

长期施肥对黄土高原旱地土壤无机磷空间分布的影响

来 璐^{1,2}, 郝明德¹, 彭令发^{1,2}

(1 中国科学院 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)
水 利 部

摘 要: 研究了 18 年肥料长期定位试验土壤无机磷的空间分布特征。土壤剖面无机磷占全磷总量的 65.0% ~ 79.4%, 无机磷以 Ca-P 为主, Ca₂-P、Ca₈-P、Ca₁₀-P 分别占无机磷总量的 2.1% ~ 16.0%、0.6% ~ 2.4% 和 59.7% ~ 80.5%, Al-P、Fe-P、O-P 分别占无机磷总量的 1.8% ~ 6.0%、3.9% ~ 6.5% 和 9.2% ~ 14.7%。土壤 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 空间分布特征总趋势为耕层含量较高, 耕层以下含量减少, 在 120 cm 土层以下趋于稳定。Ca₁₀-P 耕层有一定的积累, 耕层以下含量减少, 但底土含量略高于耕层。Fe-P、O-P 空间分布不明显。长期施肥土壤中磷素大量以 O-P 累积在剖面各土层, 其次主要转化为 Ca₂-P、Ca₈-P 和 Al-P 累积在耕层。

关键词: 长期施肥; 旱地; 无机磷; 空间分布
中图分类号: S 158.3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2003) 01-0076-02

Effect of Long-term Fertilization on Profile Character istic of
Soil Inorganic P on Loess Plateau Dryland

LAI Lu^{1,2}, HAO Ming-De¹, Peng Ling-Fa^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of
Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences,
Northwestern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Study on profile character istic of fractions of inorganic P through 18 years long-term experiment. The result showed the inorganic P accounted for 65.0% ~ 79.4% of total P, Ca-P is the main fraction in inorganic P, Ca₂-P, Ca₈-P, Ca₁₀-P accounted for 2.1% ~ 16.0%, 0.6% ~ 2.4% and 59.7% ~ 80.5% of total inorganic P, Al-P, Fe-P, O-P account- ed for 1.8% ~ 6.0%, 3.9% ~ 6.5% and 9.2% ~ 14.7%. The content of Ca₂-P, Ca₈-P, Al-P in cultivation layer was higher than that in other layers, the variation became smaller beneath 120 cm layer, Ca₁₀-P accumulated a little in cultivation layer and decreased underneath the 0 ~ 20 cm layer, Fe-P, O-P, had no significant profile characteristic. P accumulated with a great deal amount O-P in soil profile, and others mainly turned into Ca₂-P, Ca₈-P and Al-P accumulating in cultivation layer.

Key words: long-term fertilization; soil P; profile characteristic

土壤中的磷以有机态和无机态磷存在, 土壤中无机磷占土壤总磷量的 60% ~ 80%, 是植物所需磷的主要来源^[1], 蒋柏藩、顾益初 1978 年针对石灰性土壤特点, 将无机磷分为 Ca₂-P、Ca₈-P、Ca₁₀-P、Al-P、Fe-P、O-P 六种组分^[2], 为研究石灰性土壤无机磷提供了理论依据和手段。对土壤特性, 特别是土壤养分的空间分布特征的充分了解是管理好土壤养分和合理施肥的基础^[3], 而我国目前在土壤养分的纵向变异方面研究较少^[4]。本研究通过 18 年的肥料长期定位试验, 对土壤全磷、速效磷及无机磷组分的空间分布特征进行研究。

- 1 材料与方法
(见本期樊军 ‘旱地长期轮作施肥对土壤肥力影响的定位研究’)
- 2 结果与讨论
2.1 土壤无机磷空间分布特征
土壤剖面无机磷占全磷总量的 65.0% ~ 79.4%, 耕层无机磷所占比例最大, 为 79.4%。剖面无机磷的组成以 Ca-P 为主, 其中 Ca₁₀-P 占无机磷总量的 59.7% ~ 80.5%, 耕层 Ca₁₀-P 所占比例最小, Ca₈-P、Ca₂-P 分别占 2.1% ~

* 收稿日期: 2002-11-25
基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2- 413); 国家科技攻关项目(2001BA508B18)。
作者简介: 来 璐(1973-), 女, 陕西兴平人, 硕士, 主要从事土壤肥力与生态环境建设方面的研究。

16.0% 和 0.6% ~ 2.4%, 耕层 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 所占比例最大, Al-P 、 Fe-P 、 O-P 分别占无机磷总量的 1.8% ~ 6.0%、3.9% ~ 6.5% 和 9.2% ~ 14.7%。

$\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 空间分布特征基本一致, 耕层含量较高, 耕层以下土层含量减少, 这种空间分布特征与速效磷一致, 显示了这三种无机磷与速效磷较好的相关性。 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量于 60 cm 土层以下变化不大, $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 含量于 80 cm 土层以下变化不大。 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 变化趋势有所不同, 耕层有一定累积, 耕层以下含量减少, 40 ~ 60 cm 土层含量骤减, 至 60 ~ 80 cm 出现一低谷, $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量为 207.35 mg/kg, 80 ~ 200 cm 土层 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量呈较弱上升趋势。 Fe-P 、 O-P 空间分布不明显。

2.2 长期施肥对无机磷各组分的影响

2.2.1 长期施肥对 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 的影响

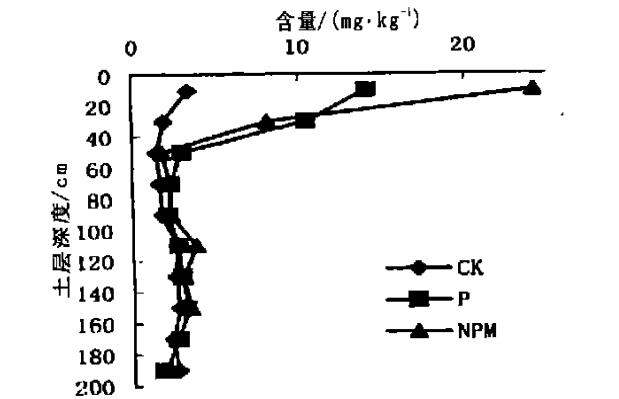


图 1 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 空间分布特征

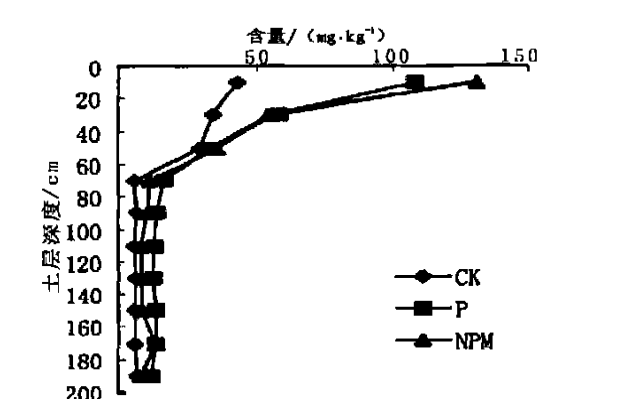


图 2 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 空间分布特征

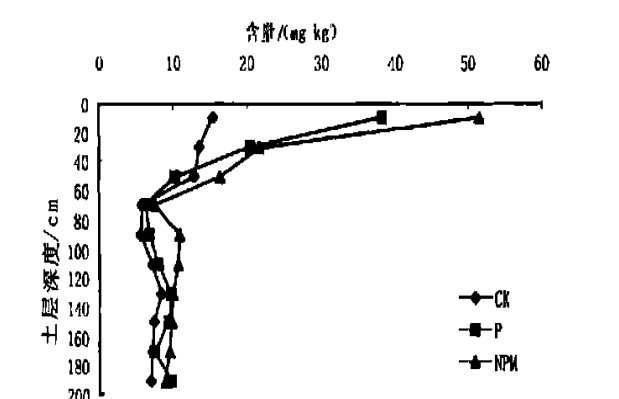


图 3 Al-P 空间分布特征

CK 处理 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 在耕层的含量为 3.36 mg/kg, 20 ~ 100 cm 含量相当于耕层的 43.05% ~ 55.43%, 100 cm 以下土层含量相当于耕层的 70.29% 以上。 Al-P 含量 20 ~ 40 cm 含量相当于耕层的 88.15%, 40 cm 以下土层含量相当于耕层的 55.19% 以下。 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量 20 ~ 40 cm 含量相当于耕层的 68.45%, 40 cm 以下土层含量相当于耕层的 16.13% 以下。

长期施入土壤中的肥料主要积累在 0 ~ 20 cm 土层中, 施肥处理 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 在耕层的含量分别为 14.08 ~ 24.22 mg/kg, 107.9 ~ 131.0 mg/kg, 38.29 ~ 51.59 mg/kg, 20 ~ 40 cm 含量分别相当于耕层的 33.5% ~ 74.41%、41.0% ~ 53.59%、42.1% ~ 53.46%, 40 cm 以下土层含量分别相当于耕层的 7.2% ~ 22.7%、6.0% ~ 31.0%、14.9% ~ 31.8%。

施肥处理土壤剖面各土层 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 均有增加, 其在耕层含量增加量分别为 20.86 mg/kg 和 10.72 mg/kg、88.08 mg/kg 和 65.01 mg/kg、36.19 mg/kg 和 22.89 mg/kg, 20 ~ 40 cm 增加幅度分别相当于耕层的 30.0% 和 80.4%、22.3% 和 35.9%、22.5% 和 30.1%, 40 cm 土层以下增幅均小于耕层的 16%。NPM 处理、P 处理在 0 ~ 200 cm 土层内 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 总累积量分别为 13.34 g/m² 和 11.30 g/m²、72.42 g/m² 和 73.59 g/m²、39.50 g/m² 和 31.87 g/m², 与 CK 处理相比增加 7.58 g/m² 和 5.54 g/m²、34.83 g/m² 和 36.00 g/m²、16.68 g/m² 和 9.05 g/m², 增加幅度分别为 131.59% 和 96.12%、92.6% 和 95.78%、73.10% 和 39.63%。

2.2.2 长期施肥对 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 的影响 NPM 处理、P 处理 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 在土壤剖面各土层均有增加, 增加幅度随土层变化不明显, Fe-P 、 O-P 在耕层含量增加, 而在其它土层变化不明显。

NPM 处理 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 在耕层的含量分别为 36.00 mg/kg、95.82 mg/kg、351.85 mg/kg, 20 ~ 40 cm 含量分别相当于耕层的 61.67%、61.80%、89.23%, 40 cm 土层以下 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量分别相当于耕层的 47.69% ~ 51.73%、51.60% ~ 104.7%、64.11% ~ 10.7%。 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 在 0 ~ 200 cm 土层内总累积量分别为 49.92 g/m²、173.45 g/m²、777.92 g/m², 与对照相比增加 4.86 g/m²、122.65 g/m²、29.33 g/m², 增加幅度分别为 10.80%、241.4%、3.92%。

P 处理 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 在耕层的含量分别为 35.31 mg/kg、59.86 mg/kg、349.64 mg/kg, 20 ~ 40 cm 含量分别相当于耕层的 62.67%、72.74%、92.73%, 40 cm 土层以下 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量分别相当于耕层 53.13% ~ 66.92%、60.55% ~ 128.4%、62.66% ~ 107.3%。 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 在 0 ~ 200 cm 土层内总累积量分别为 57.28 g/m²、124.91 g/m²、786.98 g/m², 与对照相比增加 12.22 g/m²、74.11 g/m²、38.39 g/m², 增加幅度分别为 27.11%、145.9%、5.13%。

3 小结与讨论

(1) 旱地冬小麦地膜覆盖穴播栽培技术在灌浆特性及干物质运转方面主要表现是: 灌浆持续天数延长 3~5 d。花后 3~9 d 为籽粒形成阶段, 灌浆高峰期出现在花后 21~30 d, 籽粒失水成熟阶段灌浆强度降低。

(2) 地膜冬小麦单茎总绿叶面积及叶、茎、鞘等干重均大

于露地, 单茎生物产量提高, 合成源扩大。同时表现出了较高的移动量和转换率。

(3) 在“源—库”器官同化物合成与转运中, 茎鞘与颖壳、穗轴具有一定的贮、转运能力, 尤其是颖壳和穗轴, 随着籽粒吸收量和同化量的大小而变化, 当籽粒吸收量大于同化量时, 干重减少, 反之, 干重增加。

参考文献:

[1] 李守谦. 穴播地膜小麦栽培技术[M]. 兰州: 科学出版社, 1998.

[2] 樊廷录, 等. 旱地地膜小麦研究进展及进一步加快发展的建议[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 65–72.

[3] 樊廷录, 等. 旱地冬小麦地膜周年覆盖栽培增产机理及关键技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 45–51.

[4] 王勇, 樊廷录, 等. 旱地地膜小麦增产机理研究[J]. 西北农业学报, 1998(6): 21–24..

(上接第 77 页)

表 2 Fe- P、O- P、Ca ₁₀ - P 空间分布特征									mg/ kg
土层/ cm	Fe- P			O- P			Ca ₁₀ - P		
	CK	P	NPM	CK	P	NPM	CK	P	NPM
0~20	20.48	35.31	36.00	33.68	59.86	95.82	349.33	349.64	351.85
20~40	19.43	22.13	22.20	35.48	43.54	59.22	316.29	324.23	313.97
40~60	20.56	21.01	17.43	11.76	46.67	55.95	185.83	244.50	252.95
60~80	19.08	18.76	18.62	28.02	50.14	49.41	177.36	219.09	225.59
80~100	19.34	21.23	17.34	11.08	54.31	66.08	231.57	281.30	299.24
100~120	18.99	22.21	17.78	23.96	39.72	77.52	306.13	309.33	295.74
120~140	19.34	21.31	17.87	12.44	44.58	67.06	346.79	351.39	317.48
140~160	13.84	20.19	17.96	15.15	76.88	62.48	352.72	375.05	337.82
160~180	14.54	23.33	17.34	28.70	47.71	100.34	353.57	373.29	348.34
180~200	14.63	23.63	17.17	2.95	36.25	59.87	374.75	320.09	368.69

长期施肥土壤中磷素大量以 O- P 态累积在剖面各土层, 其次主要转化为 Ca₂- P、Ca₈- P, 由于磷素的移动性较小, 导致 Ca₂- P、Ca₈- P 耕层含量大于其它土层, 出现不均匀的空间分布特征, Ca₂- P、Ca₈- P 耕层含量约相当于 40 cm 以下土层的 4 倍, 施肥处理 Al- P、Fe- P 含量较对照也有一定程度的提高, Fe- P 淋溶性较好, 其耕层以下各土层含量占耕层比例大于 Ca₂- P、Ca₈- P、Al- P。Ca₁₀- P 比较稳定, 施入土壤中的肥料很少转化为 Ca₁₀- P。

3 结 论

(1) 黑垆土剖面无机磷占全磷总量的 65.0%~79.4%, 无机磷以 Ca- P 为主, Ca₂- P、Ca₈- P、Ca₁₀- P 分别占无机

磷总量的 2.1%~16.0%、0.6%~2.4% 和 59.7%~80.5%, Al- P、Fe- P、O- P 分别占无机磷总量的 1.8%~6.0%、3.9%~6.5% 和 9.2%~14.7%。

(2) Ca₂- P、Ca₈- P、Al- P 空间分布特征总趋势为耕层含量较高, 耕层以下含量降低。Ca₁₀- P 在耕层有一定的积累, 耕层以下含量减少, 但底土含量略高于耕层。Fe- P、O- P 空间分布不明显。

(3) 长期施肥土壤中磷素大量以 O- P 态累积, 施入土壤磷肥的主要转化为 Ca₂- P、Ca₈- P, 在 0~20 cm 土层出现 Ca₂- P、Ca₈- P 的大量累积, 随着土层的加深, 含量逐渐减少, 施肥时应注意深施, 提高下部土层磷素水平, 促进根系对养分的吸收, 提高土壤磷和磷肥的利用率。

参考文献:

[1] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.

[2] Bowman R A, Cole C A. An exploratory method for fraction of organic Phosphorus from grassland soil[J]. Soil Sci., 1978, 125: 95–101.

[3] Franzen D W, Hofman V L, Halvorson A D, et al. Sampling for site-specific farming: topography and nutrient considerations[J]. Better Crop, 1996, 80(3): 14–18.