

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

韩书成¹ 濮励杰^{1,2} 陈凤¹ 张彩云¹ 张健¹ 彭补拙¹

(1 南京大学国土资源与旅游学系, 南京 210093)

(2 国土资源部土地利用重点实验室, 北京 100035)

摘要 以锡山市为分析样区,对土壤pH、有机质、全氮、全磷、速效氮、速效磷和速效钾等7个指标对旱地变为未利用地、水田变为菜地、水田变为旱地、水田变为林地和水田变为未利用地等五种变化方式的响应进行了研究。结果表明,土地利用变化对土壤性质有显著影响,但不同变化方式对各指标的影响方向及影响程度不同:(1)水田变为菜地、旱地和林地使土壤向酸化方向发展,土壤pH分别降低0.47、0.78和0.17;旱地和水田变为未利用地分别使土壤pH提高0.24和0.74;(2)水田变为未利用地、菜地和林地分别使有机质降低3.83、3.18和0.35 g kg⁻¹;水田变为旱地、旱地变为未利用地分别使有机质含量增加7.58和1.07 g kg⁻¹;(3)旱地变为未利用地、水田变为菜地和未利用地分别使全氮降低0.31、0.08和0.11 g kg⁻¹;水田变为旱地和林地分别使全氮提高0.41和0.04 g kg⁻¹;(4)旱地变为未利用地使全磷有微小幅度的降低,降低量为0.01 g kg⁻¹;水田变为菜地、旱地、林地和未利用地后不同程度地提高全磷含量,增加量分别为0.23、0.08、0.23和0.09 g kg⁻¹;(5)旱地和水田变为未利用地分别使速效氮降低2.38和7.62 mg kg⁻¹;水田变为菜地、旱地和林地分别使速效氮增加11.61、34.51和18.26 mg kg⁻¹;(6)旱地变为未利用地使速效磷降低3.70 mg kg⁻¹;水田变为菜地、旱地、林地和未利用地分别使速效磷增加45.16、7.54、40.55和10.94 mg kg⁻¹;(7)旱地变为未利用地以及水田变为菜地、旱地、林地和未利用地均使速效钾含量有所增加,增加量分别为8.75、77.44、32.28、160.4和27.59 mg kg⁻¹。

关键词 土壤性质;土地利用变化;长江三角洲;锡山市

中图分类号 S153.6;F301.24

文献标识码 A

“国际地圈与生物圈计划”(ICBP)和“全球环境变化人文计划”(IHDP)的共同推动使有关土地利用/覆被变化的研究已成为当前全球环境变化研究领域的核心内容之一^[1~6]。由于土地利用变化通过土地管理措施的改变等对土壤产生重要的影响,合理的土地利用可以改善土壤结构,增强土壤对外界环境变化的抵抗力^[7],不合理的土地利用会导致土壤质量下降^[8],因此土地利用变化对作为农业生产的载体——土壤的影响更是得到广泛的关注^[9~11]。目前国内学者已在集约化农区^[12]、岩溶农业区^[13]、城乡结合部^[14]、西部干旱区^[15]、自然保护区^[16]等地选择典型地区开展了此

类研究,但在长江三角洲地区同类研究还较少见。长江三角洲地区农业自然条件优越,历来是我国农业高产区和重要商品粮基地^[17],同时,作为我国社会经济最发达地区之一,社会经济的快速发展也带来了土地利用的巨大变化,因此在该区开展土地利用变化对土壤性质的影响研究具有重要的意义。基于此,本文选择长江三角洲典型地区——锡山市为研究对象,分析土地利用变化对土壤性质的影响,希望能为长江三角洲地区耕作制度和耕作方式的优选以及土壤(地)资源的可持续利用与管理提供科学依据。

* 国家自然科学基金项目(40371106、70341021)、江苏省自然科学基金项目(BK2005080)和教育部分“跨世纪优秀人才培养计划”基金项目联合资助

作者简介:韩书成(1979~),男,河南确山人,博士研究生,主要从事土地利用变化与效应等方面的研究。E-mail:hansc123@126.com

收稿日期:2006-08-21;收到修改稿日期:2006-11-08

1 材料与方法

1.1 研究区概况

锡山市建立于1995年,前身为无锡县,现已调整为无锡市惠山区和锡山区,另有一部分划入滨湖区。研究区位于长江三角洲地区中部,北纬 $31^{\circ}20' \sim 31^{\circ}45'$,东经 $120^{\circ}04' \sim 120^{\circ}36'$ 之间,是我国传统的人口密集区和土地高度集约化利用区^[18]。

该区气候具有过渡性、海洋性、季风性的特点,夏季炎热多雨,冬季则以少雨寒冷天气为主,春秋二季干湿、冷暖多变。平均气温为 15.4°C ,最冷的1月平均气温 2.5°C ,最热的7月平均气温 28.2°C 。无霜期为220 d。由于境内承受了长江上游黄土状物质的淤积,土壤大部分发育于湖相黄土母质上。

1.2 样品采集与分析

土壤性质数据通过野外采样、室内分析获取。根据1980年及2005年土地利用现状图,结合对当地有经验农民的访问,用GPS定位,于2005年10月在研究区选取土地利用方式变化点位69个,同时在各采样点附近自然条件相对一致的地区选择未变化点位50个作为对照样点(见图1)。其中旱地转变为未利用地样点3个,水田转变为菜地样点25个,水田转化为旱地样点6个,水田转化为林地样点19个,水田转化为未利用地样点16个。水田、旱地和菜地均为常规大田管理,林地多为自然生长,较少人工管理,未利用地主要是荒草地,无管理措施。采样深度是 $0 \sim 20\text{ cm}$,每个采样点周围选取4个点,剔除土壤中的植物根系及残体、石块等杂物并充分混合后采用四分法进行取样,样品放入 $20\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 保鲜袋中;带回室内后,置于通风良好的地方自然风干,然后磨细,过 $0.15 \sim 1\text{ mm}$ 的细筛,用于土壤性质分析。

分析项目包括土壤pH、有机质、全氮、全磷、速效氮、速效磷、速效钾等7个指标。测定方法分别为:土壤pH用电位法测定,有机质用重铬酸钾氧化—外加热法测定,全氮用凯氏法测定,全磷用硫酸—高氯酸消煮—钼蓝比色法测定,速效氮用碱解扩散皿法测定,速效磷用 0.5 mol L^{-1} 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定,速效钾用醋酸铵浸提—火焰光度法测定。

即使土地利用方式不发生变化,社会经济条件的改变也会引起土地管理措施的改变,从而影响到土壤性质,因此本研究以利用方式变化样点和相应

利用方式未变化样点土壤性质的对比来衡量土地利用变化对土壤性质的影响。分析方法采用均值比较方法,各组均值采用新复极差法进行多重比较。

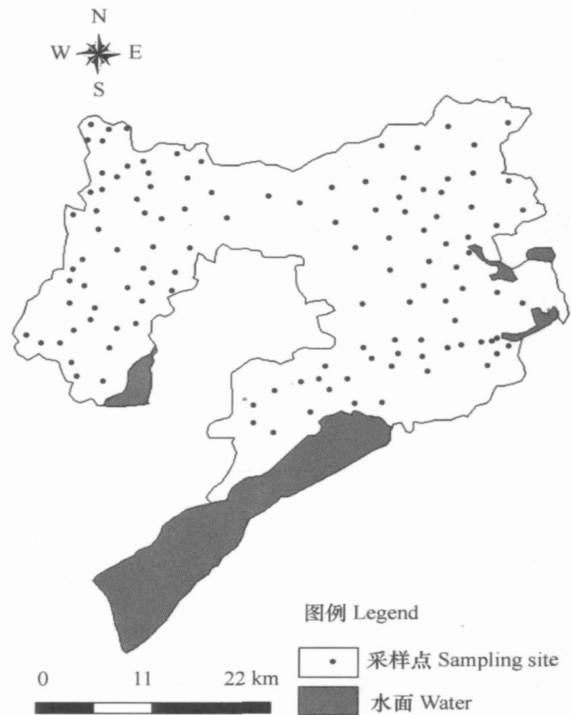


图1 土壤采样点分布图

Fig. 1 Sampling sites distribution map

2 结果与讨论

2.1 不同变化方式下土壤性质的差异

2.1.1 土壤pH的差异 土壤pH不仅影响土壤微生物的生长^[19]、肥料养分的转化及有效性^[20],同时还会影响重金属的存在形态^[21],进而影响到生态环境和食品安全。因此土壤pH值是土壤性质的重要指标之一。

从整体上看,锡山市土壤pH值在 $4.22 \sim 7.89$ 之间,多呈偏酸性,平均值为 5.95 ,变异系数 11.69% ,但不同变化方式下有所差异(表1)。旱地变未利用地、水田变菜地和水田变林地三种变化方式下土壤pH小于6,平均值分别仅有 5.51 、 5.68 和 5.59 ,且差异不显著;变异系数分别为 2.48% 、 9.79% 和 7.83% 。水田变旱地和水田变未利用地两种方式下,土壤pH相对较高,分别为 6.44 和 6.61 ,变异系数分别为 5.29% 和 13.34% ,两种变化方式间差异也不显著。但水田变旱地与水田变未利用地

两种变化方式与旱地变未利用地、水田变菜地和水田变林地三种变化方式之间达到1%的差异显著性水平。

2.1.2 土壤全量养分的差异 全量养分选择土壤有机质、全氮、全磷三个指标。土壤有机质一直是土壤学领域重点研究的对象^[22],其在培肥地力、调节土壤理化性质、提供作物养分、改善土壤结构及减少环境负面影响等方面具有重要作用^[23~25],其含量高低是土壤肥力的重要指标^[26],因此也是评价土壤质量的重要指标^[27]。氮、磷是生态系统重要的组成成分,参与或控制了生物地球化学循环的许多过程,也是制约大多数农业和自然陆地生态系统初级生产过程的元素之一^[28~32]。

五种变化方式下土壤有机质含量在 17.74 ~ 29.37 g kg⁻¹之间,具体表现为水田变旱地 > 水田变菜地和水田变林地 > 旱地变未利用地和水田变未利用地(表1)。其中含量最高的水田变为旱地方式和含量最低的旱地变为未利用地方式之间相差达 11.63 g kg⁻¹,前者是后者的 1.65 倍。水田变菜地和水田变林地两种方式下有机质含量接近,分别为 23.76 和 23.88 g kg⁻¹。旱地变为未利用地和水田变为未利用地两种方式下有机质含量分别为 17.74 和 18.04 g kg⁻¹,含量最低,其原因主要在于变为未利用地后缺少了管理投入,当地相对湿热的气候条件又有利于有机质的矿化分解所致。

表1 不同土地利用变化方式下土壤性质差异

Table 1 Effects of changes in land use on soil properties

变化方式 Change types	统计特征值 Statistic index	pH	全量养分			速效养分		
			Total nutrient (g kg ⁻¹)			Available nutrient (mg kg ⁻¹)		
			有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	速效氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
旱地变 未利用地 DCU	均值 Mean	5.51 b(C)	17.74 c(C)	1.06 c(C)	0.57 ab(A)	102.3 b(B)	5.23 b(A)	55.42 b(A)
	标准差 Std	0.14	2.17	0.11	0.04	8.24	0.19	1.91
	变异系数 CV(%)	2.48	12.24	10.12	7.13	8.06	3.61	3.45
水田变菜地 PCV	均值 Mean	5.68 b(BC)	23.76 b(B)	1.43 b(AB)	0.78 a(A)	138.6 a(A)	53.11 a(A)	137.7 ab(A)
	标准差 Std	0.55	3.65	0.25	0.30	21.35	54.72	133.8
	变异系数 CV(%)	9.79	15.37	17.32	37.68	15.41	103.09	7.21
水田变旱地 PCD	均值 Mean	6.44 a(A)	29.37 a(A)	1.75 a(A)	0.63 ab(A)	141.6 a(A)	11.32 ab(A)	78.57 b(A)
	标准差 Std	0.34	1.83	0.22	0.06	18.30	7.40	12.40
	变异系数 CV(%)	5.29	6.23	12.39	9.72	12.92	65.36	15.79
水田变林地 PCF	均值 Mean	5.59 b(BC)	23.88 b(B)	1.46 b(A)	0.71 a(A)	141.7 a(A)	52.33 a(A)	235.1 a(A)
	标准差 Std	0.44	2.21	0.17	0.25	22.83	56.60	244.3
	变异系数 CV(%)	7.83	9.24	11.38	34.82	16.11	108.2	103.9
水田变未利用地 PCU	均值 Mean	6.61 a(A)	18.04 c(C)	1.08 c(C)	0.62 ab(A)	99.74 b(B)	24.80 ab(A)	98.91 ab(A)
	标准差 Std	0.88	5.55	0.34	0.18	29.85	21.90	45.36
	变异系数 CV(%)	13.34	30.76	31.11	28.87	29.93	88.32	45.86

注:DCU代表旱地变为未利用地,PCV代表水田变为菜地,PCD代表水田变旱地,PCF代表水田变为林地,PCU代表水田变为未利用地。同一列小写字母表示5%的差异显著性,括号内大写字母表示1%的差异显著性 Note:DCU represents change from dry land into unused land;PCV from paddy field into vegetable field;PCD from paddy field into dry land;PCF from paddy field into forest land;PCU from paddy field into unused land. Different small letters and different capital letters in the same column indicate significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ respectively

全氮含量在 1.06 ~ 1.75 g kg⁻¹之间,由于土壤全氮和有机质含量存在很大的相关性,因此五种变化方式下全氮含量差异情况与有机质类似,大小顺序也表现为:水田变旱地 > 水田变菜地和水田变林地 > 旱地变未利用地和水田变未利用地(表1)。全磷含量在 0.57 ~ 0.78 g kg⁻¹之间,其中水田变菜地

和水田变林地两种方式下含量相对较高,分别为 0.78 和 0.71 g kg⁻¹,而水田变旱地、水田变未利用地和旱地变未利用地三种方式下含量接近,分别为 0.63、0.62 和 0.57 g kg⁻¹。整体看五种变化方式下差异不明显(表1)。

2.1.3 土壤速效养分的差异 土壤速效养分主

要来自土壤有机质的矿化和施入土壤中肥料的速效成分,这部分养分是作物养分的直接来源,其含量的高低直接影响着农业生产和环境安全^[33]。

从速效氮看,含量在 99.74~141.7 mg kg⁻¹之间(表 1),其中水田变菜地、水田变旱地和水田变林地三种方式间差异不明显,其含量在 140 mg kg⁻¹左右,远远高于旱地变未利用地和水田变未利用地两种方式。速效磷含量在 5.23~53.11 mg kg⁻¹之间,其中水田变菜地和水田变林地两种方式下含量最高,分别达到 53.40 和 52.33 mg kg⁻¹,水田变旱地和水田变未利用地含量次之,旱地变未利用地最低,仅为 5.23 mg kg⁻¹,高低相差近 10 倍(表 1)。速效钾含量差异与速效磷含量差异相对一致,含量在 55.42~235.1 mg kg⁻¹之间,也以水田变菜地和水田变林地两种方式下含量最高,旱地变未利用地最低(表 1)。综合速效氮、速效磷和速效钾的差异看,整体上以水田变菜地、水田变旱地和水田变林地为高,旱地变未利用地和水田变未利用地为低。速效养分含量的这种差异反映了其受农业生产管理措施影响^[32]的特性。水田变为菜地和旱地后仍为耕作土壤,人工辅助投入使得速效养分含量较高。水田变林地人工辅助投入虽然也有所降低,但枯枝落叶的增加及有机质的矿化可以一定程度上抵消人工辅助投入减少造成的影响,因此该变化方式下速效养分含量也相对较高。

2.2 土壤性质对土地利用变化的响应

2.2.1 土壤 pH 的响应

从不同土地利用变化方式对土壤 pH 的影响看,其差异很大(图 2a)。其中旱地和水田变为未利用地分别使土壤 pH 升高 0.24 和 0.74,升幅分别为 4.55% 和 12.61%。水田变为菜地、旱地和林地则使土壤向酸化发展,土壤 pH 分别降低 0.47、0.78 和 0.17,降幅分别为 7.64%、10.80% 和 2.95%。这反映了该区当由耕作土壤变为非耕作土壤时,土壤 pH 会有所提高,但长期耕作会使土壤向酸化方向发展,这可能与长期耕种肥料的不平衡施用有关。

2.2.2 土壤全量养分的响应

不同变化方式对土壤有机质的影响差异明显(图 2b)。旱地变为未利用地、水田变为旱地可以增加土壤有机质含量,但以水田变为旱地增加量最为明显,增加了 7.58 g kg⁻¹,增幅达 34.79%。一般来讲,由于水田中稻茬稻根较多且长期泡水通气不良使其不能充分分解而使土壤有机质含量较高^[14],改为旱地后由于透气性较好而增加了土壤有机质矿化速度,

会使有机质减少。但本研究却发现水田变为旱地后有机质有所增加,这可能与当地特殊的社会经济环境有关。锡山市地处苏南地区,工业基础好,改革开放以来社会经济发展迅速。社会经济条件的提高,使作物秸秆作为燃料燃烧的机会降低而大量被用于还田,从而使有机质得到提高。水田变为菜地、林地和未利用地三种变化方式则不同程度地降低土壤有机质含量,其降低幅度表现为水田变未利用地 > 水田变菜地 > 水田变林地。水田变为林地有机质减少量最少,这主要是因为变为林地后枯枝落叶量增加可以部分抵消因人为辅助投入减少对土壤有机质的影响。水田变为菜地,虽然人为投入可能会增加,但菜地是一种土地利用强度较高的利用方式,作物的利用、频繁的翻耕使有机质矿化速度加快,因此也不易于有机质的积累。水田变为未利用地后则由于缺少人为辅助投入导致土壤有机质大幅度降低。

从全氮的变化看,除水田变旱地使土壤全氮含量有所提高外,该区其他土地利用变化方式多不利于全氮的积累(图 2c)。水田变旱地使土壤全氮含量增加 0.41 g kg⁻¹,增幅为 30.60%。由于土壤有机质是土壤全氮的主要来源^[34,35],因此全氮变化原因与有机质类似。旱地和水田变为未利用地两种变化方式分别使土壤全氮降低 0.31 和 0.11 g kg⁻¹,降幅分别为 22.63% 和 9.24%。该两种变化方式主要是由耕作土壤变为非耕作土壤,因此全氮的减少和人为辅助投入的减少有一定的关系。水田变林地和水田变菜地两种方式对土壤全氮含量的影响很小,前者使其提高了 0.04 g kg⁻¹,增幅仅为 2.82%,后者则使其降低了 0.08 g kg⁻¹,降幅为 5.37%。

从全磷的变化看,除了旱地变为未利用地使土壤全磷有微小的降低外,其余四种变化方式均不同程度地提高土壤全磷含量(图 2c)。其中水田变菜地和水田变林地对土壤全磷的影响程度接近,使全磷含量增加值在 0.23 g kg⁻¹左右,增幅分别为 41.82% 和 47.92%。水田变旱地和水田变未利用地则影响程度相对较小,全磷含量增加值分别为 0.08 和 0.09 g kg⁻¹,增幅分别为 14.55% 和 16.98%。这种变化及其差异与肥料投入和磷在土壤中容易被固定不无关系。

2.2.3 土壤速效养分的响应

土壤速效养分受农业管理措施的影响最大,这也可以从不同变化方式下速效养分变化的差异情况反映出来(图 2d)。旱地和水田变为未利用地分别使土壤速效氮含量降

低 2.38 和 7.62 mg kg^{-1} , 降幅分别为 2.27% 和 7.10% 。原因主要在于两种变化方式使得土壤由耕作土壤变为非耕作土壤, 人为辅助投入减少所致。水田变为菜地、旱地和林地后使土壤速效氮含量增加, 增加量分别为 11.61 、 34.51 和 18.26 mg kg^{-1} , 增幅分别为 9.23% 、 32.22% 和 14.80% 。其中水田变为菜地和旱地后仍属于耕作土壤, 一方面由于受经济效益驱使, 人为辅助投入增加, 秸秆还田率增加, 另一方面利用方式变化后, 使土壤微环境由比较湿润变为相对干燥, 土壤的淋溶作用变弱, 因此速效氮含量得到提高。水田变为林地虽然也由耕作土壤变

为非耕作土壤, 人为辅助投入减少, 但由于变化后没有作物的收获转移输出, 同时枯枝落叶的分解矿化使得土壤速效氮含量有一定程度的增加。

从对速效磷的影响看, 除水田变为未利用地使速效磷含量增加而与速效氮变化不同外, 其余变化趋势与速效氮相似, 变化原因也类似。其中旱地变为未利用地速效磷含量降低 3.70 mg kg^{-1} , 降幅为 41.43% 。其余几种变化方式都使速效磷含量有所增加, 增加顺序为水田变菜地 > 水田变林地 > 水田变未利用地 > 水田变旱地。

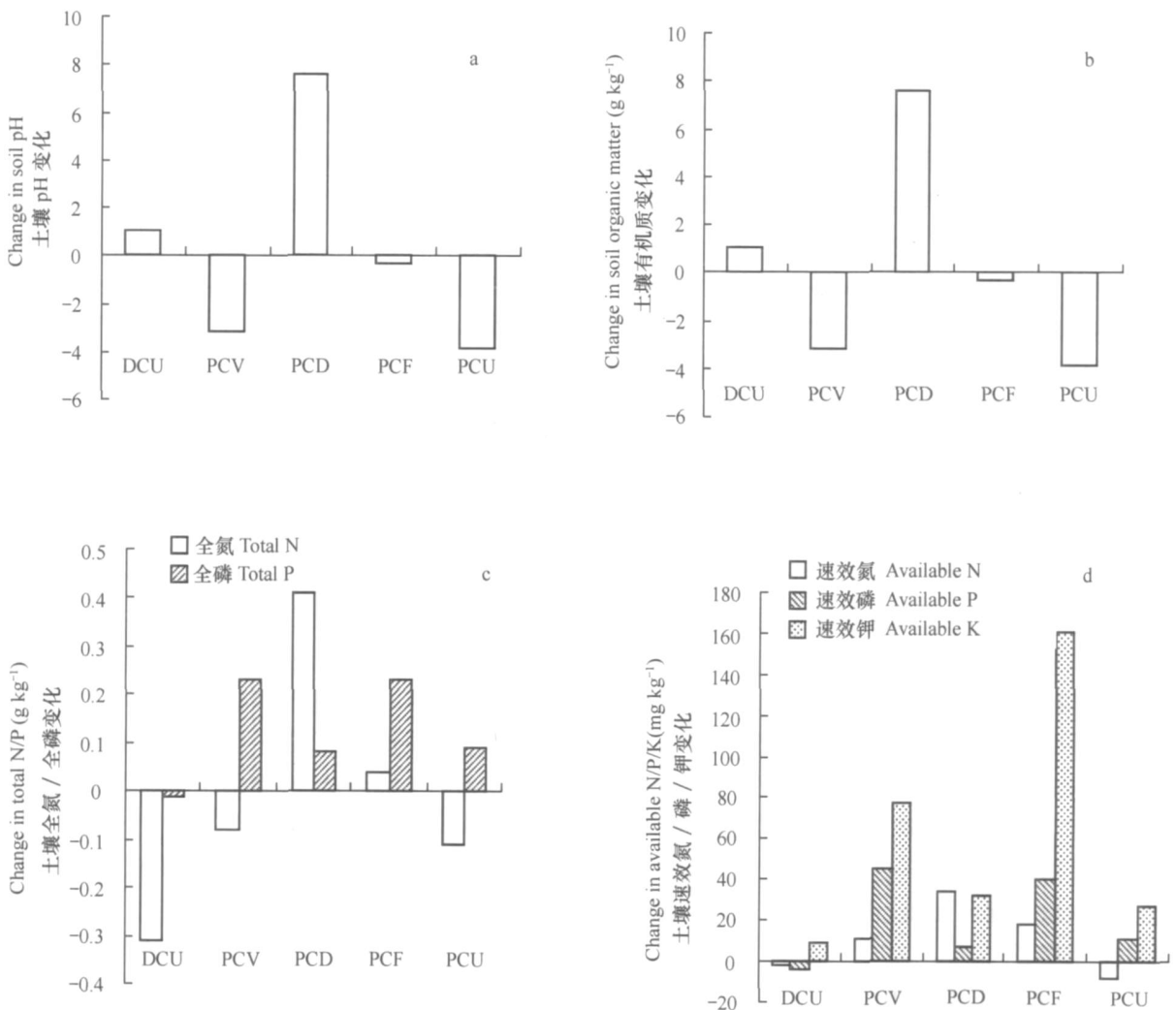


图2 土地利用变化对土壤性质的影响

Fig. 2 Effects of changes in land use on soil properties

速效钾含量在五种变化方式下都有所增加, 增加量表现为水田变林地 > 水田变菜地 > 水田变旱地 > 水田变未利用地 > 旱地变未利用地, 增加值分别

为 160.4 、 77.44 、 32.28 、 27.59 和 8.75 mg kg^{-1} 。水田改为其他利用方式后由于土壤微环境变得相对干燥, 透气性增加, 因此有利于土壤含钾矿物的风化而

增加土壤速效钾含量。旱地变为未利用地速效钾含量有小幅增加,这可能与速效钾随作物收获而转移输出量减少有一定关系。五种变化方式中,水田变林地后一方面减少了因淋溶作用和水土流失损失量,另一方面,速效钾不但不随作物收获而转移输出,每年还会随大量的枯枝落叶返还土壤,因此该变化方式下土壤速效钾含量增加量远高于其他变化方式。水田变为菜地和旱地后由于仍为耕作土壤,钾肥的施用使速效钾含量增加幅度高于水田和旱地变为未利用地两种方式。

3 结 论

本文通过选择锡山市为研究对象,初步分析了该区旱地变未利用地、水田变菜地、水田变旱地、水田变林地和水田变未利用地等五种土地利用变化方式对土壤性质的影响。从研究结果看,土地利用变化对土壤性质的影响错综复杂,不同变化方式对不同指标的影响程度和影响方向是不同的,其主要结论如下:

1) 本区土壤多呈偏酸性,由旱地和水田变为未利用地即由耕作土壤变为非耕作土壤会使 pH 有所升高,但由水田变为菜地、旱地和林地会使土壤向酸化方向发展,这与长期耕种肥料的不平衡施用不无关系。因此在今后应注意肥料的平衡施用,以避免土壤的进一步酸化。

2) 土地利用变化对全量养分的影响较为复杂。由水田变为未利用地、菜地和林地不利于有机质的积累,三种变化方式使土壤有机质含量降低,但水田变旱地和旱地变未利用地则使土壤有机质有所提高;旱地变未利用地、水田变菜地和未利用地会使全氮含量降低,但水田变为旱地和林地则会使全氮含量得到提高;从对全磷的影响看,除旱地变为未利用地会使全磷有微小降低外,其余变化方式都使全磷含量有不同程度的增加。

3) 从对速效养分的影响看,除旱地变为未利用地使速效氮和速效磷降低以及水田变为未利用地使速效氮降低外,总体来看,五种变化方式会使土壤速效养分含量增加。

研究土地利用变化对土壤性质的影响对实现土壤(地)资源的可持续利用具有重要的意义。但土壤性质除了受土地利用方式的影响外,还会受到自然因素和其他社会经济因素的影响。现有研究多是通过两个不同时间点土地利用方式发生变化前后土壤性

质的对比来反映土地利用变化对土壤性质的影响。笔者认为该方法不能将自然因素和社会经济因素(如经济条件的改善导致投入能力的改变)对土壤性质的影响区分开来。本研究通过同一时间点土地利用方式变化样点与未变化样点(对照样点)土壤性质的对比来衡量土地利用变化对土壤性质的影响,是一个有益的尝试,但对照样点的选取是影响研究结果的关键。今后对该方面的研究应该进一步加强,从而深入探讨土地利用变化对土壤性质的影响机理,以为土壤(地)资源的可持续利用提供理论支持。

参 考 文 献

- [1] IGBP & IHDP. Land-use and Land-cover Change: Science Research Plan. IGBP Report No. 35 & IHDP Report No. 7, Stockholm and Geneva, 1995
- [2] Riebsame W E, Meyer W B, Turner B L. Modeling land use and cover as a part of global environmental change. *Climatic Change*, 1994, 28: 45 ~ 64
- [3] Reid R S, Kruska R L, Muthui N, *et al.* Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: The case of southwestern Ethiopia. *Landscape Ecology*, 2000, 15: 339 ~ 355
- [4] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究方向. *地理学报*, 1996, 51(6): 553 ~ 557. Li X B. The core area of global change research——A review of international research on land use / land cover change (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6): 553 ~ 557
- [5] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 近 10 年来长江下游土地利用变化及其生态环境效应. *地理学报*, 2003, 58(5): 659 ~ 667. Li X W, Fang J Y, Piao S L. Land use changes and its implication to the ecological consequences in lower Yangtze River (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 659 ~ 667
- [6] Qian L X, Cui H S, Chang J. Impacts of land use and cover change on land surface temperature in the Zhujiang Delta. *Pedosphere*, 2006, 16(6): 681 ~ 689
- [7] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* The relationship between land use and soil conditions in the hilly area of Loess Plateau in northern Shaanxi, China. *Catena*, 2000, 39: 69 ~ 78
- [8] Lal R, Mookma D, Lowery B. Relationship between soil quality and erosion. In: Rattan L, ed. *Soil Quality and Soil Erosion*. Washington D C: CRC Press, 1999. 237 ~ 258
- [9] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2000, 79: 9 ~ 16
- [10] Mcalister J J, Smith B J, Sanchez B. Forest clearance: Impact of land use change on fertility status of soils from the Sao Francisco area of Niteroi, Brazil. *Land Degradation & Development*, 1998, 9: 425 ~ 440
- [11] Braimah A K, Viek P L G. The impact of land-cover change on soil properties in northern Ghana. *Land Degradation & Development*, 2004, 15: 65 ~ 74

- [12] 孔祥斌,张凤荣,齐伟,等. 集约农业区土地利用变化对土壤养分的影响. 地理学报,2003,58(3):332~342. Kong X B,Zhang F R,Qi W, *et al.* The influence of land use change on soil fertility in intensive agricultural region (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2003,58(3):332~342
- [13] 蒋勇军,袁道先,章程,等. 典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响——以云南小江流域为例. 地理学报,2005,60(5):751~760. Jiang Y J,Yuan D X,Zhang C, *et al.* Impact of land use change on soil properties in a typical karst agricultural region: A case study of Xiaojiang watershed, Yunnan (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*,2005,60(5):751~760
- [14] 孔祥斌,张凤荣,王茹,等. 城乡交错带土地利用变化对土壤养分的影响——以北京市大兴区为例. 地理研究,2005,24(2):213~221. Kong X B,Zhang F R,Wang R, *et al.* The impact of land use type changes on soil nutrient in suburban area: The case of Daxing District in Beijing (In Chinese). *Geographical Research*,2005,24(2):213~221
- [15] 陈浮,濮励杰,彭补拙,等. 新疆库尔勒市土地利用变化对土壤性状的影响. 生态学报,2001,21(8):1290~1295. Chen F,Pu L J,Peng B Z, *et al.* The effect of land use changes on soil conditions in Korla City, Xinjiang (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*,2001,21(8):1290~1295
- [16] 刘世梁,傅伯杰,陈利顶,等. 卧龙自然保护区土地利用变化对土壤性质的影响. 地理研究,2002,21(6):682~688. Liu S L,Fu B J,Chen L D, *et al.* Effects of land use change on soil properties in Wolong Nature Reserve (In Chinese). *Geographical Research*,2002,21(6):682~688
- [17] 李萍萍. 长江三角洲麦/玉米/稻新种植制度高产稳产生态学原理研究. 应用生态学报,1998,9(1):41~46. Li P P. Study on high and steady yielding ecological principle of wheat/corn/rice cultivation system in Yangtze River Delta (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*,1998,9(1):41~46
- [18] 濮励杰,周峰,彭补拙. 长江三角洲地区县域耕地变化驱动要素研究——以原锡山市为例. 南京大学学报(自然科学版),2002,38(6):779~785. Pu L J,Zhou F,Peng B Z. Arable land use changes at county level in Yangtze River Delta——A case study of Xishan City (In Chinese). *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*,2002,38(6):779~785
- [19] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响. 土壤,2005,37(6):581~586. Yu H Y,Li T X,Zhou J M. Secondary salinization of greenhouse soil and effects on soil properties (In Chinese). *Soils*,2005,37(6):581~586
- [20] 张浩,王正银,董燕,等. 砂质土壤pH对中性缓释复合肥料释放特性的影响研究. 水土保持学报,2005,19(3):9~12,45. Zhang H,Wang Z Y,Dong Y, *et al.* Effect on nutrient release characteristics of neutral compound slow release fertilizer by sand soil pH (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*,2005,19(3):9~12,45
- [21] 杨忠芳,陈岳龙,钱耀,等. 土壤pH对镉存在形态影响的模拟实验研究. 地学前缘,2005,12(1):252~260. Yang Z F,Chen Y L,Qian X, *et al.* A study of the effect of soil pH on chemical species of cadmium by simulated experiments (In Chinese). *Earth Science Frontiers*,2005,12(1):252~260
- [22] 卢萍,单玉华,杨林章,等. 秸秆还田对稻田土壤溶液中溶解性有机质的影响. 土壤学报,2006,43(5):736~741. Lu P,Shan Y H,Yang L Z, *et al.* Effect of wheat straw incorporation into paddy soil on dissolved organic matter in soil solution (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*,2006,43(5):736~741
- [23] 李忠佩,王效举. 红壤丘陵区土地利用方式变更后土壤有机碳动态变化的模拟. 应用生态学报,1998,9(4):365~370. Li Z P,Wang X J. Simulation of soil organic carbon dynamic after changing land use pattern in hilly red soil region (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*,1998,9(4):365~370
- [24] Loveland P,Webb J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: A review. *Soil Till Res.*,2003,70:1~18
- [25] 杨景成,韩兴国,黄建辉,等. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应. 生态学报,2003,23(4):787~796. Yang J C,Han X G,Huang J H, *et al.* The dynamics of soil organic matter in cropland responding to agricultural practices (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*,2003,23(4):787~796
- [26] 徐明岗,于荣,王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化. 土壤学报,2006,43(5):723~729. Xu M G,Yu R,Wang B R. Labile organic matter and carbon management index in red soil under long-term fertilization (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*,2006,43(5):723~729
- [27] 刘云慧,宇振荣,张凤荣,等. 县域土壤有机质动态变化及其影响因素分析. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):294~301. Liu Y H,Yu Z R,Zhang F R, *et al.* Dynamic change of soil organic matter and its affecting factors at county level (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*,2005,11(3):294~301
- [28] 韩兴国,李凌浩,黄建辉. 生物地球化学概论. 北京:高等教育出版社,1999. 197~244. Han X G,Li L H,Huang J H. eds. *An Introduction to Biogeochemistry* (In Chinese). Beijing: Higher Education Press,1999. 197~244
- [29] Mooney H A,Vitousek P V,Matson P A. Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *Science*,1987,238:926~932
- [30] 陈伏生,曾德慧,陈广生. 土地利用变化对沙地土壤全氮空间分布格局的影响. 应用生态学报,2004,15(6):953~957. Chen F S,Zeng D H,Chen G S. Effect of land use change on spatial distribution pattern of soil nitrogen in Keerqin sandy land (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*,2004,15(6):953~957
- [31] Vitousek P M,Gosz J R,Grier C C, *et al.* Nitrate losses from disturbed ecosystems. *Science*,1979,204:469~474
- [32] Vitousek P M,Hwarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur. *Biogeochemistry*,1991,13:87~115
- [33] 赵军,孟凯,隋跃宇,等. 海伦黑土有机碳和速效养分空间异质性分析. 土壤通报,2005,36(4):487~492. Zhao J,Meng K,Sui Y Y, *et al.* Analysis for spatial heterogeneity of organic carbon and available nutrients in black soil region of Hailun county (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*,2005,36(4):487~492
- [34] 曹建华,袁道先,潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤. 地球科学进展,2003,18(1):37~44. Cao J H,Yuan D X,Pan G X. Some soil features in karst ecosystem (In Chinese). *Advances in Earth Science*,

2003, 18(1): 37~44

[35] 赵其国. 红壤物质循环及其调控. 北京: 科学出版社, 2002.

73~163. Zhao Q. G. ed. The Circulation of Materials and Control on

Red Soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 2002. 73~163

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

Han Shucheng¹ Pu Lijie^{1,2} Chen Feng¹ Zhang Caiyun¹ Zhang Jian¹ Peng Buzhuo¹

(1 Department of Land Resources and Tourism Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

(2 Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract Xishan City, a typical area of the Yangtze River Delta, was selected as a case for study of responses of 7 soil fertility indices, such as soil pH, organic matter (OM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), available nitrogen (AN), available phosphorus (AP), and available potassium (AK), to changes in land use, i. e. from dry-land to unused land (DCU), from paddy field to vegetable field (PCV), from paddy field to dry-land (PCD), from paddy field to forest land (PCF), and from paddy field to unused land (PCU), in Yangtze River Delta. Results show that changes in land use did significantly affect soil properties to a varying degree. 1) PCV, PCD and PCF led to decrease in soil pH by 0.47, 0.78 and 0.17, respectively, while DCU and PCU to increase by 0.24 and 0.74, respectively; 2) PCU, PCV and PCF led to decrease in content of OM by 3.83, 3.18 and 0.35 g kg⁻¹, respectively, while PCD and DCU to increase by 7.58 and 1.07 g kg⁻¹ respectively; 3) DCU, PCV and PCU led to decrease in content of TN by 0.31, 0.08 and 0.11 g kg⁻¹, while PCD and PCF to increase by 0.41 and 0.04 g kg⁻¹, respectively; 4) DCU led to decrease in content of TP slightly by 0.01 g kg⁻¹, while PCV, PCD, PCF and PCU to increase by 0.23, 0.08, 0.23 and 0.09 g kg⁻¹, respectively; 5) DCU and PCU led to decrease in content of AN by 2.38 and 7.62 mg kg⁻¹, while PCV, PCD and PCF to increase by 11.61, 34.51 and 18.26 mg kg⁻¹, respectively; 6) DCU led to decrease in content of AP by 3.70 mg kg⁻¹, while PCV, PCD, PCF and PCU to increase by 45.16, 7.54, 40.55 and 10.94 mg kg⁻¹, respectively; and 7) DCU, PCV, PCD, PCF and PCU led to increase in content of AK by 8.75, 77.44, 32.28, 160.4 and 27.59 mg kg⁻¹, respectively.

Key words Soil properties; Change in land use; Yangtze River Delta; Xishan City