

城乡交错区小型蔬菜生产系统氮磷钾元素平衡状况*

——以南京和无锡为例

常 青^{1,3} 黄 标^{1†} 王洪杰¹ 史学正¹ 于东升¹ 赵彦锋¹ Ingrid Öbom²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, SE-75007 Uppsala, Sweden)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要 土壤中氮磷钾元素能否维持平衡是关系到养分管理及农业可持续发展的一个重要内容。本文以江苏省南京和无锡两个典型城乡交错区的小型蔬菜生产系统为例, 研究了一年期间氮、磷、钾养分元素的平衡状况及其影响因素。结果表明: 南京的蔬菜地以有机肥作为生产系统养分输入的主要来源, 而无锡则是以化肥和有机肥, 特别是化肥为其主要来源。与蔬菜收获带出的养分相比, 两蔬菜生产系统的氮磷元素均存在明显的盈余, 其中氮的盈余量南京地区明显大于无锡地区, 磷的盈余量前者却低于后者, 而钾元素在南京地区呈正平衡, 无锡地区呈弱的正平衡或负平衡, 说明无锡地区钾元素已出现明显的亏缺趋势。这种养分不平衡的状况是由肥料种类不同、劳动力投入的差异以及由此产生的管理方式的不同造成的, 因此要促进城乡交错区农业的可持续发展, 根据土壤养分平衡状况及其影响因素, 开发合理的施肥技术十分必要。

关键词 城乡交错区; 蔬菜地; 土壤; 养分平衡
中图分类号 S159 **文献标识码** A

经过 20 多年的改革开放, 中国目前正处在城市化快速发展时期^[1]。随着城市化进程的加快, 城乡交错区的农业土壤功能也发生了一系列的变化^[2], 由传统的水稻种植转为高强度的蔬菜种植, 特别是零散分布于这些地区的小型蔬菜生产系统, 高投入高输出的生产模式造成的养分不平衡问题已对周边环境带来不良影响^[3], 因此, 研究城乡交错区小型蔬菜生产系统的养分平衡及其影响因素, 对于促进城乡交错区农业可持续发展和保护生态环境具有重要意义。

对城乡交错区农业生态系统中的养分状况已有较为深入的研究。土壤养分变化方面, 王辉等^[4]对南京南郊蔬菜地土壤养分的调查得出: 与水稻田土壤相比, 土壤养分均有不同程度的累积, 尤以大棚土壤有效磷、NO₃-N 的累积为甚; 但与第二次土壤普查资料相比, 土壤有机质、全钾均有不同程度的下降, 全磷略有上升。对地表水的研究方面, 张庆利等^[5]对南京市东郊地表水的分析结果显示, 该区地表水中的氮、磷污染主要来自蔬菜生产中过量

有机肥的淋失和城市污水排放。赵彦锋等^[6]对无锡市典型城乡交错区的土壤养分的空间变异研究发现, 该区地表水的氮磷污染主要来源于生活污水和过量施肥。虽然城乡交错带地区存在的土壤问题很多, 前人对该区的研究也是细致且富有成果的, 但是对于城乡交错区菜地土壤养分的平衡定量研究却较少。由于城市对新鲜蔬菜的需求量较大, 城乡交错区土壤复种指数较高^[3], 必然导致肥料的高投入, 可能造成养分的失衡和土壤养分元素的流失, 从而对周边环境形成潜在的威胁^[7], 因此要促进城乡交错区农业的可持续发展, 为当地蔬菜种植提供合理化的建议, 摸清当地土壤养分的平衡状况是最基本的。

国际上早在 1830 年, Boussingault^[8]就已开始了土壤养分平衡的研究, 当时的研究焦点主要是考察农场尺度有机肥和其他来源(大气、水和土壤)的养分在多大程度上能满足植物生长的需要, 直到近几十年来, 人们才开始普遍关注施肥过量而引起的养

* 国家自然科学基金项目(40773075)、欧盟项目(RURB IFARM, ICA4 - CT - 2002 - 10021)和国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB410810)联合资助

† 通讯作者, E-mail: bhuan@issas.ac.cn

作者简介: 常 青(1982~), 女, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事土壤养分方面的研究

收稿日期: 2006 - 12 - 01; 收到修改稿日期: 2007 - 05 - 28

分不平衡问题^[9]。国内在农田生态系统的养分平衡方面也做了大量工作,取得了丰硕的成果,但多数研究均集中在野外台站或长期定位试验的基础上^[10~12],对城乡交错区小型蔬菜生产系统正常农田管理活动下的养分平衡研究还鲜见报道。

本研究选取了长江三角洲两个城市(南京和无锡)的典型城乡交错区小型蔬菜生产系统作为研究对象,观测和定量记录了两系统一年内生产管理过程中所有物质的量,研究分析了生产系统内氮磷钾输入和输出途径、年平衡状况及影响因素,以期城乡交错区生态污染风险和农业可持续发展的评估提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南京研究区位于南京市东约 5 km 的城乡交错区。地貌上为地形稍有起伏的丘陵区,土壤为发育于第四纪黄土母质上的淋溶土。自 20 世纪 70 年代中期开始,该地区从种植水稻为主逐渐转变成以种植蔬菜为主,已有 30 a 的蔬菜种植历史,是南京市的重要蔬菜生产基地,至今很少有工业企业分布,为典型农业型城乡交错区。该区的地理平面图如图 1 左所示。



图 1 南京(左)和无锡(右)研究区概况及观察田块分布图

Fig. 1 General information of the study areas of Nanjing and Wuxi and distribution of monitored plots

注:图 1(左)中所标 1、2、3、4、5、6 分别代表表 1 中的 XU、XD、SU、SD、CU、CD,图 1(右)中所标 1、2、3、4 分别代表表 1 中的 CG、CO、WG、WO
 Note: 1, 2, 3, 4, 5, 6 in Fig. 1 (left) mean XU, XD, SU, SD, CU, CD in Table 1, 1, 2, 3, 4 in Fig. 1 (right) mean CG, CO, WG, WO

另一研究区位于无锡市惠山区,地形较为平坦,地面高程海拔 5~8 m。土壤类型为水稻土(普通铁渗水耕人为土),成土母质属于河湖相沉积物。自 1990 年以来,随着城市化的发展,越来越多的外地农民在该地承包土地种植蔬菜,而且蔬菜地有随城市化发展向远郊扩展的趋势。该区的地理分布如图 1 右所示。

1.2 元素平衡观测

1.2.1 观测地块选取 根据两地的地理情况、种植历史、劳动力投入、农民社会经济状况、土地利用方式等,在南京研究区的丘岗地和平田各选取了 3 个地块,即共计 6 个地块。这 6 个地块分别按照距乡村道路的远近布设,即为路边、稍远和较远的(图 1)。六块地分属三户农户,每户两个地块,分别位于路上和路下。在无锡试验小区,选择了两处分属两户农民的蔬菜田块,两处田块种植年限不同,一

处种植历史在 15 a 左右,而另一处种植历史仅有 5 a,每处选择两个田块(图 1),管理方式分别为大棚和露天两种。总共选择了 4 个田块。选择的观测田块基本信息见表 1。

1.2.2 平衡观测 在 2003 年 7 月至 2004 年 7 月间,通过与种植农户合作,详细记录了这一年内蔬菜生产过程中各种活动的时间(播种、耕作、施肥、灌溉、收获等)、各种物资的输入(包括各种肥料、灌溉水、降雨)和输出(收获的蔬菜、带出田块的秸秆等)量。一年各田块蔬菜轮作情况见表 1。

1.3 样品采集

在观测开始前,每个田块采集了表层(0~20 cm)土壤样品。实施过程中,采集了农户所用的各种肥料(包括复合肥、尿素、磷肥等化肥和牛粪、猪粪、人粪尿、牛尿等各种有机肥)、灌溉水和收获的蔬菜样品(包括可食部分和最终带出田块的秸秆)。

表 1 观测田块的基本状况
Table 1 Basic data of the monitored plots

地区 Area	编号 No	基本情况 Basic information	田块面积 Area of plot (m ²)	一年的轮作情况 Rotations in year
南京 Nanjing	XU	夏家,丘岗地,距道路 100 m	70	白菜 菠菜 芹菜 冬瓜
	XD	夏家,平田,距道路 300 m	130	花菜 茼蒿
	SU	孙家,丘岗地,距道路 65 m	45	白菜 西红柿
	SD	孙家,平田,距道路 0 m	70	芹菜 菠菜 西红柿
	CU	陈家,丘岗地,距道路 70 m	70	白菜 西红柿
	CD	陈家,平田,距道路 200 m	130	芹菜 菠菜 西红柿
无锡 Wuxi	CG	大棚管理,种植 15 a	143	豇豆 青菜 苋菜 芹菜 黄瓜
	CO	露天管理,种植 15 a	147	苋菜 花菜 茼蒿
	WG	大棚管理,种植 5 a	264	大白菜 青菜 金花菜
	WO	露天管理,种植 5 a	103	萝卜 青菜 茼蒿

1.4 样品处理与分析

土壤样品带回实验室后在室温下自然风干,拣出可见的植物根系、残体后磨细分别过 60 目和 100 目尼龙筛,保存塑料袋中。化肥样品被磨碎至 100 目备用,有机肥被带回实验室后,随即称量鲜重,风干后称量其干重,计算含水量,然后磨碎至 100 目备用。水样带回实验室后,首先测定 pH 和电导率,然后加入几滴浓盐酸保存。植物样品带回实验室后首先称量鲜重,用自来水冲洗两次再用去离子水冲洗一次,晾干附着的水分,然后在烘箱内,70 条件下通风烘干。烘干后的蔬菜样品粉碎装入密封纸袋,保存在干燥器中备用。

土壤的分析包括土壤 pH、有机质 (OM)、全氮 (TN)、全磷 (TP)、全钾 (TK)、速效氮 (AN)、有效磷 (AP)、速效钾 (AK)。植株、有机肥、灌溉水用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,测定全氮、全磷、全钾含量。化学肥料用硫酸消煮测定全氮、全磷、全钾等的含量。以上项目的分析步骤参见文献 [13]。

1.5 平衡计算

养分平衡 = 该养分的总输入量 - 该养分的总输出量

总输入量包括肥料、水和大气降水带入土壤中养分的量,前两者为本研究的实测值,后者运用其他类似研究的结果推断获得。由于未进行土壤养分淋溶、地表径流和土壤养分挥发的观测,所以,此处总输出量仅包括由蔬菜以及残留物带出田块养分的量。

2 结果与讨论

2.1 观测田块土壤的理化性质分析

由于长期高强度的蔬菜种植,观测田块的土壤

化学性质发生了明显变化 (表 2)。在南京的蔬菜地土壤中,有机质含量、全氮、全磷、速效氮、有效磷和速效钾均较高,明显高于大田作物生长的土壤^[3]。在土壤剖面中这些化学性质和肥力指标自深部至地表增加均非常明显 (图 2 左)。相对而言,土壤 pH 无明显异常,与其他非蔬菜地土壤接近,其在土壤剖面中变化并无明显规律,表层土壤 pH 略有增加或减少 (图 2 左)。全钾表现出了与其他理化性质不同的剖面分布模式,表层土壤全钾含量明显低于底层土壤 (图 2 左)。

无锡蔬菜地土壤 pH 较低,在种植了 15 a 的蔬菜地土壤中,土壤 pH 仅为 4.6 ~ 4.8 (CG 和 CO 田块),明显低于周围植稻土壤^[3],在土壤剖面中也表现出表层土壤 pH 明显降低 (图 2 右)。其余土壤化学性质与南京蔬菜地类似,只是在种植 5 a 的蔬菜地上,土壤全磷和有效磷明显低于种植年限较长的蔬菜地土壤 (表 2 和图 2 右)。

2.2 两地试验田块的元素平衡状况

2.2.1 氮的平衡 通过一年对两个蔬菜生产系统试验田块的观测可以发现,南京试验地中的氮绝大多数来源于有机肥料 (图 3),有机肥带入的氮占总氮输入量的 50% ~ 98%;而无锡试验地这一比例仅为 14% ~ 45%,化肥是该地区氮输入的主要来源。与肥料输入的氮相比,两地观测田块灌溉水中带入氮的比例均较小 (<3%) (图 3)。从总氮的输入量上来看,两研究区并无显著的差别,南京氮的输入量为 1 044 ± 341 kg hm⁻²,无锡氮的输入量为 1 281 ± 548 kg hm⁻²,该输入水平与越南河内城乡交错区一个小型蔬菜生产系统的氮输入量比较接近 (1 071 ~ 1 643 kg hm⁻²),是另一个小型蔬菜生产系统氮输入量的 1 倍之多^[7],可见不同农田系统氮输

表 2 观测蔬菜地表层土壤理化性质

Table 2 Chemical properties of the top soils in the monitored vegetable plots

地区 Area	编号 No.	pH	有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	有效磷	速效钾
			OM	TN	TP	TK	AN	AP	AK
			(g kg ⁻¹)				(mg kg ⁻¹)		
南京	XU	7.79	39.7	2.34	1.92	16.4	237	290	590
Nanjing	XD	6.89	27.7	1.80	1.41	16.7	175	188	223
	SU	7.01	38.4	2.34	1.63	16.0	258	241	262
	SD	7.32	42.0	2.45	2.19	15.7	244	285	280
	CU	7.47	34.3	2.24	1.71	16.2	223	261	398
	CD	6.33	31.2	2.06	1.71	17.0	208	252	262
无锡	CG	4.59	34.1	2.15	2.15	13.2	529	380	284
Wuxi	CO	4.83	35.4	2.06	2.04	13.0	369	347	246
	WG	4.75	36.2	2.08	1.15	14.7	296	117	207
	WO	5.48	24.1	1.41	0.89	14.8	135	76.8	185

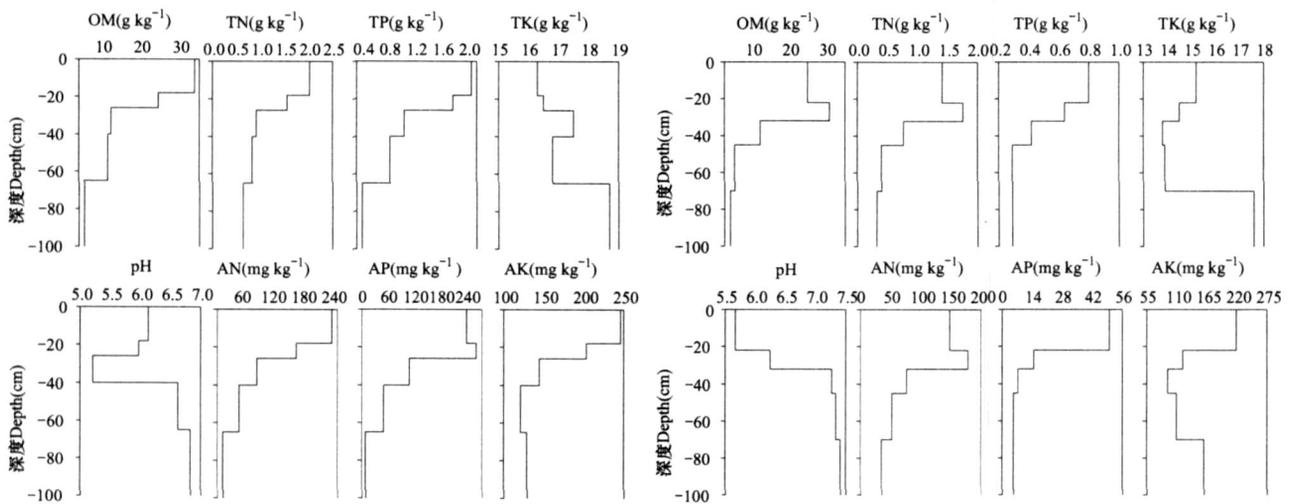


图 2 南京(左)和无锡(右)典型观测菜地土壤理化性质的剖面分布

Fig. 2 Profile distribution of soil chemical properties in typical monitored plots in Nanjing (left) and Wuxi (right)

入量差别很大。此外,氮元素的输入量因管理方式的不同而差异显著,在南京,陈家的 CU 和 CD 号地明显高于孙家的 SU 和 SD 号地 ($p < 0.05$),更明显高于夏家的 XU 和 XD 号地 ($p < 0.01$);在无锡,露天的输入量要大于大棚,且随种植年限的增加这一趋势表现的越为明显,图 3 所示 CO 号地的氮输入量显著高于 CG 号地的氮输入量 ($p < 0.05$)。

蔬菜生产系统氮素的输出主要观测了蔬菜及秸秆的带出,如图 3 所示,无锡各个田块的氮输出量显著高于南京各个田块的输出量 ($p < 0.01$),这与南京田块的高输入量是不成正比的,南京高输

入低产出的生产模式导致该地区的氮素利用率只有 17.1% ~ 30.7%;而无锡地区的氮素利用率 (31.8% ~ 71.6%) 显然高于南京地区。在无锡,管理方式的不同同样造成氮素输出量的差异,露天观测地块的输出量显著大于大棚的输出量 ($p < 0.01$),而且种植年限越短,这种趋势表现的越为明显。在正常的管理方式下,两研究区所有田块均表现出氮素的盈余,即输入量大于输出量,南京菜地的盈余量为 $814 \pm 271 \text{ kg hm}^{-2}$,无锡菜地的盈余量为 $647 \pm 455 \text{ kg hm}^{-2}$,后者显然低于前者 ($p < 0.05$)。可见在南京农民投入了数量多的氮,却没有达到较好的收益,氮素利用率较低。

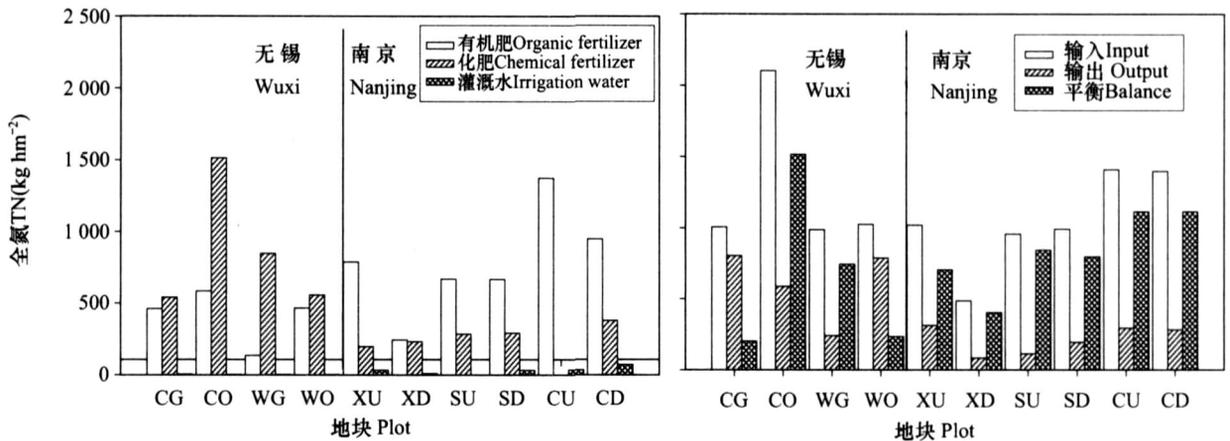


图3 观测田块氮素来源及输入输出状况

Fig. 3 Sources, input and output of soil N and its balance in monitored plots

2.2.2 磷的平衡 南京观测地块磷素的主要输入流为有机肥(94.0%~99.9%),以化肥和灌溉水形式输入土壤中的磷素量较低。而无锡试验地磷素的输入流来自化肥和有机肥,与氮素不同的是,有机肥对磷素输入量的贡献率居首位(44%~76%),其次是化肥(24%~56%)(图4)。同样,随灌溉水带入土壤的磷素也很低。已有研究表明,肥料的大量使用是导致农业土壤中磷素累积的主要

途径^[4]。本研究(表2、图2)与前人的研究结果是一致的。图4还表明无锡磷的输入量要显著高于南京磷的输入量,这是由于无锡的农民在蔬菜生产的过程中专门施用了磷肥(磷素含量 57.1 g kg^{-1})。此外,由于农户和管理方式的不同也导致磷的输入量存在差异:在南京的6个观测田块中,CU和CD两田块磷的施用量要显著高于其他田块;在无锡的4个田块中,露天地块磷的投入量要高于大棚的投入量。

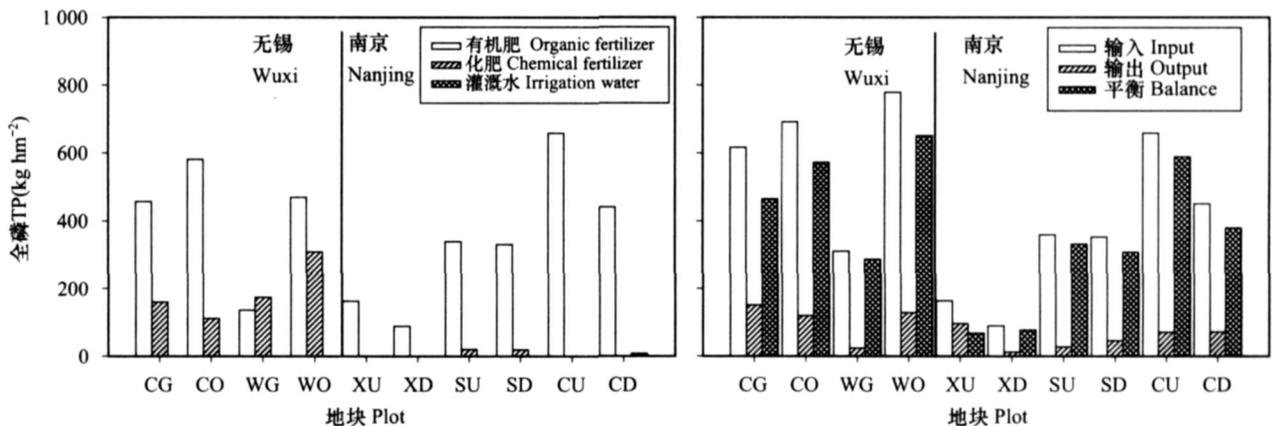


图4 观测田块磷素来源及输入输出状况

Fig. 4 Sources, input and output of P and its balance in monitored plots

两农田蔬菜生产系统通过蔬菜和秸秆带走的磷输出量与输入量有相似的规律。即无锡磷的输出量要显著高于南京的输出量,无锡地块磷输出量为 $104 \pm 48\text{ kg hm}^{-2}$,南京的磷输出量为 $57 \pm 26\text{ kg hm}^{-2}$,明显低于越南河内城乡交错区两个小型蔬菜生产系统的磷素输出量 261 kg hm^{-2} 和 200 kg hm^{-2} ^[7]。总的来讲,所有观测田块磷素盈余与

输入输出模式有极为相似的规律,即管理方式和农户的差别同样造成了磷素盈余量的不同,无锡地区露天大于大棚,南京地区陈家CU和CD号地明显高于孙家的SU和SD号地($p < 0.05$),更明显高于夏家的XU和XD号地($p < 0.01$)。除夏家的XU号地以外,其他小区的磷素利用率均在20%左右或低于20%,说明研究小区的磷素利用率也很低。

2.2.3 钾的平衡 通过对两地蔬菜生产系统钾的来源对比可以看出:在无锡的观测地块中,钾来源于有机肥料(17.3%~45.2%)和无机肥料(55%~81%),但仍以无机肥料为钾素的主要输入流;而在南京的观测地块中,钾基本上是由有机肥料供给的,化肥所占的比例低于10%。虽然无锡地区磷的施入量要显著高于南京地区的施入量,但是钾的输入量却正好相反,南京地区的输入量要显著高于无锡地区的输入量(图5)。调查中发现,在无锡外地来的种菜的农民认识到了钾是对蔬菜生长不可或缺的元素,但是由于有机肥来源的钾较少,而化肥钾施入量不能满足蔬菜吸收要求,种植年限

越长,钾亏缺的越严重。如图5所示,无锡地区蔬菜种植15a的田块(CG和CO)随蔬菜收获带出的钾素明显高于蔬菜种植5a的田块(WG和WO)。这也可从图5无锡地区钾的负平衡量得到证实。虽然目前南京地区钾元素和无锡另两个田块(WG和WO)仍处于正平衡,但从长远角度讲两地区钾元素均有逐渐亏缺的趋势。前文图2所示研究小区土壤中钾含量表层明显低于下层就足以证实农民在多年的蔬菜种植过程中,只注重氮磷的施入,却忽略了对钾肥的投入,如果长期延续目前的施肥管理方式,钾亏缺的状况会更加严重。显然,与氮磷利用率相比,由于钾素的低投入导致钾素的利用率明显提高。

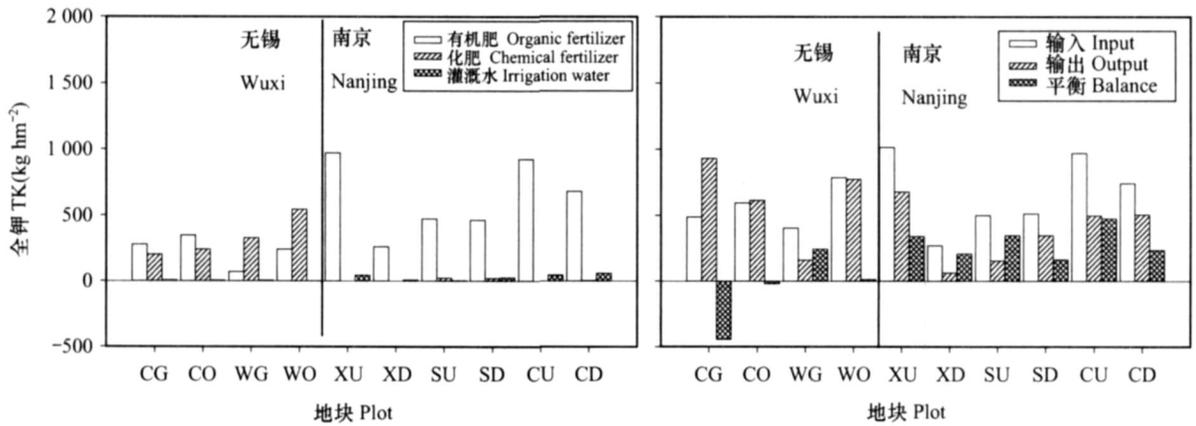


图5 观测田块钾素来源及输入输出状况

Fig. 5 Sources, input and output of K and its balance in monitored plots

2.3 影响菜地土壤养分平衡的因素

2.3.1 肥料种类的不同 肥料种类的不同可以影响到带入土壤中的养分及配比。葛晓光^[15]等研究发现,长期单施有机肥可以提高土壤肥力,但生物产量不高,如果不增施氮素化肥,产量的提高就会受到限制;同时,经过长期有机肥与氮素化肥施用与栽培,土壤中的钾素却出现亏缺。本试验结果验证了这一结论。南京地区施用了较多的有机肥料,其养分结构相对合理,但是蔬菜的产量优势不明显;无锡地区则施用了较多的化学肥料,增产较为明显,但出现了钾的亏缺,这就突出了施用化学肥料带来的营养元素间的不平衡。

2.3.2 管理方式的差异 管理方式的差异主要来源于耕作历史的差异以及土地利用方式的差异。南京的试验地有30多年的蔬菜种植历史,因此一般按照传统的管理方式,使用较多的牛粪等有机肥料,而使用较少的尿素复合肥等化学肥料。而在无锡,农民大多由外地迁移而来,对他们来说购买化

学肥料比较简单易行,因此他们使用较多的尿素复合肥等化学肥料。土地利用方式的差异主要表现在无锡试验地大棚和露天这两种利用方式的差异。农民对露天地投入的肥料用量要大于大棚菜地的用量,因此养分的盈余量也大于大棚菜地土壤。

2.3.3 农民社会经济状况的差异 农民之间社会经济状况的不同,会影响到蔬菜生产管理及肥料的使用量。在南京城乡交错区的农民除种植蔬菜的收入外,家庭中还有其他的收入来源,如家庭成员在城内工作的收入等。而且土地使用权归自己,不用交租金,社会经济压力较小,因此他们不必刻意通过改进自己的耕作管理方式去追求很高的经济效益。相对来讲管理较为粗放,每年春天在地里施用足够多的牛粪,一年的其余时间较少追施大量的化肥。而在无锡城乡交错区,种植蔬菜的农民大多来自于外地,他们以种植蔬菜为主要收入来源,租种当地的土地,还要缴纳一定的租金,因此农民必须不断地改进自己的管理方式来取得更好的效

益。他们选择大棚和露天两种种植方式,有着更多的轮作,使用更多的化学肥料作为追肥,因此获得蔬菜的产量较高。

3 结 论

1) 试验区蔬菜地种植管理过程中氮、磷、钾养分的输入途径包括有机肥、化肥和灌溉水,但研究区不同,养分元素的输入流贡献率有所不同:在南京,有机肥的施用是生产系统氮、磷、钾输入的主要来源,而在无锡,农民则使用较多的化学肥料,辅以猪粪等有机肥料,两试验地通过灌溉水的养分输入可以忽略不计。

2) 试验区的氮磷均存在大量的盈余,而钾在南京略有盈余,无锡存在着亏损。养分的这种不平衡会影响到蔬菜的产量,而种植者往往会误认为是缺氮的结果,有可能导致农民更多的施用氮肥,从而进一步降低氮素使用效率,增加环境中氮的残留量。

3) 肥料种类,管理方式及农户之间社会经济状况的差异是影响研究区菜地养分平衡的主要因素,因此,要合理改善目前氮、磷大量盈余,钾亏缺的状况及趋势,需要充分考虑以上三方面因素来提出合理的与之相适应施肥技术,以促进城乡交错区农业的可持续发展。

参 考 文 献

- [1] 秦明周,陈云增.快速城市化地区土地利用及其对土壤质量的影响——以广州市为例.农业现代化研究,2001,22(2): 119~122. Qin M Z, Chen Y Z. Land use change and its impact on soil quality in fast urbanization region, China — A case study in Guangzhou (In Chinese). Research of Agricultural Modernization, 2001, 22(2): 119~122
- [2] 马涛,杨凤辉,李博.城乡交错带——特殊的生态区.城市环境与城市生态,2004,17(1): 37~39. Ma T, Yang F H, Li B. Urban-rural interlocking belt—Special ecology zone (In Chinese). Urban Environment & Urban Ecology, 2004, 17(1): 37~39
- [3] Huang B, Shi X Z, Yu D L, *et al*. Environmental assessment of small-scale vegetable farming systems in peri-urban areas of the Yangtze River Delta Region, China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 112(4): 391~402
- [4] 王辉,董元华,安琼,等.高度集约化利用下蔬菜地土壤养分累积状况——以南京市南郊为例.土壤,2006,38(1): 61~65. Wang H, Dong Y H, An Q, *et al*. Nutrient accumulation in intensively vegetable soils in the southern suburb of Nanjing (In Chinese). Soils, 2006, 38(1): 61~65
- [5] 张庆利,史学正,黄标,等.南京东郊蔬菜种植基地地表水氮、磷、重金属含量及影响因素.农村生态环境,2004,20(4): 1~5. Zhang Q L, Shi X Z, Huang B, *et al*. Nitrogen, phosphorus, heavy metals and their affecting factors in the surface water of peri-urban vegetable bases of Nanjing city (In Chinese). Rural Eco-Environment, 2004, 20(4): 1~5
- [6] 赵彦锋,史学正,于东升,等.小尺度土壤养分的空间变异及其影响因素探讨——以江苏省无锡市典型城乡交错区为例.土壤学报,2006,37(2): 214~219. Zhao Y F, Shi X Z, Yu D S, *et al*. Spatial variation of soil nutrients and its affecting factors at small scale — A case study of peri-urban areas in Wuxi Jiangsu Province (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(2): 214~219
- [7] Khai N M, Ha P Q, Öbom . Nutrient flows in small-scale peri-urban vegetable farming systems in Southeast Asia—A case study in peri-urban Hanoi. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 122, 192~202
- [8] Wild A. ed. Russell's Soil Conditions and Plant Growth. 11th Ed. Longmans, Harlow, 1988
- [9] Conway G, Pretty J. Unwelcome Harvest: Agriculture and Pollution. Earthscan, London, 1991
- [10] 鲁如坤,刘鸿翔,闻大钟,等.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 I. 农田养分支出参数.土壤学报,1996,27(4): 145~151. Lu R K, Liu H X, Wen D Z, *et al*. Nutrient cycling and balance in agricultural ecosystem in typical regions. Nutrient outputs in the farmland (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(4): 145~151
- [11] 鲁如坤,刘鸿翔,闻大钟,等.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 II. 农田养分平衡的评价方法和原则.土壤学报,1996,27(5): 197~199. Lu R K, Liu H X, Wen D Z, *et al*. Nutrient cycling and balance in agricultural ecosystem in typical regions. Assessment and principle of nutrient balances in the farmland (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(5): 197~199
- [12] 罗良国,闻大钟,沈善敏.北方稻田生态系统养分平衡研究.应用生态学报,1999,10(3): 301~304. Luo L G, Wen D Z, Shen S M. Nutrient balance in rice field ecosystem of northern China (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 301~304
- [13] 鲁如坤编.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科技出版社,1999. Lu R K. Analytical Methods of Soil and Agronomic Chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [14] Heckrath G, Brookes P C, Pouchon P R, *et al*. Phosphorus leaching from soil containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. Journal of Environmental Quality, 1995, 24: 904~910
- [15] 葛晓光,高慧,张恩平,等.长期施肥条件下菜田蔬菜生态系统变化的研究()蔬菜产量与养分吸收量的变化.园艺学报,2004,31(4): 456~460. Ge X G, Gao H, Zhang E P. Studies on changes of field-vegetable system under long-term fixed fertilizer experiment () Changes of vegetable yield and nutrient absorption under different fertilization systems (In Chinese). Acta Horticulture Sinica, 2004, 31(4): 456~460

**BALANCES OF N, P AND K IN SMALL-SCALE VEGETABLE FARMING SYSTEM IN
A TYPICAL PERI-URBAN AGRICULTURAL AREA
—A CASE STUDY OF NANJING AND WUXI, CHINA**

Chang Qing^{1,3} Huang Biao^{1†} Wang Hongjie¹ Shi Xuezheng¹ Yu Dongsheng¹ Zhao Yanfeng¹ Ingrid Öbom²

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, SE-75007 Uppsala, Sweden*)

(3 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract Balance of soil N, P and K is very important to the nutrient management and agricultural sustainability. It was monitored in a small-scale vegetable farming system in the peri-urban areas of Nanjing and Wuxi, China during July 2003-July 2004, and its affecting factors studied at the same time. Results indicated that in Nanjing organic manure was the main source of nutrient supply, while in Wuxi, chemical fertilizer and organic manure were both used, with the former being the dominant one. Balancing of soil nutrients revealed that soil N and P gained, more in Nanjing than in Wuxi in the case of the former, and more in Wuxi than in Nanjing in the case of the latter, while soil K was in positive balance in Nanjing and in weak positive balance or negative balance in Wuxi, where obvious soil K deficit began to appear. This kind of soil nutrient imbalance resulted from differences in type of fertilizers used, labor input and resultant farming management between the two systems. Therefore it is necessary to develop a rational fertilization technique in light of soil nutrient balance and its affecting factors, so as to promote sustainable development of the agriculture in the peri-urban areas.

Key words Peri-urban areas; Vegetable plots; Soil; Nutrient balances