

# 水田、旱坡地改种蔬菜后土壤养分含量的变化

李辉信<sup>1</sup> 胡 锋<sup>1</sup> 蔡贵信<sup>2</sup> 范晓晖<sup>2</sup> 马建宏<sup>3</sup>

(1 南京农业大学资源与环境学院 南京 210095; 2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008;

3 南京市农林局土肥站 南京 210008)

## CHANGES IN SOIL NUTRIENT CONTENTS IN VEGETABLE FIELDS CONVERTED FROM CEREAL CROPS

LI Hui-xin<sup>1</sup> HU Feng<sup>1</sup> CAI Gui-xin<sup>2</sup> FAN Xiao-hui<sup>2</sup> MA Jian-hong<sup>3</sup>

(1 College of Resources and Environmental sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; 2 Institute of Soil Science,

Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; 3 Soil and Fertilizer Station, Nanjing Agro-forestry Bureau, Nanjing 210008)

**摘 要** 在南京市郊选择了具有代表性的水田、旱坡地改种蔬菜 10 年和 20 年后的田块采集土样, 以未改制的水田和旱坡地土样为对照, 分析了土壤主要肥力性状的变化。结果表明, 水田、旱坡地改种蔬菜后, 土壤耕层 (0~20 cm) pH 有降低的趋势; 有机 C、全 N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、全 P、有效 P、缓效 K 和有效 K 等养分含量均有增加趋势, 其中旱坡地改制的土壤养分含量的增幅更大一些。水田和旱坡地改种蔬菜后土壤剖面 0~70 cm 土层中有较多的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 积累。

**关键词** 水田; 旱地; 菜地; 改制; 土壤养分

**中图分类号** S158.3

近 20 年来我国作物种植结构有很大的变化, 粮食作物面积略有缩减, 蔬菜、果树等经济作物面积逐年扩大。1978~1998 年期间, 中国蔬菜种植面积扩大了将近 4 倍, 1995 年后其增加速度更快, 2000 年蔬菜种植面积已占农作物总播种面积的 9.7%<sup>[1]</sup>。随着城镇人口增加, 我国蔬菜生产在农业生产中的地位日益变得重要。近年来, 南京市郊区蔬菜种植面积也在不断扩大。由于蔬菜作物生长周期短、施肥和灌溉量大、次数多, 这可能会引起肥料利用率降低并导致严重的水体和大气环境污染<sup>[2, 3]</sup>。N 肥施用量大, 还会使蔬菜中的硝酸和亚硝酸盐含量过高, 影响人们身体健康<sup>[4, 5]</sup>。因此有必要了解改制种植蔬菜多年后菜地土壤肥力的性状变化, 特别是 N 素在土壤剖面中的分布特征, 为菜地合理施肥提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品采集

分别在下蜀黄土母质和冲积物母质上发育的水

田 (水旱轮作、未改菜地) 和水田改制种植蔬菜约 10 年及 20 年的菜地上采集土样。另外, 在下蜀黄土母质上发育的旱坡地 (种植小麦和杂粮, 未改菜地) 及旱坡地改制种植蔬菜约 20 年的菜地上采集土样。土壤样品分 4 层 (0~20 cm、20~40 cm、40~70 cm、70~100 cm) 采集, 用不同深度的土钻多点采集并取混合样。水田改制系列的采样地点包括: 大厂区葛塘镇工农村, 栖霞区漳桥 3 队和栖霞区朝阳园艺厂 (下蜀黄土母质, 土壤类型为黄棕壤类的马肝土); 六合区龙池乡龙池村, 雨花区双闸镇和雨花区板桥镇落星村 (冲积物母质, 土壤类型为潮土类的河砂土和江淤土)。旱坡地改制系列的采样地点包括: 江宁区麒麟镇袁家边村, 江宁区麒麟镇甫村, 江宁区麒麟镇平家岗村, 栖霞区朝阳园艺厂和雨花区铁心桥 (下蜀黄土母质, 土壤类型为黄棕壤类的黄刚土)。

### 1.2 分析项目及方法

土壤有机 C 采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法; 全 N 用开氏消煮法; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 采用靛酚蓝比色法; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 用镀铜镉还原-重氮化偶合比色法; 全

P 采用酸溶-钼锑抗比色法；速效 P 用  $\text{NaHCO}_3$  提取-钼锑抗比色法；缓效 K 采用硝酸煮沸-原子吸收分光光度计法；速效 K 用乙酸铵提取-原子吸收分光光度计法；pH 用电位法<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 水田、旱坡地改菜地后土壤表层主要肥力性状的变化

表 1 数据表明，水田改菜地后，土壤表层的养分含量总体上呈增加的趋势。在下蜀黄土母质上发育的马肝土水田改菜地后，土壤全 N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 含量随改制年限的增加而增加，其中改制 20 年的菜地土壤全 N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 含量显著高于未改制的水田，

差异达显著水平 ( $p < 0.05$ )；土壤缓效 K 含量的增加趋势完全与上述的全 N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的趋势一致。土壤全 P 的含量是改制 10 年的菜地最高，显著高于未改制的水田，速效 P 含量则是改制 20 年的菜地最高，也显著高于未改制的水田。在冲积物母质上发育的河砂土改菜地后，只有速效养分  $\text{NO}_3^-$ -N、速效 P 和速效 K 的含量增加，且随改制年限的延长而增加，但只有改制 20 年的土壤速效养分显著高于未改制水田。

上述两类土壤改制后，土壤有机 C 含量均未发生明显改变，这与有机肥施用较少有关（与对当地农民施肥情况调查的结果相符）。改制后土壤的 pH 均明显降低，这与刘永菊等的结果相同<sup>[7]</sup>。

表 1 水田改菜地后土壤耕层养分含量的变化

土样	有机C (g/kg)	全氮 (g/kg)	$\text{NH}_4^+$ -N (mg/kg)	$\text{NO}_3^-$ -N (mg/kg)	全P (g/kg)	速效P (mg/kg)	缓效K (mg/kg)	速效K (mg/kg)	pH
马肝土 水田未改制	11.6	1.01bc*	2.41	9.01bc	0.56bc	10.1b	500.1bc	104.9	6.51
	(±0.49)	(±0.20)	(±0.66)	(±6.88)	(±0.09)	(±7.97)	(±94.5)	(±23.6)	(±0.36)
	改种菜 10 年	11.5	1.21ab	2.55	16.2ab	0.82a	13.9b	599.9ab	105.6
	(±1.34)	(±0.00)	(±1.44)	(±2.86)	(±0.00)	(±5.37)	(±24.4)	(±12.1)	(±1.47)
改种菜 20 年	10.7	1.39a	7.83	43.1a	0.78ab	29.8a	657.0a	127.2	5.83
	(±1.52)	(±0.10)	(±7.36)	(±18.3)	(±0.13)	(±5.91)	(±24.0)	(±12.2)	(±1.65)
河砂土 水田未改制	11.6	0.87	2.15	11.5bc	0.73	7.5bc	314.9	71.1bc	7.49
	(±2.03)	(±0.30)	(±0.75)	(±4.89)	(±0.03)	(±2.49)	(±76.6)	(±17.2)	(±0.48)
	改种菜 10 年	12.9	1.24	3.43	19.7ab	0.93	21.2ab	353.3	94.2ab
	(±2.09)	(±0.23)	(±2.96)	(±7.31)	(±0.25)	(±9.38)	(±70.7)	(±30.4)	(±1.32)
改种菜 20 年	11.4	1.24	11.0	35.4a	0.86	29.6a	399.2	121.3a	5.67
	(±2.69)	(±0.07)	(±8.44)	(±11.4)	(±0.16)	(±13.6)	(±108.1)	(±6.94)	(±1.69)

注：表中数据均为 3 个土壤样品测定结果的平均值，括号内数据为标准差，下同。\* 同一列中字母不同，表示处理间有显著性差异 ( $p < 0.05$ )，下同。

从表 2 中可以看出，旱坡地改种蔬菜 20 年后，除  $\text{NH}_4^+$ -N 没有明显变化外，其他养分含量均有显著增加，pH 值略有降低。其中土壤有机 C、全 N 和

$\text{NO}_3^-$ -N 的增幅较大，达极显著水平 ( $p < 0.01$ )，这与旱坡地主要分布在农民居住区附近，面积较小，施用有机肥较多密切相关。

表 2 旱坡地改菜地后土壤耕层养分含量的变化

土样	有机C (g/kg)	全氮 (g/kg)	$\text{NH}_4^+$ -N (mg/kg)	$\text{NO}_3^-$ -N (mg/kg)	全P (g/kg)	速效P (mg/kg)	缓效K (mg/kg)	速效K (mg/kg)	pH
黄刚土 旱地未改制	8.23	0.99	2.83	4.91	0.43	5.52	543.0	98.7	6.51
	(±0.93)	(±0.13)	(±0.70)	(±1.16)	(±0.21)	(±3.18)	(±95.7)	(±28.7)	(±0.80)
改种菜 20 年	12.6**	1.45**	2.74	33.4**	0.87*	46.6*	734.5*	163.5*	6.37
	(±2.33)	(±0.20)	(±1.08)	(±19.1)	(±0.32)	(±33.9)	(±109.1)	(±35.5)	(±0.96)

\* 和 \*\* 分别表示  $p < 0.05$  和  $p < 0.01$  的显著性差异，下同。

上述结果显示，旱坡地改制后土壤耕层的养分增加幅度大于水田改制的土壤。虽然水田和旱坡地改制后土壤养分有不同程度的增加，但与山西菜地相比，土壤养分含量增幅较低<sup>[8]</sup>。据程季珍等对山

西省 10 地市 60 多个县市 7333  $\text{hm}^2$  菜田耕层的 1086 个土样和附近粮田的 330 个土样的对比研究，发现菜田土壤与粮田土壤相比，有机质含量提高了 0.33~1.82 倍；全 N 含量提高了 3%~88%；碱解 N

含量提高了 0.29~1.07 倍;速效 P 含量提高最多,为 2.44~16.6 倍;速效 K 含量提高较少,仅为 1%~44%,老菜田速效 K 含量甚至有减少的趋势。粮田改菜地后土壤养分含量的变化主要与当地施肥量与施肥习惯有关<sup>[8]</sup>。

## 2.2 水田、旱坡地改菜地后土壤剖面有机 C 和全 N 的变化

在冲积物母质上发育的河砂土水田改菜地后,

土壤 0~100cm 剖面内有机 C 和全 N 含量未见明显变化(表 3)。在下蜀黄土母质上发育的马肝土水田改菜地 10 年后,亚表层土壤有机 C 和全 N 含量比未改制的水稻土低,表明高强度耕种的菜地在有机肥料得不到充足补充的条件下有可能更多地消耗亚表层土壤的有机 C 和 N。但随着改制年限增加至 20 年,亚表层土壤的有机 C 和全 N 含量与未改制的水稻土相近。

表 3 水田改菜地后土壤剖面有机 C 和全 N 的变化

土 样	有机 C (g/kg)				全 N (g/kg)			
	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm
马肝土 水田未改制	11.6	7.31ab	4.62	2.97	1.01bc	0.86ab	0.58	0.38
	(±0.49)	(±0.99)	(±1.36)	(±0.04)	(±0.20)	(±0.09)	(±0.16)	(±0.07)
	11.5	5.02bc	3.20	2.63	1.21ab	0.67bc	0.44	0.40
水改菜 10 年	(±1.34)	(±0.29)	(±0.62)	(±0.76)	(±0.00)	(±0.11)	(±0.03)	(±0.04)
	10.7	7.57a	4.09	3.42	1.39a	0.96a	0.57	0.45
	(±1.52)	(±1.30)	(±0.91)	(±0.26)	(±0.10)	(±0.14)	(±0.08)	(±0.04)
水改菜 20 年	11.6	5.99	3.66	2.71	0.87	0.75	0.61	0.25
	(±2.03)	(±1.67)	(±1.72)	(±1.92)	(±0.30)	(±0.23)	(±0.24)	(±0.01)
	12.9	6.56	4.21	2.77	1.24	0.76	0.51	0.38
河砂土 水田未改制	(±2.09)	(±1.40)	(±2.11)	(±2.13)	(±0.23)	(±0.24)	(±0.23)	(±0.26)
	11.4	7.20	4.99	3.60	1.24	0.83	0.67	0.55
	(±2.69)	(±2.07)	(±2.29)	(±1.83)	(±0.07)	(±0.26)	(±0.30)	(±0.20)

表 4 结果显示,在下蜀黄土母质上发育的旱坡地改种蔬菜 20 年后,表层和亚表层的土壤有机 C 和全 N 均有显著增加,有机 C 的增幅分别为 53.2%

和 56.6%,全 N 的增幅分别为 46.5%和 47.5%。这主要是旱坡地分布在农民居住区附近,面积较小,施用有机肥较多所致。

表 4 旱坡地改菜地后土壤剖面有机 C 和全 N 的变化

土 样	有机 C (g/kg)				全 N (g/kg)			
	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm
黄刚土 旱地未改制	8.23	4.17	2.74	2.51	0.99	0.59	0.46	0.41
	(±0.93)	(±0.99)	(±0.53)	(±0.54)	(±0.13)	(±0.11)	(±0.06)	(±0.06)
旱改菜 20 年	12.6**	6.53**	3.72	2.56	1.45**	0.87*	0.57	0.44
	(±2.33)	(±1.20)	(±0.96)	(±0.62)	(±0.20)	(±0.16)	(±0.14)	(±0.08)

## 2.3 水田、旱坡地改菜地后土壤剖面 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化

两种母质上发育的水田土壤改制种植蔬菜 10 年、20 年后,土壤的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  没有明显变化,且各层土壤之间的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  也无明显分异; $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的情况则不同,随种植蔬菜年限的增长, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量增加。从剖面分布的情况看, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  随土层深度的增加而减少,但种植 20 年菜地土壤 20~40 cm 和 40~70 cm 土层中的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量较高,并显著大于未改制土壤相应土层的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量,这表明长期种植蔬菜后土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量增加并向土壤剖面下层移动。这

对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的淋失和地下水的污染有潜在的影响,应引起注意。

袁新民等<sup>[9, 10]</sup>对陕西省关中地区粮田改种蔬菜后土壤剖面中水分和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  分布的变化进行了研究,发现粮田改菜地后 2 m 以下的土层中仍然有  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  积累,并分析了不同种植年限、种植方式和不同施肥条件对菜地土壤中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  积累的影响。

旱坡地改种蔬菜 20 年后,0~100 cm 土层内土壤各层  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量变化微小, $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量则明显增加。0~20, 20~40 和 40~70 cm 土层  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量均显著高于旱地未改制土壤。

表 5 水田改菜地后土壤剖面  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的变化

土样	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/kg)				$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/kg)			
	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm
马肝土 水田未改制	2.41	4.71	3.20	3.39	9.01bc	2.55b	3.24b	1.34
	(±0.66)	(±0.74)	(±1.10)	(±0.35)	(±6.88)	(±2.19)	(±2.63)	(±1.17)
	2.55	6.86	2.13	4.08	16.2ab	8.81b	4.96b	4.45
水改菜 10 年	(±1.44)	(±3.30)	(±0.49)	(±0.12)	(±2.86)	(±6.79)	(±5.13)	(±5.62)
水改菜 20 年	7.83	6.34	1.70	4.30	43.1a	21.4a	14.1a	5.60
	(±7.36)	(±2.22)	(±0.23)	(±0.68)	(±18.3)	(±15.8)	(±2.79)	(±4.39)
潮土 水田未改制	2.15	6.81	2.97	3.39	11.5bc	4.8bc	3.30bc	3.61
	(±0.75)	(±4.07)	(±0.27)	(±0.95)	(±4.89)	(±2.19)	(±1.61)	(±2.08)
	3.43	4.95	1.85	4.93	19.7ab	16.4ab	9.90ab	8.29
水改菜 10 年	(±2.97)	(±1.27)	(±0.32)	(±0.60)	(±7.31)	(±6.79)	(±1.28)	(±4.74)
水改菜 20 年	11.01	4.64	2.09	4.57	35.4a	25.5a	23.1a	15.9
	(±8.44)	(±0.75)	(±0.44)	(±2.00)	(±11.4)	(±15.8)	(±11.3)	(±11.4)

表 6 旱坡地改菜地后土壤剖面  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的变化

土 样	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/kg)				$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/kg)			
	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm	0~20cm	20~40cm	40~70cm	70~100cm
黄刚土 旱地未改制	2.83	4.60	3.02	3.78	4.91	3.99	3.28	2.38
	(±0.70)	(±0.92)	(±0.32)	(±0.65)	(±1.16)	(±3.53)	(±2.92)	(±1.66)
旱改菜 20 年	2.74	4.70	2.16	4.10	33.4**	19.4*	17.7*	9.53
	(±1.08)	(±1.35)	(±0.80)	(±0.78)	(±19.1)	(±9.98)	(±9.39)	(±7.85)

### 3 结 论

水田、旱坡地改种蔬菜后，土壤耕层 pH 有降低的趋势；而有机 C、全 N、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、全 P、有效 P、缓效 K 和有效 K 等养分含量均有增加趋势，且随改制年限的延长而增加，其中旱坡地改制的土壤养分含量的增幅大于水田改制的土壤。水田和旱坡地改种蔬菜后土壤剖面 0~70 cm 土层中有较多的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  积累，长期种植蔬菜后土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  增加并向土壤剖面下层移动，这对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的淋失和地下水的污染有潜在的影响，应引起注意。

#### 参考文献

- 1 陈耀邦, 何康, 万宝瑞. 中国农业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2001
- 2 吕殿青, 同延安, 孙本华. 氮肥施用对环境污染影响的研究. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8~15
- 3 曹志洪. 施肥与水体环境质量—论施肥对环境的影响(2). 土壤, 2003, 35(5): 353~363
- 4 李俊良, 陈新平, 李晓林, 张福锁. 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应. 土壤学报, 2003, 40(2): 261~265
- 5 孙权, 丁福荣, 李鹏, 吕海霞, 胡霞, 刘正军. 氮肥对大白菜硝酸盐积累的影响及合理施用量研究. 土壤, 2003, 35(3): 255~258
- 6 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- 7 刘永菊, 曹一平, 张福锁. 北京郊区蔬菜地长期施用粪肥对土壤环境质量的影响. 见: 李晓林, 张福锁, 米国华编著. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京: 中国农业大学出版社, 2000, 32~40
- 8 程季珍, 任继海, 亢青选, 张春霞, 罗效良. 山西省菜田土壤的肥力特征与蔬菜施肥问题. 见: 李晓林, 张福锁, 米国华编著. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京: 中国农业大学出版社, 2000, 76~92
- 9 袁新民, 李晓林, 同延安, 张福锁. 粮田改菜地后土壤剖面中水分和分布的变化. 见: 李晓林, 张福锁, 米国华编著. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京: 中国农业大学出版社, 2000, 283~287
- 10 袁新民, 李晓林, 张福锁. 菜地土壤的硝态氮积累及影响因素. 见: 李晓林, 张福锁, 米国华编著. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京: 中国农业大学出版社, 2000, 288~292