

免耕和秸秆覆盖对黑垆土磷素形态组分的影响

王玉平, 郑丽娜, 沈禹颖

(兰州大学 草地农业科技学院, 草地农业生态系统国家重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘要: [目的] 探究免耕及添加秸秆条件下黑垆土壤磷组分特征及其与 AM 真菌侵染的关系, 了解雨养农业区农业系统磷素利用效率。[方法] 在陇东黄土高原黑垆土区域, 测定传统耕作、传统耕作+秸秆覆盖、免耕和免耕+秸秆覆盖 4 种处理小麦—玉米—大豆轮作系统中玉米阶段土壤全磷、速效磷组分及 AM 真菌菌根侵染率。[结果] 水土保持耕作处理实施 9 a 后, 免耕和秸秆覆盖处理下 0—5 cm 土壤磷素含量显著提高, 活性磷组分 H_2O-P_i , $NaHCO_3-P_i$, $NaOH-P_i$ 分别比对照提高 84.6%, 85.2% 和 56.6%; 活性无机磷(H_2O-P_i , $NaHCO_3-P_i$ 之和)和潜在活性磷($NaOH-P_i$) 分别占总无机磷的 11.4% 和 4.5%, 全磷含量与磷组分、速效磷与磷组分呈显著正相关, 2 个免耕处理菌根侵染率分别比对照增加 20.8% 和 16.5%。[结论] 免耕和秸秆覆盖显著提高了土壤磷含量, 免耕对 AM 真菌菌根侵染率有积极影响。

关键词: 保护性耕作; 有机磷组分; 无机磷组分; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0149-06

中图分类号: S344.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20151014.002

Effects of No-till and Stubble Retention on Phosphorus Fractions of Heilu Soil

WANG Yuping, ZHENG Lina, SHEN Yuying

(College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University,

State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou 730020, China)

Abstract: [Objective] The objectives of the study are to investigate the characteristics of soil phosphorus fractions on Heilu soil and its relationships with AM fungi colonization under no-till and stubble retention, in order to understand the phosphate use efficiency in rain feed agricultural system. [Methods] Total phosphorus, available phosphorus and phosphorus fraction and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi colonization were determined using classical methods for maize crop under 4 tillage managements: conventional tillage, tillage + stubble retention, no-till, no-till + stubble retention in the Loess Plateau. [Results] After nine-year conservation tillage implementation, the content of P in soil layer of 0—5 cm increased. Compared to conventional tillage, the fraction of H_2O-P_i , $NaHCO_3-P_i$ and $NaOH-P_i$ was increased by 84.6%, 85.2% and 56.6%, respectively, under conservation tillage. Labile phosphorus (H_2O-P_i , $NaHCO_3-P_i$) and potential labile phosphorus ($NaOH-P_i$) accounted for 11.4% and 4.5% of total inorganic phosphorus. The total phosphorus showed a significantly positive correlation with available phosphorus and phosphorus fraction. Compared to conventional tillage, the AM fungi colonization increased by 20.8% and 16.5% under no-till management. [Conclusion] The content of soil phosphorus was significantly improved under no-till and stubble retention, and the AM fungi colonization had a positive response to no-till.

Keywords: conservation tillage; organic phosphorus fractions; inorganic phosphorus fractions; Loess Plateau

磷是植物必需的大量元素之一, 不仅是植物生产力的重要限制因子, 同时也是维持生态系统元素平衡的重要因素, 土壤磷是植物磷元素吸收的主要来

源^[1], 其有效性在很大程度上取决于磷组分形态, 主要分为无机磷和有机磷两部分, 其中无机磷约占磷总量的 50%~80%^[2], 为可被植物吸收利用 H_2O-P_i

收稿日期: 2014-08-19

修回日期: 2014-09-03

资助项目: 教育部重大科技项目“黄土高原雨养农业区粮草轮作系统调控有害生物的关键机理研究”(313028); 甘肃省重大科技专项“庆阳黄土高原生态治理和水资源高效利用的技术体系研究与示范”(1203FKDA035); 教育部创新团队“草地农业系统耦合与管理”(IRT13019)

第一作者: 王玉平(1990—), 女(汉族), 甘肃省白银市人, 硕士研究生, 研究方向为草业科学研究。E-mail: wangyp13@lzu.edu.cn.

通信作者: 沈禹颖(1965—), 女(汉族), 上海市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事草地农业系统研究。E-mail: yy.shen@lzu.edu.cn.

和 $\text{NaOH}-\text{P}_i$ 等,有机态磷对土壤磷素供应有非常重要的作用,随着 Hedley 改进法的广泛应用,对其组分特征的研究得到了深入。研究表明,耕作措施影响土壤有效磷含量,免耕提高了土壤全磷和速效磷含量^[3],耕作和免耕通过影响土壤物理结构和氧化还原电位,进而影响磷组分组成^[4],免耕下 $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$ 和 $\text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ 含量高于传统耕作^[5],土壤总有机磷及其组分表现出明显的空间分布和季节分布^[6],有机磷组分既与其转化规律有关,亦受耕作方式等管理措施的影响,秸秆覆盖加免耕措施促进了黄绵土壤各形态有机磷含量的提高^[7]。从微生物因素来看,丛枝菌根真菌(*Arbuscular mycorrhizal fungi*, AMF)能与绝大多数作物共生,促进根际有机磷矿化,提高其生物有效性^[8],免耕提高了玉米—小麦—大豆轮作系统中大豆阶段花期 AM 真菌的侵染率,然而免耕加秸秆添加下的 AM 真菌侵染率却低于耕作加秸秆添加^[9],目前对保护性耕作下土壤磷组分动态及与 AM 真菌关系还需开展深入研究,本研究旨在确定免耕及秸秆添加下黑垆土土壤磷组分特征及与 AM 真菌侵染的关系,为改善雨养农业区农业系统磷素利用效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于兰州大学庆阳黄土高原试验站($35^{\circ}39'N, 107^{\circ}51'E$),海拔 1 297 m。多年平均年降水量为 546 mm,平均气温 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$,极端最高气温为 39.6°C ,极端最低气温为 -22.4°C ,无霜期平均为 161 d,年日照时数 2 300~2 700 h。土壤为黑垆土,粉粒含量占 70%,有机质含量约 1%,全 N 含量低于 0.1%,pH 值 $8\sim 8.5$ ^[6]。

1.2 试验设计

作物轮作序列为两年三熟制的玉米(*Zea mays*)—冬小麦(*Triticum aestivum*)—大豆(*Glycine max*),4 月中下旬播种玉米(播量 $30\text{ kg}/\text{hm}^2$,行距 38 cm),9 月中下旬播种小麦(播量 $187\text{ kg}/\text{hm}^2$,行距 15 cm),第二年 6 月底或 7 月初收获,随后立即播种大豆(行距 25 cm),10 月份中旬收获。田间管理措施详见参考文献^[10]。本研究主要对轮作系统中玉米生长阶段做详细的讨论。

自 2001 年开始实施 4 个保护性耕作处理:传统耕作+秸秆还田、免耕和免耕+秸秆还田,以传统耕作为对照。耕作处理分别于作物收获后和下茬作物播种前各耕作一次,耕深 30 cm。试验设计为完全

随机区组排列,4 个重复,小区大小 $4\text{ m}\times 13\text{ m}$ 。

1.3 取样与测定

1.3.1 土壤磷含量及组分 2009 年玉米成熟期,在各小区用土钻法取 0—5 和 5—10 cm 土样,重复 3 钻,相同层次土样混合均匀,拣出土壤中可见杂物, 36°C 下烘干,分别过 0.25 mm 和 2 mm 筛,备用待测。

采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法测定全磷, Olsen—法测定速效磷^[11],修正的 Hedley 连续浸提分级法测定磷组分^[12],即用去离子水,0.5 mol/L NaHCO_3 ,0.1 mol/L NaOH,1.0 mol/L 稀盐酸和浓盐酸逐步提取稳定性由弱到强的活性无机磷 $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$,潜在活性磷 $\text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ 和 $\text{NaOH}-\text{P}_i$,稳定性无机磷 $\text{DHCL}-\text{P}_i$ 和高稳定性无机磷 $\text{HHCL}-\text{P}_i$;由 0.5 mol/L NaHCO_3 ,0.1 mol/L NaOH 和浓盐酸浸提液测定该组分的全磷和无机磷含量(P_i),二者差值为有机态磷(P_o)含量。

1.3.2 菌根侵染率 与土样取样同期,各小区中随机采集 3 株玉米根系,混合后,实验室内随机挑取长约 1 cm 的根段 100 根,于 10% KOH 溶液中, 80°C 水浴处理 25 min,移入 2% HCl 溶液中酸化 30 min,常温下用 0.05% 的台盼蓝染液染色 30 min,置于脱色液中脱色 2~3 d。以 PVLG 为浮载剂,将染色根断压成显微制片,置于普通光学显微镜 200 倍下观察其 AM 结构。十字交叉法测定单位根长 AM 真菌菌根侵染率。

1.4 数据分析

采用 SPSS 软件,双因素方差分析耕作(t)和秸秆(s)效应以及两者的互作效应($t*s$)($p=0.05$)对土壤各种磷形态的影响。采用最小差数法分析(LSD法)进行各处理平均数间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 免耕和秸秆覆盖下 0—10 cm 土壤全磷和速效磷含量

免耕对 0—5 cm 土壤全磷有极显著($p<0.01$)效应,免耕处理和免耕+秸秆还田中该层全磷含量分别比对照显著提高 8.5%和 11.9%,在 5—10 cm 土层中,耕作处理对全磷含量效应不明显,免耕+秸秆还田处理下比对照增加了 $5.9\text{ kg}/\text{hm}^2$ ($p>0.05$)。免耕对 0—5 cm 土壤速效磷有显著的提高效应,免耕和免耕+秸秆还田处理下比对照增加了 5%和 101.1%,免耕下 5—10 cm 土壤速效磷含量明显低于其他 3 个处理(图 1)。免耕与秸秆覆盖对土壤速效磷含量有极显著的互作效应($p<0.001$),主要是通过免耕加强了秸秆覆盖的效应。

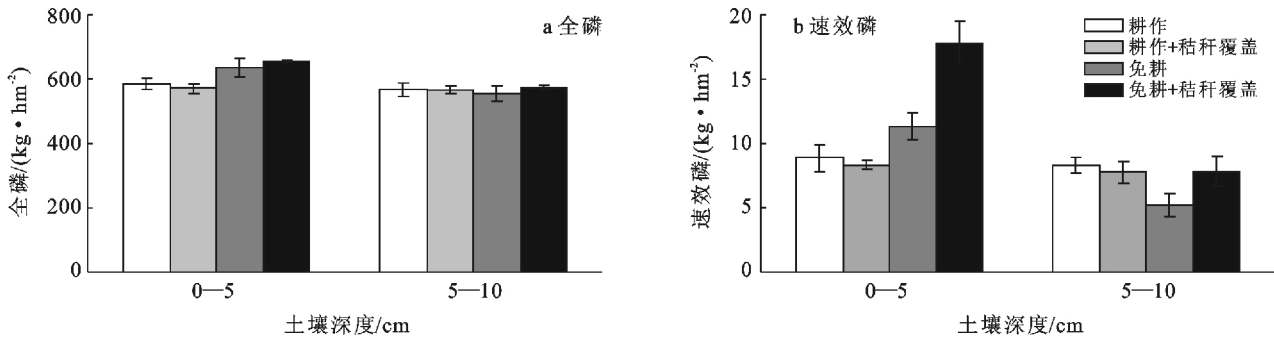


图 1 免耕与秸秆覆盖下土壤 0—10 cm 全磷和速效磷含量

2.2 免耕和秸秆覆盖下 0—10 cm 土壤无机磷组分含量

土壤无机磷各组分含量由高到低的顺序为: $\text{DHCl}-\text{P}_i > \text{HHCl}-\text{P}_i > \text{NaHCO}_3-\text{P}_i > \text{NaOH}-\text{P}_i > \text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$, 4 个处理下, 由 $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$ 与 $\text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ 组成的活性无机磷占总无机磷的 6.0%~11.4%; 潜在活性无机磷($\text{NaOH}-\text{P}_i$)占 3.32%~4.58%, 稳定无机磷占 66.35%~71.59%。

免耕和秸秆覆盖对 0—5 cm 土壤活性无机磷组分($\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i, \text{NaHCO}_3-\text{P}_i$)和潜在活性无机磷组分($\text{NaOH}-\text{P}_i$)有显著增加效应($p < 0.05$), 2 个免耕处

理的各无机磷组分含量均高于传统耕作处理, 免耕+秸秆还田处理下 $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i, \text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ 组分和 $\text{NaOH}-\text{P}_i$ 组分分别比对照处理下显著提高了 84.6%, 85.2% 和 56.6% ($p < 0.05$); 5—10 cm 土层中, 活性无机磷组分 $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i, \text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ 组分和潜在活性无机磷组分($\text{NaOH}-\text{P}_i$)含量仍然以在免耕+秸秆还田处理下最高, 分别比对照处理下增加了 35.3%, 34.5% 和 90.9%, 免耕和秸秆覆盖对稳定性无机磷($\text{DHCl}-\text{P}_i$)和高稳定性无机磷($\text{HHCl}-\text{P}_i$)含量无显著影响, 免耕处理下比对照处理提高 15.8% 和 14.4% ($p > 0.05$) (表 1)。

表 1 免耕和秸秆覆盖下无机磷组分含量

| 处理 | mg/kg | | | | | | | | | |
|----------------|---------------------------------|---------|-----------------------------|---------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$ | | $\text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ | | $\text{NaOH}-\text{P}_i$ | | $\text{DHCl}-\text{P}_i$ | | $\text{HHCl}-\text{P}_i$ | |
| | 0—5 cm | 5—10 cm | 0—5 cm | 5—10 cm | 0—5 cm | 5—10 cm | 0—5 cm | 5—10 cm | 0—5 cm | 5—10 cm |
| 耕作 | 13.0 | 10.2 | 28.3 | 22.3 | 19.6 | 16.5 | 418.0 | 351.2 | 105.0 | 110.0 |
| 耕作+秸秆覆盖 | 12.7 | 12.2 | 27.1 | 26.5 | 19.8 | 18.5 | 393.6 | 385.5 | 112.2 | 123.7 |
| 免耕 | 15.2 | 11.1 | 33.1 | 24.2 | 26.2 | 19.0 | 430.4 | 406.7 | 106.9 | 125.8 |
| 免耕+秸秆覆盖 | 24.0 | 13.8 | 52.4 | 30.0 | 30.7 | 21.5 | 444.5 | 380.5 | 118.3 | 103.2 |
| $P_{0.05}$ | *** | ns | *** | ns | ** | ns | ns | ns | ns | ns |
| $P_{s0.05}$ | * | ns | * | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| $P_{t* s0.05}$ | * | ns | * | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

注: ns 表示差异不显著; * 表示在 $p \leq 0.05$ 水平上显著; ** 表示在 $p \leq 0.01$ 水平上显著; *** 表示在 $p \leq 0.001$ 水平上显著。下同。

2.3 免耕和秸秆覆盖下 0—10 cm 土壤有机磷组分含量

各处理下, 土壤有机磷组分含量由高至低为 $\text{HHCl}-\text{P}_o > \text{NaOH}-\text{P}_o > \text{NaHCO}_3-\text{P}_o$, 除 5—10 cm 土层的 $\text{NaOH}-\text{P}_o$ 含量外, 免耕显著增加了各有机磷组分的含量。0—5 cm 土层中 $\text{NaHCO}_3-\text{P}_o, \text{NaOH}-\text{P}_o$ 和 $\text{HHCl}-\text{P}_o$ 含量均以免耕处理下最高, 分别比对照处理增加了 36.9%, 15.7% 和 90.5%, 免耕+秸秆还田处理下次之; 5—10 cm 土层中, $\text{NaHCO}_3-\text{P}_o$ 含量在免耕+秸秆还田处理下最高, 比对照处理显著提高 60.1%; 免耕处理下 $\text{HHCl}-\text{P}_o$ 含量比对照处理提高 43.2%。与无机磷组分的空间分布趋势相同,

$\text{NaOH}-\text{P}_o$ 组分含量随土层的加深而降低(表 2)。

2.4 免耕和秸秆覆盖土壤 0—10 cm 各磷形态组分间的相关关系

土壤磷组分的关系如表 3 所示, $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$ 与 $\text{NaHCO}_3-\text{P}_i, \text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$ 与 $\text{NaOH}-\text{P}_i, \text{H}_2\text{O}-\text{P}_i$ 与 $\text{DHCl}-\text{P}_i, \text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ 与 $\text{NaOH}-\text{P}_i, \text{NaHCO}_3-\text{P}_i$ 与 $\text{DHCl}-\text{P}_i$ 之间均呈极显著的正相关关系 ($p < 0.001$); $\text{NaOH}-\text{P}_i$ 与 $\text{DHCl}-\text{P}_i$ 显著相关 ($p < 0.05$), $\text{DHCl}-\text{P}_i$ 与 $\text{HHCl}-\text{P}_i, \text{HHCl}-\text{P}_i$ 与 $\text{NaHCO}_3-\text{P}_o, \text{HHCl}-\text{P}_i$ 与 $\text{NaOH}-\text{P}_o$ 之间则呈负相关关系 ($p > 0.05$)。

0—10 cm 土壤全磷和无机磷组分 $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_i,$

NaHCO₃-P_i, NaOH-P_i 和 DHCl-P_i 间呈极显著 CO₃-P_i 和 DHCl-P_i 间呈极显著正相关 ($p < 0.001$); ($p < 0.001$) 的正相关关系; 速效磷和 H₂O-P_i, NaH- NaHCO₃-P_o 与全磷、速效磷呈负相关关系(表 4)。

表 2 免耕和秸秆覆盖下 0—10 cm 土壤有机磷组分含量 (mg/kg)

| 处 理 | NaHCO ₃ -P _o | | NaOH-P _o | | HHCl-P _o | |
|----------------|------------------------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
| | 0—5 cm | 5—10 cm | 0—5 cm | 5—10 cm | 0—5 cm | 5—10 cm |
| 耕 作 | 13.0 | 10.8 | 30.6 | 29.9 | 159.2 | 114.7 |
| 耕作+秸秆覆盖 | 13.4 | 12.3 | 27.5 | 27.6 | 159.0 | 124.5 |
| 免 耕 | 17.8 | 15.6 | 35.4 | 33.8 | 212.8 | 164.3 |
| 免耕+秸秆覆盖 | 17.5 | 19.3 | 35.2 | 27.1 | 192.8 | 141.8 |
| $p_{t0.05}$ | *** | ** | ** | ns | ** | * |
| $p_{s0.05}$ | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| $p_{t^*s0.05}$ | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

表 3 免耕和秸秆覆盖下 0—10 cm 土壤各磷组分间的相关系数

| 磷组分 | H ₂ O-P _i | NaHCO ₃ -P _i | NaOH-P _i | DHCl-P _i | HHCl-P _i | NaHCO ₃ -P _o | NaOH-P _o | HHCl-P _o |
|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| H ₂ O-P _i | 1 | | | | | | | |
| NaHCO ₃ -P _i | 0.999** | 1 | | | | | | |
| NaOH-P _i | 0.734** | 0.734** | 1 | | | | | |
| DHCl-P _i | 0.359** | 0.359** | 0.382* | 1 | | | | |
| HHCl-P _i | 0.089 | 0.088 | 0.134 | -0.225 | 1 | | | |
| NaHCO ₃ -P _o | 0.282 | 0.282 | 0.277 | 0.273 | -0.089 | 1 | | |
| NaOH-P _o | 0.150 | 0.150 | 0.533** | 0.530** | -0.202 | 0.337 | 1 | |
| HHCl-P _o | 0.331 | 0.331 | 0.417** | 0.072 | 0.128 | 0.389* | 0.208 | 1 |

表 4 免耕和秸秆覆盖下 0—10 cm 土壤磷组分与全磷、速效磷含量的相关系数

| 磷组分 | H ₂ O-P _i | NaHCO ₃ -P _i | NaOH-P _i | DHCl-P _i | HHCl-P _i | NaHCO ₃ -P _o | NaOH-P _o | HHCl-P _o |
|-----|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 有效磷 | 0.526** | 0.525** | 0.576** | 0.720** | -0.179 | 0.233 | 0.483** | 0.238 |
| 全 磷 | 0.526** | 0.527** | 0.265 | 0.377** | -0.217 | 0.198 | 0.140 | -0.055 |

2.5 免耕和秸秆覆盖下 AM 菌根侵染率

免耕和秸秆覆盖对玉米成熟期 AM 真菌菌根侵染率未产生显著影响,但较传统耕作 AM 真菌菌根侵染率有所提高,免耕+秸秆还田和免耕处理下菌根侵染率分别比对照增加 20.8% 和 16.5% ($p > 0.05$) (图 2)。

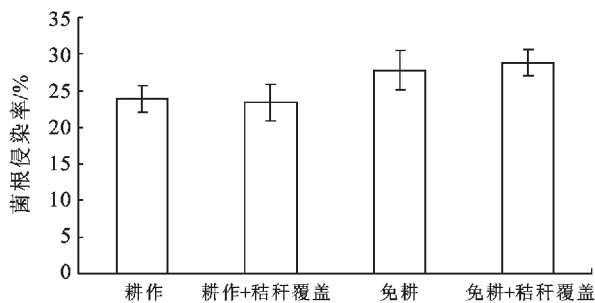


图 2 免耕和秸秆覆盖下玉米 AM 真菌菌根侵染率

3 讨论

3.1 保护性耕作对表层土壤磷含量和磷组分的影响

保护性耕作可提高土壤全磷、速效磷含量,土壤 0—5 cm 和 5—10 cm 速效磷分别增加 59.7% 和 49.9%^[6, 11],本研究亦表明,在 2 a 三熟的种植制度下,实施免耕结合秸秆覆盖处理 9 a 后,表层土壤全磷、速效磷含量持续提高。天然草地开垦后,土壤全磷含量显著降低,无机磷占全磷含量的比例提高,耕地退耕种植紫花苜蓿后,土壤全磷含量无显著变化,但无机磷占全磷的比例则降低^[13],说明免耕不仅对提高土壤磷素成分有促进作用,而且提高了土壤磷库储备。

无机磷组分中 H₂O-P_i 和 NaHCO₃-P_i 能够直接被植物吸收利用,是活性态磷^[14],NaOH-P_i 是 Fe 和 Al 结合态磷,被认为是中等活性无机磷^[15],

HCl—P_i则以Ca结合态磷为主,形态稳定,为稳定性无机磷组分^[16]。本研究所见,免耕+秸秆还田处理下活性无机磷,Fe,Al和Ca结合态磷组分含量均最高,说明免耕结合秸秆覆盖促进了土壤有机磷向活性形态转化,使可溶性无机磷组分含量增加,增加了与Ca离子结合的磷组分含量,提高了土壤P素有效性,这与有机肥料添加可提高土壤无机磷组分的报道一致^[15]。

土壤有机磷含量因土壤母质、土壤类型、土壤特性、土质地、植被类型、气候季节变化及土地管理措施而不同,其中活性有机磷和部分中等活性有机磷较稳定,有机磷更易被矿化,NaOH₂—P_o。有机磷由腐殖酸和褐菌素等组成,黄土高原旱作条件下土壤有机磷组分含量从高到低依次为:HHCl—P_o>NaOH—P_o>NaHCO₃—P_o。^[7]黑土和黑钙土磷组分含量有相同趋势^[17]。秸秆添加下稳定有机磷含量相对提高^[18]。本研究中,秸秆覆盖处理下土壤各磷素含量均有提高,免耕处理下有机磷提高,这是因为免耕下土壤少受干扰,有利于有机碳的累计,进一步促进了土壤有机磷的积累。

土壤磷组分间的转化受土壤类型的影响^[17],三江平原植物生长期间土壤无机磷和有机磷组分以NaOH溶液浸提的磷形态含量最高^[15],本研究发现黑垆土无机磷和有机磷以浓盐酸浸提的磷形态含量最高,结合Ca离子的HCl—P_i组分占66.35%~71.59%,环境条件是影响土壤磷形态的重要因素,土壤水分通过控制有机物循环和矿物质的溶解、沉淀,进而影响土壤各磷形态的相对含量,温室栽培条件下,Fe和Al结合态NaOH—P_i的磷形态含量最高,相对水分含量较低的露地土壤以Ca结合态的HCl—P_i磷含量最高^[19],进一步解释了本研究中结合Ca离子的HCl—P_i组分比例偏高的原因。

3.2 全磷、速效磷与磷组分的关系

土壤中各磷组分之间通过转化而互相影响与制约,植物有效磷源的多少取决于土壤各磷组分之间的分布状况和转化方向,无机磷通过生物固定转化为有机磷,有机磷通过土壤磷酸酶的作用转化为无机磷^[20]。速效磷含量主要来源于有机磷的矿化作用^[13]。有研究提出秸秆还田利于土壤磷向中稳性和高稳性有机磷转化^[21]。本研究中土壤全磷、速效磷之间呈极显著正相关,速效磷含量随着全磷含量的提高而提高,全磷与速效磷之间互相促进其含量在土壤中的积累。本研究认为磷组分之间的转化主要发生在HCl—P_i与其他磷组分之间,HHCl—P_i与DHCl—P_i,NaHCO₃—P_o,NaOH—P_o之间呈负相关,HCl—P_i与

NaHCO₃—P_o,NaOH—P_o通过矿化作用,进一步转为植物可以吸收的活性磷组分,可能由于HCl—P_i是潜在的有效磷源,植物对磷素的利用刺激稳定性无机磷缓慢向活性无机磷转化^[22]。全磷、速效磷与各种无机磷组分之间存在显著正相关,与赵靓等人的研究结果相似^[23]。

3.3 保护性耕作对菌根侵染率的影响

研究表明,AM真菌对植物生长和植物营养的吸收具有重要的作用,菌根菌丝对植物磷营养吸收有益^[24]。不同AM真菌(或真菌组合)对固沙植物白草均具显著的侵染效应;一定范围内,植株生物量、吸磷量随菌根侵染率提高而显著增加,免耕可以提高小麦收获期AM真菌菌根的侵染率^[9],本研究结果表明免耕及免耕加秸秆覆盖,显著提高了玉米菌根侵染率,因为免耕条件下,AM真菌菌丝受到扰动干扰小,菌根侵染率明显提高,秸秆添加有利于有机质的累积,为微生物生长创造了良好的底物供应,从而促进土壤磷素有效性。

4 结论

免耕和秸秆覆盖对土壤磷素累积效应显著。免耕显著提高了土壤全磷,速效磷,0—5 cm土壤层无机磷组分H₂O—P_i,NaHCO₃—P_i和NaOH—P_i,5—10 cm土壤层主要有机磷组分,对AM真菌菌根侵染率有积极影响。秸秆覆盖能显著增加土壤全磷,速效磷,0—5 cm土壤无机磷组分H₂O—P_i和NaHCO₃—P_i含量。

[参考文献]

- [1] 王鑫.不同土地利用方式下土壤无机磷形态与酶活性空间变异特征[J].水土保持通报,2008,28(5):112-117.
- [2] 李中阳,樊向阳,齐学斌,等.再生水灌溉对不同类型土壤磷形态变化的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):232-235.
- [3] 郑丽娜,王先之,沈禹颖.保护性耕作对黄土高原塬区作物轮作系统磷动态的影响[J].草业学报,2011,20(4):19-26.
- [4] 冯跃华,张杨珠,黄运湘.不同稻作制,有机肥用量及地下水深度对红壤性水稻土无机磷形态的影响[J].中国农业科学,2009,42(10):3551-3558.
- [5] Pavinato P S, Merlin A, Rosolem C A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage [J]. Soil and Tillage Research, 2009,105(1):149-155.
- [6] Pheav S, Bell R W, Kirk G J D, et al. Phosphorus cycling in rainfed lowland rice ecosystems on sandy soils [J]. Plant and Soil, 2005,269(1/2):89-98.

- [7] 海龙,王平,张仁陟,等.不同耕作方式对土壤有机磷形态的影响[J].甘肃农业大学学报,2007,41(5):95-99.
- [8] 宋勇春,李晓林,冯固.菌根真菌磷酸酶活性对红三叶草生境中土壤有机磷亏缺的影响[J].生态学报,2001,21(7):1130-1135.
- [9] Duan T, Shen Y, Facelli E, et al. New agricultural practices in the Loess Plateau of China do not reduce colonisation by arbuscular mycorrhizal or root invading fungi and do not carry a yield penalty[J]. Plant and Soil, 2010,331(1/2):265-275.
- [10] 罗彩云,沈禹颖,南志标,等.水土保持耕作下陇东玉米—小麦—大豆轮作系统产量,土壤易氧化有机碳动态[J].水土保持学报,2006,19(4):84-88.
- [11] 雷红霞,孟昭设,贾彩霞,等.土壤速效磷速测法的探讨[J].北京农业,2009(10):35-37.
- [12] López-Fando C, Dorado J, Pardo M T. Effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil properties and crop yields in a semi-arid soil from central Spain[J]. Soil and Tillage Research, 2007,95(1):266-276.
- [13] 郭彦军,倪郁,韩建国,等.开垦草原与种植紫花苜蓿对土壤磷素有效性的影响[J].水土保持学报,2009,23(1):88-92.
- [14] Huang X L, Chen Y, Shenker M. Chemical fractionation of phosphorus in stabilized biosolids[J]. Journal of environmental quality, 2008,37(5):1949-1958.
- [15] 吴玉梅,梁成华,杜立宇,等.长期定位施肥对蔬菜保护地土壤磷素形态的影响[J].中国土壤与肥料,2009(3):39-43.
- [16] Dou Z, Zhang G Y, Stout W L, et al. Efficacy of alum and coal combustion by-products in stabilizing manure phosphorus[J]. Journal of Environmental Quality, 2003,32(4):1490-1497.
- [17] 张锡洲,阳显斌,李廷轩,等.不同磷效率小麦对磷的吸收及根际土壤磷组分特征差异[J].中国农业科学,2012,45(15):3083-3092.
- [18] 赵晶晶,郭颖,陈欣,等.有机物料对土壤有机磷组分及其矿化进程的影响[J].土壤,2007,38(6):740-744.
- [19] 余海英,李廷轩,张树金,等.温室栽培条件下土壤无机磷组分的累积,迁移特征[J].中国农业科学,2011,44(5):956-962.
- [20] 刘树堂,韩晓日,迟睿,等.长期定位施肥对无石灰性潮土磷素状况的影响[J].水土保持学报,2006,19(5):43-46.
- [21] 马艳梅.长期定点施肥对白浆土磷素形态转化的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(2):39-41.
- [22] 蒋柏藩.石灰性土壤无机磷有效性的研究[J].土壤,1992,24(2):61-64.
- [23] 赵靓,侯振安,柴颖,等.长期施磷对灰漠土无机磷形态的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):236-242.
- [24] 钱成,蔡晓布,盖京苹,等.丛枝菌根真菌对西藏高原固沙植物吸磷效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):537-543.

(上接第 148 页)

- [13] 赵志耘,杨朝峰.中国碳排放驱动因素分解分析[J].中国软科学,2012(6):175-183.
- [14] 李效顺,曲福田,陈友德,等.经济发展与城市蔓延的 Logistic 曲线假说及其验证:基于华东地区典型城市的考察[J].自然资源学报,2012,27(5):713-722.
- [15] 张乐勤,陈素平,陈保平.基于边际效应模型的安徽省建设用地增长极限研究[J].地域研究与开发,2014,33(3):148-151.
- [16] 张乐勤,陈发奎.基于 Logistic 模型的中国城镇化演进对耕地影响前景预测及分析[J].农业工程学报,2014,30(1):1-11.
- [17] Northam R M. Urban Geography [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1979.
- [18] 陈彦光,罗静.城市化水平与城市化速度的关系探讨:中国城市化速度和城市化水平饱和值的初步推断[J].地理研究,2006,25(6):1063-1072.
- [19] 韩本毅.中国城市化发展进程及展望[J].西安交通大学学报:社会科学版,2011,31(3):18-22.
- [20] 陈明,王凯.我国城镇化速度和趋势分析:基于面板数据的跨国比较研究[J].城市规划,2013(5):16-21.
- [21] 安徽省统计局.安徽统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1997-2013.
- [22] 刘青,杨桂元.安徽省城镇化水平预测:基于 IOWHA 算子的组合预测[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2013,30(8):38-44.