

生物酶尾料对温室茄子产量 与土壤酶活性的影响

白斌¹, 李城德², 魏荐邴¹, 柯琴¹, 梁婧¹

(1. 白银市平川区农业技术推广中心 甘肃白银 730913; 2. 甘肃省农业技术推广总站 兰州 730020)

摘要:以长茄一号为试材,在日光温室应用垄作栽培方法,以基肥仅施用氮磷钾复合肥为对照(CK),研究了减施30%基肥条件下,500 kg·667 m²(T1)、1000 kg·667 m²(T2)、1500 kg·667 m²(T3)3个不同生物酶尾料用量对茄子生育期、果实性状、产量以及土壤酶活性的影响,以期期为日光温室茄子栽培合理应用生物酶尾料提供参考依据。结果表明,施用生物酶尾料后,茄子生育进程加快,采收期分别延长4.3 d、15.6 d、15.6 d,茄子产量比对照增加6.74%~13.14%,单果质量比对照提高5.54%~10.13%,叶绿素相对含量比对照提高12.40%~21.05%;土壤纤维素酶活性、蛋白酶活性、木聚糖酶活性、植酸酶活性分别比对照提高1.97%~45.40%、6.30%~17.61%、20.00%~41.22%、10.16%~67.20%。因此,施用生物酶尾料对茄子生长、改善茄子果实性状,提高茄子产量、增强土壤酶活性有较大作用,生物酶尾料的适宜用量为1000~1500 kg·667 m²。

关键词:温室茄子;生物酶尾料;茄子产量;土壤酶活性

中图分类号:S641.1 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2023)05-091-05

Effect of biological enzymes residue on eggplants yield and soil enzymes activity in greenhouse

BAI Bin¹, LI Chengde², WEI Jianli¹, KE Qin¹, LIANG Jing¹

(1. Pingchuan District Agro-technology Extension Center, Baiyin 730913, Gansu, China; 2. Gansu Agro-technology Extension Station, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: Reducing 30% compound fertilizer and using 100% compound fertilizer before sowing as control (CK), the effects of different biological enzymes residue treatments of 500 kg·667 m²(T1), 1000 kg·667 m²(T2), 1500 kg·667 m²(T3) on eggplants growth stage, fruit traits, yield and soil enzymes activity were explored with the experimental material of "Long Eggplant No.1" by the cultivation of ridge tillage in greenhouse, in order to provide the appropriate dosage of biological enzymes residue. The results showed that the addition of biological enzymes residue could prolong the harvest time of eggplants by 4.3 d, 15.6 d, 15.6 d in comparison with the CK. Compared with the control, addition of biological enzymes residue in soil increased eggplants yield by 6.74%-13.14%, single eggplant weight by 5.54%-10.13%, and relative chlorophyll content by 12.40%-21.05%, respectively. Applying biological enzyme residue in soil increased the activity of soil cellulase, protease, xylanase and phytase by 1.97%-45.40%, 6.30%-17.61%, 20.00%-41.22%, 10.16%-67.20%, respectively. In summary, biological enzymes played an important role in improving the growth of eggplant, eggplant traits, eggplant yield and soil enzymes activity. The appropriate dosage of biological enzymes residue was 1000-1500 kg·667 m².

Key words: Eggplants in greenhouse; Biological enzymes residue; Eggplants yield; Soil enzymes activity

根据2020年联合国粮食及农业组织(FAO)统计,全球茄子(*Solanum melongena* L.)年种植面积为184.6万hm²,我国茄子年种植面积为77.9万hm²,茄子产量达到3694.3万t,占全球茄子总产量的65.62%^[1]。由于效益高、见效快,生产者追求高产

大量投入肥料,过量施用化肥会造成严重的环境污染,影响土壤微生物丰度和群落结构^[2-3],导致土壤酶活性降低、土壤质量下降、土壤养分比例失调等^[4]。有机肥既含有作物生长所需的多种矿质养分,又富含许多活性物质和代谢产物,如腐殖酸、氨

收稿日期:2022-06-22;修回日期:2023-03-29

基金项目:甘肃省化肥减量增效项目-甘农财发2020(23)

作者简介:白斌,高级农艺师,主要从事农业技术与推广工作。E-mail:pcbabin@163.com

通信作者:李城德,研究员,主要从事农业技术与推广工作。E-mail:1736502286@qq.com

基酸和有益微生物等,不仅能培肥土壤地力,还能促进作物生长发育,甚至提升作物品质和产量^[5-7]。生物酶尾料作为一种新型、卫生的有机肥料,它是生物酶制剂生产过程中残留的菌渣,含有生产中残留的木霉菌、酵母菌、枯草芽孢杆菌等对土壤有益菌类以及植物生长必需的氮、磷、钾和其他中、微量元素。但截至目前还没有生物酶尾料应用于农业生产的研究报道,探讨生物酶尾料对茄子的应用效果对生物酶尾料在农业生产中推广应用有重要意义。李建欣等^[8]研究发现,基肥仅施用菌渣有机肥与基肥仅施用氮磷钾三元复合肥相比,可提高黄瓜产量与土壤酶活性。苏天明等^[9]研究表明,50%复合肥配施50%甘蔗滤泥生物有机肥的茄子农艺性状较佳、产量较高。冯慧翎等^[10]将金针菇菌渣与土壤混施对于川西北高寒沙化草地植被恢复、土壤理化性质改善和土壤酶活性提高具有显著效果,且随着菌渣施用量的增加作用效果增强。土壤酶作为土壤的重要指标,其活性高低直接影响着土壤物质能量的循环^[11],土壤酶活性常被作为有机肥施用对土壤质量影响的参考指标。笔者以温室茄子为试材,以基肥单施复合肥为对照,研究基肥减施30%,不同用量生物酶尾料对茄子产量与土壤酶活性的影响,以期生物酶尾料在温室蔬菜栽培中合理应用提供理论依据与技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2020—2021年在甘肃省白银市平川区水泉镇陡城村进行,该村是甘肃省白银市反季节蔬菜种植示范园区。在试验开始前,对所选定的日光温室土壤进行取样分析,土壤的基本理化性质为容质量(ρ) $1.25\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、pH值8.3、有机质含量(w ,后同) $21.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮含量 $0.92\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮含量 $68\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有效磷含量 $45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾含量 $198.32\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验地前茬作物为辣椒。采用垄作栽培,垄宽90 cm、垄高20 cm、行距70 cm、株距40 cm,保苗2780株 $\cdot 667\text{ m}^2$ 。定植嫁接苗,砧木选用托鲁巴姆。于2020年9月1日育苗,10月上旬定植。

1.2 材料

供试肥料:生物酶尾料由甘肃白银赛诺生物有限公司提供。其酸碱性及成分含量为:pH值5.4、有机质含量74.3%(以烘干基计,下同)、全氮含量3.24%、全磷含量0.59%、全钾含量0.44%、全钙含

量0.27%、全镁含量0.12%、全硫含量0.26%、全铁含量 $770\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全铜含量 $8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全锰含量 $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全锌含量 $70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。氮磷钾三元复合肥(含N 18%、 P_2O_5 18%、 K_2O 18%)由史丹利农业集团股份有限公司生产,尿素(含N 46%)由甘肃刘化有限公司生产,硫酸钾(含 K_2O 52%)由国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产。

供试茄子品种为长茄一号,由吉林省长春市蔬菜研究所选育。

1.3 试验方法

试验以基肥施用三元复合肥(含N 18%、 P_2O_5 18%、 K_2O 18%) $70\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 作为对照(CK),基肥减施30%三元复合肥,即基肥仅施用 $49\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 三元复合肥,设置 $500\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ (T1)、 $1000\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ (T2)、 $1500\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ (T3)3个生物酶尾料用量处理,随机区组设计,3次重复,小区面积为 18.72 m^2 。氮磷钾三元复合肥、生物酶尾料在茄子定植前结合耕翻施入土壤,并起垄。尿素[CO(NH_2) $_2$]、硫酸钾(K_2SO_4)作为追肥,应用追肥枪离根25 cm穴施后灌水,氮、磷、钾施肥量参照当地常规施肥量(N $25\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 、 P_2O_5 $12.6\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 、 K_2O $18\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$),病虫害防治与常规相同。

1.4 项目测定

1.4.1 果实性状测定 每小区取10个茄果,茄子纵径应用精度为1 mm直尺测量,横径用精度为0.02 mm的游标卡尺测量,并用电子秤称量茄子单果质量,于茄子始收期、盛果期与终收期连续测试3次,计算平均值。

1.4.2 叶绿素相对含量测定 采用SPAD-502叶绿素测定仪测定。在晴天每处理选取叶龄相同的10片叶,测定叶片中部,避开叶脉。于茄子始收期、盛果期与终收期连续测试3次,计算平均值。

1.4.3 产量测定 于每次采摘时对茄子计数并称质量,计算各处理的产量。

1.4.4 土壤酶活性测定 于茄子始收期每小区随机取5个样点,采集茄子根际附近土样,混合后装入无菌塑料袋带入化验室,过1 mm筛,在冰箱中于4℃条件下冷藏。土壤纤维素酶活性测定采用葡萄糖还原比色法^[12],用反应72 h生成的葡糖含量表示;蛋白酶活性测定采用茚三酮比色法^[12],用反应24 h生成的甘氨酸含量表示;木聚糖酶活性测定采用DNS法^[12],用反应120 h生成的葡萄糖含量表示;植酸酶活性采用钼锑抗比色法^[13]测定,用120 h分解植酸钠的量表示。

1.5 数据分析

应用 EXCEL 软件进行数据整理分析,用 DPS 2000 统计软件进行方差分析与相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同生物酶尾料用量对温室茄子生育期的影响

由表 1 可知,CK 始花期-始果期、始果期-始收期天数显著高于 T2、T3,T1 与 CK 始果期-始收期长度没有显著差异。T2、T3 始收期-终收期、全生育期天数显著高于 CK 与 T1,T1、T2、T3 采收期分别比对照延长 4.3 d、15.6 d、15.6 d。随着生物酶用量的增加,茄子生长进程加快,采收时间延长。

表 1 不同生物酶尾料用量对温室茄子生育期的影响

处理	定植期	终收期	始花期-始果期/ d	始果期-始收期/ d	始收期-终收期/ d	全生育期/d
CK	2020-10-12	2021-06-12	13.7 a	10.7 a	169.7 c	241.7 b
T1	2020-10-12	2021-06-16	11.0 b	9.7 ab	174.0 b	245.7 b
T2	2020-10-12	2021-06-27	10.0 b	8.3 b	185.3 a	254.3 a
T3	2020-10-12	2021-06-27	10.0 b	8.3 b	185.3 a	254.7 a

注:同列数字后小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

2.2 不同生物酶尾料用量对温室茄子果实性状、叶绿素相对含量及产量的影响

由表 2 可知,随着生物酶尾料用量的增加,茄子纵径、横径、单果质量、叶片叶绿素相对含量与产量有逐渐增加的趋势。T3 茄子纵径、横径显著高于 CK,T1、T2 纵径与 CK 间差异不显著。T2、T3 单果质量、产量显著高于 CK,而 T1 与 CK 差异不显著。T2、T3 叶片叶绿素相对含量显著高于 CK 与处理 T1。T1、T2、T3 单果质量分别比 CK 增加 5.54%、9.23%、10.13%。T1、T2、T3 叶片叶绿素相对含量分别比 CK 提高 12.40%、20.36%、21.05%。T1、T2、T3 茄子产量分别比对照增加 6.74%、7.99%、13.14%。T2、T3 处理显著提高了叶片叶绿素相对含量,增加茄子产量,而且 T3 显著改善了茄

表 2 不同生物酶尾料用量对温室茄子果实性状、叶片叶绿素相对含量及产量的影响

处理	纵径/ cm	横径/ cm	单果质量/ g	叶片叶绿素 相对含量/%	茄子产量/ (kg·667 m ²)
CK	26.7 b	4.22 b	178.7 c	43.23 c	6 653.26 b
T1	26.9 b	4.28 ab	188.6 c	48.59 b	7 101.82 ab
T2	28.3 ab	4.39 ab	195.2 ab	52.03 a	7 184.74 a
T3	28.7 a	4.39 a	196.8 a	52.33 a	7 527.36 a

子果实性状。

2.3 不同生物酶尾料用量对土壤酶活性的影响

由表 3 可知,随着生物酶尾料用量的增加,土壤纤维素酶活性、蛋白酶活性、木聚糖酶活性、植酸酶活性呈逐渐增强趋势。T2、T3 土壤纤维素酶活性、蛋白酶活性、木聚糖酶活性均显著高于 CK,T1 与 CK 相比未达到显著差异水平。T3 植酸酶活性显著高于 CK 与 T1,T1、T2 与 CK 差异未达到显著水平。T1、T2、T3 土壤纤维素酶活性分别比 CK 提高 1.97%、38.16%、45.40%。T1、T2、T3 处理土壤蛋白酶活性分别比 CK 提高 6.30%、9.97%、17.61%。T1、T2、T3 处理土壤木聚糖酶活性分别比 CK 提高 20.00%、31.02%、41.22%。T1、T2、T3 处理土壤植酸酶活性分别比 CK 提高 10.16%、40.00%、67.20%。T2、T3 处理能够明显提高土壤酶活性。

表 3 不同生物酶尾料用量对土壤酶活性的影响

处理	纤维素酶活性/ (mg·10 g ⁻¹ · 72 h ⁻¹)	蛋白酶活性/ (μg·g ⁻¹ · 24 h ⁻¹)	木聚糖酶活性/ (mg·5 g ⁻¹ · 120 h ⁻¹)	植酸酶活性/ (μmol·5 g ⁻¹ · 24 h ⁻¹)
CK	1.52 b	1 923.61 c	2.45 b	902.46 b
T1	1.55 b	2 044.44 bc	2.94 ab	994.18 b
T2	2.10 a	2 115.41 ab	3.21 a	1 263.43 ab
T3	2.21 a	2 262.34 a	3.46 a	1 508.91 a

2.4 茄子产量性状与土壤酶活性的相关性

由表 4 可知,茄子产量与土壤蛋白酶活性及土壤植酸酶活性呈显著或极显著正相关。单果质量与叶片叶绿素相对含量、土壤纤维素酶活性、土壤蛋白酶活性、土壤木聚糖酶活性呈显著或极显著正相关。叶片叶绿素相对含量与土壤蛋白酶活性、土壤木聚糖酶活性呈显著或极显著正相关。

表 4 茄子性状指标与土壤酶活性相关关系

指标	茄子 产量	单果 质量	叶片叶 绿素相 对含量	土壤纤 维素酶 活性	土壤蛋 白酶活 性	土壤木 聚糖酶 活性
单果质量	0.19					
叶片叶绿素 相对含量	0.44	0.63*				
土壤纤维素酶 活性	-0.27	0.75**	0.52			
土壤蛋白酶活性	0.68*	0.63*	0.76**	0.32		
土壤木聚糖酶 活性	0.38	0.78**	0.63*	0.52	0.54	
土壤植酸酶活性	0.83**	0.26	0.36	-0.23	0.67*	0.41

注:*表示在 0.05 水平差异显著,**表示在 0.01 水平差异极显著。

3 讨论与结论

笔者的研究表明,施用生物酶尾料后可以缩短始花期-始果期、始果期-始收期天数,延长始收期-终收期天数,加快茄子结果的生育进程,并能够延长茄子采收期,这与余高等^[14]的研究结论相似。可能是生物酶尾料呈酸性,将其施入温室土壤后能够调节土壤 pH,增加土壤有机质含量、提高土壤孔隙度、降低土壤容质量^[15],减轻温室土壤常受人为干扰导致土壤容质量增加的不良影响^[16],土壤生化活动可能更加活跃,改善了土壤水热条件^[17-18],因而茄子生长发育进程加快,延长茄子采收期。其次,化肥配施有机肥能显著提高农作物的产量^[19-20]。笔者的研究表明,减施基肥,配合施用生物酶尾料,随生物酶尾料用量的增加,温室茄子产量逐渐提高,这与李亚莉等^[19]研究结果类似。配施有机肥能够提高茄子产量的原因是有机肥对土壤有培肥作用(土壤理化性质的改良),有机肥中含有磷、钾及中微量元素,微生物活动调节氮的供应,使其更符合作物的需求规律^[21-24]。

土壤酶主要由土壤微生物分泌,在土壤中催化多种生化反应。首先,在笔者的研究中,施用生物酶尾料提高了土壤纤维素酶与木聚糖酶活性,与前人^[25]研究结果类似。这一方面可能是由于有机肥施入土壤中,会带来丰富的微生物和活性养分,增加了酶的底物,促进了酶活反应;另一方面也可能是由于有机肥增加了土壤微生物的酶合成,促进了由黏土和腐殖质颗粒固定的或被包裹在团聚体中的酶释放^[26]。其次,笔者的研究随着生物酶尾料用量的增加,土壤蛋白酶活性显著增强,与桑文等^[27]的研究结果类似。这可能是由于蛋白酶参与土壤氨基酸及蛋白质的转化,而生物酶尾料中营养物质为土壤酶提供更丰富的酶促基质,发挥底物诱导作用^[28],从而使土壤蛋白酶活性明显增强。土壤蛋白酶活性与叶片叶绿素相对含量呈正相关,说明土壤蛋白酶可促进氮素养分释放,被茄子根系充分吸收,叶片相对叶绿素含量随之提高。茄子产量与土壤蛋白酶、土壤植酸酶活性呈正相关,说明土壤酶活性提高,土壤质量得到进一步改善,有利于茄子生长发育,从而使茄子产量有效提高。再次,土壤植酸酶能够将土壤中的有机磷转化为能够被植物吸收利用的无机磷酸盐,在土壤中磷素转化代谢中起重要作用^[12]。管冠^[29]研究表明,施用植酸钙对土壤植酸酶活性有明显促进作用。笔者的研究中随着生

物酶尾料用量的增加,土壤植酸酶活性逐渐增强。可能由于生物酶尾料施入土壤后,土壤中底物增加,诱导分泌植酸酶的菌类增加,从而使土壤植酸酶活性显著增强。

我国蔬菜已经全面进入规模化种植阶段,设施蔬菜为满足居民的消费需求、促进农民增收和农业增效作出重大贡献^[30]。然而施肥是影响设施蔬菜产量和品质的主要因素之一,施肥不足会极大限制蔬菜产量,但过量施肥反而会降低肥料利用率和蔬菜品质,影响蔬菜产业经济效益^[31]。随着人们生活水平的提高,蔬菜品质受到人们普遍关注。日光温室蔬菜投入成本高,更应该兼顾产量与品质,这也是我国农业高质量发展的必然要求。已有研究结果表明,化肥配施有机肥能够提高蔬菜品质^[8-9,32]。笔者的研究主要探讨了生物酶尾料对温室茄子产量与土壤酶活性的影响,未涉及生物酶尾料对茄子品质的影响,今后应加强生物酶尾料施用对蔬菜品质(硝酸盐含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、微生物 C 含量等)的影响研究,通过化肥配施生物酶尾料更好地协调蔬菜生长、产量与品质形成。

综上所述,生物酶尾料作为一种新型有机肥料,在温室土壤中施用生物酶尾料能够明显促进茄子生长、改善果实性状、提高茄子产量,增强土壤纤维素酶、蛋白酶、木聚糖酶与植酸酶的活性。生物酶尾料适宜用量为 1000~1500 kg·667 m⁻²。

参考文献

- [1] 联合国粮食与农业组织统计网. 全世界茄子产量统计数据. (2021-03-11) [2022-06-22]. <https://www.fao.org/faostat/zh/#data/QCL>.
- [2] DHADLI H S, BRAR B S, BLACK T A. N₂O emissions in a long-term soil fertility experiment under maize-wheat cropping system in Northern India[J]. *Geoderma Regional*, 2016, 7(2): 102-109.
- [3] JENSEN L S, SCHJOERRING J K, VAN DER HOKE K W, et al. Benefits of nitrogen for food, fibre and industrial production [C]//SUTTON M A, HOWARD C M, ERISMAN J W, et al. The european nitrogen assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 2011: 32-61.
- [4] LARKIN R P, GRIFFIN T S. Control of soilborne potato diseases using *Brassica* green manures[J]. *Crop Protection*, 2007, 26(7): 1067-1077.
- [5] 金慧. 不同来源有机肥及其配施对辣椒生长发育及品质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2007.
- [6] YANG Z C, ZHAO N, HUANG F, et al. Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain[J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 146(S1): 47-52.

- [7] YE L, ZHAO X, BAO E C, et al. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1):177.
- [8] 李建欣,葛桂民,申爱民.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[J].*中国瓜菜*,2022,35(8):57-61.
- [9] 苏天明,何江萍,曾成城,等.甘蔗滤泥生物有机肥对茄子的施用效果[J].*南方农业学报*,2019,50(1):53-58.
- [10] 冯慧翎,胡玉福,舒向阳,等.金针菇菌渣对川西北高寒沙地植被及土壤酶活性的影响[J].*水土保持学报*,2016,30(5):161-165.
- [11] 钟传青,黄为一.不同种类解磷微生物的溶磷效果及其磷酸酶活性的变化[J].*土壤学报*,2005,42(2):286-294.
- [12] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [13] 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.
- [14] 余高,陈芬,谢英荷,等.化肥减施、有机肥配施对辣椒产量及品质的影响[J].*北方园艺*,2020(4):47-53.
- [15] 李用芳.食用菌菌渣的再利用[J].*生物学通报*,2001,36(3):44-45.
- [16] 耿士均,刘刊,商海燕,等.园艺作物连作障碍的研究进展[J].*北方园艺*,2012(7):190-195.
- [17] PALM C, BLANCO-CANQUI H, DECLERCK F, et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 187(S1):87-105.
- [18] KUANG E J, CHI F Q, JENG A S, et al. A comparison of different methods of decomposing maize straw in China[J]. *Acta Agricultura Scandinavica Section B- Soil and Plant Science*, 2014, 63(2):186-194.
- [19] 李亚莉,哈丽哈什·依巴提,庾金理,等.化肥配施有机肥提高玉米产量、氮素吸收量和籽粒锌含量[J].*新疆农业科学*,2022,59(5):1077-1083.
- [20] 梁改梅,李娜娜,黄学芳,等.黄土旱塬区玉米产量最优的有机肥与化肥配施组合研究[J].*中国土壤与肥料*,2022(3):29-38.
- [21] 孟琳,张小莉,蒋小芳,等.有机肥料氮替代部分化肥氮对稻谷产量的影响及替代率[J].*中国农业科学*,2009,42(2):532-542.
- [22] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等.长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J].*中国农业科学*,2009,42(2):543-551.
- [23] 张娟,沈其荣,冉炜,等.施用预处理秸秆对土壤供氮特征及菠菜产量和品质的影响[J].*土壤*,2004,36(1):37-42.
- [24] YADAV R L, DWIVEDI B S, PRASAD K, et al. Yield trends, and changes in soil organic-C and available NPK in a long-term rice-wheat system under integrated use of manures and fertilizers[J]. *Field Crops Research*, 2000, 68(3):219-246.
- [25] 李其胜,赵贺,汪志鹏,等.有机肥替代部分化肥对稻麦轮作土壤养分利用和酶活性的影响[J].*土壤通报*,2020,51(4):912-919.
- [26] TRASAR-CEPEDA C, LEIRÓS M C, GIL-SOTRES F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9):2146-2155.
- [27] 桑文,赵亚光,张雾峰,等.化肥减量配施有机液体肥对加工番茄生长及土壤酶活性的影响[J].*中国土壤与肥料*,2021(2):53-60.
- [28] EIVAZI F, BAYAN M R, SCHMIDT K. Select soil enzyme activities in the historic sanborn field as affected by long-term cropping systems[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003, 34(15-16):2259-2275.
- [29] 管冠.施肥模式对稻麦产量、养分吸收及土壤生物学性状的影响研究[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [30] 王娟娟.我国蔬菜施肥现状调查研究[J].*中国农技推广*,2016,32(6):11-13.
- [31] 董畔,张成军,彭正萍,等.京郊设施黄瓜氮素施用量的优化运筹研究[J].*植物营养与肥料学报*,2016,22(6):1628-1635.
- [32] 万连杰,田洋,何满,等.不同有机(类)肥料替代化肥对椴柑生长发育与产量品质的影响[J].*中国土壤与肥料*,2022(8):172-183.