

曹雪娜,孟 军,杨铁鑫,等. 生物炭对樱桃番茄果实品质及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):101-104.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.025

生物炭对樱桃番茄果实品质及产量的影响

曹雪娜,孟 军,杨铁鑫,高 尚,陈温福

(沈阳农业大学,辽宁沈阳 110161)

摘要:以樱桃番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill)为试验对象,选用玉米秸秆生物炭,在日光温室中进行试验,研究生物炭对樱桃番茄果实品质和产量的影响。生物炭施用量设置 3 个处理:0 t/hm²(对照)、30 t/hm²(低量)、90 t/hm²(高量),试验结果表明:施用生物炭可改善樱桃番茄果实营养品质且高炭量效果更佳,但生物炭对果实的外观形态品质影响不显著。与对照相比,破色期后,施用生物炭能提高果实维生素 C 含量 20.1%~67.6%;使可溶性糖含量峰值推迟,并提高 1.1%~18.2%。施用生物炭能提高樱桃番茄产量 7.5%~21.6%,随着施炭量的增加产量有下降趋势。

关键词:生物炭;樱桃番茄;果实品质;产量

中图分类号:S641.204 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)04-0101-04

随着农业快速发展和人民生活水平日益提高,高品质果蔬市场需求量不断扩大。设施栽培作为一种能够终年种植作物的栽培形式,使作物能避开不利自然条件,形成果蔬反季生长,可大幅度提高果蔬产量、丰富果蔬种类^[1]。然而,设施栽培中出现施肥过量、不均,复种指数过高等现象,造成设施土壤有机质含量下降,土壤酸化、板结、盐渍化加剧,土传病害加重等不良后果^[2],使果蔬产量下降,品质变劣^[3]。

樱桃番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill)色泽艳丽、味道酸甜可口,而且含有维生素 C、番茄红素等多种人体所需的营养物质,深受消费者喜爱^[4]。土壤盐渍化严重限制番茄生长发育,使番茄产量下降,品质变劣,并引发脐腐病等生理病害^[5]。土壤酸化使番茄果实可溶性糖含量降低,耐贮性变差^[6],给樱桃番茄栽培者造成了巨大的损失。

生物炭(biochar)是农林废弃物等生物质在相对低温(<700℃)和缺氧条件下热裂解形成的稳定的富碳产物^[7]。生物炭因其独特的理化性质和结构特征,施入到土壤后具有调节土壤 pH 值^[8]、降低土壤容重^[9]、提高土壤团聚性^[10]、平衡土壤养分^[11]等作用。近年来,关于生物炭对果蔬品质、产量的研究越来越多。有研究表明,施用生物炭能提高黄瓜产量,增加其果实可溶性糖含量,降低硝酸盐积累^[12]。马嘉伟等认为,竹炭能够提高白菜产量 1.01 倍,维生素 C 含量 1.67 倍^[13]。有研究认为,施用生物炭能提高大白菜幼苗株高、茎粗、叶绿素含量、植株鲜质量、植株干质量及壮苗指数等。乔志刚等认为,施用生物炭能提高提高维生素 C 含量 69.5%、可溶性蛋白质含量 64.7%^[14]。鉴于此,本研究以樱桃番茄为

试验材料,选用玉米秸秆生物炭,在日光温室中进行试验,探讨生物炭对不同生育时期樱桃番茄果实品质和产量的影响,以期生物炭在设施栽培中的合理应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验于 2015 年在沈阳农业大学(123.4'E,41.8'N)日光温室中进行。供试樱桃番茄为“蜜枣”,由沈阳益农种苗有限公司生产。供试土壤为棕壤,土壤基本理化性质为:全氮 0.12%,全磷 0.29 g/kg,全钾 40.57 g/kg,pH 值 7.5,有机质 16.39 g/kg。选用玉米秸秆生物炭,由金和福农业开发有限公司生产提供,其基本理化性质为全氮为:0.79%,全磷 0.22 g/kg,全钾为 44.10 g/kg,pH 值 8.4。

1.2 试验方案

试验采用随机区组设计,设置 3 个处理,每个处理 3 次重复。分别为对照(CK):不施生物炭;低量生物炭(T1):30 t/hm²;高量生物炭(T2):90 t/hm²。小区面积 10.8 m²,每区种植 33 株樱桃番茄,行距 60 cm,株距 50 cm。将樱桃番茄种子催芽播种后育苗,至幼苗 3 叶 1 心时,取长势基本一致幼苗进行定植,定植时间为 2015 年 6 月 4 日,采用单干整枝的方法,栽培管理同常规方法,2015 年 9 月 10 日试验结束。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 样品采集 在果实发育的 5 个不同时期取样,分别为:绿熟期(全果深绿);破色期(果实显红色<10%);转色期(果实显红色 10%~60%);粉红色期(果实显红色>60%~90%);红熟期(果实显深红色,果肉略发软^[15])。在每个小区随机选取 9 个成熟度一致的果实带回实验室进行相关指标的测定。

1.2.2 果实形态的测定 测量果实的横径、纵径,并计算果形指数(果实纵径/横径);测定单果质量。

1.2.3 营养品质的测定 采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝 G-250 法^[16]测定可溶性蛋白含量;采用液相色谱法^[17]测定柠檬酸和苹果酸含量。

收稿日期:2016-10-26

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201303095);辽宁省教育厅优秀人才支持计划(编号:2013-JYTRC-01);中国工程院科技咨询项目(编号:2015-XY-25-03);中央财政推广项目(编号:GCNT-LN-18-1)。

作者简介:曹雪娜(1991—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要从事生物炭对土壤改良方面的研究。E-mail:xuenacao@126.com。

通信作者:孟 军,博士,教授,主要从事生物炭农业应用研究。E-mail:mengjun1217@163.com。

1.2.4 产量的测定 单株产量理论值:单株产量 = 单果质量 × 果实个数。

单株产量实测值:各处理果实成熟后,另选取 9 株具有代表性的植株单独收获,测定其单株产量。

折合 667 m² 产量:667 m² 产量 = 平均单株产量 × (667/单株面积)。

1.2.5 土壤的测定 全氮、有机碳采用元素分析仪(vario MACRO cube,德国)测定,碱解氮测定采用碱解扩散法,全磷测定采用钼锑抗比色法,全钾测定采用火焰光度法。

1.3 数据统计分析

使用 SPSS 19.0 软件分析数据,Duncan’s 方法进行差异显著性分析。利用 Excel 2003 软件进行数据整理分析并绘制图表。

2 结果与分析

2.1 施入生物炭对土壤理化性质的影响

由表 1 可见,施用生物炭可使土壤 pH 值、有机碳、全氮、

碱解氮均有不同程度的提高,且随着施炭量的增加,提高效果越明显。与 CK 相比,T2 可显著提高 pH 值 0.27、有机碳 89.2%、全氮 26.3%、碱解氮 15.6%;T1 也可提高 pH 值 0.01、有机碳 7.4%、全氮 5.3%、碱解氮 5.5%,但未达到显著性差异水平。

表 1 不同施炭量对樱桃番茄土壤理化性质的影响

处理	pH 值	有机碳 (%)	全氮 (%)	碱解氮 (mg/kg)
CK	6.97 ± 0.09b	1.48 ± 0.04c	0.19 ± 0.005b	127.2 ± 4.04b
T1	6.98 ± 0.04b	1.59 ± 0.01b	0.20 ± 0.005b	134.2 ± 5.35b
T2	7.27 ± 0.01a	2.80 ± 0.05a	0.24 ± 0.024a	147.0 ± 3.50a

2.2 施入生物炭对果实外观形态品质的影响

由表 2 可知,随着果实的生长发育,樱桃番茄果实的横径、纵径迅速增长,而后缓慢增加至粉红色期后略有下降。且果实每个生育时期果形指数均 > 1,为长圆形。施用生物炭对果实外观形态品质没有显著影响,T2 横、纵径增长率高于 T1、CK(除粉红色期)。

表 2 不同施炭量对樱桃番茄果实外观形态品质的影响

成熟度	处理	横径(mm)	纵径(mm)	果形指数	横径增长率(%)	纵径增长率(%)
绿熟期	CK	25.84 ± 1.07a	32.95 ± 2.40a	1.30 ± 0.03a	—	—
	T1	24.55 ± 0.86a	32.23 ± 1.04a	1.32 ± 0.06a	—	—
	T2	24.70 ± 0.61a	31.30 ± 0.76a	1.27 ± 0.06a	—	—
破色期	CK	29.57 ± 1.37a	36.58 ± 1.74a	1.24 ± 0.00a	15 ± 0.10a	10 ± 0.08a
	T1	28.13 ± 0.40a	35.26 ± 1.96a	1.25 ± 0.08a	15 ± 0.05a	9 ± 0.03a
	T2	28.78 ± 1.28a	35.99 ± 2.38a	1.25 ± 0.03a	17 ± 0.05a	10 ± 0.11a
转色期	CK	30.60 ± 1.35a	37.97 ± 0.50a	1.24 ± 0.04a	5 ± 0.04a	4 ± 0.04a
	T1	28.72 ± 0.55a	36.79 ± 1.21a	1.28 ± 0.02a	2 ± 0.02a	4 ± 0.03a
	T2	29.77 ± 1.17a	38.40 ± 1.49a	1.29 ± 0.04a	5 ± 0.08a	8 ± 0.09a
粉红色期	CK	29.26 ± 1.52a	38.22 ± 1.88a	1.31 ± 0.07a	-5 ± 0.08a	7 ± 0.06a
	T1	29.15 ± 1.07a	37.36 ± 1.87a	1.28 ± 0.04a	1 ± 0.03a	2 ± 0.03a
	T2	29.84 ± 0.42a	38.05 ± 0.83a	1.28 ± 0.02a	0.8 ± 0.02a	-2 ± 0.07a
红熟期	CK	29.75 ± 0.80a	37.36 ± 1.27a	1.26 ± 0.03a	2 ± 0.08a	-2 ± 0.05a
	T1	28.61 ± 1.19a	36.78 ± 1.73a	1.29 ± 0.03a	-2 ± 0.05a	-2 ± 0.02a
	T2	29.16 ± 1.39a	36.71 ± 1.82a	1.26 ± 0.01a	-2 ± 0.05a	-2 ± 0.05a

注:同一成熟度同列数据后不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)。下表同。

2.3 施入生物炭对果实营养品质的影响

2.3.1 施入生物炭对果实中维生素 C 含量的影响 由图 1 可知,随着果实的生长发育,维生素 C 含量大体呈现先减少后增加的趋势。施用生物炭能够显著提高樱桃番茄果实中维生素 C 的含量。其中 T2 效果最为显著,在破色期至红熟期,与 CK 相比,维生素 C 含量显著提高 17.6% ~ 67.6%;T1 对维生素 C 含量的影响也十分显著,破色期至粉红色期,T1 维生素 C 含量比 CK 显著提高 20.1% ~ 35.1%。

2.3.2 施入生物炭对果实中可溶性糖和有机酸含量的影响 由表 3 可知,樱桃番茄果实中可溶糖含量呈先升高后降低的单峰曲线变化趋势。施用生物炭使可溶性糖含量峰值推迟一个生育时期出现,并提高 1.1% ~ 18.2%。CK 可溶糖含量峰值出现在转色期,达 20.11 mg/g,而 T1、T2 可溶性糖含量峰值出现在粉红色期,分别为 20.33 mg/g 和 23.77 mg/g,此时施炭处理可溶性糖含量显著高于对照,且 T1、T2 分别比 CK 高 34.2%、56.9%。在果实生长发育过程中,施用生物炭对有机酸(柠檬酸和苹果酸)含量影响并不显著。在转色期,CK

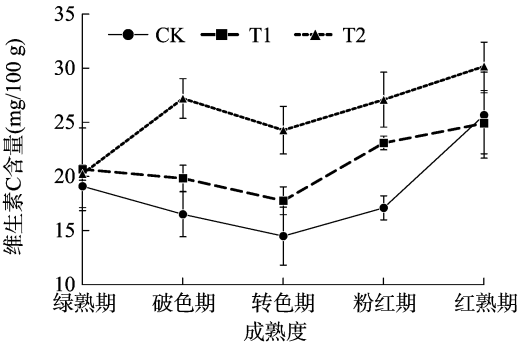


图1 不同施炭量对樱桃番茄实维生素C含量的影响

的糖酸比显著高于 T1、T2,分别高 30.1% 和 65.3%;在粉红色期,T1、T2 的糖酸比显著高于 CK,分别高 34.3%、52.2%。

2.3.3 施入生物炭对果实中可溶性蛋白质的影响 可溶性蛋白质是重要的渗透物质和营养物质,同时又是影响果实品质的重要指标之一。由图 2 可知,樱桃番茄果实中的可溶性蛋白质含量自绿熟期开始呈迅速增加的趋势;施用生物炭对

表 3 不同施炭量对樱桃番茄可溶性糖及有机酸含量的影响

成熟度	处理	可溶性糖含量 (mg/g)	有机酸含量(mg/g)		糖/酸
			柠檬酸含量	苹果酸含量	
绿熟期	CK	13.26 ± 0.73a	1.92 ± 0.20a	1.04 ± 0.03a	4.48 ± 0.38a
	T1	12.69 ± 0.24a	2.01 ± 0.16a	1.03 ± 0.09a	4.19 ± 0.28a
	T2	12.85 ± 1.09a	1.93 ± 0.14a	0.95 ± 0.04a	4.47 ± 0.39a
破色期	CK	13.48 ± 0.55a	1.95 ± 0.20a	0.46 ± 0.08a	5.60 ± 0.50a
	T1	12.59 ± 1.17a	2.29 ± 0.22a	0.47 ± 0.05a	4.59 ± 0.59a
	T2	12.57 ± 1.28a	2.34 ± 0.36a	0.46 ± 0.02a	4.56 ± 1.00a
转色期	CK	20.11 ± 2.60a	2.26 ± 0.19a	0.39 ± 0.07a	7.57 ± 0.42a
	T1	16.19 ± 2.31ab	2.41 ± 0.33a	0.42 ± 0.03a	5.82 ± 1.49ab
	T2	13.49 ± 1.00b	2.59 ± 0.38a	0.38 ± 0.02a	4.58 ± 0.43b
粉红色期	CK	15.15 ± 0.93c	1.84 ± 0.07a	0.37 ± 0.07a	6.86 ± 0.58b
	T1	20.33 ± 1.70b	1.93 ± 0.32a	0.37 ± 0.08a	9.21 ± 2.44ab
	T2	23.77 ± 1.12a	1.91 ± 0.17a	0.37 ± 0.09a	10.44 ± 1.15a
红熟期	CK	17.29 ± 1.53a	1.10 ± 0.29a	0.37 ± 0.10a	12.27 ± 1.57a
	T1	15.18 ± 2.65a	1.16 ± 0.13a	0.37 ± 0.11a	10.16 ± 2.57a
	T2	16.49 ± 0.49a	1.03 ± 0.10a	0.37 ± 0.12a	12.17 ± 0.83a

果实可溶性蛋白质影响不显著。在破色期,CK、T1、T2 可溶性蛋白质含量均达到最大值,分别为 1.12、0.88、1.39 μg/g ;在红熟期,T2 可溶性蛋白质含量显著高于 CK、T1 58.3%、65.2% ,其他生育时期施用生物炭表现均不显著。

2.4 施入生物炭对产量及其构成因素的影响

由表 4 可见,随着施炭量的增加,樱桃番茄产量逐渐下降。与对照相比,由于 T1 显著增加了果实个数,对单果质量影响不显著,导致其单株产量理论值提高 25% ,单株产量实测值提高 21.6% ,折合 667 m² 产量提高了 22.0% 。T2 单果质量、单株果实个数、单株产量理论及实测值、折合 667 m² 产量均没有显著影响。

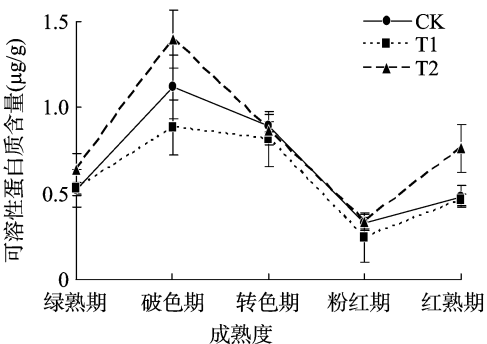


图2 不同施炭量对樱桃番茄可溶性蛋白含量的影响

表 4 不同施炭量对樱桃番茄产量构成因素的影响

处理	单果质量 (g)	单株果实数 (个)	单株产量理论值 (kg)	单株产量实测值 (kg)	折合 667 m ² 产量 (kg)
CK	20.92 ± 1.69a	76.00 ± 6.81b	1.52 ± 0.12b	1.34 ± 0.14b	2 478.91 ± 267.88b
T1	19.04 ± 1.75a	87.00 ± 19.62a	1.90 ± 0.19a	1.63 ± 0.14a	3 025.05 ± 259.27a
T2	20.95 ± 1.38a	72.00 ± 4.36b	1.47 ± 0.11b	1.35 ± 0.09b	2 500.41 ± 173.85b

3 讨论

在本研究中,樱桃番茄果实中维生素 C 含量大体上呈先下降后上升的变化趋势,与张秀梅^[18]、苍晶等^[19]、程志强等^[20] 试验结果相符。施炭处理维生素 C 含量在破色期后显著高于对照,且维生素 C 含量随施炭量增加而增加。闵炬等认为,施氮量增加,番茄中维生素 C 含量随之增加^[21];秦松等认为,铵态氮比例增加,茄果类蔬菜中维生素 C 含量随之增加^[22]。本研究结果表明,随着生物炭施用量的增加,土壤中碱解氮含量不断增加,果实维生素 C 含量也相应提高。土壤中碱解氮的含量增加可能由于生物炭施入土壤后形成较大的团聚体,更容易吸附土壤中的铵态氮^[23-24],有利于植物对其吸收利用,进而使樱桃番茄果实中维生素 C 含量提高。

可溶性糖和有机酸含量是评价果实品质优劣的重要指标,且糖酸比越高,果实品质越好^[25]。本试验结果表明,在果实的生长发育过程中,施用生物炭对樱桃番茄果实有机酸的影响不显著,而对可溶性糖含量的消长具有一定的影响。施

用生物炭提高了土壤中全氮和碱解氮含量,从而使施炭处理樱桃番茄果实可溶性糖含量峰值比对照推迟,徐新娟等认为,全铵态氮处理下番茄果实的可溶性糖含量显著高于全硝态氮处理,说明氮素会显著影响果实的糖代谢^[26]。本试验条件下施用生物炭可延长可溶性糖的积累,并在一定程度上可以延长果实收获期,可能的原因是由于生物炭具有疏松多孔结构,使其具备了类似“海绵”一样的作用^[27],对 NH₄⁺ 具有吸附固持作用^[28],延缓樱桃番茄对其吸收利用。

可溶性蛋白质是作物体内氮素存在的主要形式,它为作物能够顺利进行物质的合成及代谢、信号转导、基因表达等生理过程提供重要的物质基础^[29],其含量的多少与果实的代谢及抗逆性具有密切的关系。本试验结果表明,施炭处理与对照相比,樱桃番茄果实中可溶性蛋白质含量影响不大。在破色期和红熟期时,T2 中可溶性蛋白质含量均明显高于 CK、T1,说明此时樱桃番茄果实中的细胞保水能力更好,抗逆性更强。其原因可能是生物炭中的灰分释放一些物质(包括酚类、醇类、脂类、氨基酸类、羧酸类等化合物)^[30],在一定程度

上干预某些蛋白质的合成、代谢及基因表达^[31],从而改变樱桃番茄中可溶性蛋白质的含量。

本研究结果表明,适量(T1)施入生物炭可以提高樱桃番茄产量。施用生物炭可以改善土壤的理化性质,提高土壤的有机碳、全氮、碱解氮含量,为樱桃番茄生长提供良好土壤环境,从而增加对氮素的吸收利用,使其产量提高 7.5% ~ 21.6%。勾芒芒等认为,生物炭对番茄根系特征优化和产量提高具有促进作用^[32]。本试验中,土壤中全氮、有机碳含量随着生物炭施用量的增加而增加,但樱桃番茄的产量并未提高。肖辉等认为,生物黑炭对蔬菜产量影响不大或具有提高的作用,但随着施炭量的增加产量有下降趋势。这个可能的原因是生物炭对土壤氮素具有矿化作用或者对土壤有机质有矿化作用^[33],导致植物并不能吸收利用土壤中的养分。

4 结论

(1)在本试验条件下,施用生物炭能改善樱桃番茄果实营养品质且高炭量(90 t/hm²)效果更佳。(2)施用生物炭对樱桃番茄果实外观形态品质影响不显著。(3)施用生物炭能提高樱桃番茄产量 7.5% ~ 21.6%,随着施炭量的增加产量有下降趋势,且低炭量(30 t/hm²)增产效果显著。

参考文献:

- [1]刘兆辉,江丽华,张文君,等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报,2008,45(2):296-303.
- [2]范庆锋,张玉,张玉玲,等. 辽宁地区保护地土壤酸化现状研究[J]. 北方园艺,2013(22):173-176.
- [3]Bouwman A F. Soil and greenhouse effect[M]//Brady N C, Weil R R. The nature and properties of soils. Prentice Hall,1990:343-355.
- [4]杨永政,巩振辉,梁燕. 樱桃番茄主要营养品质性状的配合[J]. 西北农林科技大学学报,2007,35(5):179-183.
- [5]Magan J J, Gallardo M, Thompson R B, et al. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil - less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions [J]. Agricultural Water Management,2008,95(9):1041-1055.
- [6]朱本岳. 菜地土壤酸化原因及其对番茄生产的影响[J]. 浙江农业学报,1989,15(3):273-277.
- [7]Antal M J, Gronli M. The art, science and technology of charcoal production[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 2003, 42: 1619-1640.
- [8]Zwieten L V, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. Plant and Soil,2010,327(1/2):235-246.
- [9]Kishimoto S., Sugiura G. Charcoal as a soil conditioner [J]. Int Achieve Future,1985,5:12-23.
- [10]Brodowski S, John B, Flessa H, et al. Aggregate - occluded black carbon in soil [J]. European Journal of Soil Science,2006,57, 539-546.
- [11]Clough T J, Condon L M. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction[J]. Journal of Environmental Quality,2010,39(4): 1218-1223.
- [12]武春成,李天来,曹霞,等. 添加生物炭对连作营养基质理化性质及黄瓜生长的影响[J]. 核农学报,2014,28(8):1534-1539.

- [13]马嘉伟,胡杨勇,叶正钱,等. 竹炭对红壤改良及青菜养分吸收、产量和品质的影响[J]. 浙江农林大学学报,2013,30(5):655-661.
- [14]乔志刚,付嘉英,郑金伟,等. 不同炭基肥对青椒生长、品质和氮素农学利用率的影响[J]. 土壤通报,2014,45(1):174-179.
- [15]阮英,刘开朗,申琳,等. 番茄果实成熟衰老过程中果肉和种子活性氧代谢的变化[J]. 园艺学报,2006,3(1):63-67.
- [16]李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京:科学出版社,2009:48-55.
- [17]牛景,赵剑波,吴本宏,等. 不同来源桃种质果实糖酸组分含量特点的研究[J]. 园艺学报,2006,33(1):6-11.
- [18]张秀梅. 菠萝果实生长发育过程中营养品质的变化[J]. 中国农学通报,2008,24(7):457-461.
- [19]苍晶,王学车,桂明株,等. 狗枣猕猴桃果实生长发育的研究[J]. 果树学报,2001,19(2):87-90.
- [20]程志强,刘文革. 不同倍性西瓜果实 Vc 含量比较研究[J]. 果树学报,2008,25(5):760-763.
- [21]闵炬,施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1):151-157.
- [22]秦松,王正银. 氮素营养对茄果类蔬菜品质的影响[J]. 长江蔬菜,2006,10:30-33.
- [23]Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects of soil biota: a review [J]. Soil Biology and Biochemistry,2011,43:1812-1836.
- [24]Taghizadeh - Toosi A, Clough T J, Sherlock R R, et al. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable [J]. Plant and Soil,2012,350: 57-69.
- [25]姬景红,李杰,李玉影,等. 不同施肥措施对保护地番茄产量、品质及经济效益的影响[J]. 中国土壤与肥料,2012(5):35-39.
- [26]徐新娟,李庆余,孙瑞,等. 不同形态氮素对樱桃番茄果实发育和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(6):1425-1432.
- [27]廖上强,陈延华,李艳梅. 生物炭基尿素对芹菜产量、品质及土壤硝态氮含量的影响[J]. 农业资源与环境学报,2015,32(5):443-448.
- [28]Steiner C, Glaser B, Gerdal de Teixeira W, et al. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science,2008,171(6):893-899.
- [29]Koch K E, Ying Z, Wu Y, et al. Multiple paths of sugar - sensing and a sugar/oxygen overlap for genes of sucrose and ethanol metabolism [J]. Journal of Experimental Botany,2000,51:417-427.
- [30]Yang E, Meng J, Hu H J, et al. Chemical composition and potential bioactivity of volatile from fast pyrolysis of rice husk[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2015,112:394-400.
- [31]张伟明,管学超,黄玉威,等. 玉米芯生物炭对大豆的生物学效应[J]. 农业环境科学学报,2015,34(2):391-400.
- [32]勾芒芒,屈忠义. 土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(8):1348-1352.
- [33]Zimmerman A R, Gao B, Ahn M Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar - amended soils [J]. Soil Biology and Biochemistry,2011,43(6):1169-1179.