

# 大豆轮作与连作对黑钙土酶活性和动力学特性的影响

张广娜<sup>1,2</sup>, 陈利军, 陈振华<sup>1,2</sup>, 张玉兰<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:**大豆连作减产是制约大豆单产提高的重要因素, 拟通过对大豆连作、大豆-玉米轮作和大豆-高粱轮作制度下土壤酶活性及酶动力学特性的研究, 阐明大豆轮作与连作对土壤生物学质量的影响。测定了与土壤碳、氮、磷、硫转化有关的 9 种酶的酶活性 ( $\alpha$ -半乳糖苷酶、 $\beta$ -半乳糖苷酶、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶、脲酶、蛋白酶、磷酸单酯酶、磷酸二酯酶、芳基硫酸酯酶), 以及  $\beta$ -葡萄糖苷酶、脲酶、蛋白酶、磷酸单酯酶、磷酸二酯酶和芳基硫酸酯酶的动力学参数。结果发现: 大豆-玉米轮作全硫量降低幅度最大; 大豆-玉米轮作制度下土壤  $\beta$ -半乳糖苷酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶和蛋白酶的活性与大豆连作相比有显著提高。大豆-高粱轮作制度下除  $\beta$ -半乳糖苷酶活性显著低于大豆连作外, 其它均与连作方式无显著差异。大豆-玉米轮作制度显著降低了  $\beta$ -葡萄糖苷酶和磷酸二酯酶的  $K_m$  值, 显著提高蛋白酶、磷酸单酯酶和芳基硫酸酯酶的  $V_{max}$  值, 以及磷酸单酯酶和磷酸二酯酶的  $V_{max}/K_m$  值。大豆-高粱轮作制度可以显著降低土壤脲酶的  $K_m$  值, 显著提高脲酶和芳基硫酸酯酶的  $V_{max}/K_m$  值。3 种植制度下, 大豆-玉米轮作制度对酶活性的提高作用较大。

**关键词:**大豆; 轮作; 连作; 酶活性; 动力学特性

中图分类号: S154.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2008)05-0795-06

## Effects of Different Cropping Systems of Soybean on Chernozem Enzyme Activities and Kinetic Parameters

ZHANG Guang-na<sup>1,2</sup>, CHEN Li-jun<sup>1</sup>, CHEN Zhen-hua<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu-lan<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110016, Liaoning; <sup>2</sup>Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

**Abstract:** Continuous cropping decrease soybean yields. To understand the effects of different cropping systems of soybean on the activities and kinetic parameters of enzymes related to the C, N, P and S transformation in chernozem, surface soil (0-20 cm) samples were collected from the experimental fields under soybean continuous cropping, soybean-maize rotation, and soybean-sorghum rotation in Daqing City of Heilongjiang Province, and the activities of  $\alpha$ - and  $\beta$ -galactosidase,  $\alpha$ - and  $\beta$ -glucosidase, urease, protease, phosphomonoesterase, phosphodiesterase, and arylsulphatase, as well as the kinetic parameters of  $\beta$ -glucosidase, urease, protease, phosphomonoesterase, phosphodiesterase, and arylsulphatase were measured. The results showed that under soybean-maize rotation, the activities of  $\beta$ -galactosidase,  $\beta$ -glucosidase and protease increased significantly, while arylsulphatase activity had the greatest decrease, compared with those under soybean continuous cropping. Under soybean-sorghum rotation, the activities of all test enzymes except  $\beta$ -galactosidase had no significant differences with those under soybean continuous cropping. Soybean-maize rotation decreased the  $K_m$  value of  $\beta$ -glucosidase and phosphodiesterase but increased the  $V_{max}$  value of protease, phosphomonoesterase and arylsulphatase as well as the  $V_{max}/K_m$  ratio of phosphomonoesterase and phosphodiesterase significantly, while soybean-sorghum rotation decreased the  $K_m$  value of urease but increased the  $V_{max}/K_m$  ratio of urease and arylsulphatase significantly. Compared with other two cropping systems soybean-maize rotation can increase soil enzyme activity better.

**Key words:** Soybean; Rotation; Soybean continuous cropping; Soil enzyme activities; Dynamic parameters

大豆 (*Glycine max* L.) 属于豆科大豆属一年生 草本植物, 由于其在油料、食用及饲料等方面的作用

收稿日期: 2008-06-03

基金项目: 中科院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX3-SW-445); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD10B01)。

作者简介: 张广娜 (1983 - ), 女, 硕士, 研究方向为土壤植物营养。E-mail: klikli2002@163.com。

通讯作者: 陈利军, 研究员。E-mail: ljchenchina@hotmail.com。

而受到了广泛关注。近几年来,大豆需求日益增多,加上市场价格的上涨,推动大豆播种面积逐年增大,种植方式日益多样化(大豆-玉米、大豆-高粱、大豆-小麦等)。据研究,大豆产量因种植方式不同而各异。以我国为例,大豆连作已成为制约单产提高的重要因素,主要为土壤养分偏耗、土壤水分亏缺、土壤 pH 值降低、土壤生物区系的变化和土壤酶活性变化等<sup>[1-2]</sup>。有文献表明<sup>[3-5]</sup>,轮作可以提高大豆产量,但具体原因没有一致的定论<sup>[6-7]</sup>。有些学者认为是水分利用效率的改变引起的;有些则认为是大豆根系生长状况的变化引起的。

土壤酶在土壤生化功能方面起着重要的作用,包括土壤有机质的形成与降解,营养元素的转化循环,以及土壤外源物质(如杀虫剂、除草剂)的降解等<sup>[8-9]</sup>。土壤酶能够快速响应土地利用方式的改变和土地管理方式的变化,经常被用作土壤质量评价的指标<sup>[9-12]</sup>。国内大豆种植条件下土壤酶活性的研究主要集中在连作对土壤酶活性的影响,其中转化酶、磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶和纤维素酶研究较多<sup>[13-14]</sup>,而关于大豆轮作对土壤酶活性影响的研究较少,系统地研究与土壤碳、氮、磷、硫转化有关的酶活性特征更少。葡糖苷酶酶促小分子碳水化合物生成糖,为微生物提供能量,是在碳循环过程中起关键作用的一组酶<sup>[8-9]</sup>。其最具代表性的 $\beta$ -葡糖苷酶,是关乎纤维素降解过程中最后限速步骤的酶类<sup>[8]</sup>;  $\alpha$ -葡糖苷酶能断裂葡糖苷和麦芽糖中的葡糖苷键,又名麦芽糖酶<sup>[15]</sup>;  $\alpha$ -半乳糖苷酶催化二糖水解的酶,又称蜜二糖酶<sup>[8,15]</sup>、 $\beta$ -半乳糖苷酶酶促半乳糖苷生成半乳糖和酚<sup>[15]</sup>。蛋白酶酶促水解蛋白质,最终生成植物可利用的有效氮,脲酶催化水解尿素生成氨,两种酶均在氮循环中起重要作用<sup>[15-16]</sup>。磷酸酶和芳基硫酸酯酶在磷和硫循环中各发挥着重要作用<sup>[8,15-16]</sup>。通过测定草甸黑钙土 9 种酶的活性和 6 种酶的动力学参数,探讨大豆不同种植制度下土壤生物学质量的变化,为选取合适的大豆种植模式、建立可持续发展的农业发展模式提供理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于黑龙江大庆林甸县,黑龙江八一农垦大学试验地(47°12'56"N;124°59'58"E;157 m)。供试土壤为草甸黑钙土。林甸县位于黑龙江省中西部,松嫩平原北部,隶属于黑龙江省大庆市,属北温

带大陆性气候,四季温差较大。全年晴天日数平均 110 d,年光照一般为 2530 h,年平均气温 4℃左右,无霜期 129 d,年降雨总量 300~400 mm。

### 1.2 试验设计

试验地大豆连作、大豆-玉米轮作及大豆-高粱轮作 3 个处理,作物施肥量相同,均为长效尿素(42%)300 kg·hm<sup>-2</sup>、二铵 105 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 60 kg·hm<sup>-2</sup>。采用常规耕作方式管理。作物收获后所有的地上作物残体作为饲料或燃料被移除,作物根茬秋翻时被翻入土壤。2005 年 10 月 15 日在作物收获后采集 0~20 cm 表层土,大面积多点采集混合土样。一部分土样过 2 mm 筛后,放入 4℃冰箱保鲜,试验前调节含水量至 20%,放入 25℃培养箱中恒温恒湿条件下预培养 10~15 d,待微生物活性稳定后,测定酶活性及动力学参数。另一部分混匀、风干,磨细并过 2 mm 筛,留待以后测定土壤化学性质。

### 1.3 测定指标与方法

$\alpha$ -葡糖苷酶、 $\beta$ -葡糖苷酶、 $\alpha$ -半乳糖苷酶、 $\beta$ -半乳糖苷酶、蛋白酶和脲酶底物均购自 Sigma 公司;磷酸单酯酶和磷酸二酯酶底物购自 J&K 公司;芳基硫酸酯酶底物购自 Seebio 公司。

**1.3.1 土壤酶活性测定** 根据酶底物减少量或产物生成量,采用比色法进行。采用尿素残留量法<sup>[17]</sup>测定土壤脲酶(E. C. 3. 5. 1. 5)活性;采用碱溶液中芳香族氨基酸与 Folin Ciocalteu's 酚试剂反应比色法<sup>[18]</sup>测定蛋白酶(E. C. 3. 4. 21-24)活性;采用对硝基苯酚生成法<sup>[17]</sup>测定土壤  $\alpha$ -葡糖苷酶(EC 3. 2. 1. 20)、 $\beta$ -葡糖苷酶(E. C. 3. 2. 1. 21)、 $\alpha$ -半乳糖苷酶(E. C. 3. 2. 1. 22)、 $\beta$ -半乳糖苷酶(E. C. 3. 2. 1. 23)、磷酸单酯酶(E. C. 3. 1. 3. 1)、磷酸二酯酶(E. C. 3. 1. 4. 1)、芳基硫酸酯酶活性(E. C. 3. 1. 6. 1)。每个土样均做 4 次平行测定,同时做 3 次对照测定。

**1.3.2 土壤酶动力学参数测定** 土壤酶动力学的参数可以反映土壤肥力水平的高低<sup>[12]</sup>,以及土壤酶促反应的内在机理<sup>[16]</sup>。通过设置若干底物浓度梯度,测定每个浓度下相应土壤酶活性。采用双倒数作图法来求取动力学参数 Km 和 Vmax。

Lineweaver-Burk 将 Michaelis-Menten 方程转化,得一直线方程。Lineweaver-Burk 方程形式如下:

$$1/V = K_m / \{V_{\max} \times [S]\} + 1/V_{\max}$$

以 1/V 对 1/[S] 作图,求出直线的截距 1/Vmax

和斜率  $K_m/V_{max}$ , 从而计算出  $K_m$  和  $V_{max}$ 。

$\beta$ - 葡萄糖苷酶动力学研究设 6 个底物浓度:3,7,10,20,30,50  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 土壤脲酶设 7 个底物浓度:5,10,15,20,30,40  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 蛋白酶设置 6 个底物浓度:0.375,0.5,0.667,1.0,2.0,4.0  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 磷酸单酯酶设 6 个底物浓度:0.5,1,2.5,5,15,50  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 磷酸二酯酶设 6 个底物浓度:5,7.5,10,15,30,50  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 芳基硫酸酯酶设 7 个底物浓度:0.5,1,5,10,15,25,50  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  [19]。

1.3.3 土壤化学性质指标测定 土壤含水量采用烘干法测定; 土壤 pH 采用电位法(水浸)测定; 土壤有效氮采用  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  KCl 浸提后, 用 AA3Bran + Lubbe 连续流动分析仪测定; 土壤全磷含量采用三酸消煮法提取, 钼锑抗显色后用分光光度计(Varian, carry 50)于 700 nm 处测定 [20]。土壤全碳、全氮、全硫采用元素分析仪(Elementar Vario EL III)测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 进行统计分析; 试验数值采用 Duncan 法进行单因素方差分析。

2 结果与讨论

2.1 种植制度对土壤基本化学性质的影响

从表 1 可知, 与大豆连作相比, 大豆轮作并没有使土壤 pH 值显著变化, 这与傅慧兰等 [13]、战秀梅等 [21] 及田秀平等 [22] 研究结果不一致, 原因可能是供试土壤不同及试验年限较短引起的。而作物收获后秸秆不还田仅将根茬翻进耕层, 可能是有效氮、全氮及全碳含量在 3 种植植制度下没有显著差异的原因。3 种植植制度下土壤的全磷含量表现为大豆-高粱轮作 > 大豆连作 > 大豆-玉米轮作, 大豆-高粱与大豆-玉米轮作间差异显著, 这与高粱的需磷量少有关, 而大豆-玉米轮作土壤全磷含量低可能是由于轮作处理的玉米吸磷量较高 [23]。大豆连作土壤全磷含量高于玉米茬土壤, 这与王震宇等 [24] 的研究结果一致, 于广武等 [25] 也发现大豆连作全磷含量变化不大。3 种土壤全硫含量大豆-高粱轮作与大豆连作相当均显著高于大豆-玉米轮作, 这可能是玉米需硫量大引起的。

表 1 不同种植制度下土壤的化学性质  
Fig. 1 Soil characteristics under different cropping systems

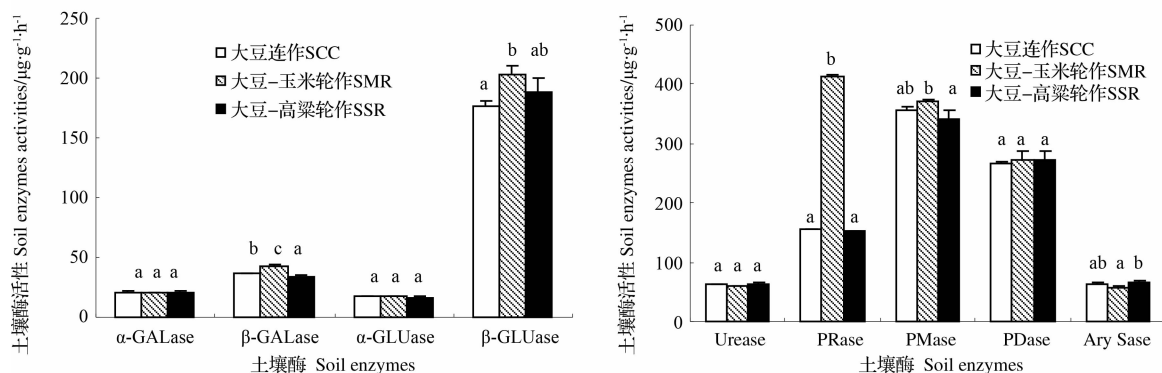
种植制度 Cropping system	pH(1:2.5)	有效氮 Available N /mg · kg <sup>-1</sup>	全碳 Total C /g · kg <sup>-1</sup>	全氮 Total N /g · kg <sup>-1</sup>	全磷 Total P /g · kg <sup>-1</sup>	全硫 Total S /g · kg <sup>-1</sup>
大豆连作 SCC	7.96 ± 0.02 a	24.95 ± 0.3 a	26.54 ± 0.3 a	2.13 ± 0.5 a	0.22 ± 0.01 ab	0.43 ± 0.01 b
大豆-玉米轮作 SMR	7.94 ± 0.01 a	24.12 ± 0.9 a	26.85 ± 0.6 a	2.09 ± 0.7 a	0.20 ± 0.01 a	0.39 ± 0.03 a
大豆-高粱轮作 SSR	7.99 ± 0.71 a	25.05 ± 0.2 a	27.60 ± 0.9 a	2.13 ± 0.3 a	0.25 ± 0.02 b	0.46 ± 0.01 b

SCC; soybean continuous cropping; SMR; soybean- maize rotation; SSR; soybean- sorghum rotation. The same below.

2.2 种植制度对土壤酶活性的影响

由图 1 可知, 大豆-玉米轮作制度下  $\beta$ - 半乳糖苷酶、蛋白酶活性较其它两种种植制度均显著提高;  $\beta$ - 葡萄糖苷酶活性显著高于大豆连作土壤。两种葡萄糖苷酶活性的提高, 一种原因是玉米根茬相比较大豆根茬对酶活性的提高效用较大 [26]; 另一种原因可能是前茬作物大豆分泌的阿魏酸、对- 羟基苯甲酸和香草酸刺激玉米生长造成的 [27], 玉米生物量增加给土壤输入碳源物质, 从而使  $\beta$ - 半乳糖苷酶和  $\beta$ - 葡萄糖苷酶表现出较高的酶活性。刘子会等 [28] 发现玉米受水分胁迫后, 玉米根中蛋白质含量增高, 而试验地为雨养农业, 年降水量较少, 故可能导致玉米根系蛋白质含量增加, 从而诱导蛋白酶表现出较高的酶活性。而大豆-高粱轮作方式下除  $\beta$ - 半乳糖苷酶活

性显著低于大豆连作土壤外, 其余均与大豆连作方式无显著差异,  $\beta$ - 半乳糖苷酶活性降低可能是高粱生长过程中产生的氰化物残留所致 [29]; 芳基硫酸酯酶活性在大豆-高粱轮作土壤上较大豆-玉米轮作表现出较高的酶活性, 由表 1 知大豆-高粱轮作土壤含硫量较高, 这可能是刺激芳基硫酸酯酶表现较高活性的原因。其它酶活性大豆轮作方式下均与连作无显著差异; 两轮作方式下, 大豆-玉米轮作土壤中的酶活性高于大豆-高粱轮作, 分析原因可能与试验地所采取的管理方式有关, 试验中仅将作物根茬翻入土壤而未将作物秸秆还田, 而高粱根系氰化物残留较高, 这可能是导致大豆-高粱轮作优势未发挥出来的主要原因。



α-GALase: α-半乳糖苷酶 α-galactosidase; β-GALase: β-半乳糖苷酶 β-galactosidase; α-GLUase: α-葡萄糖苷酶 α-Glucosidase; β-GLUase: β-葡萄糖苷酶 β-Glucosidase; Urease: 脲酶 urease; PRase: 蛋白酶 protease; PMase: 磷酸单酯酶 phosphomonoesterase; PDase: 磷酸二酯酶 phosphodiesterase; ArySase: 芳基硫酸酯酶 Arylsulphatase. The same below.

图1 不同种植制度下土壤酶活性

Fig. 1 Effects of different cropping system on activity of soil enzymes

### 2.3 种植制度对土壤水解酶动力学特性的影响

米氏常数  $K_m$  值与酶的本质属性有关,是表征酶与底物亲合力的常数。 $K_m$  值越小,酶-底物复合体的形成能力越强,形成酶-底物复合体的可能性越大;反之, $K_m$  值越大,亲合力越小,形成酶-底物复合体的可能性越小<sup>[19]</sup>。由图2可知,大豆-玉米轮作制度下 β-葡萄糖苷酶和磷酸二酯酶的  $K_m$  值显著低于大豆连作和大豆-高粱轮作土壤,说明大豆-玉米轮作显著提高这两种酶的亲合力,可能是根区微环境改善后,微生物分泌的酶量增多,继而引起酶-底物复合体形成加快。大豆-高粱轮作制度可以显著提高土壤脲酶的亲合力。3种植制度下磷酸单酯酶和芳基硫酸酯酶  $K_m$  值无显著差异。除蛋白酶外大豆-玉米轮作土壤的酶活性  $K_m$  值均较低,印证了前面所述大豆-玉米轮作土壤的较高酶活性。大豆连作土壤和大豆-高粱轮作土壤除磷酸单酯酶、芳基硫酸酯酶的  $K_m$  值和大豆-玉米轮作无显著差异

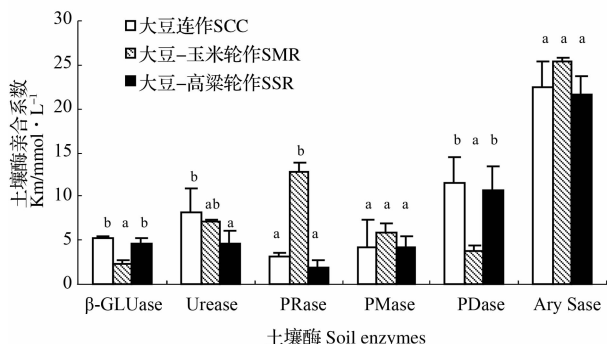
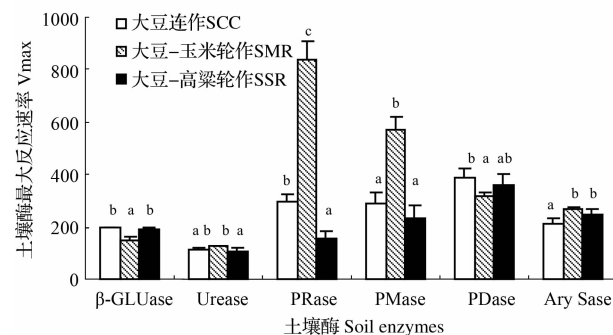


图2 种植制度对土壤酶亲合系数  $K_m$  的影响

Fig. 2 Effects of different cropping system on soil enzymes'  $K_m$

外,其它酶的  $K_m$  值均较高,相对应的这两种种植制度下除芳基硫酸酯酶活性较高外,其它酶活性均较大豆-玉米轮作土壤低。

最大反应速度  $V_{max}$  值表征酶-底物复合体分解生成产物的速度,在数值上等于酶被底物完全饱和时的酶催化反应速度。 $V_{max}$  值是表征土壤酶促过程潜在能力的容量指标<sup>[19]</sup>。由图3可知大豆-玉米轮作制度显著提高了蛋白酶、磷酸单酯酶和芳基硫酸酯酶的  $V_{max}$  值,可能是玉米根系分泌物为微生物提供了充足的碳、氮源,微生物分泌的酶数量增加引起的。大豆-高粱轮作制度下芳基硫酸酯酶的  $V_{max}$  值与连作相比显著增加,但蛋白酶却显著降低。



$V_{max}$  值以下列方式表示:(a) β-葡萄糖苷酶、磷酸单酯酶、磷酸二酯酶、芳基硫酸酯酶,  $\mu\text{g}$  对硝基苯酚  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; (b) 脲酶,  $\mu\text{g}$  尿素  $\text{N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 5 \text{h}^{-1}$ ; (c) 蛋白酶,  $\mu\text{g}$  酪氨酸  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot 2 \text{h}^{-1}$ 。

$V_{max}$  values: (a)  $\mu\text{g}$  PNP  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  for β-Glucosidase, phosphomonoesterase, phosphodiesterase, Arylsulphatase; (b)  $\mu\text{g}$  urea-N  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot 5 \text{h}^{-1}$  for urease; (c)  $\mu\text{g}$  tyrosine  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot 2 \text{h}^{-1}$ 。

图3 种植制度对土壤酶最大反应速率  $V_{max}$  的影响

Fig. 3 Effects of different cropping system on soil enzymes'  $V_{max}$

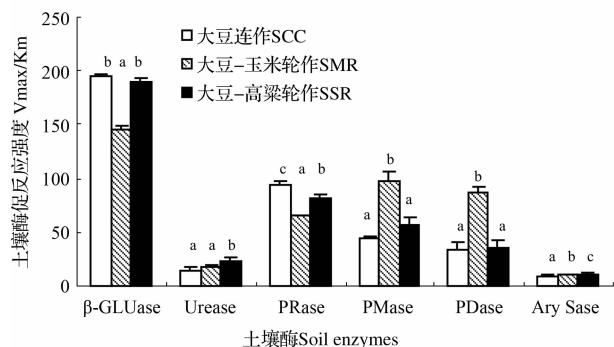


图4 种植制度对土壤酶促反应强度  $V_{\max}/K_m$  的影响

Fig. 4 Effects of different cropping system on soil enzymes'  $V_{\max}/K_m$

在较大范围内,  $V_{\max}/K_m$  不仅是衡量酶促反应初速率的重要指标,也是衡量酶催化能力的重要指标<sup>[12,30-32]</sup>。 $V_{\max}/K_m$  比值大即酶催化能力较大,反之则催化能力较小。由图4可知,大豆-玉米轮作制度能够显著提高磷酸单酯酶和磷酸二酯酶的  $V_{\max}/K_m$  值,原因可能是玉米根系能够分泌磷酸酶引起的<sup>[16]</sup>;大豆-玉米轮作土壤  $\beta$ -葡萄糖苷酶和蛋白酶的  $V_{\max}/K_m$  值显著低于其它两种种植制度,而这两种酶的酶活性在大豆-玉米轮作土壤上值最高,这说明大豆-玉米轮作土壤中此两种酶的吸附态酶量较大。大豆-高粱轮作制度下脲酶和芳基硫酸酯酶的  $V_{\max}/K_m$  值显著高于其它两种种植制度; $\beta$ -葡萄糖苷酶和蛋白酶的  $V_{\max}/K_m$  值显著高于大豆-玉米轮作土壤,由此看来,虽然大豆-高粱轮作对土壤酶活性的提高效用不明显,但是其对土壤酶催化能力的提高作用较大。

### 3 结论

相比大豆连作,大豆-玉米轮作对土壤酶活性的提高效果较好,能够显著提高  $\beta$ -半乳糖苷酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶和蛋白酶的活性;显著提高  $\beta$ -葡萄糖苷酶和磷酸二酯酶的亲和力;显著提高蛋白酶和磷酸单酯酶的最大反应速率以及磷酸单酯酶、磷酸二酯酶和芳基硫酸酯酶的催化能力。大豆-高粱轮作制度下除  $\beta$ -半乳糖苷酶活性显著低于大豆连作外,其它均与连作方式无显著差异;对比大豆-玉米轮作大豆-高粱轮作制度可以显著提高土壤酶的催化能力。

### 参考文献

[1] 王金龙,徐冉,陈存来,等.大豆连作下土壤环境条件变化的概述[J].大豆科学,2000,19(4):367-371. (Wang J L, Xu R,

Chen C L, et al. General review in the study of barrier mechanism caused by continuous soybean cropping [J]. Soybean Science, 2000,19(4):367-371.)

- [2] 杨庆凯,马占峰,李季文.黑龙江省大豆重茬问题及对策[J].大豆科学,1994,13(2):157-163. (Yang Q K, Ma Z F, Li J W. The problem and countmeasures of soybean follows soybean or follows next crop in Heilongjiang Province [J]. Soybean Science, 1994,13(2):157-163.)
- [3] Crookston R K, Kurle J E, Copeland P J, et al. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean [J]. Agronomy Journal, 1991,83:108-113.
- [4] West T D, Griffith D R, Steinhardt G C, et al. Effect of tillage and rotation on agronomic performance of corn and soybean: Twenty-year study on dark silt clay loam soil [J]. Journal of Production Agriculture, 1996,9:241-248.
- [5] Kelley K W, Long J H Jr, Todd T C. Long-term crop rotations affect soybean yield, seed weight, and soil chemical properties [J]. Field Crops Research, 2003,83:41-50.
- [6] Copeland P J, Allmaras R P, Crookston R K, et al. Corn soybean rotation effects on soil water depletion [J]. Agronomy Journal, 1993,85(2):203-210.
- [7] Nickel S E, Crookston R K, Russelle M P. Root growth and distribution are affected by corn soybean cropping sequence [J]. Agronomy Journal, 1995,87(5):895-902.
- [8] Acosta-Martinez V, Cruz L, Sotomayor-Ramirez D, et al. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed [J]. Applied Soil Ecology, 2007,35:35-45.
- [9] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31: 1471-1479.
- [10] Melero S, Madejón E, Ruiz J C, et al. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization [J]. European Journal of Agronomy, 2007,26:327-334.
- [11] Rolda'n A, Salinas-Garci'a J R, Alguacil M M, et al. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions [J]. Geoderma, 2005,129:178-185.
- [12] 张玉兰,陈利军,张丽莉.土壤质量的酶学指标研究[J].土壤通报,2005,36(4):598-602. (Zhang Y L, Chen L J, Zhang L L. Enzymological indicators of soil quality [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005,36(4):598-602.)
- [13] 傅慧兰,杨振明,邹永久,等.大豆连作对土壤酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,1996,2(4):374-377. (Fu H L, Yang Z M, Zou Y J, et al. Influence of successive cropping of soybean on soil enzyme activity [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996,2(4):374-377.)
- [14] 牟金明,宋日,姜亦梅,等.不同作物根茬还田对土壤酶活性的影响[J].吉林农业大学学报,1997,19(4):65-69. (Mu J M, Song R, Jiang Y M, et al. Effect of different crop stubble remaining in field on soil enzyme activity [J]. Journal of Jilin Agricultural U-

- niversity, 1997, 19(4): 65-69. )
- [15] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986. ( Guan S Y, Zhang D S, Zhan Z M. Soil enzymes and their methodology[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986. )
- [16] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987. ( Zhou L K. Soil enzymology[M]. Beijing: Science Press, 1987. )
- [17] Tabatabai M A. Soil enzymes[M]//Weaver R W, Angle J R, Bottomley P S. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Part 2. SSSA Book Ser. 5. Soil Science Society of America Journal. Madison, W I. 1994.
- [18] Ladd J N, Butler J H A. Short term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1972, 4: 19-30.
- [19] 张玉兰, 陈振华, 陈利军, 等. 草甸白浆土水解酶活性和动力学特性对保护性耕作方式的响应[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 163-167. ( Zhang Y L, Chen Z H, Chen L J, et al. Effects of different tillage on soil enzymes activity of Meadow Abic soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(3): 163-167. )
- [20] 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 R K. Methods of soil and agro-chemical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999. )
- [21] 战秀梅, 韩晓日, 杨劲峰, 等. 大豆连作及其根茬腐解物对大豆根系分泌物中酚酸类物质的影响[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 631-635. ( Zhan X M, Han X R, Yang J F, et al. The effect of succession cropping and soybean stubble on soybean root exudates[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(5): 631-635. )
- [22] 田秀平, 李玉梅, 韩晓日. 大豆长期连作及施肥对白浆土 pH 和铁、锌、铜、锰形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 253-255. ( Tian X P, Li Y M, Han X R. Effect of long-term successive planting of soybean and fertilization on pH and forms of Fe, Zn, Cu and Mn in albic soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2): 253-255. )
- [23] 马艳梅. 长期轮作连作对不同作物土壤磷组分的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 355-358. ( Ma Y M. Effects of long-term crop rotation and continuous cropping on phosphorus forms in different crop soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(7): 355-358. )
- [24] 王震宇, 王英祥, 陈祖仁. 重茬大豆生长发育障碍机制初探[J]. 大豆科学, 1991, 10(1): 31-36. ( Wang Z Y, Wang Y X, Chen Z R. The nature of soybean-soybean cropping[J]. Soybean Science, 1991, 10(1): 31-36. )
- [25] 于广武, 许艳丽, 刘晓冰, 等. 大豆连作障碍机制研究初报[J]. 大豆科学, 1993, 12(3): 237-243. ( Yu G W, Xu Y L, Liu X B, et al. Primary study on barrier caused by continuous soybean cropping[J]. Soybean Science, 1993, 12(3): 237-243. )
- [26] 姜岩, 张宗仁, 陈志刚, 等. 作物根茬对土壤培肥作用的研究 I. 作物根茬对土壤酶活性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1988, 10(3): 47-52. ( Jiang Y, Zhang Z R, Chen Z G, et al. Study of the effect of crop root systems on soil fertility. Effect of crop root systems on activities of soil enzyme[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jilinensis, 1988, 10(3): 47-52. )
- [27] 张淑香, 高子勤. 连作障碍与根际微生态研究 II 根系分泌物与酚酸物质[J]. 应用生态学报, 2002, 11(1): 152-156. ( Zhang S X, Gao Z Q. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology II. Root exudates and phenolic acids[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 11(1): 152-156. )
- [28] 刘子会, 郭秀林, 袁文龙, 等. 几种生理因素对玉米木质部汁液中蛋白质含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(3): 317-318. ( Liu Z H, Guo X L, Yuan W L, et al. Effects of several physiological factors on the protein content in xylem sap of maize[J]. Plant Physiology Communications, 2004, 40(3): 317-318. )
- [29] 董启锋. 高粱中氰化物的测定及其分布规律的研究[J]. 环境保护科学, 1996, 22(2): 59-61. ( Dong Q F. The research of cyanide and its distribution in sorghum[J]. Environmental Protection Science, 1996, 22(2): 59-61. )
- [30] 杨春璐, 孙铁珩, 和文祥, 等. 温度对汞抑制土壤脲酶动力学影响研究[J]. 环境科学, 2007, 28(2): 278-282. ( Yang C L, Sun T H, He W X, et al. Effect of temperature on kinetic of soil urease inhibited by Hg [J]. Environmental Science, 2007, 28(2): 278-282. )
- [31] 和文祥, 蒋新, 余贵芬, 等. 杀虫双对土壤脲酶活性特征的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 750-755. ( He W X, Jiang X, Yu G F, et al. Effect of dimehypo on soil urease activity[J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(5): 750-755. )
- [32] Gianfreda L, Cristofaro A D, Rao M A, et al. Kinetics behavior of synthetic organo- and organo-mineral-urease complexes[J]. Soil Science Society of America Journal, 1995, 59: 811-815.

## 启 事

《大豆科学》编辑部现有少量 2006 年和 2007 年过刊及精装合订本, 其中过刊每册 10.00 元, 2006 年合订本(4 期)每册 65.00 元, 2007 年合订本(6 期)每册 85.00 元。邮费 10.00 元。数量有限, 欲购从速。

汇款请寄: 哈尔滨市南岗区学府路 368 号《大豆科学》编辑部。

邮 编: 150086

电 话: 0451-86668735

E-mail: dadoukx@sina.com, ddkexue@126.com