

南疆干旱区连作棉田土壤养分及生物活性的初步研究

范君华¹, 龚明福², 刘明¹, 张利莉^{2*}

(1. 新疆塔里木大学植物科技学院, 新疆阿拉尔 843300;

2. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:对南疆不同连作年限棉田的土壤养分、土壤酶活性、土壤微生物数量进行研究。结果表明:(1)连作后土壤总盐、 K^+ 、 Na^+ 、速效钾迅速减少,有机质、全氮、速效氮、速效磷、有效锰与之相反,有效铁、有效铜、有效锌变化不规律;(2)连作后土壤脲酶、碱性磷酸酶、转化酶活性逐年增大,过氧化氢酶逐年减小;(3)连作土壤中细菌数量占绝对优势,放线菌、真菌的数量较少。细菌、放线菌、真菌、固氮菌数量先增后降,无机磷细菌0~20年逐年增大,20年以后逐渐减小;解钾细菌呈线性上升趋势;(4)土壤转化酶、脲酶、碱性磷酸酶活性可以作为评价土壤肥力的指标。通径分析表明,有机质、速效钾是土壤微生物及土壤酶活性的主要影响因素。

关键词:棉花;连作;土壤酶活性;微生物

中图分类号:S562 文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2009)02-0127-06

Preliminary Research on Soil Nutrients and Bioactivity in Continuous Cropping Cotton Fields of Dryland in South Xinjiang

FAN Jun-hua¹, GONG Ming-fu², LIU Ming¹, ZHANG Li-li^{2*}

(1. College of Life Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China; 2. Key Laboratory of Protection & Utilization of Biological Resources in Tarim Basin of Xinjiang Production and Construction Groups, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: The nutrient status, enzyme activities and soil microbes were investigated in continuous cropping cotton field in south Xinjiang. The results showed that the total salinity, sodium and potassium salts and exchangeable potassium trended to decline in continuous cropping cotton fields. On contrast, soil nutrients, soil enzyme activities and soil microbes were observed to accumulate. No significant difference was found for available iron, available copper and available zinc in continuous cropping cotton fields. The activities of soil urease, alkaline phosphatase and invertase increased, but catalase activities declined. The majority of soil micro-organism was bacteria in continuous cropping cotton fields, actinomycetes and fungi occupied minor proportion. Numbers of bacteria, actinomycetes, fungi, azotobacteria and phosphate bacteria increased in short-term and decreased in long-term continuous cotton cropping fields, but the number of potassium dissolving bacteria increased in linear manner. Soil invertase, urease and Alkaline phosphatase activities could be cited as a comprehensive index of soil fertility. Path analysis showed that organic matter content, available potassium were two important factors which affect soil micro-organism composition and soil enzyme activities greatly.

Key words: cotton (*Gossypium hirsutum* L.); continuous cultivation; soil enzyme activity; micro-organism

收稿日期: 2008-03-28 作者简介:范君华(1965-),女,副教授, fjhzy@163.com; *通讯作者, zhang63lyly@yahoo.com.cn
基金项目:国家973计划前期研究专项(2007CB116303);教育部骨干教师资助计划项目;兵团基础研究专项(2006GG26);塔里木大学科研基金(TDZKQN06002、2004-10)部分研究内容。

连作对植物(作物)的影响主要有三个方面:一是改变了土壤理化性质;二是改变了土壤微生物的区系及土壤的酶活性;三是增加了植物病虫害的浸染程度等。前人对连作大豆、花生、蔬菜的研究已有大量报道^[1-5]。新疆是我国最大的商品棉基地,常年播种面积和总产量占全国的1/4和1/3,单产达1500 kg·hm⁻²,居世界第一,总产占世界的1/10,棉花生产在国内外市场上占有举足轻重的地位。在我区大面积棉花种植已有30年历史,但有关连作棉田土壤状况的研究却未见报道。本文对南疆干旱区连作棉田土壤养分及生物活性进行了分析,并探讨了两者的相关性,旨在为本地地区棉花生产可持续发展提供依据。

1 材料和方法

1.1 土壤取样

试验于2007年进行,土样取自农一师三团。棉田(*Gossypium hirsutum* L.)为连作1,2,5,10,15,20,25年的砂壤土,以没有种植棉花的土壤(荒地)为对照(CK),共计38个样地。土壤取样采用交叉线5点取样,采样深度0-20 cm,将不同位点同一层次的土样混匀、过筛。其中用于微生物分析的土样取回后保存于4℃冰箱中,进行养分分析的土样风干后备用。

1.2 测定方法

土壤养分的测定^[6]。有机质:重铬酸钾容量法-外加热法;全氮:半微量凯氏法;速效氮:碱解扩散法;速效磷:0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提,钼蓝比色法;钾、钠:火焰光度法;速效钾:NH₄OAc浸提,火焰光度法;有效铁、有效锰、有效铜、有效锌用原子吸收法。

土壤酶的测定^[7]。脲酶用靛酚蓝比色法,转化酶用3,5-二硝基水杨酸比色法,碱性磷酸酶用磷酸苯二钠比色法,过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法。

土壤微生物的测定^[8]。微生物数量用稀释平

板记数法。称取土壤样品10 g,加入90 mL无菌水的三角瓶中,振荡15 min,即得10⁻¹浓度的土壤溶液,静置1 min,用1 mL无菌吸管吸取10⁻¹浓度的土壤溶液1 mL放入9 mL无菌水管中,吹吸3次混匀,即得10⁻²稀释液,依次稀释至10⁻⁵。用稀释平板涂布法依次接种细菌、放线菌、真菌,每一处理设3个重复。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基;真菌用马铃薯蔗糖培养基;放线菌用高氏合成培养基。细菌37℃下培养36 h后进行菌落计数;放线菌在28℃下培养5 d后计数;真菌在28℃下培养7 d后计数,分别计算每克干土中细菌、真菌、放线菌的数量。

2 结果与分析

2.1 连作棉田土壤养分状况

由表1可见,棉田土壤中总盐、K⁺、Na⁺、速效钾在种植棉花以前很高,棉花连作以后迅速减少,棉花连作25年后与CK相比分别下降了81.21%、75.31%、70.66%、74.87%。说明通过连作棉田的灌溉洗盐作用和棉花的吸收作用使其含量减少。有机质、全氮、速效氮、速效磷随连作年限增加逐渐增大,连作25年后与CK相比分别增加了57.90%、65.71%、52.82%、502.38%。这是由于连作后棉花秸秆还田以及人为的施肥使其在土壤中的含量增加。植物生长和微生物的生理活动不仅需要大量元素,同时也存在对微量元素的竞争。试验结果表明,连作棉田土壤微量元素有效铁在5,10,20年较高;有效铜在5,10,25年较高;有效锌在1,10,25年较高。即在连作10年土壤中有有效铁、有效铜、有效锌含量均高。第一峰值有效铁在20年,有效铜、有效锌在25年;第二峰值有效铁、有效铜在5,10年出现,有效锌在10年出现;有效铁、有效铜、有效锌最低值分别出现在连作的第2,1,5年。有效锰随连作年限增加略有波动,但总体上呈增大趋势。

表1 南疆干旱区连作棉田土壤养分的变化

Table 1 Variation of soil nutrients in continuous cropping cotton fields in south Xinjiang

连作年限	总盐	有机质	全氮	速效氮	速效磷	速效钾	Na ⁺	K ⁺	有效铁	有效锰	有效铜	有效锌
CK	3.742	0.696	0.035	68.857	2.733	768.353	14.656	2.531	10.997	2.293	0.853	0.733
1	1.253	0.471	0.024	32.610	6.340	316.460	4.808	1.377	9.130	2.050	0.610	1.480
2	1.435	0.605	0.030	94.745	9.040	164.435	3.977	0.645	8.490	3.115	0.700	0.750
5	0.766	0.847	0.042	73.622	18.134	82.190	3.683	0.320	24.560	3.350	1.142	0.664
10	1.075	0.907	0.041	49.700	18.470	97.140	4.206	0.372	25.070	3.310	1.130	1.280
15	0.320	0.729	0.037	55.917	17.410	217.833	4.123	0.339	15.053	2.897	0.617	0.973
20	0.587	1.033	0.052	118.048	26.602	158.454	2.991	0.459	37.274	3.652	0.988	0.826
25	0.703	1.099	0.058	105.230	16.463	193.098	4.300	0.625	16.240	3.978	1.203	1.630

注:总盐、有机质、全氮单位为%;速效氮、速效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌单位为mg·kg⁻¹;Na⁺、速效钾、K⁺单位为g·kg⁻¹。

2.2 连作棉田土壤酶状况

土壤中的细菌、真菌和植物都能分泌过氧化氢酶,它可以用来反应土壤有机质氧化进程,也能促进过氧化氢分解为水和氧气,是土壤合成腐殖质和防除过氧化氢对土壤酶毒害作用的重要氧化还原酶系。转化酶参与碳水化合物转化,能催化蔗糖分子中果糖基的 β -葡萄糖苷键的断裂,使蔗糖水解成葡萄糖和果糖,成为植物和微生物可溶性糖和重要的养料来源。脲酶可将土壤中酰胺态氮的尿素转化为氨,使植物生长所需的氮素养分转化为有效态,对提高氮素利用率促进土壤氮素循环都具有重要意义。磷酸酶分为酸性磷酸酶、

中性磷酸酶和碱性磷酸酶。由于本地区土壤呈碱性,仅测定碱性磷酸酶。磷酸酶能酶促分解各种有机磷化合物,为植物生长提供有效磷素。由图1可见,连作棉田碱性磷酸酶、转化酶、脲酶三种酶除在个别年份略有下降外,整体上表现逐渐增大趋势。这与连作后秸秆还田以及人为施肥等有关。过氧化氢酶则表现为,连作1~2年酶活性几乎没有变化,连作2~10年迅速下降,至15年时仅为CK的47.77%,15年后缓慢回升,25年时为CK的74.94%。可见,棉田连作后过氧化氢酶减小,表明土壤合成腐殖质和防除过氧化氢对土壤酶毒害作用等能力下降。

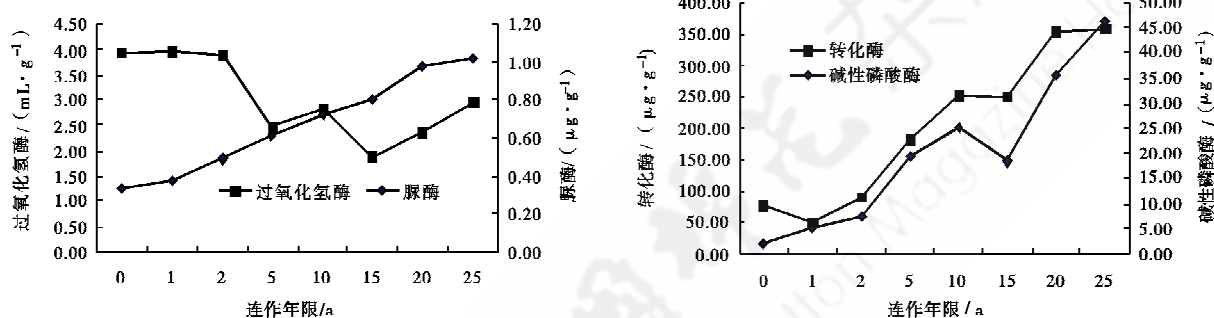


图1 干旱区连作棉田土壤酶活性的变化

Fig. 1 Soil enzyme activities in continuous cultivation cotton fields in dryland

表2 连作棉田土壤微生物数量变化

Table 2 Soil microbial composition in continuous cropping cotton fields ($\times 10^3$ 个·g⁻¹干土)

连作年限/a	微生物总数	细菌	放线菌	真菌	无机磷细菌	固氮细菌	解钾细菌
0	84223.49	84165.00 (99.93%)	—	6.66 (0.001%)	14.50 (0.02%)	22.50 (0.03%)	14.83 (0.02%)
1	60220.16	60000.00 (99.63%)	—	—	2.66 (0.00%)	17.50 (0.03%)	200.00 (0.33%)
2	72449.58	71665.00 (98.92%)	371.60 (0.51%)	3.00 (0.000%)	60.75 (0.08%)	79.88 (0.11%)	269.36 (0.37%)
5	176625.98	175373.64 (99.29%)	670.19 (0.38%)	12.94 (0.001%)	74.92 (0.04%)	123.14 (0.07%)	371.16 (0.21%)
10	181129.26	180000.00 (99.38%)	496.60 (0.27%)	19.33 (0.001%)	260.00 (0.14%)	103.33 (0.06%)	250.00 (0.14%)
15	138879.68	128374.73 (92.44%)	8956.70 (6.45%)	22.59 (0.002%)	480.68 (0.35%)	392.46 (0.28%)	652.53 (0.47%)
20	42575.40	38886.67 (91.34%)	1653.30 (3.88%)	13.00 (0.003%)	582.00 (1.37%)	196.66 (0.46%)	1243.78 (2.92%)
25	13377.30	11330.00 (84.70%)	353.30 (2.64%)	2.00 (0.001%)	7.00 (0.05%)	110.00 (0.82%)	1575.00 (11.77%)

注:括号内数字表示微生物数量的相对值。

2.3 连作棉田土壤微生物状况

细菌、真菌、放线菌由于生态属性不同,它们的数量及在微生物中所占的比例也不同。由表2可见,微生物总数连作1—10年逐年增加,10年

后逐渐减少,表现为连续种植10年的土壤中微生物总数最多,达 1.8×10^7 个·g⁻¹干土;连作25年的微生物数量最少,为 1.17×10^6 个·g⁻¹干土。连作棉田土壤中的细菌是土壤微生物的优势种

群,占总量的84.7%以上;放线菌数量跃居第二位,占总量的0.3%~6.5%;而真菌所占比例最小,仅为0.003%,这是由于细菌适应性强,因而数量最多;真菌则适于酸性环境生长;放线菌适应于干旱有机质丰富的环境。因此,在棉田中真菌、放线菌生长发育受抑制。这也说明,在棉田土壤物质转化中,细菌是最重要的作用者。另外从数量上看,真菌和放线菌数量虽很少,但它们在土壤中的生物量却很大。因此,它们在土壤有机质形成中仍具有极其重要作用。

土壤微生物类群在连作条件下的变化趋势:细菌数量随种植年限的增加,其变化趋势同微生物总数;放线菌、真菌、固氮菌数量随种植年限的增加先升后降,但出现峰值的时间与细菌不同,具体表现为1~15年逐渐上升,15年后逐渐下降;无机磷细菌0~20年逐渐增大,20年以后逐渐减小;解钾细菌随种植年限的增加而呈线性上升趋势,25年达最大值。

2.4 土壤微生物、土壤酶与土壤养分的关系

2.4.1 土壤生物活性与土壤肥力的相关分析。

土壤微生物在土壤中的分布和活跃程度与土壤结构的形成、营养物质的转化都有密切的关系。由表3可知,土壤有机质、全氮与解钾细菌、转化酶、脲酶、碱性磷酸酶呈显著或极显著相关;速效磷与无机磷细菌、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、转化酶、脲酶呈显著或极显著相关;速效钾、速效氮与土壤微生物、土壤酶活性呈不显著相关。表明用转化酶、脲酶、碱性磷酸酶活性作为评价土壤肥力的指标具有一定可靠性。

2.4.2 连作土壤养分对土壤微生物的影响。连作棉田土壤理化性状见表1。将各指标与土壤微生物数量进行通径分析,结果表明(表4),对细菌数量直接影响较大的因子依次为: K^+ 、速效钾、全氮、速效氮、有效铜。其中,速效钾、有效铜表现正

向效应,其余表现反向效应。对放线菌数量直接影响较大的因子依次为:有机质、速效钾、 Na^+ 、速效磷、速效氮、有效铜、有效锌。其中,有机质、速效钾表现正向效应,其余均表现反向效应。对真菌数量直接影响较大的因子依次为:有机质、速效钾、 K^+ 、速效磷、全氮、有效铁、有效锰。其中,有机质、速效钾、有效铁、有效锰表现正向效应,其余均表现反向效应。对无机磷细菌数量直接影响较大的因子依次为:全氮、速效钾、 K^+ 、有机质、总盐、有效铁。其中,有机质、速效钾、有效铁表现正向效应,其余均表现反向效应。对固氮细菌数量直接影响较大的因子依次为:有机质、 Na^+ 、速效磷、有效铜、速效氮、有效锌、速效钾、有效锰。其中,有机质、速效钾、有效锰表现正向效应,其余均表现反向效应。对解钾细菌数量直接影响较大的因子依次为:有机质、速效磷、速效钾、 Na^+ 。其中,有机质、速效钾表现正向效应,其余均表现反向效应。从通径系数影响大小看,细菌受土壤理化性状的直接影响远小于放线菌、真菌。据以上可知,土壤养分中速效钾、有机质、速效磷对微生物数量起主导作用。

2.4.3 连作土壤养分对土壤酶活性的影响。从表4看出,对过氧化氢酶直接作用较大的因子依次有:速效氮、有机质、 Na^+ 、速效钾、有效锌。其中,速效氮、 Na^+ 、速效钾、有效锌表现正向效应,其余均表现反向效应。对脲酶直接作用较大的因子依次有:总盐、有机质、全氮、速效钾、 K^+ 。其中,有机质、速效钾表现正向效应,其余均表现反向效应。对碱性磷酸酶直接作用较大的因子依次有:有机质、速效钾、速效磷、 K^+ 。其中,有机质、速效钾表现正向效应,其余均表现反向效应。由此可见,棉田连作土壤酶活性受有机质、速效钾的直接影响较大。

表3 土壤生物活性与土壤养分的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between soil enzyme activity and nutrient contents

土壤养分	无机磷细菌	固氮细菌	解钾细菌	细菌	放线菌	真菌	过氧化氢酶	转化酶	脲酶	碱性磷酸酶
有机质	0.3570	0.2543	0.7800*	-0.1125	-0.0248	0.2846	-0.5905	0.9221**	0.8660**	0.9226**
全氮	0.3092	0.2623	0.8574**	-0.2468	-0.0042	0.1790	-0.5604	0.9163**	0.8777**	0.9339**
速效氮	0.2253	0.0967	0.6990	-0.5326	-0.1500	-0.1679	-0.1908	0.5650	0.5858	0.5843
速效磷	0.7484*	0.5899	0.6495	0.1256	0.3056	0.5818	-0.8561*	0.8658**	0.8529**	0.7798*
速效钾	-0.3311	-0.3592	-0.3787	-0.2455	-0.1436	-0.3041	0.5559	-0.4972	-0.5601	-0.5347

注:*表示显著相关($P<0.05$),**表示极显著相关($P<0.01$)。

表 4 土壤养分对土壤生物活性的直接通径系数

Table 4 Correlation coefficient of soil nutrients to soil biological properties in path analysis

	细菌	放线菌	真菌	无机磷 细菌	固氮 细菌	解钾 细菌	过氧化 氢酶	转化酶	脲酶	碱性磷 酸酶
总盐	0.1830	-0.6136	-0.8249	-1.8054	-0.2906	-0.5232	0.6014	-0.1216	-1.2150	-0.5305
有机质	0.3037	3.5995	2.7145	1.9465	3.8866	1.3176	-1.5254	0.2245	1.0450	0.9811
全氮	-0.8456	-0.5198	-2.4413	-3.5678	0.2865	0.5521	-0.0716	0.1823	-1.5334	-0.3639
速效氮	-0.7521	-1.5858	-0.9296	0.7581	-2.1434	-0.2072	1.0800	0.1071	0.6693	0.2417
速效磷	-0.0539	-1.8493	-1.7816	-0.7841	-2.5504	-1.4830	0.5954	0.5704	-0.2439	-0.6726
速效钾	1.2054	2.3932	3.4101	3.0885	1.4413	1.2928	-1.8185	0.0771	1.9122	1.0565
Na ⁺	0.0140	-2.2798	-0.6083	0.9608	-2.7894	-1.7740	1.4136	0.6025	0.4345	-0.3794
K ⁺	-1.7945	-0.5447	-2.5480	-2.4246	0.4471	0.2516	0.5008	-0.4123	-1.5060	-0.7100
有效铁	0.0533	0.0402	1.2492	1.5479	0.4342	0.4187	-0.0843	0.0213	0.3659	0.3514
有效锰	0.0482	0.6685	1.1895	0.7111	1.2294	0.3474	-0.4027	0.1459	0.2411	0.0199
有效铜	0.7565	-1.5923	-0.4089	-0.2117	-2.2602	-0.5796	0.3663	-0.2588	0.2586	0.1285
有效锌	-0.4085	-1.2114	-0.3911	0.5329	-1.5638	-0.2316	0.8497	0.3407	0.5066	0.2880

3 结论与讨论

前人的研究认为,连作改变了土壤微生物量和种群分布,细菌型土壤向真菌型土壤转变是花生连作障碍的主要特征^[11]。同时土壤中三大类微生物区系比例是衡量土壤肥力的一个指标,土壤中细菌、放线菌数量多,表明土壤肥力水平较高^[10]。尽管细菌个体微小,但其代谢强、繁殖快,与土壤接触的面积大,具有强大的分解能力,是土壤中最活跃的生物因子,在土壤养分元素的转化过程中起着重要作用。尤其是在土壤-植物生态系统中,细菌可看作是一个有效养分的储备库,具有“源”与“库”的调控功能,它对土壤肥力的作用至关重要。本研究结果表明:不同连作年限细菌、放线菌、真菌数量随种植年限的增加,1~15年逐渐上升,15年后逐渐下降。连作棉田土壤细菌是土壤微生物的主要组成成分,占土壤微生物总数的84.7%以上,放线菌为0.3%~6.5%,真菌仅为0.003%。棉田连作真菌数量极少与本地区土壤性质(土壤偏碱性、有机质含量低)、气候条件、土壤质地、水热状况、耕作制度、土壤营养、土壤类型等土壤生态条件密切相关。

吴凤芝^[5]研究表明,大棚蔬菜连作有机质含量呈上升趋势,速效氮增加,速效钾降低。韩丽梅^[9]研究连作大豆土壤有效铁、锰、铜、锌呈增加趋势。本试验发现新疆干旱区连作棉田中土壤盐分和养分状况表现为:总盐、K⁺、Na⁺、速效钾减少,而有机质、全氮、速效氮、速效磷、有效锰呈增大趋势,有效铁、有效铜、有效锌变化不规律。连

作棉田土壤有机质、速效氮、速效钾、有效锰的变化规律与前两人结果相同。土壤中总盐含量下降,全氮、速效磷含量增加,有效铁、有效铜、有效锌表现各自的变化规律。这可能与土地利用方式、作物种类以及棉田连作过程中灌溉、秸秆还田及施肥等田间管理有关。连作棉田中有效钾含量的降低,一方面可能与钾肥投入较少有关,另外灌溉过程中可能也加剧了钾的淋溶损失。因此,本地区应重视棉田土壤速效钾的投入,保证棉花生产持续高产。

土壤酶作为土壤的组成部分,是土壤新陈代谢最活跃的因素,和微生物细胞一起参与土壤中物质转化,特别是在有机残体分解和无机化合物转化中起着重要作用。土壤酶作为土壤生态系统的一种良好的感应器,其活性大小可以敏感地反映土壤中生化反应的方向和强度,能够及时、准确地反应土壤生理生化变化,预示着土壤肥力和土壤健康状况。本试验研究发现,连作棉田土壤脲酶、转化酶、碱性磷酸酶活性升高,过氧化氢酶的活性降低。这表明,连作后土壤中微生物能促进碳源和氮源的营养循环,但却减弱了对土壤中过氧化氢的分解能力,土壤氧化作用减弱,过氧化氢分解减慢,增强了对根系的毒害作用。通径分析表明,连作土壤酶受有机质、速效钾的直接影响较大,土壤有机质含量升高和速效钾含量下降,诱导和促进转化酶、脲酶、碱性磷酸酶活性,但抑制了过氧化氢酶活性。因此,本地区在棉花种植生产中应注重棉田土壤速效钾和有机肥(棉花秸秆、棉子饼)的投入和科学的田间管理,使微生物区系朝

着土壤熟化和土壤肥力提高的方向发展,才能实现棉花生产的可持续发展。

参考文献:

- [1] 傅慧兰,邹永久,韩丽梅,等.大豆连作土壤障碍因素研究—连作土壤酶活性与肥力因素间的相关性分析[J].大豆科学,1996,15(4):332-339.
FU Hui-lan, Zou Yong-jiu, Han Li-mei, et al. Effect of continuous soybean cropping on obstacle factors of soil; II. correlative analysis between enzyme activity of continuous cropping soil and fertility factors [J]. Soybean Science, 1996, 15(4): 332-339.
- [2] 贾新纪,殷奎德,隋文志,等.大豆连作条件下土壤酶研究初报[J].大豆科学,1996,15(2):170-174.
JIA Xin-ji, Yin Kui-de, Sui Wen-zhi, et al. A preliminary report on the study of soil enzyme activities in continuous cropping soybean fields[J]. Soybean Science, 1996, 15(2): 170-174.
- [3] 封海胜,张思芬,万书波,等.花生不同连作年限土壤酶活性的变化[J].花生科技,1994(3):15-17.
FENG Hai-sheng, Zhang Si-su, Wan Shu-bo, et al. Variation of soil enzyme activities in continuous cropping peanut fields [J]. Peanut Science and Technology, 1994(3): 15-17.
- [4] 吴凤芝,赵凤艳,谷思玉.保护地黄瓜连作对土壤生物化学性质的影响[J].农业系统科学与综合研究,2002,18(1):20-22.
WU Feng-zhi, Zhao Feng-yan, Gu Si-yu. Effect of the continuous cultivating cucumber on the biochemical properties of soil in the plastic greenhouse [J]. Systems Cienes and Comprehensive Studies in Agriculture, 2002, 18(1): 20-22.
- [5] 吴凤芝,孟立君,王学征.设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J].植物营养与肥科学报,2006,12(4):554-558.
WU Feng-zhi, MENG Li-jun, WANG Xue-zheng. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under shed protection [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 554-558.
- [6] 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,1999.
LU Ru-kun. Analysis methods of soil agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [7] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:274-323.
GUAN Song-yin. Soil enzyme and study method [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986, 274-323.
- [8] 李阜楝,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,1996:69-76.
LI Fu-di, Yu Zi-niu He Shao-jiang. Agricultural microbiology experment technology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1996: 69-91.
- [9] 韩丽梅,鞠会艳.大豆连作微量元素营养研究Ⅲ.连作对锰营养的影响[J].大豆科学,1999,18(3):207-211.
HAN Li-mei, Ju Hui-yan. Studies on the soybean planted continuously of trace elements III. The effects of soybean continuous cropping on soil available Mn [J]. Soybean Science, 1999, 18(3): 207-211.
- [10] 马汇泉,新学慧,孙伟萍,等.大豆连作障碍及其产生机理初探.中国农学会编.全国第二届青年农学学术年会论文集[C].北京:农业出版社,1995:528-530.
MA Hui-quan, Jin Xue-hui, Sun Wei-ping, et al. Preliminary investigation of soybean continuous cropping obstacles and mechanisms [C] // Chinese Agriculture Conference Assembly. Conference Assembly of Chinese Young Agriculturist Seminar. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1995: 528-530.
- [11] 孙秀山,封海胜,万书波,等.连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J].作物学报,2001,27(5):617-620.
SUN Xiu-shan, Feng Hai-sheng, Wan Shu-bo, et al. Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions [J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(5): 617-620. ●