

不同轮作方式对马铃薯土壤酶活性及微生物数量的影响

王丽红¹, 郭晓冬^{1,2}, 谭雪莲³, 郭天文³

(1. 甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在连续种植 2 年马铃薯的土壤上进行不同轮作方式田间试验, 探讨轮作方式对马铃薯土壤酶活性及土壤微生物数量的影响。试验结果表明: 与对照(裸地)相比, 小麦-豌豆-马铃薯轮作时土壤过氧化氢酶活性有增加的趋势; 豌豆-马铃薯-豌豆轮作条件下, 土壤的蔗糖酶活性提高, 且在马铃薯成熟期提高幅度最大, 为 47.95%。轮作条件下土壤多酚氧化酶活性低于连作; 轮作方式不同, 土壤脲酶活性变化明显, 在马铃薯块茎膨大期, 豌豆-马铃薯-豌豆轮作方式的土壤脲酶活性比小麦-马铃薯-小麦高 14.73%。马铃薯块茎膨大期根区土壤微生物数量测定结果显示: 随着连作年限的增加, 细菌数量及微生物总量降低, 真菌数量升高了 54.66%; 小麦-豌豆-马铃薯轮作后, 土壤中的细菌、放线菌数量最高, 分别为 6.40×10^6 CFU·g⁻¹ 和 2.22×10^6 CFU·g⁻¹。

关键词: 马铃薯; 轮作方式; 土壤酶活性; 微生物数量

中图分类号: S154.3 **文献标志码:** A

Effects of different crop rotations on enzyme activities and microbial quantities in potato soil

WANG Li-hong¹, GUO Xiao-dong^{1,2}, TAN Xue-lian³, GUO Tian-wen³

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Field experiments with different rotations were conducted in the soil where potato had been grown for two years. Soil enzyme activities and the number of microorganisms were tested and calculated during 4 growing periods. The results showed that compared with the control (bare), there was an increasing trend in soil catalase activity by the wheat-peas-potatoes crop rotation. Soil invertase activity was increased by the peas-potatoes-peas crop rotation and the largest increase was 47.95% at the potato maturing stage. Soil polyphenol oxidase activity by crop rotations was lower than that by continuous cropping. Soil urease activity was changed obviously under different crop rotations. The urease activity by the peas-potatoes-peas crop rotation was 14.73% higher than that by wheat-potatoes-wheat rotation during the potato tuber expansion period. The results of root zone soil microorganisms quantities during potato tuber expansion period showed that with the increase of continuous cropping years, the number of bacteria and total microorganisms went declined and fungi quantities were increased by 54.66%. The number of bacteria and actinomycetes were the highest by the wheat-peas-potatoes crop rotation reaching values of 6.40×10^6 CFU·g⁻¹ and 2.22×10^6 CFU·g⁻¹, respectively.

Keywords: Potato; crop rotation; soil enzyme activity; microorganism quantity

马铃薯是位居小麦、水稻和玉米之后的世界第四大粮食作物^[1]。甘肃省定西地区是马铃薯的主产

区, 至 2014 年, 全市马铃薯的种植面积达 19.47 万 hm², 总产量为 520.07 万 t。但是由于土地资源的限

收稿日期: 2015-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161042); 国家科技支持计划(2012BAD05B03); 甘肃省干旱生境作物学重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地开放基金项目(GSCS-2012-13)

作者简介: 王丽红(1988—), 女, 甘肃白银人, 硕士研究生, 研究方向为设施蔬菜。E-mail: 1136908692@qq.com。

通信作者: 郭晓冬, 研究员, 研究方向为蔬菜栽培生理生态。E-mail: guoxd11651@163.com。

制,该地区马铃薯连作现象非常普遍,导致作物生长发育不良,抗病能力降低,品质及产量下降,即连作障碍^[2]。以往的研究表明,引起作物连作障碍的原因是复杂的,是作物-土壤两个系统内部诸多因素综合作用的结果:土壤病原微生物数量和种类增加、土壤酶活性降低、土壤理化性质下降、土壤养分比例失调、作物根系分泌物的自毒作用等^[3]。

土壤酶活性反映了土壤中各种生物化学过程的动向和强度,是评价土壤肥力的参数之一^[4],能够快速响应土地利用方式和管理方式的改变^[5]。例如,轮作条件下的土壤转化酶、磷酸酶和脲酶活性常高于单作方式下的土壤^[6-7];吴凤芝等^[8]认为:大棚黄瓜、番茄和菜豆轮作土壤的过氧化氢酶、脲酶和转化酶活性显著高于黄瓜连作 7 年的土壤。土壤微生物在土壤肥力的形成及其植物营养物质转化过程中起到积极的作用^[9]。已有报道称,土壤微生物种群结构的失衡,导致了土壤质量的下降和作物的减

产^[10]。曹莉等^[11]研究表明:与种植豆科牧草前相比,轮作牧草后土壤中真菌/细菌最高可降低 50.72%。因此,不同作物茬口和栽培方式对土壤酶活性及微生物数量的变化具有十分重要的影响^[12-13]。本试验通过探讨马铃薯不同轮作方式下土壤酶活性及微生物数量的变化,旨在揭示马铃薯连作障碍产生的机理,为制定合理的栽培措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012—2014 年在定西市安定区团结镇唐家堡村进行,该区域海拔 2 056 ~ 2 447 m,年平均气温 6.3℃,年无霜期 140 d,年平均降水量 415.2 mm,属黄土高原半干旱区。试验前连续种植 2 年马铃薯土壤(0~20 cm 土层)的理化性质见表 1。

表 1 基础土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of basal soil samples

pH	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	有效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable N /(mg·kg ⁻¹)
8.06	11.18	1.41	24.86	258.80	30.61

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,共设马铃薯连作、轮作及裸地对照等 6 个处理,试验处理见表 2,3 次重复,共 18 个小区,小区面积为 54 m²(9 m × 6 m)。所有处理统一施肥量,每公顷 N:P₂O₅:K₂O = 210:90:60 (每小区施尿素、磷酸二铵、氯化钾分别为 2.0、1.0、0.5 kg)。供试马铃薯品种为新大坪,小麦为定西 40,豌豆为陇豌 1 号。从 2012 年开始 3 月下旬种植小麦、豌豆,小麦种植密度为 15 万苗·667m⁻²,穴播机播种;豌豆种植密度为 2.5~3.0 万苗·667m⁻²,行距 30 cm,开沟撒播;4 月中下旬种植马铃薯,密度 4 000 株·667m⁻²。供试材料不进行药剂拌种,整个试验过程不打农药、除草剂等,其余田间管理同当地大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土样采集 2014 年分别于马铃薯幼苗期、块茎膨大期、淀粉积累期、成熟期采集 0~20 cm 根区土壤样品,将土样放在阴凉处自然风干,过 1 mm 筛,4℃保存,用于测定土壤酶活性。在马铃薯块茎膨大期,各处理随机选取植株,采集 0~20 cm 根区土,将土样过 1 mm 筛,放入 4℃冰箱保存,用于微生物数量的测定。

表 2 试验处理

Table 2 Test processing

处理 Treatments	2012 年种植作物 Grew crops in 2012	2013 年种植作物 Grew crops in 2013	2014 年种植作物 Grew crops in 2014
T1	马铃薯 Potato	马铃薯 Potato	马铃薯 Potato
T2	小麦 Wheat	马铃薯 Potato	小麦 Wheat
T3	豌豆 Peas	马铃薯 Potato	豌豆 Peas
T4	小麦 Wheat	豌豆 Peas	马铃薯 Potato
T5	小麦 Wheat	马铃薯 Potato	马铃薯 Potato
CK	裸地 Bare	裸地 Bare	裸地 Bare

1.3.2 测定方法 酶活性的测定参照关松荫的方法^[14]。过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;多酚氧化酶采用碘量滴定法;脲酶采用苯酚-次氯酸钠比色法;蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸法。

细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基;真菌采用马丁氏培养基;放线菌的测定采用改良高氏 1 号培养基。采用稀释平板计数法^[15]测定细菌(10⁻⁴)、真菌(10⁻²)、放线菌(10⁻⁴)的数量,每个稀释度重复 3 次,28℃恒温培养,细菌培养 36 h,真菌培养 3 d,放线菌培养 5 d,取出计数。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 进行数据统计;采用 SPSS 19.0 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同轮作方式对土壤过氧化氢酶活性的影响

土壤中过氧化氢的积累会对作物和土壤产生毒害作用,而过氧化氢酶能够促进过氧化氢分解为水和氧气,解除过氧化氢的毒害作用^[16]。由图 1 可知:在整个生育期,各处理土壤过氧化氢酶呈现先升高再降低又升高的变化趋势:在马铃薯块茎膨大期各处理的过氧化氢酶活性达到最大值,而在淀粉积累期,土壤过氧化氢酶活性最小。在马铃薯苗期, T1、T4、T5 处理的过氧化氢酶活性显著高于 CK, T2、T3 土壤中的过氧化氢酶活性较 CK 降低了 54.29%、48.82%。在马铃薯块茎膨大期,各处理差异显著,过氧化氢酶活性的大小关系为: T4 > T1 > T5 > T3 > T2 > CK。在马铃薯淀粉积累期, T2、T4 与对照差异不显著, T1、T3 和 T5 处理的过氧化氢酶活性显著低于 CK。在马铃薯成熟期,除 T5 与 CK 差异不显著外,其他处理的值均低于 CK。总体来看,在整个生育期,与对照(裸地)相比,小麦-豌豆-马铃薯轮作时土壤过氧化氢酶活性有增加的趋势;豌豆-马铃薯-豌豆轮作条件下,土壤的过氧化氢酶活性降低。

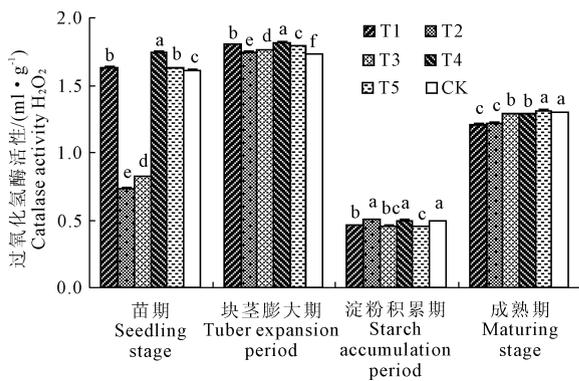


图 1 不同轮作方式对土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig. 1 The impacts of different crop rotations on soil catalase activities

2.2 不同轮作方式对土壤多酚氧化酶活性的影响

土壤多酚氧化酶参与有机质的转化和腐殖质的形成,活性过高会阻碍有机质矿化过程中产生的酚类中间产物进一步合成腐殖质,导致酚类化合物的积累,引起中毒。由图 2 可见,在马铃薯苗期, T1 处理的多酚氧化酶活性最高,较 CK 升高了 57.76%, T3、T4 处理与 CK 相比显著降低了 27.59% 和 17.24%。在马铃薯块茎膨大期,各处理的多酚氧化

酶活性均低于 CK, T1、T4 处理较 CK 显著降低了 74.58% 和 21.33%,可能原因是:在此生育期,植株吸收的养分最大,导致酶活性大幅度降低。在马铃薯淀粉积累期, T3 处理的多酚氧化酶活性显著低于 CK 37.78%, T1、T2 和 T5 的酶活性较 CK 升高了 30.03%、16.64% 和 12.67%。在马铃薯成熟期,与 CK 相比, T2、T3 处理的多酚氧化酶活性显著降低了 23.61% 和 18.06%。总体而言,马铃薯轮作土壤的多酚氧化酶活性显著低于连作,轮作有利于降低土壤的多酚氧化酶活性。

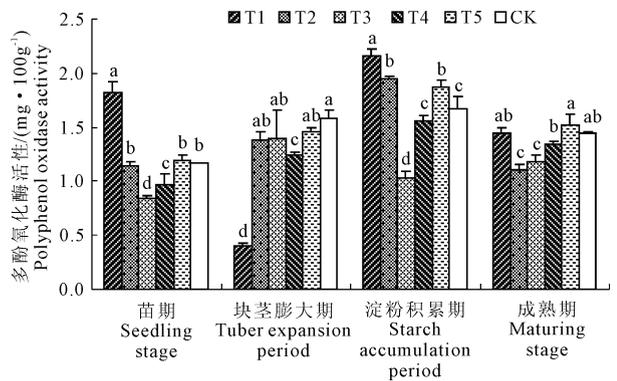


图 2 不同轮作方式对土壤多酚氧化酶活性的影响

Fig. 2 The impacts of different crop rotations on soil polyphenol oxidase activities

2.3 不同轮作方式对土壤脲酶活性的影响

土壤脲酶促进土壤氮素的转化,土壤脲酶活性的高低直接反映土壤的供氮能力。从图 3 可以看出,在马铃薯苗期, T1、T4 处理的脲酶活性较 CK 显著高出 24.11%、5.99%, T5 处理较 CK 显著降低了 3.67%。在马铃薯块茎膨大期,除 T2 处理外,其他处理的脲酶活性均显著高于 CK,且 T4 处理的脲酶活性最高,较 CK 升高了 17.71%。在马铃薯淀粉积累期,各处理脲酶活性的大小为: T3 > T2 > T1 > T4 > T5 > CK。在马铃薯成熟期,各处理的脲酶活性均较 CK 升高,其中 T3 处理显著升高了 10.34%,升高幅度最大。总体来看, T3(豌豆-马铃薯-豌豆)土壤的脲酶活性显著高于 T2(小麦-马铃薯-小麦),在马铃薯块茎膨大期升高了 14.73%。

2.4 不同轮作方式对土壤蔗糖酶活性的影响

土壤蔗糖酶是土壤碳代谢的关键酶,可以增加土壤中易溶性营养物质,能够表征土壤生物学活性的强度。由图 4 可见,在马铃薯苗期, T3 处理的蔗糖酶活性最大,较对照显著升高了 13.62%, T1、T2、T4 和 T5 分别较 CK 显著降低了 15.57%、6.71%、24.20% 和 10.86%。在马铃薯块茎膨大期, T2、T3、T4 与 CK 差异不显著, T1 和 T5 处理的蔗糖酶活性

分别较 CK 提高了 11.59% 和 29.22%。在马铃薯淀粉积累期,各处理差异显著,蔗糖酶活性的大小为: T3 > T4 > T2 > T1 > T5 > CK。在马铃薯成熟期,各处理的蔗糖酶活性显著高于 CK, T3 处理与 CK 相比显著提高了 47.95%, 各处理蔗糖酶活性的大小关系为: T3 > T2 > T4 > T1 > T5 > CK。总体而言,豌豆 - 马铃薯 - 豌豆轮作后,土壤的蔗糖酶活性显著提高。

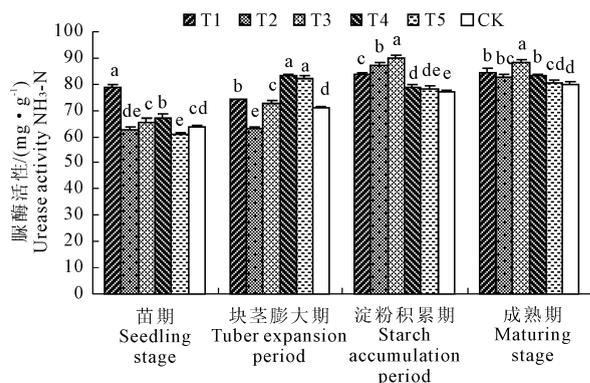


图 3 不同轮作方式对土壤脲酶活性的影响

Fig. 3 The impacts of different crop rotations on soil urease activities

2.5 不同轮作方式对马铃薯块茎膨大期土壤微生物数量的影响

由表 3 可知,各处理马铃薯块茎膨大期根区土壤中细菌的数量均高于 CK,除 T2 处理与 CK 差异不显著外, T1、T3、T4 和 T5 处理分别较 CK 显著升高 175.90%、280.12%、285.54% 和 239.16%; 各处理细菌数量的大小关系为: T4 > T3 > T5 > T1 > T2。土壤

中真菌数量的变化差异较大,与 CK 相比,各处理的真菌数量均有不同程度的升高,除 T2 处理外,其他处理的真菌数量均显著高于 CK,各处理真菌数量的大小依次是 T1 > T5 > T4 > T3 > T2, T1 处理较 T5 处理显著升高了 54.66%。与 CK 相比,马铃薯块茎膨大期根际土壤中各处理放线菌的数量均有不同程度的显著升高,其中 T4 处理的升高幅度最大,比 CK 显著升高了 76.19%, T2、T3 与 T5 之间差异不显著。各处理微生物总量的大小关系为: T4 > T3 > T5 > T1 > T2 > CK。总体而言,与小麦 - 马铃薯 - 马铃薯相比,马铃薯连作三年的细菌数量及微生物总量显著降低,真菌数量显著升高了 54.66%。小麦 - 豌豆 - 马铃薯轮作条件下,土壤的细菌、放线菌数量最高,分别为 6.40×10^6 CFU·g⁻¹ 和 2.22×10^6 CFU·g⁻¹。

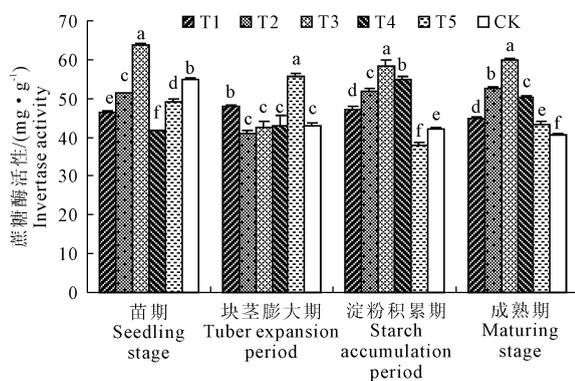


图 4 不同轮作方式对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig. 4 The impacts of different crop rotations on soil sucrase activities

表 3 各处理马铃薯块茎膨大期根区土壤中微生物数量的变化

Table 3 The changes of microbial quantities in root zone soil during the potato tuber expansion period

处理 Treatments	细菌数量 Bacteria quantities /(10^6 CFU·g ⁻¹)	真菌数量 Fungi quantities /(10^4 CFU·g ⁻¹)	放线菌数量 Actinomycetes quantities /(10^6 CFU·g ⁻¹)	微生物总量 Total microbial quantities /(10^4 CFU·g ⁻¹)
T1	4.58c	4.98a	1.89b	652.13d
T2	2.00d	1.24e	1.71c	372.25e
T3	6.31a	1.77d	1.66c	798.64b
T4	6.40a	2.20c	2.22a	864.44a
T5	5.63b	3.22b	1.64c	730.20c
CK	1.66d	1.21e	1.26d	293.44f

3 结论与讨论

土壤酶具有加速土壤生化反应速率的功能,是土壤中的生物催化剂^[17]。目前,国内外学者已对土壤酶活性做了大量研究,但是不同的作物酶活性的变化规律不同。

黄玉茜等^[18]研究表明:随着花生连作年限的增加,过氧化氢酶活性下降。白艳茹^[19]等认为,土壤

蔗糖酶和脲酶活性随连作年限的增加呈下降趋势。本试验研究表明:与对照(裸地)相比,小麦 - 豌豆 - 马铃薯轮作时土壤过氧化氢酶有增加的趋势,豌豆 - 马铃薯 - 豌豆轮作条件下,土壤的过氧化氢酶活性降低。这与吴凤芝等^[8]在设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性中的研究结论不符,这可能与轮作方式及种植作物的种类不同有关。在本试验中,豌豆 - 马铃薯 - 豌豆轮作后土壤的脲酶活性显著高于小麦 -

马铃薯-小麦,豌豆-马铃薯-豌豆轮作后,土壤的蔗糖酶活性显著提高。这与樊军,郝明德^[13]的研究结论一致,他们认为豆科作物苜蓿、豌豆、红豆草等对土壤酶活性的影响大于小麦、玉米等禾本科作物。这说明马铃薯与豌豆轮作可以提高土壤的酶活性,使土壤中易溶性的营养物质增加,使植物根系更好地吸收与利用。

土壤微生物从群落结构上分为细菌、真菌和放线菌。细菌是土壤微生物中数量最多的一个微生物类群,参与有机质的分解,氨化作用等^[20];真菌在土壤碳素和氮素循环过程中起着巨大作用,主要参与土壤中有机质的分解、腐殖质的形成、氨化作用以及团聚体的形成等^[21],放线菌与土壤肥力以及有机质转化和植物病害防治有着密切关系。

谭雪莲等^[22]研究表明:随马铃薯连作年限的增加,土壤中细菌和放线菌数量呈下降趋势,真菌呈上升趋势。董艳等^[23]认为,与连作相比,轮作有利于增加土壤细菌、放线菌数量而降低真菌数量。豆科植物因有根瘤,所以常被认为是可以分泌改善土壤微生物结构的物质的作物,Alvey 等也指出谷物与豆科植物轮作对根际微生物群落的结构有显著影响^[24]。本试验研究表明:马铃薯连作三年的细菌数量及微生物总量显著低于小麦-马铃薯-马铃薯,而真菌数量较小麦-马铃薯-马铃薯显著升高 35.34%,说明随着连作年限的增加,细菌数量及微生物总量降低,真菌数量显著升高了 54.66%;小麦-豌豆-马铃薯轮作后,土壤中的细菌、放线菌数量最高;轮作条件下,真菌数量显著降低,微生物总量有不同程度的升高,这与上述研究结果一致。也进一步说明,连作降低了微生物的数量,使土壤质量下降,而与豆科作物轮作以后,可以改善土壤微生物的结构,使土壤有利于马铃薯的生长。

由以上可见,不同作物、不同生育期土壤酶活性及微生物数量的变化规律不同。本试验仅对不同轮作方式对土壤酶活性及微生物数量的影响做了初步的分析,最佳种植模式的确定还有待进一步的试验研究。

参考文献:

[1] 贾晶霞,杨德秋,李建东,等.中国与世界马铃薯生产概况对比分析与研究[J].农业工程,2011,1(2):84-86.
[2] 裴国平,王 蒂,张俊莲.马铃薯连作障碍产生的原因与防治措施[J].广东农业科学,2010,(6):30-32.
[3] Larkin R P, Griffin T S. Control of soil borne potato diseases using

Brassica green manures[J]. Crop Protection, 2007, 26(7): 1067-1077.
[4] 关松荫.土壤酶与土壤肥力[J].土壤通报,1980,(6):41-44.
[5] 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.
[6] Dick R P, Break will D, Turco R. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrating biological indicators[C]//Doraetal. Hand book of Methods for Assessment of Soil Quality. Madison:SSSA Special Pub. 49.Soil Sci Soc Am SpecPubl, 1996:247-272.
[7] Miller M, Dick R P. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotations[J]. Soil Biol & Biochem, 1995,27:1161-1166.
[8] 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].植物营养与肥料学报,2006,12(4):554-558.
[9] 张国红,任华中,高丽红,等.京郊日光温室土壤微生物状况和酶活性[J].中国农业科学,2005,38(7):1447-1452.
[10] 马 琨,张 丽,杜 茜,等.马铃薯连作栽培对土壤微生物群落的影响[J].水土保持学报,2010,24(4):229-233.
[11] 曹 莉,秦舒浩,张俊莲,等.轮作豆科牧草对连作马铃薯田土壤微生物菌群及酶活性的影响[J].草业学报,2013,22(3):139-145.
[12] 张为政,祝廷成.作物茬口对土壤酶活性和微生物的影响[J].土壤肥料,1993,(5):12-14.
[13] 樊 军,郝明德.黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 IV.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.
[14] 关松荫.土壤酶及其研究方法[M].北京:农业出版社,1986:303-312.
[15] 范君华,刘 明,洪远新,等.不同利用方式对土壤微生物区系和酶活性的影响[J].塔里木农垦大学学报,2002,14(1):15-17.
[16] 戴 伟,白红英.土壤过氧化氢酶活性及其动力学特征与土壤性质的关系[J].北京林业大学学报,1995,16(1):37-40.
[17] 李文革,刘志坚,谭周进,等.土壤酶功能的研究进展[J].湖南农业科学,2006,(6):34-36.
[18] 黄玉茜,韩立思,韩 梅,等.花生连作对土壤酶活性的影响[J].中国粮油学报,2012,34(1):96-100.
[19] 白艳茹,马建华,樊明寿.马铃薯连作对土壤酶活性的影响[J].作物杂志,2010,(3):34-36.
[20] 何志刚,王秀娟,董 环,等.日光温室辣椒连作不同年限土壤微生物种群变化及酶活性研究[J].中国土壤与肥料,2013(1):38-42.
[21] 胡元森,刘亚峰,吴 坤,等.黄瓜连作土壤微生物区系变化研究[J].土壤通报,2006,37(1):126-129.
[22] 谭雪莲,郭晓冬,马明生,等.连作对马铃薯土壤微生物区系和产量的影响[J].核农学报,2012,26(9):1322-1325.
[23] 董 艳,董 坤,郑 毅,等.种植年限和种植模式对设施土壤微生物和酶活性的影响区系[J].农业环境科学学报,2009,28(3):527-532.
[24] Alvey S, Yang C H, Buerkert A, et al. Cereal/legume rotation effects on rhizosphere bacterial community structure in west African soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 2003,37:73-82.