

重茬草莓根际土壤酶活性动态特征

李维华¹, 刘奇志¹, 张林林², 徐振翔¹

(1. 中国农业大学 植物保护学院, 北京 100193; 2. 河北省农林科学院 昌黎果树研究所, 河北 昌黎 066600)

摘 要:以草莓重茬 10 年的温室大棚土壤为例, 研究缓苗期、现蕾期、幼果期和盛果期草莓根际土壤的碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶的活性动态特征, 探究其与重茬的关系。结果表明: 重茬草莓根际土壤的碱性磷酸酶在缓苗期和现蕾期的活性(2.21、3.26 mg/g)都显著低于同期的非重茬土壤的酶活性(3.08、4.97 mg/g), 二者在幼果期和盛果期无显著差异, 都在 0.33 mg/g 以下; 重茬草莓根际土壤脲酶的活性在缓苗期与非重茬土壤的酶活性无显著差异, 在现蕾期的酶活性(0.40 mg/g)显著高于非重茬土壤的峰值(0.29 mg/g), 在幼果期和盛果期的酶活性(0.20、0.18 mg/g)显著低于非重茬根际土壤的酶活性(0.35、0.34 mg/g); 重茬根际土壤的蔗糖酶活性值(2.23~2.88 mg/g)在 4 个生长期无显著差异, 除盛果期外都显著低于非重茬根际土壤的(5.54、6.91、7.56 mg/g)1 倍以上。结果表明, 重茬土壤可以显著抑制土壤酶活性。

关键词:草莓重茬; 根际土壤; 酶活性

中图分类号:S 668.406⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)06-0152-04

重茬问题是一个历史性难题, 长期以来一直是国内外农业发展中亟需克服的难点^[1]。土壤酶作为土壤组分中最活跃的有机成分之一^[2], 既可以表征土壤物质能量代谢旺盛程度, 又可以评价土壤肥力高低、生态环境质量优劣^[3-4], 同时也是土壤自净能力^[4]评价的一个重要指标。有研究表明, 根际土壤比非根际土壤更能增加诸如磷酸酶、核酸酶、脲酶、转化酶(蔗糖酶)、过氧化氢酶、芳基硫酸酯酶和蛋白酶的活性^[5-8]。

相关研究表明, 土壤碱性磷酸酶和脲酶活性与土壤肥力指标有较好的相关性^[7-8], 其活性的提高有利于稳定性较高的土壤有机氮向有效氮的转化^[9-10]。脲酶是土壤中最活跃的水解酶类之一, 能水解施入土壤中的尿素, 释放出供作物利用的铵, 其活性的提高可能有利于土壤中稳定性较高的有机氮向有效态氮转化, 从而改善土壤氮素供应状况^[9]。在天然草地上, 土壤施氮肥后, 磷酸酶活性受到激活, 其它活性与土壤施氮量呈正相关, 而氮磷混施在一定程度上也可以提高磷酸酶活

性^[11]。全氮对脲酶存在显著的正效应, 是影响脲酶的主导因子^[12]。

土壤蔗糖酶与土壤有机质含量、氮含量、磷含量、微生物数量及土壤呼吸强度有关, 其酶促作用产物直接关系到作物的生长^[13]。

环境因子与土壤酶活性相关性大小排序为全氮>有机质>有效磷>含水量>全盐>容重>速效钾>pH 值。该研究以碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶为重点, 研究其在草莓生长过程中 4 个主要时期(缓苗期、现蕾期、幼果期、盛果期)的动态特征, 探讨其与草莓重茬的关系。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试草莓品种为“红颜”, 幼苗根系健壮、生长良好, 由北京京林创新园艺科技有限公司提供。棚内土壤基本性状见表 1。

1.2 试验方法

试验于 2014 年 9 月 22 日至 12 月 30 日在北京市农林科学院林业果树研究所连作 10 年的草莓温室大棚内进行。分别取重茬土(棚内)及非重茬土(棚外)置于直径、深均为 20 cm 的花盆中, 将草莓苗栽植于其中。分别在缓苗期、现蕾期、幼果期和盛果期 4 个时期对花盆中草莓根际土取样。采集方法参照 RILEY 等^[14]抖落法, 取土时先将花盆去掉, 轻轻抖落大块不含根系的土壤, 其余部分装入塑料袋内, 用力将根表面附着的土壤抖落, 不能抖落的再人工收集到无菌袋中混匀, 收集到的

第一作者简介:李维华(1987-), 男, 博士研究生, 研究方向为作物重茬。E-mail:2006054074@163.com.

责任作者:刘奇志(1959-), 女, 博士, 教授, 现主要从事作物重茬机理与治理研究以及昆虫和线虫为基础的果蔬生物防治与综合防控等研究工作。E-mail:lqzyl63@163.com.

基金项目:公益性行业(农业)科研专项课题资助项目(201003064); 国家支撑资助项目(2014BAD16B07-2)。

收稿日期:2015-12-22

土壤视为根际土壤,每次取 3 盆作为重复。获得的样本一部分迅速放入-20℃冰箱保存,另一部分自然风干后过 50 目筛备用。

1.3 项目测定

土壤 pH 值的测定参照 GB/T7859-1987,土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定,土壤速效磷含量采用钼锑抗比色法测定,土壤速效钾含量采用火焰光度法^[15]测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾法^[16]测定,土壤碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法^[10,17]测定,土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸法^[10,16]测定。

表 1

土壤基本肥力

Table 1

Basic soil fertility

处理 Treatment	土壤深度 Soil depth /cm	全氮 Total nitrogen /%	有机质 Organic matter /%	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)	pH 值 pH value
重茬(种苗前)CC(Before planting)	0~20	22.63±0.30c	6.59±0.09b	94.49±5.25b	148.68±1.97b	7.74±0.10b
非重茬(种苗前)NCC(Before planting)	0~20	44.34±0.59a	12.85±0.17a	396.55±5.25a	167.90±2.22a	8.25±0.11a
重茬(盛果期)CC(Harvest)	0~20	14.72±0.19d	0.04±0.01d	66.21±0.88c	31.82±0.42d	7.54±0.10c
非重茬(盛果期)NCC(Harvest)	0~20	29.50±0.39b	3.43±0.05c	59.40±0.79d	60.90±0.81c	7.89±0.10b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

2.2 碱性磷酸酶活性

重茬土壤的碱性磷酸酶(ALP)在缓苗期和现蕾期的活性(2.21、3.26 mg/g)都显著低于同期的非重茬土壤的酶活性(3.08、4.97 mg/g),二者在幼果期和盛果期无显著差异,都在 0.33 mg/g 以下。

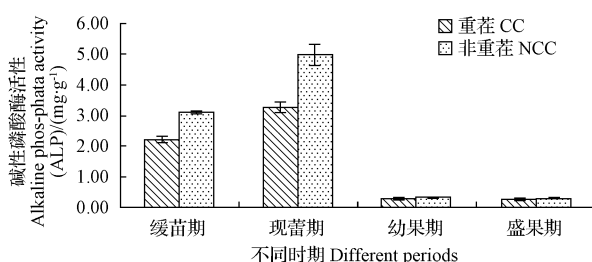


图 1 不同时期土壤碱性磷酸酶活性变化

Fig. 1 Change of the soil alkaline phosphatase activity during different periods

2.3 脲酶活性

由图 2 可知,重茬草莓根际土壤脲酶的活性在缓苗期与非重茬土壤的无显著差异,在现蕾期的酶活性(0.40 mg/g)达到最大值,显著高于非重茬土壤脲酶活性峰值(0.29 mg/g)的 36%,在幼果期和盛果期的酶活性(0.20、0.18 mg/g)显著低于非重茬根际土壤的酶活性(0.35、0.34 mg/g)。非重茬土壤酶活性在幼果期和盛果期均保持 4 个时期的最大值。

2.4 蔗糖酶活性

重茬根际土壤的蔗糖酶(SIA)活性值在 4 个时期

1.4 数据分析

数据采用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤基本性质

由表 1 可知,重茬土壤的肥力较非重茬的差 1 倍左右,非重茬土壤 pH 值更高。草莓苗栽植后需经历缓苗期、现蕾期、幼果期和盛果期,草莓根际土壤中全氮含量、有机质含量、速效磷含量、速效钾的含量和 pH 值均下降;非重茬土壤的基本肥力各个指标下降程度均大于重茬土壤的(速效钾除外),尤其速效磷的下降程度是重茬的 10 倍以上。

(2.23、2.45、2.88、2.83 mg/g)无显著差异(图 3),除盛果期外都显著低于非重茬根际土壤的(5.54、6.91、7.56、4.01 mg/g)1 倍以上。非重茬土壤在幼果期的酶活性最大,是同时期重茬土壤的 2.6 倍。

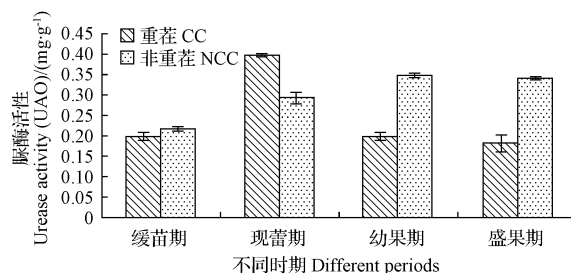


图 2 不同时期土壤脲酶活性变化

Fig. 2 Change of the soil urease activity during different periods

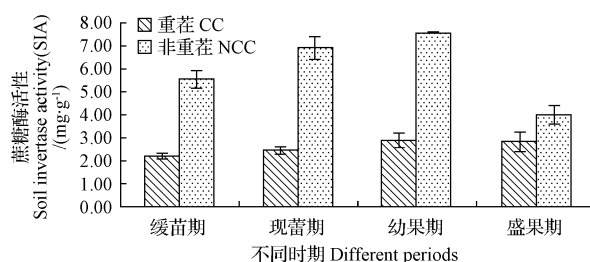


图 3 不同时期土壤蔗糖酶的变化

Fig. 3 Change of the soil invertase activity during different periods

3 讨论与结论

该研究数据显示,重茬土壤的肥力显著低于非重茬土壤。在重茬草莓根际土壤中,碱性磷酸酶在缓苗期和现蕾期的活性都显著低于同期的非重茬土壤;脲酶的活性在幼果期和盛果期也显著低于非重茬根际土壤;蔗糖酶活性值除盛果期外都显著低于非重茬根际土壤的1倍以上,非重茬土壤在幼果期的酶活性最大,是同时期重茬土壤的2.6倍。总之,在草莓重茬土壤中,各种土壤酶活性在大多数时期多低于非重茬土壤酶的活性。

该研究结果从土壤肥力和酶活性的角度揭示了重茬问题以及发生发展过程。首先,重茬土壤的肥力起点低。连续10年,每年都栽植草莓的重茬土壤各肥力指标含量都显著低于非重茬土壤的1倍左右,如全氮、有机质、速效磷的含量(表1)。土壤中有有机质等含量越小,酶底物就越少,在此低起点的前提下,酶的活性也自然就越小。因而,重茬土壤中碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶的活性都在大多数时期低于非重茬土壤的酶活性(图1~3)。草莓从栽植至盛果期伴随着植物的生长代谢,土壤酶活性表征着土壤物质能量代谢的旺盛程度^[3-4],重茬土壤的酶活性低于非重茬的,表明重茬土壤中物质能量代谢旺盛程度较低,供植物可利用的营养物质也较少,植物的生长代谢速率和产量也较小。

其次,重茬土壤的pH值起点低。由于植物根系分泌有机酸^[18]的量在10年间逐年累积,导致重茬土壤在栽植草莓前为7.74,而非重茬土壤的为8.25(表1)。张翠英等^[19]的研究表明,当土壤pH<8.50时,碱性磷酸酶的活性随pH值的升高呈上升趋势。因为土壤酶活性与土壤pH有显著的相关性,所以土壤pH是土壤重茬问题的一个重要原因。

另外,重茬土壤的肥力消耗较小,pH值降低幅度较小。草莓从栽植至盛果期,整个过程中需要一定肥力消耗和土壤中性化(pH值下降),而且非重茬土壤的肥力消耗和pH的下降程度都大于重茬土壤的状况(仅速效钾除外)。表1中非重茬土壤的数据初步反映了草莓在整个生长季(一茬)中对肥力的消耗量和土壤的酸化程度,同时也反映了重茬过程植物会消耗大量的速效钾和速效磷,植物吸收和利用养分后,土壤自身不能及时补充,造成土壤养分失衡^[20-23]。

再者,重茬土壤中各种酶的活性在大多数时期较非重茬土壤的低。重茬土壤中的碱性磷酸酶的活性在缓苗期和现蕾期都显著低于非重茬的酶活性(图1)。幼果期和盛果期的碱性磷酸酶活性在重茬和非重茬土壤中无显著差异,且显著低于前2个时期的酶活性(图1),表明草莓生长至幼果期后,草莓结束了营养生长、进入了生殖生长阶段,对磷的需求量很减小,导致酶活性降低。重茬土壤中的脲酶活性在现蕾期显著高于非重茬的酶

活性,在以后的幼果期和盛果期又显著低于非重茬的酶活性,非重茬土壤中的脲酶活性在前3个时期显著性上升(图2),是否说明虽然在栽植期重茬土壤中的全氮含量几乎是重茬的1/2,但从缓苗期有机氮量就开始上升?以至于与非重茬土壤的含量无显著差异,以后重茬土壤中的有机氮含量继续上升?至现蕾期高于非重茬土壤中的有机氮含量,而有机氮含量与脲酶活性呈显著性正相关^[21]。再者,现蕾期的pH值如何?是否有利于脲酶的活性?这些都有待进一步验证。重茬土壤中蔗糖酶的活性在草莓生长的前3个时期都低于非重茬的1倍以上(图3),与土壤基本肥力的氮含量、磷含量、钾含量(表1)均有显著的正相关。一些研究报道也反映出了土壤酶活性与土壤肥力类似的相关性^[24-25],从而表明,受重茬因素的影响土壤蔗糖酶活性呈显著性下降。

综上所述,重茬草莓根际土壤的酶活性受到了重茬效应的抑制,土壤肥力的下降可以视为重茬问题的原因之一,但是否可以通过单纯地补充土壤肥力解决作物重茬问题有待于进一步的研究。

参考文献

- [1] SURANYI D. History of replant disease and soil sickness in Hungary [J]. *Acta Horticulturae*, 1998, 477(2): 23-25.
- [2] MARX M C, WOOD M, JARVIS S C. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(12-13): 1633-1640.
- [3] GARCÍA-RUIZ R, OCHOA V, HINOJOSA M B, et al. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9): 2137-2145.
- [4] 董艳,董坤,郑毅,等. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2009(3): 527-532.
- [5] BLOEM E, HANEKLAUS S, DANIELS R, et al. Influence of sulfur fertilization on floral scent patterns of crops in full bloom [J]. *Landbauforschung*, 2010, 60(1): 45-50.
- [6] DICK R P, DEND S. Multivariate factor-analysis of sulfur oxidation and rhodanese activity in soils [J]. *Biogeochemistry*, 1991, 12(2): 87-101.
- [7] 万忠梅,吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2005(6): 87-92.
- [8] 李东坡,武志杰,陈利军,等. 长期培肥黑土脲酶活性动态变化及其影响因素 [J]. *应用生态学报*, 2003(12): 2208-2212.
- [9] 和文祥,陈会明,朱铭菽. 汞镉对游离和固定化脲酶活性的影响 [J]. *土壤学报*, 2003(6): 945-951.
- [10] 李贺勤,张林林,刘奇志,等. 接种食细菌线虫对连作草莓幼苗生长及其根际土壤酶活性和矿质氮含量影响的研究 [J]. *中国生物防治学报*, 2014(3): 355-360.
- [11] 邱凤琼,周礼恺,陈恩凤,等. 东北黑土有机质和酶活性与土壤肥力的关系 [J]. *土壤学报*, 1981(3): 244-254.
- [12] 朱美玲,贡璐,张龙龙. 塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析 [J]. *环境科学*, 2015(7): 2678-2685.
- [13] 赵风艳,吴凤芝,刘德,等. 大棚菜地土壤理化特性的研究 [J]. *土壤肥料*, 2000(2): 11-13.
- [14] RILEY D, BARBER S A. Bicarbonate accumulation and pH changes at

the soybean(*Glycine max* (L.) Merr.) root-soil interface[J]. Soil Science Society of America Journal, 1969, 33(6): 905-908.

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[16] 杜森, 高祥照. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

[17] SCHINNER F, OHLINGER R, KANDELER E, et al. Methods in soil biology[M]. New York: Springer, 1995: 426.

[18] YU J Q, MATSUI Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(1): 21-31.

[19] 张翠英, 徐德兰, 万蕾, 等. 环境因子对湖泊沉积物碱性磷酸酶活性的影响[J]. 环境科学与技术, 2013(4): 23-27.

[20] 吕卫光, 余廷园, 诸海涛, 等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性

的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006(2): 119-121.

[21] 王志刚, 郭天文, 徐伟慧. 大棚韭菜连作对产量和品质及土壤养分状况的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2006(6): 34-37.

[22] 喻敏, 余均沃, 曹培根, 等. 百合连作土壤养分及物理性状分析[J]. 土壤通报, 2004(3): 377-379.

[23] 樊红科, 赵政阳, 刘怀锋, 等. 渭北高原苹果根区土壤养分变化及对再植苹果植株生长的影响[J]. 园艺学报, 2008(12): 1727-1734.

[24] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期定位培肥黑土土壤蔗糖酶活性动态变化及其影响因素[J]. 中国生态农业学报, 2005(2): 102-105.

[25] 王平, 马忠明, 包兴国, 等. 长期不同施肥方式对小麦/玉米间作土壤蔗糖酶活性的影响[J]. 农业现代化研究, 2009(5): 611-614.

Dynamic Characteristics of Soil Enzyme Activity in Replanted Strawberry Rhizosphere Soil

LI Weihua¹, LIU Qizhi¹, ZHANG Linlin², XU Zhenxiang¹

(1. College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193; 2. Institute of Changli Fruit Tree Research, Hebei Academy of Agriculture and Forestry, Changli, Hebei 066600)

Abstract: The ten-year-old replanted strawberry rhizosphere soil in the greenhouse was exemplified for studying the dynamic characteristics of alkaline phosphatase, urease and invertase activity in recovering, squaring, young fruit and full bearing periods to explore the relationship with replanting. The results showed that for alkaline phosphatase, activities in replanted soil (2.21 mg/g, 3.26 mg/g) were significantly lower than that in non-replanted soil (3.08 mg/g, 4.97 mg/g) in recovering and squaring periods while there were no significant difference in young fruit and full bearing periods for both being below 0.33 mg/g. For urease, there was no significant difference in the first stage between replanted and non-replanted soil. The activity in replanted soil (0.40 mg/g) was significantly higher than that in non-replanted soil (peaked at 0.29 mg/g) in squaring and significantly lower (0.20 mg/g, 0.18 mg/g) than that in non-replanted (0.35 mg/g, 0.34 mg/g) soil in young fruit and full bearing periods. For invertase, activities in replanted soil (2.23—2.88 mg/g) showed no significant difference among the four periods and all were one time lower than that in non-replanted soil significantly except in full bearing period. The results indicated that replanting was involved in inhibiting soil enzyme activity.

Keywords: strawberry replanting; rhizosphere soil; enzyme activity

大棚草莓栽培技术

知识窗

草莓营养丰富, 比苹果、葡萄含量还高。大棚草莓栽培容易, 管理方便, 生产成本低, 产量高, 收益好。

1 培育壮苗

8月上中旬, 选择草莓匍匐茎上前期生长的健壮小苗, 移植到露地苗床或钵钵钵中进行育苗, 要求育苗床土或钵土保水性、透气性好, 草莓移植后需覆盖遮阳网降温。

2 合理定植

定植前对大棚内土壤进行耕翻。同时亩施腐熟厩肥3 000~4 000 kg, 复合肥50~60 kg作基肥, 然后作畦, 畦宽(连沟)1 m, 畦沟深25~30 cm。9月中下旬选择新叶正常开展, 小叶对称, 叶色浓绿叶柄粗, 叶片大, 长势健壮, 丰产性好的幼苗进行定植。

3 温湿度控制

一般白天温度控制在25~28℃, 晚上以7℃为宜。初花期保持25℃, 成花期掌握在23℃。12月下旬到1月底之间, 棚温低于5℃时,

应在大棚内设小拱棚复扣膜, 极端低温时应采用三层膜保温。棚内湿度开花前控制在80%以下, 开花至果实膨大控制在60%为宜。

4 肥水管理

根据草莓生长情况及时补充磷钾肥及多元微量元素。整个生长过程中要有充足的水分, 开花期土壤水分可稍干些, 在草莓生长旺盛期和浆果膨大期需水较多。灌水可结合施肥进行, 将肥溶于水配成1 000倍左右溶液施用。

5 病虫害防治

主要病虫害有蚜虫、叶螨、灰霉病、白粉病及芽枯病等。对蚜虫、红蜘蛛可喷10%吡虫啉4 000~6 000倍、2 000~2 500倍螨死净。灰霉病在高温高湿以及草莓生长旺盛期最易发生, 可用50%速克灵800倍防治, 效果很好。对芽枯病, 摘老叶、通风透光, 每隔1周喷1次1 000倍多氧霉素或600倍敌菌丹水溶液。

(摘自百度百科)