

阿特拉津对不同肥力土壤蔗糖酶活性的影响

辛承友¹, 朱鲁生¹, 王 军¹, 孙瑞莲¹, 赵秉强²

(1. 山东农业大学, 山东 泰安 271018; 2. 中国农科院土壤与肥料研究所, 北京 100081)

摘 要:采用现场采集土壤样品、室内施药培养方法,研究了除草剂阿特拉津对 4 种长期定位施肥处理下土壤蔗糖酶活性的影响。结果表明,阿特拉津对不同肥力土壤中蔗糖酶的影响有明显差异。CK、NPK、NPK + S 土壤受影响规律相似,施药初期对土壤蔗糖酶的影响较小,激活或抑制率随着处理时间延续呈现“升-降-升”的规律,第 4 d 和第 16 d 的激活影响最明显。NPK + M 土壤蔗糖酶处理当天受到明显的激活作用,此后就受到较强的抑制作用。按处理时间比较可以看出 4 种土壤蔗糖酶的激活率以 NPK 为最高,NPK + S、CK 依次次之;而 NPK + M 土壤蔗糖酶整体处于被抑制状态。同一处理时间下 4 种土壤都以阿特拉津浓度为 20 mg · kg⁻¹ 处理时激活率最大。

关键词:阿特拉津; 土壤蔗糖酶活性; 土壤肥力

中图分类号:X131.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2004)03-0479-05

Effect of Atrazine on Soil Invertase Under Different Soil Fertilities

XIN Cheng-you¹, ZHU Lu-sheng¹, WANG Jun¹, SUN Rui-lian¹, ZHAO Bing-qiang²

(1. Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. Soil Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The effects of atrazine under different concentrations on soil invertase in four long-term fertilization soils were studied. There existed significant differences in the effects of atrazine on soil invertase among different fertility soils. Similarly, the activity of soil invertase changed small under CK, NPK as well as NPK + S in the early treatment, and showed an “up-down-up” rule during the experiment. The effects were most obvious in the 4th and 16th day after treatment. The soil invertase in NPK + M was activated evidently on the day of treatment, and afterwards, was inhibited very strongly. According to the treatment time, the activate rate of soil invertase in NPK was the highest, the NPK + S's was the second and the CK's was the lowest. However, the soil invertase activity of NPK + M was inhibited mostly. The activate rate of the soil invertase was the biggest among the four soils when the concentration of atrazine was 20 mg · kg⁻¹ at the same treatment time.

Keywords: atrazine; soil invertase activity; soil fertility

土壤蔗糖酶广泛存在于土壤中,直接参与土壤有机质的代谢过程^[1]。一般情况下土壤肥力越高,蔗糖酶活性越强。蔗糖酶活性不仅能够表征土壤生物学活性强度,也可以作为评价土壤熟化程度和土壤肥力的指标^[2]。

阿特拉津是一种用于防除玉米、甘薯、甘蔗、果园中的阔叶杂草及部分禾本科杂草的三嗪类除草剂。阿特拉津虽然是一种低毒除草剂,但由于它被微生物矿

化十分缓慢,在土壤中的残留半衰期长达 4~57 周,而且由于该除草剂在世界范围内广泛使用已达 45 年,因此不可忽视该除草剂对土壤肥力和农产品品质的影响,并注意研究与其相关的生态环境问题。我国从 20 世纪 80 年代初开始使用阿特拉津,近年来使用面积不断扩大,1996 年全年的使用量为 1 800 t,2000 年为 2 835.2 t^[3],每年用量平均以 20% 的速度递增。尤其是在华北和东北地区使用更加广泛,仅辽宁一省就有 53 万 hm² 土地在使用阿特拉津除草,使用量超过 1 600 t^[4]。土壤蔗糖酶活性与土壤理化性质密切相关。土壤作为毒物容纳场所,任何影响土壤性质的因素都将对蔗糖酶活性有不同程度的影响,国内外很多学者报道了不同肥力条件或农药对土壤蔗糖酶活力的影

收稿日期: 2003-09-28

基金项目:科技部社会公益研究专项基金项目(2001DIA10004);山东农业大学博士后科研基金(22023)

作者简介:辛承友(1977—),男,山东安丘人,硕士研究生,主要从事农药生态毒理研究。

联系人:朱鲁生,E-mail: lushzhu@sdau.edu.cn

响^[5~17],但是农药对不同肥力条件下土壤蔗糖酶影响的报道比较少见。本文旨在了解使用阿特拉津对几种不同肥力土壤蔗糖酶的影响规律,从而间接反映该药对土壤肥力状况的影响,以便为经济合理地使用该药及提高肥料的利用率、减少环境污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试的 4 种土壤为褐潮土,属潮土类,采自国家褐潮土壤肥力和肥料效益监测基地(北京·昌平)长期定位试验田。该试验田自 1990 年设置,至今已经连续 12 a,试验前(1990 年)耕层土壤主要理化性质为:有机质含量 12.30 g·kg⁻¹,全氮 0.80 g·kg⁻¹,全磷 1.52 g·kg⁻¹,全钾 17.50 g·kg⁻¹,速效氮 36.07 mg·kg⁻¹,速效磷 11.16 mg·kg⁻¹,速效钾 78.61

mg·kg⁻¹,pH 8.82。
本试验 4 种土壤的处理为:(1) CK: 种植,不施肥;(2) NPK: 每茬施用一定比例的 N、P 和 K 肥;(3) NPK + M: 施用的 N、P、K 肥同(2)再加有机肥;(4) NPK + S: 施用的 N、P、K 肥同(2)再加上干玉米秸秆。N、P、K 分别指施 N 150 kg·hm⁻²、P₂O₅ 75 kg·hm⁻²、K₂O 37.5 kg·hm⁻²,有机肥指施厩肥 22 500 kg·hm⁻²,玉米秸秆指施干玉米秸秆 3 000 kg·hm⁻²。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。试验小区面积为 200 m²,不设重复,各处理均实行玉米-小麦一年两熟连作。处理后土壤的理化性质见表 1。

本试验土样采集于 2002 年 4 月,均为 0~20 cm 耕层土壤。每个处理随机取 5 个点,剔除石砾和植物残根等杂物,混合制样,装入袋中。

1.2 药品和试剂

表 1 供试土壤的理化性质
Table 1 Physical and chemical characters of the experimental soils

处理	有机碳/g·kg ⁻¹	全氮 N/g·kg ⁻¹	全磷 P/g·kg ⁻¹	碱解氮 N/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹
CK	13.20	0.73	0.58	55.78	1.48	70.00
NPK	13.20	0.78	0.55	66.93	1.90	70.00
NPK + M	15.00	0.83	0.62	65.39	19.45	90.00
NPK + S	16.10	0.93	0.90	76.16	86.20	100.00

95.5% 阿特拉津原药;蔗糖,甲苯,磷酸二氢钠,磷酸氢二钠,碘化钾,浓硫酸,硫代硫酸钠,无水碳酸钠,氯化钠,可溶性淀粉,无水硫酸铜,酒石酸钾钠,氢氧化钠等均为分析纯;自制二次重蒸水。

1.3 试验方法

试验原理:本试验采用硫代硫酸钠滴定法测定。土壤蔗糖酶活性以 24 h 后单位土重消耗的 0.1 mol·L⁻¹ 的 Na₂S₂O₃ 溶液的毫升数表示。根据蔗糖的非还原性,用生成物(葡萄糖和果糖)还原啡啉溶液中的铜,根据生成的氧化亚铜的量求出糖的含量^[3]。此法操作简便,结果精确性高。

操作步骤:取上述供试新鲜土样过 1 mm 筛,调节土壤含水量为田间最大持水量的 60%,每种土样 200 g 置入广口瓶中,添加阿特拉津标准溶液,使其在土壤中的浓度分别为 0,1,5,10,20,50,100 mg·kg⁻¹,塞上棉塞,于 25℃±1℃生化培养箱中培养。每隔一天用称重法调节含水量,使含水量在试验期内保持恒定。每处理设两个重复,同时作无基质的对照和无土壤的对照。于处理后的第 0,1,4,7,10,13,16 d,分别取每个处理的土样 10 g 两份(对照,样品),用硫代硫酸钠滴定法测定。

记录消耗的 Na₂S₂O₃ 的量(mL)。计算结果蔗糖酶活性以阿特拉津对土壤蔗糖酶的抑制-激活率表示,其值大于零表明具有激活作用,小于零表明具有抑制作用,负号仅代表抑制。阿特拉津对土壤蔗糖酶的抑制或激活率的计算方法:

抑制或激活率=(b-a)/a×100%
式中:a 为不加农药处理的土样所消耗的 Na₂S₂O₃/mL;b 为加农药处理的土样所消耗的 Na₂S₂O₃/mL。

2 结果与讨论

2.1 阿特拉津对不同肥力土壤蔗糖酶的抑制或激活作用

以处理浓度为横坐标,抑制或激活率为纵坐标作图,不同处理时间阿特拉津对 4 种不同肥力条件土壤蔗糖酶的影响情况见图 1~7。

由图 1 可以看出处理当天即添加农药阿特拉津 3 h 后,NPK + M 土壤蔗糖酶受到了很强的激活作用,激活率最高达到 27.34%;NPK,NPK + S 受到微弱的激活作用,激活率不超过 10%;而 CK 土壤蔗糖酶受影响较小,平均维持在原始活性水平。

由图 2 可以看出处理第 1 d NPK + M 的土壤蔗糖

酶活性水平迅速下降,表现出受到了抑制作用,阿特拉津浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时活性抑制率达到 12.53%。NPK、NPK + S 的蔗糖酶活性得到激活,活性上升到 4 种土壤的最高,CK 土壤蔗糖酶受到微弱的激活作用,活性水平有所升高。

第 0、1 d 每种土壤的蔗糖酶活性总体表现为先升高再下降,在阿特拉津浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时活性水平最高。该结果与 Sabra FS 等^[17]报道的除草剂低浓度 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 对土壤蔗糖酶有刺激作用、而高浓度 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 则有抑制作用相似。

由图 3 可以看出处理第 4 d 阿特拉津对 NPK 土壤的蔗糖酶激活影响在 4 种土壤蔗糖酶活性中最高;

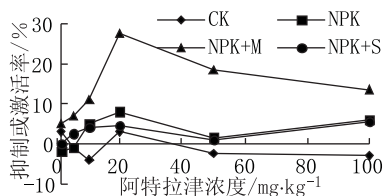


图 1 第 0 d 抑制或激活率

Figure 1 The inhibit or activate rates of soil invertase on the day of treatment

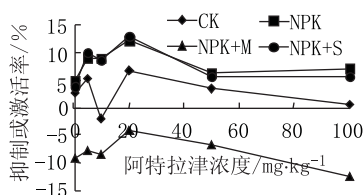


图 2 第 1 d 抑制或激活率

Figure 2 The inhibit or activate rates of soil invertase on the 1st day after treatment

阿特拉津对 NPK + M 蔗糖酶低浓度时有一定的激活作用,而高浓度时则抑制其活性;NPK + S 和 CK 土样蔗糖酶基本上受到激活作用,相比较第 0 d 和第 1 d 活性升高。

由图 4 可以看出,处理第 7 d 4 种土壤的蔗糖酶活性均下降,其中 NPK + M 土壤整体受抑制比其他土壤明显,特别在阿特拉津浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时受到的抑制最大,抑制率达到 16.78%;NPK 在阿特拉津浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时受到的激活最高,激活率为 10.45%。NPK + S 和 CK 的蔗糖酶活性受到的激活作用同样地降低。

从前 4 次测定结果可以看出,4 种土壤的蔗糖酶活性水平发生了显著变化。处理当天,土壤蔗糖酶活性水平比较为: NPK + M > NPK > NPK + S > CK, 该

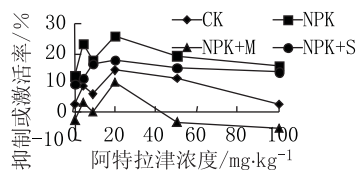


图 3 第 4 d 抑制或激活率

Figure 3 The inhibit or activate rates of soil invertase on the 4th day after treatment

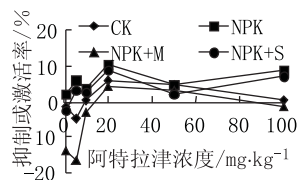


图 4 第 7 d 抑制或激活率

Figure 4 The inhibit or activate rates of soil invertase on the 7th day after treatment

结果与袁玲等^[18]报道的结果一致。到处理第 1 d, NPK + M 土壤蔗糖酶活性迅速下降, NPK 和 NPK + S 的则升高,而 CK 变化不明显。到处理第 4 d 和第 7 d, 4 种土壤的蔗糖酶活性水平比较发生了显著变化,基本为: NPK > NPK + S > CK > NPK + M。这可能是由于处理当天除草剂阿特拉津对 4 种土壤微生物的作用较小,所以土壤蔗糖酶活性水平比较与长期施肥条件下酶活性水平比较相一致;之所以蔗糖酶活性受到激活特别是 NPK + M 土壤蔗糖酶,可能是由于土壤中大量的有机质对阿特拉津的吸附作用或者是添加的阿特拉津被土壤微生物分解后作为酶反应的底物所致。随着处理时间的延长,由于不同肥力条件下土壤的微生物群落不同,所受阿特拉津的影响不同,土壤蔗糖酶活性水平发生了显著差异。

由图 5 可以看出处理第 10 d NPK、NPK + S、CK 土壤蔗糖酶受到阿特拉津的激活作用继续增大,而 NPK + M 依然受到抑制作用。由图 6 可以看出处理第 13 d 阿特拉津对 NPK 蔗糖酶依然是激活作用,但激活率有所下降;NPK + S、CK 土壤蔗糖酶活性下降明显,除阿特拉津浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时对蔗糖酶轻微的激活作用外,其他全是抑制作用;而 NPK + M 蔗糖酶活性基本没发生变化,仍然是受到抑制作用。每种土壤蔗糖酶的活性变化走势同前 4 次测定基本相似,阿特拉津浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时对蔗糖酶的激活作用仍然最大,总体趋势是先升高再降低。

由图 7 可以看出处理第 16 d NPK + S、CK 土壤蔗糖酶又受到了激活作用。NPK 土壤蔗糖酶活性增大明显,其中阿特拉津浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时对 NPK

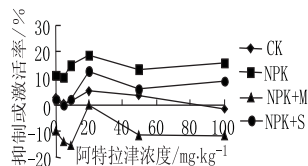


图5 第10 d抑制或激活率

Figure 5 The inhibit or activate rate of soil invertase on the 10th day after treatment

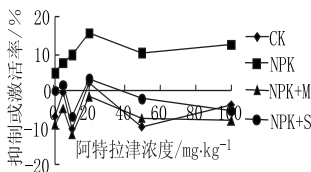


图6 第13 d抑制或激活率

Figure 6 The inhibit or activate rates of soil invertase on the 13th day after treatment

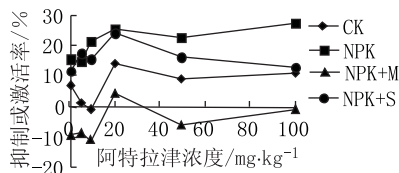


图7 第16 d抑制或激活率

Figure 7 The inhibit or activate rates of soil invertase on the 16th day after treatment

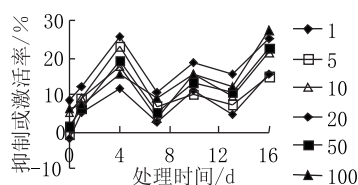


图9 NPK处理抑制或激活率

Figure 9 The inhibit or activate rates of soil invertase under the NPK treatment

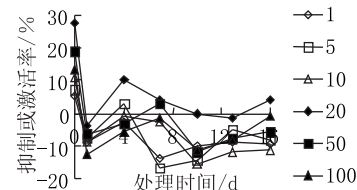


图10 NPK + M处理抑制或激活率

Figure 10 The inhibit or activate rates of soil invertase under the NPK + M treatment

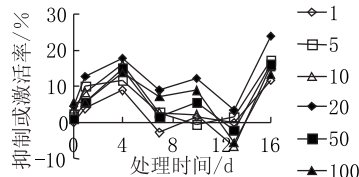


图11 NPK + S处理抑制或激活率

Figure 11 The inhibit or activate rates of soil invertase under the NPK + S treatment

蔗糖酶活性的激活最大, 激活率达到了 27.15%。阿特拉津对 NPK + M 的蔗糖酶活性影响变化很小, 仍然表现为抑制作用; 自处理第 10 d 开始阿特拉津对 4 种土壤蔗糖酶活性水平的影响规律与处理第 4 d 和第 7 d 的规律维持一致, 活性水平比较同样为: NPK > NPK + S > CK > NPK + M。

2.2 不同肥力土壤中蔗糖酶的变化

以时间为横坐标、以阿特拉津对蔗糖酶的抑制或激活率为纵坐标作图, 结果见图 8 ~ 11。

由图 8 ~ 11 可以看出, 阿特拉津对 NPK、NPK + S、CK 土壤的蔗糖酶活性影响规律基本一致, 处理初始激活较低, 随处理时间激活作用逐渐增大, 处理第 4 d 时达到一个峰值, 而后又下降、回升, 在处理第 16 d 时又达到一个峰值, 受激活比较明显。这可能是由

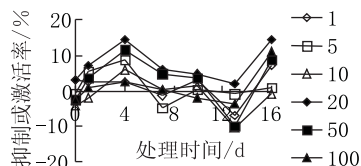


图8 CK处理抑制或激活率

Figure 8 The inhibit or activate rates of soil invertase under the control

于阿特拉津在土壤微生物的作用下能被土壤微生物分解、利用并促进土壤微生物自身的生长, 微生物细胞合成酶的数量增加, 阿特拉津对这些酶产生一定的激活作用^[19, 20]; 在处理前期这种作用比较明显, 处理第 4 d 时达到一个峰值; 随着处理时间的延续, 阿特拉津不断作为底物被微生物降解, 在土壤中的含量下降, 对土壤蔗糖酶的激活作用也不断减小, 当降低到一个水平以后, 阿特拉津对土壤蔗糖酶不再起作用, 土壤蔗糖酶活性开始回升, 故而处理第 16 d 又达到一个峰值。其中 NPK 土壤可能由于长期使用 N、P、K 肥, 土壤含有的微生物数量少, 阿特拉津对土壤微生物的影响失活较快, 从处理第 7 d 就开始回升。而 NPK + M 土壤蔗糖酶在处理当天受到较强的激活作用, 阿特拉津浓度为 20 mg · kg⁻¹ 时对其激活率甚至达到了 27.34%, 此后其活性水平整体处于抑制状态。这可能是由于 NPK + M 土壤含有大量的有机质, 微生物群落对阿特拉津比较敏感所致。

由图 8 ~ 11 比较还可看出阿特拉津浓度为 20 mg · kg⁻¹ 时对 4 种不同肥力土样蔗糖酶活性影响始

终处在最高水平。其他浓度对土壤蔗糖酶的影响相互交叉,规律不明显。这可能是由于土壤微生物在阿特拉津浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时比较适宜生长,能激活土壤蔗糖酶的活性;而在其他浓度下不适宜,激活作用不规律。

3 结论

(1) 阿特拉津对 NPK 土壤蔗糖酶活性的激活影响始终最大,这说明长期施用 N、P、K 肥不但能提高土壤的肥力,而且能提高土壤对除草剂阿特拉津的耐受能力,在这类土壤中阿特拉津在保证除草效果的前提下同时提高了土壤蔗糖酶的活性。

(2) NPK + S 肥力比 NPK + M 高,使用阿特拉津后实验结果表明,土壤蔗糖酶的活性也是 NPK + S 比 NPK + M 高,说明秸秆比有机肥更能提高土壤对外来化学物质的耐受能力和土壤蔗糖酶的活性。

(3) 阿特拉津对 NPK + M 土壤蔗糖酶活性的抑制作用,说明有机肥对除草剂阿特拉津比较敏感,在这类土壤中使用阿特拉津能降低这类土壤蔗糖酶的活性。

(4) 阿特拉津浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时对土壤蔗糖酶的激活影响最大,可能在该条件下阿特拉津刺激土壤微生物生长,从而提高了土壤蔗糖酶的活性。

参考文献:

- [1] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988. 263 – 269.
- [2] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986. 274 – 278.
- [3] Sintein B. Evaluating the environmental fate of atrazine in France[J]. *Chemosphere*, 1996, 32(12): 2441 – 2456.
- [4] 叶常明, 雷志芳, 弓爱君, 等. 阿特拉津生产废水排放对水稻危害的风险分析[J]. 环境科学, 1999, 20(3): 82 – 84.
- [5] 依艳丽, 夏艳玲, 郭 梅, 等. 磁场处理对土壤蔗糖酶和淀粉酶活性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1997, 28(3): 205 – 209.
- [6] 刘春生, 常红岩, 孙百晔, 等. 外源铜对土壤果树系统中酶活性影响的研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 37 – 44.
- [7] Miyamoto K, Ito E, Yamamoto H, Ueda J, Kamisaka S. Gibberellin – enhanced growth and sugar accumulation in growing subhooks of etiolated

- Pisum sativum* seedlings: effects of actinomycin D on invertase activity, soluble sugars and stem elongation[J]. *Plant Physiol.* 2000, 156 (4): 449 – 453.
- [8] 李春九, 马国瑞, 石伟勇, 等. 新型有机无机复肥对土壤及蔬菜产量品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25 (4): 392 – 396.
- [9] Parthasarathi K, Ranganathan LS. Aging effect on enzyme activities in pressmud vermicasts of *Lampito mauritii* (Kinberg) and *Eudrilus eugeniae* (Kinberg)[J]. *Biol fertil soils*, 2000, 30(4): 347 – 350.
- [10] Bulant C, Gallais A, Matthys Rochon E, Prioul J L. Xenia effects in maize with normal endosperm. II. Kernel growth and enzyme activities during grain filling[J]. *Crop Science Society of America*, 2000, 40 (1): 182 – 189.
- [11] Vaughan D, Ord B G, Buckland S T, Duff E I, Campbell C D. Distribution of soil invertase in relation to the root systems of *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. and *Acer pseudoplatanus* L. during development of young plants[J]. *Plant and Soil*, 1994, 167(1): 73 – 77.
- [12] Ligetfalusi Kovacs I. Assay of biological activity in forest soils by incubation tests[J]. *Agrokemia es Talajtan*, 1990, 39(3 – 4): 433 – 438.
- [13] Ross D J, Speir T W, Cowling J C, Feltham C W. Soil restoration under pasture after lignite mining management effects on soil biochemical properties and their relationships with herbage yields[J]. *Plant and Soil*, 1992, 140 (1): 85 – 97.
- [14] Januszek K. Enzymatic activity of soils and the viability of common firs (*Abies alba* Mill.) in southern Poland[J]. *Polish Journal of Soil Science*, 1990, 23 (2): 175 – 182.
- [15] Gianfreda L, Sannino F, Violante A. Pesticide effects on the activity of free, immobilized and soil invertase[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(9): 1201 – 1208.
- [16] Pyun Y R, Jo J S, Park J W, Shin H H. Effects of oxygen on invertase expression in continuous culture of recombinant *Saccharomyces cerevisiae* containing the SUC2 gene[J]. *Appl Microbial Biotechnol*, 1999, 51 (3): 334 – 339.
- [17] Sabra F S, Mansee A H, Khattab M M. Residual effect of three common herbicides on certain soil enzyme activity[J]. *Alexandria Journal of Agricultural Research*, 1997, 42(2): 89 – 99.
- [18] 袁 玲, 杨邦俊, 郑兰君, 等. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 300 – 306.
- [19] 朱南文, 闵 航, 陈美慈, 等. 甲胺磷对土壤中磷酸酶和脱氢酶活性的影响[J]. 农村生态环境, 1996, 12(2): 22 – 24, 64.
- [20] Wainwright M. A Review of the effects of pesticides on microbial activity in soil[J]. *Soil Science*, 1978, 29: 287 – 298.