

菌渣有机肥对设施土壤微生物、酶活性及黄瓜品质和产量的影响

李建欣, 葛桂民, 申爱民

(郑州市蔬菜研究所 郑州 450015)

摘要:在设施条件下,以黄瓜品种传奇 68 为试材,以氮磷钾三元复合肥为 CK(40 kg·667 m²),将菌渣有机肥施用量设 4 个处理,分别为 400、800、1200、1600 kg·667 m²,研究菌渣有机肥对土壤微生物数量、土壤酶活性及黄瓜品质和产量的影响。结果表明,施用菌渣有机肥的土壤中可培养细菌、放线菌、真菌数量比 CK 提高 56.18%~112.70%、44.59%~90.54%、12.77%~29.79%;土壤中过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性和脲酶活性比 CK 提高 22.98%~104.64%、24.74%~110.31%、29.63%~88.89%。在菌渣有机肥施用量 800~1600 kg·667 m² 的条件下,黄瓜可溶性固形物含量(w,后同)为 4.52%~4.61%、可溶性糖含量为 2.16%~2.19%、维生素 C 含量为 19.31~19.62 mg·100 g⁻¹,均显著高于 CK;在菌渣有机肥使用量为 1600 kg·667 m² 时,667 m² 产量最高(5 647.26 kg),菌渣有机肥使用量为 1200 kg·667 m² 时,667 m² 产量为 5 602.79 kg。综上,菌渣有机肥可提高土壤微生物数量、土壤酶活性、黄瓜品质和产量,667 m² 适宜的用量为 1200~1600 kg。

关键词:黄瓜;菌渣有机肥;土壤微生物;土壤酶活性;品质;产量

中图分类号:S642.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2022)08-057-05

Mushroom residue made fertilizer affects microbes, enzyme activity in greenhouse soil and quality and yield of cucumber

LI Jianxin, GE Guimin, SHEN Aimin

(Zhengzhou Vegetable Research Institute, Zhengzhou 450015, Henan, China)

Abstract: The effects of mushroom residue made fertilizer on soil microbial population, soil enzyme activity, cucumber quality and yield were studied using cucumber Chuanqi 68 under protected cultivation. There were 4 treatments (400, 800, 1200, 1600 kg·667 m² of the organic fertilizer) and the nitrogen phosphorus potassium compound fertilizer (40 kg·667 m²) was used as control in a randomized block design experiment. The results showed that the amount of bacteria, actinomycetes and fungi in the soil treated with mushroom residue made organic fertilizer increased by 56.18%-112.70%, 44.59%-90.54%, 12.77%-29.79% compared with the control. The activities of catalase, sucrase and urease in soil increased by 22.98%-104.64%, 24.74%-110.31%, 29.63%-88.89% compared with the control. With the application of 800-1600 kg·667 m² mushroom residue made organic fertilizer, the contents of soluble solids (4.52%-4.61%), soluble sugar (2.16%-2.19%) and vitamin C (19.31-19.62 mg·100 g⁻¹) in cucumber were significantly higher than those in the control; Under the condition of applying 1600 kg·667 m² of mushroom residue organic fertilizer, the yield was the highest (5 647.26 kg per 667 m²). Under the condition of applying 1200 kg·667 m² of mushroom residue organic fertilizer, the yield was 5 602.79 kg per 667 m². In conclusion, mushroom residue made organic fertilizer can improve soil microorganisms, soil enzyme activity, cucumber quality and yield. The appropriate dosage was 1200-1600 kg·667 m².

Key words: Cucumber; Mushroom residue made organic fertilizer; Soil microbes; Soil enzyme activity; Quality; Yield

我国是食用菌生产大国,产量居世界首位,而每年产生的菌渣数量也非常大。菌渣含有大量的菌丝残体、纤维素、半纤维素和木质素及丰富的氨

基酸、多糖等营养元素^[1]。目前,由于对菌渣资源认识不足和技术落后而导致其有效利用率较低^[2]。菌棒一般作为燃料焚烧或抛弃,不但孳生蚊虫、污染

收稿日期:2022-03-11;修回日期:2022-07-05

基金项目:河南省科技攻关项目(152102110001);河南省重大科技专项(创新示范专项)(201111110600);郑州市重大科技创新专项(2019CXZX0087)

作者简介:李建欣,女,副研究员,研究方向为蔬菜育种与栽培、菌渣利用。E-mail:lijianxin1007@163.com

通信作者:葛桂民,男,高级工程师,研究方向为菌渣利用及蔬菜栽培。E-mail:jianxin1007@163.com

环境,还造成资源浪费。因而,研究菌渣发酵作为有机肥还田,不仅可以促进农业废弃物资源化利用,还能改善土壤质量、增加土壤养分和提高作物品质及产量,具有重要的理论意义和实践意义。有研究表明,菌渣不仅可以缓解土壤板结,增加土壤有机质含量,还能增加土壤团聚体数目和提高土壤养分含量^[3]。温广蝉等^[4]研究发现,菌渣有利于土壤有机质的积累,可提高土壤有效磷含量和速效钾含量,对土壤养分和作物生长具有促进作用^[5]。张泽等^[6]研究发现,菌渣能够扩大土壤中微生物群落的规模,有利于土壤质量的改善,同时还增强了土壤的抗病能力。黄春^[7]研究发现,菌渣对土壤脲酶活性、过氧化氢酶活性、转化酶活性、磷酸酶活性以及作物产量都有显著的提升。近年来,我国设施蔬菜栽培面积大,经济效益可观。然而,由于设施内长期过量施用化肥,导致蔬菜品质下降、土壤板结、水质污染^[8-9]等问题层出不穷,而菌渣可培肥地力、改善土壤团粒结构^[10-11]、提高蔬菜品质和产量^[12-13]。因此,菌渣用于设施内蔬菜生产有着重要意义。目前,菌渣直接还田的研究较多,而发酵后制成商品有机肥在生产中的应用研究还鲜见报道,因此,笔者以商品菌渣有机肥为研究对象,以施用氮、磷、钾三元复合肥为CK,以黄瓜为试材,设置不同菌渣有机肥作为基肥,研究对土壤微生物、土壤酶活性及黄瓜品质和产量的影响,以期为商品菌渣有机肥在设施蔬菜栽培中的合理利用提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试黄瓜品种为传奇68,由郑州市郑研种苗科技有限公司提供。菌渣有机肥是以平菇菌渣为主要原料添加辅料和发酵菌发酵而成的有机肥,由鹤壁市禾盛生物科技有限公司生产,主要养分含量为:有机质含量(w,下同)56.38%(以烘干基计)、总氮含量(N)4.35%、磷含量(P₂O₅)2.87%、钾含量(K₂O)2.04%。化肥为复合肥(18-18-18),主要成分为硫酸钾(含K₂O 54%)、磷酸二胺(含N 18%、P₂O₅ 46%),由河南心连心化工集团有限公司生产。

1.2 方法

菌渣有机肥腐熟方法:平菇充分出菇后的菌棒,脱袋粉碎,添加适量发酵菌、红糖和尿素,控制含水量为50%~60%,混合均匀,堆置发酵,发酵过程中翻堆4~6次,使堆内温度不超过60℃。当菌

渣料色均匀转深、质地变轻、闻不到异味时为发酵成功。

黄瓜栽培试验于2020年3月15日至7月3日在郑州市蔬菜研究发展中心钢构塑料大棚内进行,0~20 cm土壤基本理化性质如下:土壤容重为1.40 g·cm⁻³,总孔隙度45.92%,pH值6.78,电导率1010 μS·cm⁻¹,有机质含量7.19 g·kg⁻¹,碱解氮含量74.63 mg·kg⁻¹,速效磷含量24.71 mg·kg⁻¹,速效钾含量102.52 mg·kg⁻¹。根据菌渣有机肥养分含量和多年栽培经验,试验设置4个施肥水平,CK为施用复合肥40 kg·667 m²;3次重复,随机区组设计,共15个小区,每个小区面积为12 m²。4个菌渣有机肥的施肥量分别为400、800、1200、1600 kg·667 m²。各处理具体施肥种类和用量见表1。定植前,将不同处理的有机肥和CK复合肥作为基肥一次性均匀撒入土壤,翻耕、整平、起垄。黄瓜采用垄上双行定植,垄宽120 cm,株距40 cm,行距60 cm,垄间距30 cm,每小区定植40株。常规田间管理,各小区追肥均为化肥,总追肥量为硫酸钾10 kg·667 m²、磷酸二胺15 kg·667 m²,自第一批果长达8~10 cm时开始追肥,每7~10 d追肥1次,分5~6次追完。

表1 试验处理

处理	基肥施用量 / (kg·667 m ²)	追肥施用量 / (kg·667 m ²)
CK	复合肥 40	硫酸钾 10 + 磷酸二胺 15
T1	菌渣有机肥 400	硫酸钾 10 + 磷酸二胺 15
T2	菌渣有机肥 800	硫酸钾 10 + 磷酸二胺 15
T3	菌渣有机肥 1200	硫酸钾 10 + 磷酸二胺 15
T4	菌渣有机肥 1600	硫酸钾 10 + 磷酸二胺 15

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤微生物数量和酶活性测定 在黄瓜结果中期(5月10日)采集0~20 cm土层土样,每小区随机取5个样点,混合成1个试样装袋带回试验室,过2 mm筛,置于4℃冰箱冷藏保存,进行土壤微生物计数、酶活性的测定。采用稀释平板法测定^[14]微生物数量,采用牛肉膏蛋白胨培养细菌,采用改良高氏一号培养基培养放线菌,采用孟加拉红-马丁培养基培养真菌。参照周礼恺^[15]的方法测定土壤酶活性。采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶活性,采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定脲酶活性,采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性。

1.3.2 黄瓜生长指标测定 黄瓜定植20 d后,每小区选择长势一致的黄瓜10株,测量并记录每株的株高、茎粗、节间长和叶面积,茎粗和节间长的测量

取植株顶端向下数第4节间处,采用便携式叶面积仪(YMJ-B)测量叶面积。

1.3.3 黄瓜产量指标测定 对每小区选定的10株黄瓜进行单株产量测定,自第1次采摘开始,记录单株产量和小区产量。 667 m^2 产量=小区株数 \times 667 m^2 \times 单株产量/小区面积。

1.3.4 黄瓜品质指标测定 于黄瓜结果中期取样,每小区随机选取样品2.5 kg,将样品送至河南省农业科学院农业质量标准与检测技术研究中心进行品质指标检测。采用手持糖度计(PAL-1)测定可溶性固形物含量,采用蒽酮比色法测定可溶性总糖含量,采用2,6-二氯酚酚滴定法测定抗坏血酸含量。

1.4 数据分析

采用DPS 17.10软件对试验数据进行处理,采用Tukey法进行多重比较和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同菌渣有机肥处理对土壤可培养微生物数量的影响

从表2可以看出,土壤中细菌数量占比最大,其次是放线菌,最少的是真菌。土壤中可培养细菌、放线菌和真菌的数量均随菌渣有机肥的施用量增加而增加。不同菌渣有机肥处理土壤中细菌和放线菌数量均显著高于CK,T2、T3和T4处理之间细菌数量差异不显著,但均显著高于T1;T2、T3处理放线菌数量均与T1、T4处理差异不显著,但T4显著高于T1;T3和T4处理土壤中真菌数量均显著高于CK,T1和T2处理土壤中真菌数量与CK差异不显著,4个处理间真菌数量差异不显著。T1、T2、T3和T4细菌数量分别比CK增加56.18%、98.35%、106.80%、112.70%;放线菌数量比CK增加44.59%、64.36%、76.52%、90.54%;真菌数量比CK增加12.77%、21.28%、25.53%、29.79%。随着菌渣有机肥施用量的增加,细菌数量增加幅度最大,其次是放线菌,真菌数量增加幅度最小。

表2 不同菌渣有机肥处理对土壤可培养微生物数量的影响
($\times 10^5\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)

处理	细菌	放线菌	真菌	微生物总数
CK	62.35 c	5.92 c	0.47 b	68.74 c
T1	97.38 b	8.56 b	0.53 ab	106.47 b
T2	123.67 a	9.73 ab	0.57 ab	133.97 ab
T3	128.94 a	10.45 ab	0.59 a	139.98 ab
T4	132.62 a	11.28 a	0.61 a	144.51 a

注:表中同列数字后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

2.2 不同菌渣有机肥处理对土壤酶活性的影响

由表3可知,随着菌渣有机肥施用量的增加,土壤过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性和脲酶活性逐渐增强,T3和T4处理的3种酶活性均显著高于CK,T1和T2处理与CK相比均未达到差异显著水平。与CK相比,T1、T2、T3、T4处理过氧化氢酶活性分别增加了22.98%、41.53%、63.51%、104.64%,蔗糖酶活性分别增加了24.74%、42.27%、97.94%、110.31%,脲酶活性分别增加了29.63%、33.86%、56.08%、88.89%。

表3 不同菌渣有机肥处理对土壤酶活性的影响

处理	过氧化氢酶活性/ ($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 20\text{ min}^{-1}$)	蔗糖酶活性/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$)	脲酶活性/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$)
CK	4.96 c	0.97 b	1.89 c
T1	6.10 bc	1.21 b	2.45 bc
T2	7.02 bc	1.38 b	2.53 bc
T3	8.11 ab	1.92 a	2.95 ab
T4	10.15 a	2.04 a	3.57 a

2.3 不同菌渣有机肥处理对黄瓜生长的影响

由表4可知,不同菌渣有机肥处理的黄瓜株高、茎粗、节间长和叶面积均高于CK。随着菌渣有机肥施肥量的增加,茎粗和叶面积均呈现增加的趋势,T2、T3和T4处理4个生长指标均与CK差异显著。其中,T3和T4综合表现较好,其株高分别比CK提高了13.55%、15.47%;茎粗分别比CK提高了17.65%、21.57%;节间长比CK提高了11.41%、10.51%;叶面积比CK提高了9.31%、11.20%。综合茎粗和叶面积大小,各处理的生长表现由好到差依次为T4>T3>T2>T1>CK。

表4 不同菌渣有机肥处理对黄瓜生长的影响

处理	株高/cm	茎粗/cm	节间长/cm	叶面积/cm ²
CK	110.21 b	0.51 c	13.23 c	1792.34 d
T1	115.34 ab	0.54 bc	13.91 bc	1815.41 c
T2	126.18 a	0.59 ab	14.62 ab	1956.33 b
T3	125.14 a	0.60 ab	14.74 a	1959.25 b
T4	127.26 a	0.62 a	14.62 ab	1993.17 a

2.4 不同菌渣有机肥处理对黄瓜果实品质的影响

由表5可知,T2、T3和T4处理黄瓜果实中可溶性固形物含量、可溶性总糖含量和维生素C含量均显著高于CK,但此三者之间的差异不显著。T1处理的3个指标与CK差异均不显著。随着菌渣有机肥施入量的增加,黄瓜果实中可溶性固形物含量和可溶性糖含量逐渐增高,到达一定水平后趋于平缓或不再增加,维生素C含量也呈现增高趋势,T3达到最高,T4略有下降。

表5 不同菌渣有机肥处理对黄瓜品质的影响

处理	w(可溶性固形物)/ %	w(可溶性总糖)/ %	w(维生素 C)/ (mg·100 g ⁻¹)
CK	3.82 b	1.82 b	17.02 b
T1	4.21 ab	1.90 b	17.53 ab
T2	4.52 a	2.16 a	19.31 a
T3	4.54 a	2.18 a	19.62 a
T4	4.61 a	2.19 a	19.53 a

2.5 不同菌渣有机肥处理对黄瓜产量的影响

由表6可知,随着菌渣有机肥施入量的增加,黄瓜单株结果数、单株产量和667 m²产量逐渐增加,达到一定水平时增产幅度趋于平缓。T2、T3和T4处理单株结果数和667 m²产量均显著高于CK, T4处理单株结果数和产量最高。T3和T4处理比CK增产18.87%、19.81%,比T1增产13.00%、13.90%,比T2增产4.56%、5.39%。因此,权衡施肥增加的支出和增产带来的收益,T3和T4处理的施肥量在生产上均可采纳。

表6 不同菌渣有机肥处理对黄瓜产量的影响

处理	单株结果数	单株产量/kg	667 m ² 产量/kg
CK	13.33 c	2.12 a	4 713.46 e
T1	14.00 bc	2.23 a	4 958.03 d
T2	15.00 ab	2.41 a	5 358.23 c
T3	15.33 ab	2.52 a	5 602.79 b
T4	15.73 a	2.54 a	5 647.26 a

3 讨论与结论

土壤微生物在土壤碳、氮、磷循环过程中起着重要作用^[6],是评价土壤质量的重要指标之一。细菌、真菌和放线菌是土壤微生物的主要组成部分,对土壤有机质分解和腐殖质形成起着重要作用^[17]。本研究结果表明,施入菌渣可提高土壤微生物数量,其原因可能是菌渣有机肥中含有大量的有机质^[1-2],能够为土壤微生物的生长和繁殖提供充足的碳源和氮源,从而提高土壤中微生物数量;另外,菌渣有机肥还可促进土壤团粒结构的形成、增加土壤孔隙度、降低土壤容重、调节土壤含水量和透气状况,优化土壤pH值和EC值,能够进一步促进土壤微生物的生长和繁殖^[1]。在本试验中,随着菌渣有机肥使用量的增加,土壤中细菌、放线菌和真菌的数量逐渐增加,其中,菌渣有机肥对土壤可培养细菌和放线菌数量的影响较大,对3种微生物数量增幅大小为细菌>放线菌>真菌,这与徐江兵等^[18]、滕青等^[19]、郭宏敏等^[20]的研究结果一致。

土壤中的酶主要来源于土壤微生物代谢、土壤

动植物残体分解、植物根系分泌等^[21],在土壤生态系统中起着关键作用,可催化土壤中的生物化学反应^[22]。本研究结果表明,施入菌渣可提高土壤酶活性,原因可能是菌渣有机肥中含有大量的纤维素、木质素及菌体蛋白^[1],降解后可提供微生物生命活动所需的碳、氮和营养元素,促进土壤微生物的生长繁殖,提高土壤中微生物的数量,从而增加土壤酶活性;菌渣有机肥可提高土壤肥力^[3],改善土壤通气状况,促进作物根系生长,使作物根际微生物数量增加,从而增强土壤酶活性。这与张泽等^[6]、黄春^[7]的研究结果一致。在本试验中,随着菌渣有机肥施用量的增加,过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性和脲酶活性逐渐增强,比CK的过氧化氢酶活性提高了22.98%~104.64%、蔗糖酶活性提高了24.74%~110.31%、脲酶活性提高了29.63%~88.89%。

土壤微生物和土壤酶是转化土壤肥力不可缺少的活性物质,在维持土壤生态系统的稳定性、土壤养分分解、抗逆性等方面占据主导地位,并控制着土壤生态系统功能的关键过程^[23-24]。长期施用菌渣有机肥对设施土壤肥力的影响尚需进一步研究。

菌渣可促进作物生长^[24],本研究结果表明,菌渣有机肥可有效促进黄瓜的生长发育,显著提高了黄瓜株高、茎粗和叶面积。根据茎粗和叶面积指标,其生长情况由好到差的顺序为T4>T3>T2>T1>CK。菌渣有机肥可显著提高黄瓜的可溶性固形物含量、可溶性糖含量、维生素C含量等决定品质和口感的化学物质含量,这与赵自超等^[12]、张洪勇等^[13]的研究结果一致。本试验中,667 m²施入800~1600 kg的菌渣有机肥均可显著改善黄瓜的品质和口感。

菌渣可提高作物产量^[12-13],有研究表明,在一定范围内,随着施肥量的增加,产量呈上升趋势;若再增加施肥量,产量会有不同程度的下降^[25]。与化肥相比,施入适量的有机肥能提高作物产量,但过量施入有机肥也会使产量下降^[26]。本试验结果表明,随菌渣有机肥施肥量的增加,黄瓜产量逐渐增加,达到一定水平时,增产缓慢甚至停滞,但并未下降,这与张国红^[25]、孙利萍等^[26]的研究结果不完全相同,可能是因为粪肥或菌渣没有充分腐熟,过量施入会使植株受损,从而导致减产,而本试验中充分腐熟的商品菌渣有机肥不存在使作物减产的情况。适宜用量的菌渣有机肥可充分提供作物生长发育所需的营养,并使产量达到最高,而超出的施肥量不会危害作物生长,但品质和产量也不会无限提高,而是达到一定水平时不再增加。

综上所述,施用菌渣有机肥可促进黄瓜生长发育,有效改善果实风味品质和营养品质,显著提高产量,其适宜的用量为 1200~1600 kg·667 m⁻²。

参考文献

- [1] 李用芳. 食用菌菌渣的再利用[J]. 生物学通报, 2001, 36(3): 44-45.
- [2] 张莹, 田龙, 徐敏慧, 等. 食用菌菌糠综合利用研究进展[J]. 微生物学通报, 2020, 47(11): 3658-3670.
- [3] 胡杨勇, 马嘉伟, 叶正钱, 等. 稻耳轮作制度下连续菌渣还田对土壤肥力性状的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 172-176.
- [4] 温广蝉, 叶正钱, 王旭东, 等. 菌渣还田对稻田土壤养分动态变化的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 82-86.
- [5] 马嘉伟, 黄其颖, 程礼泽, 等. 菌渣化肥配施对红壤养分动态变化及水稻生长的影响[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(1): 147-151.
- [6] 张泽, 谢放, 李建宏. 香菇菌渣对土壤微生态的影响[J]. 环境污染与防治, 2013, 35(4): 75-80.
- [7] 黄春. 成都平原稻麦轮作下菌渣还田对土壤酶活性的影响[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2010.
- [8] 史静, 张乃明, 包立. 我国设施农业土壤质量退化特征与调控研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(7): 787-794.
- [9] 陈天祥, 孙权, 顾欣, 等. 设施蔬菜连作障碍及调控措施研究进展[J]. 北方园艺, 2016(10): 193-197.
- [10] 栗方亮, 王煌平, 张青, 等. 菌渣对土壤性状和作物的影响及其再利用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(3): 100-106.
- [11] 李维. 食用菌菌糠的腐熟及腐熟物在土壤改良中的应用[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [12] 赵自超, 赵时锋, 张宏启, 等. 菌渣还田对设施瓜菜产量、品质和土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(19): 112-118.
- [13] 张洪勇, 魏龙雪, 张书良. 茶树菇菌渣对设施土壤肥力及番茄产量、品质的影响[J]. 食用菌, 2021, 43(1): 72-74.
- [14] 顾卫斌, 陈世昌. 农业微生物[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 120-134.
- [15] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 182-231.
- [16] 艾超. 长期施肥下根际碳氮转化与微生物多样性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [17] 孙瑞莲, 朱鲁生, 赵秉强, 等. 长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1907-1910.
- [18] 徐江兵, 林先贵, 王一明, 等. 施用茶树菇栽培废料对青菜土壤中微生物学特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(1): 131-136.
- [19] 滕青, 曾梦凤, 林慧凡, 等. 菌渣还田对生菜生长、土壤养分及酶活性的影响研究[J]. 中国农学通报, 2020, 36(6): 30-36.
- [20] 郭宏敏, 陈世昌, 徐明辉, 等. 施用菇渣对土壤微生物、土壤肥力及夏玉米产量的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(7): 61-64.
- [21] 李志萍, 吴福忠, 杨万勤, 等. 川西亚高山森林林窗不同时期土壤转化酶和脲酶活性的特征[J]. 生态学报, 2015, 35(12): 3919-3925.
- [22] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [23] 林先贵, 胡君利. 土壤微生物多样性的科学内涵及其生态服务功能[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 892-900.
- [24] 吴建峰, 林先贵. 土壤微生物在促进植物生长方面的作用[J]. 土壤, 2003(1): 18-21.
- [25] 张国红. 施肥水平对日光温室番茄生育和土壤环境的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [26] 孙利萍, 赵增寿, 高敏丽, 等. 不同有机肥种类及施用量对番茄产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(6): 30-32.