

不同农业用地类型对土壤性质和土壤环境的影响

——以北京市延庆县为例

杨昱祺, 王小策, 孙淑蕊, 王学东

(首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048)

摘要: 选择北京市延庆县为研究区域,通过对不同农业用地类型的土壤进行采样和分析,研究了延庆县不同农业用地类型对土壤性质和环境的影响,以期北京市土壤的农业可持续利用提供依据。结果表明,研究区域粮田、菜地、果园的土壤 pH 值、有机质和碱解氮含量均显著低于林地;4 种不同农业用地类型中表层土壤的 As、Cd、Cr 含量平均值分别超出北京市土壤背景值 0.93、0.09 和 15.3 mg/kg。粮田、菜地耕作层的重金属含量高于林地和果园,内梅罗指数和单项污染指数评价表明这 4 种土壤利用类型尚属清洁。尽管研究区目前重金属污染程度较低,最高值仅为警戒值的 74%,但其单项污染指数显示该地区土壤重金属累积速度较快。粮田土壤中 As、Cd 元素含量较退耕林地分别增加了 20.9% 和 38.5%。如不加以控制,土壤重金属污染状况会进一步加剧。

关键词: 延庆县; 农业用地类型; 土壤重金属污染

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0313-04

中图分类号: X53

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.065

Effects of Different Agricultural Land Use Types on

Soil Properties and Soil Environment

—A Case Study in Yanqing County of Beijing City

YANG Yu-qi, WANG Xiao-ce, SUN Shu-rui, WANG Xue-dong

(College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: The effect of different agricultural land use types on soil properties and soil environment in Yanqing County of Beijing City were studied to provide the basis of agricultural soil utilization and sustainable development for Beijing City. The results showed that the soil pH value, organic matter content and alkaline hydrolysis nitrogen content in grain field, vegetable fields and orchard were significantly lower than those in woodland. The As, Cd, Cr content in surface soil of four different agricultural land use types had 0.93 mg/kg, 0.09 mg/kg and 15.3 mg/kg higher than the soil background values, respectively. The heavy metal content of grain field and vegetable field in plough layer were higher than that of woodland and orchard. Nemerow index and the single pollution index evaluation showed that there were non-pollution in the four different agricultural land use type. Although the soil environment quality was at safe level, the highest value of single pollution reached 74% of the alarm value, but the single pollution index showed the soil heavy metal accumulated rapidly in the area. For example, the content of As and Cd in grain field increased by 20.9% and 38.5% than the forest returned from farmland. The soil pollution will be further intensified if uncontrolled.

Keywords: Yanqing County; agricultural land use type; soil heavy metal pollution

土壤环境和质量直接影响着农作物的生长质量,而不同的农业土地利用方式会将不同的外界因素施加于土壤,从而影响土壤的微生态环境,改变土壤的理化

性质,严重的甚至会造成土壤污染和退化^[1-2]。中国人均耕地少,土壤的利用方式多样,利用程度也较高,对土壤造成的影响较大。例如过度施用氮肥会加速土壤

收稿日期:2013-07-05

修回日期:2013-11-03

资助项目:北京市自然科学基金项目“北京城郊土壤镉的生物毒性及其评价模型研究”(8122014);北京市青年英才计划;首都师范大学教学改革项目

作者简介:杨昱祺(1992—),女(汉族),北京市人,本科,研究方向为地理科学。E-mail:cherrytodt@sina.com。

通信作者:王学东(1978—),男(汉族),河北省张家口市人,博士,副教授,主要从事土壤污染与评价工作。E-mail:wangxuedong9801@126.com。

盐渍化和次生盐渍化的发生;而氯化钾或硫酸钾肥料用量过多时,氯离子或硫酸根离子在土壤中过量积累,造成土壤中钙离子、镁离子等盐基离子的交换与淋失,会使土壤板结,破坏土壤结构^[2]。不良的利用方式也会使土壤环境变差。已有研究表明,中国多地的土壤重金属含量超标或存在潜在风险,如对泾河流域^[3]、长江下游滨海地区^[4]和成都平原^[5]等地的农业土壤调查研究发现,土壤 As, Pb, Cr, Cd 等重金属元素均已超出其背景值,土壤重金属污染风险区逐渐增大。

北京城郊是北京重要的农业和蔬菜生产基地,承担着北京市 1/3 的农副产品供应。近年来,北京城郊土壤也面临着质量下降和污染的风险。对北京市土壤中 As 元素含量的调查发现,菜地土壤 As 含量范围和平均值含量分别为 4.44~25.3 和 9.40 mg/kg,已明显超过北京市土壤背景值^[6]。陆安祥等^[7]在 2005—2009 年对北京市农田土壤的连续监测结果表明,土壤 As, Hg, Cd, Cr 和 Pb 平均值为背景值的 109%~207%。长期的农业利用使得北京东南的土壤环境也受到不同程度的影响。Cd 是北京南部地区具有显著污染特征的元素,污染指数均大于 2.1,构成重度污染,其中 1/2 以上的样本污染指数超过 3.0,为污染极为严重地区^[8]。北京北部农业耕种地区土壤中的重金属元素也均已达到或超过轻度生态危害等级^[9]。

1 研究区概况

延庆县地处北京市西北部,自然保护区面积占县域总面积的 26%,生态指标在全市名列前茅。延庆县也是官厅水库主要水源地和北京市生态农业建设基地,所以对延庆生态环境的保护具有重要意义。但目前随着人们对农产品需求的增加,延庆县土壤利用程度也越来越高,对土壤环境的影响也在逐步显现。因此本文拟对延庆县地域内的农业用地土壤进行调查研究,以便准确了解当地土壤质量的基本现状,为农业生产和土壤合理利用提供建议。

2 材料与方

延庆县位于北京西北部,东经 115°44′—116°34′,北纬 40°16′—40°47′,是一个北东南三面环山,东北高,西南低的山间盆地,全境平均海拔 500 m 左右。延庆属大陆性季风气候,属暖温带与中温带、半干旱与半湿润带的过渡带。延庆农业用地占总面积的 84.71%。其中耕地面积 297.92 km²,作物以玉米为主,兼有高粱。其他农业用地有经济作物和林地。本研究区域主要分布在军都山北支:海坨山—佛爷岭南坡冲积平原上的带状区域,涉及张山营、旧县和永宁

3 镇。该区域东部主要农业用地类型以果园和林地为主,西部较为平坦的地区则以菜地和粮田为主。主要土壤类型为褐土、棕壤和潮土。近些年随着国家级生态农业示范县的建立,延庆县化学肥料施用量水平有所下降,但每年仍在万吨以上。其中氮肥施用量占到总量的 70%,以尿素、二胺、硫酸铵、氯化铵和高氮复合肥料为主。磷肥施用量约占总量的 30%,主体为五氧化二磷。农药中用量较为突出的是人工除草剂阿特拉津,年施用量在 20 t 以上。其中以康庄、延庆、张山营、旧县、永宁等 7 个乡镇施用最为频繁。

2.1 样品采集

土壤样品采集于 2012 年 8 月,分别采集粮田、果园、林地和菜地 4 种农业土地用地类型且种植年限在 10 a 以上,面积不小于 6.0×10⁴ km² 的单一利用类型地块各 3 块,其中含有一组特殊对照组,两块样地分别为粮田和退耕林地。样品采集采用多点混合法。在约 300 m×300 m 的范围内划分 100 m×100 m 的采样区,每个采样区采集 3~5 个点的耕作层(0—20 cm)土壤样品充分混合。12 块样地采集粮田 30 个,菜地、果园及林地各 27 个,共 111 个土壤样品。

2.2 样品分析方法

将土样在室温下风干,剔除新生体和侵入体。碾碎研磨过 200 目筛后置于密封袋中保存待测。样品的混合、装袋、研磨等前处理都采用木材、陶瓷用具。土壤有机质含量测定采用油浴加热—重铬酸钾容量法。碱解氮、速效钾、速效磷含量则分别采用扩散吸收法、四苯硼钠比浊法和碳酸氢钠浸提法测定^[10]。土壤样品中 Pb, Cd, Hg, Cr 含量采用“HCl—HNO₃—HF”消解,电感耦合等离子体发射光谱仪(Varian 720ES)测定。As 采用“HNO₃—H₂O₂”消解,氢化物发生—原子荧光光谱法(AFS-2202)测定。同时采用国家标准参考物 GBW07403(土壤)进行分析质量控制。

2.3 土壤重金属评价标准

土壤重金属评价标准采用国家《土壤重金属污染评价标准》(GB 15618—1995)中的 II 级标准,并以北京市土壤重金属基线值^[11]为基准。采用单项污染指数、单项污染综合指数及内梅罗指数^[12]进行评价分级,评价分级标准见表 1。

3 结果与分析

3.1 不同农业用地类型对土壤理化性质的影响

在不同农业用地类型的土壤中,林地土壤 pH 值、有机质和碱解氮含量均显著高于粮田、菜地和果

园;而粮田、菜地和果园土壤 3 者的 pH 值、有机质和碱解氮含量虽存在差异,但尚未达到显著水平(均指平均值,表 1)。林地 pH 值较其他 3 种农业用地类型高出 0.2~0.4 个单位,这可能和其他农业用地类型

长期施用肥料有关。研究表明延庆县每年有近 170 t 纯氮进入土壤及水体^[13]。在长期的耕作中,这些过量的氮素富集在土体和地下水中,会对土壤 pH 值产生影响。

表 1 土壤环境质量评价分级标准

等级划分	污染指数 P	污染等级	污染水平
I	$P \leq 0.7$	安全	清洁
II	$0.7 < P \leq 1$	警戒级	尚清洁
III	$1 < P \leq 2$	轻度污染	土壤轻度污染,植物已受污染
IV	$2 < P \leq 3$	中度污染	土壤、植物均受中度污染
V	$P > 3$	重度污染	土壤、植物均受重度污染

粮田、菜地及果园有机质的平均含量在 15.25 ~ 17.45 g/kg,而林地土壤有机质的平均含量为 22.30 g/kg,远高于其他 3 种利用类型。这主要是由

于林地中的生物含量更高,受人为影响少,故有机质积累也更丰富(表 2)。土壤中氮含量常与有机质相关,因此林地碱解氮含量也显著高于其他 3 种利用类型。

表 2 不同农业用地类型土壤的理化性质

利用类型	样本数	pH 值	有机质/(g · kg ⁻¹)	碱解氮/(mg · kg ⁻¹)	速效磷/(mg · kg ⁻¹)	速效钾/(mg · kg ⁻¹)
粮田	20	7.67a	15.62 ± 3.02a	58.7a	28.03a	113.6a
菜地	27	7.54a	15.25 ± 2.57a	60.8a	26.75a	137.2a
果园	27	7.70a	17.45 ± 3.39a	62.2a	31.89a	151.9b
林地	27	7.93b	22.30 ± 1.71b	76.8b	18.67a	127.5a

注:显著性差异分析 $p < 0.05$; a, b 表示在 95%置信区间内具有显著性差异。下同。

3.2 不同农业用地类型对土壤重金属含量的影响

4 种农业用地类型土壤中 As, Cd 和 Cr 的平均含量分别为 8.02, 0.21 和 45.14 mg/kg, 均高于北京土壤背景值。超出最多的是 Cr, 达到了背景值的 150% 以上。在 4 种不同利用类型中, 粮田、菜地的 As, Cd 和 Cr 平均含量分别为 8.98, 0.29 和 47.30 mg/kg, 而林地中 As, Cd, Cr 的含量则为 7.02, 0.12, 和 41.45 mg/kg。同林地相比, 粮田、菜地等利用程度高的土壤更易出现重金属累积情况, 这与该地区过多使用化学肥料及污水灌溉有关。王铁宇等^[14]对官厅水库周边土壤重金属含量研究中也指出, 除化学肥料影响外, 官厅水库上游化工厂废水排放造成的农业灌溉水源污染是土壤中 Cd 元素的重要来源。研究区果园处于与延庆县张山营镇生态农业示范区内, 对化学肥料及农药使用等管控力度较严, 因此果园与林地土壤 5 种重金属含量均没有显著性差异。

3.3 退耕还林对土壤重金属含量的影响

为了更直观的比较人为耕作对土壤重金属含量的影响, 选取了一组耕种 10 a 以上的粮田地块和与之相邻的 2009 年退耕林地进行比较。分析结果表明, 粮田的土壤中 As, Cd 元素含量与退耕林地相比出现了显著增加, 增加量分别为 20.9% 和 38.5%。尽管

Cr, Hg, Pb 这 3 种元素在两者之间未表现出显著性差异, 但在粮田中的含量也均高于退耕林地(表 3)。

表 3 粮田与退耕林地土壤重金属含量对比

类型	As	Pb	Cr	Hg	Cd
粮田	10.92a	23.1a	46.47a	0.068a	0.26a
退耕林地	8.63b	21.6a	42.53a	0.067a	0.16b

3.4 不同农业用地类型土壤重金属污染评价

不同农业用地类型的土壤重金属污染指数结果见表 4。由表 4 可知, 5 种重金属元素中, 单项污染指数最高的为 Cd, 其次为 As 和 Cr。其中最高值为菜地 Cd 因子, 为 0.733, 超出警戒标准。其余各重金属污染指数均未到达 0.7 的警戒线, 最高值仅为警戒值的 60%, 尚属清洁级。4 种不同土地利用类型的重金属综合污染指数同样均小于 0.7 警戒线, 菜地最高, 为警戒值的 74%, 土壤综合污染评价为清洁级。内梅罗指数显示污染状况为: 菜地 > 粮田 > 果园 > 林地。虽然目前 4 种利用类型土壤污染水平均属于清洁级, 但其中粮田、菜地的内梅罗指数分别是林地的 18 和 43 倍。这说明长期耕作会加剧土壤重金属的累积, 粮田和菜地依然存在超标风险。

表 4 不同农业用地类型土壤重金属污染指数

利用类型	单项污染指数					内梅罗指数
	As	Cd	Cr	Pb	Hg	
粮田	0.180	0.309	0.074	-0.002	0.019	0.218
菜地	0.117	0.733	0.106	0.002	0.021	0.518
果园	0.024	0.082	0.083	-0.006	-0.001	0.017
林地	0.053	0.019	0.062	-0.015	-0.031	0.013

4 讨论

随着北京市土地利用程度的不断加深,土壤中重金属普遍出现了累积现象。陆安祥等^[7]分析了北京土壤中的重金属含量。结果表明,北京市农田土壤中的 Hg 和 Cr 在 2006—2009 年出现了显著的增加。尽管 Cd、Cr 和 Pb 的含量没有明显的上升趋势,但依然超出北京市土壤背景值。延庆县作为北京生态农业建设基地,土壤环境相对北京其他区县较为清洁,但本研究发现,随着人类影响的加强,延庆粮田、菜地的重金属累积量仍高于影响较少的林地。由此可见,延庆地区还需优化农业用地方式,以利于土壤环境向健康方向发展。

不同的农业用地类型对重金属的累积状况不同,内梅罗指数的高低可以反映土壤中重金属污染的水平。研究区土壤重金属内梅罗指数由高到低依次为:菜地>粮田>果园>林地,这和以往的研究结果相似。例如韩平等^[15]研究发现北京市顺义区菜地、果园和林地的内梅罗指数分别为 0.809,0.765 和 0.669。对单一重金属元素的研究也发现,菜地等利用方式中的重金属含量比林地或自然土壤要高。例如对北京全市土壤重金属含量的调查表明,As 含量由高到低为:菜地>果园>麦地>自然土壤^[16],Pb 为:果园>菜地>自然土壤>麦地^[17],Cd 为:菜地>果园>自然土壤>麦地^[18]。

不同的农业用地方式也会对土壤的理化性质产生影响。尽管土壤存在很强的缓冲性,土壤 pH 值较难改变,但长期的化学肥料施用也能够改变土壤的 pH 值。张福锁等^[19]对华北地区农业土壤长达 19 a 的监测发现,华北农田土壤 pH 值平均下降了约 0.5 个单位,氮肥的过度施用是造成土壤 pH 值下降的主要因素。孟红旗等^[20]研究了中国典型农田 6 个长期(18~30 a)施肥实验的耕层土壤 pH 值变化,结果表明单施氮肥和氮磷钾配施处理的耕层 pH 值较不施肥均有较大程度的降低,最大降低幅度为 0.64~1.51 个单位,单施氮肥的土壤酸化速率要高于氮磷钾配施和不施肥处理。在本研究中,菜地、粮田和果园土壤的 pH 值较林地下降约 0.2~0.4 个单位,这也可能

和长期施用化学肥料有关。根据调研,研究区域各利用类型土壤的利用年限均超过 10 a 以上。由此可见,作为北京的生态农业建设基地、优质农副产品生产基地,延庆县还需加强农业土壤利用管理,才能实现土壤与农业的可持续发展。

5 结论

延庆县 4 种不同农业用地类型中,粮田、菜地、果园土壤 pH 值、土壤有机质和碱解氮含量均低于林地。4 种农业用地类型的土壤中 As、Cd 和 Cr 含量的平均值均超出了北京市土壤的背景值,超出值分别为 0.93,0.09 和 15.3 mg/kg,但内梅罗指数显示污染程度尚处清洁级范围。4 种农业利用土壤中的五种重金属元素,Cd 污染指数最高。单项污染指数中唯一超出警戒范围的是菜地中 Cd 元素,其次为 As 和 Cr。粮田、菜地土壤重金属含量较林地、果园高。粮田和退耕林地的对比表明,粮田中重金属元素的含量和累积速度均较林地快。

[参 考 文 献]

- [1] 熊严军. 我国土壤污染现状及治理措施[J]. 现代农业科技, 2010(8):294-295.
- [2] 李东坡, 武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5):1158-1165.
- [3] 郑国璋. 泾河流域农业土壤重金属污染调查与评价[J]. 干旱区研究, 2008, 25(5):626-630.
- [4] 武攀峰, 吴为. 长江下游典型滨海地区农业土壤重金属污染特征[J]. 中国环境监测, 2008, 24(1):71-74.
- [5] 李富华. 成都平原农用土壤重金属污染现状及防治对策[J]. 四川环境, 2009, 28(4):60-64.
- [6] 陈同斌, 宋波, 郑袁明, 等. 北京市蔬菜和菜地土壤砷含量及其健康风险分析[J]. 地理学报, 2006, 61(3):297-310.
- [7] 陆安祥, 孙江, 王纪华, 等. 北京农田土壤重金属年际变化及其特征分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(18):3778-3789.
- [8] 付华, 吴雁华, 魏立华. 北京南部地区农业土壤重金属分布特征与评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1):182-185.
- [9] 尤冬梅, 王纪华, 马智宏, 等. 北京郊区小尺度农产品产地土壤重金属污染性评价[J]. 上海农业学报, 2011, 27(3):89-93.
- [10] 北京林业大学. 土壤理化分析实验指导书[M]. 北京: 华文出版社, 2002.
- [11] 陈同斌, 郑袁明, 陈煌. 北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J]. 环境科学, 2004, 25(1):117-122.

(下转第 321 页)

- [8] 王延安. 汉江流域汉中段水文特性分析[J]. 陕西水利, 2011(2):133-134.
- [9] 长江流域水资源保护局. 南水北调中线工程水源区水资源保护资料汇编[Z]. 武汉:2010.
- [10] 刘云嶂, 刘邦荣, 翟尚文, 等. 汉江(汉中段)国控地面水环境监测点位认证研究[J]. 陕西环境, 1996(1):7-10.
- [11] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社, 2002:258-281.
- [12] 卜红梅, 王岑, 张全发. 汉江上游金水河流域非点源污染及控制[J]. 水土保持学报, 2009, 22(4):32-37.
- [13] 雷沛, 张洪, 单保庆. 丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究[J]. 环境科学, 2012, 33(9):3039-3045.
- [14] Loen L F, Soulis E D, Kouwen N, et al. Non-point source pollution: A distributed water quality modeling approach [J]. Water Research, 2001, 35(4):997-1007.
- [15] 李思悦, 刘文治, 顾胜, 等. 南水北调中线水源区汉江上游流域主要生态环境问题及对策[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(3):275-280.
- [16] 王星, 李占斌, 李鹏, 等. 陕西省丹汉江流域面源污染现状及防治对策[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6):186-190.
- [17] 袁爱萍. 小流域综合台治理环境效益分析方法探讨[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4):165-169.
- [18] Peterjohn W T, Correll D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a riparian forest [J]. Ecology, 1984, 65(5):1466-1475.
- [19] 廖剑宇, 彭秋志, 郑楚涛, 等. 东江干流水体氮素的时空变化特征[J]. 资源科学, 2013, 35(3):505-513.

(上接第316页)

- [12] 陈潇霖, 杨丹, 胡迪青, 等. 北京土壤重金属分布及评价:以五环以内为例[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(12):78-81.
- [13] 张东兴, 张军, 李新荣, 等. 北京市延庆县种植业污染源普查情况及治理对策[J]. 中国农学通报, 2011, 27(11):241-245.
- [14] 王铁宇, 罗维, 吕永龙, 等. 官厅水库周边土壤重金属空间变异特征及风险分析[J]. 环境科学, 2007, 28(2):225-231.
- [15] 韩平, 王纪华, 陆安祥, 等. 北京顺义区土壤重金属分布与环境质量评价[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(1):106-112.
- [16] 陈同斌, 郑袁明, 陈煌, 等. 北京市不同土地利用类型的土壤砷含量特征[J]. 地理研究, 2005, 24(2):229-235.
- [17] 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 等. 北京市不同土地利用方式下土壤铅的积累[J]. 地理学报, 2005, 60(5):791-797.
- [18] 宋波, 陈同斌, 郑袁明, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析[J]. 环境科学学报, 2006, 26(4):1343-1353.
- [19] Guo Jingheng, Liu Xuejun, Zhang Fusuo, et al. Significant acidification in Major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327(5968):1008-1010.
- [20] 孟红旗, 刘景, 徐明岗, 等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变[J]. 土壤学报, 2013, 50(6):42-49.