doi：10.11838/sfsc.20150605

不同轮作模式农田磷养分表观平衡及其对土壤 Olsen－P 含量的影响

许仙菊[1,2]，张维理[2*]，张永春[1]，姚　政[3]，

（1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所，农业部江苏耕地保育科学观测实验站，江苏　南京　210014；2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，北京　100081；3. 上海农业科学院环境科学研究所，上海　201106）

摘　要：通过连续 3 年监测上海郊区 43 块定位农田研究，比较了 50 种作物以及 5 种不同轮作模式农田的磷养分表观盈余状况及其对土壤 Olsen－P 含量的影响。结果表明：（1）不同作物农田的磷养分盈余趋势为水生蔬菜类＞果树类＞旱作蔬菜≥草皮＞大田作物；不同轮作模式农田磷养分盈余趋势为菜菜轮作＞果树单作＞菜作轮作＞草皮单作＞作物轮作；（2）不同作物及轮作农田收获后土壤 Olsen－P 含量随土壤深度的增加而逐渐降低，磷养分盈余量多的农田土壤 Olsen－P 含量也高；（3）不同作物以及轮作农田磷养分盈余与收获时土壤表层（0～30 cm）的 Olsen－P 含量呈显著正相关。

关键词：轮作；农田；磷养分表观平衡；Olsen－P

中图分类号：S153.6　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1673－6257（2015）06－0028－06

农田生态系统是作物－土壤－肥料相互作用并达到动态平衡的系统。随着农业集约化程度越来越高，作物的种类及轮作类型也越来越多样化。当前，农民为了追求更高的产量，在肥料施用方面仍存在许多不合理的现象，如磷肥的过量施用、钾肥的少施或不施、有机肥用量的减少等，这些均导致土壤养分状况的不断变化。

国内外在农田土壤养分平衡方面进行过很多的研究[1－12]。前期的研究主要对某地区[2－7]、不同栽培模式[7－8]、不同农田类型[2,5,11]、麦稻轮作[10]等农田的养分平衡状况进行了研究。顾永明[6]等于 1994 年对上海郊区主要大田作物的农田养分表观平衡状况的研究结果表明：水稻、三麦、油菜等主要农作物的农田磷养分均盈余。2003 年林青慧[7]也对上海黄浦江上游水源保护区不同种植模式农田周年的养分表观平衡做了研究，而农田养分表观平衡状况及其对土壤养分含量的影响如何一般要看多年养分累积结果。由于磷肥当年利用率仅为 15%～25%，长期磷养分盈余会导致磷养分在表土中累积，从而使得表土的磷养分含量大大超过作物生长的需求量[13－15]。磷养分在农田系统中的平均年累积率在 60% 左右，这也是导致农田磷流失增加的根本因素之一[16]。由于周年监测时间偏短，不能及时发现实际施肥中存在的问题，更不能指导科学施肥。因此，有必要系统研究不同作物及不同轮作模式农田长期的养分盈余状况及其对土壤磷养分含量的影响。本研究是通过连续 3 年跟踪监测上海郊区的 43 块定位农田作物产量、土壤养分等状况，比较了 50 种作物以及 5 种不同轮作模式农田的磷养分表观盈余状况及其对土壤 Olsen－P 含量的影响。

本文的磷养分表观平衡是指磷养分投入量减去磷养分产出量，即：养分的投入量只考虑施肥（包括有机肥料和化肥）；养分产出量只考虑作物的消耗（包括经济产量和废弃物产量），最后确定农田磷养分的表观平衡状况。

1　材料与方法

1.1　试验方法

试验采用养分平衡记录单法。

收稿日期：2014－10－30；**最后修订日期**：2014－12－22

资金项目：江苏省农业科技自主创新引导资金项目［CX（15）1004］；公益性行业（农业）科研专项（201003014－1－2，201203030－07－05）。

作者简介：许仙菊（1976－），女，山西绛县人，博士，副研究员，主要从事土壤质量管理和农业面源污染方面的研究。E－mail：xuxianju76@163.com。

通讯作者：张维理，E－mail：zhangweili@caas.cn。

农田磷养分表观平衡记录单法：农田的磷养分表观平衡量等于磷养分投入量减去磷养分产出量。农田磷养分表观平衡＝肥料磷养分投入量－作物磷养分带出量；其中肥料磷养分投入量包括化肥与有机肥投入量，作物磷养分带出量＝经济产量×（1－经济产量样品的含水量%）×经济产量样品的磷含量＋废弃物量×（1－废弃物样品的含水量%）×废弃物样品的磷含量；农田定位点的轮作周年磷养分表观平衡＝（每茬的磷养分平衡之和÷作物生长时间）×365，其中果树的磷养分带出量是用磷养分换算系数计算得到的[17]。

试验43个定位地块的选点原则：（1）选择有代表性的轮作类型；（2）选择能代表上海郊区平均施肥量的农田。根据此原则在上海郊区选择了蔬菜－蔬菜轮作、蔬菜－大田作物轮作、草皮单作、果树单作和作物－作物轮作（正文中简称菜菜轮作、菜作轮作、草皮单作、果树单作、作物轮作）5种主要轮作类型共43块定位农田，其中有两种类型n＝1，不符合统计要求。按监测的作物分成水生蔬菜类（包括春茭和秋茭2种）、水果类（包括葡萄和梨2种）、旱作蔬菜类（青菜、西红柿、黄瓜等38种）、大田作物（水稻、小麦、油菜等6种）和草皮（佛甲草、雀稗2种）。监测时间是2002年12月～2005年12月。试验地点代码是用来识别试验地块的唯一标识符。所监测地块的每一茬作物在收获期采集植物和土壤样品，并对定位地块每茬作物的种植方式进行农户调查，详细记录(1）各定位地块的轮作情况，包括播种和收获时间等；（2）各轮作地块的各茬作物的田间管理情况、作物产量（包括经济产量和废弃物产量）、肥料种类和肥料用量等施肥状况。

1.2　样品采集和测定

1.2.1　样品的采集

植物样的采集：3年共监测216茬次，在所监测的每一地块的每茬作物收获时采集地上部植株样品，随机选取正常生长的具有代表性植株3～50株，取经济产量样品和废弃物样品分别制样。如取回样品沾有污泥等杂物，立即洗涤，用蒸馏水冲洗，尽快用吸水纸擦干净。取混合样，放入烘箱中105℃杀青15～30 min，在65℃烘干至恒重，称重、记录，计算植株样品含水量。烘干后用粉碎机粉碎，至样品全部过筛，样品编号，备测。

土壤样品的采集：对所监测43个定位地块的每茬作物收获时采集土壤剖面样品（0～30、30～60、60～90 cm）。按“S型”路线多点采样，制备每一层次的混合样。所取土样除杂混匀后，风干，过1 mm筛，用来测定土壤中Olsen－P含量。

1.2.2　样品测定方法

植株全磷含量[18]：采用H_2SO_4－H_2O_2消煮，用钼黄比色法测定植株全磷。

土壤Olsen－P[18]：0.5 mol·L^{-1} $NaHCO_4$浸提，钼蓝比色法。

1.3　数据分析与统计处理

本研究的数据分析用SPSS 11.5统计软件进行。

2　结果与分析

2.1　不同轮作模式农田的磷养分表观盈余状况比较

2.1.1　不同作物农田的磷养分表观盈余状况比较

不同作物农田磷养分投入量和带出量的比较（图1）结果表明：不同作物农田磷养分投入量大小为水生蔬菜类＞果树类＞旱作蔬菜≥草皮＞大田作物，其中水生蔬菜平均投入磷量为大田作物投入量的11.9倍，二者之间差异达极显著水平，其它作物投入磷量与大田作物相比差异达显著水平。不同作物农田的磷养分带出量大小为果树≥水生蔬菜≥大田作物≥草皮≥旱作蔬菜，但不同作物农田之间磷养分带出量差异不大。

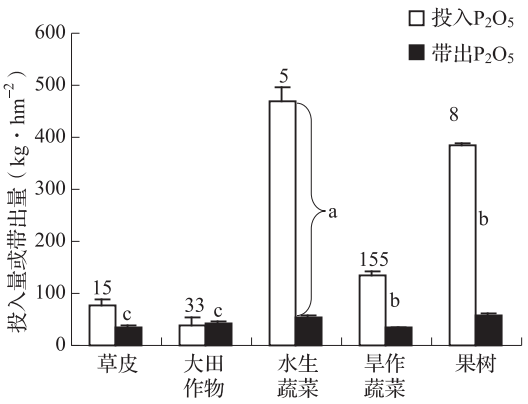

图1　不同作物农田磷养分投入量、产出量及磷养分表观平衡

注：图中标注的字母表示养分表观平衡（即磷投入减去磷带出的差值）0.05水平显著性检验，以下图、表意义同；图中的数值表示共监测的茬次数，以下同。

不同作物农田磷养分表观盈余结果见图1。总体来看不同作物农田的磷养分盈余，水生蔬菜P_2O_5盈余416.9 kg·hm^{-2}，大田作物P_2O_5亏缺

2.8 kg·hm^{-2}，旱作蔬菜 P_2O_5 盈余 100.3 kg·hm^{-2}，而果树的 P_2O_5 盈余为 326.4 kg·hm^{-2}。草皮 P_2O_5 盈余 42.6 kg·hm^{-2}，但其盈余量比旱作蔬菜和果树等经济作物小很多。不同作物农田磷盈余量大小为水生蔬菜类 > 果树类 > 旱作蔬菜≥草皮 > 大田作物，这和磷养分投入量大小趋势一致。虽然不同作物农田磷养分整体表现为磷盈余，但是草皮作物磷养分盈余较少，大田作物甚至出现磷养分亏缺，说明大田作物吸收的部分磷来自土壤，所以不同作物磷养分表观盈余量与起始土壤磷养分含量有很大关系。

同理得出不同作物磷养分年盈余量如下：即水生蔬菜 P_2O_5 盈余 744.6 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，大田作物 P_2O_5 亏缺 11.0 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，旱作蔬菜 P_2O_5 盈余 376.0 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，而果树磷盈余为 324.9 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，草皮磷盈余 80.3 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$。因此水生蔬菜磷养分盈余量最多，磷养分流失风险相对最大。

2.1.2　不同轮作模式农田磷养分表观盈余状况比较

不同轮作模式农田年平均磷养分投入量和带出量的比较（图2）结果表明：菜菜轮作模式的年平均投入磷养分的量最多，是作物轮作磷养分投入量的 11.1 倍，可见，不同轮作模式农田年平均磷养分投入量相差很大。作物轮作磷养分带出量相对于其磷养分投入量来说比较多，而果树单作和草皮单作磷养分带出量都较少，这可能是造成作物轮作磷养分不平衡的原因之一。Blake 等[19]于 2000 年的研究表明：土壤的水、肥、气、热等状况的差异、施入磷量和形态等因素都影响磷肥的利用率和磷养分的有效性。

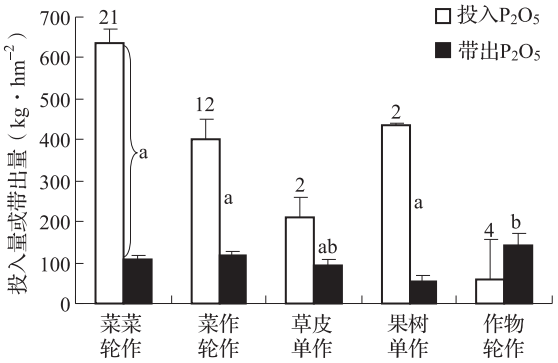

图2　不同轮作农田磷养分投入量、产出量及磷养分表观平衡

从图2的5种轮作模式农田年平均磷养分表观盈余量的平均值来看，农田的磷养分盈余，这和不同作物农田的磷养分表观盈余量变化是一致的。不同轮作模式农田磷养分盈余量大小：菜菜轮作 > 果树单作≥菜作轮作 > 草皮单作 > 作物轮作，其中，菜菜轮作农田 P_2O_5 盈余量为 528.8 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，菜作轮作 P_2O_5 盈余 284.3 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，草皮单作 P_2O_5 盈余 119.7 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，果树单作 P_2O_5 盈余量为 380.2 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，作物轮作 P_2O_5 亏缺量为 84.2 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$。可见，不同轮作模式农田磷养分整体表现为盈余，其中菜菜轮作盈余量最多，但作物轮作却表现为磷亏缺。因此作物轮作中作物吸收的磷养分有一部分来自土壤，所以农田的磷养分表观盈余量与起始土壤的磷含量有很大关系。

2.2　不同轮作模式农田的土壤 Olsen－P

2.2.1　不同作物农田的土壤 Olsen－P 含量状况比较

土壤 Olsen－P 含量作为反应土壤磷供应能力的指标之一，对于指导作物施肥有着直接意义。由表1可以看出，不同作物收获后农田表层土壤（0～30 cm）Olsen－P 的含量：水生蔬菜、果树、旱作蔬菜显著高于大田作物、草皮，其它两层（30～60 和 60～90 cm）的不同作物之间土壤Olsen－P 含量在果树显著高于其它作物，60～90 cm 水生蔬菜除外；而相同作物的不同深度的土壤 Olsen－P 含量整体趋势为 0～30 cm > 30～60 cm > 60～90 cm。

表1　不同作物农田收获后的土壤 Olsen－P 含量状况

（mg·kg^{-1}）

作物	样本数	土层深度（cm）		
		0～30	30～60	60～90
草皮	8	20.4±4.1b	8.0±2.0b	7.4±1.7b
大田作物	27	17.3±1.8b	9.1±2.1b	6.9±0.9b
水生蔬菜	2	75.0±11.8a	9.6±0.2b	13.3±4.5ab
旱作蔬菜	111	47.5±3.3a	11.5±1.1b	7.3±0.4b
果树	8	55.3±15.5a	32.5±13.4a	16.2±8.4a
平均值	156	41.6±2.8	12±1.2	7.8±0.6

注：156 指样本总数。

2.2.2　不同轮作模式农田的土壤 Olsen－P 含量状况比较

由表2可以看出，不同轮作模式农田收获后的表层土壤 Olsen－P 的含量大小为果树单作 > 菜菜轮

作 > 菜作轮作 > 草皮单作 > 作物轮作，其余两层土壤 Olsen－P 的含量均为果树单作最大，作物轮作最小，而且二者之间差异显著。而同一轮作模式农田不同深度的土壤 Olsen－P 含量整体趋势为 0～30 cm > 30～60 cm > 60～90 cm。这与 Elcio[20] 的研究结果基本一致。因为菜地的施肥量比较大。统计分析结果表明：果树单作、菜菜轮作和菜作轮作农田土壤的 Olsen－P 含量显著高于作物轮作，其它作物之间 Olsen－P 含量差异不显著。

表 2　不同轮作模式农田收获后的土壤 Olsen－P 含量比较

（$mg \cdot kg^{-1}$）

类型	样本数	土层深度（cm）		
		0～30	30～60	60～90
菜菜轮作	20	52.2±8.1 a	11.8±2.0 a	7.5±0.9 ab
菜作轮作	11	34.7±6.0 a	12.7±2.6 a	8.6±1.2 ab
草皮单作	2	23.1±10.7 ab	9.1±4.2 b	8.4±3.9 ab
果树单作	2	60.6±22.2 a	28.7±20.9 a	14.8±10.2 a
作物轮作	4	13.6±1.7 b	4.9±1.0 b	5.7±1.4 b
平均值	39	42.2±5.0	12.1±1.7	8.1±1.8

注：39 指样本总数。

2.3　不同轮作模式农田的磷养分表观盈余量与土壤 Olsen－P 含量的相关关系

2.3.1　不同作物农田磷养分表观盈余量与土壤 Olsen－P 含量的相关关系

不同作物农田磷养分表观平衡对土壤 Olsen－P 含量的影响见表 3。磷养分盈余量多的作物农田相应的土壤（0～30 和 60～90 cm）的 Olsen－P 含量就高，而其与 30～60 cm 的土壤 Olsen－P 含量响应关系不大。对不同作物农田磷养分盈余量与土壤 Olsen－P 含量相关关系表明，不同作物农田的磷盈余量与 0～30 和 60～90 cm 土层的 Olsen－P 含量呈极显著正相关（图 3）。

表 3　不同农田磷养分表观平衡与土壤 Olsen－P 含量的相关系数

相关关系	土层深度（cm）		
	0～30	30～60	60～90
不同作物农田 P_2O_5 表观平衡－土壤 Olsen－P 含量	0.95**	0.46	0.99**
不同轮作模式农田 P_2O_5 表观平衡－土壤 Olsen－P 含量	0.92**	0.56	0.36

注：n = 5，$r_{0.05}$ = 0.811，$r_{0.01}$ = 0.917；n = 46，$r_{0.05}$ = 0.288，$r_{0.01}$ = 0.372；** 表示达到极显著水平，图 3、图 4 同。

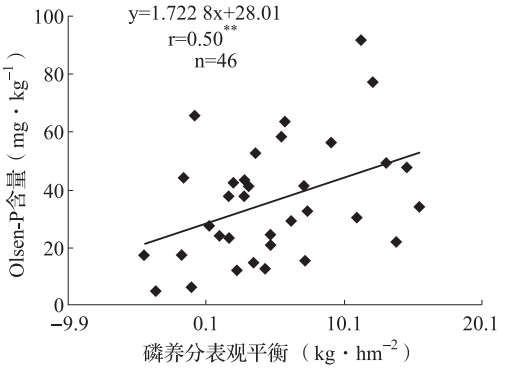

图 3　不同作物农田磷养分表观平衡与表层土壤 Olsen－P 含量的相关分析

2.3.2　不同轮作模式农田磷养分表观盈余量与土壤 Olsen－P 含量的相关关系

不同轮作模式农田磷养分表观盈余量对土壤 Olsen－P 含量的影响（表 3）。结合图 4 和表 3 可以看出：磷养分盈余量多的轮作模式农田相应的表层土壤（0～30 cm）中 Olsen－P 含量就高，而其与 30～60 cm 和 60～90 cm 的土壤 Olsen－P 含量响应关系不大。对不同轮作模式农田的磷养分盈余量与土壤 Olsen－P 含量相关关系分析可以看出，不同轮作模式农田的磷盈余与 0～30 cm 土层的 Olsen－P 含量呈极显著正相关（图 4）。在尼泊尔的 Parwanipur 进行的 20 年长期稻麦轮作试验的研究表明，农田磷养分表观平衡为盈余，且对土壤中的 Olsen－P 含量有累积效应[21－22]。这与本文的研究结果一致。

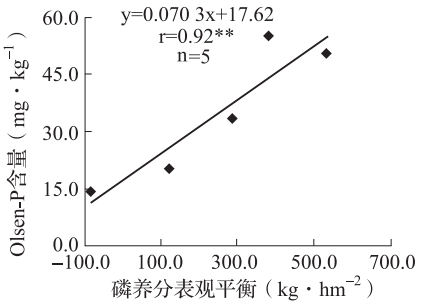

图 4　不同轮作农田磷养分表观平衡与表层土壤 Olsen－P 含量相关分析

3　讨论

本研究表明：不同作物农田年 P_2O_5 盈余量不同，即水生蔬菜 P_2O_5 盈余量为 744.6 $kg \cdot hm^{-2} \cdot$ 年$^{-1}$，大田作物 P_2O_5 亏缺量为 11.0 $kg \cdot hm^{-2} \cdot$ 年$^{-1}$，旱作蔬菜 P_2O_5 盈余量为 376.0 $kg \cdot hm^{-2} \cdot$

年$^{-1}$，而果树的 P_2O_5 盈余量为 324.9 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，草皮 P_2O_5 盈余量为 80.3 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$。不同轮作模式农田结果也不尽相同，例如，菜菜轮作农田 P_2O_5 盈余量为 528.8 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，菜作轮作 P_2O_5 盈余量为 284.3 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，草皮单作 P_2O_5 盈余量为 119.7 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，果树单作 P_2O_5 盈余量 380.2 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$，作物轮作 P_2O_5 亏缺量为 84.2 kg·hm^{-2}·年$^{-1}$。可见，不管是不同作物农田还是不同轮作模式农田的磷养分盈余量均不同，除了大田作物和作物轮作出现磷亏缺外，其余都表现为盈余。

不同作物及不同轮作模式农田磷养分的盈余与亏缺对土壤的 Olsen－P 含量影响很大。从 3 年的分析结果可以看出，水生蔬菜和旱作蔬菜（菜菜轮作）磷养分表观平衡均表现为盈余，而大田作物的磷养分表观平衡却表现为亏缺，长期这种施肥状况可能使蔬菜类农田土壤 Olsen－P 含量越来越高，而大田作物农田的土壤 Olsen－P 含量会越来越低，这样严重影响农田土壤磷的可持续利用。众所周知，磷是一种易被土壤吸附难移动的元素之一，研究表明，农田磷的持续盈余很容易引起土壤磷的严重富集[11－13]。农田磷源的高低主要取决于土壤磷水平值和计划施的有机磷和无机磷量。研究表明土壤 Olsen－P 含量与地表水和亚地表水中的总磷浓度呈正相关[23－24]。因此，当降水发生时，土壤磷测定值越高表明土壤磷流失风险越高。

但本研究在比较农田磷养分表观平衡时，没有考虑起始土壤的 Olsen－P 含量差异。如果大于 10 年的长期连续监测，起始土壤的 Olsen－P 含量的差异有可能不会影响试验结果，但本试验由于受监测时间的限制，不能消除起始土壤的 Olsen－P 含量差异。菜菜轮作的 21 块定位农田土壤起始 Olsen－P 含量范围为 5.1～168.7 mg·kg^{-1}。可见，轮作模式相同的菜菜轮作农田的土壤 Olsen－P 含量变异都很大，这可能由于长期施肥方式及管理方式的不同而造成的。通过本试验的分析可以更深入地了解人为施肥管理对不同作物农田土壤 Olsen－P 含量的影响，并及时采取措施更好地控制施肥量，从而达到农田磷养分的平衡施肥。因此，建议根据土壤磷养分状况、作物需磷规律以及磷肥的特性及磷养分含量进行平衡施肥，关键要控制好磷养分的投入量，可见，合理施用磷肥对于保持土壤磷养分平衡具有重要现实意义。一方面可以达到较高的经济效益，另一方面减少了农田土壤磷养分累积，从而减少了农田磷养分流失的风险。

4　结论

本研究通过连续 3 年的跟踪监测上海郊区 43 块定位农田的216 茬次（50 种作物），研究了 50 种不同作物及 5 种不同轮作模式农田磷养分表观盈余状况、农田土壤 Olsen－P 含量状况以及农田磷养分表观盈余量对土壤 Olsen－P 含量的影响，结果表明：

1）不同作物农田的磷养分投入量大于作物磷养分带出量的大小趋势为水生蔬菜类≥水果类＞旱作蔬菜≥大田作物≥草皮；不同轮作模式农田磷养分投入量大于作物磷养分带出量的大小趋势表现为菜菜轮作＞果树单作＞菜作轮作＞草皮单作＞作物轮作；而且农田磷养分投入量是不同作物及不同轮作模式农田磷养分表观盈余的主要影响因素之一。

2）不同作物农田土壤的同一土层深度 Olsen－P 含量大小为水生蔬菜、果树、旱作蔬菜＞大田作物、草皮，不同轮作模式农田土壤的同一土层深度 Olsen－P 含量大小为果树单作＞菜菜轮作＞菜作轮作＞草皮单作＞作物轮作；相同作物及相同轮作模式农田的不同土层 Olsen－P 变化规律为 0～30 cm＞30～60 cm＞60～90 cm。

3）不同作物以及不同轮作模式农田磷养分投入量大于作物磷养分带出的量与土壤表层（0～30 cm）的 Olsen－P 含量呈正相关关系。

参考文献：

[1]　黄绍文，金继运，左余宝，等．农田土壤养分平衡状况及其评价的试点研究［J］．土壤肥料，2000，（6）：14－19.

[2]　张锡洲，李廷轩，杨玉国，等．四川盆地丘陵区农田养分平衡研究［J］．四川农业大学学报，2003，21（2）：152－156.

[3]　王建国，王德禄，王守宇，等．黑龙江农田养分平衡和养分水平的动态变化［J］．农业系统科学与综合研究，2000，16（2）：124－127.

[4]　曹凤进，王志进，朱建桦．农田肥料投入监测与养分平衡分析［J］．土壤肥料，2002，（2）：18－21.

[5]　李翠萍，续勇波，李永梅，等．滇池湖滨带设施蔬菜、花卉的农田养分平衡［J］．云南农业大学学报，2005，20（6）：804－809.

[6]　顾永明，汪寅虎，陈春宏，等．上海郊区农田养分平衡状况的宏观分析［J］．土壤通报，1994，25（7）：41－44.

[7]　林青慧．黄浦江上游水源保护区不同农田种植模式的环境效应研究［D］．北京：中国农业科学院，2004.

[8]　刘瑞，戴相林，郑险峰，等．半旱地不同栽培模式及施氮

下农田土壤养分表观平衡状况研究［J］. 植物营养与肥料学报，2011，17（4）：934－941.

［9］ 钱晓雍，沈根祥，顾海蓉. 黄浦江上游水源保护区农田氮磷养分平衡分析［J］. 环境科学与技术，2011，34（8）：115－119.

［10］ 马保国，杨太新，郭凤台，等. 麦稻轮作体系中磷素平衡的研究［J］. 农业环境科学学报，2005，24（2）：371－374.

［11］ 冀宏杰，张认连，武淑霞，等. 太湖流域农田肥料投入与养分平衡状况分析［J］. 中国土壤与肥料，2008，（5）：70－75.

［12］ 张慧，高如泰，夏训峰，等. 北京地区农田生态系统磷养分平衡研究—以密云县和房山区为例［J］. 环境科学与技术，2010，23（10）：195－199.

［13］ Withers P J A，Stephen D C，Victor G B. Phosphorus transfer in runoff following application of fertilizer，manure，and sewage sludge［J］. Journal of Environmental Quality，2001，30：180－188.

［14］ Daniel T C，Sharply A N，Edwards D R，et al. Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorus management［J］. Joural of Soil and Water Conservation，1994，49：30－38.

［15］ Kingery W L，Wood C W，Delancy D P，et al. Impact of long－term land application of broiler litter on environmentally related soil properties［J］. Journal of Environmental Quality，1994，23：139－147.

［16］ Sharpley A N，Smith S J，Jones O R，et al. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff［J］. Journal of Environmental Quality，1992，21：30－35.

［17］ 何康，刘瑞龙. 中国农业百科全书（农业化学卷）［M］. 北京：农业出版社，1996.

［18］ 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. 308－316.

［19］ Blake L，Mercik S，Koerschens M，et al. Phosphorus concent in soil，uptake by plants and balance in three European long－term field experiments［J］. Nutrient Cycling in Agroecosystems，2000，56：263－275.

［20］ Balota E L，Colozzi－Filho A，Andrade D S，et al. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems［J］. Biology and Fertility of Soils，2003，38：15－20.

［21］ Gami S K，Ladha J K，Pathak H，et al. Long－term changes in yield and soil fertility in a twenty－year experiment in Nepal［J］. Biology and Fertility of Soils，2001，34：73－78.

［22］ McCollum R E，Buildup and decline in soil phosphorus：30 year trends on a typic umprabuult［J］. Agronomy Journal，1991，83：77－85.

［23］ Pote D H，Daniel T C，Sharpley A N，et al. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff［J］. Soil Science Society of America Journal，1996，60：855－859.

［24］ McDowell R W，Sharpley A N，Beegle D B，et al. Comparing phosphorus management strategies at a watershed scale［J］. Journal of Soil and Water Conservation，2001，56（4）：306－315.

Phosphorus nutrient balance and its impact on soil Olsen-P content in Shanghai suburb farmlands

XU Xian-ju[1,2]，ZHANG Wei-li[2*]，ZHANG Yong-chun[1]，YAO Zheng[3]［1. Institute of Agricultural Resources and Environment，Jiangsu Academy of Agricultural Sciences；Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation（Jiangsu），Ministry of Agriculture，Nanjing Jiangsu 210014；2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning，Chinese Academy of Agricultural Sciences，Beijing 100081；3. Environmental Science Research Institute，Shanghai Academy of Agricutural Sciences，Shanghai 201106］

Abstract：Phosphorus nutrient balances of the farmland soils in 50 varieties of crops and 5 types of rotation and its impact on soil available phosphorus nutrient content were studied in 43 site-specific locations over three years in Shanghai suburb. The result indicated that：（1）the phoshorus nutrient surplus tendency of different crops farmland was：fewflower wildrice > fruits > vegetables > greensward > crops；The phosphorus nutrient surplus of different rotation farmland was：the rotation between vegetable and vegetable > the fruit tree only > the rotation between vegetable and crops > the greensward only > the rotation of crops and crops；（2）Content of soil available phosphorus after harvest gradually decreased with the depths of soil profile in the farmlands of different fields and different rotation fields. The higher soil available phosphorus contents were，the more phosphorus nutrient surplus would be in different planting patterns fields.（3）Phosphorus nutrient surpluses of the farmland soil in different crops fields and different planting patterns were significantly positive correlated with the content of available phosphorus content in the surface soil（0～30 cm）in harvesting.

Key words：cropping rotation；farmlands；phosphorus nutrient balance；Olsen-P