

赵帆,赵密珍,王钰,等.草莓不同连作年限土壤养分及微生物区系分析[J].江苏农业科学,2017,45(16):110-113.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.16.027

草莓不同连作年限土壤养分及微生物区系分析

赵帆¹,赵密珍²,王钰¹,关玲²,史芳芳³

(1. 安徽大学资源与环境工程学院,安徽合肥 230601; 2. 江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室,江苏南京 210014; 3. 新疆生产建设兵团十二师农科所,新疆乌鲁木齐 830088)

摘要:选取大棚草莓不同连作年限的土壤为试材,以相邻露地小麦田土壤为对照,研究其种植草莓对土壤养分含量及微生物区系的影响。结果表明,随草莓连作年限的增加,0~10、10~20、20~30 cm 不同土层的细菌、真菌、放线菌数量多有不同程度的增加,且真菌在微生物中的比例不断增加,土壤由高肥力的“细菌型”土壤向低肥力的“真菌型”土壤转变;连作土壤的蔗糖酶活性、脲酶活性、EC 值明显高于对照,pH 值与对照相比变化不大;不同连作年限土壤的养分含量主要集中在 0~10、10~20 cm 土层;土壤细菌数量与速效钾含量、速效磷含量、有效锌含量、硼含量及 EC 值呈显著正相关,真菌数量与速效钾含量、速效磷含量、硼含量、EC 值呈极显著正相关,放线菌数量只与有效锌含量呈显著正相关。

关键词:草莓;连作;土壤;微生物;酶活性;养分;真菌;细菌;放线菌

中图分类号: S668.406 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)16-0110-04

草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.)为蔷薇科草莓属植物,是一种营养价值和经济价值较高的水果,因其色、香、味俱佳,深受消费者青睐。随着人口数量增加和社会经济发展,耕地面积逐渐减少,特别是近年来设施农业的迅速发展,设施草莓栽培面积逐年增加,导致连作障碍发生越来越严重^[1]。有研究认为,连作会导致土壤养分失衡、理化性质恶变、微生物群落变化、作物自毒物质积累等^[2-4]。土壤养分含量高低是衡量土壤质量的一个重要方面,有研究表明,连作土壤中有效养分的含量增加^[5-7]、细菌数量降低、真菌数量增多^[8]。有关草莓连作与土壤病害、自毒物质、土壤酶活性和养分等的研究有所报道^[9-11],但不同连作年限草莓土壤不同土层微生物数量、酶活性和养分含量的研究尚未见报道。土壤中微生物的种类、数量及其变化一定程度上反映了土壤有机碳的矿化速度及各种养分的存在状态,同时,微生物种群结构失衡是导致作物减产、土壤质量下降的主要原因之一。土壤酶的活性反映土壤中进行各种生物化学过程的强度和方向,是土壤养分转化的媒介^[12],直接影响土壤养分的有效性和供给状态。因此,通过分析土壤中微生物数量和酶的活性及土壤养分变化的关系,可以综合反映土壤质量特征。本试验以大棚草莓连作土壤为对象,研究不同连作年限草莓土壤不同土层的土壤养分、微生物区系及酶活性变化,探明草莓连作对土壤环境的影响及连作障碍机理的形成,为草莓优质丰产及可持续发展

提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

2016 年 5 月下旬草莓收获后,自江苏省东海石榴镇草莓基地分别采集连作红颊草莓 2 年、9 年的大棚土壤为试材,以相邻的露地小麦田土壤为对照(CK)。连作土壤样品采集区的大棚连成一片,土壤类型主要为沙质,样本成土母质相同。土壤样本采集时按等距离原则进行,各采样点按“S”形分别布点采集 0~10、10~20、20~30 cm 土层的土壤。每个连作土壤采自 3 个大棚,每棚采 5 个点。同一土层的土壤混合均匀,按四分法处理,将约 2 kg 的样品带回实验室。

将采集的土样去掉植物根系、落叶、石块等,用灭菌的塑料袋包扎密封,一部分 4 ℃ 冰箱保存,供测定土壤微生物数量;一部分样品自然风干,研磨过 0.8 mm 尼龙筛,混匀,取 100 g 样品,再研磨,过 0.16 mm 尼龙筛,贮存,用于测定土壤养分及酶活性。

1.2 测定方法

分别采用碱解扩散法、重铬酸钾容量法-稀释热法、碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法、乙酸铵浸提火焰光度计法测定碱解氮、有机质、速效磷、速效钾的含量;沸水提取,电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-aes)测定硼含量;DTPA 提取,ICP-aes 测定锌、铁、锰的含量;乙酸铵提取,ICP-aes 测定钙、镁的含量;无二氧化碳蒸馏水(水土比 5:1)浸提,用 Mettler Toledo 型 pH 计测定土壤 pH 值^[13];土壤脲酶、蔗糖酶分别用比色法测定^[14];土壤细菌、真菌、放线菌分别用牛肉膏蛋白胨培养基、马丁培养基、改良高氏培养基培养一定时间,计数培养皿上生长的菌落,以菌落形成单位表示,菌数(CFU/g) = 菌落平均数 × 稀释倍数^[15]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010、SPSS 17.0 软件对数据进行统计分析。

收稿日期:2016-11-03

基金项目:江苏省现代农业研究开发示范类项目(编号:BE2016369);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(14)2017]]。

作者简介:赵帆(1993—),男,江苏南京人,硕士研究生,从事农业生态系统研究。E-mail:843003818@qq.com。

通信作者:赵密珍,研究员,从事浆果类果树种质资源收集、评价与创新利用研究。E-mail:njzhaomz@163.com。

2 结果与分析

2.1 连作土壤的营养含量、酶活性和微生物数量

2.1.1 连作土壤的微生物数量和酶活性 由表 1 可知,随连作年限的增加,不同土层的细菌、真菌、放线菌数量多有不同程度的增加;同一连作土壤中,以细菌为主,数量相对较多;随

连作年限的增加,真菌在微生物中的比例有所增加,具体表现在细菌数量/真菌数量、放线菌数量/真菌数量的比例多呈减小趋势。土壤酶活性是土壤肥力的重要指标之一。由表 2 可知,不同连作年限的不同土层,其蔗糖酶、脲酶的活性多高于对照,蔗糖酶活性呈逐渐增加的趋势,脲酶活性呈先增加后减少的趋势。

表 1 连作土壤的微生物数量

土壤类型	土层 (cm)	细菌数量 (×10 ⁶ CFU/g)	真菌数量 (×10 ³ CFU/g)	放线菌数量 (×10 ⁵ CFU/g)	放线菌数量/真菌数量	细菌数量/真菌数量
CK	0 ~ 10	1.18 ± 0.09aA	3.89 ± 0.78aA	9.00 ± 0.16aAB	233.84 ± 43.61aA	306.67 ± 37.71abA
	10 ~ 20	1.21 ± 0.47aA	2.42 ± 0.31aA	5.27 ± 0.31bA	219.17 ± 15.32aA	491.67 ± 129.63aA
	20 ~ 30	0.58 ± 0.16aA	2.99 ± 0.33aA	10.69 ± 1.13aB	357.74 ± 0.84bA	190.48 ± 33.67bA
	0 ~ 30	2.96 ± 0.21aA	9.30 ± 0.80aA	24.97 ± 0.98aA	269.12 ± 12.57aA	320.75 ± 50.13aA
连作 2 年	0 ~ 10	1.82 ± 0.03aA	7.19 ± 0.64aA	9.33 ± 0.47aA	129.90 ± 4.85aA	253.93 ± 18.02aA
	10 ~ 20	1.59 ± 0.11aA	8.14 ± 1.64aA	15.12 ± 1.65bA	191.67 ± 58.92aA	198.34 ± 25.93aA
	20 ~ 30	2.35 ± 0.10bB	8.61 ± 0.98aA	10.70 ± 1.32acA	126.03 ± 29.74aA	275.44 ± 43.05aA
	0 ~ 30	5.77 ± 0.25bB	23.94 ± 1.29bB	147.01 ± 7.33bB	147.01 ± 7.33bB	240.81 ± 2.76abA
连作 9 年	0 ~ 10	2.74 ± 0.17aA	10.12 ± 0.84aA	26.19 ± 3.37aA	258.34 ± 11.79aA	270.84 ± 5.89aA
	10 ~ 20	2.39 ± 0.30abA	12.17 ± 1.87aA	13.26 ± 1.70bAB	109.13 ± 2.81bcBC	200.36 ± 56.07aA
	20 ~ 30	1.67 ± 0.33bA	9.17 ± 0.50aA	8.81 ± 1.68bcB	95.74 ± 13.10cC	181.08 ± 26.76aA
	0 ~ 30	6.79 ± 0.20cB	31.46 ± 3.22cB	269.12 ± 12.57aA	153.11 ± 5.80bB	216.69 ± 15.88bA

注:表中差异显著性分析分每个处理 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30 cm 不同土层及不同处理 0 ~ 30 cm 土层进行。不同小写字母、大写字母分别表示处理间差异显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。表 2 ~ 表 4 同。

表 2 连作对土壤酶活性的影响

土壤类型	土层 (cm)	蔗糖酶活性 (mg/g)	脲酶酶活性 (mg/g)
CK	0 ~ 10	78.31 ± 1.94aA	2.93 ± 0.08aA
	10 ~ 20	62.73 ± 3.10bB	2.07 ± 0.02bB
	20 ~ 30	67.73 ± 0.20cC	2.56 ± 0.06cC
连作 2 年	0 ~ 10	164.51 ± 2.72aA	4.51 ± 0.16aA
	10 ~ 20	164.83 ± 1.36aA	2.82 ± 0.08bB
	20 ~ 30	163.00 ± 2.33aA	2.66 ± 0.04bB
连作 9 年	0 ~ 10	169.47 ± 1.94aA	2.78 ± 0.99aA
	10 ~ 20	239.12 ± 0.58bB	2.08 ± 0.11bB
	20 ~ 30	179.37 ± 0.48cC	1.82 ± 0.10bB

2.1.2 连作土壤的营养含量 由表 3 可知,随连作年限的增加,不同土层的有机质、碱解氮的含量呈先增加后减少趋势,速效钾、速效磷的含量和 EC 值呈逐渐增加趋势,其中速效钾、速效磷的含量增加幅度相对较大;随土层深度的增加,不同连作年限土壤有机质、碱解氮、速效钾、速效磷的含量多呈降低趋势,0 ~ 10、10 ~ 20 cm 土层的养分含量相对较高。由表 4 可知,随连作年限的增加,不同土层有效钙、有效镁的含量呈先减少后增加趋势,有效铁、有效锰的含量呈先增加后减少趋势,有效锌、硼的含量呈逐渐增加趋势,其中有效铁、有效锌的含量变化幅度相对较大,可能是由于农户在补充中微量元素肥的过程中偏施有效铁、有效锌的缘故;不同连作年限土壤,大部分微量元素主要集中在 0 ~ 10、10 ~ 20 cm 土层。

表 3 连作土壤的理化性质

土壤类型	土层 (cm)	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (g/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	pH 值	EC 值 (mS/cm)
CK	0 ~ 10	22.72 ± 1.31aA	81.31 ± 4.18aA	0.10 ± 0.00aA	23.50 ± 1.39aA	6.55 ± 0.07aA	0.96 ± 0.01aA
	10 ~ 20	13.49 ± 3.44bB	53.20 ± 2.20bB	0.05 ± 0.00bB	13.89 ± 0.55bB	6.85 ± 0.07bAB	0.70 ± 0.01bB
	20 ~ 30	6.74 ± 1.34cB	28.38 ± 2.92cC	0.05 ± 0.01bB	2.45 ± 0.42cC	7.15 ± 0.07cB	0.65 ± 0.00cC
连作 2 年	0 ~ 10	23.62 ± 1.69aA	86.89 ± 0.78aA	0.36 ± 0.09aA	105.70 ± 3.73aA	6.60 ± 0.00aA	0.94 ± 0.01aA
	10 ~ 20	23.50 ± 2.89aA	89.79 ± 3.62aA	0.34 ± 0.01abA	87.64 ± 2.74bB	6.40 ± 0.00bB	0.99 ± 0.01bB
	20 ~ 30	21.58 ± 1.53aA	70.22 ± 3.94bB	0.22 ± 0.02bA	29.85 ± 4.10cC	6.20 ± 0.01cC	1.07 ± 0.01cC
连作 9 年	0 ~ 10	19.13 ± 0.38aA	80.21 ± 4.25aA	0.37 ± 0.02aA	246.94 ± 5.49aB	7.30 ± 0.00aA	1.15 ± 0.01aA
	10 ~ 20	17.63 ± 1.62aA	82.29 ± 1.62aA	0.44 ± 0.01bB	269.75 ± 9.19bB	7.25 ± 0.07aA	1.34 ± 0.01bB
	20 ~ 30	7.72 ± 5.13bA	45.17 ± 3.30bB	0.32 ± 0.02cC	162.38 ± 11.93cA	7.10 ± 0.00bA	1.13 ± 0.01aA

2.2 土壤微生物数量、酶活性与土壤养分的关系

由表 5 可知,土壤细菌数量与速效钾、速效磷、有效锌、硼的含量呈显著正相关,与 EC 值呈极显著正相关;真菌数量与速效钾含量、速效磷含量、硼含量、有效锌含量、EC 值呈极显

著正相关;放线菌数量与有效锌含量呈显著正相关;蔗糖酶活性与有效锌、硼的含量呈显著正相关,与速效钾含量、速效磷含量、EC 值呈极显著正相关;脲酶活性与养分含量无显著相关性。

表 4 连作土壤的微量元素含量

土壤类型	土层 (cm)	有效钙含量 (g/kg)	有效镁含量 (mg/kg)	有效铁含量 (mg/kg)	有效锰含量 (mg/kg)	有效锌含量 (mg/kg)	硼含量 (mg/kg)
CK	0~10	0.99±0.01aA	240.00±1.15aA	67.83±0.00aA	156.40±0.00aA	0.64±0.00aA	0.28±0.00aA
	10~20	1.03±0.02aA	221.55±1.50aA	33.94±1.84bB	74.88±2.15bB	0.36±0.05bB	0.10±0.02bB
	20~30	1.48±0.11bB	350.02±38.39bB	5.93±0.72cC	16.08±3.98cC	0.25±0.10bB	0.03±0.01cC
连作 2 年	0~10	0.68±0.01aA	208.01±5.47aA	169.81±9.24aA	132.53±2.20aA	3.34±0.15aA	0.23±0.01aA
	10~20	0.66±0.01aA	203.96±5.53aA	198.49±4.51bB	126.69±4.11aA	3.95±0.14bB	0.23±0.01aA
	20~30	0.80±0.02bB	238.95±10.38bB	116.88±4.94cC	135.78±10.12aA	0.70±0.03aA	0.22±0.02aA
连作 9 年	0~10	0.97±0.03aA	238.39±1.40aA	50.75±1.09aA	42.57±2.70aA	11.92±0.25aA	0.49±0.01aA
	10~20	0.97±0.03aA	242.84±4.95aA	52.65±5.18aA	45.72±3.29aA	12.46±0.44aA	0.53±0.03aA
	20~30	0.73±0.05bB	204.76±3.95bB	53.40±0.52aA	66.64±2.13bB	4.51±0.20bB	0.41±0.00bB

表 5 土壤微生物量、酶活性与土壤理化性质的相关关系

项目	相关系数											
	有机质含量	碱解氮含量	速效钾含量	速效磷含量	pH 值	EC 值	有效钙含量	有效镁含量	有效铁含量	有效锰含量	有效锌含量	硼含量
细菌数量	0.446	0.588	0.777 *	0.746 *	0.073	0.829 **	-0.508	-0.461	0.238	0.028	0.741 *	0.774 *
真菌数量	0.250	0.481	0.931 **	0.862 **	0.201	0.938 **	-0.513	-0.388	0.264	-0.105	0.816 **	0.854 **
放线菌数量	0.244	0.379	0.530	0.633	0.349	0.459	-0.260	0.220	0.510	-0.297	0.725 *	0.554
蔗糖酶活性	0.265	0.495	0.953 **	0.824 **	0.146	0.903 **	-0.572	-0.435	0.352	-0.052	0.760 *	0.793 *
脲酶活性	0.617	0.497	0.171	-0.135	-0.407	-0.145	-0.285	-0.132	0.616	0.305	-0.135	-0.188

注：“*”“**”分别表示因子间有显著、极显著性相关。

3 讨论

大棚草莓连作土壤的养分变化、累积,可能与栽培过程肥料的种类和施用量及灌溉条件等管理措施有关。另外,设施大棚栽培条件下,土壤缺少雨水淋洗及相应的水分运移也可能是造成表层土壤养分累积的重要原因^[16]。试验结果表明,不同连作年限土壤的绝大多数养分主要集中在 0~10、10~20 cm 土层,这可能是因为草莓根系分布较浅,根系从土壤中吸收的养分经残茬表层释放,进一步导致土壤表层的养分含量升高;不同土层的有机质、碱解氮的含量随连作年限的增加呈先增加后减少的趋势,可能是化学氮肥施入土壤,经过一系列如硝化淋溶、反硝化等途径损失,虽然连作 2 年土壤中的碱解氮含量有所增加,但随连作程度的增加,硝化淋溶和反硝化作用的持续影响,土壤中碱解氮的含量会逐渐变少;连作 9 年土壤中的有机质含量出现减少,可能是因为日光温室土壤温度高,微生物活动旺盛,加速了土壤有机质的分解,另一方面日光温室内施用的有机肥以鸡粪、猪粪为主,此类肥料含速效性养分、纤维素较少,分解速度快,对土壤腐殖质形成的贡献不大;土壤中速效钾含量、速效磷含量和 EC 值随连作程度的增加而逐渐增加,其中速效钾含量、速效磷含量增加较为迅猛,这是由于磷、钾淋溶较少,容易在土壤中积累;连作 9 年的大棚土壤表层速效磷含量为 200 mg/kg 左右,碱解氮为 80 mg/kg 左右,达到丰富程度,而养分的富集一方面导致土壤盐分累积,浪费资源,污染环境,另一方面土壤硝态氮含量过高,也会使草莓硝酸盐含量增高,草莓品质下降。有研究表明,土壤盐分积累是由于缺少雨水淋溶,而降水对日光温室土壤的自然淋溶作用更为显著,大棚土壤水分的蒸发也比露地有明显增加,大部分时间土壤水分的运动方向与露地相反,水分自下而上运动,随水分运动土壤盐分逐渐向土表聚集,盐分

含量增加^[17]。

随草莓连作程度的加深,土壤 pH 值变化不大,连作 9 年土壤 pH 值为 7.3,没有呈现酸性,与范小峰等研究结论^[18]不一致,可能是由于农户在每茬草莓收获后施用大量菜籽饼等腐熟的有机肥改良土壤,并积极施用复合肥,这很好地抑制了土壤的酸化趋势。蔗糖酶对增加土壤中的易溶性营养物质发挥着重要的作用,土壤中蔗糖酶活性表征了土壤有机碳累积与分解转化规律^[19]。脲酶活性可用来表示土壤有机态氮向有效态氮的转化能力和土壤无机氮的供应能力^[20]。试验结果表明,不同连作年限的不同土层,其蔗糖酶、脲酶的活性都明显高于草莓非连作土壤,蔗糖酶活性呈逐渐增加的趋势,脲酶活性呈先增加后减少的趋势。有研究表明,不同作物连作对土壤酶活性的影响存在一定差异,施肥可以改善土壤营养缺乏、酶活性将低、土壤肥力下降等一系列问题,长期施肥会对土壤性质产生深远的影响^[21~22]。虽然草莓连作时间较长,但长期合理的施肥对土壤酶活性起到了一定的促进效果。有研究表明,随着酚酸类物质的增多,土壤酶活性相应升高,影响作物的生长发育,但达到一定浓度时,酚酸类物质又会抑制酶活性^[23]。草莓在生长过程中会分泌大量的酚酸物质,这可能会影响土壤的酶活性,具体原因有待进一步研究。

连作可使土壤微生物种群结构失衡,进而导致土壤质量下降,养分失衡^[24~25],这与土壤肥力及其微生物关系密切^[26]。本研究表明,土壤细菌数量与速效钾、速效磷、有效锌、硼的含量呈显著正相关,与 EC 值呈极显著正相关,真菌数量与速效钾含量、速效磷含量、硼含量、有效锌含量、EC 值呈极显著正相关,放线菌数量与有效锌含量呈显著正相关,这说明土壤养分含量的变化会影响微生物的繁殖和积累;随连作时间的延长,真菌数量普遍升高,说明随连作时间的延长,土壤肥力会由“细菌型”向“真菌型”转变,而真菌型土壤会导

致作物发病较严重,主要是由于作物连作会使某些特定的微生物种群得到富集,特别是植物病原真菌,不利于土壤中微生物种群的平衡,这与王海霞等研究结果^[27-29]一致,也可能是由于连作导致土壤容重增大,透气性降低,不利于细菌的繁殖。另外,生产中大量施入氮肥,导致耕层土壤氮素逐渐积累、渗透压降低,抑制了放线菌的生长,从而使作物发生根部病害,根系的发育受到影响,同时,氮肥的施入也易使微生物处于不活跃状态,甚至阻碍了有益微生物的生长^[30]。

总之,连作会使土壤中主要的养分含量升高,土壤由高肥力的“细菌型”土壤向低肥力的“真菌型”土壤转变,土壤的真菌病害加重。土壤养分能直接或间接影响土壤的微生物种群结构数量和酶活性^[31-32],而微生物是土壤健康的决定因素,可以通过微生物的变化预测土壤质量^[33-37]。

参考文献:

- [1] 于立杰,梁春莉,于强波. 草莓连作障碍发生机理及防治措施[J]. 安徽农业科学,2009,37(27):13118-13119.
- [2] Huang H C, Chou C H, Erickson R S. Soil sickness and its control[J]. Allelopathy Journal,2006,18(1):1-21.
- [3] Yu J Q, Shou S Y, Qian Y R, et al. Autotoxic potential of cucurbit crops[J]. Plant and Soil,2000,223(1/2):147-151.
- [4] 章家恩,刘文高,王伟胜. 南亚热带不同植被根际微生物数量与根际土壤养分状况[J]. 土壤与环境,2002,11(3):279-282.
- [5] 王志刚,郭天文,徐伟慧. 大棚韭菜连作对产量和品质及土壤养分状况的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2006,41(6):34-37.
- [6] 钟 爽,何应对,韩丽娜,等. 连作年限对蕉园土壤氮磷钾养分的影响[J]. 广东农业科学,2011,38(23):64-67.
- [7] 邓阳春,黄建国. 长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(4):840-845.
- [8] 郑亚萍,王才斌,黄顺之,等. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展[J]. 中国油料作物学报,2008,30(3):384-388.
- [9] Cao K Q, Wang S T. Autotoxicity and soil sickness of strawberry (*Fragaria × ananassa*) [J]. Allelopathy Journal,2007,20(1):103-114.
- [10] Zhao X S, Zhen W C, Qi Y Z, et al. Coordinated effects of root autotoxic substances and *Fusarium oxysporum* Schl. f. sp. fragariae on the growth and replant disease of strawberry[J]. Frontiers of Agriculture in China,2009,3(1):34-39.
- [11] 白鹏华,刘奇志,李贺勤,等. 重茬对温室草莓土壤酶活性及养分的影响[J]. 中国果树,2014(3):55-58.
- [12] 高雪峰,韩国栋,张 功,等. 荒漠草原不同放牧强度下土壤酶活性及养分含量的动态研究[J]. 草业科学,2007,24(2):10-13.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1981.
- [14] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其试验技术[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [15] 李卓隼,喻子牛,何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [16] 杜新民,吴忠红,张永清,等. 不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2):78-80.
- [17] 李式军. 设施园艺学[M]. 北京:中国农业出版社,2002:126-128.
- [18] 范小峰,俞诗源,范亚娜,等. 黄土高原大棚黄瓜不同年限连作对土壤主要理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料,2006(6):20-22.
- [19] Zhao F J. Long-term experiments at Rothamsted experimental station: introduction and experience [J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2012,35(5):147-153.
- [20] Jiao X G, Sui Y Y, Zhang X Y, et al. Study on the relationship between soil organic matter content and soil urease activity [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture,2008,24(4):494-496.
- [21] Wang J, Yin R, Zhang H, et al. Changes in soil enzyme activities, microbial biomass, and soil nutrition status in response to fertilization regimes in a long-term field experiment [J]. Ecology and Environment,2007,16(1):191-196.
- [22] Ma Z M, Du S P, Wang P, et al. Effects of long-term located fertilization on soil enzymatic activities for wheat-maize intercropping in irrigated desert soils [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,2011,25(4):796-801.
- [23] 马云华,王秀峰,魏 珉,等. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(11):2149-2153.
- [24] 魏文麟. 菜地偏施化肥的后果与对策[J]. 福建农业科技,1998(1):25.
- [25] 吴凤芝,赵凤艳,刘元英. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析及防治措施[J]. 东北农业大学学报,2000,31(3):241-247.
- [26] 黎 宁,李华兴,朱凤娇,等. 菜园土壤微生物生态特征与土壤理化性质的关系[J]. 应用生态学报,2006,17(2):285-290.
- [27] 王海霞,王念平. 大棚蔬菜连作障碍防治措施[J]. 现代农业科技,2007(16):99.
- [28] 郭玉霞,南志标,王成章,等. 苜蓿根部入侵真菌研究进展[J]. 草业学报,2009,18(5):243-249.
- [29] 邢会琴,马建仓,毛 涛,等. 防治玉米苗枯病室内药剂筛选[J]. 中国农学通报,2010,26(9):319-322.
- [30] 邢会琴,肖占文,闫吉智,等. 玉米连作对土壤微生物和土壤主要养分的影响[J]. 草业科学,2011,28(10):1777-1780.
- [31] 王 华,胡锦珍,胡冬南,等. 不同肥料对油茶林土壤微生物及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):461-465.
- [32] 王夏雯,余 翔,乔俊卿,等. 西瓜茬后种植稻麦对土壤微生物数量和西瓜枯萎病发生的影响[J]. 江苏农业学报,2015,31(6):1291-1295.
- [33] Karken D L, Gardner J C, Rosek H J. A soil quality framework for evaluating the impact of CR[J]. Journal of Production Agriculture, 1998,11(1):56-60.
- [34] 石元豹,曹 兵,宋丽华. CO₂ 浓度倍增对宁夏枸杞种植地土壤养分及微生物的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(1):201-206.
- [35] Doran J W, Zeiss M R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality[J]. Applied Soil Ecology,2000,15(1):3-11.
- [36] 范弟武,李秀芝,黄 斌,等. 稻壳炭施加对设施土壤的改良效果[J]. 江苏农业学报,2016,32(2):345-350.
- [37] Stenberg B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators [J]. Acta Agriculture Scand Section B - Soil Plant Science,1999,49(1):1-24.