

水稻生产改为蔬菜或葡萄栽培对土壤养分的影响研究 ——以浙江富阳为例

潘霞^{1,2}, 陈励科¹, 吴龙华^{1*}, 滕应¹, 骆永明^{1,3}

(1.中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要:以浙江杭州郊区为例,研究了土地利用方式变化对土壤养分的影响,以期对土地利用方式的选择提供借鉴。选取当地3种典型的土地利用方式变化类型,调查由传统水稻生产改为种植高经济收益的芦笋、葡萄或芥菜后不同年限对土壤养分变化的影响。结果表明,水稻田改种芦笋后,除铵态氮以外,土壤表层中的其他养分(有机碳、全氮、全磷、全钾、硝态氮、有效磷、速效钾)浓度均显著提高($P<0.05$);全氮、全钾以及硝态氮的增幅延续到剖面深层。其他两种类型的土地利用方式变化也有相似规律,其中有效态养分增幅更为明显。土地利用方式变化对养分分布也有一定的影响,水稻田改种芦笋后全氮和全钾的浓度增加最为显著,而改种葡萄后变化最大的养分是速效钾,改种芥菜后土壤硝态氮上升更显著。因此,水稻田转变成种植其他经济作物会引起土壤表层乃至剖面深层养分浓度的增加,可能造成农业面源污染,易引起养分流失和导致水体富营养化。

关键词:土地利用方式变化; 种植年限; 土壤养分

中图分类号: S157.4 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2013)11-2206-08 doi:10.11654/jaes.2013.11.015

Responses of Soil Nutrients to Land Use Changes from Rice Production to Vegetable Cultivation or Viticulture : A Case Study in Fuyang City, Zhejiang Province

PAN Xia^{1,2}, CHEN Li-ke¹, WU Long-hua^{1*}, TENG Ying¹, LUO Yong-ming^{1,3}

(1.Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract: Changes in land use may alter soil microbial, chemical and physical properties, thus influencing soil nutrients. Soil nutrient changes were investigated after changing paddy rice to asparagus production, to vineyards, or to field mustard cultivation in Fuyang city, Zhejiang province. Changing from paddy rice to asparagus production increased total organic C, total N, total P, total K, NO_3^- -N, Bray-P, and NH_4OAc -K in surface soils ($P<0.05$), with an exception of NH_4^+ -N. Total N, total K, and NO_3^- -N were also found to increase in sub-surface soil layer. Similar nutrient changes were observed in other two types of land use changes, but with greater changes found in extractable than in total nutrients. Nutrient responses to land use changes were different among different use types. The greatest increases in total N and total K was found in asparagus production, NH_4OAc extractable K in viticulture and NO_3^- -N in field mustard. The results suggest that land use changes from paddy rice to cash crops might cause agricultural pollution via nutrient leaching, and suitable planning is necessary to maintain agricultural sustainability.

Keywords: land use change; cultivation years; soil nutrients

收稿日期: 2013-02-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项(40930739) 环境保护部公益性行业科研专项项目(201109018-4-2)

作者简介: 潘霞(1988—),女,浙江台州人,硕士。主要从事土壤污染与修复研究,现在浙江省温州市环境保护设计科学研究院工作。

E-mail: xpan@issas.ac.cn

* 通信作者: 吴龙华 E-mail: dlhwu@issas.ac.cn

我国是一个各地区经济发展不平衡的农业大国,各地因经济及社会发展形势不同,产生了多种不同的土地利用模式。长江三角洲是中国东部沿海经济最发达的地区之一,其土地利用格局不断发生着重大改变。对于农用地,过去相当长历史中以水稻田为主,而现今越来越多的农民将原有水稻田改种为其他经济作物以增加农业收入^[1]。

土地利用是物理因素和人类活动相互作用的结果^[2]。在热带生态系统中,土地利用变化可导致土壤的生物和化学性质迅速而显著的改变^[3]。土壤有机碳、氮和磷浓度的变化与土地利用方式和耕作管理的差异密切相关^[4-5]。土地利用方式的变化和土壤耕作管理模式的改变往往同时发生^[6],通过影响与养分相关的土壤过程如侵蚀、氧化、矿化和淋溶^[7-10],最终影响营养元素的运输和再分配过程。不同土地利用方式下,由于不同耕作制度及种植模式下肥料用量与施用方式、耕作方式等田间管理的差异,造成碳、氮、磷等养分浓度发生大幅变化^[11]。近来,人们逐渐开始关注土地利用方式变化在全球化问题中所起的重要作用^[12-13],特别是对土壤养分和生物地球化学循环的影响^[14-16]。研究发现,人口压力和土地集约化利用易造成养分消耗,土壤酶活性也与养分密切相关^[17-19]。不同的土地利用将导致土壤化学性质发生重大变化,进而影响土壤演变的方向和程度^[20-22]。因此,探明土地利用变化和土壤养分浓度间的内在关系,对于我国土地可持续利用和管理具有重要作用^[23]。此外,分析土地利用变化引起的土壤理化性质变化,可为我国区域土地利用政策的制定提供依据^[24]。

随着越来越多的水田转化为果园和蔬菜基地,其对土壤性质如养分变化的影响需要引起我们的重视^[25-26]。因此,本论文通过研究我国东部长江三角洲地区因水稻田转变成芦笋地、葡萄园以及芥菜地等不同年限引起的土壤pH和养分变化,探讨改变土地利用方式对土壤养分浓度和分布情况的影响,以期有助于我国在农业生产中及时调整耕作管理模式,在保持土壤肥力和保护土壤生态环境的前提下获得更高的经济效益。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

样品采集地富阳市位于浙江省西部(图1),群山环抱,主要的行政区通过道路和河流划分。该地区属于亚热带湿润季风气候,四季分明,年平均温度 16~

18℃,年降水量 800~1600 mm。土地利用方式主要为水稻田,其他还有蔬菜地、林地以及荒地等。

1.2 样品采集与分析

样品采集时间为 2011 年 3 月,从富阳市共采集样品 147 个,包括表层(0~15 cm)和剖面(0~100 cm)土壤样品。这些土样代表 3 种类型的土地利用方式变化,分别为:从种植水稻(*Oryza sativa* L.)变为芦笋地(*Asparagus officinalis* L.);水稻田变为葡萄园(*Vitis vinifera* L.);水稻田变为芥菜地(*Brassica campestris* L.)。同一土地利用方式变化下的土样包含了不同的种植年限,同时分别采集这 3 种类型土地利用田块附近的、长期种植水稻的土壤样品作对照,即表 1 中的对照 1 至 3。根据美国土壤系统分类,采集的水稻土为普通铁渗水耕人为土,各个对照水稻田与对应的土地利用田块间至少相距 500 m。除 10 年葡萄园只采集 3 个表层土样外,其余每一块田采集 18 个土样,即 3 个表层土样和 3 个剖面(15 个样品),同时用 GPS 记录采样点位置。在水稻田变为芦笋地这一类型的土地利用变化选取了对照水田,种植年限为 8 年、13 年和 23 年的芦笋地,共 72 个土样;葡萄园为对照水田、10 年和 22 年地块,39 个土样;芥菜地则只选取对照水田和种植 14 年的地块,36 个土样。样点区位见图 1。A 为芦笋地(119°59′/30°03′);B 为葡萄园(120°01′/30°04′),位于富春江中的一小岛上;C 为芥菜地(119°54′/30°03′),距富春江北岸 5 km。其中芦笋地是大棚种植,另两种则为露天栽培。表层土样的采集深度为 0~15 cm,剖面则为 0~100 cm,每 20 cm 一层,共 5 层。使用不锈钢土钻采集多点混合土样,混合均匀后用四分法处理,留取 1 kg 左右作为该层样品。

采集的样品在室内风干后,去除杂物,研磨、分别过 2 mm、0.25 mm 以及 0.149 mm 尼龙筛,测定土壤 pH 及养分。养分指标包括总有机碳(TOC)、全氮(Total N)、全磷(Total P)、全钾(Total K)、铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、有效磷(Bray-P)以及速效钾(NH₄OAc-K),均参照《土壤农业化学分析方法》^[27],其中 pH 值采用电极电位法、全碳采用重铬酸钾-硫酸氧化法、全氮采用凯氏定氮法、全磷采用酸溶-钼锑抗比色法、全钾采用酸溶-原子吸收法、铵态氮和硝态氮采用 Bremner 氯化钾-流动注射分析法、有效磷采用 Bray 法、速效钾采用乙酸铵提取法。

1.3 数据处理

采用 SPSS16.0 和 Origin7.0 软件对土壤 pH 值及养分指标的测定结果进行数据统计和图形绘制,用最

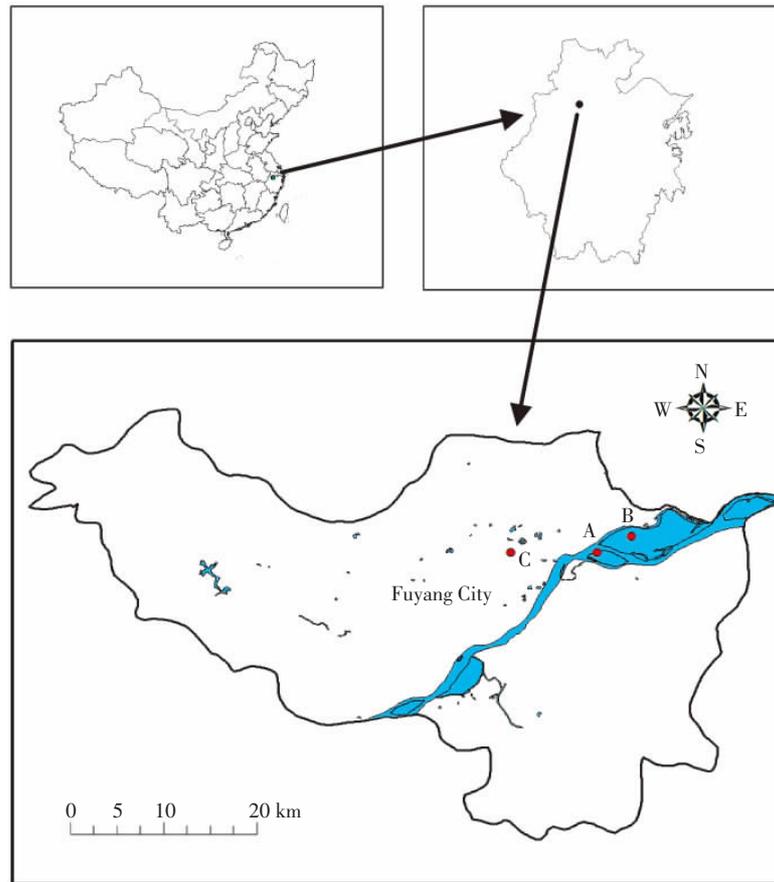


图 1 研究区域位置图

Figure 1 Location of the study area

低显著性差异法 (LSD) 进行差异显著性分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土地利用方式变化对土壤表层养分浓度的影响

不同土地利用方式变化下表层土壤 pH 以及养分浓度见表 1。3 种类型的土地利用方式变化, 土壤表层 pH 值均无显著差异, 只有种植 8 年的芦笋地土壤 pH 值比对照水田(对照 1)显著升高外, 但随着种植年限的延长表层土壤 pH 值又逐渐恢复到原先的数值。表明这 3 种类型的土地利用方式变化对土壤表层 pH 值未产生显著影响。

水稻田改种芦笋后, 除铵态氮外, 表层土壤养分浓度均显著升高, 且随着种植年限的增加呈明显的积聚趋势。水田土壤铵态氮高, 这与水田土壤本身具有较高的铵态氮吸附、保持能力相一致。种植芦笋 23 年的表层土壤比“对照 1”地块的表层土壤有机碳、全氮、全磷和全钾分别增加了 0.11、0.42、1.87、0.51 倍; 而硝态氮、有效磷、速效钾增加 33.1、72.9、12.2 倍。有

效态养分的增幅远高于全量养分, 表明水田改为芦笋地在土壤表层更易形成有效态养分的积聚, 其中以磷最为突出。改为葡萄园后, 养分的变化规律更为复杂, 与元素种类及种植年限密切相关。长期(种植 22 年)来看, 全磷和有效磷比“对照 2”分别增加了 1.50 倍和 46.7 倍; 土壤氮浓度则降低, 而全碳和全钾没有明显变化。水稻田改种芥菜后, 全磷和全钾比“对照 3”分别增加 1.93 倍和 0.08 倍, 同时硝态氮和有效磷的增幅为 66.4 倍和 200 倍, 全碳却下降了 27%, 其他养分浓度则没有明显变化。

总之, 相比全量养分, 土地利用方式变化更易引起有效态养分在表层土壤的显著增加, 且磷最易积聚。另外, 土地利用方式变化类型差异对养分积聚特征有一定的影响, 以磷为例, 假设改变水田这一土地利用方式后经过相同的种植年限, 芥菜地积聚量最大, 其次为芦笋地, 最后则是葡萄园。

2.2 土地利用方式变化类型对土壤养分剖面分布的影响

水田改种芦笋后土壤全氮、全磷、全钾的剖面分

表1 不同类型土地利用方式变化下表层土壤 pH 及养分浓度

Table 1 pH and nutrient concentrations in surface soils with different types and duration of land use change

土地利用类型	种植年限/a	土壤 pH 值	有机碳/ g·kg ⁻¹	全氮/ g·kg ⁻¹	全磷/ g·kg ⁻¹	全钾/ g·kg ⁻¹	硝态氮/ mg·kg ⁻¹	铵态氮/ mg·kg ⁻¹	有效磷/ mg·kg ⁻¹	速效钾/ mg·kg ⁻¹
芦笋地	对照 1	5.2±0.01b	15.0±0.4c	1.21±0.02c	1.26±0.51d	6.38±0.01c	8.86±0.94c	5.60±0.35a	10.0±1.2c	47.3±5.2d
	8	6.3±0.19a	14.8±0.3c	1.38±0.03b	2.46±0.29c	9.16±0.48a	94.2±19.7b	4.96±0.98a	498±82b	430±24c
	13	4.8±0.23b	18.7±0.3a	1.60±0.05a	2.94±0.09bc	7.70±0.13b	33.0±3.9c	21.2±8.0a	632±33ab	489±0b
	23	5.4±0.30b	16.6±0.0b	1.72±0.05a	3.61±0.21ab	9.61±0.02a	302±12a	11.6±6.0a	739±75a	622±36a
葡萄园	对照 2	5.4±0.12a	17.4±0.4a	1.43±0.02a	0.78±0.01b	11.1±0.1a	23.9±1.2a	12.9±3.1a	8.50±0.36b	108±5b
	10	5.0±0.21a	14.6±0.8a	1.30±0.00a	1.72±0.06a	9.57±0.00b	16.0±0.9b	8.73±1.11b	277±28a	372±20a
	22	4.6±0.23a	14.3±1.6a	1.03±0.07b	1.95±0.21a	10.7±0.3a	3.33±0.84c	5.67±0.67b	405±80a	135±28b
芥菜地	对照 3	6.3±0.04a	25.1±0.9a	2.19±0.08a	0.76±0.01b	9.96±0.01b	2.30±0.46b	3.13±0.67a	2.33±0.20b	68.3±3.9a
	14	5.74±0.20a	19.7±0.4b	2.21±0.06a	2.23±0.12a	10.8±0.0a	155b±7a	6.47±1.39a	470±60a	165±46a

表2 水稻田改种芦笋后不同种植年限下土壤养分全量的剖面分布(g·kg⁻¹)Table 2 Soil total N, P and K at different depths in the top 100 cm of the soil profile after different duration of conversion from paddy rice to asparagus production(g·kg⁻¹)

种植年限/a		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
全氮	对照 1	1.05±0.02c	0.58±0.03b	0.53±0.01b	0.54±0.01ab	0.56±0.03ab
	8	1.48±0.04b	0.67±0.04b	0.57±0.04ab	0.48±0.01b	0.43±0.01b
	13	1.74±0.05a	0.85±0.03a	0.60±0.01ab	0.57±0.03a	0.68±0.07a
	23	1.79±0.05a	0.83±0.04a	0.64±0.04a	0.57±0.02a	0.56±0.03ab
全磷	对照 1	1.00±0.12c	0.74±0.22a	0.47±0.01b	0.48±0.01a	0.48±0.02b
	8	2.60±0.41b	0.61±0.06a	0.51±0.03ab	0.52±0.03a	0.52±0.02ab
	13	3.19±0.05ab	0.94±0.12a	0.55±0.03ab	0.53±0.03a	0.58±0.03a
	23	3.85±0.33a	0.95±0.14a	0.62±0.05a	0.51±0.02a	0.51±0.02ab
全钾	对照 1	6.93±0.13b	7.19±0.23b	7.19±0.03b	7.31±0.15b	6.66±0.14b
	8	9.55±0.58a	9.40±0.46a	9.56±0.21a	9.15±0.23a	9.18±0.63a
	13	8.29±0.15ab	8.11±0.34ab	7.84±0.25ab	8.25±0.13ab	8.49±0.26ab
	23	9.22±1.07a	8.43±0.40ab	9.22±1.06ab	8.92±0.81a	9.36±0.93a

布变化见表2,同一土层各个种植年限间做横向比较可以发现,总体趋势是随时间种植的延长,土壤全量氮磷钾上升,但显著性因元素和年限的不同存在着差异。就全氮而言,种植8年的芦笋地剖面0~40 cm土层的浓度较“对照1”均显著增加,该种芦笋13年的比8年的也有显著增加,但种植23年与种植13年相比无明显变化,即达到一定的种植年限后,由于各种管理措施的稳定,0~40 cm土层的全氮趋于平衡,多余的氮元素可能开始向下层迁移引起下层氮浓度的增加。随种植年限延长,仅0~20 cm土层全磷显著增加,这与磷的向下迁移性较弱有关;与全氮变化规律相似,种植23年芦笋与种植13年的土壤全磷无明显变化。全钾的变化趋势有所不同,8年芦笋地各个土层的浓度与“对照1”相比均显著增加,但不同种植年限之间各土层无差异。

水田改种葡萄或芥菜后,土壤全量氮磷钾浓度的剖面分布见表3。种植22年的葡萄园比“对照2”仅0~20 cm土层全磷显著增加,而氮和钾在剖面0~40 cm土层无明显变化。芥菜地的养分变化趋势与葡萄园一致,改变土地利用方式后,种植14年的芥菜地比“对照3”仅有全磷在0~20 cm土层显著增加。3种类型土地利用方式变化下土壤铵态氮、硝态氮、有效磷、速效钾浓度的剖面分布见图2~图4。有效态养分的变化趋势与全量相似,以0~20 cm土层为最高,随着深度的增加逐渐降低。水稻田改为芦笋地后,随种植年限的延长,剖面0~40 cm土层的铵态氮和硝态氮浓度均显著上升(图2),且硝态氮的增幅远高于铵态氮。有效磷仅在0~20 cm显著增加,种植23年与13年无明显差异。速效钾的剖面分布不同于全钾,8年芦笋地与“对照1”相比,仅在0~20 cm土层速效钾显著增

表 3 水稻田改种葡萄或芥菜后不同种植年限下土壤养分全量的剖面分布($g \cdot kg^{-1}$)Table 3 Soil total N, P and K at different depths in the top 100 cm of the soil profile after conversion from paddy rice to viticulture or field mustard production($g \cdot kg^{-1}$)

养分类型	种植年限/a	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm	
葡萄园	全氮	对照 2	1.16±0.03a	0.58±0.01a	0.53±0.01b	0.49±0.01b	0.51±0.00a
		22	1.24±0.05a	0.62±0.03a	0.60±0.00a	0.60±0.01a	0.55±0.02a
	全磷	对照 2	1.01±0.25b	0.49±0.02a	0.51±0.02a	0.50±0.02a	0.48±0.00a
		22	2.46±0.10a	0.90±0.17a	0.59±0.04a	0.55±0.01a	0.54±0.03a
芥菜地	全钾	对照 2	9.70±0.25a	9.17±0.21a	10.2±0.15a	9.99±0.31a	10.0±0.2a
		22	9.58±1.00a	10.3±0.7a	11.3±0.6a	11.3±0.9a	11.0±0.9a
	全氮	对照 3	2.13±0.13a	0.93±0.12a	0.69±0.04a	0.54±0.02a	0.61±0.05a
		14	1.99±0.05a	0.68±0.06a	0.47±0.03a	0.43±0.01b	0.43±0.03b
芥菜地	全磷	对照 3	0.79±0.02b	0.68±0.03a	0.71±0.02a	0.77±0.02a	0.39±0.19a
		14	1.80±0.02a	0.64±0.06a	0.64±0.01a	0.63±0.05a	0.59±0.02a
	全钾	对照 3	9.70±0.13a	9.94±0.01a	10.4±0.2a	9.46±0.96a	9.85±0.97a
		14	10.6±0.1a	9.85±0.14a	9.96±0.22a	9.72±0.34a	9.60±0.45a

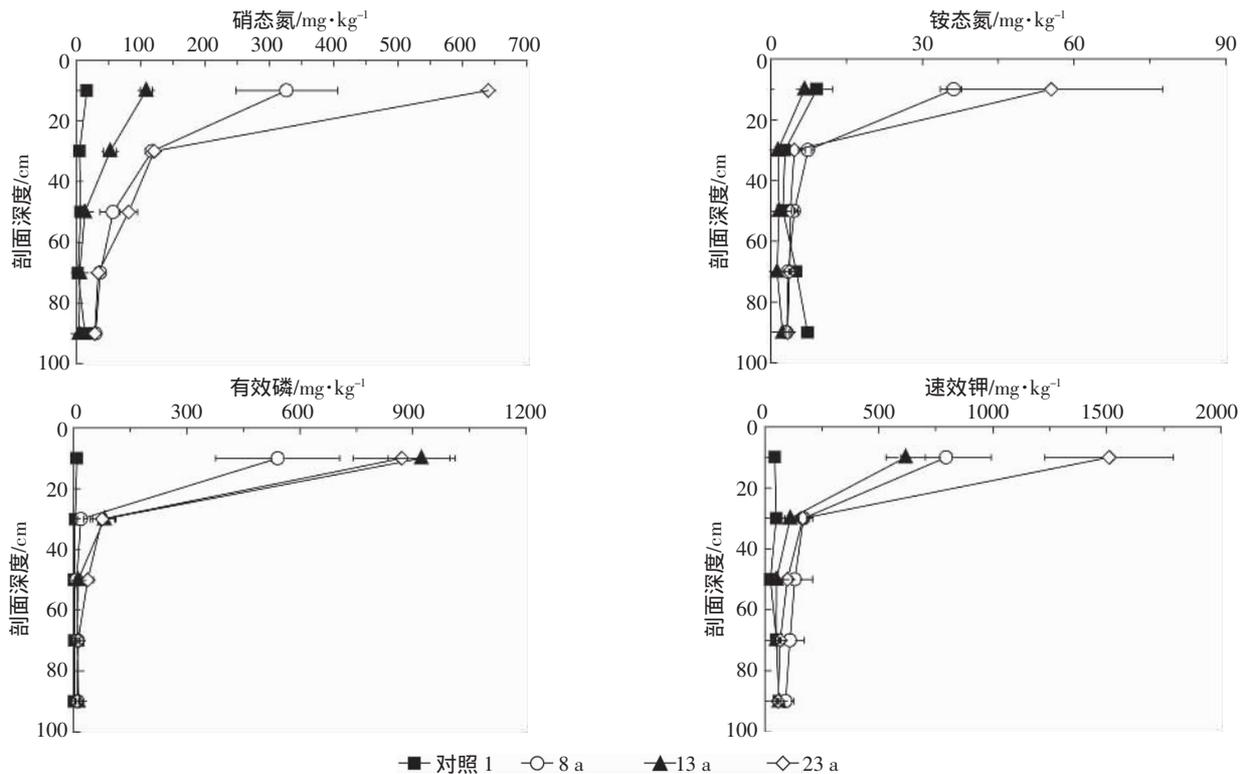


图 2 水稻田改种芦笋后不同种植年限下土壤有效态养分的剖面分布

Figure 2 Soil extractable nutrients at different depths in the top 100 cm of the soil profile after different duration of conversion from paddy rice to asparagus production

加,但种植 23 年后增加趋势更明显。

水田改种葡萄后有效态养分剖面分布的变异更大(图 3)。与“对照 2”剖面各土层浓度“基本恒定”不同,葡萄园硝态氮浓度在整个剖面比对照 2 显著增加。有效磷浓度比对照 2 在 0~20 cm 土层大幅度增加。速效钾分布与葡萄园的全钾不同,22 年葡萄园 0~

60 cm 土层的浓度比对照显著增加,也不同于芦笋地的增幅仅表现在 0~20 cm 土层,这与葡萄园多为露地种植,养分易向下迁移有关。

水稻田改种芥菜后,各土层硝态氮比对照 3 均显著增加,而铵态氮却无明显变化(图 4)。有效磷和速效钾的分布与芦笋地类似,仅在 0~20 cm 土层增加,

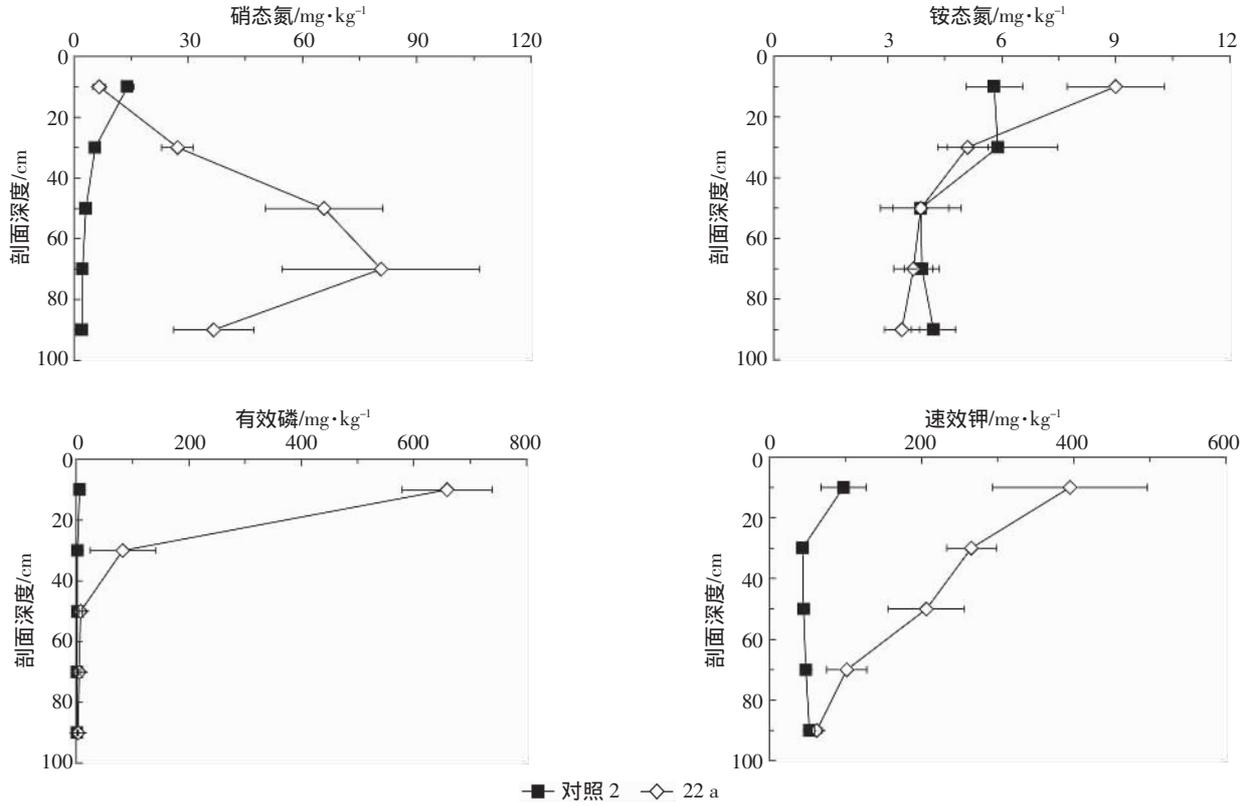


图3 水稻田改种葡萄后不同种植年限下土壤有效态养分的剖面分布

Figure 3 Soil extractable nutrients at different depths in the top 100 cm of the soil profile after different duration of conversion from paddy rice to viticulture

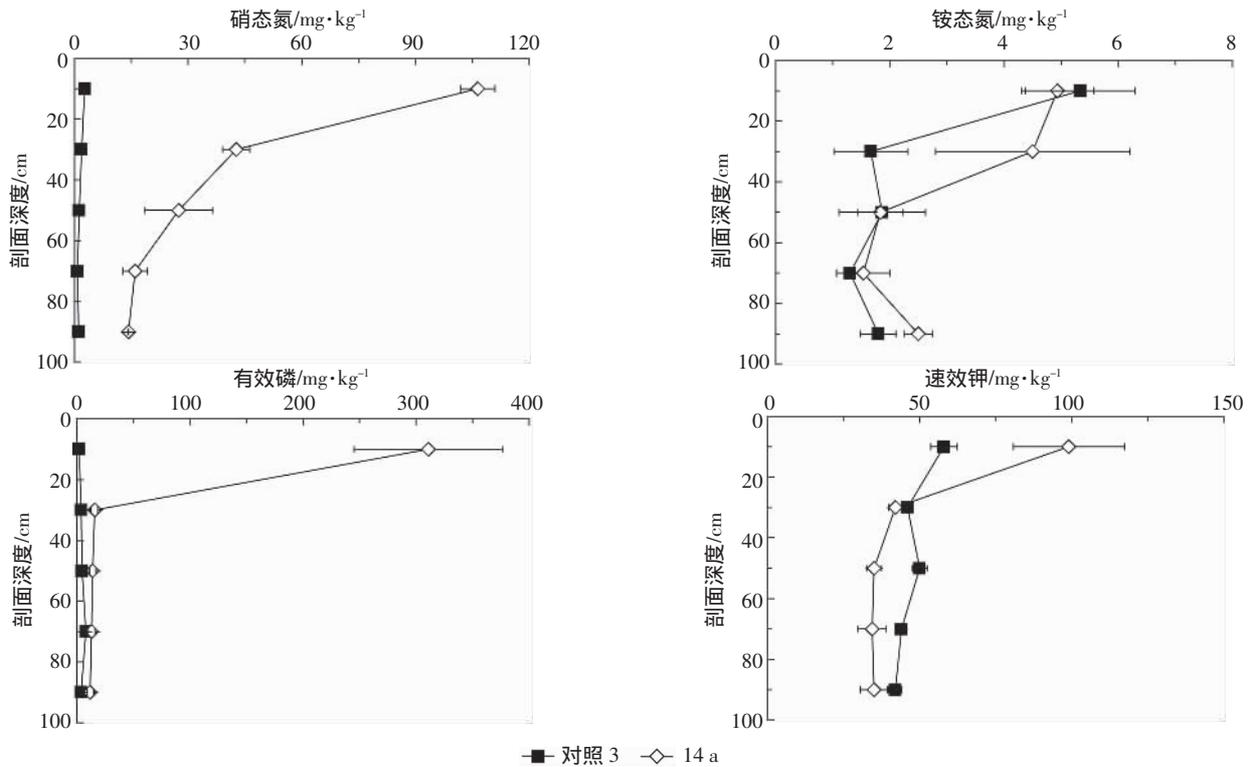


图4 水稻田改种芥菜后不同种植年限下土壤有效态养分的剖面分布

Figure 4 Soil extractable nutrients at different depths in the top 100 cm of the soil profile after different duration of conversion from paddy rice to field mustard production

其中有效磷增幅较大。

总体而言,全氮和全钾在改种芦笋后浓度增加最显著,而速效钾的上升是在葡萄园,硝态氮则是芥菜地。磷的增加主要体现在表层土壤,而硝态氮、全钾以及速效钾浓度的增加则可延续到剖面深层。

3 讨论

水稻田改种其他经济作物引起了土壤表层乃至剖面深层养分浓度的增加,这与已有的研究结果相类似^[28-32]。土壤全碳是土壤质量的重要指标^[33]。本调查中土壤表层有机碳浓度只有在水田转变成芦笋地这一土地利用方式变化中显著增加,主要是因为与其他两处相比该处水田有机碳浓度较低,因而在转变土地利用方式时当地农民有意识地坚持施用畜禽粪肥和秸秆肥等有机肥,从而导致有机碳浓度的上升。土壤表层全氮、全磷和全钾浓度在水田改种芦笋后均显著增加,主要是因为大棚种植的条件下,当地农户在施用有机肥的基础上又大量施用无机氮、磷、钾肥,极大超过各季蔬菜实际生长所需,造成土壤表层养分的“富营养化”。另外,土壤表层硝态氮浓度在水田改种芦笋和芥菜后都大幅度增加,23年芦笋地土壤表层硝态氮浓度为最高,达 $302\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。有研究表明,当土壤硝态氮浓度超过 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时就会对作物产生潜在的生理危害,一旦超过 $300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 将会有明显的生理障碍^[34],同时土壤中硝酸盐的过量累积也会对地下水产生一定的影响,并且通过食物链最终对人体健康产生危害^[35]。土壤表层铵态氮的浓度在本次调查中并没有增加,相反在土地利用转变为葡萄园后显著降低,可能是因为铵态氮容易在厌氧条件下产生,而无论是果园还是蔬菜地其土壤翻耕次数都高于水田,好氧环境下自然有利于铵态氮的转化。

总体而言,每一个土壤剖面的养分浓度与对照相比趋于增加,特别是在水稻田到芦笋地这一转变类型中。与表层的养分变化有着类似的规律,剖面0~20 cm土层全氮、全磷和全钾浓度均显著增加,且呈现出延续到剖面深层的趋势,表明“富营养化”不仅表现在土壤表层,而且已经开始向下迁移,造成深层次的累积。特别是硝态氮,3种土地利用方式变化都引起剖面各土层硝态氮的增加。这一方面是因为全氮在剖面的增幅,另一方面可能是因为蔬菜地和葡萄园生产中浇水次数较多,而硝态氮不易被土壤胶体吸附,易随水分迁移造成在剖面深层的累积^[36]。3种新的土地利用方式显著增加了土壤剖面0~20 cm土层的有效磷

浓度,但越往下层有效磷的浓度逐渐降低,与水田土壤相应层次有效磷的差距越小。虽然磷在土壤中的移动性差,但本研究发现如土壤中磷浓度过高,仍有可能向下迁移,今后有必要探明磷以何种形态迁移,以期对土壤磷的迁移控制提供依据。与硝态氮的变化规律类似,土地利用方式的变化同样引起了速效钾在剖面的增幅,说明钾素同样存在着淋溶问题,这会对土壤生态环境产生间接影响,如减少土壤对铵离子的固定,从而可能加快氮素的挥发和淋溶损失^[37]。

4 结论

水稻田改种其他经济作物,因为肥料施用量增加等因素的影响,使土壤中大部分养分浓度显著增加,呈现“富营养化”,这一增幅不仅表现在土壤表层,硝态氮、全钾以及速效钾甚至延续到土壤剖面的深层,即水稻田转变成种植其他经济作物可能造成农业面源污染,易引起养分流失和导致水体富营养化。

参考文献:

- [1] Shi Z, Wang R C, Huang M X. Detection of coastal saline land use with multi-temporal land sat images in Shangyu City, China[J]. *Environmental Management*, 2002, 30(1):142-150.
- [2] Fu B J, Guo X D, Chen L D, et al. Soil nutrient changes due to land use changes in Northern China: A case study in Zunhua County, Hebei Province[J]. *Soil Use and Management*, 2001, 17: 294-296.
- [3] Voundi Nkama J C, Tonye J. Assessment of certain soil properties related to different land-use systems in the kaya watershed of the humid forest zone of Cameroon[J]. *Land Degradation & Development*, 2003, 14: 57-67.
- [4] Grigal D E, Ohmann L F. Carbon storage in upland forests of the Lake States[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 935-943.
- [5] Bolin B, Sukumar R. Global perspective[M]//Land Use, Land Use Change, and Forest. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
- [6] Halvorson A D, Reule C A, Anderson R L. Evaluation of management practices for converting grass land back to crop-land[J]. *Soil and Water Conservation*, 2000, 55: 57-62.
- [7] Lepsch I F, Menk J R F, Oliveira J B. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in Sao Paulo State, Brazil[J]. *Soil Use and Management*, 1994, 10: 34-42.
- [8] Kennedy A C, Papendick R I. Microbial characteristics of soil quality[J]. *Soil and Water Conservation*, 1995, 50: 243-247.
- [9] Fu B, Ma K, Zhou H, et al. The effect of land use structure on the distribution of soil nutrients in the hilly area of the loess plateau, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44: 732-736.
- [10] Hontoria C, Rodriguez-Murillo J C, Saa A. Relationships between soil organic carbon and site characteristics in Peninsular Spain[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63: 614-621.
- [11] 曾希柏, 孙楠, 高菊生, 等. 双季稻田改制对作物生长及土壤养分

- 的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40 :1198-1205.
- Zeng X B, Sun N, Gao J S, et al. Effects of cropping system change for paddy field with double harvest rice on the crops growth and soil nutrient[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40 :1198-1205.
- [12] Van der Putten W H, Mortimer S R, Hedlund K, et al. Plant species diversity as a driver of early succession in abandoned fields: A multi-site approach[J]. *Oecologia*, 2000, 124 :91-99.
- [13] Kong X B, Zhang F R, Wei Q, et al. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 88 :85-94.
- [14] Houghton R A, Skole D L, Nobre C A, et al. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon[J]. *Nature*, 2000, 403 :301-304.
- [15] Priess J A, Konin, D, Veldkamp A. Assessment of interactions between land use change and carbon and nutrient fluxes in Ecuador[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, 85 :269-279.
- [16] Hedlund K, Santa Regina I, van der Putten W H, et al. Plant species diversity, plant biomass and responses of the soil community on abandoned land across Europe: Idiosyncrasy or above-belowground time lags[J]. *Oikos*, 2003, 103(1) :45-58.
- [17] Caravaca F, Masciandaro G, Ceccanti B. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment[J]. *Soil & Tillage Research*, 2002, 68 :23-30.
- [18] Kimura M, Salam A K. Effects of land-use system and land-use change on soil enzymatic activities[J]. *Innovative Soil-Plant Systems for Sustainable Agricultural Practices*, 2003, 155-158.
- [19] Salazar S, Sánchez L E, Alvarez J, et al. Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices[J]. *Ecological Engineering*, 2011, 37, 1123-1131.
- [20] Wang H J, Li X W, Shi X Z, et al. Distribution of soil nutrient under different land use and relationship between soil nutrient and soil granule composition[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, 17 :44-50.
- [21] Heenan D P, Chan K Y, Knight P G. Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol[J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 76 :59-68.
- [22] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H, et al. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in Northern China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 75 :27-36.
- [23] Doran J W. Soil health and global sustainability: Translating science into practice[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 88 :119-127.
- [24] Gong J, Chen L, Fu B, et al. Effect of land use on soil nutrients in the loess hilly area of the loess plateau, China[J]. *Land Degradation & Development*, 2006, 17 :453-465.
- [25] 高中贵, 彭补拙, 喻建华, 等. 经济发达区土地利用变化对土壤性质的影响: 以江苏省昆山市为例[J]. 自然资源学报, 2005, 20 :44-51.
- Gao Z G, Peng B Z, Yu J H, et al. Effect of land use changes on soil conditions in the developed areas: A case of Kunshan in Jiangsu Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20 :44-51.
- [26] 张心昱, 陈利顶, 李琪, 等. 不同农业土地利用类型对北方传统农耕区土壤养分含量及垂直分布的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2) :377-381.
- ZHANG Xin-yu, CHEN Li-ding, LI Qi, et al. Effects of agricultural land-use on soil nutrients and the vertical distributions in traditional cultivated region, Northern China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2) :377-381.
- [27] 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. Analytical methods for soil and agrochemistry[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [28] Lumbanraja J, Syam T, Nishide H, et al. Deterioration of soil fertility by land use changes in south Sumatra, Indonesia: From 1970 to 1990[J]. *Hydrological Processes*, 1998, 12 :2003-2013.
- [29] Rhoades C C, Eckert G E, Coleman D C. Soil carbon differences among forest, agriculture, and secondary vegetation in lower montane Ecuador [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10 :497-505.
- [30] Liu S L, Fu B J, Lv Y H, et al. Effects of reforestation and deforestation on soil properties in humid mountainous areas: A case study in Wolong Nature Reserve, Sichuan Province, China[J]. *Soil Use and Management*, 2002, 18 :376-380.
- [31] Templer P H, Groffman P M, Flecker A S, et al. Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haitises region of the Dominican Republic[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37 :215-225.
- [32] 韩书成, 濮励杰, 陈凤, 等. 长江三角洲典型地区土壤性质对土地利用变化的响应: 以江苏省锡山市为例[J]. 土壤学报, 2007, 44 :612-619.
- Han S C, Pu L J, Chen F, et al. Responses of soil properties to change in land use in a typical area of the Yangtze River Delta: A case study of Xishan City, Jiangsu Province, China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44 :612-619.
- [33] Murage E W, Karanja N K, Smithson P C, et al. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central High-lands[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2000, 79 :1-8.
- [34] 黄锦法, 曹志洪, 李艾芬, 等. 稻麦轮作田改为保护地菜田土壤肥力质量的演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 :19-25.
- Huang J F, Cao Z H, Li A F, et al. Soil fertility quality evolution after land use change from rice-wheat rotation to plastic film covered vegetable[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2003, 9 :19-25.
- [35] 姚春霞, 陈振楼, 陆利民, 等. 上海市蔬菜地土壤硝态氮状况研究[J]. 生态环境, 2005, 14 :220-223.
- Yao C X, Chen Z L, Lu L M, et al. Nitric nitrogen in soils of vegetable garden in Shanghai City[J]. *Ecology and Environment*, 2005, 14 :220-223.
- [36] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 氮、磷、钾在设施蔬菜土壤剖面中的分布及移动研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25 :537-542.
- Liu Z H, Jiang L H, Zhang W J, et al. N, P, K Distributions and movement in soils for greenhouse and outdoor field[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25 :537-542.
- [37] 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.
- Lu R K. Plant nutrition principle and fertilization[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998.