

## 南疆膜下滴灌棉田土壤酶活性与土壤养分的关系

范君华<sup>1</sup>, 刘明<sup>2\*</sup>, 张建华<sup>3\*</sup>, 贺江舟<sup>1</sup>

(1.塔里木大学生命科学学院,新疆阿拉尔 843300;2.塔里木大学植物科学学院,新疆阿拉尔 843300;3.香港浸会大学生物系,香港)

**摘要:**探讨土壤酶活性与土壤肥力质量指标的相关性,为棉田土壤质量评价提供生物学指标。以南疆棉田土壤为研究对象,测定棉田土壤养分含量和土壤酶活性,采用相关分析、通径分析和主成分等统计方法进行分析。土壤过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶与土壤有机质、全氮、速效磷达到极显著相关关系;通径分析表明,全氮和有机质含量是影响土壤酶活性的主要因子;有机质、全氮、过氧化氢酶、碱性磷酸酶是反映土壤肥力和质量的主要组分。用过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶作为评价棉田土壤肥力水平的敏感生物指标具有可行性。

**关键词:**棉田;土壤养分;土壤酶;相关性

**中图分类号:**S154 **文献标识码:**A

**文章编号:**1002-7807(2010)04-0367-05

## Relationship between Soil Enzymatic Activities and Soil Nutrients in Cotton Field under Film Irrigation in South Xinjiang

FAN Jun-hua<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>2\*</sup>, ZHANG Jian-hua<sup>3\*</sup>, HE Jiang-zhou<sup>1</sup>

(1. College of Life Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China; 2. College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China; 3. Department of Biology, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China)

**Abstract:** Explore and assess the relationship between soil enzymatic activities and soil nutrients to screen several biological attributes in soil quality indication. cotton field soil in south Xinjiang was used as tested samples, soil enzymatic activities as well as soil nutrients were determined. Correlation analysis, path analysis and principal component analysis were employed for data processing. Significant correlations were found within soil enzymes and soil nutrients as well as the interaction of soil enzymes and soil nutrients. Total N and organic matters contents were the most important factors determining soil enzymatic activities, which discovered by path analysis. Soil enzymatic is a crucial component in soil fertility and quality. Conclusion catalase, acidic invertase and alkaline phosphatase can be used as applicable biological indicators in the assessment of cotton soil fertility.

**Key words:** cotton field; soil enzymatic; soil nutrients; correlation

新疆具有得天独厚的光热资源、土壤和农业灌溉条件,棉花种植面积、总产、单产、商品率、外调等指标连续 15 年位居全国首位,是全国最具发展潜力的优质商品棉基地。新疆棉花产值占种植业总产值的 65% 以上<sup>[1]</sup>,是新疆国民经济的支柱产业和农民增收的主要途径,对新疆经济发展、社会稳定具有重要意义。

土壤酶是棉田土壤生态系统生理活性最强的组分,参与腐殖质的形成与矿化,动植物和微生物残体的分解与转化以及土壤有机、无机化合

物的各种氧化还原反应等一切复杂的生物化学过程,其活性大小反映了土壤酶在土壤养分的循环代谢以及植物生长所需养分的供给过程中起到的重要作用,是衡量土壤微生物活性和土壤生产力的重要指标<sup>[2]</sup>。土壤养分是土壤提供的植物生活所必需的营养元素,其含量直接影响植物的生长,是评价土壤自然肥力的主要因素之一。许多研究表明,土壤生物能较早地预测土壤质量的变化,是土壤质量变化最敏感的指标之一,也是土壤健康的决定性因素<sup>[3]</sup>。因此,利用生物指标指

收稿日期:2009-12-05 作者简介:范君华(1965-)女,副教授;\* 通讯作者,lmzky@163.com

基金项目:塔里木大学(2004-10, TDZGJC090118);香港 UGC, RGC (AoE/B-07/99, HKBU 262307)

示土壤质量或土壤健康已成为目前研究的热点<sup>[4]</sup>。有关土壤养分与土壤酶关系的研究表明,不同植被<sup>[5]</sup>、不同农田<sup>[6]</sup>土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶与土壤肥力相关性较好;长期定位施肥<sup>[7]</sup>土壤脲酶、碱性磷酸酶与土壤肥力相关性较好;设施土壤<sup>[8]</sup>碱性磷酸酶与土壤主要养分因子呈极显著相关。尽管不同土壤研究的结果不完全相同,但是均可用一种或几种土壤酶作为评价土壤肥力的指标。本研究以南疆棉田为研究对象,测定土壤养分含量和土壤酶活性,采用相关分析、通径分析和主成分分析方法,研究棉田土壤养分与土壤酶之间的关系,探讨土壤酶活性作为土壤肥力质量指标的可行性,旨在为棉田土壤培肥,促进棉田土壤健康发展和棉花持续高效生产提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 土壤取样

试验于 2008 年进行,土样取自新疆生产建设兵团农一师三团,共计 28 个条田。土壤质地为灌淤潮土,用交叉线 5 点取样,采样深度 0~20 cm,将不同位点同层次的土样混匀、风干后过筛备用。

### 1.2 测定方法

土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾、

有效铁、有效锰、有效铜、有效锌测定采用重铬酸钾容量法、半微量凯氏法、碱解扩散法、钼蓝比色法、火焰光度法、原子吸收法<sup>[9]</sup>。土壤酶脲酶、转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶的测定<sup>[10]</sup>用靛酚蓝比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法、磷酸苯二钠比色法、高锰酸钾滴定法、邻苯三酚比色法。

### 1.3 数据处理

运用 DPS 数据处理软件,对实验数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量与土壤养分、土壤酶的关系

**2.1.1 产量与土壤养分、土壤酶的相关性。**由表 1 可见,土壤速效养分、土壤微量元素、土壤酶与产量呈正相关。其中有机质、全氮、速效磷、有效铁、过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶与产量达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。从相关系数的大小来看,对产量影响最大的土壤养分因子是速效磷 (0.5314),其次是有机质 (0.5237),最小为全氮 (0.4849);对产量影响最大的土壤酶因子是碱性磷酸酶 (0.6527),其次是过氧化氢酶 (0.5439)、酸性转化酶 (0.5400);对产量影响最大的土壤微量元素是有效铁,其余均很小。

表 1 影响棉田土壤质量的主要因子间的相关性

Table 1 Correlation analysis of attributes of soil quality

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>
X <sub>1</sub>	1.0000													
X <sub>2</sub>	0.9523**	1.0000												
X <sub>3</sub>	0.8172**	0.7435**	1.0000											
X <sub>4</sub>	0.4919*	0.6066**	0.3840*	1.0000										
X <sub>5</sub>	0.2453	0.2480	0.2110	0.1564	1.0000									
X <sub>6</sub>	0.1900	0.2810	0.1306	0.3613	0.8326**	1.0000								
X <sub>7</sub>	0.3315	0.4265*	0.1898	0.3253	0.7277**	0.8883**	1.0000							
X <sub>8</sub>	0.1839	0.2809	0.1385	0.2792	0.2803	0.2661	0.2624	1.0000						
X <sub>9</sub>	0.7934**	0.7987**	0.6665**	0.2306	0.2235	0.1589	0.3154	0.0749	1.0000					
X <sub>10</sub>	0.6377**	0.5775**	0.5312**	0.0581	-0.1747	-0.2006	-0.1095	0.1286	0.6529**	1.0000				
X <sub>11</sub>	0.8846**	0.8491**	0.8123**	0.2871	0.0986	0.0210	0.1717	0.1518	0.8302**	0.6839**	1.0000			
X <sub>12</sub>	0.6354**	0.5688**	0.6100**	0.3443	-0.2675	-0.2889	-0.1904	0.1392	0.4459*	0.6870**	0.6102**	1.0000		
X <sub>13</sub>	0.0691	0.0224	0.3010	0.0671	-0.4567*	-0.3057	-0.2961	0.0800	-0.1315	0.1675	0.1298	0.3440	1.0000	
X <sub>14</sub>	0.5237**	0.4849**	0.5314**	0.1859	0.4952**	0.3562	0.3920	0.2944	0.5439**	0.5400**	0.6527**	0.3893	0.0883	1.0000

注:\* 0.05 水平显著;\*\* 0.01 水平显著;X<sub>1</sub>~X<sub>14</sub>依次代表有机质、全氮、速效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶、多酚氧化酶、产量。

土壤速效养分之间达到极显著相关。土壤有机质是土壤中各种营养元素特别是氮、磷的重要来源,它和全氮、速效磷、速效钾的相关系数分别

为 0.9523、0.8172、0.4919,说明土壤养分间存在互相协调性。土壤微量元素(除有效锌外)之间达到极显著相关。以上结果说明,土壤养分以及

土壤微量元素之间是彼此相互影响,而不是孤立的。

土壤酶主要来自土壤微生物和植物根系,而微生物和植物生产状况均与土壤肥力水平关系密切。许多研究表明,土壤肥力受土壤酶影响,并与土壤酶活性密切相关<sup>[5-8]</sup>。土壤酶之间的相关性表明,除多酚氧化酶之外,其余 4 种酶之间均达到显著、极显著水平。多酚氧化酶参与腐殖质的形成,过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶则反映了有机质的矿化过程,它们之间表现出较强的相关性。表明土壤酶不仅具有专一性,同时还具有共性。这些有共性的土壤酶,其总体活性在某种程度上反映土壤肥力水平的高低。

土壤养分和土壤酶的相关性分析表明,土壤养分(有机质、全氮、速效磷)和土壤酶(过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶)的相关性比较高,且均达到极显著水平,说明这 4 种酶活性越高,土壤有效养分含量越高。多酚氧化酶与土壤肥力的相关性较差,这与前人<sup>[7]</sup>的研究结果一致,说明多酚氧化酶对土壤肥力变化的敏感性较低。从相关系数大小看,土壤养分与土壤酶相关系数依次为:有机质>全氮>速效磷。可见,棉田土壤过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶

的大小能够反映出土壤养分水平的高低。因此,用土壤过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶作为评价土壤肥力的指标具有一定可靠性。

土壤酶与微量元素的相关性表明,过氧化氢酶、碱性磷酸酶与微量元素呈正相关,酸性转化酶、脲酶、多酚氧化酶与有效铁、有效锰和有效铜呈显著负相关,说明多酚氧化酶活性越高,土壤有效铁、有效锰和有效铜含量越低。

**2.1.2 回归分析和通径分析。**将过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶与主要肥力因子进行逐步回归,得到土壤酶对土壤养分指标的回归方程(表 2)。土壤过氧化氢酶与土壤全氮、速效钾的相关系数都为极显著,但由于  $P_{\text{全氮}} \rightarrow \text{CAT}$  的通径系数较大并为正值,说明全氮对过氧化氢酶的影响大于速效钾。有机质对酸性转化酶的通径系数大于速效钾,更大于有效铁,说明有机质对酸性转化酶的影响大于速效钾,而有效铁对酸性转化酶的效应最小。全氮、速效磷、速效钾、有效铜是与土壤碱性磷酸酶相关的 4 个指标,以土壤全氮对碱性磷酸酶的直接通径系数最大(0.8728),说明土壤中全氮是影响土壤碱性磷酸酶的最重要指标之一。对土壤脲酶作用最显著的土壤养分指标是有机质。

表 2 土壤酶活性与土壤养分的逐步回归分析和通径分析

Table 2 Stepwise regression analysis and path analysis of soil enzymes activities by soil nutrients

土壤酶	回归方程	F 值	决定系数	直接通径系数
CAT	$Y_{\text{CAT}}=0.7954+17.8728X_2-0.0035X_4$	35.5649**	0.7399	$P_{\text{全氮}} \rightarrow \text{CAT}; 1.0424^{**}; P_{\text{速效钾}} \rightarrow \text{CAT}; -0.4018^{**}$
INV	$Y_{\text{INV}}=123.2362+261.1598X_1-0.9744X_4-1.031X_5$	12.0634**	0.6013	$P_{\text{有机质}} \rightarrow \text{INV}; 0.8790^{**}; P_{\text{速效钾}} \rightarrow \text{INV}; 0.3211^*$ $P_{\text{有效铁}} \rightarrow \text{INV}; -0.3400$
AP	$Y_{\text{AP}}=2.6164+612.0226X_2+2.6505X_3-0.1122X_4-1.9319X_7$	41.6435**	0.8787	$P_{\text{全氮}} \rightarrow \text{AP}; 0.8728^{**}; P_{\text{速效磷}} \rightarrow \text{AP}; 0.3129^{**};$ $P_{\text{速效钾}} \rightarrow \text{AP}; -0.3109^{**}; P_{\text{有效铜}} \rightarrow \text{AP}; -0.1588$
URE	$Y_{\text{URE}}=8.0801+7.2458X_1-0.044X_5$	18.3227**	0.5945	$P_{\text{有机质}} \rightarrow \text{URE}; 0.7459^{**}; P_{\text{有效铁}} \rightarrow \text{URE}; -0.4505^{**}$

注: CAT、INV、AP、URE 依次代表过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶。

**2.1.3 主成分分析。**由表 3 可知,前 4 个特征值大于 1,因此提取前 4 个主成分。其中,第一个主成分的方差占有所有方差的 46.95%,几乎占总方差的一半,前 4 个主成分的方差贡献率达 80.89%,所以,选前 4 个主成分已经足够描述土壤养分、土壤酶性状。

将土壤养分、土壤酶主成分进行分析计算,

并计算各因子在主成分上的载荷;因子载荷=(特征化向量 $\times$ 特征值<sup>1/2</sup>)<sup>2</sup>。由表 3 可见,第一主成分综合了有机质、过氧化氢酶、全氮、有效锰、碱性磷酸酶的变异信息,其中有机质、全氮、过氧化氢酶是与有机质矿化有关的指标,可以看成是反映土壤中养分的综合指标;第二主成分综合了脲酶、转化酶、有效铁的主要信息,可以看成是反映

碳、氮转化的指标;第三、四主成分综合了速效磷、速效钾的主要信息,可以看成是速效养分的综合指标。第一、二主成分的累积方差贡献率最大,因此,对土壤肥力起着主要作用。从分权系数

来看,过氧化氢酶、酸性转化酶、碱性磷酸酶、脲酶都在第一、二主成分内,因此,证明这4种酶类可以反映土壤肥力水平的高低。

表3 供试棉田土壤养分、土壤酶主成分计算结果

Table 3 Principal component analysis of soil nutrients and soil enzymes in tested cotton soil

测定项目	主成分				因子载荷			
	1	2	3	4	1	2	3	4
X <sub>1</sub>	0.3774	0.1177	0.0244	-0.0201	0.8692	0.0293	0.0007	0.0004
X <sub>2</sub>	0.3720	0.1053	-0.0247	-0.0488	0.8445	0.0235	0.0008	0.0025
X <sub>3</sub>	0.1184	-0.2605	0.6261	0.1667	0.0856	0.1435	0.4919	0.0290
X <sub>4</sub>	0.0676	0.1784	0.0261	0.9071	0.0279	0.0673	0.0009	0.8575
X <sub>5</sub>	0.2629	-0.4229	-0.0533	-0.1001	0.4218	0.3783	0.0036	0.0104
X <sub>6</sub>	0.3678	-0.0968	-0.0142	0.0099	0.8256	0.0198	0.0003	0.0001
X <sub>7</sub>	0.2839	-0.3568	-0.2287	0.1452	0.4919	0.2693	0.0656	0.0220
X <sub>8</sub>	0.2575	-0.1241	0.0113	0.1294	0.4047	0.0326	0.0002	0.0174
X <sub>9</sub>	0.3769	-0.0717	0.1587	-0.1501	0.8669	0.0109	0.0316	0.0235
X <sub>10</sub>	0.2628	0.4344	-0.1953	0.1053	0.4215	0.3991	0.0479	0.0116
X <sub>11</sub>	0.3401	0.2012	0.1198	-0.1667	0.7059	0.0856	0.0180	0.0290
X <sub>12</sub>	0.1440	0.4912	-0.1059	-0.1744	0.1265	0.5104	0.0141	0.0317
X <sub>13</sub>	-0.0422	0.2623	0.1795	-0.0830	0.0109	0.1455	0.0404	0.0072
特征值	6.1029	2.1152	1.2549	1.0421				
百分率/%	46.95	16.27	9.65	8.02				
累计百分率/%	46.95	63.22	72.87	80.89				

注:因子载荷1、2、3、4分别指各主成分上承载的各因子的方差百分率。

### 3 讨论与结论

土壤酶是土壤生态系统生理活性最强的组分,参与腐殖质的形成与矿化、动植物和微生物残体的分解与转化以及土壤有机、无机化合物的各种氧化还原反应等一切复杂的生物化学过程,其活性大小反映了土壤酶在土壤养分的循环代谢以及植物生长所需养分的供给过程中起到的重要作用,是衡量土壤微生物活性和土壤生产力的重要指标。有关土壤酶与土壤肥力关系的报道很多。刘庆新等<sup>[11]</sup>研究表明,土壤有机质、全氮、碱解氮、速效钾与土壤过氧化氢酶和3种水解酶均呈极显著相关,土壤酶可以作为土壤肥力的评价指标;罗珠珠等<sup>[12]</sup>认为土壤有机质、养分与碱性磷酸酶和酸性转化酶呈极显著相关,可以作为衡量土壤肥力水平的指标。本实验对大面积多样点棉田土壤养分和土壤酶的关系研究表明,土壤酶与土壤养分之间呈极显著相关关系,说明土壤酶对土壤养分的形成、积累起着重要作用,这与前人<sup>[5-8,11-13]</sup>的结果略有不同,可能与成土母质、气候

条件、栽培耕作制度等有关。

土壤养分是土壤肥力的最重要指标,也是作物最直接的养分来源。因此,摸清影响土壤的主要肥力因子对全面衡量土壤质量具有现实意义。本文对影响土壤酶的土壤养分因子进行途径分析,结果表明,全氮是影响过氧化氢酶、碱性磷酸酶的最主要因子。因此,提高土壤全氮含量能改善土壤过氧化氢酶的活性,减轻土壤中有害物质的积累,对减轻棉花病害,提高棉花产量有重要意义。有机质是影响酸性转化酶、脲酶的主要因子。主成分分析表明土壤酶是土壤的主要成分。棉花产量与过氧化氢酶、转化酶和碱性磷酸酶活性以及土壤有机质、全氮和速效磷都存在极显著的相关性,并且土壤酶活性与棉花产量之间的相关性优于土壤养分指标。这表明,选用合适的土壤酶作为评价土壤肥力的指标,比单纯土壤养分来评价土壤肥力更加全面和灵敏。同时,多种酶的共性关系也可以作为综合评价土壤肥力指标的标志之一。尽管土壤微量元素与棉花产量和土

壤酶的相关性较低,但是锌、锰具有提高根系对氮、磷的吸收、根系生长发育及棉株的生物学产量作用<sup>[14]</sup>,也是棉田土壤养分的限制因子<sup>[15-16]</sup>,因此微量元素对产量形成仍具有不可忽视的作用。将土壤酶与土壤速效养分相结合作为深入研究土壤肥力的评价指标,对棉田土壤酶学评价以及培肥土壤在南疆棉田土壤质量研究中未见报道。

#### 参考文献:

- [1] 张 炎,毛端明,王讲利,等. 新疆棉花平衡施肥技术的发展现状[J]. 土壤肥料,2003(4): 7-10.  
ZHANG Yan, Mao Duan-ming, Wang Jiang-li, et al. Developing status of balanced fertilization technology of cotton in Xinjiang [J]. Soils and Fertilizers, 2003(4): 7-10
- [2] 关松荫,沈桂琴,孟照鹏,等. 我国主要土壤剖面酶活性状况[J]. 土壤学报,1984,21(4): 368-380.  
GUAN Song-yin, Shen Gui-qin, Meng Zhao-peng. Soil enzymatic activity status in China major soil profiles[J]. Acta Pedologica Sinica, 1984, 21(4): 368-380.
- [3] DORAN J W, Zeisler M R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality[J]. Appl Soil Ecol, 2000, 15: 3-11.
- [4] 曹 慧,孙 辉,杨 浩,等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1): 105-109.  
CAO Hui, Sun Hui, Yang Hao, et al. A review: soil enzyme activity and its indication for soil quality[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2003, 9(1): 105-109.
- [5] 耿玉清,白翠霞,赵铁蕊,等. 北京八达岭地区土壤酶活性及其与土壤肥力的关系[J]. 北京林业大学学报,2006,28(5): 7-11.  
GENG Yu-qing, Bai Cui-xia, Zhao Tie-rui, et al. Soil enzyme activity and its relationship with the soil fertility in Badaling Mountain Area of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(5): 7-11.
- [6] 刘建新. 不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J]. 土壤通报,2004,35(4): 523-525.  
LIU Jian-xin. Correlative research on the activity of enzyme and soil nutrient in the different types of farmland[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(4): 523-525.
- [7] 邱丽萍,刘 军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3): 277-280.  
QIU Li-ping, Liu Jun, Wang Yi-quan, et al. Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(3): 277-280.
- [8] 袁 亮,李絮花,李 润,等. 设施栽培土壤磷酸酶活性与土壤养分的关系[J]. 山东农业科学,2007(2): 80-83.  
YUAN Liang, Li Xu-hua, Li Run, et al. Soil phosphatase activity and its relation with soil nutrient content in sheltered planting fields [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2007(2): 80-83.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 刘庆新,吴发启,刘海斌,等. 纸房沟流域土壤酶活性与土壤肥力关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5): 1100-1106.  
LIU Qing-xin, Wu Fa-qi, Liu Hai-bin, et al. Study on the relationships between soil enzyme activities and soil fertility in Zhi-fanggou Watershed[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(5): 1100-1106.
- [12] 罗珠珠,黄高宝,Li Guang-di,等. 保护性耕作对旱作农田耕层土壤肥力与土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5): 1085-1092.  
LUO Zhu-zhu, Huang Gao-bao, Li Guang-di, et al. Effect of conservation tillage on soil nutrients and enzyme activities in rainfed area [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(5): 1085-1092.
- [13] 张 昊,杨清香,朱孔方,等. 抗生素对小麦根际优势微生物生长的影响[J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2008,36(5): 114-118.  
ZHANG Hao, Yang Qing-xiang, Zhu Kong-fang, et al. Influence of antibiotics on the growth of bacterial strains dominant in wheat rhizosphere[J]. Journal of Henan Normal University: Natural Science, 2008, 36(5): 114-118.
- [14] 高柳青,田长彦,胡明芳. 土壤锌、锰胁迫对棉花氮、磷养分吸收的影响[J]. 资源科学,1999,21(3): 72-76.  
GAO Liu-qing, Tian Chang-yan, Hu Ming-fang. The impact of soil Zinc and Manganese stress on cotton absorption of nutrient nitrogen and phosphorus[J]. Resources Science, 1999, 21(3): 72-76.
- [15] 张 炎,王讲利,李 馨. 新疆棉田土壤养分限制因子的系统研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6): 57-60.  
ZHANG Yan, Wang Jiang-li, Li Pan, et al. Study on limiting factors of soil nutrient in Xinjiang cotton field[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 19(6): 57-60.
- [16] 范君华,龚明福,刘 明,等. 南疆干旱区连作棉田土壤养分及生物活性的初步研究[J]. 棉花学报,2009,21(2): 127-132.  
FAN Jun-hua, Gong Ming-fu, Liu Ming, et al. Preliminary research on soil nutrients and bioactivity in continuous cropping cotton fields of dryland in south Xinjiang[J]. Cotton Science, 2009, 21(2): 127-132.