

砂田轮作模式对土壤酶活性及微生物区系的影响

李 凯, 吴宏亮, 许 强, 康建宏

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以压砂西瓜→大豆(W→S)、西瓜→辣椒(W→P)、西瓜→油菜(W→O)3种轮作模式以及西瓜连作(对照,CK)的土壤为研究对象,研究了3种不同砂田轮作模式对酶活性与微生物区系的影响。结果表明:与对照相比,3种不同轮作模式土壤脲酶活性和碱性磷酸酶活性轮作均显著增强,土壤蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性 W→P 模式显著高于对照,其它轮作模式与对照保持平衡;轮作模式下微生物总菌数增加,其中细菌、放线菌数量、细菌与真菌比值(B/F)均高于对照,真菌数量显著低于对照;通过微生物群落碳源利用分析表明,轮作提高了微生物群落对碳源的利用,增强了微生物群落生理活性。合理的轮作倒茬对延长砂田寿命、恢复和提高砂田地力有着积极的意义,W→P 为较合理的轮作模式之一。

关键词:砂田;轮作;酶活性;微生物;微生物群落

中图分类号:S 151⁺. 22 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)18-0185-05

砂田是地表铺盖了一层厚度 15~20 cm 粗砂砾或卵石夹粗砂的田地,是干旱地区采用砂石覆盖土壤表层以蓄水保墒、提高土温的免耕旱农栽培方法^[1]。我国的砂田主要分布在西北干旱和半干旱地区的甘肃、宁夏、青海等地,地区水分年蒸发量较高,降水量较少,沙漠化严重,而砂田具有蓄水保墒、增温保温、防止土壤次生盐渍化和阻止水土流失的作用,为农业生产发展和生态环境建设做出了巨大的贡献。

第一作者简介:李凯(1989-),男,宁夏固原人,硕士研究生,现主要从事农作制度等研究工作。E-mail:2578563060@qq.com.

责任作者:许强(1954-),男,教授,硕士生导师,现主要从事作物栽培学与耕作学及农业生态学等教学与科研工作。E-mail:nxu-wheat@163.com.

基金项目:宁夏自然科学基金资助项目(NZ14030)。

收稿日期:2014-05-22

砂田作为西北干旱地区独有的资源,在经济快速增长的需求下,长期种植单一作物,导致病虫害发生加重,土壤地力下降严重,严重影响作物产量和品质。许强等^[2]研究表明,长期耕种造成砂土混合,生态功能下降,潜在养分消耗殆尽。代晓华等^[3]认为,随着压砂利用年限的增加土壤肥力呈逐年下降的趋势,土壤微生物群落中细菌、真菌、放线菌的数量均显著降低,压砂改变了土壤微生物群落结构组成,解决砂田作物结构单一、种植模式单一的问题,对于砂田的可持续发展有着积极意义。目前通过在农业生产中探究发现,作物轮作对减轻连作障碍有着明显的效果,有利于作物生长和提高产量,缓解了生态环境的恶化。赵亚慧等^[4]研究发现,轮作能有效调节土壤微生物区系,有利于微生物群落的多样性和稳定性的提高,最终改善了土壤的微生态环境。

近年来,砂田连作的问题已经迫在眉睫,轮作倒茬是解决连作障碍的一种重要种植模式,但目前的研究较

Abstract: The response of soil seed bank under different daily rainfall and annual rainfall were studied by water control experiment in the processing of arid and semi-arid desert grassland degradation. The results showed that there were significant differences between species composition of the soil seed bank and seed germination under different day rainfall. Seed germination of its own seeds of different plants required different moisture. Some plants could germinate only with a little water; some plants need a lot of water before germination, as well as the wide range of plant seeds could germinate. The effect of different annual rainfall on soil seed bank to stimulate the composition of species in the study area was not significant, while stimulate seed germination of seeds in soil with a fluctuation in the number of type changes. Therefore, for the treatment of degraded desert steppe vegetation restoration on the ground, the proposed study area should consider using different gradients of water applied alternately to stimulate seed bank in the soil seed germination.

Keywords: desert steppe; water; soil seed bank

少,针对砂田轮作模式的研究不够全面。已有研究发现,土壤酶活性、土壤微生物区系和群落结构作为土壤生物学指标,不仅是土壤健康的决定性因素,也可以较早地预测土壤质量的变化^[5]。土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶及过氧化氢酶对土壤肥力有较大的影响,它们参与微生物的兴衰、有机质的分解、腐殖质的合成、土层养分的转化,其在土壤生理生化反应中起到重要作用,可显著提高土壤肥力。该研究以不同轮作模式下的压砂地为研究对象,通过分析土壤酶活性和微生物区系的变化,分析轮作后土壤质量的变化,提出较合理的轮作模式,以期压砂地的生态效应、退化机理以及砂地产业健康和可持续发展的研究奠定了基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏中卫市香山乡红圈子村(东经 105°09′,北纬 37°02′),海拔 1 700 m,属黄土丘陵川、台、塬地形。降水少且分布不均衡,年均降水量仅 247.4 mm,主要集中于 7—9 月;年均蒸发量 2 100~2 400 mm,年蒸发量是降水量的 8~9 倍,年均气温 6.8℃,年平均太阳总辐射量 567.09 kJ/cm²,有效积温达 2 600℃以上;昼夜温差 12~16℃。

1.2 试验方法

试验地为连作 4 a 西瓜的砂田,试验田设置 3 种轮作模式,分别为西瓜→大豆(W→S)、西瓜→辣椒(W→P)、西瓜→油葵(W→O),以连作西瓜砂田作为对照。采样进行 5 点取样混合法混合成一个土样,抛去表面砂层部分,采取砂田作物成熟后 0~20 cm 的土壤,混合后装入 1.0 kg 的灭菌袋,样品经自然风干、磨细、过筛、混匀

后用于土壤酶活性的各项测定,同时新鲜样品于 0~4℃ 下保存,48 h 内测定土壤微生物。

1.3 项目测定

1.3.1 土壤酶测定 土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定^[7]。

1.3.2 土壤微生物数量测定 土壤微生物数量的测定采用稀释平板计数法^[8]。

1.3.3 土壤微生物功能多样性测定 土壤微生物功能多样性采用 BIOLOG-ECO 微平板测定^[9]。

1.4 数据分析

采用 DPS 7.05 对数据进行方差分析和相关性分析,采用 SAS 8.2 进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同轮作模式对连作土壤酶活性的影响

由图 1 可知,在土壤酶中,脲酶是唯一对尿素的转化和作用具有重大影响的酶,促进作物对氮素的利用,各轮作土壤脲酶活性均显著高于对照,W→S、W→P 和 W→O 分别为 1.45、1.37、1.32 mg·g⁻¹·(24h)⁻¹;土壤蔗糖酶更能明显地反应土壤中物质的转化速度,各轮作土壤蔗糖酶活性 W→P 为 11.11 mg·g⁻¹·(24h)⁻¹,显著高于对照,与 W→S 差异不显著,W→O 显著低于对照;过氧化氢酶是影响土壤中物质及能量转化的一种重要的氧化还原酶,各轮作土壤过氧化氢酶活性均高于对照,其中 W→P 为 1.69 mL·g⁻¹·(20min)⁻¹,显著高于对照,与其它 2 种处理差异不显著,其活性增高在一定程度上增强了砂田土壤生物化学过程中氧化还原能力;土

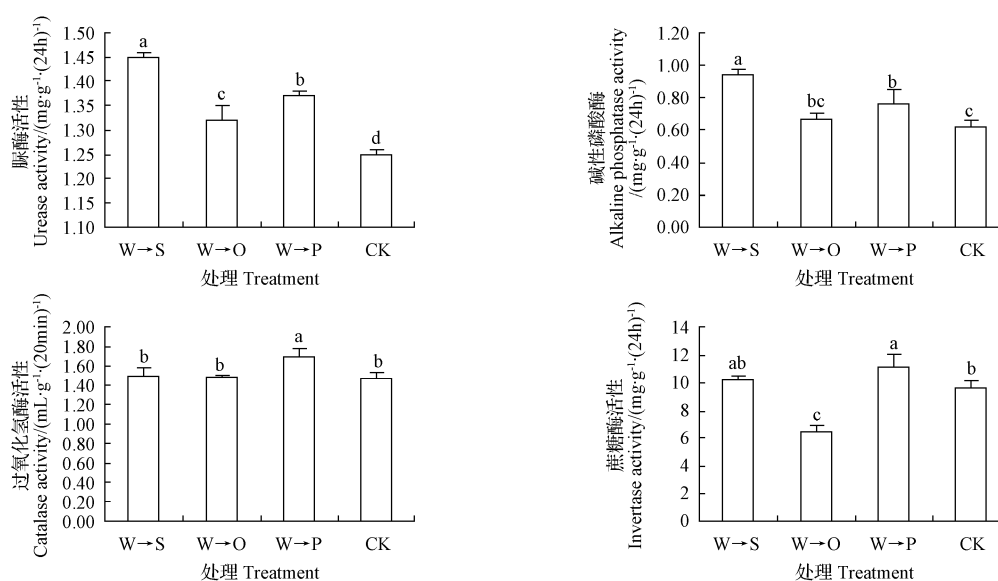


图 1 不同轮作模式对土壤酶活性的影响

Fig. 1 Effect of different rotation patterns on soil enzyme activity

壤磷酸酶是影响土壤磷素方向的转化的指标,它主要参与土壤中的有机磷向无机磷的转化,提高了磷素的有效性利用,各轮作土壤碱性磷酸酶活性除 W→O 与对照差异不显著外,其余 2 种轮作模式均显著高于对照, W→S 和 W→P 分别为 $0.94, 0.76 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot (24\text{h})^{-1}$ 。土壤酶是土壤组成成分的一部分,研究砂田土壤酶为判断砂田肥力演变趋势,寻找较高肥力轮作模式提供理论依据。

2.2 不同轮作模式对连作土壤微生物区系的影响

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化以及循环的动力。微生物生物量的大小可以影响微生物新陈代谢活动的强弱,而微生物生长与死亡的交替过程也就是养分的固定与释放过程^[10]。土壤微生物主要包括细

菌、真菌、放线菌等。由表 1 可知,总菌数中细菌所占比例最大,放线菌次之,真菌最少。与对照相比,3 种轮作模式下总菌数与细菌数显著增加, W→P、W→O 和 W→S 总菌数分别增加 69.57%、57.97%、39.13%,细菌数分别增加了 71.19%、69.35%、37.09%;放线菌数 W→P 与 W→S 较对照显著增加,分别增加 82.09%、44.77%;与对照相比,3 种轮作模式真菌数量降低, W→S、W→O、W→P 分别降低 52.38%、25.40%、36.51%, W→S 和 W→P 降低最明显。轮作可以有效调节土壤微生物菌群平衡,3 种轮作模式下细菌/真菌(B/F)差异显著,均显著高于对照,轮作后土壤微生物菌群的变化有利于土壤肥力的提高。

表 1 不同轮作模式对微生物生物量的影响

Table 1 Effect of different rotation patterns on microbial biomass

处理 Treatment	总菌数 Total number /($\times 10^6$ (CFU) $\cdot \text{g}^{-1}$)	细菌数 Bacteria number /($\times 10^6$ (CFU) $\cdot \text{g}^{-1}$)	真菌数 Fungi number /($\times 10^3$ (CFU) $\cdot \text{g}^{-1}$)	放线菌数 Actinomyce number /($\times 10^5$ (CFU) $\cdot \text{g}^{-1}$)	细菌/真菌 Bacteria/Fungi / $\times 10^3$
W→S	$0.96 \pm 0.02\text{c}$	$0.85 \pm 0.05\text{b}$	$0.30 \pm 0.04\text{c}$	$0.97 \pm 0.07\text{b}$	$2.55 \pm 0.04\text{a}$
W→O	$1.09 \pm 0.03\text{b}$	$1.05 \pm 0.08\text{a}$	$0.47 \pm 0.16\text{b}$	$0.78 \pm 0.06\text{c}$	$2.17 \pm 0.02\text{c}$
W→P	$1.17 \pm 0.04\text{a}$	$1.08 \pm 0.03\text{a}$	$0.40 \pm 0.02\text{bc}$	$1.22 \pm 0.07\text{a}$	$2.64 \pm 0.10\text{b}$
CK	$0.69 \pm 0.03\text{d}$	$0.62 \pm 0.07\text{c}$	$0.63 \pm 0.07\text{a}$	$0.67 \pm 0.07\text{c}$	$1.00 \pm 0.06\text{d}$

2.3 不同轮作模式对连作微生物区系功能多样性的影响

2.3.1 碳源平均颜色变化率(AWCD) 微生物功能多样性生态板中每孔平均吸光度变化(AWCD)是衡量微生物利用不同碳源整体能力的重要指标。通常经过对一系列读数时间的 AWCD 值变化趋势的差异可直观的看出样品间碳源利用能力的不同^[11]。由图 2 可知,在培养开始的 24 h 内,3 种轮作模式以及连作土壤 AWCD 值未发生变化。培养 24 h 后, W→P 和 CK 土壤 AWCD 值迅速增长,培养 36 h 后, W→S 和 W→O AWCD 值开始增长,说明初始阶段微生物对碳源利用较少,培养 24 h 后对碳源的利用趋势明显上升。3 种轮作模式土壤及连作土壤微生物对碳源利用依次为: W→P>W→S>CK>W→O。由此分析得出, W→P 和 W→S 增加了微生物对碳源的利用能力,其中 W→P 较对照差异显著,说明合理的轮作方式能够更好的增强微生物群落代谢活性。

2.3.2 轮作砂田土壤微生物群落利用碳源的类型

Biolog-Eco 板上有 31 种碳源,可分成六大类:羧酸类化合物、多聚化合物、碳水化合物、芳香化合物、氨基酸类和胺类化合物。由图 3 可知,3 种轮作模式以及连作土壤微生物对不同碳源的利用情况分别是, W→P 对 6 种碳源的利用显著高于连作, W→S 对 6 种碳源的利用除羧酸类化合物和多聚化合物差异不显著外,其它碳源都显著高于连作, W→O 对羧酸类化合物、氨基酸类和胺类化合物的利用显著低于连作,对多聚化合物、碳水化合物和芳香化合物的利用差异不显著。由此充分说明

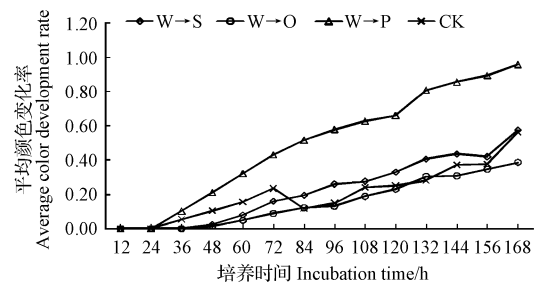


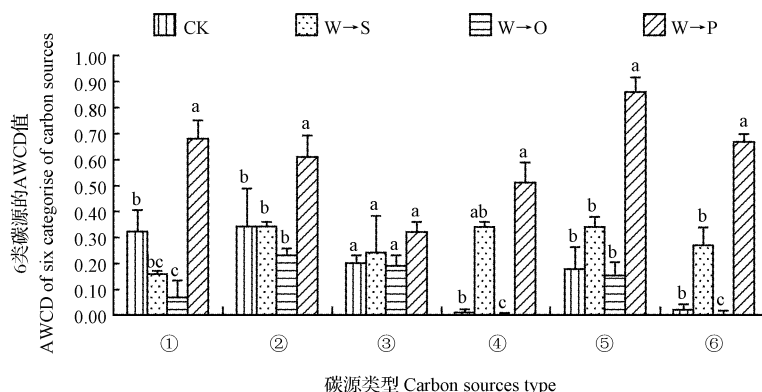
图 2 不同轮作模式下碳源平均颜色变化率(AWCD)

Fig. 2 The differences of the average color development rate (AWCD) in the different rotation patterns

合理的轮作模式对微生物碳源的利用更强、更全,减小了连作引起的对土壤微生物群落代谢功能的削弱,其中 W→P 表现效果最为明显。

2.4 轮作砂田土壤微生物区系与酶活性的相关性分析

对不同轮作模式 0~20 cm 砂田土壤微生物区系和酶活性进行相关性分析。由表 2 可知,土壤微生物总菌数与脲酶和过氧化氢酶呈显著正相关;细菌数与脲酶和过氧化氢酶呈显著正相关;真菌数与碱性磷酸酶呈显著负相关;放线菌与脲酶、过氧化氢酶和碱性磷酸酶呈显著正相关。由此可见,土壤微生物区系与土壤酶活性有着密切的关系,0~20 cm 的砂田土壤不仅含有细菌、真菌和放线菌 3 种主要微生物以及丰富多样的其它微生物,而且含有大量未进行培养的微生物种群,其微生物数量和种群的增加,增强了土壤酶的活性,促进了作物对碳、氮、磷、钾等主要养分的吸收,对作物的生长有着



注:①羧酸类化合物;②多聚化合物;③碳水化合物;④芳香化合物;⑤ 氨基酸;⑥胺类化合物。

Note: ①Carboxylic; ②Polymers; ③Carbohydrate; ④Aromatics; ⑤Amino acids; ⑥Amines.

图3 不同轮作模式下土壤微生物群落对6类碳源的利用情况

Fig. 3 Soil microbial community under different rotation patterns of six kinds of carbon source utilization

表2

不同轮作模式土壤微生物区系和酶活性相关性分析

Table 2

Different rotation patterns soil microflora and enzyme activity correlation analysis

项目 Item	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	过氧化氢酶 Catalase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase
总菌数 Total	0.857 **	0.607	0.929 **	0.643
细菌 Bacterium	0.893 **	0.643	0.964 **	0.714
真菌 Fungus	-0.607	-0.286	-0.571	-0.893 **
放线菌 Actinomycetes	0.929 **	0.750	0.964 **	0.857 **

注: ** 表示 $P < 0.01$ 水平显著相关。

Note: ** indicates significant correlation at 0.01 level.

极其重要的意义。

2.5 轮作砂田土壤微生物功能多样性主成分分析

主成分分析是处理数学降维的一种方法,将多个变量通过线性变换以选出较少个数重要变量。根据这种方法对不同种植模式下0~20 cm砂田土壤微生物碳源利用进行主成分分析表明,第1主成分方差贡献率最大(83.6%),加上第2主成分的方差贡献率9%,其累积方差贡献率达92.6%,说明前2个主成分能反映土壤微生物碳源利用的变异信息,即在不同种植模式下土壤微生物碳源利用能力的差异。利用第1、2主成分将4种植模式划分为4个功能类群,4个处理分别属于不同类型区,以样方的距离为标准,在排序图内样方点之间的距离远近可以代表样方之间的相异程度,由于各点之间的距离可以代表他们之间的关系。由图4可知,与对照相似度依次为:W→O、W→S、W→P,其中W→P与对照之间存在较低的相似度,说明3种轮作模式中W→P土壤微生物对碳源的利用能力较强,在选择轮作模式时,应选择与CK相似度较低作物辣椒进行轮作。

3 结论与讨论

连作障碍产生的原因很复杂,其引起的土壤肥力下降与土传病害严重制约了砂田的可持续发展。土壤酶

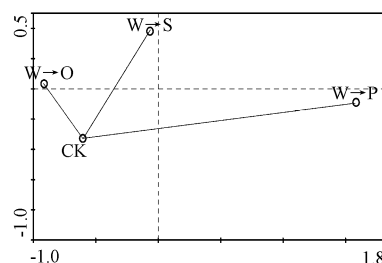


图4 不同轮作模式的主成分分析

Fig. 4 Principal analysis on different rotation patterns

是表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的一个重要生物指标。合理轮作能促进土壤生物化学过程,有利于提高土壤酶活性^[12]。该研究表明,在不同的轮作模式下,砂田土壤脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶的活性均高于对照,土壤蔗糖酶活性W→O显著低于对照,其它轮作显著高于对照,可能由于油菜是耗水较多的作物,大量水分的耗损降低了土壤中物质的转化速度,蔗糖酶活性减弱,轮作模式下土壤酶活性增强,可以在一定程度上提高土壤供应作物养分的能力和和生产潜力的发挥。

土壤微生物也被认为是连作障碍的主要因子之一^[13],砂田土壤微生物中真菌生物量最少,但易引起一

些土传病害,被认为底肥的“真菌型”土壤,连作使某些病原真菌在根际土壤中富集,导致了病害的加剧。该研究表明,轮作模式下土壤微生物种群组成发生了显著变化,细菌数和放线菌数增加,真菌数减少,细菌/真菌(B/F)比值升高,土壤中有益菌增加,病原菌减少,土壤从低肥的“真菌型”向高肥的“细菌型”转化^[14]。通过土壤微生物区系与酶活性相关性分析表明,细菌和放线菌对脲酶、过氧化氢酶和碱性磷酸酶有促进作用,真菌与土壤酶活性呈极显著负相关,抑制了土壤酶的活性,与土壤从底肥“真菌性”土壤向高肥的“细菌型”转化相一致。

不同作物对土壤微生物群落的影响不同,不同的砂田轮作模式对根际土壤微生物群落组成产生影响,从而改变了土壤微生物群落的生长代谢。该研究中,W→P和W→S AWCD 值和6种碳源利用率高于连作,而W→O低于对照,这可能是温度、水分等环境因子的变化,使W→O对利用不同碳源类型微生物种群的变化影响不明显,具体原因还需进一步研究。合理的轮作模式增强了砂田土壤微生物群落对碳源的代谢能力,保持压砂瓜根际微生物的高活性起到了积极作用,改善了因连作使微生物代谢活性下降的趋势。与吴宏亮等^[15]的研究结果相比,轮作更能改变土壤生态环境,提高砂田土壤微生物多样性,缓解西瓜的连作障碍功效的结果相一致。

参考文献

- [1] 张晓华,田军仓,宋天华.宁夏地区晒砂瓜特色产业发展现状调查分析[J].中国市场,2009(10):118-120.
- [2] 许强,吴宏亮,康建宏,等.旱区砂田肥力演变特征研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):37-41.
- [3] 代晓华,胡景田,杨金娟,等.压砂地持续利用对土壤的影响[J].西北农业学报,2013,22(10):184-190.
- [4] 赵亚慧,吴宏亮,康建宏,等.砂田轮作模式对土壤微生物区系的影响[J].安徽农业科学,2012(27):13273-13275.
- [5] 马云华,魏珉,王秀峰.日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J].应用生态学报,2004,15(6):1005-1008.
- [6] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:495.
- [7] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:376.
- [8] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006:150.
- [9] Brookes P C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals[J]. Biology and Fertility of Soils,1995,19(4):269-279.
- [10] 王志明,朱培立,黄东迈,等.秸秆碳的田间原位分解和微生物量碳的周转特征[J].土壤学报,2003,40(3):446-453.
- [11] 王强,戴九兰,吴大千,等.微生物生态研究中基于 BIOLOG 方法的数据分析[J].生态学报,2010,30(3):817-823.
- [12] 姚槐应,黄昌勇.土壤微生物生态学及其实验技术[M].北京:科学出版社,2006:201.
- [13] 邹莉,袁晓颖,李玲,等.连作对大豆根部土壤微生物的影响研究[J].微生物学杂志,2005,25(2):27-30.
- [14] 郑良永,胡剑非,林昌华,等.作物连作障碍的产生及防治[J].热带农业科学,2005,25(2):58-62.
- [15] 吴宏亮,康建宏,陈阜,等.不同轮作模式对砂田土壤微生物区系及理化性状的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(6):674-680.

Effect of Gravel-sand Mulched Field Rotation Patterns on Soil Enzyme Activities and Microbial Flora

LI Kai, WU Hong-liang, XU Qiang, KANG Jian-hong

(College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking soil of pressure sand watermelon→soybeans (W→S), watermelon→peppers (W→P), watermelon→oil sunflower (W→O) rotation cropping patterns and watermelon (control, CK) as research object, the effect of three different patterns of sand on the activity of crop rotation and microbial flora were studied. The results showed that compared with the control, the effect of three different rotation patterns on soil urease activity and alkaline phosphates activity were significantly enhanced crop rotation, soil invertase activity and catalase activity. W→P mode was significantly higher than the control, crop rotation patterns and other control to maintain balance; the total number of bacteria microbes under rotation mode increased in which bacteria, actinomycetes, bacteria and fungi ratio (B/F) were higher than control, the number of fungi was significantly lower than control; carbon source utilization by microbial community analysis showed rotation increased the microbial community carbon source utilization, enhanced the physiological activity of the microbial community. Description rational crop rotation on the extension of gravel-sand mulching life, restore and enhance the sand field force had a positive meaning, W→P crop rotation patterns was the more reasonable one.

Keywords: gravel-sand mulching; crop rotation; enzyme activity; microbes; microbial community