

土层置换对马铃薯根际土壤酶活性及晚疫病病情指数的影响

张宏雷^{1,2}, 张 丁¹, 王秋菊³, 刘 峰³, 高中超³, 焦 峰¹, 翟瑞常¹

(1. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省农垦九三管理局, 黑龙江 嫩江 161441;
3. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 以常规施肥不置换土层为对照, 研究了 0~20 cm 和 20~40 cm 土层置换、置换后增施 15% 磷肥、置换后增施有机肥及 25% 多菌灵可湿性粉剂土壤灭菌等不同处理对马铃薯根际土壤不同土层土壤酶活性及晚疫病病情指数影响, 结果表明: 土层置换处理及置换后增施磷肥或有机肥和土壤灭菌处理, 对马铃薯田间根际不同深度土壤脲酶活性、蔗糖酶活性和磷酸酶活性均有影响。马铃薯播种后 35 d 时, 土层置换及土壤灭菌处理降低了 0~10 cm 土层土壤脲酶活性; 土层置换并增施有机肥显著提高了各土层土壤蔗糖酶活性; 土层置换并增施磷肥或有机肥可有效保持马铃薯根际土壤中磷酸酶的活性, 其中以增施磷肥效果更为明显。土层置换后增施磷肥或对表土灭菌处理可减少马铃薯晚疫病的发病率; 在播种后 77 d 时, 置换后增施有机肥的病情指数分别比不置换土壤、土层置换、置换后增施 15% 磷肥和土壤灭菌处理分别提高 17.5%、47.1%、60.8% 和 66.6%, 在土壤置换后施用有机肥不利于降低马铃薯的晚疫病发病。

关键词: 土层置换; 马铃薯; 磷肥; 有机肥; 土壤酶活性; 晚疫病病情指数

中图分类号: S156.92 **文献标志码:** A

Effects of soil layer exchange on rhizosphere soil enzyme activities and late blight disease index in potato

ZHANG Hong-lei^{1,2}, ZHANG Ding¹, WANG Qiu-ju³, LIU Feng³,
GAO Zhong-chao², JIAO Feng¹, ZHAI Rui-chang¹

(1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;
2. Land Reclamation Bureau of Heilongjiang Province, Nengjiang, Heilongjiang 161441, China;
3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150090, China)

Abstract: Compared with the conventional fertilization without soil layer exchange, the effects of different treatments, including 0~20 cm and 20~40 cm soil exchange, soil exchange with 15% phosphate or organic fertilizer application, and soil sterilization by 25% carbendazim wet powder, on the soil enzyme activity and the disease index of potato late blight in different soil layers(0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm, 30~40 cm) were studied in this paper. Results showed that the activity of soil urease, invertase and phosphatase in rhizosphere was affected by the soil layer exchange, soil exchange with 15% phosphate or organic fertilizer, and soil sterilization. At 35 days after sowing, the soil layer exchange and sterilization treatment decreased the urease activity in 0~10 cm soil layer. The soil invertase activity in each soil layer was significantly increased by soil layer exchange with 15% organic fertilizer. Soil exchange with phosphate or organic fertilizer application could maintain the phosphatase activity in the rhizosphere, and the effect of applying phosphorus fertilizer was more obvious. Moreover, soil exchange with phosphate application and soil sterilization reduced the incidence of potato late blight. At 77 days after sowing, the disease index for soil exchange with organic fertilizer was increased by 17.5%, 47.1%, 60.8%, and 66.6%, compared with CK, soil exchange, soil exchange with 15% phosphate, and soil sterilization, respectively, suggesting that application of organic fertilizer after soil exchange was not help-

收稿日期: 2016-01-20
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助(201303126); 农村领域国家科技计划(2012BAD06B00)
作者简介: 张宏雷(1966—), 男, 博士研究生, E-mail: zhl5555@163.com。
通信作者: 焦 峰(1980—), 男, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事土壤和作物营养生理研究。E-mail: jiaofeng1980@163.com。

ful to reduce the incidence of potato late blight.

Keywords: soil layer exchange; potato; phosphate fertilizer; organic fertilizer; soil enzyme activity; late blight disease index

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L) 属茄科茄属多年生草本块茎植物,总产和栽培面积仅次于小麦、水稻和玉米,为世界第四大栽培作物^[1],在保障全球粮食安全方面发挥着至关重要的作用。我国马铃薯的主要种植地区有东北、华北、西北和西南四大产区,其鲜薯产量和种植面积占全球的 25%,居世界第一位^[2-4]。近几年来,马铃薯的种植和加工产业有了稳步提升的经济效益,保障了国家的粮食安全生产,增加了农民的收入^[5-8]。马铃薯具有适应性广、产量高、营养丰富、经济效益好等特点^[9],作为重要的蔬菜和粮食兼用作物,在我国同一地块上马铃薯的连作种植越来越广泛,使得田间土壤生态平衡遭到破坏,土壤养分失调,有害菌群增加,马铃薯长势减弱,产量和品质持续下降。马铃薯属于忌连作的作物,对连作十分敏感,其连作障碍问题日益突出,制约着马铃薯产业的健康、持续发展^[6,10-12]。

马铃薯的种植面积在黑龙江省逐渐扩大,而且产区相对集中,有些地区甚至成为第一大作物。为扩大马铃薯生产规模,这些地区常常多年大规模种植,导致马铃薯产量低、连作障碍越来越严重。多年来,关于设施作物连作障碍的现象、发生的机理及缓解措施研究报道较多,对于马铃薯连作障碍的研究主要集中在连作障碍的表现和发生机理等领域^[13-17],但是对于克服或减少大面积的马铃薯连作障碍并没有提出合理的措施,主要的抗连作措施不适于大面积的马铃薯种植且比较费时,投入成本较高^[18-19]。土层置换技术在降低大面积连作障碍方面已经有突出的效果,由于土壤酶参与土壤各种生物化学反应过程,与土壤供应养分能力密切相关,土层置换在改变土壤层次的同时对土壤微生物也有一定的影响,因此本试验通过土层置换改良土壤后对土壤不同层次土壤酶活性影响及抗病性进行分析,为消除大面积马铃薯连作障碍提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验地位于黑龙江八一农垦大学农学院教学科研基地内,属松辽盆地中央坳陷区北部、松嫩平原西部,中温带大陆性季风气候区。年平均降雨 440 mm,年均蒸发量 1 600 mm,年均气温 3.4℃,无霜期 130 d,≥10℃的积温 2 840℃,土壤类型为石灰性黑

钙土(黏质伊利石混合型冷性-普通钙积干润均腐土),母质为第三纪、第四纪冲积、洪积形成的富含碳酸盐的黄土状母质。

1.2 供试材料

供试马铃薯品种为尤金,株型直立,株高 60 cm 左右,叶深绿色,薯块椭圆形,黄皮黄肉,芽眼平浅,两端丰满,为感病品种,生育期 65~70 d,属粮菜和淀粉加工兼用型品种。

1.3 试验设计

田间试验采用随机区组设计,小区内土壤为第 4 年马铃薯连作土壤。试验共设 5 个处理,分别为不置换土层施基肥(CK);置换土层施基肥(T1);置换土层且增施 15% 磷肥(T2);置换土层且增施有机肥(T3);不置换土层施基肥且施用土壤杀菌剂(H)。

除 T2 处理外,氮、磷、钾肥料施用量均采用当地常规用量,分别为 N 90 kg·hm⁻²、P₂O₅ 90 kg·hm⁻²、K₂O 45 kg·hm⁻²,T2 处理增加 P₂O₅ 施用量的 15%,即为 P₂O₅ 103.5 kg·hm⁻²,肥料类型为尿素(N 46%)、磷酸二铵(N 18%,P₂O₅ 46%)和硫酸钾(K₂O 50%),T2 处理增施的磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 18%),T3 处理增施有机肥为市售有机肥料(玉林丰田生态有机肥厂生产,桂农肥 2009 临字 1837 号,总有机质 ≥34%),施用量为 120 kg·hm⁻²,所有肥料做基肥一次施入,施肥深度 20 cm。

因考虑到腐殖质层的厚度,土层置换深度确定为 0~20 cm 和 20~40 cm 土层进行置换处理,土层置换处理的具体方法为:在田间土壤耙平未起垄的状态下,利用挖掘机分别将表层 0~20 cm 和 20~40 cm 土层挖出堆放,然后将 0~20 cm 土层土壤回填并铺平,最后将 20~40 cm 土层土壤回填至上层铺平后,机械起垄待播种,总作业深度为 40 cm。土壤杀菌采用 25% 多菌灵可湿性粉剂用土壤混拌,配成药土进行田间覆盖。

田间试验于 2014 年进行,播种日期为 6 月 5 日,每小区 5 行、行长 5 m,株距 0.25 m、行距 0.66 m,小区面积 16.5 m²,每行 20 株、每小区共种植马铃薯 100 株。

1.4 样品采集及分析

分别于马铃薯播种后 35、49、63、77 d,在各小区分为 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 取土壤样品,风干后过 1 mm 筛,用于土壤酶活性的测定;同时进

行马铃薯田间晚疫病病情指数调查。

土壤水解酶类活性的测定采用以下方法^[20]:脲酶的测定采用苯酚钠比色法;蔗糖酶的测定采用 3,5-二硝基水杨酸法;磷酸酶的测定采用磷酸苯二钠比色法。

参照农药田间药剂使用准则(一)(GB/T 17980.34—2000)中的 9 级分级标准进行马铃薯晚疫病病情分级及统计,采取每小区对角线五点取样,每点取 3 株,查全部叶片。马铃薯晚疫病病情指数计算公式为: $\sum(\text{各级病叶数} \times \text{相对级数值}) \times 100 / (\text{调查总叶数} \times 9)$ 。

2 结果与分析

2.1 土层置换对不同时期马铃薯根际土壤脲酶活性的影响

脲酶广泛存在于土壤中,其中脲酶酶促产物——氨,是马铃薯的重要氮源之一,氮肥(如尿素)的水解与脲酶有着密切的相关性,脲酶对提高氮肥利用率具有重要作用^[20]。图 1 为马铃薯不同生育时期各处理对不同土层中脲酶活性($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)变化的影响。如图所示,不同土层土壤脲酶活性的变化趋势,总体均为先升高后降低,且不同处理脲酶活

性均在播种后 63 d 时达到最大值。

0~10 cm 土层,在马铃薯播种后 35 d 时,CK 处理下土壤中脲酶活性最高;出现这种现象的原因可能是由于长期施用化肥,使得土壤表层肥力高于底层,从而提高了脲酶的活性,T1、T2、T3 处理进行了土层置换,改变了原来土壤表层的结构和生物群落,使脲酶活性有所降低,而 H 处理施用了土壤杀菌剂,减少了土壤中微生物的数量,也可能是降低脲酶活性的原因。随着马铃薯生育期的推进,CK 处理下土壤中脲酶活性出现下降的趋势,在播种后 77 d 时 CK 处理的脲酶活性明显低于 T2、T3、H 处理,表现为 $T3 > T2 > H > CK > T1$ 。

10~20 cm 土层中各处理下土壤脲酶活性总体略低于 0~10 cm 土层,而 20~30 cm 土层和 30~40 cm 土层各处理土壤中脲酶的活性明显低于 0~20 cm 土层,但在 30~40 cm 土层中 35 d 时 T1 处理脲酶活性最高,这可能是因为土层置换后将表土中存在的脲酶置换到了下层;总体分析,四个土层中变化趋势相似,不同处理下的脲酶活性均呈先升高后降低的趋势,且在播种后 63 d 时脲酶活性均出现最高值。

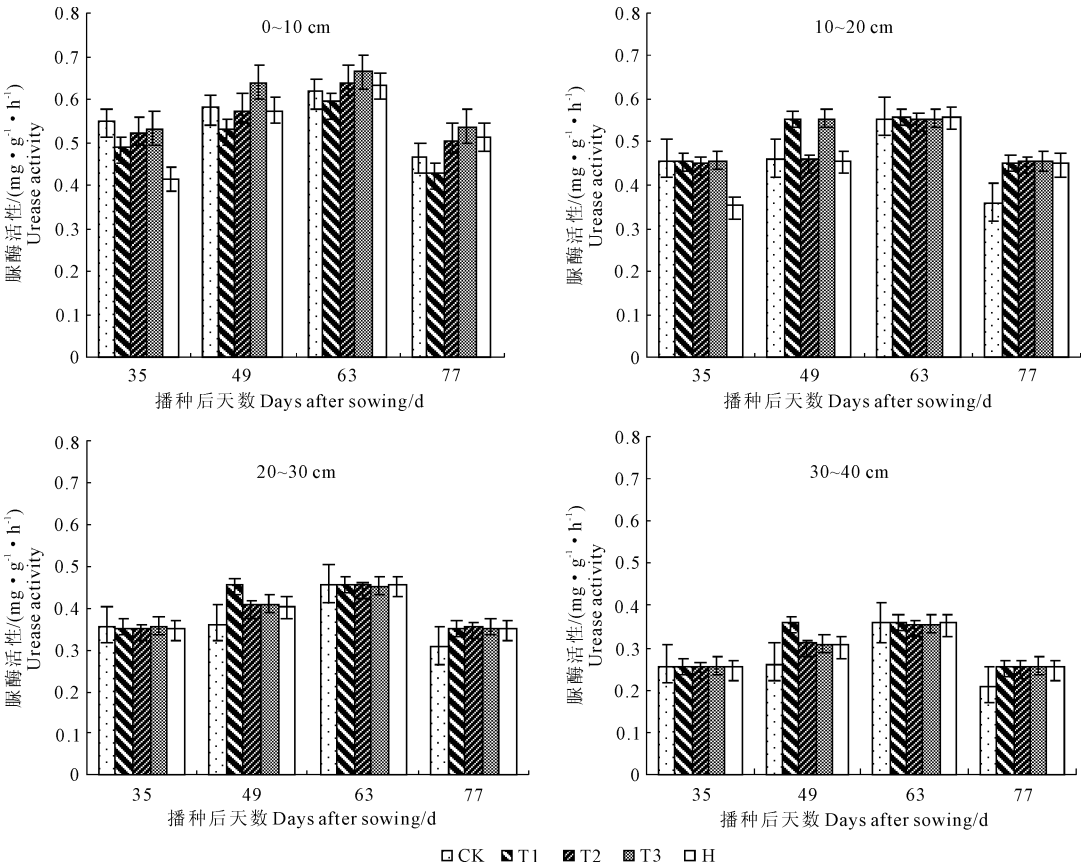


图 1 土层置换对土壤脲酶活性的影响

Fig.1 Effects of soil layer exchange on the activity of soil urease

2.2 土层置换对马铃薯根际土壤蔗糖酶活性的影响

水解酶对增加土壤中速效养分有重要的作用。研究证明,蔗糖酶与土壤中的许多肥力因子具有相关性,如土壤有机质、有效氮磷含量、微生物数量及土壤呼吸强度。一般情况下,土壤肥力越高,蔗糖酶活性越强。蔗糖酶不仅能够表征土壤生物学活性强度,也可以作为评价土壤质量、营养供应能力和肥力水平的一个重要指标^[21]。图 2 表示的为马铃薯不同生育时期各处理影响下的不同土层中蔗糖酶活性($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)的变化趋势。

0~10、10~20 cm 土层,除 T1 处理下土壤蔗糖酶活性呈下降趋势外,其它处理下土壤蔗糖酶活性均呈先上升后下降的趋势,在马铃薯块茎形成期(播种后 49 d)土壤蔗糖酶活性上升最快,然后在淀粉积

累期(播种后 63 d)出现最高值,其活性由高到低的顺序依次是:T3>T2>H>CK>T1,T1 处理在 35 d 时蔗糖酶活性最高,出现这种现象的原因可能是因为土层置换将下层土壤置换到上层,而下层土壤因容重、孔隙度及通气情况等原因,蔗糖酶活性较低。CK 处理下,不同土层在马铃薯整个采样期内蔗糖酶活性均有下降趋势,且上层土壤蔗糖酶活性的下降趋势更为明显;T3 和 T2 处理下蔗糖酶活性变化不明显,T3 处理下蔗糖酶活性略有提高。

20~30、30~40 cm 土层,T1、T2、T3 处理土壤蔗糖酶的活性随着马铃薯生长发育呈现明显降低的趋势;而 CK 和 H 处理下,蔗糖酶的活性略有下降,但总体变化并不明显。试验结果表明土层置换并增施有机肥对土层中蔗糖酶活性的提高有显著作用。

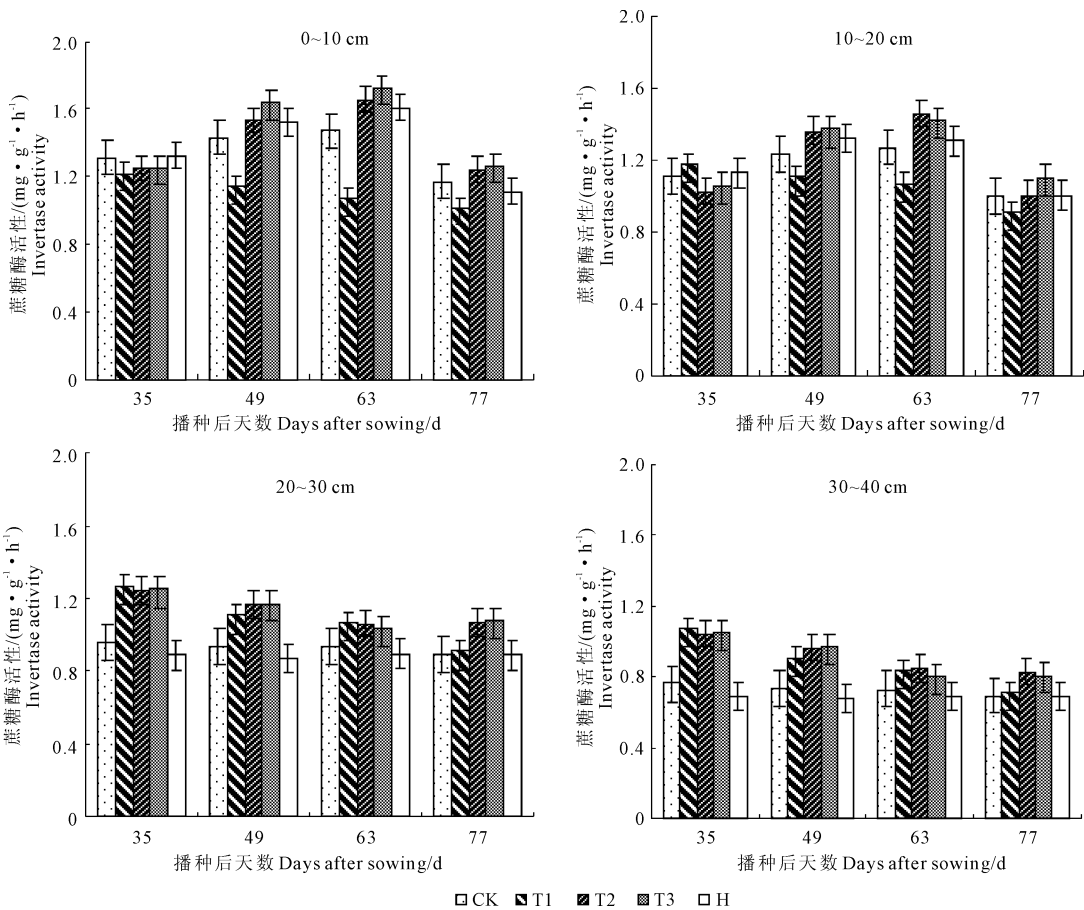


图 2 土层置换对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.2 Effects of soil layer exchange on the activity of soil invertase

2.3 土层置换对马铃薯根际土壤磷酸酶活性的影响

土壤有机磷的转化需要磷酸酶的参与,磷酸酶可以加速土壤有机磷的脱磷速度。磷酸酶活性与土壤的碳、氮含量呈正相关,与有效磷含量及 pH 也存在相关性,因而磷酸酶活性是评价土壤磷微生物转化方向与强度的重要指标^[22]。图 3 为马铃薯不同

生育时期各处理对不同土层中土壤磷酸酶活性($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)变化的影响。从图 3 中可看出:不同土层磷酸酶活性均随着马铃薯的生长发育呈先升高后降低的趋势,且在播种后 63 d 时活性最高;除马铃薯播种后 63 d 的 0~10 cm 土层外,T2、T3 处理各土层的磷酸酶活性始终高于其它处理,其中又以 T2 处理

磷酸酶活性最高。在马铃薯播种后 77 d 时各土层土壤中磷酸酶活性的由高到低的顺序均为：T2 > T3 > H > T1 > CK。试验结果表明：土层置换并增施磷肥或有机肥可有效保持马铃薯根际土壤中磷酸酶的活性，其中以增施磷肥效果更为明显，同时也可看出土壤表层灭菌处理也有利于保持土壤磷酸酶的活

性；从图中还可看出随着土层深度的增加，土壤磷酸酶的活性总体降低，这可能是因为下层土壤孔隙度减小且土壤容重增加，而土壤容重和土壤酶活性呈负相关性，所以下层土壤的磷酸酶活性低于上层土壤磷酸酶活性。

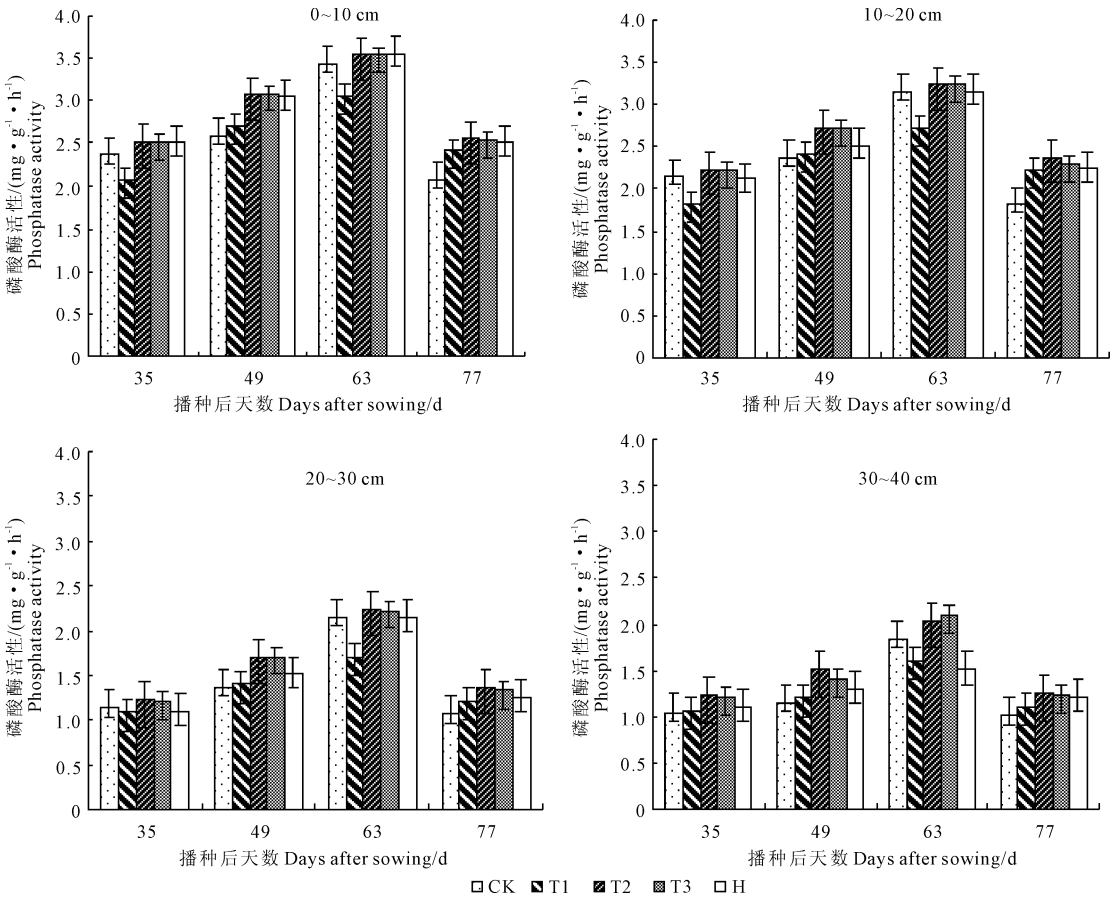


图 3 土层置换对土壤磷酸酶活性的影响

Fig.3 Effects of soil layer exchange on the activity of soil phosphatase

2.4 土层置换对马铃薯晚疫病病情指数的影响

图 4 为土层置换对马铃薯播种后不同时期晚疫病病情指数的影响，从图 4 中可看出马铃薯播种后不同时期 T1、T2、H 处理下晚疫病病情指数均低于 T3 和 CK 处理，且随着马铃薯的生长发育 T1、T2、H 处理下，晚疫病病情指数均有下降趋势，其中以 T2 和 H 处理效果最明显，这说明土层置换后增施磷肥或对表土灭菌处理可减少马铃薯晚疫病的发病率；而 T3 处理即土层置换后增施有机肥处理下，马铃薯晚疫病病情指数在其整个生育期内都明显高于其它处理，这说明土层置换后增施有机肥对防治马铃薯晚疫病有不利影响。

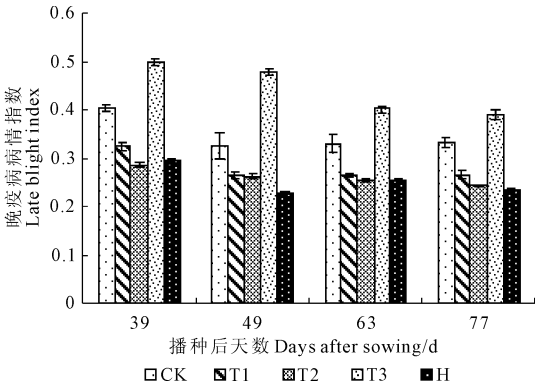


图 4 土层置换对马铃薯晚疫病病情指数的影响

Fig.4 Effects of soil layer exchange on the disease index of potato late blight

3 讨论

土壤中的酶活性的研究一直都是土壤生物化学性质的重要内容,土壤中的酶主要是作物根系和微生物的分泌物,其活性能反映土壤肥力的演变趋势和某些营养物质的转化情况^[23-25]。土壤中的酶活性受到多种因素的影响,一些研究发现作物连作会改变土壤中一些酶的活性。刘建国等^[26]研究发现,棉花连作 5 a 和 10 a 时,土壤过氧化氢酶、转化酶、蛋白酶、脲酶和中性磷酸酶活性下降,连作障碍较明显;黄玉茜等^[26]认为,花生连作超过 5 a 后,土壤环境恶化,各种土壤酶均达到最低值,连作障碍现象严重;杜茜等^[27]在马铃薯方面的相关研究发现,马铃薯连作后土壤中的脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性均显著降低,这与本研究中对照处理结果相同。

土层置换和土壤表层杀菌消毒措施均可以降低或者消除由于马铃薯连作对土壤中的某些酶类活性产生的不良作用。在 0~10 cm 土层中,在马铃薯生长前期的 35~63 d 内,CK 处理下土层中的脲酶活性高于 T1、T2、T3、H 处理;在马铃薯生长后期的 77 d 时,T1、T2、T3、H 处理下土层中的脲酶活性均有不同程度的提高,而 CK 处理下的土层中脲酶的活性最低。在 10~20 cm、20~30 cm 和 30~40 cm 土层中,马铃薯生长前期 CK 处理下土层中的脲酶活性高于其它四个处理,而到了马铃薯生长的后期阶段,CK 处理下土层中脲酶活性最低,T1、T2、T3 和 H 均能提高马铃薯生长后期土层中的脲酶活性。

与 CK 处理下土层中蔗糖酶活性进行比较,T1、T2、T3 和 H 四个处理均可以提高土层中的蔗糖酶活性。除在 0~10 cm 土层中 T2 处理对消除由于马铃薯连作对土壤中蔗糖酶活性产生的不利影响外,其它三个处理下,H 处理下的土层中蔗糖酶的活性最高,总体分析,除 0~10 cm 土层外,H 处理对于消除由于马铃薯连作而产生的土层中蔗糖酶活性下降的影响,而提高土层中蔗糖酶的活性。

土层置换处理导致某些土层中的磷酸酶活性低于对照处理土层中的磷酸酶活性,但增施有机肥后,对土壤磷酸酶活性的维持有积极作用,这与前人的研究得到的土壤有机质可有效保持土壤中蔗糖酶免遭变性、免遭分解的结论相吻合^[28]。H 处理下不同土层中的磷酸酶活性始终高于 CK 处理下土层中的磷酸酶活性,H 处理在消除由于马铃薯的连作障碍对磷酸酶活性的影响方面效果最好。

关于土壤酶活性与土壤肥力的相关性方面,如今存在三种不同的观点:一种观点从土壤酶活性的

不稳定性出发,认为酶活性不能作为全面评价土壤肥力的标准,更不能反映土壤的生物学性状;另一种观点认为用单一一种酶活性不足以衡量土壤肥力水平,用土壤酶的总体活性更能全面地表征土壤的肥力性状。而还有一种观点认为,一些相应的土壤酶活性可以间接地反应某些营养元素的转化状况以及土壤肥力的变化趋势。通过我们关于土壤养分和土壤酶活性的检测结果分析^[29],认为土壤中某些相应酶的活性可以反应土壤的肥力状况。土层置换可以改变土层的结构,并且土壤中的养分分布和土壤的微生物环境也会发生相应的改变。与 CK 处理下不同土层的肥力状况和微生物环境相比,可以发现土层置换和土壤灭菌措施可以提高因马铃薯连作而下降的土壤肥力和土壤微生物环境,从而影响土壤酶的活性。

马铃薯晚疫病是一种全球性病害,常给马铃薯种植业造成严重损失^[30]。由于该病暴发流行迅速,使其防治困难,一般的防治措施很难达到预期效果^[31],同时,防效优异的杀菌剂较少以及马铃薯晚疫病菌抗药性的增强,更影响了化学防治的效果^[32]。因此,马铃薯生产上应用化学防治辅助结合农业防治、抗性品种使用等的综合防治方法十分重要。本研究结果显示,土层置换和表土灭菌处理可以减少马铃薯由于连作障碍而产生的晚疫病的发病率,并且 T2 和 H 处理在减少马铃薯由于连作而产生的晚疫病方面效果最佳。而土壤经过土层置换并加有机肥处理后(T3 处理),马铃薯的晚疫病的病情指数在整个马铃薯的生长期都显著高于其它处理和对照,在播种后 77d 时分别比 CK、T1、T2 和 H 四个处理高出 17.5%、47.1%、60.8% 和 66.6%,表明在土壤置换后施用有机肥不利于降低马铃薯的晚疫病发病。本研究仅围绕马铃薯晚疫病田间发病情况,对土层置换和表土灭菌等处理进行了初步的比较,有关土层置换抑制马铃薯晚疫病发生的机理还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 谢建华.我国马铃薯生产现状及发展对策[J].中国农技推广,2007,23(5):4-7.
- [2] Hermansen A, Lu D, Forbes G. Potato production in China and Norway: similarities, differences and future challenges[J]. Potato Research, 2012,55(3):197-203.
- [3] Jansky S, Jin L, Xie K, et al. Potato production and breeding in China[J]. Potato Research, 2009,52(1):57-65.
- [4] Wang Q, Zhang W. China's potato industry and potential impacts on the global market[J]. American Journal of Potato Research, 2004,81

(2):101-109.

[5] 柳俊.我国马铃薯产业技术研究现状及展望[J].中国农业科技导报,2011,13(5):13-18.

[6] 孟品品,刘星,邱慧珍,等.连作马铃薯根际土壤真菌种群结构及其生物效应[J].应用生态学报,2012,23(11):3079-3086.

[7] 卢建武,邱慧珍,张文明,等.半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性[J].应用生态学报,2013,24(2):423-430.

[8] Wang X, Li J, Tao S. Using EPIC model to determine a sustainable potato/cereal cropping system in the arid region of the loess plateau of China[J]. Computer and Computing Technologies in Agriculture, 2013,393:60-68.

[9] 连勇.马铃薯脱毒种薯生产技术[M].北京:中国农业科技出版社,2001.

[10] 张文明,邱慧珍,刘星,等.连作对马铃薯根系生物学特征和叶片抗逆生理的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):20-23,52.

[11] 刘星,张书乐,刘国锋,等.连作对甘肃中部沿黄灌区马铃薯干物质积累和分配的影响[J].作物学报,2014,40(7):1274-1285.

[12] 回振龙,王蒂,李宗国,等.外源水杨酸对连作马铃薯生长发育及抗性生理的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):2-8.

[13] 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.

[14] 谢奎忠,陆立银,罗爱花.不同栽培措施对连作马铃薯土壤真菌、真菌性病害和产量的影响[J].中国蔬菜,2013,(2):70-75.

[15] 牛秀群,李金花,张俊莲,等.甘肃省干旱灌区连作马铃薯根际土壤中镰刀菌的变化[J].草业学报,2011,20(4):236-248.

[16] 杜茜,卢迪,马琨.马铃薯连作对土壤微生物群落结构和功能的影响[J].生态环境学报,2012,21(7):1252-1256.

[17] 孙权,陈茹,宋乃平,等.宁南黄土陵区马铃薯连作土壤养分、酶活性和微生物区系的演变[J].水土保持学报,2010,24(6):208-212.

[18] 杨桂丽,童娟,张丽,等.熏蒸灭菌对连作马铃薯生长发育及土壤微生物的影响[J].农业科学研究,2012,33(1):36-40.

[19] 彭绍峰,赵爱菊,张春强,等.应用抗重茬药剂克服马铃薯连作障碍试验初报[J].农业科技通讯,2010,(1):44-45.

[20] 关荫松.土壤酶及其研究方法[M].北京:农业出版社,1986.

[21] 封海胜,张思苏,万书波,等.花生连作对土壤及根际微生物区系的影响[J].山东农业科学,1993,(1):13-15.

[22] 黄玉茜,韩立思,韩梅,等.花生连作对土壤酶活性的影响[J].中国油料作物学报,2012,34(1):96-100.

[23] 周礼恺,张志明,曹承绵.土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用[J].土壤学报,1983,20:413-417.

[24] 高彦波,翟鹏辉,谭德远.土壤酶活性与土壤肥力的关系研究进展[J].安徽农业科学,2015.43(6):100-101,183.

[25] Piotrowskaa A, Wilczewski E. Effects of catch crops cultivated for green manure and mineral nitrogen fertilization on soil enzyme activities and chemical[J]. Geoderma, 2012,189:72-80.

[26] 刘建国,张伟,李彦斌,等.新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):725-733.

[27] 杜茜,马琨.马铃薯连作对土壤理化性质及酶活性的影响[J].黑龙江农业科学,2013,(5):20-23.

[28] 程伟,隋跃宇,焦晓光,等.土壤有机质含量与磷酸酶活性关系研究[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(3):305-307.

[29] 张丁.马铃薯连作对土壤理化性质及酶活性的影响[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2015.

[30] Jansky S H, Jin L P, K Xie Y, et al. Potato production and breeding in China[J]. Potato Research, 2009,52(1):57-65.

[31] Sliwka J, Jakuczun H, Chmielarz M, et al. Late blight resistance gene from *Solanum ruiz-ceballosii* is located on potato chromosome X and linked to violet flower colour[J]. BMC Genetics, 2012,13(1):11.

[32] 张鹏,王文桥,黄啟良,等.40%氟菌·啶酰悬浮剂的研制及其对马铃薯晚疫病田间防治效果[J].中国农业科学,2013,46(15):3142-3150.

(上接第 88 页)

[9] 潘相文,李文滨,李艳华,等.主成分分析在大豆抗旱性评价上的应用[J].大豆科学,2006,25(4):379-382.

[10] Baquedano F J, Castillo F J. Comparative ecophysiological effects of drought on seedlings of the mediterranean water-saver *pinus halepensis*, and water-spenders *quercus coccifera*, and *quercus ilex* [J]. Trees, 2006,20(6):689-700.

[11] 付学琴,贺浩华,文飘,等.东乡野生稻回交重组系的抗旱性评价体系[J].应用生态学报,2012,23(5):1277-1285.

[12] Hsiao T C. Plant Responses to Water Stress[J]. Plant Biology, 1973,89(24):801-802.

[13] Bouslama M, Schapaugh W T. Stress tolerance in soybeans. I. evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance [J]. Crop Science, 1984,24(5):933-937.

[14] He X Y, Warburton M L, Sawkins M, et al. Genome-wide association analysis for nine agronomic traits in maize under well-watered and water-stressed conditions [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2013,126(10):2587-2596.

[15] 龚明.作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J].云南农业大学学报,1989,4(1):73-81.

[16] 范翠丽,陈景堂,徐明举,等.玉米抽雄期抗旱性鉴定指标的研究[J].玉米科学,2007,15(1):112-114.

[17] 宋凤斌,徐世昌.玉米抗旱性鉴定指标的研究[J].中国农业生态学报,2004,12(1):127-129.

[18] 路贵和,戴景瑞,张书奎,等.不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究[J].作物学报,2005,31(10):1284-1288.

[19] 刘成,马兴林,石云素,等.玉米自交系主要农艺性状与产量和抗旱性的关系研究[J].新疆农业科学,2007,44(5):624-627.