

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.23244

耕翻深度对阴山北麓地区马铃薯根系生长及土壤酶活性的影响

孟丽丽¹, 邢艳玲¹, 张婷婷², 李欣¹, 张亚楠¹, 霍玉芹¹, 蒙美莲^{3*}

(1. 沧州师范学院, 河北 沧州 061001; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院, 内蒙古 呼和浩特 010031; 3. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 为探究耕翻深度对阴山北麓地区马铃薯根系生长及土壤酶活性的影响, 分析了 4 个耕翻深度 20 cm (D₂₀, CK)、30 cm (D₃₀)、40 cm (D₄₀)、50 cm (D₅₀) 对马铃薯根干物质积累量、根系活力以及土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性的影响。结果表明: 较 D₂₀ 和 D₃₀ 处理, 深翻 D₄₀ 和 D₅₀ 处理可显著提高根系活力, 促进淀粉积累期马铃薯根系干物质积累, 分别提高了 75.2% ~ 292.1% 和 23.4% ~ 30.2%。通过土壤酶活性分析, 深翻 (D₃₀、D₄₀、D₅₀ 处理) 对马铃薯田中过氧化氢酶、蔗糖酶活性影响不明显, 但对碱性磷酸酶与脲酶活性影响较大。深翻可提高马铃薯全生育期 0 ~ 20 cm 土层及苗期 20 ~ 60 cm 土层中碱性磷酸酶活性, 其中在块茎膨大期至淀粉积累期 0 ~ 20 cm 土层与苗期 40 ~ 60 cm 土层中 D₄₀ 和 D₅₀ 处理影响显著。深翻 D₃₀、D₄₀、D₅₀ 处理分别显著提高了 0 ~ 20 cm 土层中整个生育期、块茎膨大期和淀粉积累期、淀粉积累期的脲酶活性; 同时还提高了 20 ~ 60 cm 土层中脲酶活性, 其中 D₄₀ 和 D₅₀ 处理显著提高了 33.8% ~ 80.0%。综上所述, 深翻 30 cm 仍旧是马铃薯根系生长的胁迫深度, 深翻 40 cm 对促进马铃薯根系生长、提高马铃薯田土壤碱性磷酸酶与脲酶活性效果最佳。

关键词: 耕翻深度; 马铃薯; 根系生长; 土壤酶活性

马铃薯是粮菜饲兼用作物, 在我国经济发展和粮食安全方面具有重要战略地位。内蒙古因得天独厚的自然条件成为马铃薯的主产区之一, 其阴山北麓地区所生产的优质马铃薯更是享誉全国^[1-2]。马铃薯根系穿透力较小, 阴山北麓地区除土壤贫瘠、降水少外, 耕层浅严重制约着马铃薯的生产^[3]。有研究表明, 加深耕翻深度可有效打破犁底层, 促进植物根系生长^[4-5], 这在小麦^[5]、玉米^[6-7]、甘蔗^[8]上都有过报道, 但在马铃薯上鲜见报道。深翻还可以通过对土壤的强烈搅动, 提高土壤通气性, 进而促进微生物的繁殖及土壤酶活性的增加^[9]。其中土壤酶活性是土壤肥力水平的评价指标之一, 可表征土壤肥力综合特性、变化状况及土壤养分的转化进程^[10]。有研究表明, 深翻可提高夏玉米田中土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性^[11]。对于小麦田而言, 深翻可显著提高土

壤脲酶活性, 但对过氧化氢酶活性无影响^[12]。对于植烟田, 深翻只显著提高了生长前期土壤酸性磷酸酶活性和生长后期土壤脲酶活性, 对蔗糖酶活性无明显影响^[13]。由此可见, 深翻对不同作物种植田中土壤酶活性的影响效应存在较大差异。近年来, 人们研究了土层置换^[14]、常规耕翻、免耕^[15]等耕作方式对马铃薯土壤酶活性的影响, 并取得了一定成果, 但关于耕翻深度对马铃薯土壤酶活性影响的研究鲜有报道。因此, 本研究通过探讨不同耕翻深度对马铃薯根系生长及土壤酶活性的影响, 以期对阴山北麓地区马铃薯的优质高产提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2015 年在内蒙古自治区呼和浩特市阴山北麓武川县大豆铺试验基地 (41°12' N, 111°33' E) 进行, 海拔 1555 m, 年降水量约 350 mm, 年蒸发量约 2000 mm, 属温带大陆性季风气候。试验地为草甸栗钙土, 前茬作物为燕麦。2015 年 0 ~ 20 cm 土层土壤基础肥力见表 1。

收稿日期: 2023-04-20; 录用日期: 2023-12-01

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-09-P10)。

作者简介: 孟丽丽 (1990-), 讲师, 博士研究生, 主要从事马铃薯栽培生理与品种改良研究。E-mail: menglilier@126.com。

通讯作者: 蒙美莲, E-mail: mmeilian@126.com。

表 1 2015 年试验地土壤基础肥力

土层深度 (cm)	pH 值	碱解氮 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
0 ~ 20	8.4	85.0	3.6	72.0

1.2 试验设计

试验设置 4 个耕翻深度: 20 (对照)、30、40、50 cm, 分别用 D_{20} 、 D_{30} 、 D_{40} 、 D_{50} 表示, 重复 4 次, 共 16 个小区, 小区面积 40 m^2 。种薯为马铃薯品种克新 1 号脱毒原种, 于 2015 年 5 月 23 日进行播种, 播种密度 $52500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 底肥为 750 kg/hm^2 史丹利复合肥 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$, 22-16-16)。大田管理期间分别在苗期 (6 月 6 日)、块茎形成期 (7 月 7 日)、块茎膨大期 (8 月 14 日)、淀粉积累期 (8 月 29 日) 进行灌溉, 使得 0 ~ 40 cm 左右土层体积含水率达 35% ~ 37%, 同时分别在块茎形成期与块茎膨大期通过滴灌追施钙镁肥 (MgO-CaO , 13-15) 与尿素 (N , 46.4%) 各 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 并于 9 月 24 日收获^[3]。分别在各个生育期内选取马铃薯根系及 0 ~ 60 cm 土层的土样进行相关指标的测定。

1.3 测定指标与方法

用自来水将马铃薯根系上的泥土冲洗干净, 之后置于烘箱中, 在 80°C 下烘至恒重, 测定根系干物质积累量。另取新鲜干净的根系采用氯化三苯基四氮唑法^[16]测定根系活力。

每个小区按对角线法随机选取 5 点, 用土钻分别钻取 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层的土样, 5 点混匀后过 2 mm 筛, 阴凉风干, 之后参照关松荫^[17]的方法测定过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性。

1.4 数据处理

采用 GraphPad Prism 10.1.2 进行数据整理和作图, 利用 SPSS 18.0 进行数据统计分析, 并采用 LSD 法进行显著性检验, 显著水平为 $\alpha=0.05$ 。文中图表数据为平均值 $\pm$ 标准差。

2 结果与分析

2.1 耕翻深度对马铃薯根系生长的影响

随者生育期的推进, D_{20} 与 D_{30} 处理下的马铃薯根干物质积累量呈先升后降的变化趋势, 且最大值出现在块茎膨大期; 而 D_{40} 与 D_{50} 处理始终呈递增趋势 (图 1)。在淀粉积累期之前, 根干物质积累量表现为 $D_{30} > D_{50} > D_{20} > D_{40}$ 。其中, D_{30} 处理在苗期与块茎形成期显著高于 D_{50} 与 D_{20} 处理, 分别高 12.1% ~ 24.3% 与 14.1% ~ 37.0%; D_{40} 处理显著低于其他处理 18.5% ~ 62.4%; 此外, 淀粉积累期之前的其余处理间差异不显著。之后 D_{40} 处理下的根系干物质积累迅速, 并在淀粉积累期表现为 $D_{50} > D_{40} > D_{30} > D_{20}$ 。其中, D_{40} 、 D_{50} 处理显著高于 D_{30} 、 D_{20} 处理 23.4% ~ 30.2%, 其余处理间差异不显著。

随着生育期的推进, 马铃薯根系活力呈先增后降的变化趋势, 最大值出现在块茎膨大期 (图 1)。除块茎膨大期 D_{40} 与 D_{50} 处理下的根系活力与 D_{20} 差异不显著外, 其余生育期均显著高于 D_{20} 处理 75.2% ~ 292.1%; 而 D_{30} 处理在苗期与淀粉积累期显著高于 D_{20} 处理, 但在块茎形成期与膨大期显著低于 D_{20} 处理。对于深翻 D_{30} 、 D_{40} 、 D_{50} 处理, 随着耕翻深度的增加, 根系活力递增, 并除在块茎膨大期和淀粉积累期的 D_{40} 与 D_{50} 处理之间差异不显著外, 其他生育期处理间差异均显著。

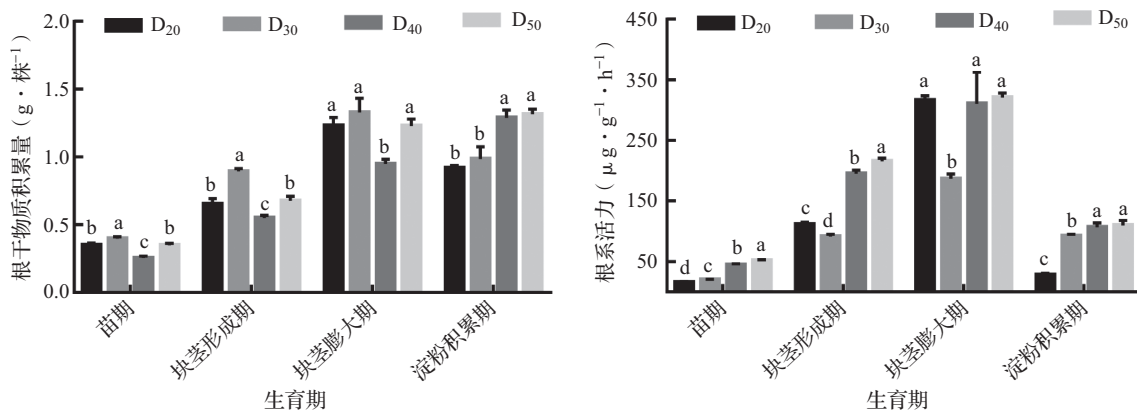


图 1 不同耕翻深度下生育期内马铃薯根干物质积累量与根系活力的动态变化

注: 图柱上不同小写字母表示同一生育期处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.2 耕翻深度对马铃薯田土壤酶活性的影响

2.2.1 耕翻深度对马铃薯田过氧化氢酶活性的影响

相较于 D_{20} 处理, 深翻 D_{30} 、 D_{40} 、 D_{50} 处理降低了马铃薯整个生育期 0 ~ 20 cm 土层中的过氧化氢酶活性, 对 20 ~ 40 cm 土层中过氧化氢酶活性影响不明显, 但提高了苗期 40 ~ 60 cm 土层中的过

氧化氢酶活性 (图 2)。其中, 在 0 ~ 20 cm 土层中, 较 D_{20} 处理, 除苗期的 D_{30} 、块茎形成期的 D_{30} 与 D_{50} 处理影响不显著外, 其他深翻处理影响均显著, 降低了 3.8% ~ 8.1%。在苗期 40 ~ 60 cm 土层中, D_{40} 与 D_{50} 处理显著高于 D_{20} 处理, 分别高 23.8% 与 23.3%, 其余处理间差异不显著。

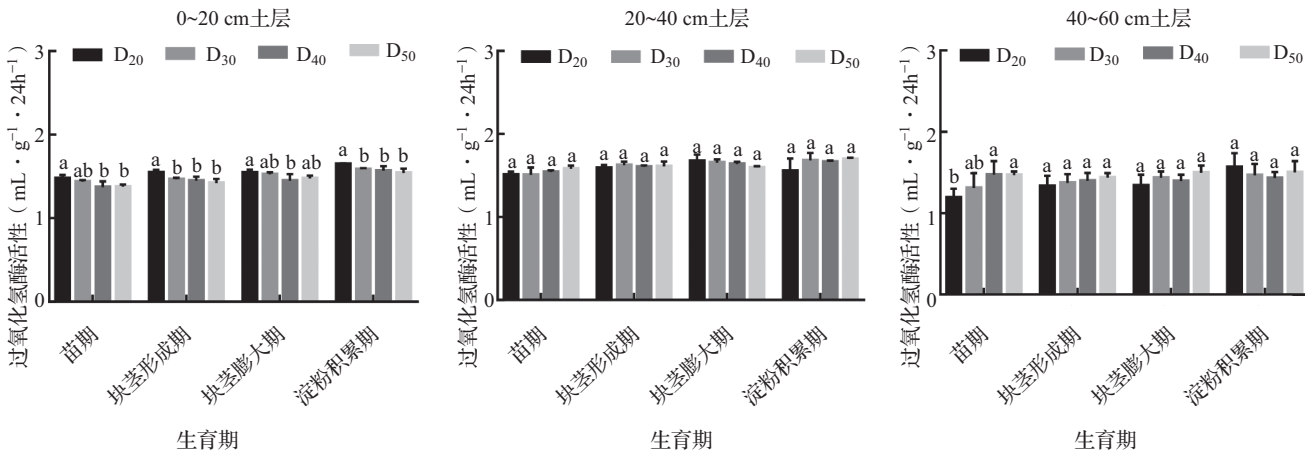


图 2 不同耕翻深度下马铃薯生育期内土壤过氧化氢酶活性的动态变化

2.2.2 耕翻深度对马铃薯田碱性磷酸酶活性的影响

由图 3 可知, 较 D_{20} 处理, 深翻 D_{30} 、 D_{40} 、 D_{50} 处理可提高马铃薯田整个生育期 0 ~ 20 和 40 ~ 60 cm 土层中的碱性磷酸酶活性, 而在 20 ~ 40 cm 土层中, 深翻处理提高了苗期的碱性磷酸酶活性, 但降低了淀粉积累期的酶活性。其中, 在 0 ~ 20 cm 土层中, D_{30} 处理在苗期与淀粉积累期分别显著提高了 11.6%

与 50.2%, D_{40} 处理在块茎膨大期与淀粉积累期分别显著提高了 24.8% 与 37.2%, D_{50} 处理在苗期、块茎膨大期和淀粉积累期分别显著提高了 11.1%、29.5% 和 38.3%, 此外, 深翻处理间差异无明显规律。在 40 ~ 60 cm 土层中, D_{30} 处理对碱性磷酸酶活性无显著影响, 但 D_{40} 、 D_{50} 处理在苗期与块茎形成期显著高于 D_{20} 、 D_{30} 处理, 其他生育期处理间差异不显著。

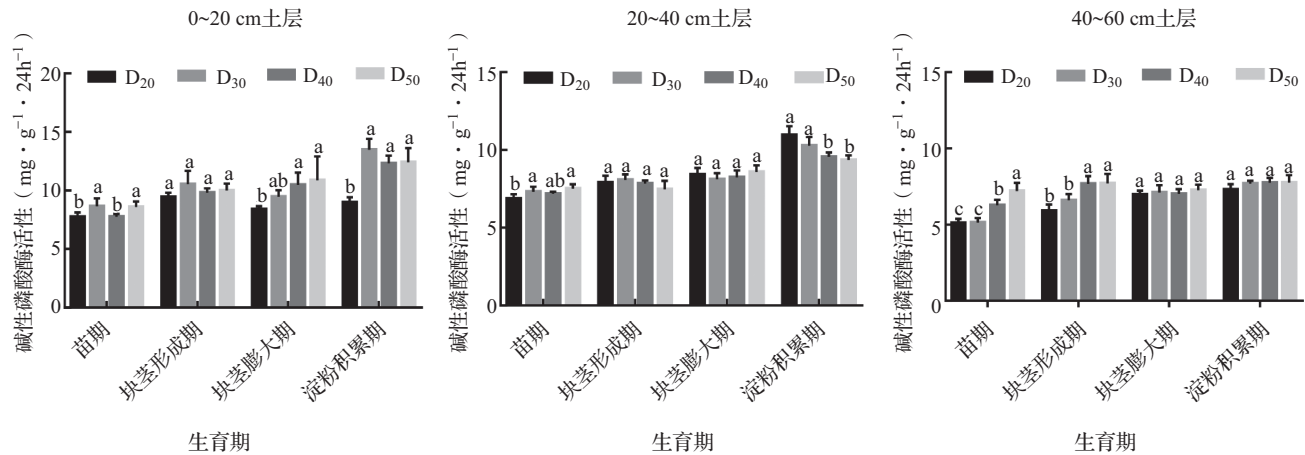


图 3 不同耕翻深度下马铃薯生育期内土壤碱性磷酸酶活性的动态变化

2.2.3 耕翻深度对马铃薯田脲酶活性的影响

如图4所示,在0~20 cm土层中,随着生育期的推进,D₂₀与D₃₀处理下的土壤脲酶活性呈递减的趋势,相反的,D₄₀与D₅₀处理呈递增的趋势;D₃₀处理下的土壤脲酶活性始终显著高于D₂₀处理,D₄₀与D₅₀处理起初在苗期显著低于D₂₀处理,分别直至块茎膨大期及以后与淀粉积累期显著高于D₂₀处理;深翻处理下的脲酶活性从苗期至块茎膨大期期间始终表现为D₃₀>D₄₀>D₅₀,且除在块茎膨大期的D₃₀与D₄₀处理间差异不显著外,其他处理间差异均显著,之后,在淀粉积累期差异不显著。

在20~60 cm土层中,土壤脲酶活性始终表现为D₅₀>D₄₀>D₃₀>D₂₀。其中,在20~40 cm土层中,除块茎膨大期的D₃₀与D₂₀处理间差异不显著外,其他深翻处理均显著高于D₂₀处理13.5%~80.1%;此外,深翻处理间除在块茎形成期的D₄₀与D₃₀处理间差异不显著外,其余生育期的D₄₀与D₅₀处理均显著高于D₃₀处理,且D₄₀与D₅₀处理间在块茎形成期及以前差异显著。在40~60 cm土层中,D₄₀与D₅₀处理的脲酶活性显著高于D₃₀与D₂₀处理,其中D₃₀与D₂₀处理间差异不显著,D₅₀处理只在苗期显著高于D₄₀处理。

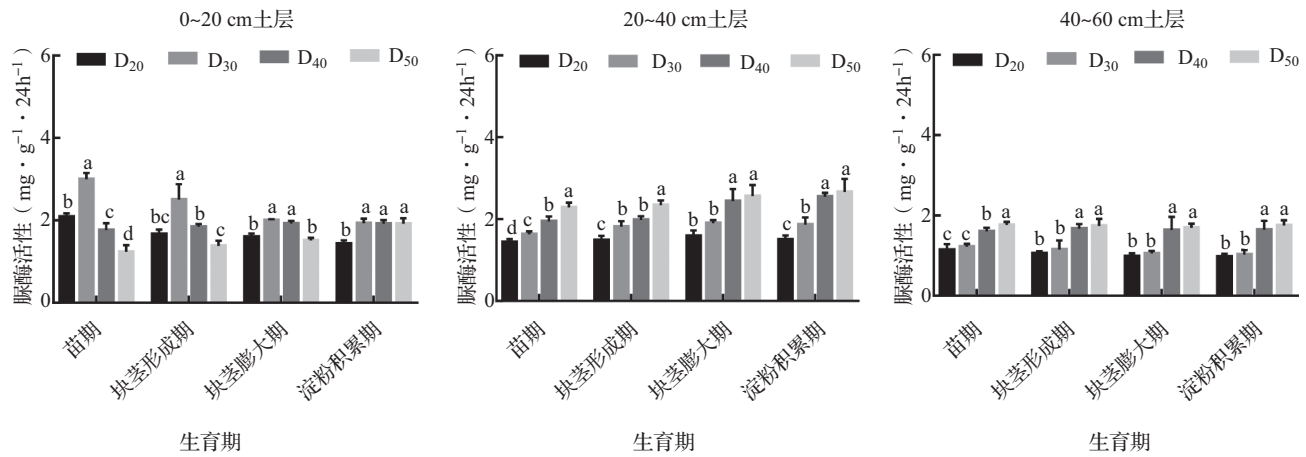


图4 不同耕翻深度下马铃薯生育期内土壤脲酶活性的动态变化

2.2.4 耕翻深度对马铃薯田蔗糖酶活性的影响

由图5可知,相较于D₂₀处理,深翻D₃₀、D₄₀、D₅₀处理显著降低了苗期0~20 cm土层中的蔗糖酶活性25.6%~29.6%,但提高了块茎膨大期

20~40 cm土层中的酶活性,其中D₃₀与D₄₀处理达显著性水平,其余深翻D₃₀、D₄₀、D₅₀处理与D₂₀处理间蔗糖酶活性差异不显著。此外,0~60 cm土层深翻处理间的蔗糖酶活性差异不显著。

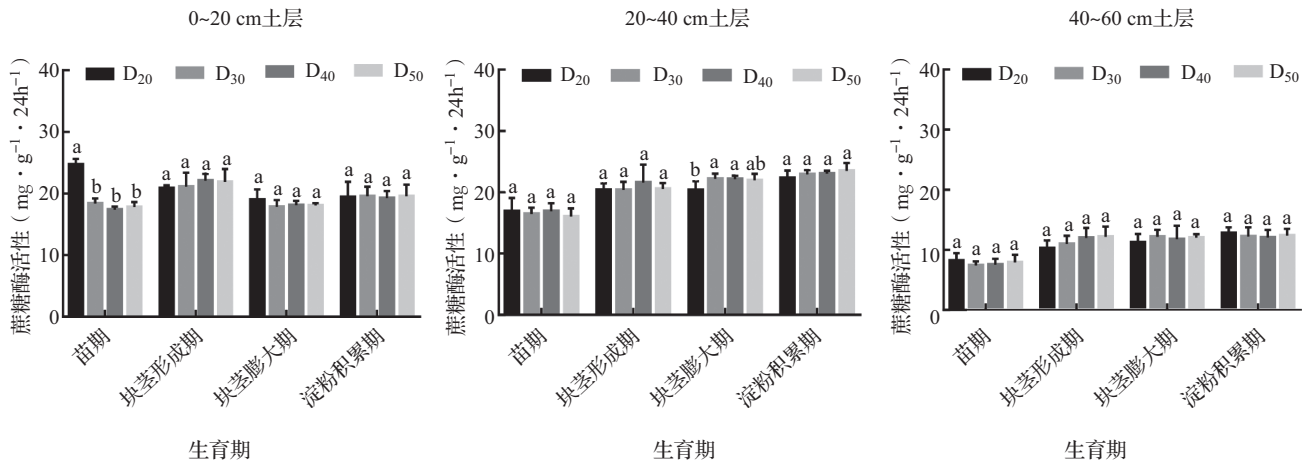
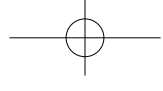


图5 不同耕翻深度下马铃薯生育期内土壤蔗糖酶活性的动态变化



3 讨论

3.1 耕翻深度对马铃薯根系生长的影响

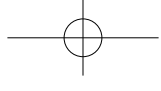
根系作为大多数陆生植物从土壤中获取水分与养分的主要器官^[18], 其生长状况直接影响了作物地上部的生长发育与产量的形成^[19-21], 而根系干物质积累量^[8]与根系活力^[6, 22]均是根系生理代谢、生命力强弱的重要表征指标。有研究表明, 深翻可破碎土壤团聚体、疏松土壤, 提高土层养分含量, 进而改善下层土壤根系的生长, 优化根系形态结构, 此外, 深翻还可提高根系超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性, 延缓后期衰老, 提高养分和水分的吸收能力, 促进干物质积累^[3, 20, 23-27]。在本研究中, 深翻 D₃₀ 与 D₅₀ 处理有利于整个生育期马铃薯根系干物质的积累, 而 D₄₀ 处理较 D₂₀ 处理一直是追赶状态, 直至淀粉积累期才反超。但在同一试验中, 深翻 D₄₀ 处理的地上部干物质积累量在块茎形成期与块茎膨大初期最高, 最终的块茎产量也最好^[3]。由此可知, D₄₀ 处理下的马铃薯生长期源-库-流关系最协调。块茎形成期与膨大期是马铃薯植株快速增长的时期^[1], 这期间需要大量的水分与营养。但浅翻的土壤犁底层浅, 有效土壤深度浅, 土壤孔隙度小、通气性差, 土壤容重大, 不利于根系下扎^[4, 28-29]。所以, 为了满足马铃薯植株生长的需要, 如本试验中的结果所示, D₂₀ 与 D₃₀ 处理下的马铃薯根系干物质积累量在块茎形成期与膨大期始终高于其他处理, 并在块茎形成期达显著性水平, D₃₀ 处理高于 D₂₀ 处理; 在此期间, D₂₀ 处理的根系活力显著高于 D₃₀ 处理, 且在块茎膨大期差值最大, 其他生育期马铃薯根系活力均表现为随耕翻深度的加深根系活力增强。由此可知, 耕翻至 30 cm 仍是马铃薯根系生长的胁迫深度, 并且在此胁迫深度下根系活力对根系干物质积累量有补偿作用。

3.2 耕翻深度对马铃薯田土壤酶活性的影响

土壤酶主要来源于土壤中微生物和根系的分泌以及动植物残体, 参与着土壤中有有机、无机养分循环^[30], 是土壤肥力水平评价指标之一, 可表征土壤肥力综合特性、变化状况及土壤养分的转化进程^[10]。深翻可以通过对土壤的强烈搅动, 增加孔隙度, 减小容重, 进而提高土壤通气性, 此外, 深翻还可以将浅层土的养分翻到深层土中, 为耕翻土体中微生物的生存、繁殖以及活动提供了有利条件, 进而促进微生物的繁殖及土壤酶活性的增

加^[9, 12]。有研究表明, 深翻可提高夏玉米田中土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶和蔗糖酶的活性^[11]。对于小麦田而言, 深耕可显著提高土壤脲酶活性, 但对过氧化氢酶活性无影响^[12]。对于植烟田, 深耕只显著提高了生长前期土壤酸性磷酸酶活性和生长后期土壤脲酶活性, 对蔗糖酶活性无明显影响^[13]。但在本研究中, 深翻对马铃薯田中蔗糖酶活性的影响最小, 其次是过氧化氢酶活性, 相较于 D₂₀ 处理, 深翻 D₃₀、D₄₀ 与 D₅₀ 处理降低了马铃薯整个生育期 0 ~ 20 cm 土层中的过氧化氢酶活性, 对 20 ~ 40 cm 土层中过氧化氢酶活性影响不明显, 但提高了苗期 40 ~ 60 cm 土层中的过氧化氢酶活性。相反地, 深翻对马铃薯田中碱性磷酸酶活性和脲酶活性影响较大。对碱性磷酸酶而言, 深翻提高了整个生育期 0 ~ 20 和 40 ~ 60 cm 土层中的碱性磷酸酶活性, 而在 20 ~ 40 cm 土层中, 深翻只提高了苗期马铃薯田土壤中碱性磷酸酶活性, 但降低了淀粉积累期的碱性磷酸酶活性; 其中在 40 ~ 60 cm 土层中, D₃₀ 处理对碱性磷酸酶活性无显著影响, 但 D₄₀、D₅₀ 处理在苗期与块茎形成期分别显著提高了 22.9% 与 30.1%、41.1% 与 30.4%。对脲酶而言, 耕翻 D₃₀、D₄₀ 与 D₅₀ 处理可分别显著提高整个生育期 0 ~ 40、20 ~ 60 cm 土层中脲酶活性, 此外, D₄₀ 与 D₅₀ 处理还可显著提高淀粉积累期 0 ~ 20 cm 浅层土中的脲酶活性。由此可知, 深翻可提高马铃薯田中碱性磷酸酶与脲酶活性, 其中以 D₄₀ 和 D₅₀ 处理效果最佳, 但对过氧化氢酶和蔗糖酶活性影响较小。深翻对不同作物种植田中土壤酶活性的影响效应存在差异。其原因主要是土壤酶活性与微环境有关^[31], 土壤质地、pH、养分不同的土壤其微环境不同, 进而影响微生物的种类及酶活性^[32-34]。

综上所述, 深翻 30 cm 仍旧是马铃薯根系生长的胁迫深度, 在此胁迫深度以内, 耕翻深度越深越有利于马铃薯根系生长。深翻 40 与 50 cm 可有效打破犁底层, 延缓了马铃薯根系衰老, 促进了干物质积累。马铃薯田中碱性磷酸酶与脲酶受深翻影响较大, 其中深耕 40 与 50 cm 对促进马铃薯根系生长、提高马铃薯田土壤碱性磷酸酶与脲酶活性效果较好。但是, 加大耕翻深度势必会增加能耗, 提高生产成本, 因此, 深翻 40 cm 对促进马铃薯根系生长、提高马铃薯田土壤碱性磷酸酶与脲酶活性效果最佳。



参考文献:

- [1] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2012(1): 1-4.
- [2] 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.
- [3] 孟丽丽, 张婷婷, 蒙美莲, 等. 耕翻深度对马铃薯生长及土壤水分的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(3): 58-65.
- [4] 冀保毅. 深耕与秸秆还田的土壤改良效果及其作物增产效应研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [5] 徐月. 不同耕作方式对土壤理化性质及小麦生长发育的影响[D]. 淄博: 山东理工大学, 2014.
- [6] 战秀梅, 李秀龙, 韩晓日, 等. 深耕及秸秆还田对春玉米产量、花后碳氮积累及根系特征的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 461-466.
- [7] 李晓龙. 深耕方式对土壤理化性状及春玉米根冠特性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [8] 廖青, 韦广波, 刘斌, 等. 机械化深耕深松栽培对甘蔗生长及产量的影响[J]. 广西农业科学, 2010, 41(6): 542-544.
- [9] 张紧紧. 深耕和有机物料还田对土壤-小麦系统碳、氮动态影响的研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2014.
- [10] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [11] 冀保毅, 赵亚丽, 穆心愿, 等. 深耕和秸秆还田对土壤酶活性的影响[J]. 河北农业科学, 2016, 20(1): 46-51.
- [12] 马守臣, 张紧紧, 冯荣成, 等. 深耕和施用有机肥对麦田土壤微环境的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(4): 192-197.
- [13] 芦伟龙. 耕作方式与秸秆还田量对植烟土壤理化性质及烤烟生长的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [14] 张宏雷, 张丁, 王秋菊, 等. 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[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(6): 170-176.
- [15] 黄茂林, 梁银丽, 陈晨, 等. 黄土丘陵区免耕条件下两种土壤酶活性变化[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 144-148, 160.
- [16] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 39-40.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 14-340.
- [18] 王小菁. 植物生理学[M]. 8版. 北京: 高等教育出版社, 2019: 18.
- [19] Thorup-kristensen K, Halberg N, Nicolaisen M, et al. Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting[J]. Trends in Plant Science, 2020, 25(4): 406-417.
- [20] 白非, 白桂萍, 王春云, 等. 耕翻深度对遮阴油菜根系生长和养分吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(14): 2726-2739.
- [21] 高仁才, 陈松鹤, 马宏亮, 等. 秋闲期秸秆覆盖与减氮优化根系分布提高冬小麦产量及水氮利用效率[J]. 中国农业科学, 2022, 55(14): 2709-2725.
- [22] 王晓娇. 马铃薯萌芽出苗期根系生育对土壤水分的生理和分子响应机制研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [23] 谢迎新, 靳海洋, 李梦达, 等. 周年耕作方式对砂姜黑土农田土壤养分及作物产量的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(10): 1560-1568.
- [24] 张向前, 杨文飞, 徐云姬. 中国主要耕作方式对旱地土壤结构及养分和微生态环境影响的研究综述[J]. 生态环境学报, 2019, 28(12): 2464-2472.
- [25] 冯瑞云, 雷梦林, 程宏, 等. 耕作措施对太行山雨养生态区春玉米根系生长及产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(6): 1-5.
- [26] 战秀梅, 李秀龙, 韩晓日, 等. 深耕及秸秆还田对春玉米产量、花后碳氮积累及根系特征的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 461-466.
- [27] 槐圣昌. 耕作方式与秸秆还田对东北黑土物理性质和玉米根系生长的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [28] 马俊艳, 左强, 王世梅, 等. 深耕及增施有机肥对设施菜地土壤肥力的影响[J]. 北方园艺, 2011(24): 186-190.
- [29] 李涛, 李金铭, 赵景辉, 等. 深耕对小麦发育及节水效果影响的研究[J]. 山东农业科学, 2003, 35(3): 18-20.
- [30] 王芸. 保护性耕作对麦田土壤微生物特性及理化性状的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [31] 徐忠山, 刘景辉, 逯晓萍, 等. 施用有机肥提高黑土土壤酶活性, 增加细菌数量及种类多样性[J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 50-55.
- [32] 卜洪震, 王丽宏, 尤金成, 等. 长期施肥管理对红壤稻田土壤微生物量碳和微生物多样性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(16): 3340-3347.
- [33] 刘骅, 林英华, 张云舒, 等. 长期施肥对灰漠土生物群落和酶活性的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3898-3904.
- [34] 李晨华, 贾仲君, 唐立松, 等. 不同施肥模式对绿洲农田土壤微生物群落丰度与酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 567-574.

Effects of ploughing depth on root growth of potato and soil enzyme activity in the north foot of Yinshan mountain

MENG Li-li¹, XING Yan-ling¹, ZHANG Ting-ting², LI Xin¹, ZHANG Ya-nan¹, HUO Yu-qin¹, MENG Mei-lian^{3*}
(1. Department of Life Science, Cangzhou Normal University, Cangzhou Hebei 061001; 2. Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal husbandry Sciences, Hohhot Inner Mongolia 010031; 3. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot Inner Mongolia 010019)

Abstract: To explore the effects of ploughing depth on root growth and soil enzyme activity of potato in north foot of Yinshan mountain, the effects of four different ploughing depths of 20 cm (D₂₀, CK), 30 cm (D₃₀), 40 cm (D₄₀) and 50 cm (D₅₀) on dry matter accumulation, activity of root of potato and soil enzyme activities, including catalase, alkaline phosphate, urease and sucrose, were analyzed. The results showed that the deep ploughing of D₄₀ and D₅₀ treatment, compared to D₂₀ and D₃₀ treatment, improved root activity significantly and enhanced root dry matter accumulation in starch accumulation stage, increased by 75.2%–292.1% and 23.4%–30.2%, respectively. Through the soil enzymes activity analysis, deep ploughing (D₃₀, D₄₀, D₅₀ treatment) had little effect on the activities of catalase and sucrase in potato fields, but had a great effect on alkaline phosphatase and urease activities. Deep ploughing improved soil alkaline phosphate activity in soil layers of 0–20 cm in whole growing period and 20–60 cm in seeding stage. Among them, D₄₀ and D₅₀ treatment increased remarkably in soil layers of 0–20 cm from tuber expansion period to the starch accumulation stage and 40–60 cm in seeding stage. Deep ploughing D₃₀, D₄₀ and D₅₀ treatments significantly increased the urease activity in 0–20 cm soil layers in the whole growth period, from tuber expansion stage to starch accumulation period, and starch accumulation period, respectively. Meanwhile, they improved the urease activity in 20–60 cm soil, among which the urease activity of D₄₀ and D₅₀ treatment increased significantly by 33.8%–80.0%. In conclusion, the ploughing depth of 30 cm was still the stress depth for potato root growth, and the deep ploughing of 40 cm had the best effect on promoting potato root growth and increasing the activities of alkaline phosphatase and urease in potato field.

Key words: ploughing depth; potato; root growth; soil enzyme activity