农业环境科学学报 2004, 23(2): 332 – 335
Journal of Agro-Environment Science

设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境效应

周建斌，翟丙年，陈竹君，马爱生，尚浩博

（西北农林科技大学资源环境学院，陕西　杨凌　712100）

摘　要：连续 2 年对陕西杨凌地区设施栽培菜地土壤剖面的养分含量进行了测定。结果表明，菜地土壤有机质和全氮含量较农田明显增加，但与高产优质菜地对土壤有机质含量的要求相比，仍属较低水平。菜地土壤 0 ~ 100 cm 剖面硝态氮含量以及耕层及 20 ~ 40 cm 土层有效磷、有效钾含量均较农田土壤显著增加，表明养分特别是硝态氮在土壤剖面发生明显的淋溶作用，由此可能引起的环境问题值得关注。土壤硝态氮、有效磷和速效钾与土壤电导率间有密切的关系，其中硝态氮含量与土壤电导率间的关系更为密切，说明过量施用肥料特别是氮肥是引起土壤盐分累积的主要原因。

关键词：设施栽培；土壤养分；硝态氮；环境效应

中图分类号：X131. 3　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672 – 2043(2004)02 – 0332 – 04

Nutrient Accumulations in Soil Profiles under Canopy Vegetable Cultivation and their Potential Environmental Impacts

ZHOU Jian-bin, ZHAI Bing-nian, CHEN Zhu-jun, MA Ai-sheng, SHANG Hao-bo

(Faculty of Resource & Environmental Sciences, Northwest Sci – Tech University of Agriculture & Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Nutrients in soil profiles under canopy vegetable cultivation in Yangling, Shaanxi have been determined in the past two years. It has been found that the contents of organic matter and total N in the soils significantly increased in comparison with the soils for open fields. However, the content of the organic matter in these soils was lower for cultivating the vegetable crops with high yield and quality. The contents of NO_3 – N in 0 ~ 100 cm soil profiles and available phosphorus and potassium in 0 ~ 40 cm soil layers were significantly increased, indicating the heavy accumulation of nutrients, especially NO_3 – N in the soil profiles, therefore, more attention should be paid to the problems induced by high accumulation of these nutrients in the soils studied. There were close relationships between the electric conductivities of the soils and the contents of NO_3 – N, available phosphorus and potassium; and the correlation coefficient between NO_3 – N and electric conductivities of soils was highest, which may indicate the over – application of nitrogen fertilizers was the main reason for salt accumulation in the soils under the canopy vegetable cultivation.

Keywords: canopy vegetable cultivation; soil nutrients; NO_3 – N; environmental effects

设施栽培作为一项提高蔬菜和其他作物产量的有效途径，近年来在我国的发展相当迅速。据估计，当前全国设施栽培的面积已占蔬菜栽培面积约 14%[1]。在无霜期短的北方地区，设施栽培更成为深受广大菜农欢迎的蔬菜主要栽培方式。

设施栽培时蔬菜的生长期比较集中，多具有较高的产出和经济效益，因此，生产中十分重视肥料的施用，导致过量施肥（特别是氮、磷肥过量）、养分比例失调等问题在生产中相当普遍，由此产生了一系列不良后果。由于过量施肥，一些地方的日光温室氮、磷、钾肥的利用率分别仅为 9. 4%，3. 3% 和 8. 0%[2]。不合理的施肥对蔬菜的品质也产生了不良影响[3,4]。

就土壤性状看，盐分在土壤表层的过量累积，产生的次生盐渍化是人们长期以来一直关注的问题。近年来，对设施栽培下养分累积问题也引起了人们的重

收稿日期：2003 – 08 – 17
基金项目：国家自然科学基金资助(30370288，30230230)
作者简介：周建斌(1964—)，男，博士，教授，主要从事植物营养与旱地水肥调控的教学和研究工作。
E – mail: jbzhou@ public. xa. sn. cn

视，但这些研究多集中在土壤表层[3,5]，而对养分在土壤剖面空间累积的影响，还缺乏必要的了解。养分在土壤中的过量累积，会带来潜在的环境问题，如硝态氮的淋失、氧化亚氮的释放等。因此，明确养分在剖面的分布，对于评价养分的有效性及其可能引起的环境效应具有重要的意义。本试验以陕西杨凌示范区设施栽培基地为研究对象，研究了设施栽培下养分在土壤剖面的空间累积特性，旨在为确定合理的养分调控措施，保证设施栽培的持续发展提供理论依据。

1　材料与方法

2002 和 2003 年 7 月分别在陕西杨凌示范区的杨村乡胡家底村和五泉镇的设施蔬菜栽培基地进行蔬菜施肥状况的调查，并采集菜地土壤样品 150 余个，测定了土壤电导率、有机质、有效氮（硝态氮、铵态氮）、有效磷、有效钾等含量，其中除硝态氮测定土壤层次的深度为 0 ~ 100 cm （按每 20 cm 分开，下同），其他项目均为 0 ~ 40 cm 土层。

土壤有机质、全氮、有效磷、有效钾的测定均采用常规方法[6]。土壤电导率采用 DDS – 11A 型电导仪测定，水、土比为 5: 1。硝态氮测定用 1 mol · L^{-1} 的 KCI 浸提（水、土比为 5: 1），连续流动分析仪（BRAN + LUEBBE）分别测定。

2　结果与讨论

2.1　土壤有机质和全氮的累积

从测定结果看，菜地土壤有机质含量 0 ~ 20 cm 土层平均为 19.91 g · kg^{-1}，20 ~ 40 cm 土层平均为 12.33 g · kg^{-1}，均明显高于一般农田，其中耕层土壤有机质含量的增幅约为 60% 。这与当地设施栽培中普遍施用有机肥有关。有机质含量是衡量菜地土壤肥力高低的主要指标，有研究者提出理想菜地的土壤有机质含量应达 3% 以上，据此，测定地区土壤有机质含量尚属较低水平，生产中应继续提倡有机肥的施用。同时可以看出，与当地农田土壤相比，菜地 0 ~ 40 cm 土层全氮含量也明显增加，其中耕层的增加幅度与有机质的相近，反应了土壤全氮与土壤有机质之间的密切关系，见表 1。

表 1　不同栽培方式下菜地土壤养分的含量

Table 1　Contents of organic matter, available phosphorus and potassium in soils under various different vegetable cultivations

项目	栽培方式	土层(cm)	样本数	范围	平均	变异系数
有机质/g · kg^{-1}	大棚	0 ~ 20	25	12.01 ~ 27.51	19.57	18.48
		20 ~ 40	25	6.68 ~ 20.23	13.16	23.84
	农田	0 ~ 20	8	10.26 ~ 15.22	13.19	12.42
		20 ~ 40	8	9.09 ~ 13.61	11.19	13.88
全氮/g · kg^{-1}	大棚	0 ~ 20	10	1.127 ~ 1.829	1.492	18.41
		20 ~ 40	10	0.753 ~ 1.541	1.081	19.12
	农田	0 ~ 20	3	0.768 ~ 0.881	0.835	7.20
		20 ~ 40	3	0.591 ~ 0.853	0.694	20.0
有效磷/mg · kg^{-1}	大棚	0 ~ 20	25	24.8 ~ 344.5	143.6	64.1
		20 ~ 40	25	7.6 ~ 213	70.3	87.3
	农田	0 ~ 20	4	5.3 ~ 22.6	22.76	54.5
		20 ~ 40	4	3.1 ~ 31.8	19.07	73.9
速效钾/mg · kg^{-1}	大棚	0 ~ 20	25	133 ~ 1 000.7	412.2	56.4
		20 ~ 40	25	96.5 ~ 766.1	263.6	50.89
	农田	0 ~ 20	3	133.1 ~ 180	158.2	14.93
		20 ~ 40	3	67.6 ~ 143	103.9	36.31

2.2　土壤硝态氮的空间累积

与当地农田土壤相比，菜地土壤 0 ~ 100 cm 土壤剖面硝态氮含量均显著增加，增加的幅度达 25 ~ 95 倍之多，表明设施栽培条件下硝态氮在土壤出现显著的累积。李文庆等在山东的研究也发现了类似结果[8]。

硝态氮是作物吸收氮的主要形态，其含量在土壤中的增加对蔬菜生长有利，但由于硝态氮不易被土壤胶体吸附，易随水分的迁移而发生淋溶损失。关于土壤适宜的硝态氮水平在农作物上已进行了一些研究，胡田田等[8]提出 0 ~ 100 cm 土层硝态氮含量平均大于 9.9 mg · kg^{-1} 为高，而对设施栽培的研究较少。有

研究者[9]提出,土壤硝态氮含量大于 280 mg·kg^{-1} 为过量,按这一标准看,测定的 15 个土壤 0~20 cm 土层中硝态氮含量大于 280 mg·kg^{-1} 的有 7 个,占总数的近一半。值得注意的是,80~100 cm 土层的平均值高于 100 mg·kg^{-1},其中有些大棚的含量高达 170~180 mg·kg^{-1},显著高于相应的农田土壤,这无疑会增加地下水的污染机会。可见硝态氮在土壤剖面的累积是一个值得关注的环境问题,见表 2。

表 2 设施栽培下菜地土壤剖面硝态氮含量的空间变化(mg·kg^{-1})

Table 2 Contents of nitrate in the soil profiles under canopy vegetable cultivation

土壤层次/cm	测定 15 个大棚			> 280mg·kg^{-1} 的 7 个点		农田土壤(11 点)	
	范围	平均	标准差	平均	标准差	平均	标准差
0~20	111.3~406.9	275.5	102.2	357.6	54.1	10.3	9.4
20~40	39.5~250.9	145.5	71.9	158.1	68.4	3.7	3.7
40~60	44.9~255.6	132.1	64.5	157.0	66.6	1.4	1.2
60~80	41.3~217.5	111.4	56.5	132.0	60.4	1.9	2.3
80~100	37.4~183.8	106.7	53.5	118.4	62.9	2.3	3.3

不同地点相比,杨村乡胡家底菜地土壤硝态氮含量明显高于五泉镇,见图 1。这与前者设施栽培时间长有关。胡家底位于渭河 2 级阶地,地下水埋藏浅,土层相对较薄;而五泉位于渭河 3 级阶地,土层厚。因此,对环境的危害无疑前者大于后者。

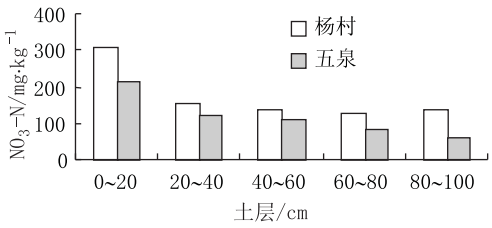

图 1 不同地点土壤剖面硝态氮含量的比较

Figure 1 Contents of nitrate in soil profiles at different locations

2.3 土壤有效磷的累积

由表 1 可以看出,土壤有效磷的含量出现明显的累积,在 0~20 cm 的表现尤为明显,平均含量达 143.6 mg·kg^{-1},20~40 cm 的含量也达 70.3 mg·kg^{-1}。与杨奋翮[10]对北京郊区蔬菜保护地的研究结果相近,即 0~20 cm 及 20~40 cm 土层有效磷的含量平均分别为 148.5 mg·kg^{-1} 和 55.3 mg·kg^{-1}。一些研究者提出的菜地土壤有效磷含量的丰缺指标为:小于 33 mg·kg^{-1} 为严重缺乏,33~60 mg·kg^{-1} 为缺乏,60~90 mg·kg^{-1} 为适宜,大于 90 mg·kg^{-1} 为偏高[4]。按这一标准衡量,有效磷含量缺乏和严重缺乏的占 26.7%,适宜的占 26.7%,偏高的占测定菜园的比例为 46.7%. 可见土壤有效磷含量整体上处在较高的水平。

据国外近年来的研究,土壤磷素的过量累积对环境也会带来潜在的威胁[11,12]。一方面在质地较粗的土壤中可以发生磷素的淋失;另一方面,土壤侵蚀和地表径流会将表土中的磷素带入水体,引起富营养化。一些研究还发现[13],与无机磷相比,有机态磷在土壤中具有较强的移动性,而菜地土壤有机肥的施用比例一般都较高,因此,磷素淋失和发生径流损失也是值得研究的问题。

2.4 土壤速效钾的变化

虽然习惯上认为,黄土地区土壤富含钾素,施用钾肥效果不明显。但研究发现,在这一地区,施用钾肥对提高蔬菜产量和品质有良好效果[14]。因此,在这一地区蔬菜设施栽培生产中提倡施用钾肥,但钾肥施用合适的数量还缺乏必要的研究。国内外一般认为,对于菜地土壤,有效钾含量在 150~250 mg·kg^{-1} 之间为适宜范围[8]大于 350 mg·kg^{-1} 为过量。从测定结果看,土壤速效钾含量大于 350 mg·kg^{-1} 占一半以上;小于 150 mg·kg^{-1} 仅有一个菜园,其余的都处在适宜范围,说明土壤钾素供应多处在丰富水平。大棚土壤速效钾的含量的平均值明显高于所在地区土壤速效钾含量的平均值(160 mg·kg^{-1} 左右[15]),这与生产中重视钾肥的施用密切有关。另外,土壤速效钾的变异较大,变异系数在 50% 以上,也明显高于一般农田。反映了生产中钾肥使用的不平衡性。因此,在当地蔬菜设施栽培中应针对具体土壤的钾素含量,合理使用钾肥,以避免因盲目施用造成有限钾肥资源的浪费和生产成本的增加。

土壤钾素过量虽不会对环境产生直接的危害,但会影响其他离子在土壤中的迁移和转化,而对环境产生间接的影响。一些研究发现[4],钾离子会减少土壤对铵离子的固定,增加铵离子的有效性,这无疑也增大了氮素的挥发和淋溶损失的机会。

2.5 土壤电导率的变化

土壤的电导率反映了土壤盐分累积的情况。由表 3 可以看出，设施栽培条件下土壤电导率明显高于露地土壤，为露地的 3 倍。盐分的过量累积，无疑会破坏土壤结构，影响土壤的持续生产能力。

表 3 大棚及露地土壤的电导率的比较($mS \cdot cm^{-1}$)

Table 3 Electric conductivities of soils under both canopy and open vegetable cultivations

地点	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	地点	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm
1	0.90	0.58	10	0.58	0.44
2	0.63	0.45	11	0.44	0.44
3	1.03	0.58	12	0.88	0.56
4	0.84	0.48	13	0.82	0.68
5	0.75	0.57	14	0.52	0.42
6	0.50	0.48	15	0.64	0.64
7	0.44	0.43	大棚平均(15 点)	0.74	0.54
8	1.20	0.88	露地平均(5 点)	0.21	0.15
9	0.88	0.52			

分析土壤电导率与土壤养分含量的关系，结果表明，土壤硝态氮、有效磷和速效钾与土壤电导率间的关系均达显著水平，其中硝态氮含量与土壤电导率间的关系更为密切，见图 2。这与硝态氮与磷、钾养分不同，在土壤中的移动性有关。可见过量施用肥料特别是氮肥，是引起土壤盐分累积的主要原因。

3 结论

(1) 设施栽培下菜地土壤有机质和全氮含量较露地明显增加，这与当地设施栽培中普遍施用有机肥有关。但与高产优质菜地对土壤有机质含量的要求相比，仍属较低水平，生产中应继续提倡有机肥的施用。

(2) 设施栽培菜地土壤 0 ~ 100 cm 剖面硝态氮含量，以及耕层及其亚表层有效磷和有效钾含量均较农

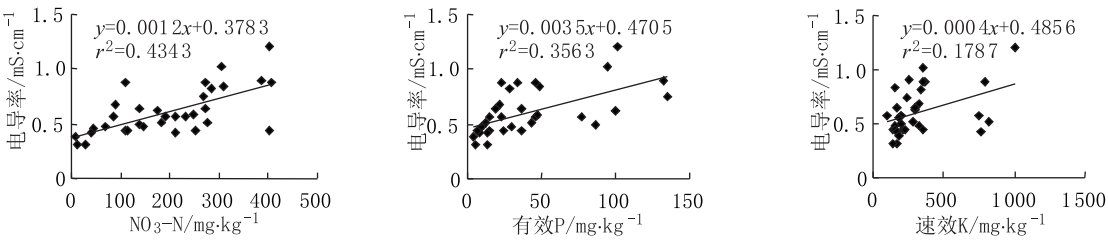

图 2 土壤硝态氮、有效磷和速效钾与土壤电导率间的关系

Figure 2 Relationship of electric conductivities of soil with the contents of NO_3 – N and available phosphorus and potassium

田土壤显著增加，表明养分特别是硝态氮在土壤剖面发生明显的淋溶作用，这无疑会带来相关的环境问题。因此，硝态氮在菜地土壤剖面的过量累积是一个值得关注的生态环境问题。

(3) 土壤硝态氮、有效磷和速效钾与土壤电导率间有密切的关系，其中硝态氮含量与土壤电导率间的关系更为密切。说明过量施用肥料特别是氮肥，是引起土壤盐分累积的主要原因。

参考文献:

[1] 陈伦寿，陆景陵 . 蔬菜营养与施肥技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

[2] 马文奇, 毛达如, 张富锁 . 山东省蔬菜大棚养分累积状况[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 65 – 67.

[3] 薛继澄，毕德义，李家金，等 . 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因素与对策[J]. 土壤肥料, 1994, (1): 4 – 9.

[4] 鲁如坤 . 土壤 – 植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.

[5] 赵风艳，吴凤芝，刘　德，等 . 大棚菜地土壤理化特性的研究[J]. 土壤肥料, 2000, (2): 11 – 13.

[6] 南京农业大学 . 土壤农化分析[M]. 北京：农业出版社，1994.

[7] 李文庆, 张　民, 李海峰, 等 . 大棚土壤硝酸盐状况研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 283 – 287.

[8] 胡田田, 李生秀 . 土壤供氮能力测试方法的研究 IV. 土壤剖面中的起始 NO_3 – N —— 可靠的土壤氮素有效性指标[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(3): 74 – 82.

[9] Miller RW, Donahue RL. Soil in our environment[M]. 7th, Prentice Hall, 1995.

[10] 杨奋翮 . 蔬菜保护地土壤磷形态及其迁移转化特性[D]. 陕西杨凌：西北农业大学硕士论文, 1999.

[11] Leinweber L, Meissner R, Eckhardt KU, et tal. Management effects on forms of phosphorus in soil and leaching losses[J]. *European Journal of Soil Science*, 1999, 50: 413 – 424.

[12] Sharpley AN and Rekolainen. Phosphorus in agriculture and its environmental implications[A]. In Tunney, H. Et al. eds. Phosphorus Loss from Soil to Water [D], 1997. 1 – 53. CAB International, Wallingford.

[13] 李和生 . 有机肥在土壤磷素循环中作用的研究[D]. 西北农业大学硕士论文, 1990.

[14] 陕西省土肥所 . 陕西省主要作物施钾的效果[J]. 陕西农业科学, 1986, (1): 28 – 30。

[15] 郭兆元 . 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.