

# 蔬菜保护地土壤磷积累与转化研究

徐晓锋, 苗艳芳, 郭大勇, 贾兴娜

(河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471003)

**摘 要:** 在洛阳市郊典型蔬菜栽培区, 对蔬菜保护地和小麦/玉米轮作田进行对比研究, 并采用蒋一顾无机磷分级方法对土壤无机磷进行分级, 以揭示蔬菜保护地土壤磷素积累、转化及有效性与棚龄的关系。结果表明, 保护地土壤总磷含量随棚龄增加而不断增加, 在 15~17 年日光温室中达到 4.22 g/kg; 有效磷在 11 年棚龄左右达到最大值, 此后略有下降; 在低棚龄阶段, 无机磷主要以速效态和缓效态组分积累, 很少以难效态组分积累; 在高棚龄阶段, 主要以难效态组分积累, 其它组分则显著下降; 但棚龄对钙结合态磷与非钙结合态磷间比例没有影响。

**关键词:** 保护地土壤; 磷; 积累; 生物有效性; 无机磷分级

**中图分类号:** S158      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0025-04

磷是作物生长的必须营养元素, 增施磷肥, 是保证农作物获得丰产的重要措施。当施磷量超过作物磷吸收量时, 磷素在土壤中积累。蔬菜保护地集约化程度高, 施肥量大, 磷素的积累更加普遍<sup>[1]</sup>。王彩绒等研究认为, 蔬菜地氮磷流失已经成为太湖流域富营养化的重要污染源<sup>[2]</sup>。

土壤磷的生物有效性和流失风险与土壤磷素的赋存形态、土壤环境条件密切相关。一般认为, 在石灰性土壤中, 钙结合态磷较铁铝结合磷有效性高; 但也有不少研究指出, 土壤溶液中磷的浓度与二价铁浓度线性相关, 受铁结合态磷的影响。理解土壤中磷的积累过程和赋存形态, 对土壤磷素评价中方法的选择、磷生物有效性和流失风险的估计具有指导意义。刘建玲等<sup>[3]</sup>、王新民等<sup>[4]</sup>、张学军等<sup>[5]</sup>曾采用无机磷组分分级方法研究了蔬菜保护地磷素形态和分布特征, 表明蔬菜地中磷素积累非常严重。但不同研究的结果并不一致。

本文的研究目标是: (1) 调查蔬菜保护地磷素随棚龄增加的积累趋势和不同形态磷素的变化特征; (2) 阐述磷素积累与土壤磷素有效性间的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查取样点和方法

洛阳地区属半湿润型气候, 年均气温 14.7℃, 年降雨量在 600 mm 左右, 7~9 月雨水集中。土壤样品采自洛阳市郊洛南区李楼乡五郎庙村。按照地理发生分类, 属潮土。自 1990 年前后开始种植日光温室蔬菜, 种植蔬菜前一直采用小麦玉米轮作制。

蔬菜地施肥量较大, 一般基肥为鸡粪 12 万 kg/hm<sup>2</sup>, 或猪粪 30 万 kg/hm<sup>2</sup>, 外加 0.15 万 kg/hm<sup>2</sup> 复合肥(N:P:K=1:1:1), 在翻耕时由机械翻入土中, 深度为 20 cm。种植夏季蔬菜时, 追施 3.0 万 kg/hm<sup>2</sup> 鸡粪。另外还随灌水施入复合肥 375 kg/hm<sup>2</sup> (冬季每 15 d 一次, 夏季每 5 d 一次)。

根据当地大棚蔬菜栽培历史, 随机选 5 a、12~13 a、15~17 a 三个棚龄段(以保护地 1、保护地 2、保护地 3 表示)蔬菜大棚各 3 个, 进行调查。土样采集方法为, 每个大棚按照 0~15 cm、15~30 cm 两个土层, 根据 5 点取样法取样, 并以混合样代表该大棚两个土层的情况。同时采集经过 8 a 保护地蔬菜栽培后改为露地蔬菜栽培, 改种 7~8 a 的地块(以保护地改露地表示)3 块; 采集经过 8 a 保护地蔬菜栽培后, 改为小麦/玉米轮作 7~9 a 的地块(以大田 1 表示)3 块; 采集邻近长期实行小麦/玉米轮作的地块 3 块(作为对照, 以大田 2 表示)。取样时间为 2006 年 4 月底。

### 1.2 测定方法与数据分析

土壤有机质以重铬酸钾消化—硫酸亚铁滴定法测定; 总磷以硫酸—高氯酸消化, 钼蓝比色法测定; 速效磷以 0.5 mol/L 碳酸氢钠溶液震荡提取 30 min 后以钼蓝比色测定; 无机磷分级按照蒋柏藩—顾益初无机磷分级; 硝态氮以紫外分光光度法测定; 硫酸根以氯化钡比浊法测定; pH 按 1:10 土水比测定。对每组测定结果平均值分别按照土层进行新复极差法比较。

收稿日期: 2007-01-30

基金项目: 河南科技大学科研启动基金(09001088)

作者简介: 徐晓锋(1969—), 男, 浙江兰溪人, 博士, 讲师, 研究领域为土壤生态。E-mail: xuxf101@163.com。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤主要理化性质随棚龄的变化

总体而言,蔬菜保护地与小麦/玉米轮作地比较,在理化性质上均发生了很大变化,但不同的因子在变化趋势上则存在较大差异。土壤总磷表现为不断积累的过程。棚龄为 5 a 时,表土层总磷比大田增加了 1.26 mg/kg,而 16 a 棚龄时更达到 4.22 mg/kg;亚表层土壤总磷也具有类似趋势(表 1)。有效磷则表现为随棚龄的增加先快速升高,而后稳定在较高的水平上,但从有效磷占总磷比例看,则表现为随棚龄增加而不断下降的趋势。在保护地 1、保护地 2、保护地 3 三个棚龄段,有效磷占总磷的比例在 0~15 cm 土层分别为 10.1%、8.5%、6.8%;在 15~30 cm 土层分别为 9.0%、7.5%、6.0%。保护地土壤总氮含量的变化趋势与有效磷类似,随棚龄

增加也先表现为积累,在棚龄 12 a 左右达到最大,此后稳定在该水平。土壤有机质含量变化趋势则有所不同,随着棚龄增加,先迅速下降,这可能与土壤有机质的激发效应有关,在 5 a 棚龄后,土壤有机质转向积累,并在 12 a 棚龄达到最大,最终稳定在该水平上。与有机质的变化趋势相反,土壤有效硫则表现为先快速积累,而后又迅速下降的变化趋势。在 5 a 棚龄时,土壤有效硫积累量在表土层达到 556.3 mg/kg 土,但在 12 a 棚龄段大棚中,表土层有效硫下降至 92.3 mg/kg 土,此后稳定在该水平。土壤 pH 变化趋势更为复杂,表现为先下降,后回升,又下降的趋势。在 5 a 棚龄段大棚中达到最低点,表土层下降 0.5 个单位,此后又略有回升,并最终又有所下降。但土壤 pH 田间变异较大,不同棚龄段间并无显著差异(表 2)。

表 1 土壤总磷、速效磷含量  
Table 1 The concentrations of total phosphorus and available phosphorus

| 土壤类型<br>Soil type                             | 0~15 cm                          |                                        | 15~30 cm                         |                                        |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
|                                               | 总磷<br>Total phosphorus<br>(g/kg) | 速效磷<br>Available phosphorus<br>(mg/kg) | 总磷<br>Total phosphorus<br>(g/kg) | 速效磷<br>Available phosphorus<br>(mg/kg) |
| 保护地 1 Greenhouse 1                            | 2.32±0.52 <sub>b</sub> *         | 234.6±11.3 <sub>b</sub>                | 1.68±0.45 <sub>b</sub>           | 150.6±46.8 <sub>a</sub>                |
| 保护地 2 Greenhouse 2                            | 3.95±0.89 <sub>a</sub>           | 334.5±41.9 <sub>a</sub>                | 3.51±0.87 <sub>a</sub>           | 261.3±10.3 <sub>b</sub>                |
| 保护地 3 Greenhouse 3                            | 4.22±0.41 <sub>a</sub>           | 287.7±71.3 <sub>ab</sub>               | 3.90±0.31 <sub>a</sub>           | 233.0±25.5 <sub>a</sub>                |
| 保护地改露地<br>Shift to open vegetable cultivation | 2.07±0.32 <sub>b</sub>           | 113.1±36.2 <sub>c</sub>                | 1.93±0.45 <sub>bc</sub>          | 106.2±57.6 <sub>b</sub>                |
| 大田作物 1 Crop soil 1                            | 1.08±0.01 <sub>c</sub>           | 21.6±11.7 <sub>d</sub>                 | 1.15±0.01 <sub>bc</sub>          | 20.3±11.7 <sub>c</sub>                 |
| 大田作物 2 Crop soil 2                            | 1.06±0.06 <sub>c</sub>           | 24.5±4.8 <sub>d</sub>                  | 0.83±0.02 <sub>c</sub>           | 2.5±1.6 <sub>c</sub>                   |

注: \* 为新复极差法平均数比较结果,下同。      Note: \* significant at 5% level. The same below.

表 2 调查土壤部分性质  
Table 2 Part characteristic of investigated soils

| 土壤类型<br>Soil type                                | 0~15 cm                |                                         |                                   |                                       | 15~30 cm               |                                         |                                   |                                       |
|--------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
|                                                  | pH                     | 有机质<br>Soil organic<br>matter<br>(g/kg) | 总氮<br>Total<br>nitrogen<br>(g/kg) | 有效硫<br>Available<br>sulfur<br>(mg/kg) | pH                     | 有机质<br>Soil organic<br>matter<br>(g/kg) | 总氮<br>Total<br>nitrogen<br>(g/kg) | 有效硫<br>Available<br>sulfur<br>(mg/kg) |
| 保护地 1<br>Greenhouse 1                            | 8.55±0.60 <sub>a</sub> | 13.9±1.7 <sub>b</sub>                   | 1.57±0.20 <sub>b</sub>            | 556.3±110.0 <sub>a</sub>              | 8.88±0.34 <sub>a</sub> | 11.1±2.2 <sub>b</sub>                   | 1.06±0.24 <sub>b</sub>            | 176.7±113.2 <sub>a</sub>              |
| 保护地 2<br>Greenhouse 2                            | 8.70±0.52 <sub>a</sub> | 20.4±1.5 <sub>a</sub>                   | 1.99 ±0.19 <sub>a</sub>           | 92.3±50.4 <sub>b</sub>                | 9.13±0.48 <sub>a</sub> | 16.8±1.9 <sub>a</sub>                   | 1.70±0.23 <sub>a</sub>            | 58.1±13.0 <sub>b</sub>                |
| 保护地 3<br>Greenhouse 3                            | 8.46±0.25 <sub>a</sub> | 20.7±0.5 <sub>a</sub>                   | 1.87±0.18 <sub>a</sub>            | 112.5±53.7 <sub>b</sub>               | 8.62±0.15 <sub>a</sub> | 19.1±1.3 <sub>a</sub>                   | 1.65 ±0.15 <sub>a</sub>           | 52.6±23.0 <sub>b</sub>                |
| 保护地改露地<br>Shift to open<br>vegetable cultivation | 8.79±0.24 <sub>a</sub> | 13.8±1.7 <sub>b</sub>                   | 1.28±0.20 <sub>bc</sub>           | 82.3±17.6 <sub>b</sub>                | 9.21±0.25 <sub>a</sub> | 13.2±2.9 <sub>b</sub>                   | 1.15 ±0.24 <sub>b</sub>           | 57.6±7.5 <sub>b</sub>                 |
| 大田作物 1<br>Crop soil 1                            | 9.15±0.28 <sub>a</sub> | 14.1±1.4 <sub>b</sub>                   | 1.10±0.07 <sub>c</sub>            | 45.4±0.9 <sub>b</sub>                 | 9.37±0.28 <sub>a</sub> | 12.8±1.4 <sub>b</sub>                   | 0.92±0.07 <sub>b</sub>            | 19.8±0.9 <sub>b</sub>                 |
| 大田作物 2<br>Crop soil 2                            | 9.05±0.08 <sub>a</sub> | 15.2±1.1 <sub>b</sub>                   | 1.17±0.05 <sub>c</sub>            | 42.9±11.1 <sub>b</sub>                | 9.24±0.39 <sub>a</sub> | 12.9±0.3 <sub>b</sub>                   | 1.00±0.10 <sub>b</sub>            | 35.0±16.2 <sub>b</sub>                |

2.2 随保护地棚龄增加土壤无机磷组分的变化特征

无机磷组分的变化特征因棚龄和所处土层不同而有较大差异(表 3)。对于表层土壤,在保护地栽培初期(5 a 棚龄),主要表现为  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$ 、 $\text{Fe-P}$  四种无机磷组分浓度的大幅度增加,其中  $\text{Ca}_2\text{-P}$  上升了 7.7 倍; $\text{O-P}$ 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  含量并无显著增加。表现在无机磷占总磷百分比组成上,主要是  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$  的增加; $\text{Al-P}$ 、 $\text{Fe-P}$  两组分基本稳定; $\text{O-P}$ 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  两组分则因总磷的增加而有较大下降。

在 12~13 a 棚龄土壤中,表层土壤中所有无机磷组分浓度均已显著高于大田 2。与栽培初期(5 a 棚龄)比,  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$ 、 $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$ 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  五组分浓度均显著升高,其中  $\text{Ca}_8\text{-P}$  增加 3.4 倍, $\text{O-P}$  增加 4.2 倍;只有  $\text{Ca}_2\text{-P}$  浓度不升反降,但与保护地 1 差异不显著。从各组分占总磷百分比看,  $\text{Ca}_8\text{-P}$  组分占总磷达 19.6%,其增幅远高于总磷的幅度; $\text{Al-P}$  和  $\text{O-P}$  呈现为增幅略大于总磷; $\text{Ca}_2\text{-P}$  和  $\text{Fe-P}$  增幅低于总磷; $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  增幅低于总磷增幅。

表 3 土壤中无机磷组分的积累(mg/kg)  
Table 3 Accumulation of inorganic phosphorus fractions

| 土壤类型<br>Soil type                                | 0~15 cm                |                        |                    |                    |                    |                           | 15~30 cm               |                        |                    |                    |                    |                           |
|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
|                                                  | $\text{Ca}_2\text{-P}$ | $\text{Ca}_8\text{-P}$ | $\text{Al-P}$      | $\text{Fe-P}$      | $\text{O-P}$       | $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ | $\text{Ca}_2\text{-P}$ | $\text{Ca}_8\text{-P}$ | $\text{Al-P}$      | $\text{Fe-P}$      | $\text{O-P}$       | $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ |
| 保护地 1<br>Greenhouse 1                            | 190.0 <sub>a</sub>     | 226.7 <sub>c</sub>     | 203.4 <sub>b</sub> | 162.1 <sub>b</sub> | 79.0 <sub>c</sub>  | 258.4 <sub>bc</sub>       | 162.0 <sub>a</sub>     | 314.3 <sub>a</sub>     | 164.5 <sub>b</sub> | 144.3 <sub>c</sub> | 188.7 <sub>c</sub> | 294.7 <sub>c</sub>        |
| 保护地 2<br>Greenhouse 2                            | 173.8 <sub>a</sub>     | 773.8 <sub>a</sub>     | 390.9 <sub>a</sub> | 234.4 <sub>a</sub> | 328.6 <sub>a</sub> | 457.3 <sub>a</sub>        | 181.6 <sub>a</sub>     | 326.6 <sub>a</sub>     | 439.8 <sub>a</sub> | 231.5 <sub>a</sub> | 390.7 <sub>b</sub> | 487.4 <sub>b</sub>        |
| 保护地 3<br>Greenhouse 3                            | 146.4 <sub>b</sub>     | 608.8 <sub>b</sub>     | 381.0 <sub>a</sub> | 178.1 <sub>b</sub> | 301.0 <sub>b</sub> | 522.8 <sub>a</sub>        | 178.6 <sub>a</sub>     | 318.3 <sub>a</sub>     | 409.1 <sub>a</sub> | 183.5 <sub>b</sub> | 495.2 <sub>a</sub> | 762.8 <sub>a</sub>        |
| 保护地改露地<br>Shift to open<br>vegetable cultivation | 65.5 <sub>c</sub>      | 228.2 <sub>c</sub>     | 183.6 <sub>b</sub> | 108.1 <sub>c</sub> | 51.0 <sub>d</sub>  | 277.5 <sub>b</sub>        | 71.1 <sub>b</sub>      | 183.0 <sub>b</sub>     | 200.2 <sub>b</sub> | 106.5 <sub>d</sub> | 200.5 <sub>c</sub> | 317.8 <sub>c</sub>        |
| 大田作物 1<br>Crop soil 1                            | 24.9 <sub>d</sub>      | 85.1 <sub>d</sub>      | 78.3 <sub>c</sub>  | 54.7 <sub>cd</sub> | 54.4 <sub>d</sub>  | 208.6 <sub>bc</sub>       | 32.6 <sub>c</sub>      | 124.4 <sub>c</sub>     | 102.9 <sub>c</sub> | 63.5 <sub>e</sub>  | 119.2 <sub>d</sub> | 236.7 <sub>d</sub>        |
| 大田作物 2<br>Crop soil 2                            | 24.8 <sub>d</sub>      | 69.3 <sub>d</sub>      | 86.4 <sub>c</sub>  | 75.0 <sub>d</sub>  | 61.1 <sub>cd</sub> | 194.5 <sub>c</sub>        | 21.9 <sub>c</sub>      | 63.3 <sub>d</sub>      | 53.3 <sub>c</sub>  | 58.4 <sub>e</sub>  | 70.8 <sub>e</sub>  | 216.1 <sub>d</sub>        |

在 15~17 a 棚龄土壤中,尽管各无机磷组分仍显著高于大田 2;但相比 12~13 a 棚龄而言,浓度继续升高的仅为  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ ,其它 5 种组分浓度均显著下降,其中  $\text{Al-P}$  下降幅度较小。从百分比看,  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$  比例下降,  $\text{Al-P}$  比例比较稳定,而  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  比例有所升高(表 2)。说明此时磷的积累主要表现为  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  的积累。此阶段  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Fe-P}$ 、 $\text{Al-P}$ 、 $\text{O-P}$  五种无机磷组分减少可能与土壤有机质大量积累有关。

以上结果表明,随着棚龄增加,土壤磷素首先在  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$  中大量积累,并逐渐转变为  $\text{Ca}_8\text{-P}$  积累为主,直到棚龄达到 11 a 时; $\text{O-P}$ 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  在前期很少积累,仅在 5 a 棚龄以上才开始大量积累;随着棚龄达到 11 a 以上,无机磷的积累转变为主要以  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  为主的积累;在 11 a 棚龄前,  $\text{Fe-P}$ 、 $\text{Al-P}$  的积累速度基本与总磷的积累速度一致;但在 11 a 棚龄以上的日光温室中,  $\text{Fe-P}$  组分浓度趋于降低,  $\text{Al-P}$  组分浓度也有所下降。

如把无机磷组分分为钙结合态磷、非钙结合态磷(包括铝和铁结合态磷、闭蓄态磷)两组,则这两组

无机磷组分的比例并不随棚龄增加而变化,钙结合态磷占无机磷的 60%,非钙结合态磷占 40%。在钙结合态磷中,  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$  组分分别为速效态和缓效态的无机磷,其和随棚龄增加而降低,分别为 37%、40%、35%,相应地  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  比例增加。非钙结合态磷中,  $\text{Al-P}$  和  $\text{Fe-P}$  为缓效态磷,其和随棚龄增加而降低,分别为 33%、27%、26%,其中铝磷比例相对稳定,因此比例下降的主要是  $\text{Fe-P}$ ,而比例增加的是  $\text{O-P}$ 。该结果表明,随棚龄增加,无论是钙结合态磷还是非钙结合态磷,速效态和缓效态无机磷组分比例均降低。值得注意的是,尽管在 11 a 棚龄以上时速效态和缓效态无机磷组分比例和浓度均降低,但并不影响对土壤溶液中磷酸根的供应。

亚表层土壤中,各棚龄的无机磷组分均显著高于大田 2,但随着棚龄增加,  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$  两组分并无显著变化;  $\text{Al-P}$  在 12~13 a 棚龄时达到了最大,此后稳定在该水平;  $\text{Fe-P}$  组分也在 12~13 a 棚龄时达到了最大,但此后随棚龄的增加而下降,其差异达到显著水平;只有  $\text{O-P}$ 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  两组分随棚龄增加而不断积累,其浓度显著高于表层土壤。

“保护地改为露地蔬菜”和“保护地改为小麦/玉米轮作”这两模式的调查结果表明,尽管保护地栽培模式对各无机磷组分的积累有一定的作用,主要还是与蔬菜栽培中大量施用磷肥有关,一旦停止施用磷肥,各无机磷组分还是可以降下来的。但在保护地向其它栽培模式改变后,亚表层无机磷组分下降的要比表层慢。

以上结果表明,随着棚龄增加,磷素在土壤中的积累有一个从主要以速效态和缓效态无机磷组分的积累到主要以难效态无机磷组分转变的过程,该过程在亚表层更显著。

### 3 讨论

施用含磷肥料后,普遍报道出现不同程度的磷积累<sup>[6~9]</sup>。但对无机磷组分的积累特征,尚无一致的意见。如吕家珑等<sup>[10]</sup>在 23 a 定位施肥研究的基础上,认为  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  三种组分含量增加很大, $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$  含量变化很小, $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  含量表现为小幅上升。而刘建玲等<sup>[3]</sup>对华北蔬菜保护地土壤磷素状况调查结果则表明,磷素主要在  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  三种组分中大量积累, $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$  含量上升也较大,但  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  含量变化很小。这些结果表明,尽管土壤磷随施肥而积累,但主要还是以缓效态积累为主。我们的观察则表明,在大量施用磷肥的情况下,前期主要是以缓效态磷积累为主,如果不改变施肥制度,仍继续大量施用磷肥,最终将主要以难效态的无机磷组分积累为主,使施入土壤的磷丧失有效性,造成巨大浪费。J. Shen 等<sup>[9]</sup>在石灰性土壤上进行的研究,也表明无机磷积累具有阶段性这一特点。

蔬菜地有机质积累可能会对土壤环境造成两方面影响,一是有机质与金属离子络合,降低磷固定量;二是影响土壤氧化还原环境,从而对土壤化学和生物化学过程产生巨大影响。有机质可与  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  结合分别形成钙结合态有机质、铝结合态有机质、铁结合态有机质,降低土壤  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  等金属离子浓度,从而导致这些金属离子与无机磷键合机会减少。陈倩等<sup>[11]</sup>报道木质素能促进土壤磷素形态转化和提高磷有效性,彭娜等<sup>[12]</sup>也报道稻草可提高土壤有效磷含量,他们认为其机理可能是由于有机质的竞争作用。我们的调查也发现,随着棚龄增加,有机质积累、缓效态无机磷组分则降低。另一方面,我们的调查也发现,在低棚龄段,土层中硫酸根含量很高;但在高棚龄段,硫酸根反而降到较低水平,这很可能是土壤环境改变,导致氧化还

原条件改变所造成的。考虑到蔬菜地灌水频繁,导致土壤一定深度内干湿交替急剧,同时,土壤中又积累了大量的易氧化有机质,消耗大量溶解氧,导致氧化还原条件也相应急剧变化。这些变化可能会导致三价铁还原和再沉淀,进而影响土壤  $\text{Fe-P}$  组分的变化。综上所述,随棚龄增加,蔬菜对保护地土壤中有机质的积累,对土壤环境所产生的影响可能是多方面的,有必要对其作进一步深入的研究。

### 4 结论

1) 蔬菜保护地土壤普遍存在磷素积累,积累量随棚龄增加而增加。但有效磷在 11 a 左右已达饱和,此后略有下降。

2) 低棚龄阶段磷素主要以速效态和缓效态无机磷组分积累为主,其中  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$  是主要组分;高棚龄阶段速效态和缓效态无机磷组分浓度降低,磷的主要积累形态为难效态的  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 、 $\text{O-P}$ ,其中以  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  积累为主。

3) 棚龄对土壤中钙结合态磷和非钙结合态磷的比例没有影响。

### 参考文献:

- [1] 刘建玲,廖文华,王新军,等.大量施用磷肥和有机肥对白菜产量和土壤磷积累的影响[J].中国农业科学,2006,39(10):2147—2153.
- [2] 王彩绒,胡正义,杨林章,等.太湖典型地区蔬菜地土壤磷素淋失风险[J].环境科学学报,2005,25(1):76—80.
- [3] 刘建玲,张福锁,杨富翻.北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究[J].植物营养与肥料学报,2000,6(2):179—186.
- [4] 王新民,王卫华,侯彦林.豫北蔬菜保护地土壤磷素形态及其空间分布特性研究[J].土壤,2004,36(2):173—176.
- [5] 张学军,孙 权,陈晓群,等.不同类型菜田和农田土壤磷素状况研究[J].土壤,2005,37(6):649—654.
- [6] 周宝库,张喜林.长期施肥对黑土磷素积累、形态转化及其有效性影响研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(2):143—147.
- [7] 杨 芳,何园球,李成亮,等.不同施肥条件下旱地红壤磷素固定及影响因素的研究[J].土壤学报,2006,43(2):267—272.
- [8] Shigeru Takahashi, Muhuddin R. Anwar. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol [J]. Field Crop Research, 2007, 101: 160—171.
- [9] J. Shen, R. Li, F. Zhang, et al. Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil [J]. Field Crop Research, 2004, 86: 225—238.
- [10] 吕家珑,张一平,陶国树,等.23 年肥料定位试验 0~100 cm 土壤剖面中各形态磷之间的关系研究[J].水土保持学报,2003,17(3):48—50.

(下转第 36 页)

相应的土壤类型组合,表现相应的组合类型特征。

参 考 文 献:

[1] Powlson D S, Brookes P C. Measurement of soil microbial biomass provides an early Indication [J]. Soil biology and biochemistry, 1987,19(2):159—164.  
[2] 袁可能·土壤腐殖质氧化稳定性的研究[J]. 浙江农业科学, 1964, (7):345—349.  
[3] 李酉开·土壤农业化学常规分析法[M]. 北京:科学出版社, 1984.  
[4] 浙江农业大学土壤教研室. 再论本省肥沃水田土壤的若干农

业性状[J]. 浙江农业科学, 1976, (1):10—15.  
[5] 徐建民,袁可能·我国地带性土壤中有机质氧化稳定性的研究[J]. 土壤通报, 1995, 26(1):1—3.  
[6] 新疆维吾尔自治区林业厅·新疆山地森林土壤[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1995.  
[7] 中国科学院新疆综合考察队·新疆土壤地理[M]. 北京:科学出版社, 1965.  
[8] 李天杰,郑应顺,王 云·土壤地理学(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社, 1983. 38.  
[9] 张凤荣·土壤地理学[M]. 北京:中国农业出版社, 2002.  
[10] 陈怀满·环境土壤学[M]. 北京:科学出版社, 2005. 61, 129—133.

Study on soil organic carbon composition and distribution law  
in Altai Mountains, Xinjiang, China

XU Hua-jun<sup>1,2</sup>, YIN Zhi-gang<sup>1</sup>

(1. College of Resources & Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;  
2. School of Environmental Sciences & Spatial Informatics,  
China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** Study was made on soil organic carbon composition and distribution law in Altai Mountains. The results showed that the readily oxidizable carbons were decreasing, and the Kos value was increasing with altitude raise. All of these were distributed vertically in zonality. Although the total soil organic carbons increased with the altitude rising, but the effective fertility decreased. From the foot to the top of the mountains, the soil organic matter accumulated gradually.

**Key words:** soil organic carbon; sxdiation stability; Kos value; vertical zonality; Altai Mountains

(上接第 28 页)

[11] 陈 倩,穆环珍,黄衍初,等.木质素对土壤磷素形态转化及对磷有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 745—748.  
[12] 彭 娜,王凯荣,Buresh R J,等.不同水分条件下施用稻草对土壤有机酸和有效磷的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 347—351.

[13] 杨学云,古巧珍,马路军,等.坡土磷素淋移的形态研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(5):792—798.  
[14] 钟晓英,赵小蓉,鲍华军,等.我国 23 个土壤磷素淋失风险评估 I 淋失临界值[J]. 生态学报, 2004, 24(10):2275—2280.  
[15] 张焕朝,张红爱,曹志洪.太湖地区水稻土壤磷素径流流失及其 Olsen 磷的“突变点”[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(5):6—10.

Phosphorus accumulation and inorganic phosphorus fractions in greenhouse soils

XU Xiao-feng, MIAO Yan-fang, GUO Da-yong, JIA Xing-na

(College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** According to Jiang—Gu inorganic phosphorus fractions classification systems, the characteristic of phosphorus accumulation, inorganic phosphorus fractions and bio-availability how to change with vegetable cultivation years in greenhouse soil in Luoyang suburb were studied. The difference between greenhouse and white-corn rotation land were discussed too. The results indicated that while vegetable cultivation years were increased, the total phosphorus of soil was increased too. It was achieved 4.22 g/kg of total phosphorus in 15~17 years greenhouse. Available phosphorus concentration were increased too and it achieved the maximum in 11 years. The most amount phosphorus were accumulated in Ca<sub>2</sub>-P、Ca<sub>8</sub>-P、Al-P、Fe-P in the first 5 years, and the dominat fraction were Ca<sub>2</sub>-P、Ca<sub>8</sub>-P. While vegetable cultivation years were increased, the amount of phosphorus accumulated in O-P、Ca<sub>10</sub>-P were increased. And Ca<sub>10</sub>-P was the dominant fraction. Others fractions' concentration were decreased while were increased. Vegetable cultivation years had no influence on propotion of calcium combined phosphorus and no calcium combined phosphorus.

**Key words:** greenhouse soil; phosphorus; accumulation; bio-availability; inorganic phosphorus fractions