, but content of available Hg decreased. (3)In treatment of chemical fertilizer, the concentration of available Cu in soil could be raised.

Keywords: apply fertilizer; tomato; quality and yield; soil; heavy metals

随着人们对蔬菜产品逐渐由数量需求转向质量需求,优质、高产、安全蔬菜生产越来越受到社会的关注^[1-2]。目前,影响蔬菜食品安全问题的原因很多,其中重金属污染是主要威胁之一,而土壤重金属污染具有隐蔽性、长期性、不可降解等特点,成为全世界面临的一个主要的环境问题^[3-5]。蔬菜的重金属污染主要来自土壤,通过蔬菜吸收进入食物链威胁到人类的生命和健康。施肥是主要的蔬菜生产措施之一,无论施用有机肥还是无机肥(化肥)都会改变土壤的理化性质,从而影响到土壤重金属的形态变化和蔬菜的吸收富集量^[6-9]。因此,采取不同的施肥措施降低菜田土壤重金属含量及其有效性,降低蔬菜中重金属含量,已成为保护农业生态环境和推动农业可持续发展的关键控制技术。本研究以露地番茄(*Solanum lycopersicom* L.)为试材,通过施用有机肥、无机肥以及有机无机肥配合试验,探讨不同施肥处理对番茄产量、品质和土壤有效态重金属含量的影响,以期从蔬菜种植源头阻控重金属污染和提高蔬菜产量及品质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2009 年春季在青岛市农科院蔬菜试验田中进行。土壤类型为壤质潮棕壤,主要农化性状为:盐分 0.12%,pH 值 6.3,有机质 1.25%,全氮 0.091%,碱解氮 84.7 mg·kg⁻¹,速效磷 238.4 mg·kg⁻¹,速效钾 135.0 mg·kg⁻¹。供试有机肥料为经过高温堆肥处理的鸡粪,化肥为尿素、磷酸二铵和硫酸钾,其养分及重金

属元素含量见表 1。试验材料为青岛市农科院培育的番茄(*Solanum lycopersicom* L.)品种:芙蓉。

1.2 试验方法

试验采用大田小区栽培方式,共设 7 个处理:(1)不施肥(CK);(2)有机肥;(3)80%有机肥+NPK 化肥;(4)60%有机肥+NPK 化肥;(5)40%有机肥+NPK 化肥;(6)20%有机肥+NPK 化肥;(7)NPK 化肥。其中,有机肥的养分用量以全 NPK 含量计算,有机肥和无机肥 NPK 养分量均为质量分数。以施氮量为 375 kg·hm⁻²为标准施用有机肥处理,其他处理在扣除施用的有机肥养分后,不足部分用化肥补齐 N、K 含量和 P 含量的 50%(供试有机肥全磷含量和土壤速效磷含量较高,使 NPK 施肥比例失调,因此无机磷肥配施量减半)。各处理施肥量见表 2。全部有机肥和磷酸二铵、硫酸钾化肥于番茄定植前作基肥一次性施入试验小区,用旋耕机与耕层土壤混匀,剩余的氮素化肥(尿素)于番茄坐果初期追施。各处理小区畦宽 1.2 m、长 12.5 m,面积 15 m²,区组排列,重复 3 次。番茄采取双行种植方式,每小区定植 60 株,2 月 25 日浸种催芽进行穴盘育苗,4 月 23 日定植,每株保留 4 穗果打顶,每穗留果 4~5 个,沾花、整枝、疏果等田间试验管理方法相同。8 月 6 日果实采收完毕。

1.3 取样及测定方法

施肥前多点采集试验地耕层土壤测定其基本农化性状。番茄果实成熟后适时采收单独计产,采收结束合并统计小区总产量。采收盛期选取成熟度一致的番茄做分析样品,同时采集耕层土壤风干后测定有效

表 1 供试土壤和肥料的养分及重金属元素含量

Table 1 Nutrient and heavy metals contents of experiment soils and fertilizers

样品	全 N/ %	全 P ₂ O ₅ / %	全 K ₂ O/ %	全 Cu/ mg·kg ⁻¹	全 Zn/ mg·kg ⁻¹	全 Pb/ mg·kg ⁻¹	全 Cd/ mg·kg ⁻¹	全 Cr/ mg·kg ⁻¹	全 As/ mg·kg ⁻¹	全 Hg/ mg·kg ⁻¹
土壤	—	—	—	52.8	59.6	28.0	0.078	106	8.20	0.060
鸡粪堆肥	1.276	3.100	0.864	56.1	199	12.5	0.485	12.2	1.60	0.020
尿素	46.0	—	—	0.47	0.69	4.6	0.192	1.0	0.03	0.007
磷酸二铵	15.0	45.0	—	32.2	70.4	5.4	0.212	11.4	13.1	0.207
硫酸钾	—	—	50.0	2.74	1.63	6.5	0.066	3.5	0.03	0.005

表 2 不同试验处理施肥量					
Table 2 The application rate of fertilizer in different treatments					
处理	有机肥占 总施肥量/%	有机肥用量/kg·hm ⁻² 鸡粪堆肥(N:P ₂ O ₅ :K ₂ O)	无机肥用量/kg·hm ⁻²		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1(CK)	0	0	0	0	0
2	100	29 385(375:910:254)	0	0	0
3	80	23 505(300:729:202)	75	91	51
4	60	17 631(225:546:152)	120	182	102
5	40	11 754(150:364:102)	225	274	152
6	20	5 877(75:182:51)	300	365	203
7	0	0	375	456	254

态重金属含量。

番茄可溶性糖含量采用费林试剂滴定法测定^[10],可滴定酸含量采用碱式滴定法测定^[11],维生素 C 含量采用 2,4-二硝基苯肼比色法测定^[12];番茄硝酸盐(NaNO₃)和亚硝酸盐(NaNO₂)含量采用 GB/T5009.33—2003 国标法提取,紫外差减法测定硝酸盐^[13],萘乙二胺盐酸盐比色法测定亚硝酸盐^[14](UV-2550 紫外可见分光光度计,日本岛津)。土壤和肥料全量重金属含量采用 HNO₃-HClO₃-HF 消解^[15]、番茄果实重金属含量采用 HNO₃-HClO₃ 消解^[16]、土壤有效态重金属含量采用 0.005 mol·L⁻¹ DTPA+0.01 mol·L⁻¹CaCl₂+0.1 mol·L⁻¹TEA(pH=7.3)浸提[m(土):V(提取剂)=1:2,振荡提取时间为 120 min]^[17-18],石墨炉原子吸收法测定 Pb、Cd、Cr(AA600 型,PerkinElmer 公司),火焰原子吸收法测定 Cu、Zn(AA400 型,PerkinElmer 公司),原子荧光法测定 As、Hg(AF-610A 型,北京瑞利分析仪器公司)。有机肥料全 N、P、K 含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,蒸馏法测 N,钼锑抗比色法测 P,火焰光度法测 K^[19]。其他项目采用常规分析方法测定^[20]。样品分析过程中加入环境土壤标准样品 ESS-2 和标准植物样品 ESP-1 西红柿叶进行分析质量控制。

1.4 数据处理与分析

试验数据用 SPSS17.0 软件进行单因素方差分析和 LSD 多重比较检验处理间差异程度及试验数据的统计,用 Excel2003 程序进行数据的图表处理。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对番茄产量的影响

由表 3 番茄总产量统计看出,有机肥及高有机肥配施量处理的产量较高,无机肥及低有机肥配施量处理的产量与 CK 差异不显著。而从番茄采收初期至采收盛期的累积产量统计表明(表 3),施用有机肥和

无机肥处理分别增产 25.2%和 8.0%,有机无机肥配施平均增产 27.0%,以处理 4(有机肥与无机肥养分比例为 6:4)增产幅度最大。造成施肥处理番茄总产量增产幅度较小的原因是由于 7 月中下旬(采收盛期前后)连续降雨,肥料养分渗漏流失严重,使施肥处理的肥料营养作用降低。而两次产量统计各处理的增产规律比较一致,有机肥配施无机肥处理产量最高,说明有机肥合理配施无机肥使土壤可以更加有效地保存和提供番茄生长所需养分,从而增加作物营养吸收和抗逆性,提高番茄产量。因此,大田施用无机氮肥应在蔬菜旺盛生长期分次追施,这样即可提高肥料利用率、保证养分及时供给,又能减少由于降雨造成氮肥流失对环境污染的胁迫。

表 3 不同试验处理番茄产量
Table 3 The tomato yields of different treatments

处理	总产量/kg·hm ⁻²	增产/%	采收初期-盛期 累积产量/kg·hm ⁻²	增产/%
1(CK)	65 200±4 200c	-	37 268±7 334c	-
2	72 200±3 267ab	10.7	46 736±3 667ab	25.2
3	74 933±4 533a	14.9	49 802±8 267a	33.8
4	75 400±1 467a	15.6	50 802±3 000a	36.3
5	69 400±2 800abc	6.4	44 736±3 600abc	20.0
6	66 867±4 933bc	2.6	43 802±2 267abc	17.7
7	66 067±3 067bc	1.3	40 269±933bc	8.0

注:同列不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平(P<0.05);下同。

2.2 不同施肥处理对番茄营养品质的影响

可溶性糖、可滴定酸和维生素 C 含量是评价番茄营养品质的常用指标。从各处理番茄果实检测结果看出(表 4),施用无机肥处理的可溶性糖含量较高,无机肥处理比 CK、有机肥处理和有机无机肥配施处理的平均分别提高了 7.3%、8.1%和 10.4%。同时,无

表 4 不同试验处理番茄的营养品质(FW)
Table 4 Nutritional quality of tomato fruits in different treatments(FW)

处理	可溶性糖含量/ %	可滴定酸含量/ %	维生素 C 含量/ mg·kg ⁻¹	糖酸比
1	2.86±0.11b	0.42±0.01d	44.0±0.04b	6.81
2	2.84±0.12b	0.41±0.01d	45.8±0.03a	6.93
3	2.65±0.17c	0.46±0.02ab	41.2±0.09c	5.76
4	2.78±0.04bc	0.47±0.02ab	39.9±0.10d	5.91
5	2.65±0.03c	0.45±0.01bc	41.7±0.07c	5.89
6	3.04±0.07a	0.43±0.02cd	44.3±0.03b	7.07
7	3.07±0.10a	0.49±0.01a	43.9±0.08b	6.26

机肥处理的可滴定酸含量也较高,比 CK、有机肥处理和有机无机肥配施处理的平均分别提高了 16.7%、19.5%和 8.9%。维生素 C 含量为施用有机肥处理的最高,比 CK 和施用无机肥处理分别提高了 4.1%和 4.3%,比有机无机肥配施各处理的平均提高 9.6%。综合分析番茄果实的营养品质和口感(糖酸比)以有机肥处理的最佳。

2.3 不同施肥处理对番茄硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响

番茄硝酸盐和亚硝酸盐含量是评价其安全品质的重要指标,其含量的高低直接影响到消费者的身体健康。从检测结果看出(图 1),施用无机肥和有机无机肥配施处理的番茄果实硝酸盐含量高于 CK 和有机肥处理;施用无机肥处理的硝酸盐含量比 CK 和有机肥处理分别提高 35.7%和 16.1%;施用无机肥处理与有机无机肥配施各处理的含量差异不显著。番茄果实亚硝酸盐含量则以施用无机肥和低有机肥配施量处理的含量较低(图 2),施用无机肥处理比 CK 和有

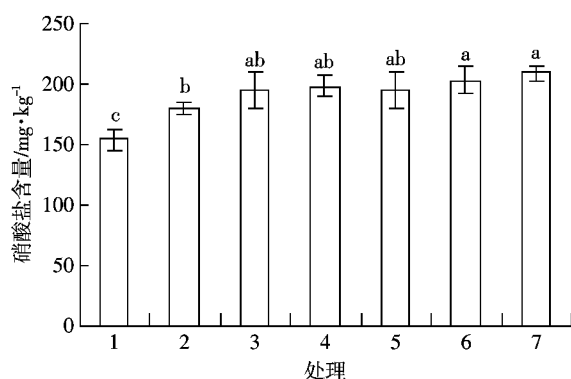


图 1 不同施肥处理番茄果实硝酸盐含量

Figure 1 Effect of different fertilization treatment on nitrate contents of tomato fruits

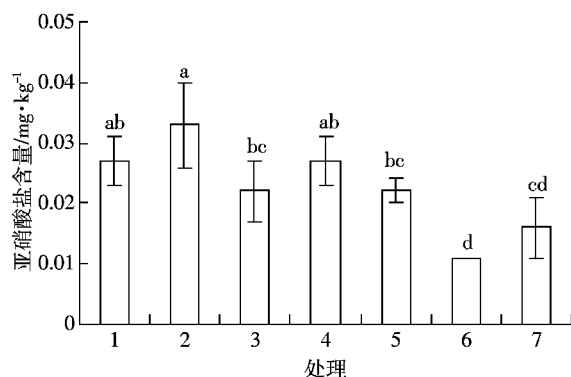


图 2 不同施肥处理番茄果实亚硝酸盐含量

Figure 2 Effect of different fertilization treatment on nitrite contents of tomato fruits

机肥处理分别降低 40.7%和 51.5%。各试验处理番茄果实的硝酸盐和亚硝酸盐含量均很低,远小于国家规定的茄果类蔬菜及食品中污染物限量标准^[21-22]要求($\text{NO}_3^- \leq 440 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{NaNO}_2 < 4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

2.4 不同施肥处理对番茄重金属含量的影响

不同施肥处理番茄果实重金属含量检测结果表明(表 5),各施肥处理对番茄果实中 Cu 和 Zn 含量的影响较小,只有处理 5 的 Cu 含量和处理 6 的 Zn 含量高于 CK,但差异不显著。施肥提高了番茄果实 Pb 含量,其中施用有机肥和无机肥处理番茄果实 Pb 含量分别比 CK 增加了 18.8%和 19.9%,有机无机肥配施的平均含量增加了 7.1%。施肥对番茄果实 Cd 含量的影响作用较小,各施肥处理与 CK 的 Cd 含量差异性均不显著。施用有机肥可显著降低番茄果实 Cr 含量,比 CK 处理含量降低 11.4%,比施用无机肥处理含量降低 12.5%;施肥处理中番茄果实 Cr 含量有随无机肥配施量提高而增加的趋势($r=0.979^{**}$, $P<0.01$)。施肥提高了番茄果实 As 含量,施用有机肥和无机肥含量分别比 CK 增加了 16.5%和 14.5%,比有机无机肥配施的平均含量增加了 21.0%。各施肥处理显著降低了番茄果实 Hg 含量,施用有机肥和无机肥分别比 CK 降低了 55.6%和 38.9%,有机无机肥配施处理的平均含量比 CK 降低了 33.3%。

各处理番茄果实重金属含量均低于国家规定的食品中重金属限量标准要求^[22-24],说明合理施用有机肥、无机肥或有机无机肥配施对番茄果实重金属含量的影响作用较小,不会对番茄果实产生重金属污染。

2.5 不同施肥处理对土壤有效态重金属含量的影响

试验结果表明(表 6),施用有机肥使土壤有效态 Cu 含量显著低于 CK 和施用无机肥处理,含量分别降低了 7.8%和 12.5%;施用无机肥和低量有机肥配施无机肥(处理 5~6)有提高土壤有效态 Cu 含量的趋势。施肥提高了土壤有效态 Zn 含量,施用有机肥和无机肥处理的 Zn 含量比 CK 分别增加了 35.0%和 14.8%,有机无机肥配施处理的平均含量比 CK 提高了 28.5%。施肥降低了土壤有效态 Pb 含量,特别是施用无机肥使土壤有效态 Pb 含量比 CK 降低了 12.5%,施肥处理间土壤有效态 Pb 含量差异不显著。施肥可使土壤有效态 Cd 含量提高。其中,施用有机肥处理的土壤有效态 Cd 含量比 CK 和施用无机肥处理分别提高了 25.0%和 24.3%,有机无机肥配施处理 Cd 的平均含量比 CK 和无机肥处理的含量分别提高了 13.8%和 13.2%;施用无机肥对土壤有效态 Cd 含

表 5 不同试验处理番茄重金属含量(FW)
Table 5 Effect of different fertilizer treatments on heavy metal contents of tomato fruits(FW)

处理	Cu/mg·kg ⁻¹	Zn/mg·kg ⁻¹	Pb/μg·kg ⁻¹	Cd/μg·kg ⁻¹	Cr/μg·kg ⁻¹	As/μg·kg ⁻¹	Hg/μg·kg ⁻¹
1(CK)	0.67±0.06a	1.11±0.03b	5.52±0.43c	3.83±0.31a	46.6±1.2ab	2.00±0.36b	0.18±0.02a
2	0.60±0.04b	1.02±0.04b	6.56±0.20a	3.50±0.51a	41.3±0.4e	2.33±0.31ab	0.08±0.01c
3	0.62±0.02b	1.08±0.07b	6.35±0.62ab	3.50±0.43a	43.2±0.9d	2.10±0.04ab	0.12±0.02b
4	0.62±0.06b	1.10±0.03b	5.69±0.11bc	4.04±0.02a	44.3±1.1cd	2.66±0.45a	0.13±0.03b
5	0.73±0.02a	1.09±0.09b	5.96±0.40abc	3.65±0.18a	45.2±1.0bc	2.56±0.24ab	0.11±0.01bc
6	0.61±0.01b	1.22±0.06a	5.63±0.45bc	3.99±0.53a	45.5±1.4abc	2.35±0.38ab	0.11±0.02bc
7	0.62±0.06b	1.10±0.02b	6.62±0.37a	3.80±0.40a	47.2±1.0a	2.29±0.31ab	0.11±0.01bc
限量标准/mg·kg ⁻¹	≤10	≤20	≤0.1	≤0.05	≤0.5	≤0.05	≤0.01

量的影响较小,与 CK 的含量差异不显著。施肥提高了土壤有效态 Hg 含量,施用有机肥处理的土壤有效态 Hg 含量比 CK 提高了 46.9%,其他施肥处理含量与 CK 相比差异均不显著。施肥对土壤有效态 Cr 和 As 含量的影响基本相同,各施肥处理间土壤有效态 Cr 和 As 含量与 CK 的差异均不显著。

3 讨论

在供试条件下,从番茄采收初期至采收盛期的累积产量统计看出,以有机肥与无机肥养分质量比为 6:4(处理 4)增产幅度最大。说明有机肥合理配施 NPK 无机肥可使土壤更有效地保存和提供番茄生长所需养分,增加作物营养吸收与抗逆性,提高番茄产量。施用无机肥处理的番茄果实可溶性糖含量和可滴定酸含量较高,维生素 C 含量以施用有机肥处理的最高,番茄果实的营养品质和口感以有机肥处理的最佳。经相关分析,番茄果实可溶性糖和维生素 C 含量有随番茄产量提高而降低的趋势,可滴定酸则有随产量的提高而增加的趋势;果实的营养品质与有机肥的施用比例无相关性。表明番茄营养品质的变化与果实产量高低有直接关系。

施用有机肥的番茄果实硝酸盐含量明显低于无

机肥和有机无机肥配施处理,这是因为有机肥料需通过土壤微生物逐步分解而缓慢释放 N 素,避免了由于施用无机 N 肥造成蔬菜体内硝酸盐过快吸收,使 N 素吸收量大于同化量而形成硝酸盐累积量的增加;有机无机肥配施与施用 NPK 无机肥相比也有降低番茄果实硝酸盐含量的作用,这与已有的研究结果一致^[25-27]。

不同施肥处理对番茄果实 Cu、Zn 和 Cd 含量的影响较小,但提高了番茄果实 Pb 和 As 含量,明显降低了番茄果实 Hg 含量。施用有机肥可显著降低番茄 Cr 含量,有机无机肥配施处理中番茄 Cr 含量有随无机肥配施量提高而增加的趋势,施用无机肥处理的番茄 Cr 含量最高。从番茄中重金属元素含量与土壤有效态重金属含量间的相关分析看出,只有 Pb 达到显著负相关($r=-0.788,n=7$),其他重金属元素的相关性均不显著。经检验,番茄的产量与重金属含量间的相关性也均不显著。造成施用有机肥、无机肥和有机无机肥配施对番茄果实中重金属含量的影响与土壤有效态重金属含量的变化不尽一致的原因,一是由于施肥改变了土壤理化性状而影响到土壤中重金属的移动性及其生物有效性^[9,29-30];二是由于施肥促进了番茄生长,增加了生物产量,从而对重金属积累起到稀释

表 6 不同试验处理土壤有效态重金属含量
Table 6 Effect of different fertilizer treatments on available heavy metal contents of tomato fruits

处理	Cu/mg·kg ⁻¹	Zn/mg·kg ⁻¹	Pb/mg·kg ⁻¹	Cr/mg·kg ⁻¹	Cd/μg·kg ⁻¹	As/μg·kg ⁻¹	Hg/μg·kg ⁻¹
1(CK)	10.68±0.40bc	4.11±0.21d	1.36±0.04a	0.082±0.005a	18.8±0.3c	22.1±2.0a	0.32±0.02b
2	9.85±0.43d	5.55±0.12ab	1.24±0.09ab	0.074±0.007a	23.5±0.6a	22.7±2.0a	0.47±0.02a
3	10.45±0.24cd	5.60±0.45ab	1.26±0.11ab	0.094±0.025a	21.7±0.8ab	23.0±2.2a	0.46±0.07ab
4	10.15±0.61cd	5.69±0.59a	1.25±0.09ab	0.091±0.029a	22.3±1.6ab	22.8±2.3a	0.38±0.04ab
5	10.82±0.41abc	4.98±0.60abc	1.27±0.04ab	0.076±0.010a	21.3±1.4b	22.9±1.2a	0.34±0.10ab
6	11.47±0.45a	4.85±0.46bcd	1.29±0.07ab	0.075±0.024a	20.5±1.1bc	19.9±2.6a	0.36±0.02ab
7	11.26±0.21ab	4.72±0.28cd	1.19±0.05b	0.074±0.003a	18.9±0.8c	19.8±0.6a	0.40±0.13ab

作用,减少了积累浓度^[28],造成番茄果实重金属含量上的差异,其作用机理有待进一步研究。

4 结论

(1)在施氮量相同条件下,有机肥与无机肥配施番茄产量增幅较大,以6:4养分配施比例产量最高。施用无机肥番茄果实可溶性糖含量和可滴定酸含量较高,维生素C含量以施用有机肥处理的最高;番茄果实的营养品质和口感以施用有机肥处理的最佳。

(2)施用有机肥番茄果实硝酸盐含量明显低于施用无机肥和有机无机肥配施处理,亚硝酸盐含量则以施用无机肥和低有机无机肥配施量处理的含量较低。

(3)施肥有明显降低番茄果实Hg含量的作用,但却提高了Pb和As含量,对Cu、Zn和Cd含量的影响较小;施用有机肥可显著降低番茄果实Cr含量。

(4)施肥提高了土壤有效态Zn和Cd含量、降低了土壤有效态Pb含量,对土壤有效态Cr和As含量的影响较小;施用有机肥使土壤有效态Cu含量显著降低,而使土壤有效态Hg的含量提高;施用无机肥可提高土壤有效态Cu的含量。

参考文献:

- [1] 汪琳琳, 方凤满, 蒋炳言. 中国菜地土壤和蔬菜重金属污染研究进展[J]. 吉林农业科学, 2009, 34(2): 61-64.
WANG Lin-lin, FANG Feng-man, JIANG Bing-yan. Processes of studies of heavy metal pollution of soil and vegetables on China's vegetable field[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2009, 34(2): 61-64.
- [2] 王钢军, 张永志, 徐明飞, 等. 土壤重金属污染对蔬菜食用安全影响的研究[J]. 浙江农业科学, 2008(2): 134-136.
WANG Gang-jun, ZHANG Yong-zhi, XU Ming-fei, et al. Effect of heavy metals polluted soil on edible safety of vegetables[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2008(2): 134-136.
- [3] 戴礼洪, 周莉, 同立金. 土壤作物系统重金属污染研究[J]. 农业环境与发展, 2007(6): 84-88.
DAI Li-hong, ZHOU Li, YAN Li-jin. The research of heavy metals pollution in soil-crop system[J]. *Agro-Environment & Development*, 2007(6): 84-88.
- [4] 赵勇, 李红娟, 孙治强. 土壤、蔬菜Cd污染相关性分析与土壤污染阈值研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 149-153.
ZHAO Yong, LI Hong-juan, SUN Zhi-qiang. Correlation analysis of Cd pollution in vegetables and soils and the soil pollution threshold[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(7): 149-153.
- [5] 李海华, 刘建武, 李树人, 等. 土壤-植物系统中重金属污染及作物富集研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(1): 30-34.
LI Hai-hua, LIU Jian-wu, LI Shu-ren, et al. The present progress of research on heavy metal pollution and plant enrichment in soil-plant system[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2000, 34(1): 30-34.
- [6] 祖艳群, 李元, 陈海燕, 等. 蔬菜中铅镉铜锌含量的影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 289-292.
ZU Yan-qun, LI Yuan, CHEN Hai-yan, et al. Research on factors influencing concentrations of Pb, Cd, Cu and Zn in vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(3): 289-292.
- [7] 郝秀珍, 周东美. 畜禽粪中重金属环境行为研究进展[J]. 土壤, 2007, 39(4): 509-513.
HAO Xiu-zhen, ZHOU Dong-mei. A review: environmental behaviors of heavy metals in livestock and poultry manures[J]. *Soils*, 2007, 39(4): 509-513.
- [8] 陆正松, 赵玲, 张硕, 等. 土壤污染、施肥对稻米和蔬菜品质的影响[J]. 土壤肥料, 2001(4): 13-16.
LU Zheng-song, ZHAO Ling, ZHANG Shuo, et al. Effect of soil pollution and fertilization on qualities of rice and vegetable[J]. *Soil and Fertilizer*, 2001(4): 13-16.
- [9] 王开峰, 彭娜, 王凯荣, 等. 长期施用有机肥对稻田土壤重金属含量及其有效性的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 105-108.
WANG Kai-feng, PENG Na, WANG Kai-rong, et al. Effects of long-term manure fertilization on heavy metal content and its availability in paddy soils[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1): 105-108.
- [10] GB 6194—86, 水果、蔬菜可溶性糖测定法[S].
GB 6194—86, Determination of soluble sugar in vegetable and fruit[S].
- [11] GB/T 12293—1990, 水果、蔬菜制品可滴定酸度的测定[S].
GB/T 12293—1990, Fruit and vegetable products—Determination of titratable acidity[S].
- [12] GB/T 5009.86—2003, 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定[S].
GB/T 5009.86—2003, Method for determination of total ascorbic acid in fruits, vegetables and derived products[S].
- [13] 罗雪华, 蔡秀娟. 紫外分光光度法测定蔬菜硝酸盐含量[J]. 华南热带农业大学学报, 2004, 10(1): 13-16.
LUO Xue-hua, CAI Xiu-juan. Determination of nitrate content in vegetables by UV-spectrophotometric method[J]. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2004, 10(1): 13-16.
- [14] GB/T 5009.33—2003, 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].
GB/T 5009.33—2003, Determination of nitrite and nitrate in foods[S].
- [15] GB/T 17141—1997, 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法[S].
GB/T 17141—1997, Soil quality—Determination of lead, cadmium—Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry[S].
- [16] GB/T 5009.12—2003, 食品中铅的测定[S].
GB/T 5009.12—2003, Determination of lead in foods[S].
- [17] NY/T 890—2004, 土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTPA)浸提法[S].
NY/T 890—2004, Determination of available zinc, manganese, iron, copper in soil—extraction with buffered DTPA solution[S].
- [18] 李发生, 韩梅, 熊代群, 等. 不同浸提剂对几种典型土壤中重金属有效态的浸提效率研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 704-706.
LI Fa-sheng, HAN Mei, XIONG Dai-qun, et al. Efficiency of some extractants for available heavy metals from several typical soils[J]. *Journal*

- of *Agro-Environment Science*, 2003, 22(6):704-706.
- [19] NY 525—2002, 有机肥料[S].
- NY 525—2002, Organic Fertilizer[S].
- [20] 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.
- LU Ru-kun. Methods of analysis of soil agricultural chemists[M]. Beijing:China Agricultural Science Press, 2000.
- [21] GB 19338—2003, 蔬菜中硝酸盐限量[S].
- GB 19338—2003, Tolerance limit for nitrate in vegetables[S].
- [22] GB 2762—2005, 食品中污染物限量[S].
- GB 2762—2005, Maximum levels of contaminants in foods[S].
- [23] GB 15199—1994, 食品中铜限量卫生标准[S].
- GB 15199—1994, Tolerance limit of copper in foods[S].
- [24] GB 13106—1991, 食品中锌限量卫生标准[S].
- GB 13106—1991, Tolerance limit of zinc in food[S].
- [25] 史春余, 张夫道, 张树青, 等. 有机-无机复合肥对番茄产量、品质和有关生理特性的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8):1183-1187.
- SHI Chun-yu, ZHANG Fu-dao, ZHANG Shu-qing, et al. Effects of organic-inorganic compound fertilizers on yield, quality and some related physiological characteristics in tomato[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(8):1183-1187.
- [26] 邱孝煊, 黄东风, 蔡顺香, 等. 施肥对蔬菜硝酸盐累积的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2):111-114.
- QIU Xiao-xuan, HUANG Dong-feng, CAI Shun-xiang, et al. Effect of applying fertilizer on nitrate accumulation in vegetables[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(2):111-114.
- [27] 许前欣, 孟兆芳, 于彩虹. 减少蔬菜体内硝酸盐污染的施肥技术研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(2):109-110, 113.
- XU Qian-xin, MENG Zhao-fang, YU Cai-hong. Approaches for reduction of nitrate contamination on vegetable by appropriately applying fertilizers[J]. *Agro-environmental Protection*, 2000, 19(2):109-110, 113.
- [28] 李 波, 青长乐, 周正宾, 等. 肥料中氮磷和有机质对土壤重金属行为的影响及在土壤治污中的应用[J]. 农业环境保护, 2000, 19(6):375-377.
- LI Bo, QING Chang-le, ZHOU Zheng-bin, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and organic matter on heavy metal behavior in soils and its application of controlling pollution[J]. *Agro-environmental Protection*, 2000, 19(6):375-377.
- [29] 杜彩艳, 祖艳群, 李 元. pH 和有机质对土壤中镉和锌生物有效性影响研究[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(4):539-543.
- DU Cai-yan, ZU Yan-qun, LI Yuan. Effect of pH and organic matter on the bioavailability Cd and Zn in soil[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2005, 20(4):539-543.
- [30] 张 磊, 宋凤斌, 崔 良. 化肥施用对土壤中重金属生物有效性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4):122-125.
- ZHANG Lei, SONG Feng-bin, CUI Liang. Effects of application of chemical fertilizers on bioavailability of heavy metals in soil[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(4):122-125.