

寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性及相关肥力因子的变化

王树起^{1,2}, 韩晓增¹, 乔云发¹, 王守宇¹, 李晓慧¹, 许艳丽¹

(¹中国科学院东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081; ²中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要:以中国科学院海伦农业生态实验站长期定位试验为平台,研究了寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性与相关肥力因子的变化及其相关性和土壤 C、N 和 C/N 的变化。结果表明:大豆轮作与连作不同年限,土壤酶活性、有效养分(碱解氮、速效磷和速效钾)含量和土壤 C、N 及 C/N 均有较大变化,与正茬相比,迎茬、连作土壤酶活性均降低,其中连作二年,脲酶、转化酶和磷酸酶活性降低幅度最大,分别比正茬降低了 29.6%、51.0% 和 41.9%;土壤 C、N 和碱解氮、速效磷及速效钾也是大豆连作二年降低最多,分别比正茬降低了 18.0%、35.3% 和 40.4%、53.6%、41.3%,随着连作年限的延长,土壤 C、N 及有效养分含量均有所恢复,但大豆长期连作,上述各种成分又呈下降趋势。土壤酶活性与土壤 C、碱解氮、速效磷、速效钾之间均存在一定的相关性,其中,脲酶、转化酶、磷酸酶与各种养分间均呈极显著正相关。因此大豆连作使土壤酶活性降低,有效养分含量下降,是造成大豆连作障碍而导致大豆减产的重要原因之一。

关键词:土壤酶;土壤养分;轮作;连作;大豆;黑土

中图分类号:S151.94 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)04-0611-05

Variation of Soil Enzymes Activity and Relevant Nutrients at Different Years of Soybean (*Glycine max* L.) Rotation, Alternate and Continuous Cropping

WANG Shu-qi^{1,2}, HAN Xiao-zeng¹, QIAO Yun-fa¹, WANG Shou-yu¹, LI Xiao-hui¹, XU Yan-li¹

(¹ Northeast Institute of Geography and Agriculture Ecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang; ² Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, Liaoning, China)

Abstract: In this paper, soil samples were collected from soybean rotation and continuous cropping fields for different years in the Hailun Agricultural Ecology Station of Chinese Academy of Sciences to study the variation of soil enzymes activity, nutrients, soil C and N contents and their relationship. The results showed that there was a great variation of soil enzymes activity, available nutrients and soil C and N contents, compared with soybean rotation, soil enzymes activity all decreased in alternate and continuous cropping, urease, invertase and phosphatase activity in continuous cropping for two years were decreased most than others, decreased by 29.6%, 51.0% and 41.9%, respectively. Moreover, soil C, N and available N, P and K decreased most in continuous cropping for 2 years than others, decreased by 18.0%, 35.3% and 40.4%, 53.6%, 41.3%, respectively. Soil C, N and different available nutrients contents reclaimed in an extent with continuous cropping years, however, long-term continuous cropping of soybean, above components showed a declined trend. There was a significantly positive correlation between urease, invertase, phosphatase and soil C, N, available N, P and K. Therefore, soil enzymes activity and available nutrients contents decreased in continuous cropping soils of soybean were important causes resulting in product decreasing of soybean in continuous cropping.

Key words: Soil enzymes activity; Nutrients; Alternate cropping; Continuous cropping; Soybean; Black soil

土壤酶参与土壤中许多重要生物化学过程,如有机质分解、养分循环等,与土壤肥力的形成密切相关^[1],可以作为判断土壤总生物活性的一种手段。土壤酶活性的变化能够改变作物吸收养分的有效性、而这些变化是土壤质量的潜在敏感指标^[2]。土壤酶活性很大程度上受土壤理化性状和作物栽培管理方式的影

响,常用来作为微生物活性和土壤肥力的指标^[3-8]。

大豆是我国乃至世界的主要作物之一,东北地区作为大豆的主产区,不同程度地存在连作问题,导致大豆生长发育受阻、产量降低^[9]、品质下降甚至绝产。一般来讲,连作大豆减产可达 30% ~ 50%,甚至高达 70% 左右,减产程度与连作年限间呈正相关^[10]。探讨连作导致大豆减产的因素及解决连作带来的生产障碍对策已成为国内外关注的焦点问题。近些年来关于连作导致大豆减产问题的研究主要集中于连作大豆对土壤物理、化学状况的影响及对土壤生物学性状的影响几方面,为此,在中国科学院海伦农业生态实验站建立了大豆轮作和连作长期定位试验区,以研究大豆长期连作带来的一系列问题,拟在此基础上对大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性及其与土壤肥力之间的相关性进行研究,为解决大豆连作障碍问题提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

长期定位试验区位于中国科学院海伦农业生态实验站(47°26'N,126°38'E),平均海拔 234 m,土壤为典型的中厚层黑土,气候属温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季,全年降水量 500 ~ 600 mm,80% 以上集中在 5 ~ 9 月。年均气温 1.5 ℃,无霜期 120 ~ 130 d,≥10℃ 的有效积温为 2400 ~ 2500 ℃。小区长 10 m,宽 7.7 m,面积 77 m²。试验始于 1991 年,每年均有豆茬小区,各处理在一定年限都循环自成轮作系统,大豆品种为黑农 35。田间管理采用常规方法人工播种,施肥量:大豆:磷酸二铵 150 kg·hm⁻²;玉米:磷酸二铵 150 kg·hm⁻²,尿素 225 kg·hm⁻²(基肥和追肥各半);小麦:磷酸二铵:84 kg·hm⁻²,尿素 168 kg·hm⁻²。供试茬口:大豆连作 15 年(S...SS),大豆轮作 15 年(麦-米-豆,WCS);休闲(Fallow):15 年未种植任何作物,为自然撂荒地,只进行农事翻耕。

1.2 样品采集

2007 年 7 月 19 日在作物生长季节进行采样。分别在正茬(RC)、迎茬(豆麦豆,AC)、连作二年(C2、连作三年(C3)、连作五年(C5)和大豆长期连作(LC)小区(每个小区 3 次重复)用土锹取 0 ~ 20 cm 土壤作为供试土样,共 6 个处理。各小区随机采 3 个样点混合,作为 1 次重复,样品采回后,立即放入 4 ℃ 冰箱中保存备用。

1.3 研究方法

土壤全碳和全氮采用 VarioEL III 型元素分析仪测定。土壤脲酶采用奈氏比色法测定(37 ℃ 培养 24 h);磷酸酶采用苯磷酸二钠法测定(37 ℃ 培养 24 h);过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法(0.1 mol·L⁻¹ KMnO₄,30 min)测定;转化酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定(37 ℃ 培养 24 h)^[11]。碱解氮、速效磷和速效钾含量采用常规方法测定^[12]。

1.4 数据统计

采用 Excel 2003、SigmaPlot 2000 和 SPSS 14.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤 C、N 和 C/N 的变化

大豆轮作与连作不同年限土壤 C、N 和 C/N 有很大变化(图 1),正茬大豆土壤全 C 和全 N 含量最高,分别为 31.0 g·kg⁻¹ 和 2.83 g·kg⁻¹,大豆迎茬种植,土壤 C 和 N 含量降低,分别比正茬降低了 6.74% 和 7.77%,表明不同茬口间的转换对土壤 C、N 有较大影响。大豆连作两年土壤 C 和 N 含量降低最多,比正茬降低了 18.0% 和 35.3%,差异达到极显著水平,随着大豆连作年限的延长,土壤 C 和 N 含量有所增加,连作五年后,土壤 C 和 N 含量又呈下降趋势。总体表现为正茬 > 迎茬 > 连作五年 > 豆长连 > 连作三年 > 连作二年,这种结果表明,大豆连作二年对土壤有机碳和全氮的影响最大,随着连作年限的延长,土壤 C、N 含量有所恢复。

土壤 C/N 表现为连作二年 > 连作五年 > 豆长连 > 连作五年、迎茬和正茬。这可能与轮作与连作造成土壤根际微生态环境的变化而使土壤微生物区系发生变化从而导致土壤有机碳转化与养分变化而引起碳氮比的变化。

2.2 寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性的变化

大豆轮作与连作不同年限不同的土壤酶活性变化明显(图 2)。大豆正茬种植,各种酶活性均为最高,脲酶活性为 16.4 ± 1.05 mg·kg⁻¹(NH₃-N,2 h),转化酶活性为 5.15 ± 0.67 mg·g⁻¹(G,2 h),磷酸酶活性为 0.40 ± 0.024 mg·g⁻¹(酚,2 h),过氧化氢酶活性为 2.96 ± 0.54 mL·g⁻¹(0.1 mol·L⁻¹ KMnO₄,30 min)。大豆迎茬种植,各种酶活性均降低,分别比正茬降低 11.6%、34.4%、32.3% 和 38.2%。大

豆连作两年土壤脲酶、转化酶和磷酸酶活性降低最多,以后又有所恢复,但大豆长期连作土壤酶活性又呈下降趋势。总体来看,土壤脲酶、磷酸酶表现为:正茬>迎茬>连作五年>连作三年>豆长连>连作二年,转化酶活性表现为:正茬>连作五年>连作三年>迎茬>豆长连>连作二年,而过氧化氢酶活性

则表现为正茬>连作五年>连作三年>豆长连>连作二年>迎茬。可以看出,土壤脲酶、转化酶和磷酸酶的变化与土壤有机碳的变化规律基本一致,而过氧化氢酶则不同,说明脲酶、转化酶和磷酸酶与土壤有机质转化有密切关系,而过氧化氢酶则不参与土壤有机质的转化。

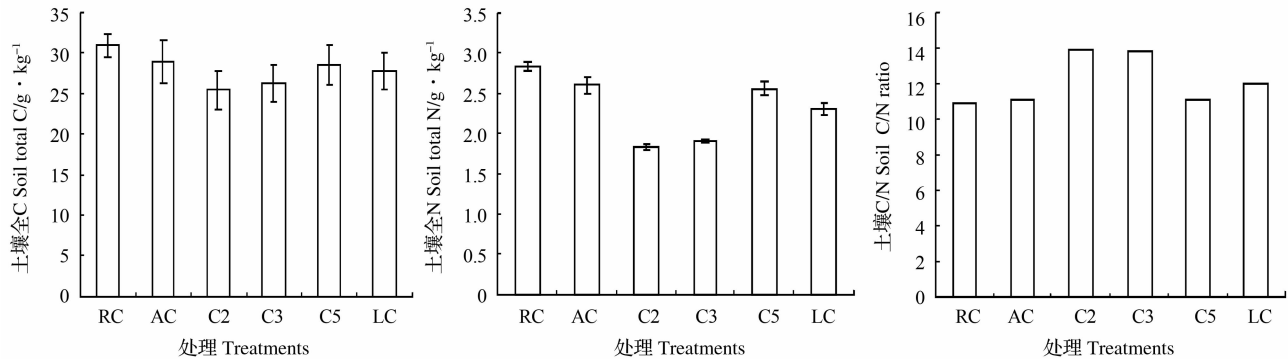


图1 大豆轮作与连作不同年限土壤全C、全N及C/N的变化

Fig.1 Soil C, N and C/N variation under different years of soybean rotation and continuous cropping

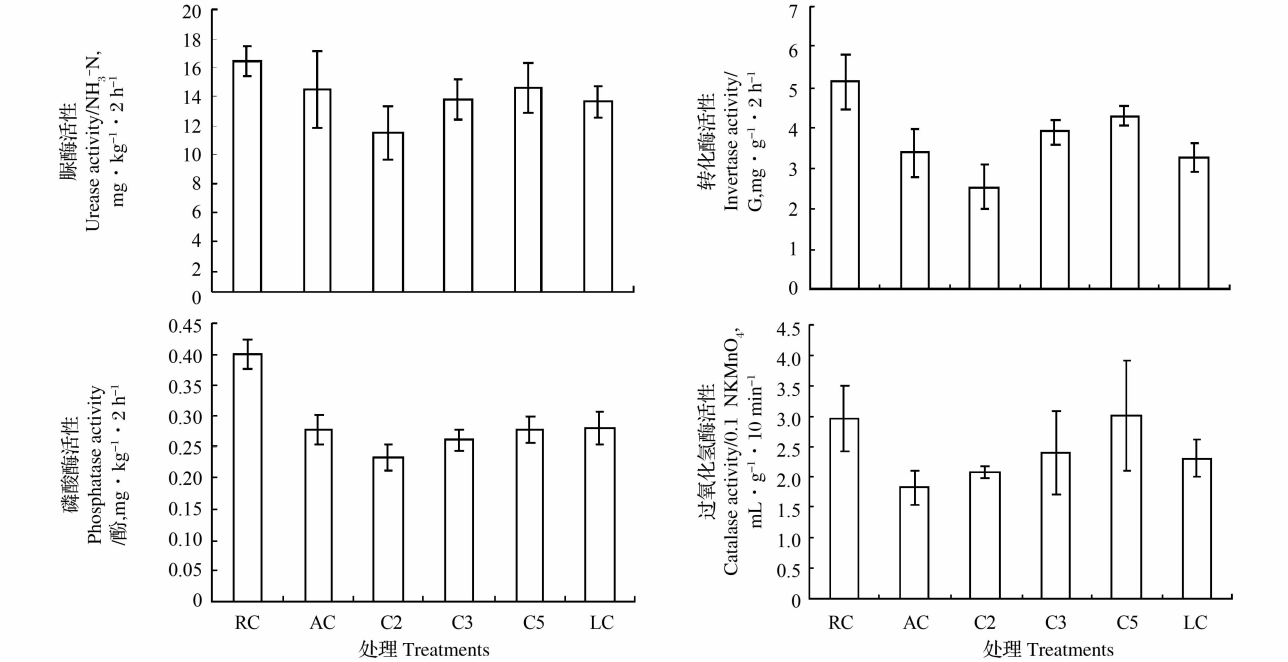


图2 大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性的变化

Fig.2 Variation of soil enzymes activity at different years of soybean rotation and continuous cropping

2.3 寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤有效养分的变化

大豆经过轮作与连作不同年限后土壤有效养分(碱解氮、速效磷和速效钾)含量均发生了变化(表1)。从表1可看出,与正茬相比,迎茬和不同连作年限土壤有效养分含量均降低,其中连作二年各种养分降低幅度最大,碱解氮、速效磷和速效钾含量分别降低了40.4%、53.6%和41.3%,表明由于大豆

连作造成土壤养分的单一消耗,连作二年后土壤有效养分含量大幅度降低,显著低于大豆正茬种植。随着连作时间的延长,各种有效养分含量又有所增加,但大豆长期连作仍然会造成土壤有效养分的耗竭,特别是速效磷和速效钾含量。所以从土壤营养角度来看,大豆连作造成了土壤有效养分亏缺,从而导致大豆连作减产。

表1 大豆轮作与连作不同年限土壤有效养分的变化

Table 1 Variation of soil available nutrients content at different years of soybean rotation and continuous cropping

处理 Treatments	碱解氮 Available N /mg · kg ⁻¹	速效磷 Available P /mg · kg ⁻¹	速效钾 Available K /mg · kg ⁻¹
RC	142.9 ± 7.56a	39.2 ± 5.29a	205.1 ± 26.5a
AC	138.8 ± 9.75a	34.5 ± 4.21b	175.2 ± 20.8b
C2	85.1 ± 1.03d	18.2 ± 8.37c	120.4 ± 11.5d
C3	107.3 ± 3.13c	30.3 ± 8.11b	140.1 ± 17.3c
C5	130.2 ± 4.70b	39.2 ± 4.45a	200.3 ± 42.4a
LC	134.3 ± 1.03ab	34.1 ± 14.7b	170.6 ± 30.6b

同列不同字母表示处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$)

Different letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level.

2.4 寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性与土壤养分间的相关关系

大豆轮作与连作条件下土壤酶活性与土壤有效养分间存在一定的相关关系(表2)。由表2可看出,脲酶、转化酶和磷酸酶与土壤C、N、碱解氮、速效磷和速效钾之间均呈极显著正相关,而过氧化氢酶与各种养分间也存在一定的相关性,但相关性不如其它酶显著。

2.5 寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性之间的相关关系

大豆轮作与连作条件下土壤酶活性间也存在一定的相关性(表3)。由表3可知,脲酶与转化酶、磷酸酶之间,转化酶与磷酸酶之间均存在极显著的正相关,而过氧化氢酶除了与转化酶间存在显著正相关外,与其它两种酶之间也存在一定的正相关,但相关性不显著。

表2 大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性与土壤养分间的相关关系(r)

Table 2 Relationship between soil enzymes activity and nutrients content at different years of soybean rotation and continuous cropping

	有机碳 Organic C	全 N Total N	碱解氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
脲酶 Urease	0.94 **	0.88 **	0.86 **	0.91 **	0.89 **
转化酶 Invertase	0.93 **	0.88 **	0.63 *	0.81 **	0.79 **
磷酸酶 Phosphatase	0.90 **	0.78 **	0.69 **	0.67 **	0.75 **
过氧化氢酶 Catalase	0.51	0.45	0.35	0.61 *	0.66 *

表3 土壤不同酶活性之间的相关关系(r)

Table 3 Relationship between different soil enzymes activity

	脲酶 Urease	转化酶 Invertase	磷酸酶 Phosphatase	过氧化氢酶 Catalase
脲酶 Urease	1.00	0.91 **	0.88 **	0.60
转化酶 Invertase		1.00	0.89 **	0.79 **
磷酸酶 Phosphatase			1.00	0.60
过氧化氢酶 Catalase				1.00

3 结论与讨论

3.1 土壤C、N和C/N的变化

寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤C、N和C/N有很大变化,由正茬变为迎茬或连作后,土壤C、N均呈下降趋势,其中连作二年,下降幅度最大,随着连作时间的延长,土壤C、N有所回升,但大豆长期连作则又呈现降低趋势。新开垦的黑土有机质含量一般为5%~8%,开垦20年内,有机质含量下降较快,然后趋于缓慢^[13]。海伦农业生态实验站正常施用化肥处理的0~20 cm土层黑土全碳含量(1991~2006年)比较稳定,基本保持在(28.90 ± 0.90)g · kg⁻¹(种植玉米)和(28.30 ± 1.20)g · kg⁻¹(种植大豆)^[14]。由正茬变为迎茬或连作后,土壤微生态环境发生了改变,导致土壤微生物区系的变化,从而使土壤有机碳周转加快。

3.2 土壤酶活性的变化

大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性发生明显改变,正茬大豆土壤酶活性最高,由正茬变为迎茬或连作后,土壤酶活性呈下降趋势,以连作二年下降幅度最大(脲酶、转化酶和磷酸酶),而过氧化氢酶则是迎茬下降幅度最大,随着连作时间的延长,土壤酶活性又有所回升,但大豆长期连作,土壤酶活性仍然呈降低趋势。这与傅慧兰等^[5]的研究结果相似。土壤酶是土壤中活跃的有机成分之一,在土壤养分循环以及植物生长所需养分的供给过程中起着重要作用。由正茬变为迎茬或连作后,由于土壤微生物种群发生改变,细菌数量减少,而真菌数量增加^[13],以及根系分泌物和微生物分泌物等的变化,导致土壤酶活性发生改变。同时,由于生物在变化环境中具有协调和适应性,而土壤酶在逆境环境条件下具

有一定的抗逆性,即相对稳定的保护容量^[14],因而随着连作年限的延长,生物适应性增强,使土壤酶的保护容量在新环境下逐步恢复^[15],其活性有所回升。

3.3 土壤养分含量的变化

与正茬相比,迎茬和不同连作年限土壤有效养分含量均降低,其中连作二年各种养分降低幅度最大,碱解氮、速效磷和速效钾含量分别降低了40.4%、53.6%和41.3%,表明由于大豆连作造成土壤养分的单一消耗,连作二年后土壤有效养分含量大幅度降低,显著低于大豆正茬种植。随着连作时间的延长,各种有效养分含量又有所增加,但大豆长期连作仍然会造成土壤有效养分的耗竭,特别是速效磷和速效钾含量。

3.4 土壤酶活性与土壤养分之间的相关性

大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性与土壤养分之间存在一定的相关性,脲酶、转化酶和磷酸酶与土壤C、N、碱解氮、速效磷和速效钾之间均呈极显著正相关,由此表明在大豆轮作与连作条件下土壤的化学性质与生物学性质是密切相关的,从而导致了大豆连作土壤微生态环境的改变,最终导致产生连作障碍而使大豆减产。在傅慧兰等^[6]的研究结果中也得到了类似的结论。

参考文献

- [1] Allison V J, Condron L M, Peltzer D A, et al. Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Josef chronosequence, New Zealand[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39: 1770-1781.
- [2] Ajwa H A, Dell C J, Rice C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization [J]. Soil Biology Biochemistry, 1999, 31: 769-777.
- [3] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究. I. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 9-13. (Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the loess plateau I. Effect of crop rotation and continuous planting on soil enzyme activities[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2003, 9(1): 9-13.)
- [4] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究. II 土壤酶活性与土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 146-150. (Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the loess plateau II. Relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2003, 9(2): 146-150.)
- [5] 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 Fertilizing Science, 1996, 2(4): 374-377.)
- [6] 傅慧兰, 邹永久, 韩丽梅, 等. 大豆连作土壤障碍因素研究 II. 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 H L, Zou Y J, Han L M, et al. Effect of continuous soybean 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.)
- [7] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 长期施肥对东北黑土酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 551-556. (Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F, et al. Effects of long-term fertilization on enzyme activities in black soil of Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(3): 551-556.)
- [8] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 不同土地利用方式对三江平原湿地土壤酶分布特征及相关肥力因子的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 150-153, 192. (Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F, et al. Characteristics of soil enzyme activity and fertility under different types of land use in wetland of Sanjiang plain[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(4): 150-153, 192.)
- [9] Sasser J N, Uzzell Jr G. Control of the soybean cyst nematode by crop rotation in combination with a nematicide[J]. Journal Nematology, 1991, 23(3): 344-347.
- [10] 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.)
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986. (Guan S Y. Soil Enzyme and its research methods[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1986.)
- [12] 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, 2000. (Lu R K. Analysis methods of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.)
- [13] 于贵瑞, 陆欣来, 韩静淑, 等. 大豆向日葵等作物连作障碍与轮作效应机理的研究初报[J]. 生态学杂志, 1988, 7(2): 1-8. (Yu G R, Lu X L, Han J S, et al. Soil sickness due to continuous cropping and mechanism of rotational effects of sunflower, soybean and other crops[J]. Chinese Journal of Ecology, 1988, 7(2): 1-8.)
- [14] 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): 237-242. (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): 237-242.)
- [15] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J]. 土壤通报, 1986, 17(3): 138-141. (Zhao L P, Jiang Y. Study on analysis method of soil phosphatase activity[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1986, 17(3): 138-141.)