

邓 晓,陈 森,武春媛,等. 不同施肥模式对辣椒—冬瓜轮作菜地土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(17):113–116.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.17.028

不同施肥模式对辣椒—冬瓜轮作菜地土壤酶活性的影响

邓 晓^{1,2}, 陈 森^{1,2}, 武春媛^{1,2}, 李勤奋^{1,2}

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所,海南海口 571101; 2. 农业部儋州农业环境科学观测实验站,海南儋州 571737)

摘要:为了获得维持菜地土壤肥力的高效施肥模式,采用大田试验研究了不同施肥模式对辣椒—冬瓜轮作菜地土壤酶活性的影响。试验设置不施肥(CK)、单施化肥(T₁)、单施有机肥(T₂)、施化肥+秸秆还田(T₃)、施化肥+有机肥(T₄)、施75%化肥+有机肥(T₅)、施50%化肥+有机肥(T₆)7个处理。结果表明,与CK和T₁相比,化肥有机肥配施和单施有机肥均能提高土壤脲酶、硝酸还原酶、过氧化氢酶和酸性转化酶的活性。其中T₄、T₅的土壤脲酶和T₂、T₄、T₅、T₆的土壤过氧化氢酶活性均显著高于CK($P < 0.05$);T₂的土壤硝酸还原酶,T₃、T₅的土壤酸性转化酶活性均极显著高于CK($P < 0.01$);而T₁的土壤脲酶、硝酸还原酶、酸性转化酶活性显著低于CK。T₂、T₃、T₄、T₅、T₆的土壤脲酶、硝酸还原酶、酸性转化酶活性和T₅的土壤过氧化氢酶活性均显著高于T₁处理;T₂、T₄的土壤酸性磷酸酶活性显著低于CK、T₁处理。综合5种不同土壤酶的活性来看,T₅提高土壤酶活性的效果最好,是维持菜地土壤肥力的一种高效施肥模式。

关键词:施肥模式;辣椒—冬瓜轮作;菜地;土壤酶活

中图分类号: S154.2;S344.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2018)17–0113–04

土壤酶是土壤微生物、动植物活体分泌和动植物残体分解释放的一种具有生物催化能力的活性物质,是土壤组分中

收稿日期:2017–05–10

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:2016hzs1J006);海南省自然科学基金(编号:20164170);中国热带农业科学院院本级基本科研业务费专项(编号:1630042016004)。
作者简介:邓 晓(1976—),女,湖南常宁人,博士,副研究员,主要从事产地环境与土壤保育的研究。Tel:(0898)66969272;E-mail:dx0928@foxmail.com。

通信作者:李勤奋,博士,研究员,主要从事生态农业与废弃物资源化利用的研究。Tel:(0898)66969218;E-mail:qinfenli2005@163.com。

最活跃的有机成分^[1]。土壤中一系列生理生化反应都需要酶的参与,其活性与土壤环境质量、物质循环、能量流动等密切相关。研究表明,与其他土壤指标相比,土壤酶活性对施肥管理、土地利用方式变化、种植制度变化的响应更快^[2],不仅能表征土壤养分转化能力的强弱和土壤综合肥力,也能作为衡量土壤生态系统土壤质量变化的预警和敏感指标^[3]。通过土壤酶活性来评价不同农艺措施对土壤肥力和健康的影响已成为近几年研究的热点^[4–7]。海南属于我国南方酸性土壤区,土壤贫瘠,不同施肥模式对蔬菜产量、品质、菜地养分平衡的影响研究较少。关于化肥减施、有机无机肥配施等不同施肥模式对海南露地蔬菜地土壤微生物及酶活性影响的研究鲜有报道。因此,本试验针对以上情况,以海南露地蔬菜辣

[10]姚静远,李东升,郭琳,等. 植物叶表气孔日变化规律与叶厚参数的相关性初探[J]. 浙江农业学报,2015,27(1):44–48.

[11]Ramalho J C, Rodrigues A P, Semedo J N, et al. Sustained photosynthetic performance of *Coffea* spp. under long-term enhanced [CO₂][J]. PLoS One,2013,8(12):e82712

[12]杨惠敏,王根轩. 干旱和CO₂浓度升高对干旱区春小麦气孔密度及分布的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(3):312–316.

[13]杨惠敏,张晓艳,王根轩. 植物水通道的生理生态特性及其参与气孔运动的研究进展[J]. 植物学通报,2005,22(3):276–283.

[14]蒋跃林,张庆国,张仕定,等. 小麦光合特性、气孔导度和蒸腾速率对大气CO₂浓度升高的响应[J]. 安徽农业大学学报,2005,32(2):169–173.

[15]郑凤英,彭少麟,赵平. 两种山黄麻属植物在近一世纪里气孔密度和潜在水分利用率的变化[J]. 植物生态学报,2001,25(4):405–409.

[16]Tans P. Trends in atmospheric carbon dioxide. earth system research laboratory (ESRL)[EB/OL]. [2017–03–05]. [http://www.](http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/trends)

[cmdl.noaa.gov/ccgg/trends](http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/trends).

[17]Doheny–Adams T, Hunt L, Franks P J, et al. Genetic manipulation of stomatal density influences stomatal size, plant growth and tolerance to restricted water supply across a growth carbon dioxide gradient[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London,2012,367(1588):547–555.

[18]Tanaka Y, Sugano S S, Shimada T, et al. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in *Arabidopsis*[J]. New Phytologist,2013,198(3):757–764.

[19]陈倩倩,范阳阳,郝影宾,等. 不同土壤水分含量对玉米气孔发育过程和蒸腾耗水量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):75–79,95.

[20]Thomas P W, Quick W P. Systemic irradiance signalling in tobacco[J]. New Phytologist,2004,161(1):193–198.

[21]Ferris R, Taylor G. Stomatal characteristics of four native herbs following exposure to elevated CO₂[J]. Annals of Botany,1994,73(4):447–453.

椒—冬瓜轮作系统为研究对象,探讨不同施肥模式对菜地土壤酶活的影响,以期获得维持菜地土壤肥力的最佳模式,为海南省露地蔬菜最佳施肥措施的制定和土壤地力的提升提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验地点位于海南省文昌市中国热带农业科学院环境与

植物保护研究所试验基地(19.32°N,110.45°E)。土壤质地为沙壤土,土壤类型为砖红壤,肥力水平较低,土壤基本理化性质见表1。试验地常年降水量1721.6 mm,雨季主要集中在5—10月,降水量占全年的79%;年均温度23.9℃,积温为8474.3℃,属热带海洋季风气候;极端天气通常为夏季暴雨和春季干旱。供试辣椒品种为湘辣十七号,湖南湘研种业有限公司生产;供试冬瓜品种为“改良白粉毛节瓜”,海南绿禾丰种子种苗有限公司生产。

表1 供试土壤基本理化性质

土壤类型	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
砖红壤	5.32	9.51	0.30	0.03	0.90	1.60	35.62

1.2 试验设计

施肥模式设置不施肥(CK)、单施化肥(T₁)、单施有机肥(T₂)、施化肥+秸秆还田(T₃)、施化肥+有机肥(T₄)、施75%化肥+有机肥(T₅)和施50%化肥+有机肥(T₆)共7个处理。试验采用随机区组设计,每个处理3次重复,共21个试验小区。试验小区为平地,每个小区面积50 m²(长10 m,宽5 m)。监测地块四周设置10 m保护行,监测小区之间、小区与保护行之间均以田埂分隔,田埂宽度24 cm。田埂地面以下部分深60 cm,地面以上部分为10 cm。田埂采用砖混结构,水泥砂浆抹面。试验小区种植制度为南方湿润平原区露地蔬菜轮作模式。试验于2015年开始,供试作物为辣椒—冬

瓜,辣椒季为2015年10月至2016年3月,冬瓜季为2016年4月至2016年8月。辣椒种植密度为45 cm×50 cm单株,每畦栽2行,每个小区起垄4个,垄高20~25 cm,垄宽90 cm,沟宽30 cm;冬瓜采用棚架栽培,种植密度为45 cm×130 cm。每个小区种植4列。辣椒种植季各试验小区施肥量见表2,冬瓜种植季不施基肥,除CK和T₂这2个处理不追施复合肥外,T₁、T₃和T₄为3个处理均追施复合肥2次,2次共追施0.15 kg/m²。此外,T₅和T₆2个处理2次追施复合肥分别为0.113、0.075 kg/m²。底肥全部采用条施,追肥采用穴施。除施肥量外,各小区其他管理模式相同。灌溉方式为滴灌。

表2 试验施肥处理

处理	总施肥量(kg/hm ²)			基肥量(kg/hm ²)				追肥量(kg/hm ²)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥	秸秆还田	复合肥	钙镁磷肥	复合肥
CK	0	0	0	0	0	0	0	0
T ₁	315.25	274.21	315.25	0	0	1 250	450	1 500.8
T ₂	224.10	113.40	226.80	30 000	0	0	0	0
T ₃	323.89	281.05	345.31	0	1 800	1 250	450	1 500.8
T ₄	539.35	387.61	542.05	30 000	0	1 250	450	1 500.8
T ₅	460.74	325.26	463.44	30 000	0	1 000	338	1 130.6
T ₆	382.76	247.35	385.46	30 000	0	834	0	750.4

注:化肥为三元复合肥(基肥含N、P₂O₅、K₂O分别为15%、15%、15%;追肥含N、P₂O₅、K₂O分别为15%、5%、15%)和钙镁磷肥(12%);有机肥为商品有机肥(主要成分为羊粪);秸秆为玉米秸秆。

1.3 土壤样品采集与分析方法

土壤样品于2016年8月9日(冬瓜最后1次采收期)按小区进行采集,每个小区均通过五点采样法取样,用经过清洁处理的不锈钢管取土器垂直采集菜地植株周围0~20 cm深的耕作层土壤,各取样点取样量大体一致,混匀后收集。采集的土样保存于塑料封口袋中,于当天运回实验室,过2 mm筛后于阴凉处风干备用。土样风干后过40目筛,分析测定土壤脲酶、硝酸还原酶、酸性转化酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶的活性。各种土壤酶活指标均采用试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司)分析测定。

1.4 数据处理方法

试验数据采用Excel 2010进行统计分析和图表制作,均值多重比较采用Duncan's法。

2 结果与分析

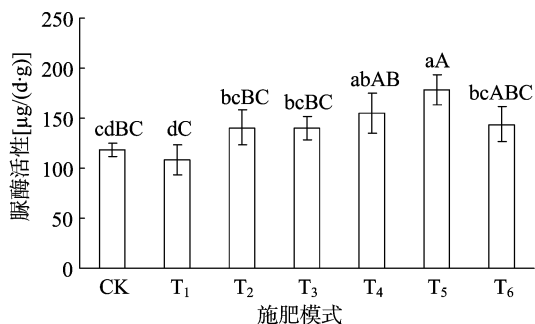
2.1 不同施肥模式对土壤脲酶活性的影响

脲酶与土壤中氮的转化密切相关。它能促进尿素水解生

成氨,有利于植物对氮素的吸收,常被用来表征土壤的氮素状况^[8]。图1表明,T₃的土壤脲酶活性最强,T₁的土壤脲酶活性最弱。7个处理中土壤脲酶活性表现为T₅>T₄>T₆>T₂>T₃>CK>T₁。与CK相比,仅T₄、T₅这2个处理的土壤脲酶活性显著(P<0.05)或极显著(P<0.01)提高,分别提高30.78%和50.73%。而T₁处理中土壤脲酶活性比CK降低了8.37%,但差异不显著(P>0.05)。与T₁相比,T₂、T₃、T₄、T₅、T₆这5个处理的土壤脲酶活性均显著提高,分别提高了29.82%、28.75%、42.73%、64.5%、32.78%,其中T₄、T₅这2个处理极显著提高。T₂、T₃、T₄、T₆这4个处理间差异不显著。

2.2 不同施肥模式对土壤硝酸还原酶活性的影响

硝酸还原酶是植物氮代谢过程中一种重要的调节酶和限速酶。通过测定土壤硝酸还原酶的活性可以了解土壤氮转化中脱氮作用的强度。从图2可以看出,T₂的土壤硝酸还原酶活性最强,而T₁的最弱。7个处理中土壤硝酸还原酶活性表现为T₂>T₆>T₅>T₄>T₃>CK>T₁。CK仅与T₂、T₁差异极显著;与CK相比,T₂处理土壤硝酸还原酶活性提高了26.24%,



不同处理间标有不同大写字母和小写字母分别表示差异极显著 ($P < 0.01$) 和差异显著 ($P < 0.05$)。下图同

图1 不同施肥模式下土壤脲酶活性

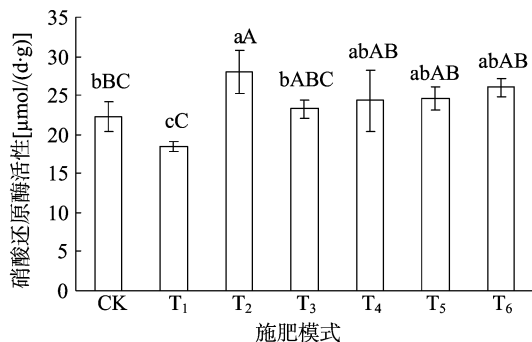


图2 不同施肥模式下土壤硝酸还原酶活性

而 T₁ 降低了 17.22%。与 T₁ 相比, T₃ 土壤硝酸还原酶活性显著提高, 而其他 4 种施肥模式的土壤硝酸还原酶活性均极显著提高, T₂、T₆、T₅、T₄ 和 T₃ 处理分别提高了 52.51%、41.61%、3.71%、32.68%、26.74%。T₂ 与 T₃ 处理差异显著, 但 T₂、T₆、T₅、T₄ 4 个处理之间差异不显著。

2.3 不同施肥模式对土壤过氧化氢酶活性的影响

过氧化氢酶可以在植物呼吸过程中将对活细胞有害的过氧化氢分解成水和氧气, 减轻过氧化氢对植物的危害, 在一定程度上反映了土壤微生物学过程的强度^[9]。由图 3 可知, T₅ 的土壤过氧化氢酶活性最强, CK 的最弱。7 个处理的土壤过氧化氢酶活性表现为 T₅ > T₄ > T₂ > T₆ > T₁ > T₃ > CK。T₂、T₄、T₅、T₆ 与 CK 处理均, 差异显著, 土壤过氧化氢酶活性比 CK 分别提高了 14.34%、19.39%、27.14%、14.11%, 其中 T₅、T₄ 与 CK 差异极显著。与 T₁ 相比, 仅 T₅ 中的土壤过氧化氢酶活性显著提高了 15.51%, 而 T₄、T₂、T₆ 和 T₁ 差异不显著。

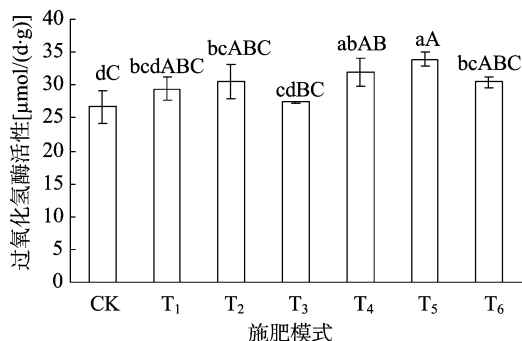


图3 不同施肥模式下土壤过氧化氢酶活性

2.4 不同施肥模式对土壤酸性磷酸酶活性的影响

磷酸酶与土壤中磷的转化密切相关, 能够酶促分解各种有机磷化合物, 使土壤有机磷脱磷, 生成能提供植物生长所需的无机态磷, 从而提高土壤中磷素的有效性。磷酸酶常被用来表征土壤的磷素状况^[10]。图 4 表明, T₅ 的土壤酸性磷酸酶活性最强, 而 T₂ 的最弱。7 个处理中土壤酸性磷酸酶活性表现为 T₅ > CK > T₆ > T₁ > T₃ > T₄ > T₂。T₂、T₃、T₄ 处理的土壤酸性磷酸酶活性均与 CK 差异极显著, 分别降低了 28.35%、14.07%、18.02%; 而 T₁、T₅、T₆ 与 CK 差异性不显著。与 T₁ 相比, 仅 T₂、T₄ 这 2 个处理的酸性磷酸酶活性显著降低, 其中 T₂ 酸性磷酸酶活性极显著降低了 22.93%; 而 T₃、T₅、T₆ 这 3 个处理与 T₁ 差异不显著。

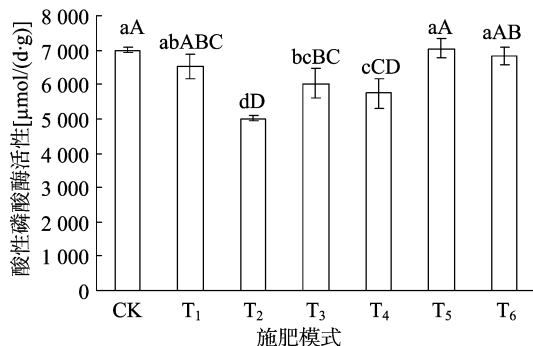


图4 不同施肥模式下土壤酸性磷酸酶活性

2.5 不同施肥模式对土壤酸性转化酶活性的影响

转化酶能使无法直接被植物吸收的蔗糖分解成葡萄糖和果糖, 对增加土壤中易溶性营养物质有重要作用^[11], 其活性常被用来表征土壤的熟化程度和肥力水平。从图 5 可以看出, T₅ 的土壤酸性转化酶活性最强, 而 T₁ 的最弱, 7 个处理中土壤酸性转化酶活性表现为 T₅ > T₃ > T₂ > T₄ > T₆ > CK > T₁。其中, 仅 T₃ 和 T₅ 处理的土壤酸性转化酶活性极显著高于 CK 处理, 分别提高 40.9%、60%; 而 T₁ 处理显著低于 CK 处理, 降低了 20.91%。T₂、T₃、T₄、T₅、T₆ 这 5 个处理均与 T₁ 有极显著差异, 分别提高 32.18%、78.16%、31.03%、102.3%、31.03%。

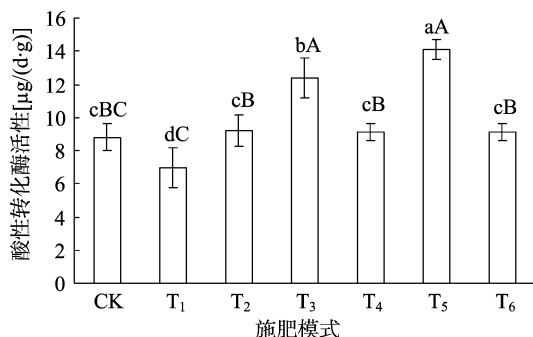


图5 不同施肥模式下土壤酸性转化酶活性

3 讨论与结论

土壤中一切生化反应都是在土壤酶的参与下完成的, 土壤酶活性的高低能够反映土壤微生物活性和土壤肥力水平^[12]。本试验结果显示, 在 0~20 cm 土层中, T₂、T₃、T₄、T₅、T₆ 这 5 种施肥模式的土壤脲酶、硝酸还原酶、酸性转化酶活

性均显著高于 T_1 和 CK。说明单施有机肥和化肥有机肥配施模式较单施化肥模式均能明显提高菜地土壤酶活性。这是因为与不施肥和单施化肥相比,增施有机肥不仅带入了丰富的微生物,还能增加土壤养分,激发土壤的生物学活性,进而明显提高土壤酶活性^[13-15]。化肥有机肥配施还能显著提高土壤有机质含量^[16-18],为各种酶类提供更多的酶促基质,同时也能提高土壤微生物群落结构多样性及其活性^[19],从而间接促进土壤酶活性的提高。此外,长期单施化肥可导致土壤板结、酸化、盐渍化等问题,间接降低了土壤酶活性^[20]。所以,化肥、有机肥配施模式的土壤酶活性明显高于单施化肥模式。这与艾孜古丽·木拉提等的研究结果^[21-25]一致。在 0 ~ 20 cm 土层中, T_2 处理的土壤酸性磷酸酶活性极显著低于 T_1 、CK 处理。这是因为磷肥可明显促进土壤磷酸酶的活性^[24],而单施有机肥处理无磷肥的施入,本试验所施用的有机肥(羊粪)的磷含量也较低(0.42% P_2O_5)。 T_1 处理中土壤脲酶、硝酸还原酶、酸性转化酶活性均显著低于 CK。这可能是因为单施化肥导致了土壤无机养分升高,从而抑制土壤酶的产生^[25],也可能是单施化肥会造成土壤碳氮比降低,微生物多样性降低等多种原因综合所致。综上所述,单施有机肥或者单施化肥均会因施肥模式单一而造成某种土壤酶活性较低,相比之下,有机肥与化肥配施能够使土壤脲酶、硝酸还原酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶以及酸性转化酶活性均保持较高水平,进而为作物稳产高产创造良好的土壤生物化学环境。

本试验研究了 7 种施肥处理下土壤脲酶活性表现为 $T_5 > T_4 > T_6 > T_2 > T_3 > CK > T_1$; 硝酸还原酶活性表现为 $T_2 > T_6 > T_5 > T_4 > T_3 > CK > T_1$; 过氧化氢酶活性表现为 $T_5 > T_4 > T_2 > T_6 > T_1 > T_3 > CK$; 酸性磷酸酶活性表现为 $T_5 > CK > T_6 > T_1 > T_3 > T_4 > T_2$; 酸性转化酶活性表现为 $T_5 > T_3 > T_2 > T_4 > T_6 > CK > T_1$ 。上述结果表明 6 种不同施肥模式中土壤脲酶、过氧化氢酶、酸性磷酸酶和酸性转化酶的活性均以 T_5 处理最高,说明化肥有机肥配施且减施 25% 化肥的施肥模式是能维持辣椒—冬瓜轮作菜地较高的土壤肥力,促进菜地土壤可持续利用的一种高效施肥模式。

参考文献:

- [1] 郭明,陈红军,王春蕾. 4 种农药对土壤脱氢酶活性的影响[J]. 环境化学,2000,19(6):523-527.
- [2] 徐华勤,章家恩,冯丽芳,等. 广东省典型土壤类型和土地利用方式对土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2010,16(6):1464-1471.
- [3] 张焕军,郁红艳,丁维新. 长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响[J]. 生态学报,2011,31(12):3308-3314.
- [4] 刘兰兰,史春余,梁太波,等. 腐殖酸肥料对生姜土壤微生物量和酶活性的影响[J]. 生态学报,2009,29(11):6136-6141.
- [5] 徐凌飞,韩清芳,吴中营,等. 清耕和生草梨园土壤酶活性的空间变化[J]. 中国农业科学,2010,43(23):4977-4982.
- [6] 马宁宁,李天来,武春成,等. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1766-1771.
- [7] 叶协锋,杨超,李正,等. 绿肥对植烟土壤酶活性及土壤肥力

- 的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2013,19(2):445-454.
- [8] 杨万勤,王开运. 森林土壤酶的研究进展[J]. 林业科学,2004,40(2):152-159.
- [9] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010:246-248.
- [10] Krämer S, Green D M. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in semiarid woodland[J]. Soil Biology & Biochemistry,2000,32(2):179-188.
- [11] 贺丽娜,梁银丽,高静,等. 连作对设施黄瓜产量和品质及土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(5):155-159.
- [12] Mersi W, Schinner F. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitotetrazolium chloride[J]. Biology and Fertility of Soils, 1991,11(3):216-220.
- [13] 俞慎,李勇,王俊华,等. 土壤微生物生物量作为红壤质量指标的探索[J]. 土壤学报,1999,36(3):413-421.
- [14] 张电学,韩志卿,王介元,等. 燕山山麓平原高产粮区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2006,6(3):267-272.
- [15] 徐苏萌,高艳明,马晓燕,等. 不同有机肥配比对设施番茄生长、品质和基质的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(1):189-195.
- [16] Pan G, Zhou P, Li Z, et al. Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 131(3/4): 274-280.
- [17] Tong C, Xiao H, Tang G, et al. Long-term fertilizer effects on organic carbon and total nitrogen and coupling relationships of C and N in paddy soils in subtropical China[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 106(1):8-14.
- [18] Li Z P, Liu M, Wu X C, et al. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 106(2):268-274.
- [19] Zhong W H, Gu T, Wang W, et al. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity[J]. Plant and Soil, 2010, 326(1/2):511-522.
- [20] 张北赢,陈天林,王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(11):182-187.
- [21] 艾孜古丽·木拉提. 施肥及秸秆还田对农田土壤有机碳及其组分和酶活性的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012:15-17.
- [22] 刘彦杰,张鹏鹏,张国娟,等. 秸秆还田和施肥方式对绿洲棉田土壤酶活性的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2017,35(1):57-64.
- [23] 王文锋,李春花,黄绍文,等. 不同施肥模式对设施菜田土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(3):873-882.
- [24] 王斯佳. 长期施用化肥对黑土氮、磷及酶活性的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2008:38-42.
- [25] Olander L P, Vitousek P M. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability[J]. Biogeochemistry, 2000,49(2):175-191.