

日光温室蔬菜地土壤主要养分含量及其累积特征分析

古巧珍,杨学云,孙本华,耿增超

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究不同棚龄日光温室蔬菜地土壤主要养分含量及变化规律,为设施蔬菜地合理施肥提供依据。【方法】采集杨凌区3、5和8年棚龄的日光温室蔬菜地和相邻农田0~100 cm土样(每20 cm采一样品),测定土壤各剖面的pH、有机质、全N、全P、全K、速效P和速效K等主要养分含量,并计算其累积量。【结果】3、5和8年棚龄的日光温室蔬菜地耕层(0~20 cm土层)土壤pH值分别是7.90、7.75和7.55,分别比相邻农田耕层土壤(pH值8.20)降低了0.30、0.45和0.65;0~100 cm土层速效P累积总量分别为574.0、837.4和1 189.8 kg/hm²,分别较相邻农田(89.2 kg/hm²)高5.43、8.40和12.35倍;速效K累积总量分别为2 272.3、3 378.3和5 204.5 kg/hm²,分别较相邻农田(1 535.4 kg/hm²)高0.48、1.20和2.39倍;全N累积总量分别为9.1、7.1和10.1 Mg/hm²,分别较相邻农田(4.2 Mg/hm²)高1.17、0.69和1.40倍;全P累积总量分别为48.6、53.2和79.7 Mg/hm²,分别较相邻农田(33.8 Mg/hm²)高0.44、0.57和1.36倍。菜地养分累积以0~20 cm为主,形成养分富积层,其次为20~40 cm;40~100 cm菜地土壤养分也有不同程度的累积。与相邻农田相比,各种养分的富集率大小次序为:速效P>速效K>全N>全P>全K>有机质。【结论】日光温室蔬菜地土壤有酸化趋势,各种养分(尤其是速效P)大量累积。

【关键词】 日光温室蔬菜地;养分累积;有机质;氮;磷;钾

【中图分类号】 S158.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2008)03-0129-06

Analyses of main nutrients' concentration and its accumulation characteristics in vegetable greenhouse soils

GU Qiao-zhen, YANG Xue-yun, SUN Ben-hua, GENG Zeng-chao

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The main nutrients' concentration and varying law of soil nutrients were studied in vegetable greenhouses under different cultivation times in order to offer basis for reasonable application of fertilizers to protected vegetable fields. 【Method】Vegetable greenhouses under different cultivation times of 3, 5 and 8 years and their adjacent crop fields in Yangling, Shaanxi province were selected, pH and concentration of main nutrients (O. M., total N, total P, total K, Olsen-P, and available K) of soil profile (0—100 cm) were measured, and accumulation amounts of them were also calculated. 【Result】Compared with adjacent crop field (pH 8.20), soil pH of vegetable greenhouses under different cultivation times of 3, 5 and 8 years in the profile of 0—20 cm were 7.90, 7.75 and 7.55 respectively, decreasing by 0.30, 0.45 and 0.65 pH units. Accumulation amounts of available P in soil profiles of 0—100 cm of vegetable greenhouses were 574.0, 837.4 and 1 189.8 kg/hm² respectively, 5.43, 8.40 and 12.35 times higher than that of

* [收稿日期] 2007-04-06

[基金项目] 西北农林科技大学科研专项(04ZM104)

[作者简介] 古巧珍(1965—),女,陕西宜川人,高级农艺师,主要从事土壤肥力与肥料效益研究。

[通讯作者] 耿增超(1963—),男,陕西韩城人,教授,主要从事园林土壤与肥料研究。E-mail: gengzengchao@sina.com

adjacent crop field (89.16 kg/hm^2). Accumulation amounts of available K were $2\,272.3$, $3\,378.3$ and $5\,204.5\text{ kg/hm}^2$ respectively, 0.48 , 1.20 and 2.39 times higher than that of adjacent crop field ($1\,535.4\text{ kg/hm}^2$). Accumulation amounts of total N were 9.1 , 7.1 and 10.1 Mg/hm^2 respectively, 1.17 , 0.69 and 1.40 times higher than that of adjacent crop field (4.2 Mg/hm^2). Accumulation amounts of total P were 48.6 , 53.2 and 79.7 Mg/hm^2 respectively, 0.44 , 0.57 and 1.36 times higher than that of adjacent crop fields (33.8 Mg/hm^2). Most of nutrients were accumulated greatly in the profile of $0\text{--}20\text{ cm}$ to form the layer of nutrient enrichment, then in $20\text{--}40\text{ cm}$, and there also were nutrient accumulations in soil profile of $40\text{--}100\text{ cm}$ under different degrees. Compared with adjacent crop fields, accumulation rates of different soil nutrients were displayed as available P>available K>Total N>Total K>O. M. **【Conclusion】** There were the tendency of acidification and great accumulations of different nutrients (especially available P) in the soil of vegetable greenhouse, which showed that applied fertilizers had exceeded the demands of vegetables, and fertilizers should be applied reasonably in the future.

Key words: vegetable greenhouse field; nutrients accumulation; organic matter; nitrogen; phosphorus; potassium

化肥的不合理施用带来的副作用包括能源浪费、环境污染、经济损失等,其中环境污染主要包括地下水硝态氮污染、地表水富营养化、蔬菜硝酸盐含量超标、土壤重金属污染、大气污染等方面^[1-7]。近年来,关于蔬菜生产中大量施用化肥造成肥料资源的严重浪费、菜地土壤养分大量积累、土壤盐渍化、土壤酸化、连作障碍等问题已有不少报道^[8-10]。

虽然各地蔬菜保护地土壤的养分特征有许多相似之处,但由于生态条件、耕作制度、施肥等方面的差异,各地蔬菜保护地的肥力状况不完全一致。杨凌示范区设施农业以日光温室蔬菜为主,其种植面积正在不断扩大。根据调查,许多日光温室大棚蔬菜施肥存在盲目性,且土壤肥力下降问题日趋突出,这样既造成了肥料资源的浪费,也不利于保护地土壤的可持续利用^[11]。可见研究菜地土壤养分的变化,对合理管理和利用菜地土壤养分资源具有重要意义。本试验对杨凌示范区日光温室不同种植年限蔬菜地土壤主要养分含量及其累积特征进行了研究,分析了设施蔬菜地的肥力状况及其变化规律,以为设施蔬菜地合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集

采样时间为 2004-11-02~11-14,采样地点为陕西省杨凌示范区杨村乡南庄村 3 年和 8 年棚龄及五泉镇南营村 5 年棚龄的日光温室。采样前,在对这几个村菜农的施肥情况调查过程中发现,各户施肥量差异较大。为了采集到有代表性的土样,每种棚龄初步选取 5 个温室取样。取样时按“S”形多点采

土混合,每块地采 3~5 个样点,每个样点取 0~100 cm 土层土样,每 20 cm 深度为 1 层。同一温室各样点同一土层的土壤分别混合均匀、风干、研磨用于养分测定。3,5 和 8 年棚龄分别采集 5 份样品,每份样品分为 5 层,共采集蔬菜地土壤样品 75 个。同时,采集距离日光温室 200 m 左右的冬小麦田土壤样品作为对照,采样时小麦处于越冬期,日光温室尚未施基肥。

1.2 土壤养分含量的测定

土样 pH 采用电位法(水:土=1:1)测定;有机质含量采用丘林法($180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 油浴)测定;全 N 含量采用 $\text{K}_2\text{SO}_4\text{--CuSO}_4\text{--Se}$ 消化,半微量开氏法测定;全 P 含量采用硝酸-高氯酸-氢氟酸消煮,钼锑抗比色法测定;全 K 含量采用硝酸-高氯酸-氢氟酸消煮,火焰光度计法测定;速效 P 含量采用 Olsen-P 法测定;速效 K 含量采用 $1.0\text{ mol/L NH}_4\text{OAC}$ 浸提,火焰光度计法测定。

1.3 代表性土样的筛选

受日光温室施肥管理及蔬菜品种不同等因素的影响,同种棚龄的日光温室土壤样品测定的同一养分含量差异较大。为了使样品更加接近生产普遍水平,分别在 3,5 和 8 年棚龄 5 份样品测定结果中,去掉养分含量最高和最低的样品各 1 份,用剩余的 3 份样品测定结果的平均值作为该种棚龄土壤剖面的养分含量。

1.4 土壤养分累积量的计算

因为不同土层土壤的容重略有不同,0~100 cm 土层不同养分的累积量是按照每 20 cm 为一层分 5 层分别计算后累加。土壤容重参照文献^[12-13]计

算。每公顷每层(20 cm)土壤中某种养分的累积量=土壤容重×土壤体积×某种养分的含量。

2 结果与分析

2.1 日光温室蔬菜地土壤 pH 的变化

结果显示,3,5 和 8 年棚龄 0~20 cm 土层日光温室蔬菜地土壤 pH 分别为 7.90,7.75 和 7.55,比相邻农田土壤(pH 8.20)明显降低,分别降低了 0.30,0.45 和 0.65;20~40 cm 土层 3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 pH 分别为 8.08,8.01 和 8.16,比相邻农田土壤(pH 8.35)有所降低;40~60 cm 土层 3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 pH 分别为 8.13,8.12 和 8.23,比相邻农田土壤(pH 8.33)稍低;60~80 cm 土层 3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 pH 分别为 8.14,8.23 和 8.28,比相邻农田土壤(pH 8.34)略低;80~100 cm 土层 3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 pH 分别为 8.24,8.29 和 8.21,与相邻农田土壤(pH 8.31)接近。与相邻农田比较,随着种植年限的延长,温室菜地土壤 pH 降幅逐渐增大,其中耕层土壤尤为明显。

0~20 cm 土层日光温室蔬菜地土壤 pH 与相邻农田比较降低幅度较大,说明菜地土壤有酸化的趋势。pH 降低的主要原因,一是由于大量施用氮肥,据笔者调查日光温室蔬菜化肥结构中氮肥占有较大比重,尤其追肥表现更为突出,大部分菜农是“一水一肥”(结合每次浇水每亩冲施 15 kg 尿素或二铵),使得土壤中氮素含量始终处于相对较高的水平,铵态氮肥由于硝化作用或植物吸收可导致土壤中 H^+ 增加;二是由于大量施用有机肥,据调查,菜地有机肥的平均用量为每 90~120 m^3/hm^2 ,有机肥以鸡粪和牛粪为主,一般集中施在 0~20 cm 土层,有机肥腐解和微生物代谢可产生大量的有机酸^[14-15],导致 0~20 cm 菜地土壤 pH 明显低于同一土层的相邻农田和 20 cm 以下的土壤。

2.2 日光温室蔬菜地土壤有机质(OM)的含量与累积

结果(图 1A)表明,日光温室蔬菜地土壤耕层(0~20 cm)有机质含量较高,与相邻农田相比,3,5 和 8 年棚龄的日光温室蔬菜地土壤 OM 含量分别增加了 12%,51%和 66%;随种植年限的增加有机质含量增加。3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 OM 累积总量分别为 171.1,179.1 和 191 Mg/hm^2 ,分别较相邻农田(141.1 Mg/hm^2)高 21.3%,26.9%

和 35.4%。从 OM 剖面分布来看,耕层(0~20 cm)含量较高,20~40 cm 明显低于耕层,40~100 cm 各层则更低。0~100 cm 各层土壤有机质含量为 7.75~23.93 g/kg,其中 3 年棚龄日光温室蔬菜地土壤有机质含量为 9.60~16.09 g/kg;5 年棚龄为 8.80~21.76 g/kg;8 年棚龄为 7.75~23.93 g/kg,而相邻农田为 8.16~14.38 g/kg。

2.3 日光温室蔬菜地土壤全 N 的含量与累积

不同棚龄(3,5 和 8 年)不同土层(0~100 cm)日光温室蔬菜地全 N 含量的测定结果见图 1B。由图 1B 可知,与相邻农田相比,3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地 0~20 cm 土壤全 N 含量分别增加了 78%,119%和 127%。3,5 和 8 年棚龄 0~100 cm 日光温室菜地土壤全 N 累积总量分别为 9.1,7.1 和 10.1 Mg/hm^2 ,分别较相邻农田(4.2 Mg/hm^2)提高 1.17,0.69 和 1.40 倍。其原因是大部分菜农氮肥用量占到总施肥量的 50%~70%,使得土壤中氮素含量始终处于相对较高的水平,导致日光温室蔬菜地耕层土壤全 N 含量远高于相邻农田。从全 N 的剖面分布来看,耕层(0~20 cm)全 N 含量较高,20~40 cm 土层全 N 含量明显低于耕层,40~100 cm 各层全 N 含量随着土层深度的增加而逐渐减小。

2.4 日光温室蔬菜地土壤 P 素的含量与累积

日光温室蔬菜地土壤全 P 的含量测定结果(图 1C)表明,与相邻农田相比,3,5 和 8 年棚龄 0~20 cm 土层土壤全 P 含量分别增加了 56%,121%和 249%;3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 0~100 cm 土层全 P 累积总量分别为 48.6,53.2 和 79.7 Mg/hm^2 ,分别比相邻农田(33.8 Mg/hm^2)提高 0.44,0.57 和 1.36 倍。

不同棚龄(3,5 和 8 年)日光温室蔬菜地各层(0~100 cm)土壤速效 P 含量变化如图 1D 所示。由图 1D 可知,与相邻农田相比,3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地 0~20 cm 土层土壤速效 P 含量分别增加了 320%,721%和 831%;3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 0~100 cm 土层速效 P 累积总量分别为 574,837.4 和 1 189.8 kg/hm^2 ,分别比相邻农田(89.1 kg/hm^2)高 5.43,8.40 和 12.35 倍。可见,日光温室蔬菜土壤中速效 P 大量累积。日光温室蔬菜大棚连续种植 3,5 和 8 年后耕层土壤速效 P 的含量均超过 100 mg/kg,且随种植年限的增加呈明显递增趋势。

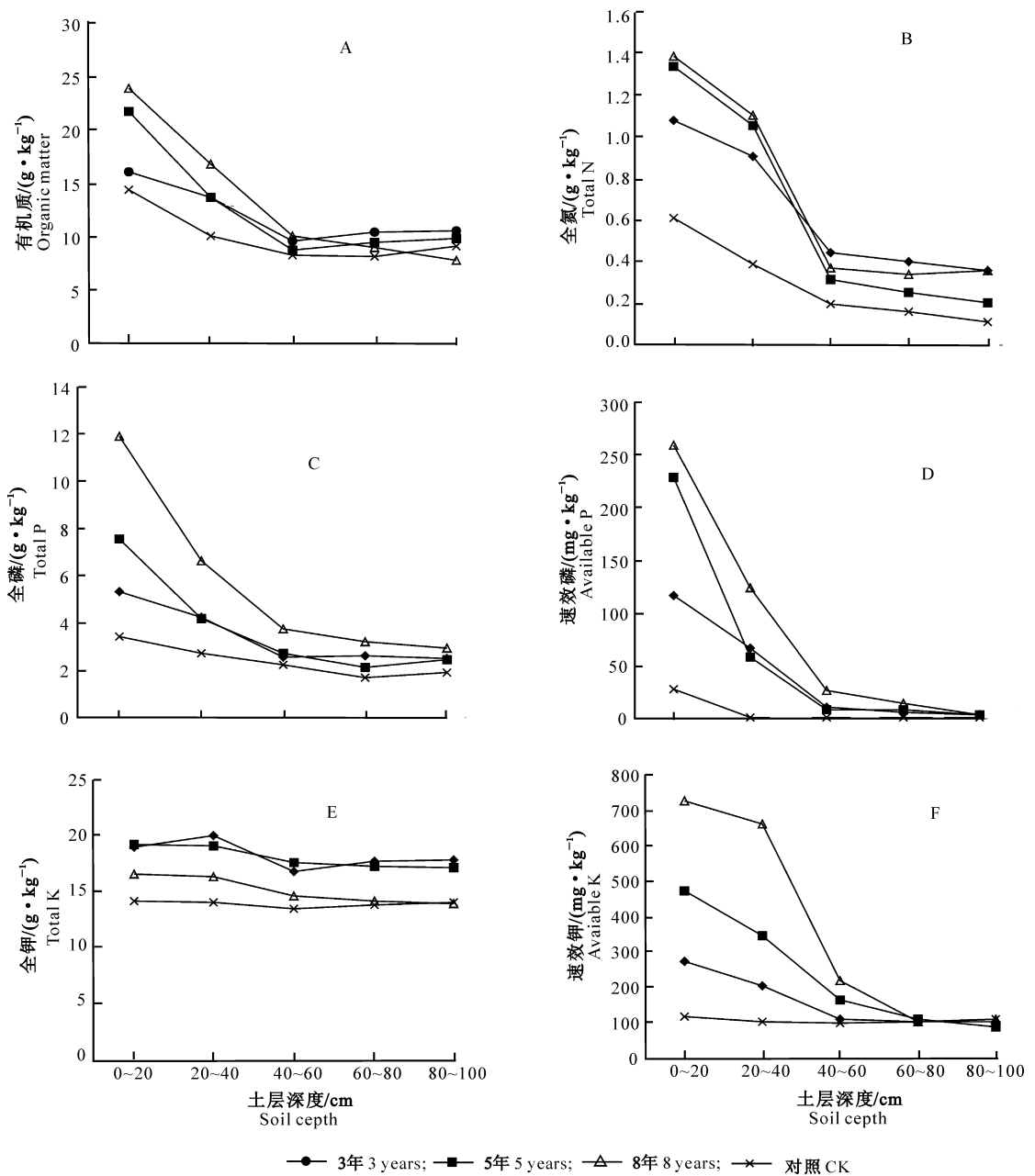


图 1 不同棚龄日光温室蔬菜地与相邻农田土壤的养分含量

Fig. 1 Concentration of soil nutrients in vegetable greenhouses under different cultivation times and adjacent crop field

从日光温室蔬菜土壤磷素的累积状况可知,速效 P 的富集率远高于土壤全 P 的富集率。可能的原因是:通常施入土壤的磷素很快被固定^[16-18],因为菜地土壤 pH 低、土壤有机质和土壤磷酸根离子浓度较高,当磷肥用量过大时,土壤吸附固定位点处于饱和状态,土壤固磷能力减弱^[19],造成土壤有效 P 含量迅速增加。

2.5 日光温室蔬菜地土壤 K 素的含量与累积

不同棚龄(3,5 和 8 年)不同土层(0~100 cm)日光温室蔬菜地土壤全 K 含量的变化结果(图 1E)表明,与相邻农田相比,3,5 和 8 年棚龄 0~20 cm

日光温室蔬菜地土壤全 K 含量分别增加了 34%, 36% 和 18%,增加的幅度较小。3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 0~100 cm 土层全 K 累积总量分别为 259.7,256.8 和 215.2 Mg/hm²,分别比相邻农田(197.3 Mg/hm²)高 31.6%,30.2% 和 9.1%。

不同棚龄(3,5 和 8 年)日光温室蔬菜各土层(0~100 cm)土壤速效 K 含量变化结果(图 1F)表明,与相邻农田相比,3,5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地 0~20 cm 土壤速效 K 含量分别增加了 129%, 294% 和 505%;相邻农田 0~100 cm 土层的速效 K

累积总量为 $1\,537.4\text{ kg/hm}^2$, 3, 5 和 8 年日光温室蔬菜地土壤速效 K 累积总量分别为 $2\,272.3$, $3\,378.3$ 和 $5\,204.5\text{ kg/hm}^2$, 分别较相邻农田高 0.48 , 1.20 和 2.39 倍。可见, 日光温室蔬菜土壤中速效 K 大量累积。

3 结 论

(1) 3, 5 和 8 年棚龄日光温室蔬菜地土壤 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层 pH 比相邻农田均显著降低, 说明菜地土壤有酸化的趋势。pH 降低的主要原因是大量施用氮肥和有机肥, 且一般集中施于 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层所致。

随着日光温室种植年限的增加, 土壤有机质、全 N、全 P、全 K 逐渐增加。这是由于日光温室连年增施化肥和有机肥, 且肥料用量远远超过蔬菜需求量, 使得土壤养分大量积累。故作者建议日光温室应合理施肥并且轮作倒茬。

(2) 日光温室菜地土壤养分以 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层累积为主, 形成养分富积层, 其次为 $20\sim 40\text{ cm}$ 土层, 最后是 $40\sim 100\text{ cm}$ 土层。随着土层深度的增加, 菜地养分的累积量逐渐减少。就菜地养分的富集率而言, 速效 P > 速效 K > 全 N > 全 P > 全 K > 土壤有机质。

(3) 日光温室蔬菜地磷肥用量相对较多, 有过量的趋势。土壤速效 P 含量几倍甚至十倍增加, 使得速效 P 的累积率远远高于土壤全 P 的累积率, 连续种植 3, 5 和 8 年后日光温室蔬菜地耕层土壤速效 P 的含量均超过 100 mg/kg , 这与土壤连年增施磷肥及磷在土壤中的固定释放机理有关。

〔参考文献〕

[1] 李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业可持续发展中的肥料问题 [M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998: 1-133.
Li Q K, Zhu Z L, Yu T R. Fertilizer question in chinese agriculture sustainable development [M]. Nanchang: Jiangxi Science & Technology Press, 1998: 1-133. (in Chinese)

[2] 朱建国. 硝态氮污染危害与研究展望 [J]. 土壤学报, 1995, 32(Suppl.): 62-69.
Zhu J G. Nitrogen pollution and its prospective [J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(Supplement): 62-69. (in Chinese)

[3] 张维理, 田哲旭, 张 宁, 等. 我国北方农田氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查 [J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87.
Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, et al. Investigation on NO_3^- polluting ground water of nitrogen fertilizer in farmland of north China [J]. Plant Nutrition and Fertilize Science, 1995, 1(2): 80-87. (in Chinese)

[4] Canter L W. Nitrates in groundwater [M]. New York: CRC Press Inc, 1997: 1-18.

[5] 沈德中. 农业环境保护与农业环境保护科学研究 [C]// 国家科学技术委员会. 中国农业科学技术政策背景资料. 北京: 中国农业出版社, 1997: 237-242.
Shen D Z. Research of agro-environmental protection and agro-environmental protection science [C]// State Science and Technology Commission. Policy background data of China on agricultural science and technology. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 237-242. (in Chinese)

[6] 王家骧. 肥料的使用与水质污染的关系评估 [C]// 中国农业科学院土壤肥料研究所, 加拿大钾磷研究所北京办事处. 施肥与环境学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 89-90.
Wang J X. The Evaluation of relationship between fertilizer application and water pollution [C]// Soil and Fertilizer Institute of CAAS, Peking Office of PPI/PPIC. Proceedings of the symposium on fertilizer use and environment. Beijing: China Agricultural Scientific and Technical Publishers, 1994: 89-90. (in Chinese)

[7] Stauffer M D, Beaton J D. 肥料在世界农业中的地位 [C]// 中国农业科学院土壤肥料研究所, 加拿大钾磷研究所北京办事处. 施肥与环境学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1994. 91-96.
Stauffer M D, Beaton J D. The status of fertilizer in world agriculture [C]// Soil and Fertilizer Institute of CAAS, Peking Office of PPI/PPIC. Proceedings of the symposium on fertilizer use and environment. Beijing: China Agricultural Scientific and Technical Publishers, 1994: 91-96. (in Chinese)

[8] 童有为, 陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径 [J]. 园艺学报, 1991, 18(2): 159-162.
Tong Y W, Chen D F. Study on the cause and control of secondary saline soils in greenhouses [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1991, 18(2): 159-162. (in Chinese)

[9] 薛继澄, 毕德义, 李家金, 等. 设施蔬菜地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策 [J]. 土壤肥料, 1994(1): 4-7.
Xue J C, Bi D Y, Li J J, et al. The adverse physiological factors of soil in the protective ground cultivation of vegetable and counter measurements [J]. Soil and Fertilizer, 1994(1): 4-9. (in Chinese)

[10] 李文庆, 骆洪义, 丁方军, 等. 大棚栽培后土壤盐分的变化 [J]. 土壤, 1995, 27(4): 203-205.
Li W Q, Luo H Y, Ding F J, et al. The changes of soil salinity after greenhouse cultivation [J]. Soils, 1995, 27(4): 203-205. (in Chinese)

[11] 徐福利, 梁银丽, 杜社妮, 等. 杨凌示范区日光温室蔬菜施肥现状及存在问题对策 [J]. 西北农业学报, 2003, 12(3): 124-128.
Xu F L, Liang Y L, Du S N, et al. Fertilization situation analyses and question countermeasure of vegetable in sunlight greenhouse of Yangling Demonstration Zone [J]. Acta Agricultrae Boreali-occidentalis Sinica, 2003, 12(3): 124-128. (in Chinese)

[12] 孙本华, 杨学云, 古巧珍, 等. 黄土施肥效应与肥力演变的长期定位监测研究 II. 长期施肥对土壤理化性质的影响 [J]. 植物

营养与肥科学报,2002,8(Suppl.):71-74.

Sun B H,Yang X Y,Gu Q Z,et al. A study on the effect of fertilization and fertility evolution of Loess soil in long-term stationary experiment II. Effect of long-term fertilization on soil properties [J]. Plant Nutrition and Fertilize Science, 2002,8(Supplement):71-74. (in Chinese)

[13] 古巧珍,杨学云,孙本华,等. 旱地土壤长期定位施肥土壤剖面硝态氮分布与累积研究 [J]. 干旱地区农业研究,2003,21(4):48-52.

Gu Q Z,Yang X Y,Sun B H,et al. Effect of long-term fertilization on distribution and accumulation of NO_3^- -N in Loess soil profile of dry-land [J]. Agricultural Research in the arid Areas,2003,21(4):48-52. (in Chinese)

[14] 章永松,林咸永,罗安程,等. 有机肥对土壤中磷活化作用及机理研究 I. 有机肥(物)对不同形态无机磷的活化作用 [J]. 植物营养与肥科学报,1998,4(2):145-150.

Zhang Y S,Lin X Y,Luo A C,et al. Studies on activation of phosphorus by organic manure in soils and its mechanisms I. Effect of organic manure (matter) on activation to different phosphate in soils [J]. Plant Nutrition and Fertilize Science, 1998,4(2):145-150. (in Chinese)

[15] 章永松,林咸永,罗安程. 有机肥对土壤中磷活化作用及机理研究 II. 有机肥(物)分解产生的有机酸对不同形态磷的活化作用 [J]. 植物营养与肥科学报,1998,4(2):151-155.

Zhang Y S,Lin X Y,Luo A C. Studies on activation of phosphorus by organic manure in soils and its mechanisms-II Organic acids from decomposition of organic manure (matter) and their effect on activation to different artificial phosphate [J]. Plant Nutrition and Fertilize Science,1998,4(2):151-155. (in Chinese)

[16] 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.

Jiang B F. The research of Inorganic Phosphorus in calcareous soils [J]. Soils,1992,24(2):61-64. (in Chinese)

[17] 顾益初,钦绳武. 长期施用磷肥条件下潮土中磷素的积累、形态转化和有效性 [J]. 土壤,1997,29(1):13-17.

Gu Y C,Qin S W. Accumulation, formal transformation and availability of phosphorus in Fluvo-Aquic soil after long-term phosphorus fertilization [J]. Soils, 1997, 29(1):13-17. (in Chinese)

[18] Eghball B B, Infind G D, Baiensper D D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application [J]. J Environ Qual. , 1996, 25: 1339-1343.

[19] 鲁如坤,时正元,顾益初. 土壤积累态磷研究 II 磷肥的表现利用率 [J]. 土壤,1995,27(6):286-289.

Lu R K, Shi Z Y, Gu Y C. Study on accumulated-phosphate II. Apparent accumulated recovery rate of phosphate fertilizers [J]. Soils,1996,27(6):286-289. (in Chinese)

(上接第 128 页)

[7] 李阳兵,谢德体. 不同土地利用方式对岩溶山地土壤团粒结构的影响 [J]. 水土保持学报,2001,15(4):123-125.

Li Y B,Xie D T. Features of water-stable soil aggregate structure under different land use in Karst mountains [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2001,15(4):123-125. (in Chinese)

[8] Carter M R. Soil quality for sustainable land management:organic matter and aggregation interactions and maintain soil functions Agron [J]. 2002,94:38-47.

[9] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究,2002,9(1):81-85.

Lu J W, Li Z B. Advance in soil aggregate study [J]. Research of Soil and Water Conservation,2002,9(1):81-85. (in Chinese)

[10] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法 [M]. 北京:科学出版社,1978.

The soil physics laboratory at the soil research institute of CAS in Nanjing. The measure method of soil physics [M]. Beijing:Science Press,1978. (in Chinese)

[11] 张保华,徐 佩,廖朝林,等. 川中丘陵区人工林土壤结构性及对土壤侵蚀的影响 [J]. 水土保持通报,2005,25(3):25-28.

Zhang B H,Xu P,Liao C L,et al. Soil structure properties and its effect on soil erosion of artificial forest in purple hilly areas of Sichuan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005,25(3):25-28. (in Chinese)

[12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.

Lu R K. The analysis method of soil agro chemistry [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000. (in Chinese)

[13] 丁文峰,丁登山. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征 [J]. 地理研究,2002,21(6):700-706.

Ding W F, Ding D S. The fractal features of soil grandule structure before and after vegetation destruction on Loess Plateau [J]. Geographical Research, 2002,21(6):700-706. (in Chinese)

[14] 苏 静. 宁南地区植被恢复对土壤团聚体稳定性及碳库的影响 [D]. 陕西 杨陵:西北农林科技大学,2005.

Su J. Discussion of influence of vegetation restoration on stability of soil aggregate and the pool of carbon in Ning-nan area [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest sci-tech university of agriculture and forestry,2005. (in Chinese)

[15] 苏 静,赵世伟. 植被恢复对土壤团聚体分布及有机碳、全氮含量的影响 [J]. 水土保持研究,2005,13(2):44-46.

Su J,Zhao S W. Influence of vegetation restoration on distribution of aggregate and organic carbon and nitrogen in loess plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation,2005,13(2):44-46. (in Chinese)

[16] Van Bavel C H M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1949,14:20-23.